



9-8-2021

Bagger- en opspuitplan Energieopslagmeer

Delta21



Sietse Kneppers
0942952

Hogeschool Rotterdam, Civiele Techniek

Instituut voor de gebouwde omgeving

G.J. de Jonghweg 4-6
3015 GG Rotterdam
Nederland

Titel : Afstudeerscriptie – Bagger- en opspuitplan Energieopslagmeer
Inleverdatum : 09-08-2021
Opleiding : Civiele Techniek
School : Hogeschool Rotterdam
Opleiding : Civiele Techniek
Schooljaar : 2020-2021

Bedrijfsbegeleider Delta21:

Naam begeleider : H. Altink
Functie : Afstudeerbegeleider
Emailadres : Haltink@xs4all.nl

Begeleiders Hogeschool Rotterdam:

Naam begeleider : W. Leeuwestein
Functie : Docent Hogeschool Rotterdam
Emailadres : w.leeuwestein@hr.nl

Naam begeleider : L.A. van Gelder
Functie : Begeleider van Community of Practise
Emailadres : l.a.van.gelder@hr.nl

Voorwoord

Voor u ligt de afstudeerscriptie (rapport) ‘bagger- en opspuitplan Energieopslagmeer’. Dit rapport omvat het tot stand komen van een bagger- en opspuitplan op basis van geverifieerde uitgangspunten alsmede op actuele en voorspelde randvoorwaarden. Het betreft een bagger- en opspuitplan voor het realiseren van het Energieopslagmeer binnen het Delta21-plan van Delta21.

Het rapport is opgesteld als afstudeeropdracht in het kader van mijn studie Civiele techniek aan de Hogeschool Rotterdam. Delta21 heeft mij met het Delta21-plan de gelegenheid geboden om me verder te kunnen verdiepen in mijn interesse voor het baggeren en de aanleg van dijken. Reeds op jonge leeftijd was ik hier al spelende wijs mee bezig en is dit ook mede de reden waarom ik voor de studie Civiele Techniek heb gekozen.

Ik vertrouw erop dat mijn rapport als onderlegger kan worden gebruikt voor vervolgonderzoeken, omdat als gevolg van de status waarin het Delta21-plan zich bevindt, veel informatie nog diffuus is/was danwel ontbrak en hier ook veel tijd en energie in is gestopt om invulling te kunnen geven aan de uitgangspunten om uiteindelijk te komen tot het opstellen van het bagger- en opspuitplan. Deze uitgangspunten kunnen verder worden onderzocht en verdiept. Daarnaast is het mijn wens dat door het opstellen van het bagger- en opspuitplan, inclusief planning + kosten, ik een bijdrage heb kunnen leveren om de haalbaarheid en daarmee ook de uitvoerbaarheid van het Delta21-plan wat dichterbij te brengen.

Het schrijven van het rapport, met het onderwerp ‘bagger- en opspuitplan’, het uitzoeken naar de daarvoor benodigde onderleggers en de gesprekken en overleggen die ik daarover heb gevoerd, heeft mijn interesse alleen maar versterkt en ik tracht dan ook na mijn afstuderen hier mijn beroepsmatige werkzaamheden in te vinden. Het heeft ook geleid tot een enorme verbreding van mijn visie op baggerwerkzaamheden.

Graag wil ik heer Lavooij en de heer Berke van Delta 21 bedanken dat zij mij in de gelegenheid hebben gesteld om een afstudeerstage te volgen en daarbij te kunnen werken aan een complexe en innovatieve opdracht. Zij hebben ook zorggedragen dat de heer Altink als bedrijfsbegeleider is toegewezen om ook met zijn kennis en ervaring op het gebied van baggeren mij bij te staan. Ik wil de heer Altink dan ook erg bedanken voor zijn uitgebreide en gedetailleerde feedback.

Daarnaast gaat mijn dank uit aan de heer Leeuwestein en de heer Van Gelder van de Hogeschool Rotterdam en wat zij voor mij tijdens de opdracht hebben betekend. Ondanks dat er met de COVID 19-maatregelen rekeningen mee moest worden gehouden en dit zeker zijn beperkingen en invloeden heeft gehad, is de communicatie en de feedbackmomenten met alle betrokken personen als zeer positief ervaren en er was een fijne en goede onderlinge communicatie.

Sietse Kneppers, Rotterdam, 9-8-2021

Samenvatting

(Nederlands)

Om Nederland te beschermen tegen overstromingen moeten er nieuwe soms innovatieve plannen worden bedacht. Het Delta21-plan van Delta21 is zo'n nieuw en innovatief plan. Delta21 wil door middel van het aanbrengen van een Energieopslagmeer energie opwekken en tijdelijk opslaan, de waterveiligheid waarborgen en de natuur in het gebied herstellen en beschermen. Waarborging van de waterveiligheid vindt plaats via extra opslagcapaciteit/waterberging van het Energieopslagmeer aangesloten op pompen en turbines om bij gelijktijdig optreden van stormvloed door zee en hoge rivierstanden, de waterstanden in de rivieren te beheersen. Middels de aanleg van een vismigrierivier worden vispopulaties teruggebracht.

Het onderhavige rapport omvat een praktijkgericht en gefaseerd bagger- en opspuitplan ter realisatie van het Energieopslagmeer binnen het voorgenomen Delta21-plan. Daarvoor is een analyse gemaakt van de randvoorwaarden en uitgangspunten om uiteindelijk het bagger- en opspuitplan op te kunnen stellen.

Dit heeft geleid tot o.a. het opstellen van baggerhoeveelheden van bruikbare en onbruikbare baggerspecie komende uit het Energieopslagmeer en de toegangseul, waarbij de bruikbare baggerspecie zoveel als mogelijk wordt hergebruikt in de aanleg van de duinenrijen. De onbruikbare baggerspecie en het restant aan bruikbare baggerspecie wordt gedumpt met heden als doelstelling op het strand van Goeree-Overflakkee. De totale hoeveelheid te baggeren baggerspecie bedraagt **755 miljoen m³**, bestaande uit **76 miljoen m³** te baggeren uit de toegangseul en **679 miljoen m³** uit het Energieopslagmeer:

De 679 miljoen m³ baggerspecie uit het Energieopslagmeer valt als volgt te verdelen:

- **465 miljoen m³** bruikbaar baggerspecie (bestaande uit Zand midden categorie en Zand grove categorie);
- **214 miljoen m³** onbruikbaar baggerspecie (bestaande uit Zand fijne categorie 176 miljoen m³ en klei/veen 38 miljoen m³);

225 miljoen m³ wordt gebruikt voor de aanleg van de duinenrijen. **530 miljoen m³** wordt afgevoerd.

Er is gekozen voor de inzet van een 4-tal sleephopperzuigers en een 4-tal snijkopzuigers, geselecteerd op basis van diepgang en hoogste productiesnelheden. Er is een beperkte diepgang in het gebied, waarbij snijkopzuigers - daar waar noodzakelijk - de bodemdiepte naar -15 m NAP baggeren, zodat sleephopperzuigers hier kunnen worden ingezet. De sleephopperzuigers baggeren uiteindelijk de bodemdiepte op de geëiste bodemdiepte van - 25 m NAP en -27,5 m NAP. Zij brengen middels rainbowen de duinenrijen aan. De snijkopzuigers baggeren aansluitend de duinenrijen aan de meerzijde in de vereiste taludhelling.

Voorzien is dat het transport van de onbruikbare baggerspecie via zinkerleidingen (totaal 36 km) wordt getransporteerd naar de locatie Goeree-Overflakkee. Er worden geen drijvende leidingen toegepast vanuit de aanwezigheid van doorgaand scheepsverkeer. Middels survey wordt gemonitord of aan de geëiste bodemdiepte wordt voldaan. Het is belangrijk om het proces goed te monitoren, omdat de opdrachtgever tussentijdse voortgang wil zien en zekerheid wenst dat de geëiste hoeveelheid bergingswater kan worden opgeslagen. Dit bedraagt minimaal **430 miljoen m³**.

De downtime is bepaald en is meegenomen in de productiesnelheid van de baggerschepen. Er zijn meerdere baggerscenario's opgesteld en is een scenario als bepalend gesteld. Op basis van dit scenario is de fasering opgesteld en geoptimaliseerd om zo ook de planning en de kosten te kunnen bepalen. Dit omvat uiteindelijk het vastgestelde bagger- en opspuitplan.

De bagger- en opspuitwerkzaamheden nemen totaal **1278 dagen** in beslag en de realisatie vindt plaats tussen 1-01-2022 tot 2-07-2025, ruim 3,5 jaar.

De kosten voor de bagger- en opspuitwerkzaamheden zijn geraamd op **1.329 miljoen euro inclusief BTW**, doch gezien de aannames die er zijn gedaan wordt geadviseerd om hier marge op aan te houden. Voornoemd bedrag is inclusief een post a 78 miljoen euro voor de zinkerleidingen. De onderhoudskosten zijn niet meegewogen en exclusief.

(English)

In order to protect the Netherlands against flooding, new sometimes innovative plans have to be devised. Delta21's Delta21 plan is such a new and innovative plan. Delta21 wants to generate and temporarily store energy by installing an Energy Storage Lake, guarantee flood protection and restore and protect nature in the area. Flood risk management is ensured via extra storage capacity/water storage of the Energy Storage Lake, connected to pumps and turbines to control the water levels in the rivers when storm surges from the sea and high river levels occur at the same time. Fish populations are reduced by constructing a fish migration river.

The present report contains a practical and phased dredging and reclamation plan for the realization of the Energy Storage Lake within the proposed Delta21 plan. For this purpose, an analysis was made of the preconditions and starting points to be able to draw up the dredging and reclamation plan in the end.

This has led to, among other things, the preparation of dredging quantities of usable and unusable dredging sludge from the Energy Storage Lake and the navigation channel, whereby the usable dredging sludge is reused as much as possible in the construction of the dune rows. The unusable dredging sludge and the remainder of usable dredging sludge are dumped with the current objective on the beach of Goeree-Overflakkee. The total dredged material to be dredged is **755 million m3**, consisting of **76 million m3** to be dredged from the navigation channel and **679 million m3** from the Energy Storage Lake:

The 679 million m3 of dredging sludge from the Energy Storage Lake can be divided as follows:

- **465 million m3** of usable dredging sludge (consisting of Sand medium category and Sand coarse category);
- **214 million m3** of unusable dredging sludge (consisting of Sand fine category 176 million m3 and clay/peat 38 million m3);

225 million m3 will be used for the construction of the dunes. **530 million m3** is discharged.

It has been decided to use 4 trailing suction hopper dredgers and 4 cutter suction dredgers, selected on the basis of draft and highest production speeds. There is a limited draft in the area, where cutter suction dredgers - where necessary - dredge the bottom depth to -15 m NAP, so that trailing suction hopper dredgers can be deployed here. The trailing suction hopper dredgers will eventually dredge the bottom depth at the required bottom depth of -25 m NAP and -27.5 m NAP and they create the dune rows by means of rainbowing. The cutter suction dredgers then dredge the rows of dunes on the lake side in the required slope.

It is envisaged that the unusable dredged material will be transported via sinker pipes (total 36 km) to the Goeree-Overflakkee location. No floating pipelines are used due to the presence of through-ship traffic. A survey is used to monitor whether the required soil depth is met. It is important to monitor the process properly, because the client wants to see interim progress and wants certainty that the required amount of storage water can be stored. This amounts to a minimum of **430 million m3**

The downtime has been determined and has been included in the production speed of the dredgers. Several dredging scenarios have been drawn up and one scenario has been set as the determining factor. Based on this scenario, the phasing has been drawn up and optimized in order to be able to determine the planning and costs. This ultimately includes the established dredging and reclamation plan.

The dredging and reclamation work will take a total of **1278 days** and the realization will take place between 1-01-2022 to 2-07-2025, over 3.5 years.

The costs for the dredging and reclamation work are estimated at **1,329 million euros including VAT**, but given the assumptions made, it is recommended to keep a margin on this. The aforementioned amount includes an item of 78 million for the sinker pipes. The maintenance costs are not taken into account and are exclusive.

Inhoud

Voorwoord	2
Samenvatting.....	3
Figurenlijst	9
Tabellenlijst	10
Inleiding	11
Aanleiding.....	11
Probleemstelling.....	11
Afbakening.....	11
Doelstelling.....	11
Leeswijzer	12
Hoofd- en deelvragen.....	13
1. Waar houdt Delta21 zich mee bezig?.....	14
1.1. Specifiek onderzoek/afbakening vanuit Delta21	15
1.1. Invloed op het bagger- en opspuitplan	16
2. Programma van Eisen/Regelgeving.....	17
2.1. Programma van Eisen.....	17
2.2. Regelgeving	17
3. De locatie-eigenschappen om het in te zetten materieel te kunnen bepalen.....	18
3.1. Specifieke locatie eigenschappen	18
3.1.1. Wind	19
3.1.2. Bodemdiepte en Bodemkwaliteit.....	20
3.1.3. Stromingen	25
3.1.4. Klimaatverandering	25
3.1.5. Golfhoogte/waterstand.....	26
3.1.6. Afstand baggerlocatie tot stortlocatie	28
3.1.7. Eventuele obstakels en speciale gebieden.....	28
4. Grondberekeningen	31
4.1. Duinontwerp.....	31
4.2. Losmethode.....	34
4.3. Verdichtingsmethode	35
4.4. Baggerspecie hoeveelheden	36
4.5. Aansluitingen en bouwwerken.....	38
4.6. Onbruikbare baggerspecie; kust Goeree-Overflakkee	39
5. Baggermaterieel	40
6. Productiebaggermaterieel.....	41

6.1.	Productiesnijkop.....	41
6.2.	Productie sleephopper	42
6.3.	Productie winzuiger.....	43
6.4.	Transporteren.....	44
6.4.1.	Baggerspecie transporteren naar projectlocatie.....	44
6.4.2.	Baggerspecie transporteren naar stortlocaties voor onbruikbare baggerspecie	45
6.4.3.	Baggerspecie transporteren naar tijdelijke opslaglocatie	45
6.5.	Survey	45
7.	Downtime	46
7.1.	Downtime zeewind- en golven.....	46
7.2.	Golfgroei/Strijk lengte	48
8.	Fasering	49
8.1.	Baggerscenario's.....	49
8.2	Fasering	50
	Fase 1:.....	52
	Fase 2 :.....	52
	Fase 3.....	53
	Fase 4.....	54
	Fase 5.....	54
8.3.	Planning.....	55
9.	Kostenraming	56
	Conclusie	57
	Aanbevelingen.....	58
	Bronnenlijst	59
	Bijlagen	61
	Bijlage 1: Wet- en regelgeving.....	62
	Bijlage 2. Windgegevens Lichteiland Goeree	64
	Bijlage 3: Bodemdieptes.....	64
	Bijlage 4. Dwarsprofielen	71
	Bijlage 5. Gegevens golfhoogte Lichteiland Goeree.....	71
	Bijlage 6. Waterstanden	71
	Bijlage 7. Duin hoeveelheden.....	71
	Bijlage 8. Bagger hoeveelheden	71
	Bijlage 9. Snijkopzuigers	71
	Bijlage 10. Sleephopperzuigers	77
	Bijlage 11. Golfgroei	83

Bijlage 12. Bagger scenario's	105
Bijlage 13. Fasering.....	109
Bijlage 14. Planning	109
Bijlage 15. Kostenraming.....	109
Bijlage 16. Relatieve grond dichtheid.....	109
Bijlage 17. Winzuiger.....	111

Figurenlijst

Figuur 1: Versie 2021 energieopslagmeer. Bron: PDF. 00-pp-maart 2021	14
Figuur 2: Zandwinlocaties. Bron: https://www.noordzeeloket.nl/atlas-actueel/	16
Figuur 3: Delta21 ontwerp duin arceringen. Bron: PDF. 00-pp-maart 2021	16
Figuur 4: https://www.knmiprojects.nl/projects/knw-	19
Figuur 5: Boringen projectlocatie	20
Figuur 6: https://webapp.navionics.com/#boating@8&key=%7Dqw%7BHm%7BcW	21
Figuur 7: Bovenaanzicht grondboringen met de radius en de dwarsprofiel lijnen.....	22
Figuur 8: Dwarsprofiel 1	23
Figuur 9: Dwarsprofiel 2	23
Figuur 10: Dwarsprofiel 3	24
Figuur 11: Dwarsprofiel 4	24
Figuur 12: Stromingsrichting 6 uur voor HW.....	25
Figuur 13: Stroming 3 uur voor HW	25
Figuur 14: Dominante golfrichtingen	27
Figuur 15: Baggerstortlocaties	28
Figuur 16: Natura2000/EHS gebieden. Bron: https://www.clo.nl/indicatoren/nl142501-begrenzing-van-het-natuurnetwerk-en-natura-2000-gebieden	29
Figuur 17: Projectgebied	29
Figuur 18: Verontreinigde gebieden. Bron: https://www.Noordzeeloket.nl/	30
Figuur 19: Wrakgebieden. Bron: https://www.Noordzeeloket.nl/	30
Figuur 20: Electra/Telecom kabels. Bron: https://www.Noordzeeloket.nl/	30
Figuur 21: Visualisatie Noordwest duin.....	32
Figuur 22: Visualisatie Zuid duin.....	33
Figuur 23: Visualisatie Oost duin	33
Figuur 24: Cofra Dynamic Compaction.....	35
Figuur 25: Baggergebieden.....	36
Figuur 26: Visualisatie locatie bouwputten.....	38
Figuur 27: Procesboom.....	40
Figuur 28: Wide shisel zand baggers.....	40
Figuur 29: CL Flared klei baggeren.....	40
Figuur 30: Positie Zinkerleidingen.....	44
Figuur 31: Baggerlocaties.....	45
Figuur 32: Energieopslagmeer.....	46
Figuur 33: Gebiedsverdeling.....	49
Figuur 34: Balkenschema bagger- en opspuitplan.....	50
Figuur 35: Faseringstekening.....	51
Figuur 36: Tijdsschema.....	52
Figuur 37: Snijkopzuiger.....	72
Figuur 38: Snijbreedte.....	73
Figuur 39: Willem van Rubroeck Snijkopzuiger.....	73
Figuur 40: Zandmengsel snelheidstabel.....	74
Figuur 41: Sneebreedte snijkopzuiger.....	76
Figuur 42: Schema rekenvoorbeeld effectieve strijklengte.....	88
Figuur 43: Voorbeeld van het bepalen van de strijklengte per invalhoek op het Energieopslagmeer van Delta21.....	89
Figuur 44: Gebiedsverdeling.....	105
Figuur 45: Werkveld verdeling Gebied I Sleephopperzuigers.....	106
Figuur 46: Werkveld verdeling Gebied II en III snijkopzuigers.....	107

Figuur 47: Werkveld verdeling Gebied II en III Sleephopperzuiger.....107

Tabellenlijst

Tabel 1: Windrichting en windsnelheid.....	19
Tabel 2: Kleurencodes dwarsprofielen.....	24
Tabel 3: Klimaatscenario's.....	26
Tabel 4: Waterstanden.....	26
Tabel 5: Significante golfhoogte, significante golfperiodes en gemiddelde golfrichting.....	27
Tabel 6: Bagger hoeveelheden.....	36
Tabel 7: Omgevingsgegevens.....	36
Tabel 8: Bagger hoeveelheden per gebied.....	37
Tabel 9: Bagger hoeveelheden toegangsgeul.....	38
Tabel 10: . Bagger hoeveelheden.....	38
Tabel 11: Duinengebied Goeree-Overflakkee.....	39
Tabel 12: Productie snelheden snijkopzuigers.....	42
Tabel 13: Productie Sleephopperzuigers.....	42
Tabel 14: Snijkopzuiger overschrijdingspercentages: Bij windsnelheid van 15 m/s.....	47
Tabel 15: Snijkopzuiger/winzuiger overschrijdingspercentages: Hs 1,5 m.....	47
Tabel 16: Overschrijdingspercentages bij een Hs van 0,5 meter.....	48
Tabel 17: Overschrijdingspercentages bij een Hs van 2 meter.....	48
Tabel 19: Golf gegevens strijklengte.....	83
Tabel 20. Overschrijdingspercentages bij een Hs van 0,5 meter.....	84
Tabel 21. Overschrijdingspercentages bij een Hs van 1,0 meter.....	84
Tabel 22. Gemiddelde windrichting.....	89
Tabel 23. Gemiddelde windsnelheden.....	89

Inleiding

Aanleiding

Delta 21 heeft een presentatie gehouden op de Hogeschool Rotterdam, waarin zij het innovatieve Delta21-plan heeft gepresenteerd. Het Delta21-plan omvat een alternatief op het Deltaprogramma.

Haar motto is: *'De rivierwaterstanden, bij extreme hoogwatersituaties, verlagen in plaats van het voortdurend versterken en verhogen van de dijken*

Onderdeel van het Delta21-plan is de realisatie van een Energieopslagmeer dat zorg draagt voor het verhogen van de waterveiligheid en tevens dienst doet als Energieopslagbassin. Het plangebied is gelegen ten zuiden van Maasvlakte 2.

Er werd de gelegenheid geboden om middels een afstudeerstage onderzoek te doen naar diverse onderdelen van het Delta21-plan. Het onderdeel dat voor de afstudeerstage is gekozen en ook in onderhavig rapport is uitgewerkt, betreft het opstellen van een 'bagger- en opspuitplan' voor het Energieopslagmeer.

Onder begeleiding van de heer H. Altink van Delta21 en de heer W. Leeuwestein van de Hogeschool Rotterdam is het onderhavig rapport als afstudeerrapport door de opsteller opgesteld.

Probleemstelling

Om te komen tot het opstellen van een bagger- en opspuitplan voor het Energieopslagmeer en het kunnen bepalen van de daarvoor benodigde onderleggers gerelateerd aan het Delta21-plan, is er een hoofdvraag gesteld, onderverdeeld in deelvragen. Door het beantwoorden van de deelvragen en het verzamelen van de hiervoor benodigde actuele gegevens, kan aan de hand van deze gegevens de hoofdvraag worden beantwoord: het presenteren van een praktijkgericht en gefaseerd bagger- en opspuitplan ter realisatie van het Energieopslagmeer binnen het Delta21-plan. Dit project beoogt de waterstanden bij Rotterdam en Dordrecht te beheersen ten tijde van het gelijktijdig optreden van een stormvloed op zee, tezamen met topafvoeren van Rijn en Maas.

Afbakening

In totaal is er 80 werkdagen beschikbaar gesteld om dit afstudeeronderzoek uit te voeren. Door de complexiteit van en de status waarin het Delta21-plan zich heden bevindt, is gebleken dat er beperkte tot geen gegevens beschikbaar zijn om daaruit direct de onderleggers en de voor het opstellen van het bagger- en opspuitplan benodigde gegevens te kunnen bepalen. Er heeft een verdieping moeten plaatsvinden in het achterhalen van essentiële gegevens. Desondanks is niet voorkomen om een aantal aannames te moeten doen.

Doelstelling

Het gewenste eindresultaat is een praktijkgericht en gefaseerd bagger- en opspuitplan voor het Energieopslagmeer.

Leeswijzer

Allereerst wordt er ingegaan op de gestelde hoofd- en deelvragen die ter beantwoording zijn opgesteld om te komen tot het uiteindelijke doel: 'het opstellen van een bagger- en opspuitplan'.

In hoofdstuk 1 wordt ingegaan op het Delta21-plan, haar specifieke eisen en doelstellingen en de invloed op het bagger- en opspuitplan.

In hoofdstuk 2 wordt kort ingegaan op het Programma van Eisen en de van toepassing zijnde regelgeving.

Hoofdstuk 3 geeft een uitwerking van de locatie-eigenschappen die noodzakelijk zijn om het materieel te bepalen om het Energieopslagmeer te kunnen baggeren.

In hoofdstuk 4 is de uitwerking van de grondberekening weergegeven om de hoeveelheden baggerspecie te bepalen. Daarbij is onderscheid gemaakt wat hiervan kan worden hergebruikt in het project danwel moet worden afgevoerd, inclusief de los- en verdichtingsmethodes.

Hoofdstuk 5 geeft een uitwerking van de keuze voor de toe te passen baggerschepen die voor het baggeren worden ingezet binnen het project.

Aansluitend wordt in hoofdstuk 6 het aan het baggerschip te koppelen productiebaggermaterieel omschreven, inclusief de wijze van transport en de survey van het gebaggerde gebied.

Hoofdstuk 7 omvat de berekening van de downtime waarin de schepen niet operationeel kunnen zijn.

Hoofdstuk 8 geeft het baggerscenario weer, waaruit de fasering (gebiedsverdeling) en planning volgt van de realisatie van het Energieopslagmeer en uiteindelijk tot het bagger- en opspuitplan leidt.

Hoofdstuk 9 omvat het overzicht van de uitgewerkte kostenraming van het gekozen baggerscenario.

In hoofdstuk 10 is de conclusie opgenomen.

Tenslotte zijn in hoofdstuk 11 de aanbevelingen weergegeven.

Hoofd- en deelvragen

Hoofdvraag:

- Is het mogelijk om een praktijkgericht en gefaseerd bagger – en opspuitplan op te stellen ter realisatie van het Energieopslagmeer binnen het voorgenomen Delta21-plan, gebaseerd op geverifieerde uitgangspunten alsmede op actuele en voorspelde randvoorwaarden binnen het plangebied?

Deelvragen:

- Waar houdt Delta21 zich in zijn algemeenheid mee bezig? Wat zijn de aspecten raakvlakken waarmee rekening mee moet worden gehouden?
 - Waterveiligheid, energieopwekking/opslag en natuurherstel;
 - Relevante kenmerken projectlocatie.
- Wat zijn de locatie-eigenschappen om het in te zetten materieel te kunnen bepalen en wat zijn de invloeden van de locatie-eigenschappen op de uiteindelijke productie?
 - O.a. Golven, wind en stroming;
 - Grondopbouw.
- Hoeveel kuub baggerspecie moet er worden gebaggerd en wat te doen met de (on)bruikbare baggerspecie?
 - Hoeveel (on)bruikbare baggerspecie bagger je op?;
 - Welke kwaliteit heeft de baggerspecie?;
 - Waar moeten de (on)bruikbare baggerspecie (tijdelijk) worden opgeslagen c.q. worden verwerkt dan wel wat te doen met de voor het project onbruikbare baggerspecie?;
- Welk materieel en materiaal is er benodigd om het Energieopslagmeer te realiseren?
 - Logistiek: hoe moet de (on)bruikbare baggerspecie worden getransporteerd?;
 - Welke inzet aan materialen/materieel zijn er nodig ten behoeve van het baggeren, opspuiten en vervoeren?;
- Hoe ziet de fasering van de realisatie van het Energieopslagmeer eruit?
 - Wat is het meest passende baggerscenario?
 - Uit welke uitvoeringsfases bestaat het gekozen baggerscenario?
- Wat zijn de uitvoeringskosten om het Energieopslagmeer te baggeren, de duinen op te spuiten en de baggerspecie te transporteren?

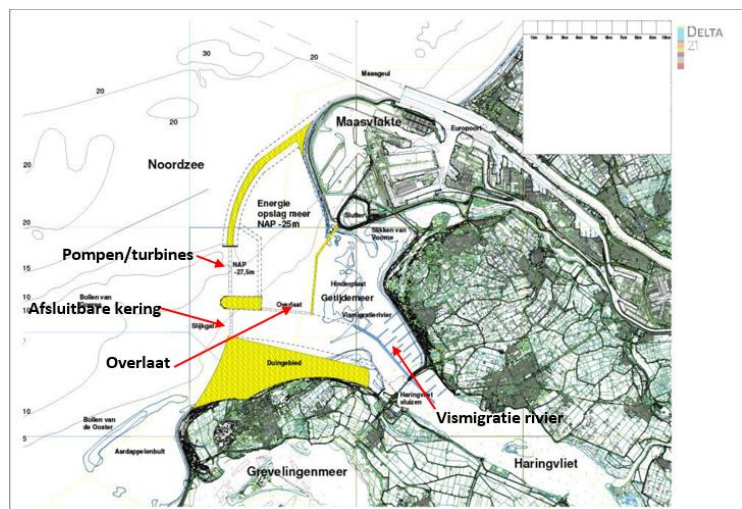
1. Waar houdt Delta21 zich mee bezig?

Het idee (concept) voor het Delta21-plan is ontstaan uit een discussie tussen twee initiatiefnemers. De kerngedachte van Delta21 was dat tijdens hoge rivierafvoeren in het benedenstroomse gebied het waterpeil op een laag niveau zou moeten blijven. Daarmee zouden de in het Deltaprogramma opgenomen en ingrijpende dijkversterkingen langs de rivieren kunnen komen te vervallen, inclusief de bijbehorende aantasting van het rivierenlandschap. Het plan mocht echter het uitgangspunt van het Deltaprogramma niet veranderen: 'Het waterpeil bij Dordrecht mag eenmaal in de 10.000 jaar het NAP niveau van + 3 m. overschrijden, maar liever niet hoger dan + 2,5 m. boven NAP'. Het motto van Delta21 was en blijft: *'De rivierwaterstanden, bij extreme hoogwatersituaties, verlagen in plaats van het voortdurend versterken en verhogen van de dijken.'*

Het concept uit 2015 is verder uitgewerkt en als plan in 2018 gepubliceerd. Dit plan is en wordt nog door een aantal stakeholders bekeken en zij vinden dat het plan op een aantal punten kan worden verbeterd. De stakeholders zijn o.a. natuur- en milieugroepen, gemeentes, de Rijksoverheid, de visserij, toerisme en bedrijven die het plan ondersteunen.

Onderdeel van het plan is de aanleg van een Energieopslagmeer ten zuiden van de Maasvlakte 2 en ten oosten van de Haringvlietsluizen. Dit Energieopslagmeer zal met een oppervlakte van ca. 42 km² zo'n 430 miljoen kubieke meter water kunnen opslaan en dienst doen vanuit extra wateropslag ten behoeve van een verhoogde waterveiligheid als Energieopslagbassin. Het Energieopslagmeer bestaat uit een duinenrij met aan de oostzijde (zeezijde) een aantal pompen/turbines en aan de zuidkantzijde (Haringvliet zijde) een in- en uitlaat. Via de pompen (zoals bijvoorbeeld bij een gemaal) wordt water

uit het Energieopslagmeer naar de zee gepompt. Zodra er een hoge rivierwaterstand wordt verwacht, wordt het waterpeil in het Energieopslagmeer verlaagd naar het laagst mogelijke niveau middels de aangesloten pompen die een pompcapaciteit van 10.000 m³/s hebben. Zodra het laagste niveau is bereikt, kan het Energieopslagmeer de eerste 12 uur rivierwater via de inlaat van de op dat moment hoge rivierwaterstand verwerken en wel met 20.000 m³/s. Na 12 uur en bij gelijke waterpeil tussen Energieopslagmeer/ hoge rivierstand kan het meer nog maar 10.000 m³/s rivierwater verwerken, dat gelijk is aan de maximale pompcapaciteit van de in werking getreden pompen. Voor een dergelijke oplossing zijn pompen benodigd, die met het huidige zeewaterpeil eenmaal per 5-10 jaar in enkele dagen het overtollige rivierwater naar zee pompen als gevolg van een hoge rivierwaterstand.



Figuur 1: Versie 2021 energieopslagmeer. Bron: PDF. 00-pp-maart 2021

Het Delta21 plan richt zich niet alleen op een verhoogde waterveiligheid. Het richt zich tevens op de energietransitie en het natuurherstel.

Om niet alleen de betrouwbaarheid van de pompen te verhogen maar ook om de investeringskosten te verlagen, dienen de pompen regelmatig te worden gebruikt. Dit houdt in de inzet van de pompen niet alleen vanuit waterveiligheid, maar ook vanuit energietransitie. Door bij een lage rivierstand via de pompen juist water in het Energieopslagmeer te pompen, waardoor hier een verhoogde waterstand

t.o.v. het waterpeil van de zee/rivier ontstaat (lees het tijdelijk energie op te slaan in het meer'), dit plaats te laten vinden indien men kan beschikken over 'overtollige' wind of zonne-energie, ontstaat een waterbuffer. Wanneer er vraag is naar energie, kan het 'gebufferde' water via turbines die stroom opwekken, het Energieopslagmeer verlaten.

Verder kijkt het Delta21 plan naar het natuurherstel in het gebied. De focus ligt vooral op herstel van de vismigratie. Door een nieuwe afsluitbare waterkering aan te leggen (zie figuur 1) ontstaat er een estuarium. Het estuarium is het gebied tussen de Haringvlietsluizen en de nieuwe afsluitbare waterkering. Door de nieuwe afsluitbare waterkering en de Haringvlietsluizen (gedeeltelijk) open te zetten ontstaat er een zoet/zout watergebied. Hier kunnen vissen de overstap maken van zout naar zoet en andersom.

1.1. Specifiek onderzoek/afbakening vanuit Delta21

Vanuit het Delta21-plan wordt beoogd een aantal specifieke doelstellingen te bereiken die van toepassing is op het Energieopslagmeer. Daarbij aandacht voor de wensen en verzoeken van stakeholders en als dusdanig verwoord in het rapport UPDATE-DELTA21-29-7-2019. Dit rapport betreft een update van het plan dat in 2018 is gepubliceerd. Er zijn vooral veel aanpassingen gedaan aan de vorm van het Energieopslagmeer. Dit met het oog op het beter kunnen nastreven van de drie doeleinden van Delta21. De doelstellingen met daarin de verwerkte aanpassingen zijn als volgt:

- Via het Energieopslagmeer moet, tijdens zware stormen en/of hoge rivierafvoeren, 10.000 m³/s overtollig rivierwater naar zee worden afgevoerd.
- Het Energieopslagmeer moet energie in waterkracht kunnen opslaan, echter bij calamiteiten (veiligheid) dient het waterpeil in het Energieopslagmeer in ca. 12 uur verlaagd dan wel verhoogd kunnen worden. Daar hoort een watervolume bij van ca. **430 miljoen m³**. De geïnstalleerde pompen moeten ook als turbines kunnen functioneren.
- De minimale opvoerhoogte van de pompen bedraagt 5m, daarom is het maximale waterniveau in het energieopslagmeer ca. -5m t.o.v. NAP.
- Onder de huidige zeebodem ter plaatse van het geplande energieopslagmeer zit een kleilaag met een dikte van 10m, gelegen tussen NAP -50m en NAP -60m. Er wordt een bodemdiepte op **NAP -22,5** aangehouden en bij de overlaat een bodemdiepte van **NAP -27,5** meter. Dit om zorg te dragen dat de grondbalans in evenwicht blijft. Wanneer er dieper wordt ontgraven, is er minder bovenbelasting waardoor de bodem kan open barsten.
- Het verplaatsen van de locatie van de in- en uitlaat van het Energieopslagmeer naar de westzijde van het Energieopslagmeer, een locatie die direct aan Maasvlakte 2 grenst.
- Het verplaatsen van de locatie van de overlaat tussen het Getijmeer en het Energieopslagmeer naar de zuidoostzijde van het Energieopslagmeer, een locatie die direct aan Maasvlakte 2 grenst.
- Het aanpassen van de vormgeving van het Energieopslagmeer zodanig aan dat het grootste deel van de bestaande stranden van Goeree Overflakkee buiten het Getijmeer komt te liggen en waar de invloed van de golven nog te merken is.
- Het verdiepen en verbreden van de huidige scheepvaartgeul naar Stellendam, zowel binnen het Getijmeer als buitengaats tot een diepte van 8 m en een breedte van 200 m, waarbij het vrijkomende zand wordt gebruikt voor het aanleggen van de duinen.
- Het aanleggen van een diepe geul ten behoeve van het herstel van de strandfunctie vanaf de dam bij het Oostvoornse meer langs het bestaande strand en het benutten van het vrijkomende zand voor het opspuiten van de duinen rondom het Energieopslagmeer.

1.1. Invloed op het bagger- en opspuitplan

De te bereiken doelstellingen en gedane verzoeken door stakeholders hebben impact op de wijze hoe er wordt gebaggerd en hoe met het (her)gebruik van de baggerspecie wordt omgegaan. Mocht er onvoldoende bruikbare baggerspecie op de projectlocatie aanwezig zijn voor de aanleg van bijvoorbeeld de duinenrij en het duinengebied, dan kan er nu ook gewonnen baggerspecie worden gebruikt vanuit het baggeren van de toegangseul.

Voor de opbouw van de duinenrij is bij Delta21 een 2-tal onderzoeken gedaan die het Energieopslagmeer mede vormt. (Adrichem Delta21, 2021) (Dam van Delta21, 2020). Het heeft voorsnog geen meerwaarde - en ook om onderhavig rapport af te kunnen bakenen - om hier verdere onderzoek naar te doen. De uitkomsten van voornoemde onderzoeken (o.a. het ontwerp van de duinenrij, inclusief dwarsdoorsnede) zijn als aanname verwerkt in het onderhavige rapport. Wel is daarbij bezien hoe deze duinen zijn uitgewerkt en/of dit aansluit op het op te stellen bagger- en opspuitplan, danwel aanpassingen noodzakelijk zijn.



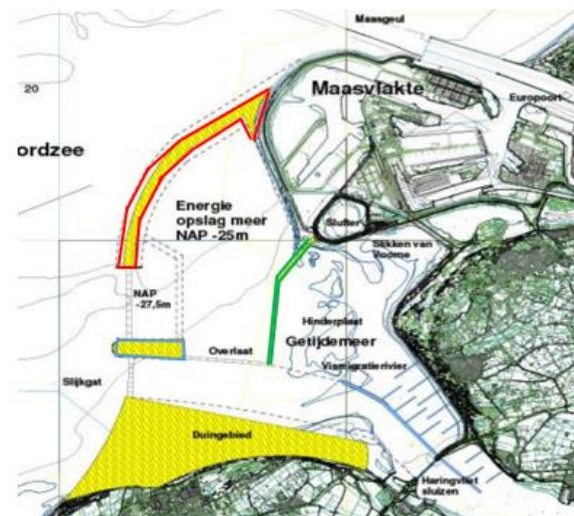
Figuur 2: Zandwinlocaties. Bron: <https://www.noordzeeloket.nl/atlas-actueel/>

Door voornoemde aanname te doen kan er al vrij eenvoudig/snel op basis van de uitgewerkte dwarsdoorsnede de voor de duinen benodigde hoeveelheid op te spuiten zand worden bepaald. Alleen de wijze waarop is dan onderdeel van onderzoek, inclusief een check of de uitvoering van het duinenplan nog sluitend/ passend is.

Er zal afslag van de duinen plaatsvinden en er dient met het onderhoud van de duinen rekening te worden gehouden.

Mocht vanuit het onderzoek naar voren komen dat er niet genoeg bruikbare baggerspecie kan worden gewonnen, dan is er een aantal zandwinlocaties in het gebied aanwezig voor de benodigde aanvulling. Zie figuur 2 voor de zandwinlocaties.

De vorm en de grootte van het Energieopslagmeer, inclusief bijbehorende duinenrij en duinengebied is in de laatste versie van het Delta21-plan vastgelegd (zie figuur 3). Het Energieopslagmeer moet op diepte worden gebaggerd en de duinenrij en duinengebied worden opgespoten. De vorm van het duinengebied is opgenomen in het algemeen ontwerp doch niet als (technisch) ontwerp met bijbehorende gegevens voorhanden. Dit wordt in onderhavig rapport ook niet verder uitgewerkt. Voor het ontwerp van de duinenrij wordt - zoals voornoemd vermeld - gebruik gemaakt van een 2-tal eerder gedane onderzoeken met gebruik makend van de daarin opgenomen dwarsdoorsnede, inclusief de aangegeven steilheid van het talud. Het ontwerp van de duinenrij is opgesplitst in drie delen: Duin Noordwest, Duin Oost en de Duin Zuid.



Figuur 3: Delta21 ontwerp duin arceringen. Bron: PDF. 00-pp-maart 2021

Het rood omliggende gebied is Duin Noordwest en het groen omcirkelde gebied Duin Oost. Het blauw omringde gebied is Duin Zuid. Deze duin zal anders worden opgebouwd dan de andere duinen, omdat deze duin een verbinding vormt met de overlaat en de pompen.

2. Programma van Eisen/Regelgeving

2.1. Programma van Eisen

Om te kunnen beoordelen welke uitgangspunten en voorwaarden vanuit het Delta21-plan aan een bagger- en opspuitplan worden gesteld, is onderzocht of er een Programma van Eisen is opgesteld. Het Delta21-plan is echter niet voorzien van een los document dat aan het plan als Programma van Eisen is gehecht. In de update van het Delta21-plan 2019 is echter een aantal doelstellingen verwoord die als uitgangspunten in een Programma van Eisen kunnen worden opgenomen. Deze zijn ook in hoofdstuk 1 paragraaf 1.1 van onderhavig rapport opgenomen en verwoord. In de verdere uitwerking van de uitgangspunten zijn de in paragraaf 1.1. benoemde punten meegewogen.

2.2. Regelgeving

De onderleggers voor het bagger- en opspuitplan moeten worden getoetst aan de van toepassing zijnde wet- en regelgeving (Wet en Regelgeving, 2021). Daarnaast zullen voor de werkzaamheden vergunningsaanvragen worden ingediend, waar wordt beoordeeld of aan de regelgeving wordt voldaan. De noodzakelijkheid van toetsing op de regelgeving is dan ook één van de uitgangspunten om tot een bagger- en opspuitplan te komen. Je kan hiervoor onderscheid maken in 3 onderdelen: voor het daadwerkelijke baggeren zelf, het transporteren van de baggerspecie en de bestemming van de baggerspecie.

In bijlage 1: 'Wet- en Regelgeving' staat de gedetailleerde omschrijving van de van toepassing zijnde wetten/besluiten.

Onderstaand is een selectie van wetten uit voornoemde bijlage weergegeven, die van toepassing zijn op de planvorming/uitvoering van het baggeren van het Energieopslagmeer. Dit, om ook een indicatie te geven waar er rekening mee moet worden gehouden. De opsomming is overigens niet limitatief.

Het toetsen aan de vereiste en van toepassing zijnde regelgeving van de in het onderhavige rapport bedachte ontwerpen, uitvoeringsmethodes e.d. heeft niet plaatsgevonden. De fase waarin het Delta21-plan zich momenteel bevindt, de onzekerheid dat het Delta21-plan daadwerkelijk tot stand komt en de kans dat in verloop van tijd de regelgeving wordt aangepast, rechtvaardigt de keuze om in deze fase niet tot toetsing op de wetgeving over te gaan.

3. De locatie-eigenschappen om het in te zetten materieel te kunnen bepalen

3.1. Specifieke locatie eigenschappen

Om een juiste keuze te maken voor het materieel dat wordt ingezet om het Energieopslagmeer te baggeren, moet er eerst gekeken worden naar de specifieke eigenschappen van de projectlocatie. Deze onderdelen zijn gekenmerkt met Prioriteit Hoog en Laag. De prioriteit status geeft aan in welke mate het uitgangspunt invloed zal hebben op het vervolg van het rapport. De onderdelen met prioriteit laag zijn wel onderzocht om ook te bepalen of deze onderdelen alsnog moeten worden verwerkt. Sommige onderdelen zijn zeer belangrijk maar kunnen door gebrekkige informatie danwel ontbrekende kennis niet op een juiste manier worden verwerkt. Een aantal onderwerpen van onderstaande opsomming zijn gebruikt voor de voortgang van het rapport. Deze onderdelen bevatten realistische meetbare waarde en fictieve aannames die per onderdeel onderbouwd zijn. De specifieke onderwerpen die zijn onderzocht betreffen:

➤ **Wind (richting en snelheid)**

Prioriteit: Hoog

De windgegevens zijn gemeten gegevens. Deze gegevens worden toegepast bij het bepalen van de strijklengtes (golfgroei) en bij de downtime berekeningen.

➤ **Bodemdiepte en Bodemkwaliteit**

Prioriteit: Hoog

De gegevens voor de bodemdiepte en bodemkwaliteit zijn aan de hand van dinoloket en Navionics bepaald. Echter door beperkte beschikbare grondgegevens is hier een aantal aannames gedaan voor de voortgang van het rapport. De bodemdiepte- en bodemkwaliteit gegevens zijn gebruikt voor het bepalen van de hoeveelheden grond en inzet van materieel (baggerschepen).

➤ **Stromingen (vanuit zee getij en vanuit de rivier)**

Prioriteit: Laag

De stromingen in het gebied zijn op basis van stromingskaarten bepaald. De stromingskaarten geven niet weer wat daadwerkelijk de stromingen zijn op de gebiedslocatie. Deze gegevens zullen dan ook niet worden ingepast in de rapportage, omdat dit door de onbekende variabelen een vervuiling geeft van de resultaten. De gegevens zijn ook meer bedoeld voor de positionering van de baggerschepen.

➤ **Golfhoogte**

Prioriteit: Hoog

De golfhoogtes zijn bepaald aan de hand van de gegevens van Rijkswaterstaat. Met behulp van deze golfgegevens is de downtime bepaald.

➤ **Afstand baggerlocatie tot stortlocatie**

Prioriteit: Laag

Dit onderdeel is behandeld om te bepalen welke stortlocaties er voor handen zijn. Aan de hand van deze gegevens is een keuze gemaakt voor de stortlocatie van de overige (onbruikbare) baggerspecie.

➤ **Klimaatverandering**

Prioriteit: Laag

Het onderdeel klimaatverandering en wat dit betekent voor het op te stellen bagger- en opspuitplan is verder niet onderzocht. De duinenrijen zijn wel op zeespiegelstijging berekend, en zijn de hoeveelheden daarop bepaald. Uitgangspunt is dat -als het plan ten uitvoer wordt gebracht – de zeespiegel nauwelijks is gestegen.

➤ **Eventuele obstakels en speciale gebieden**

Prioriteit: Laag

Dit onderdeel geeft de eventuele obstakels in het gebied weer. Uit onderzoek blijkt dat de mogelijkheid op wrakken aanwezig is, echter kan dit niet met zekerheid worden gezegd zolang er geen bodemscan van het gebied is gemaakt. Door het gebrek aan deze nauwkeurige informatie wordt dit onderdeel niet meegenomen voor het bepalen van de uitvoering.

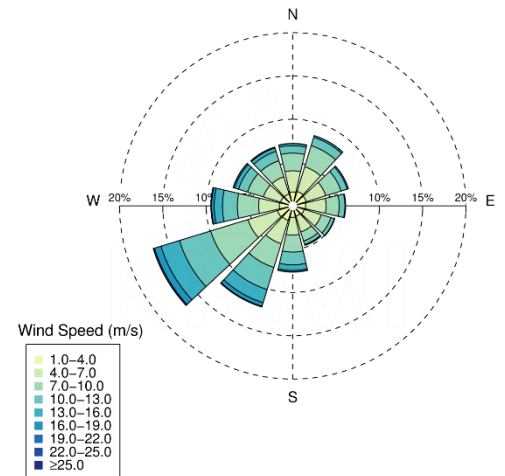
Voor genoemde items zijn onderstaand in de deelparagrafen verder uitgewerkt.

3.1.1. Wind

De windgegevens zijn benodigd voor het bepalen van de golfgroei en de downtime, dat weer invloed heeft op de fasering van het bagger- en opspuitplan. Dit heeft mede impact op de realisatieduur. De golfgroei in het Energieopslagmeer mag niet te hoog oplopen, waardoor de kans ontstaat dat baggerschepen niet operationeel kunnen zijn. Voor het bepalen van de golfgroei is de gemiddelde windsnelheid in het gebied benodigd. Verder is de grenswaarde van wind voor de downtime **15 m/s**. Dit betreft een aanname op basis van feedback van de begeleider van opsteller. De windsnelheden zijn bepaald door de Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI, 2020).

De KNMI heeft vanaf het jaar 1981 tot met 2020 windgegevens verzameld. In onderstaande tabel 1 staat de gemiddelde windsnelheid tussen de jaren 1981 en 2020 aangegeven. De gemiddelde windsnelheid bij het Lichteiland Goeree is als maatgevend weerstation voor de projectlocatie genomen, omdat dit de dichtstbijzijnde meetlocatie is voor de projectlocatie. In bijlage 2: Windgegevens Lichteiland Goeree staan alle windsnelheden per dag van 1981 tot 2021. Wat direct opvalt aan de gevonden data is dat de windsnelheden hoger liggen in de wintermaanden dan in de zomermaanden en daarmee dus ook een hogere downtime in de wintermaanden. In de wintermaanden zal dan ook een grotere golfgroei plaatsvinden. Figuur 4 dient als visualisatie van de dominante windrichting.

F010 WindRose for LEGO (1979–2013)



Figuur 4:
<https://www.knmiprojects.nl/projects/knw->

Weerstation	Gemiddelde windrichting	Gemiddelde windsnelheid
320	192 graden	6,96 m/s

Maand	Gemiddelde windrichting	Gemiddelde windsnelheid
Januari	199 graden	8,5 m/s
Februari	193 graden	7,9 m/s
Maart	188 graden	7,1 m/s
April	172 graden	6,2 m/s
Mei	167 graden	6,1 m/s
Juni	195 graden	5,9 m/s
Juli	199 graden	5,8 m/s
Augustus	202 graden	5,9 m/s
September	200 graden	6,7 m/s
Oktober	192 graden	7,6 m/s
November	200 graden	7,8 m/s
December	197 graden	8,2 m/s

Tabel 1: Windrichting en windsnelheid

3.1.2. Bodemdiepte en Bodemkwaliteit

Het bekend zijn van de bodemdiepte en bodemkwaliteit is noodzakelijk voor het bepalen van:

- de inzet van de baggerschepen. Baggerschepen hebben een bepaalde diepgang, waardoor deze niet overal inzetbaar zijn;
- de hoeveelheid te baggeren baggerspecie. Dit zal mede de realisatieduur bepalen;
- de inzetbaarheid van de (on)bruikbare baggerspecie.

Voornoemde items zijn ook noodzakelijk om uiteindelijk de fasering te kunnen vaststellen.

Op Dinoloket (DINOloket, 2021) zijn 12 bruikbare grondboringen beschikbaar en ook voor het onderzoek en rapportage toegepast. Door deze beperkte informatie neemt de onnauwkeurigheid toe in de berekeningen. Het is derhalve van belang dat in aanvullende onderzoeken meer informatie beschikbaar komt zodat door meer grondboringen en bodemscans een beter beeld wordt verkregen en de nauwkeurigheid toeneemt van de hoeveelheid te baggeren baggerspecie, inclusief de samenstelling van de baggerspecie.

Uit korrelgrootte-onderzoek (DINOloket, 2021) is gebleken dat de grondopbouw van de 12 grondboringen voornamelijk uit zand midden categorie bestaat met een D50 van 200µm. Op onderstaande overzichtstekening figuur 5 staat met rode punten aangegeven (punten 1 t/m 12) welke grondboringen als bruikbaar zijn beschouwd en die in het rapport zijn betrokken. Veel van de grondboringen toonden niet meer dan een paar meter van de grondopbouw, enkele wat meer. De grondopbouw bestaat uit verschillende grondlagen, bestaande uit 3 lagen zand met afwijkende korrelgroottes en een enkele laag bestaande uit klei/veen. De opbouw is onderstand aangegeven. Een tweetal grondboringen zijn ter plaatste van de kust van Goeree-Overflakkee genomen. Deze bevinden zich ter plaatse van de toegangsgemaal, echter deze grondboringen gaan niet verder dan 2 á 3 meter. De grondlaag bestaat uit zand midden categorie en is het onbekend wat de samenstelling is van de onderliggende grondlagen. De grondboringen die geen duidelijke grondlagen weergeven, worden - naast het gebruik van Navionics (onderstaand hier meer informatie over) - gebruikt voor het bepalen van de bodemdiepte.

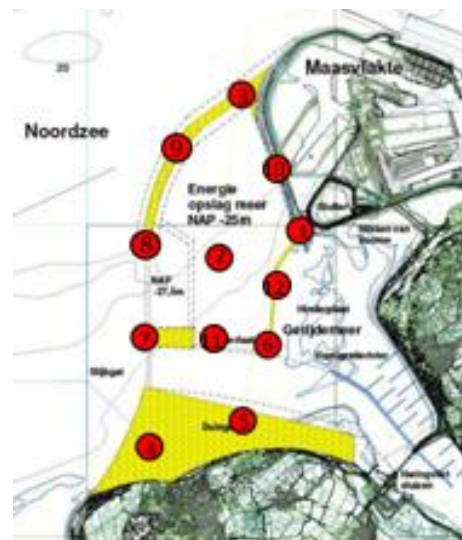
Er zijn vier verschillende type grondlagen in de grondboringen aangetroffen, dit zijn;

- Zand fijne categorie ; Korrelgrootte: tussen 105µm en 150µm
- Zand midden categorie ; Korrelgrootte: tussen 150µm en 210µm
- Zand grove categorie ; Korrelgrootte: tussen 210µm en 300µm
- Klei/veen ; Korrelgrootte: tussen <0,002µm

In het vervolg van de rapportage wordt gesproken over bruikbare en onbruikbare baggerspecie.

De baggerspecie is bruikbaar wanneer deze inzetbaar is voor de aanleg van de duinenrijen. Zand midden categorie en zand grove categorie zijn beide geschikt voor de aanleg van de duinenrijen, waardoor deze als bruikbare baggerspecie worden gezien. In rapportage (Dam van Delta21, 2020) paragraaf 3.2.6. Geotechnische randvoorwaarden is aangegeven dat de korrelgrootte van invloed is op het ontwerp van de duinenrij, waarbij is gesteld 'Hoe groter de korrel, hoe stabiel de duin en hoe kleiner het ontwerp van de duin.'

De baggerspecie is onbruikbaar wanneer deze niet inzetbaar is voor de aanleg van de duinenrijen. Zand fijne categorie zou weliswaar gebruikt kunnen worden voor de aanleg van de

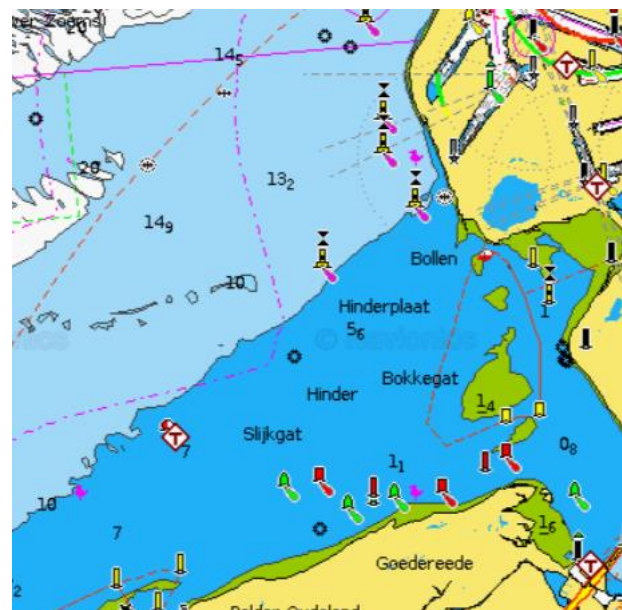


Figuur 5. Boringen projectlocatie

duinenrijen (heeft niet de voorkeur), echter blijkt uit het onderzoek naar de hoeveelheden van de te baggeren baggerspecie en het benodigde zand voor de aanleg van de duinenrijen, dat er voldoende zand midden categorie en zand grove categorie aanwezig is voor de aanleg van de duinenrijen. De kleilagen worden gezien als onbruikbare baggerspecie, omdat uit de grondboringen blijkt dat er inmenging van veen in deze lagen zit. Dit materiaal zal niet worden gebruikt voor de aanleg van de duinenrijen. Het is onbekend of de baggerspecie dusdanig vervuild is dat dit het hergebruik in de weg staat. Dat zal nader moeten worden onderzocht. Uitgangspunt is dan ook dat de baggerspecie voor zijn functie geschikt is.

De gemiddelde korreldiameter is **200µm**. De korreldiameter varieert in de projectgebied. De korreldiameter is van belang voor het bepalen van de productiesnelheden van de baggerschepen. In berekeningen wordt aan de hand van de korreldiameter de pijpdiameter en de zandmengselsnelheden van de zandkorrels door de pijp bepaald. De grondboringen en de korrelgrootte analysegrafieken zijn opgenomen in bijlage 4.

In figuur 6 is een gedetailleerde kaart te zien met daarop aangegeven de zeebodemdiepte voor de projectlocatie. Op basis van deze kaart in combinatie met de boringen van Dinoloket kan een goede inschatting worden gemaakt of de eerder genoemde dwarsprofielen van de bodem representatief zijn. Deze dwarsdoorsnedes worden gebruikt voor het opstellen van het baggerplan. Mochten er aanvullende grondboringen volgen dan kan de rapportage daarop worden getoetst. De bodemdiepte in het zuidelijke gebied ligt voornamelijk tussen de -1m en de -5m. De bodemdiepte gelegen aan de Noordkant van de projectlocatie ligt tussen de -5m en de -15m liggen. Deze waterdieptes zijn allemaal ten opzichte van NAP. De gedetailleerde gegevens van de bodemdieptes zijn vermeld in bijlage 3: Bodemdieptes. De bodemdieptes zijn van belang voor het bepalen van de fasering en de hoeveelheid te baggeren baggerspecie. Deze worden uitgewerkt in de hoofdstukken 4 en 8.



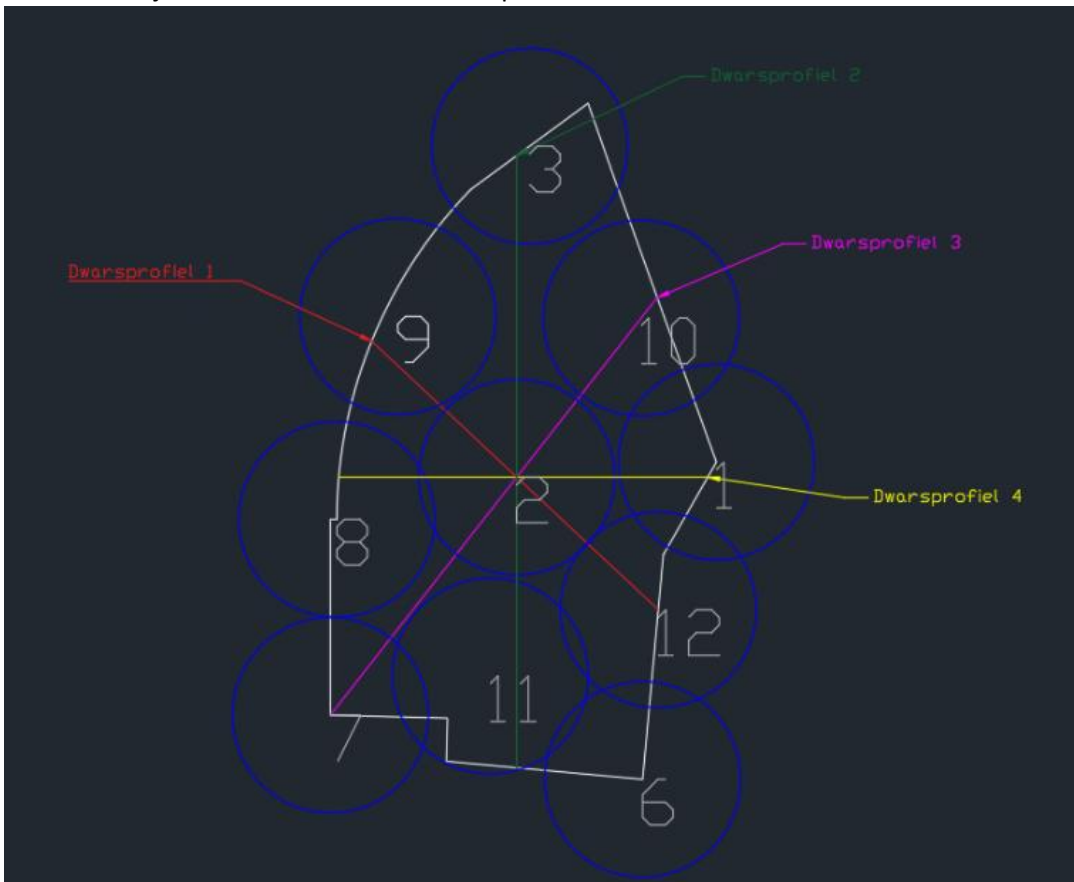
Figuur 6:
<https://webapp.navionics.com/#boating@8&key=%7Dqw%7BHm%7BcW>

Aan de hand van de boorgegevens van Dinoloket kan er een inschatting worden gemaakt voor de bodemopbouw. Om een zo'n nauwkeurig mogelijke inschatting te maken, zijn er drie onderdelen/bronnen benodigd:

- Ontwerptekening projectlocatie: hierin zijn de vier dwarsprofielen getekend met de op schaal bepaalde afstanden.
- Navionics (Navionics, 2020): deze bodemdieptetekeningen zijn gebruikt om de bodemdieptes vast te stellen waardoor de dwarsprofiellijn wordt getrokken. Navionics wordt normaal gesproken voornamelijk gebruikt als navigatie kaarten voor schippers. Hierin kunnen zij bepalen hoe diep de bodem is en/of er voldoende diepgang is voor het schip. Deze kaarten zijn redelijk nauwkeurig. Dit is van belang, omdat er anders de kans bestaat dat een schip vastloopt.

- Dinoloket: op de projectlocatie is een aantal boringen genomen. Deze boringen liggen verspreid over het gebied. Doordat de boringen niet in de buurt van elkaar liggen en omdat er maar een beperkt aantal boringen zijn, zijn er aannames gedaan voor het omliggende gebied rondom deze boringen.

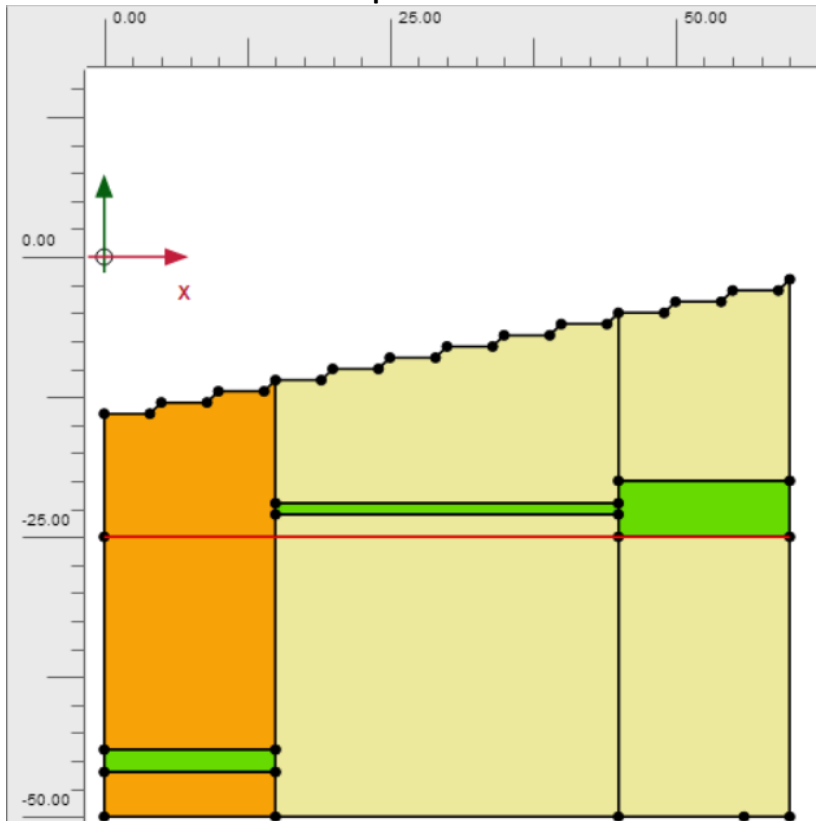
Er wordt aangenomen dat een radius van 1500 meter rondom de boringen maatgevend is. In AutoCad is dit tot een figuur verwerkt zie figuur 7. Verder wordt er aangenomen dat binnen de radius dezelfde grondopbouw aanwezig is als die van de grondboring. Dit is natuurlijk geen ideaal uitgangspunt, echter door de eerder genoemde beperkte beschikbaarheid van gegevens zal een aanname daarin moeten worden gedaan. Aan de hand van de gegevens zijn er vier dwarsprofielen opgesteld. Deze zijn uitgewerkt in Plaxis (zie bijlage 4). De dwarsprofielen dienen als visualisatie waaruit de grondlagen en de uiteindelijke hoeveelheden worden bepaald.



Figuur 7: Bovenaanzicht grondboringen met de radius en de dwarsprofiel lijnen

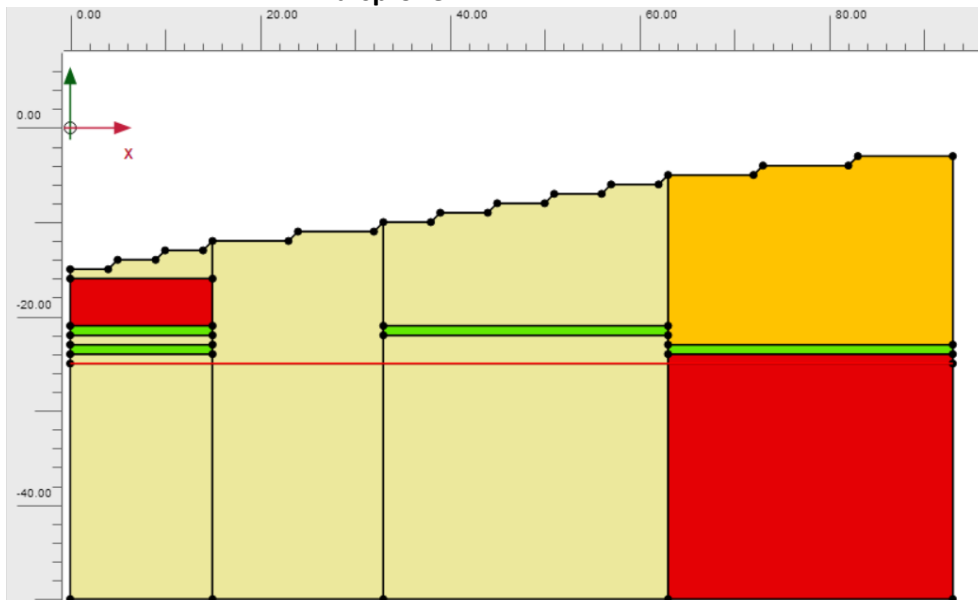
Onderstaand is weergegeven de vier Dwarsprofielen (zie figuren 8, 9, 10 en 11). Hoe deze dwarsprofielen door het projectgebied lopen is op figuur 7 te zien. De dwarsprofielen staan volledig uitgewerkt in bijlage 4. De kleurcodes staan in tabel 2.

- Dwarsprofiel 1:

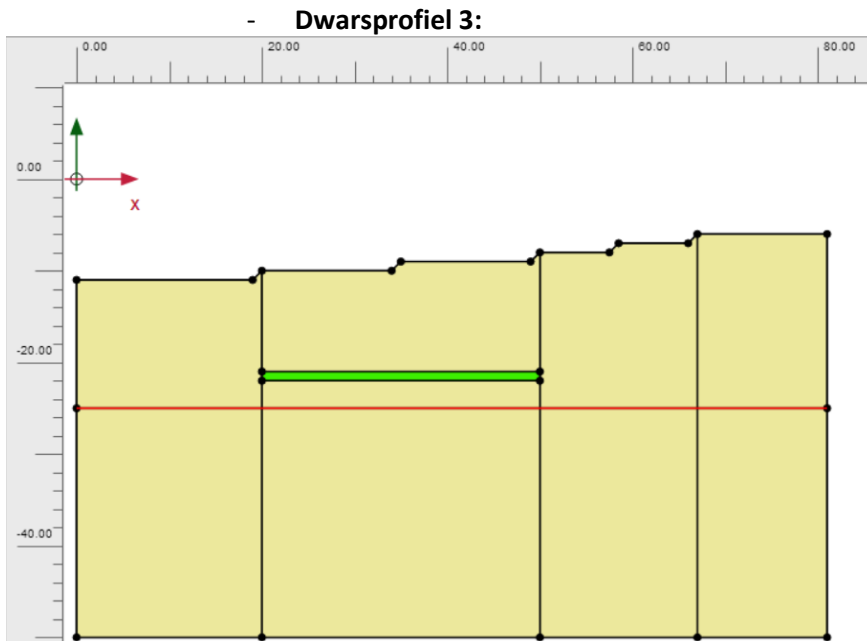


Figuur 8: Dwarsprofiel 1

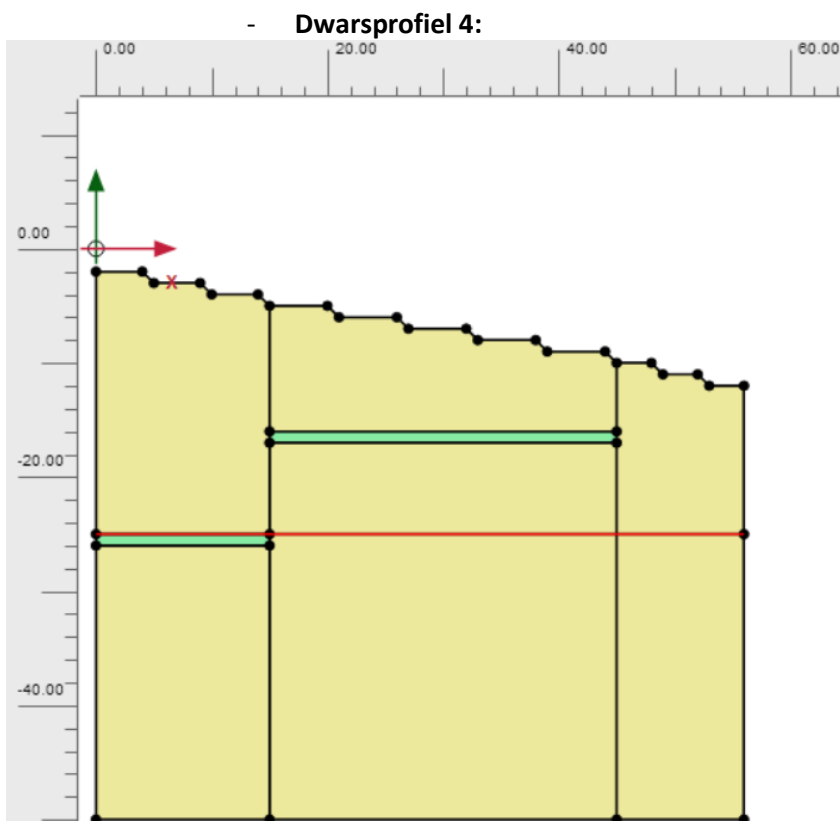
- Dwarsprofiel 2:



Figuur 9: Dwarsprofiel 2



Figuur 10: Dwarsprofiel 3



Figuur 11: Dwarsprofiel 4

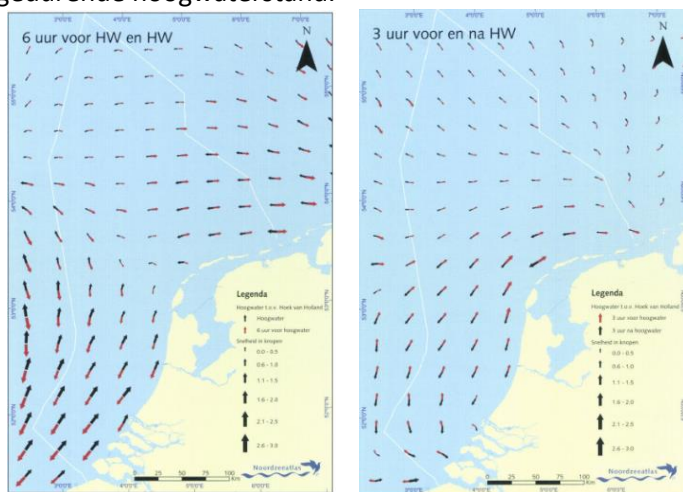
Kleurencodes	
Oranje	Zand [fijne categorie]
Groen	Klei
Grijs	Zand [midden categorie]
Rood	Zand [grove categorie]

Tabel 2: Kleurencodes dwarsprofielen

3.1.3. Stromingen

Er is eerder aangegeven om de stromingen niet mee te wegen in de rapportage.

Er zijn echter twee dominante stromingsrichtingen die invloed hebben op de richting van de golven. De golfrichting is wel bepalend voor het berekenen van de Downtime. Gedurende eb ligt de stromingsrichting tussen de 16 en 350 graden ten opzichte van het Noorden. Bij vloed ligt de dominante stromingsrichting tussen 225 en 235 graden ten opzichte van het Noorden. De stroomrichting is tweemaal daags in tegengestelde richting. Het meetpunt dat is gebruikt voor het bepalen van het bovenstaande stromingsrichtingen ligt relatief ver van de projectlocatie af. Dit wordt nu bij aanname als maatgevend beschouwd vanuit de meest dichtstbijzijnde locatie. De meetlocatie ligt bij Hoek van Holland. De gegevens zijn aangetroffen in het rapport: **Noordzee_atlas_2004**. De onderstaande twee figuren 12 en 13 geven een visualisatie weer van de dominante stroomrichtingen gedurende hoogwaterstand.



Figuur 12: Stromingsrichting 6 uur voor HW en 6 uur na HW
Figuur 13: Stroming 3 uur voor HW en 3 uur na HW

3.1.4. Klimaatverandering

De klimaatverandering zullen voor het stadium waarin Delta21 zich nu bevindt geen verdere invloed hebben voor bepalen van het bagger- en opspuitplan. In de onderstaande tabel 3 is de verwachte zeespiegelstijging voor de jaren 2050, 2100 en 2200 te zien. Dit geeft een goede indicatie weer waar rekening mee moet worden gehouden voor die onderwerpen waar klimaatverandering wel van invloed zal zijn. In een eerder opgesteld rapport bij Delta21 – waar studie is gedaan naar de opbouw van de duinenrijen – is ervoor gekozen om de situatie in 2100 als maatgevend te beschouwen. De verwachte maximale zeespiegelstijging in 2100 bedraagt + 0,85m. De verwachting is dat het project gerealiseerd kan worden binnen 5 jaar. In dit bagger rapport wordt daarom rekening gehouden met de huidige waterstanden en golfhoogtes. Deze waterstanden en golfhoogtes hebben invloed op het baggerproces. Door de klimaatverandering met de verwachte zeespiegelstijging te benoemen, kan er worden geanticipeerd op een situatie waarbij niet binnen 5 jaar wordt aangevangen met het project en mogelijk gevolgen heeft voor de aangehouden c.q. bepaalde uitgangspunten en daarmee het bagger- en opspuitplan.

Onderstaand is een tabel 3 vermeld welke is aangetroffen in voornoemde rapportage (Dam van, 2020) van de studie naar de duinenrijen en waarin een aantal scenario's staan aangegeven van de zeespiegelstijgingen en de verhoging van de dwarsprofielen in de tijd uitgezet.

Jaar	2050	2100	2200
Minimumscenario:			
Zeespiegel	+ 0,10	+ 0,20	+ 0,40
Verhoging dwarsprofiel	+ 0,10	+ 0,20	+ 0,40
Midden scenario:			
Zeespiegel	+ 0,30	+ 0,60	+ 1,20
Verhoging dwarsprofiel	+ 0,30	+ 0,60	+ 1,20
Maximumscenario:			
Zeespiegel	+ 0,45	+ 0,85	+ 1,70
Extra stormopzet	+ 0,40	+ 0,40	+ 0,40
Golfhoogte	+ 5%	+ 5%	+ 5%
Verhoging dwarsprofiel	+ 0,45	+ 0,85	+ 1,70

Tabel 3: Klimaatscenario's

3.1.5. Golfhoogte/waterstand

De waterstanden en de golfhoogtes in het projectgebied zijn van groot belang voor het functioneren van de baggerschepen. Aan de hand van de gemiddelde waterstanden is bepaald of de waterstand voldoende hoog blijft voor de gekozen baggerschepen om te kunnen blijven baggeren. De golfhoogtes zijn gebruikt voor het bepalen van de downtime voor de schepen. Deze waterstanden en golfhoogtes zijn vastgelegd bij het meetpunt 'het lichteiland Goeree' (Rijkswaterstaat golfhoogte, 2021). Zie bijlage 5: Gegevens Waterstanden Golfhoogtes Lichteiland Goeree en Bijlage 6 : Waterstanden Haringvliet in het Excel bestand. Vanuit dit Excel bestand zijn onderstaande tabellen tot stand gekomen.

De onderstaande tabel 4 is gegeven de gemiddelde HW (hoogwaterstand), LW (laagwaterstand) aan per maand. Verder zijn de maximale HW en minimale LW per maand bepaald. Deze gemiddelde zijn echter van één jaar genomen, zijnde 2020. De maximale en minimale waterstanden zijn hierin de maatgevende waterstanden.

Maand	Gemiddelde HW	Gemiddelde LW	Maximale HW	Minimale LW
Januari	131	-71	183	-101
Februari	131	-77	190	-109
Maart	132	-84	195	-112
April	143	-87	152	-113
Mei	123	-86	185	-108
Juni	123	-82	162	-104
Juli	129	-76	176	-102
Augustus	147	-72	196	-102
September	159	-71	212	-102
Oktober	136	-71	211	-100
November	145	-70	199	-88
December	138	-68	174	-94

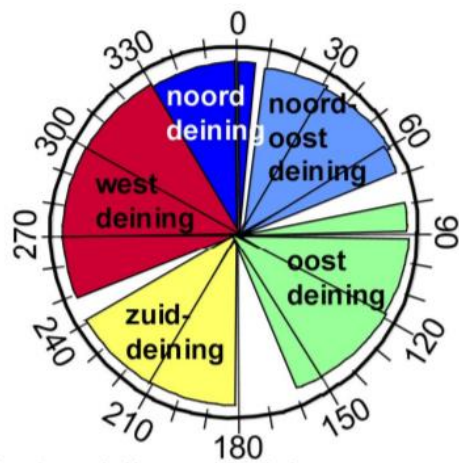
Tabel 4: Waterstanden

In onderstaand tabel 5 is de gemiddelde Significante golfhoogte en de significante golfperiode per maand weergegeven. Aan de hand van deze gegevens kan de downtime worden bepaald. De rood gearceerde waardes geven de wintermaanden weer. In de wintermaanden liggen de waardes hoger dan in de zomermaanden. Verder komt er ook meer stroming voor in wintermaanden die veel erosie aan de duinenrijen kunnen veroorzaken. De baggerschepen zullen voornamelijk last hebben van een verhoogde golfperiode. Golfperiodes tussen de 2 en 16 seconden kunnen voorkomen op de Noordzee. Op het lichteiland Goeree is enkel een significante golfperiodes tussen de 4 en 5 seconden waargenomen. In de wintermaanden neemt het aantal stormen toe met als gevolg dat de baggerschepen dan niet kunnen werken. Echter de downtime die door de golfperiodes worden veroorzaakt zijn volgens de gegevens vanuit Rijkswaterstaat gering, waardoor de downtime die eventueel zou kunnen optreden door de golfperiode wordt opgenomen in de downtime ontstaan door golven.

Maand	Significante golfhoogtes [Hs in cm]	Significante golfperiodes [Ts in sec]	Gemiddelde golfrichting (graden°)
Januari	125	4,52	262°
Februari	202	5,06	259°
Maart	130	4,37	246°
April	79	4,20	303°
Mei	92	4,42	311°
Juni	102	4,18	292°
Juli	100	4,27	288°
Augustus	97	4,21	290°
September	115	4,43	292°
Oktober	138	4,49	255°
November	110	4,26	260°
December	124	4,34	283°

Tabel 5: Significante golfhoogte, significante golfperiodes en gemiddelde golfrichting

De hierboven genoemde significante golfhoogtes zijn de maandelijkse gegevens. Dit zijn echter niet de gegevens waarmee de downtime is berekend. Voor de downtime berekeningen zijn de significante golfhoogtes van elke dag binnen een maand genomen. Hierna is gekeken hoeveel procent van de significante golfhoogtes boven de gestelde waarde komen. Dit is verder uitgewerkt in het Hoofdstuk 7 Downtime. Verder is de richting van de golven bepaald. Deze is bepaald bij de Eurogeul i.v.m. ontbrekende gegevens bij het Lichteiland Goeree. De dominante golfrichting komt vanuit het westen. Alles onder de 270 graden (zie figuur 14 voor verduidelijking) zal niet worden tegengehouden door de deels aangelegde Noordwest duin. De maanden waarin de golfrichting tussen de 180 en 270 graden zit, worden aangenomen als maatgevend voor de downtime berekeningen.



Figuur 14: Dominante golfrichtingen

3.1.6. Afstand baggerlocatie tot stortlocatie

Er is gekeken naar alternatieven voor het lossen van de overige baggerspecie die niet zal worden hergebruikt in de duinenrijen. Een gekozen alternatief vanuit Delta21 is het aanleggen van een duinengebied voor de kust van Goeree-Overflakkee (zie figuur 17 voor dit duinengebied). Een ander alternatief is de slufte. Deze ligt dichtbij de projectlocatie, echter er wordt alleen verontreinigde baggerspecie in de slufte gedumpt. Aanname is dat er geen verontreinigde baggerspecie aanwezig is.

Verder is er een aantal locaties voor de kust van Nederland waar onbruikbare baggerspecie kan worden gedumpt (Noordzee atlas, 2004). Dit zijn dan vooral plekken waar de omgeving rustig is, zodat de onbruikbare baggerspecie gemakkelijk bezinkt. Het storten van deze onbruikbare baggerspecie zal vallen onder de Wet verontreiniging zeewater. Zolang de onbruikbare baggerspecie relatief schoon is, kan het op zo'n locatie worden gestort. Is de baggerspecie te verontreinigd dan zal deze onbruikbare baggerspecie in de slufte moeten gedumpt worden. De baggerstortgebieden zijn op figuur 15 weergegeven.



Figuur 15: Baggerstortlocaties

3.1.7. Eventuele obstakels en speciale gebieden

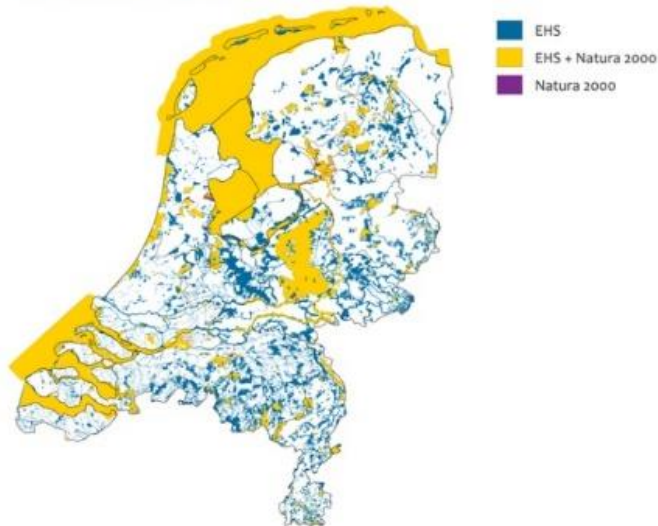
Het onderstaande zal niet direct invloed hebben op het onderhavige rapport. Het onderstaande is echter in hoofdlijnen onderzocht om te bezien of dit toch nog enige consequenties heeft. De onderzochte punten zijn:

- EHS + Natura2000 gebieden (Natura2000, 2021). Dit heeft effect op de gekozen taludhelling van de Oostelijke duinenrij. Verdere uitleg is te vinden in hoofdstuk 4 Grondberekeningen.
- Inrichtingskeuze voor de aanleg van het duinengebied (Delta21, 2019). Het duinengebied zal bepalen waar de onbruikbare baggerspecie die vrijkomt tijdens het baggeren van de projectlocatie moet worden gelost. In deze paragraaf wordt hier de keuze voor verduidelijkt. In hoofdstuk 4 Grondberekeningen paragraaf 6 wordt dit verder toegelicht.
- De locaties van de verontreinigde gebieden (Noordzeeloket, 2004). Dit bepaalt de hoeveelheid verontreinigde baggerspecie dat in de slufte moet worden gedumpt. Aanname is dat er geen verontreinigde grond in het gebied aanwezig is.
- In het te baggeren gebied liggen een aantal wrakken op de bodem (Noordzeeloket, 2004). De precieze locatie van deze wrakken is onbekend. Hier zal geen rekening mee worden gehouden in het onderhavige rapport. Door de onnauwkeurigheid van de locaties van de wrakken, zal dit in toekomstig onderzoek beter in beeld moeten worden gebracht.
- Tijdens de uitvoering van het Energieopslagmeer is de doelstelling dat een telecom/Electra kabel gelijktijdig moeten worden aangelegd (Noordzeeloket, 2004). De verwachting is dat vanuit deze hoek er meer steun zal komen voor de aanleg van het Energieopslagmeer.

3.1.7.1. EHS + Natura2000 gebieden

De projectlocatie ligt in een EHS + Natura 2000 gebied (figuur 16). Hierdoor zal er rekening mee gehouden moeten worden met de invulling van de omgeving. In het projectgebied ligt de Hinderplaat. Deze mag niet worden aangetast, omdat dit gebied wordt gebruikt door veel verschillende diersoorten. Doordat het projectgebied in een Natura 2000 gebied ligt, kan er niet zomaar zonder voorzorgsmaatregelen worden gebaggerd. Het baggeren kan de lokale Flora en Fauna aardig ontregelen. In dit stadium wordt er alleen voorkomen dat de Oost Duin niet wordt aangelegd tegen de Hinderplaat. Dit wordt voorkomen door de taludhelling van de Oost Duin zo te ontwerpen dat deze niet tot de Hinderplaat reikt.

EHS en Natura 2000-gebieden



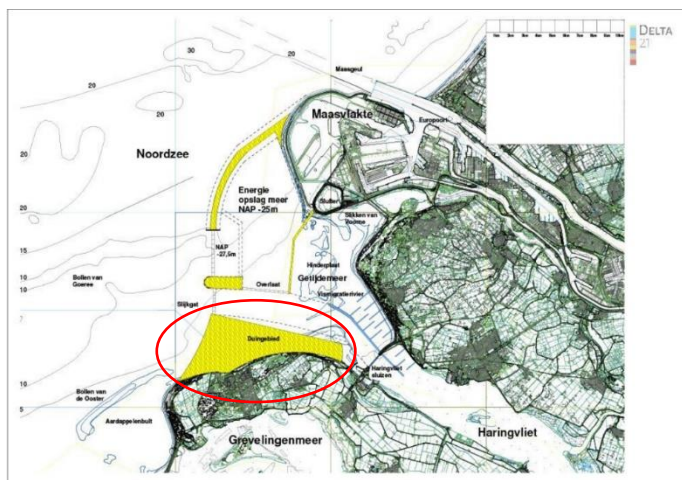
Bron: LNV.

PBI/aug07/1425
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Figuur 16: Natura2000/EHS gebieden. Bron: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl142501-begrenzing-van-het-natuurnetwerk-en-natura-2000-gebieden>

3.1.7.2. Indeling duinengebied

De bedoeling is dat het gebaggerde sediment dat gebaggerd wordt uit het Energieopslagmeer gebruikt wordt voor de aanleg van de duinenrij en het duinengebied bij Goeree. Ook moet met het gebaggerde sediment het duinengebied (zie figuur 17) worden opgespoten. Door aanpassingen in het ontwerp is dit duinengebied flink groter geworden. De inrichting van het gebied is nog niet bepaald. Dit gebied kan worden ingericht met natuurlijke duinen of er kan een strand van worden gemaakt. Dit is aan de gemeente Goeree-Overflakkee.



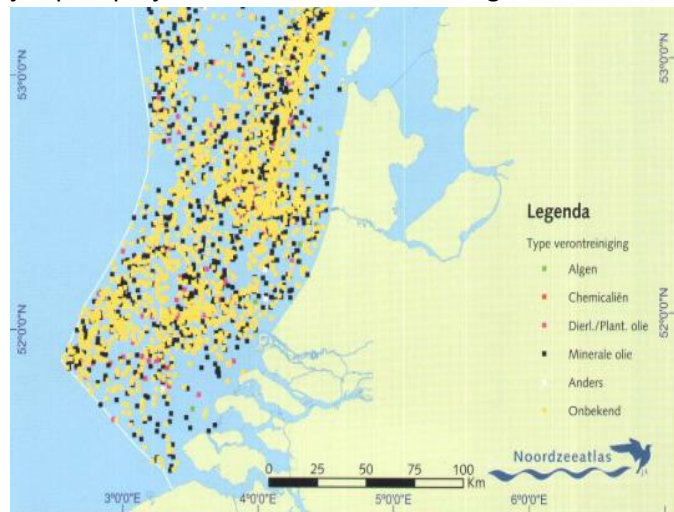
Figuur 17: Projectgebied

3.1.7.3. Verontreinigde gebieden

De verontreiniging op de projectlocatie zal relatief beperkt zijn. Volgens het onderstaande figuur 18 is te zien dat er geen verontreinigde gebieden zijn op de projectlocatie. De laatste meting komt uit 2002.

In 18 jaar kan er veel gebeurd zijn, maar met de huidige gegevens kan er voor nu vanuit worden gegaan dat er geen verontreinigingen in het gebied zijn. Dit betreft een aanname.

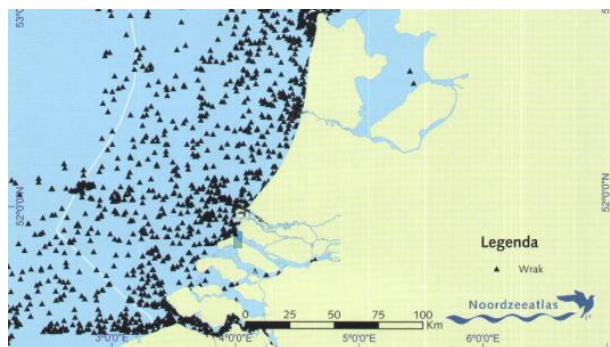
Tijdens het baggeren wordt de grond flink omgewoeld. Hierdoor kan het gebied behoorlijk vertroebeld raken dat negatieve effecten heeft op de ecologie. vertroebeling kan worden voorkomen door minder snel te baggeren. Mocht in de praktijk blijken dat er vertroebeling optreedt, dan zal de productiesnelheid moeten worden verlaagd.



Figuur 18: Verontreinigde gebieden. Bron: <https://www.Noordzeeloket.nl/>

3.1.7.4. Wrakken

Tijdens het baggeren van de projectlocatie moet er worden gelet op aanwezige wrakken. In naastliggend figuur 19 is te zien dat er zich op de projectlocatie een aantal wrakken bevinden. De precieze locatie van deze wrakken is onbekend. Er bestaat de kans dat de zee een aantal van deze wrakken zo heeft verweerd dat een wrak op meerdere plekken kan liggen. Daarom is het van belang dat voorafgaand aan het baggeren er een bodemscan wordt gemaakt om de precieze locaties van de wrakken vast te stellen. Hierdoor kunnen de wrakken tijdig worden geborgen zodat ze niet in de weg liggen tijdens het baggeren en dit voorkomt oponthoud tijdens het baggeren.



Figuur 19: Wrakgebieden. Bron: <https://www.Noordzeeloket.nl/>

De projectlocatie ligt in een gebied met hoge archeologische waarden. Zodra er tijdens de bodemscan een wrak wordt gevonden, kan deze niet zomaar worden gebaggerd. Deze zal eerst door archeologen moeten worden onderzocht, waarna deze kan worden verwijderd.

3.1.7.5. Telecom/Electra kabel

In naastliggend figuur 20 zijn de telecom/Electra kabels in het gebied te zien. De groene kabel wordt in de huidige situatie aangelegd. Een vergunning hiervoor is al gegeven. Daarom moet er een afspraak worden gemaakt wanneer deze kabel daadwerkelijk wordt aangelegd. De kabel kan tijdens de realisatie van het project tegelijkertijd worden aangelegd, zodat er gelijk rekening mee kan worden gehouden.



Figuur 20: Electra/Telecom kabels. Bron: <https://www.Noordzeeloket.nl/>

4. Grondberekeningen

Voor het opstellen van een bagger- en opspuitplan is het bepalen van de hoeveelheid te verwerken baggerspecie van belang. Dit vindt plaats via grondberekeningen, waarbij de hoeveelheden worden bepaald van de te baggeren baggerspecie en afhankelijk van het project het onderscheid in bruikbare en onbruikbare baggerspecie. Het opnieuw hergebruiken in een project wordt als bruikbare baggerspecie (voor zijn functie geschikt) beschouwd en als onbruikbare baggerspecie indien het moet worden afgevoerd buiten het project.

Om de hoeveelheden te kunnen bepalen en ook om te bezien hoe de (on)bruikbare baggerspecie te verwerken c.q. te kunnen toepassen, is er onderzoek gedaan naar de volgende onderwerpen:

- Duinontwerp;
- Losmethode;
- Verdichtingsmethode;
- Baggerhoeveelheden;
- Aansluitingen en bouwputten;
- Onbruikbare baggerspecie: kust Goeree-Overflakkee.

In onderstaande paragrafen is dit verder uitgewerkt.

4.1. Duinontwerp

Het Energieopslagmeer is rondom voorzien van duinenrijen, die (mede) worden gerealiseerd met hergebruik van baggerspecie, geschikt voor haar functie. Om te bezien hoeveel bruikbare baggerspecie daadwerkelijk voor de duinenrij noodzakelijk is, is het noodzakelijk om inzicht te krijgen in de opbouw van de duinenrij, niet alleen vanuit vorm doch ook vanuit samenstelling zodat de hoeveelheden kunnen worden bepaald. Daarnaast is het van belang om de taludsteilheden te weten, zowel onder waterpeil (i.v.m. baggeren/storten) als boven waterpeil (opspuiten).

Vanuit het Delta21-plan is er een 2-tal onderzoeken (Dam van Delta21, 2020) (Adrichem Delta21, 2021) gedaan naar de duinenrijen en de opbouw hiervan. Er heeft echter een herziening van het Delta21-plan plaatsgevonden. De Zuid duin en de Oost duin zijn na de herziening van het deltaplan ontstaan, waardoor deze twee duinenrijen nog niet zijn onderzocht. Het is niet onderzocht of in voornoemde rapportages de herziening tot enige wijziging leidt van het daarin opgenomen ontwerp van de Noordwest duin. De focus/de doelstelling van dit rapport ligt ook niet op het ontwerpen van deze duinenrijen. Om een vervolg te kunnen geven aan het opstellen van het baggerplan, wordt nu als aanname gedaan dat het ontwerp van de Zuid- en Oost duin gelijk is aan het ontwerp van de Noordwest duin.

Indien dit geen juist uitgangspunt blijkt te zijn, dan zal uiteindelijk de gedane grondberekening moeten worden herijkt op het juiste ontwerp van deze duinenrijen.

Er wordt verder ook niet gekeken naar eventuele stabiliteitsverbeteringen, duinbekleding of afslag. Dat is onderzocht in voornoemde rapporten. Aandachtspunt hierbij is dat er nog goed moet worden uitgezocht hoe deze duinen 'waterdicht' worden gemaakt. Door grotere druk vanuit afwijkende waterniveaus die zich in het meer gaan voordoen, komt er meer druk op deze duinen te staan. Verder zal een nader te bepalen bekleding/begroeiing van de duinen helpen bij het tegengaan van erosie.

In voornoemde rapportages is de Noordwest duin gecontroleerd op stabiliteit. Uit het onderzoek blijkt dat een helling van 1:4 nog toepasbaar is. Zie site Delta21 <https://www.delta21.nl/stabiliteit-talud-energieopslagmeer/>. Als aanname is deze taludhelling 1:4 ook aangehouden voor de buitenzijdes van

zowel de Zuid als de Oost duin. De verwachting is dat er geen grote golven vanuit de rivier ontstaan, waardoor deze golven ook sneller breken alvorens ze de top bereiken.

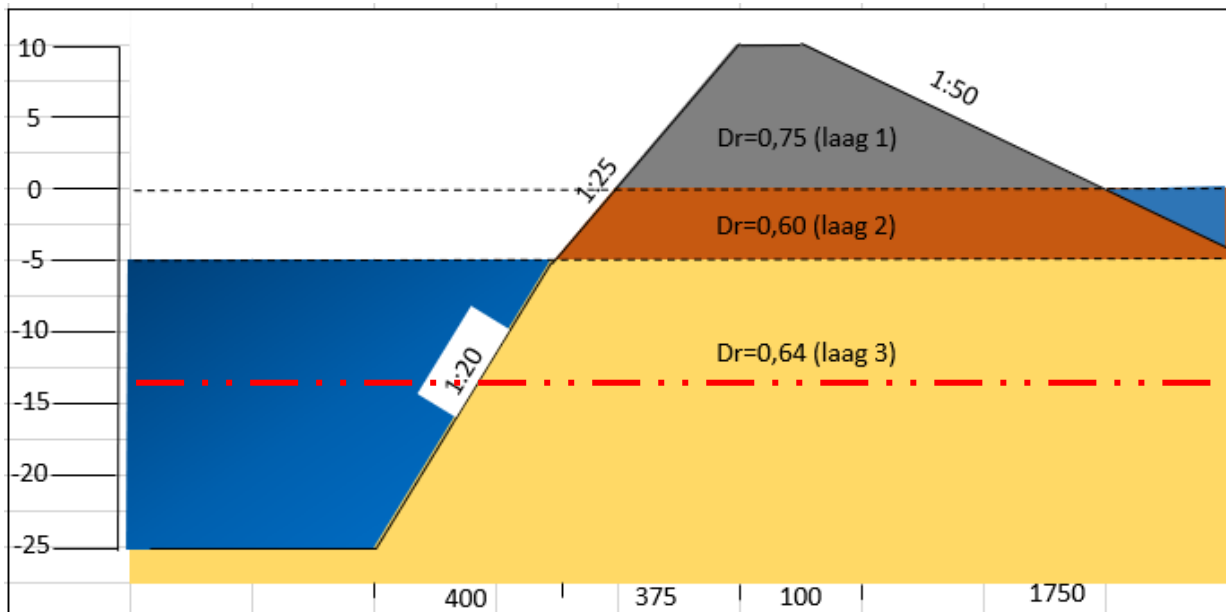
De reden dat een taludhelling van 1:4 wordt toegepast, is de beperkte ruimte van aanleg die bij beide van toepassing is. Langs de Zuid duin ligt de Toegangsgeul en langs de Oost duin de Hinderplaat. De Toegangsgeul kan niet de vereiste diepte langs de Zuid duin halen als het talud te breed is. Verder mag er niet worden gebaggerd of gelost op de Hinderplaat. De Hinderplaat behoort namelijk tot het Natura2000 gebied. De rapporten die zijn gebruikt voor het bepalen van de visualisaties van de ontwerpen voor de duinenrij staan in de bronnenlijst Dam van Delta21, 2020 en Adrichem Delta21, 2021). Een talud van 1:4 is minder stabiel dan een talud van 1:20. Hierdoor zal extra goed moeten worden gekeken naar stabiliteitsverbeteringen en bekledingen voor het tegengaan van erosie.

In onderstaande dwarsdoorsnedes zijn de drie duinenontwerpen gevisualiseerd. Deze dwarsdoorsnedes dienen alleen ter visualisatie en betreffen geen ontwerptekeningen die gebruikt kunnen worden voor de daadwerkelijke realisatie van de duinen.

Onderstaande dwarsdoorsnedes zijn voorzien van een lengte aanduiding van de duin, inclusief de hoeveelheid benodigde baggerspecievolume dat moet worden aangebracht om tot het ontwerp van de duinenrij te komen. De berekening van de hoeveelheid aan te brengen baggerspecie ten behoeve van de duinenrijen is uitgewerkt in bijlage 7.

Het NAP wordt in de onderstaande figuren aangegeven met een zwarte stippellijn op 0 m. De Noordwest duin wordt vanaf -13 m NAP opgebouwd tot 10 m boven NAP (figuur 21). De Zuid duin wordt van -4 m NAP tot 10 m boven NAP aangelegd (figuur 22) en de Oost duin wordt tussen -2 m NAP en 10 m boven NAP aangelegd (figuur 23). De bodemlijnen zijn ook aangegeven met een rode stippellijn.

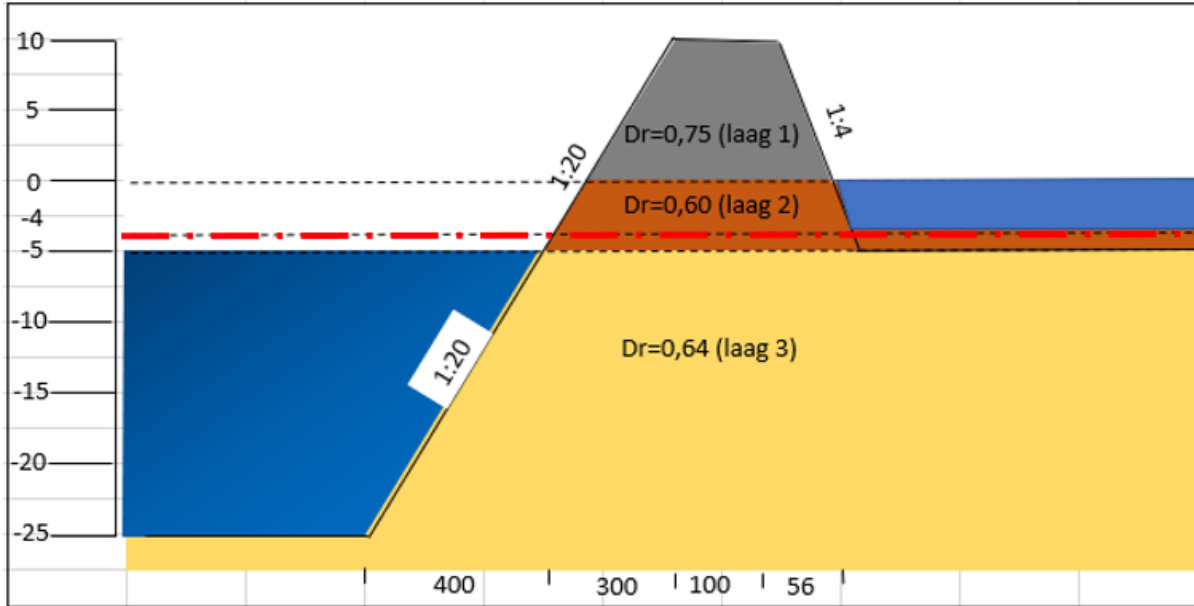
Noordwest duin:



Figuur 21: Visualisatie Noordwest duin

- Lengte duin : 8666 m
- Baggerspecievolume : 194 Mm³

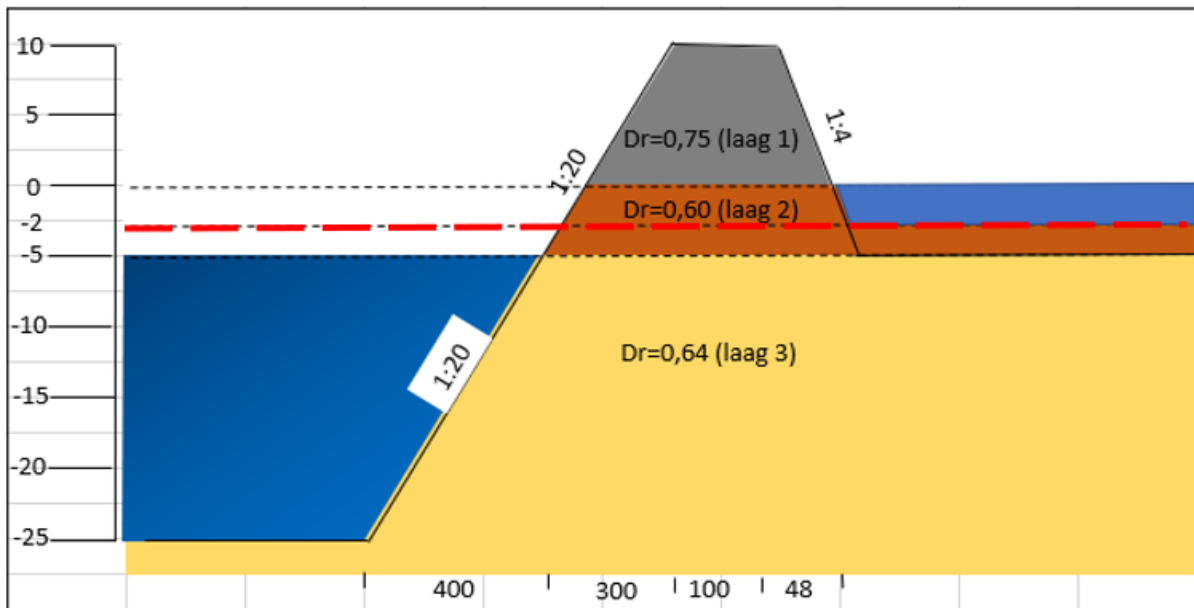
Zuid duin:



Figuur 22: Visualisatie Zuid duin

- Lengte : 2500 m
- Baggerspecievolume : 11 Mm³

Oost duin:



Figuur 23: Visualisatie Oost duin

- Lengte : 5700 m
- Baggerspecievolume : 20 Mm³

4.2. Losmethode

Voor het opstellen van een bagger- en opspuitplan is het bepalen van de losmethode van belang, omdat de wijze van lossen mede de inzet van het toe te passen materieel bepaalt en ook consequenties heeft voor de uiteindelijke uitvoeringstijd en daarmee de kosten.

In de bovenstaande visualisaties worden drie verschillende Dr (relatieve dichtheid) benoemd. Deze Dr is afhankelijk van de manier van aanbrengen. Het aanbrengen van de baggerspecie kan op verschillende manieren plaatsvinden. Elk wijze van lossen geeft zijn eigen Dr-waarde. Onderstaand is een opsomming gegeven van een aantal manieren van lossen met de daar bijbehorende Dr-waarde, zijnde (Baggeren Poptie, 2015):

- | | |
|---|--------------|
| ➤ Rainbowen (vanaf een TSHD) | Dr: 20-30% |
| ➤ Dumpen (vanaf een TSHD) | Dr: 30-40% |
| ➤ Persen door (zinker)leidingen waarna het water wegstroomt | Dr: 60-70% |
| ➤ Met dumpers aanleggen | Dr: 40-50% |
| ➤ Verdichtingsmethodes toepassen | Dr: tot 100% |

In Bijlage 16 ‘Relatieve grond dichtheid’ zijn de losmethodes uitgebreider uitgewerkt.

De keuze voor het lossen van de baggerspecie wordt als gevolg van de aanwezige bodemdikte beperkt tot de toepassing van Rainbowen vanaf een TSHD of persen door (zinker)leidingen. Het talud dat zich boven het waterpeil bevindt, zal door middel van Rainbowen of via persen door leidingen van baggerspecie worden voorzien. De gewenste taludsteilheid van 1:25, 1:20 en 1:4 zal echter niet door middel van Rainbowen danwel persleidingen ontstaan. Dit wordt uiteindelijk door middel van dumpers en kranen aangelegd door de aangebrachte baggerspecie te verwerken. Door het hierna te verdichten kan de geëiste Dr worden behaald.

De keuze voor de losmethode is belangrijk voor het baggerproces. De verschillende type losmethodes hebben namelijk alle een andere lostijd. Het is belangrijk dat er een losmethode wordt toegepast waarbij er een afweging is tussen uitvoeringstijd, inzet van materieel en kosten. De tijd die nodig is voor het lossen door middel van (zinker)leidingen is afhankelijk van de productiesnelheid van de baggerschepen. Rainbowen kost daarentegen meer tijd. Dit kan namelijk niet tegelijkertijd met het baggeren gebeuren. Een TSHD zal naar zijn loslocatie moeten varen, waarna het lossen ongeveer één uur in beslag neemt. Dumpen door de valdeuren aan de onderkant van de TSHD is een snellere manier van lossen, dit neemt ongeveer 5 minuten in beslag. Verder geeft dumpen ook een hogere Dr. Dumpen kan echter niet worden toegepast op deze projectlocatie, omdat er niet voldoende bodemdikte is om voor de valdeuren aan de onderkant van de TSHD open te laten gaan en is dit dan alleen beperkt tot daar waar i.v.m. het aanbrengen van een onderwatertalud, baggerspecie als aanvulling nodig is.

In hoofdstuk 8 faseringen wordt de gekozen losmethode benoemd. De twee losmethodes die worden toegepast in het uiteindelijke bagger- en opspuitplan is een combinatie van Rainbowen en persen door zinkerleidingen. De leidingen liggen daarbij dwars op de Toegangsgeul. Door de wens dat de Toegangsgeul gedurende realisatie van het Energieopslagmeer begaanbaar blijft, wordt er gebruik gemaakt van zinkerleidingen en niet van drijvende leidingen.

4.3. Verdichtingsmethode

Eerder is al genoemd dat er geen 'focus' ligt op het ontwerp van de duinenrijen. In onderhavig rapport is toch enige aandacht aan verdichtingsmethodes geschonken, om ook te toetsen of dit invloed heeft op het op te stellen bagger- en opspuitplan. Voor zover opsteller dit kan beoordelen is dit niet het geval, doch zal dit uit nader onderzoek naar verdichtingsmethodes moeten blijken. Enige verdichtingsmethodes zijn aangetroffen op de website van Cofra:

<https://cofra.com/nl/technieken/compactie/dynamische-compactie.html>. Hier staat een aantal verdichtingsmethodes die Cofra adviseert voor zand, waarbij een proctor dichtheid van 95% en 98% behaald kan worden. Deze verdichtingsmethodes verhogen de draagkracht van de grond. Alle onderstaande verdichtingsmethodes zorgen voor trillingen in de ondergrond die leiden tot de herschikking van de korrels. Deze trillingen worden veroorzaakt door de impact van de gewichten die deze machines gebruiken.

Uit de onderzoeken van Cofra volgt een aantal verdichtingsmethodes voor zand, zijnde:

- **Cofra Roller Compaction (CRC)**
De CRC-methode bestaat uit een kleine roller die in staat is de grond 2 tot 3 meter te verdichten. Door de niet-cirkelvormige rollers ontstaat er een hef- en valbeweging.
- **Cofra Dynamic Compaction (CDC) (figuur 24)**
De CDC-methode is een goedkope en snelle manier om de grond te verdichten. Een hydraulisch gewicht valt van een hoogte van 1,5 meter meerdere keren op een zelfde plek, waardoor de grond wordt verdicht tot een diepte van 7 tot 9 meter.
- **Dynamic Compaction (DC)**
Deze DC-methode werkt hetzelfde als de CDC-methode, echter valt het gewicht van een grotere hoogte in een vrijval op de ondergrond. Een verdichting tot een diepte van 10 tot 12 meter wordt hiermee gehaald.
- **Cofra Vibro Compaction (CVC)**
De CVC-methode wordt gebruikt om de grond op een diepte van 7 tot 9 meter te verdichten. De methode werkt als volgt: een stang wordt de grond ingebracht waarna deze zal gaan vibreren. Deze vibratie zorgt dat het water tussen de korrels verdwijnt. De grond moet daarom voldoende water doorlatend zijn en mag niet meer dan 10% fines (Zand fijne categorie) en 2% klei bevatten.



Figuur 24.: Cofra Dynamic Compaction

De vier bovenstaande verdichtingsmethodes kunnen worden toegepast voor het verdichten van de duinenrijen, doch zal dit in een ander onderzoek nader moeten worden onderzocht.

4.4. Baggerspecie hoeveelheden

Om de te baggeren baggerspecie te kunnen bepalen van het Energieopslagmeer, is het opslagmeer op basis van bodemdiepte opgedeeld in drie gebieden. Gebied I wordt gebaggerd door TSHD's (Trailing suction hopper dredger). De gebieden II en III zullen allereerst middels CSD's (cutter suction dredger) tot een diepte van -15 m NAP worden uitgebaggerd. Aansluitend zal er door middel van TSHD's verder worden gebaggerd en wel tot de gewenste bodemdiepte van -25 m NAP. Op figuur 25 staan de drie baggergebieden.

De keuze voor de voornoemde baggerschepen is uitgewerkt in hoofdstuk 6 en 8.

In hoofdstuk 3 is de bodemdiepte en de bodemopbouw vastgesteld, waardoor de hoeveelheid te baggeren baggerspecie kan worden bepaald. Aandachtspunt is dat de bodemdiepte en de bodemopbouw is bepaald op basis van een 12-tal grondboringen, wat gezien de afmeting van het te baggeren gebied (42 km²) te gering is om hier voldoende nauwkeurigheid aan te geven. De berekende hoeveelheden zullen derhalve moeten worden herijkt op het moment dat er aanvullende grondboringen beschikbaar worden gesteld. De berekeningen van onderstaande hoeveelheden zijn verder uitgewerkt in bijlage 8 en betreft de baggerspecie dat wordt gebaggerd.



Figuur 25: Baggergebieden

In onderstaande tabel 6 staan de baggerspecie hoeveelheden per gebied weergegeven:

	Baggergebied I	Baggergebied II	Baggergebied III	Totaal
Hoeveelheid baggerspecie (m³)	247.006.763 m ³	233.200.887 m ³	184.793.833 m ³	679.718.913 m ³
Soort grond	Zand midden categorie	Zand midden categorie	Zand midden categorie	Zand midden categorie
Dichtheid (kg/m³) zand (kwarts)	2650	2650	2650	2650
Dichtheid (kg/m³) water	1025	1025	1025	1025
Oppervlak (m²)	19.875.471	13.337.415	8.679.622	42.000.000

Tabel 6: Bagger hoeveelheden

De diepte van de projectlocatie is met behulp van Navionics bepaald, waarna met de hand en met autocad een indeling is gemaakt. Hieruit zijn drie gebieden ontstaan waaraan de onderstaande omgevingsgegevens zijn toebedeeld.

Omgevingsgegevens:

Omgevingsgegevens	Oppervlakte in m ²	Geëiste dieptes t.o.v. NAP	Huidige bodemdieptes t.o.v. NAP	Huidige bodemdieptes gemiddeld t.o.v. NAP
Totaal	42.000.000 m²	-25m en -27,5m	Tussen -15m en -2m	-
Gebied I	19.875.471 m ²	-25m	Tussen -15m en -10m	-12,5 m
Gebied II	13.337.415 m ²	-25m	Tussen -10m en -5m	-7,5 m
Gebied III	8.679.622 m ²	-25m	Tussen -5m en -2m	-3,5 m
Extra verdieping	5.886.972 m ²	-27,5m	Dit gebied verdeeld zich in de drie gebieden	-

Tabel 7: Omgevingsgegevens

Met behulp van de in tabel 7 vermelde omgevingsgegevens zijn de baggerspecievolumes van de gebieden bepaald en in onderstaande tabel 8 opgenomen. De Talud lengtes zijn aan de hand van de ontwerptekening zoals aangegeven in het Delta21-plan bepaald. De taludhelling van de duinenrijen die zich onder waterpeil bevinden, is gebaseerd op de ontwerptekeningen zoals deze in voornoemde paragraaf 'Duinenrij' is aangeven.

Een gedeelte van het gebied wordt onder waterpeil in taludvorm aangebracht met de juiste taludhelling (1:20). Dit vindt plaats met CSD's. In onderstaande tabel is onder "Talud volume" de hoeveelheid baggerspecie aangegeven die wordt gebaggerd door de CSD's in deze fase.

Volume baggerspecie berekeningen		
Gebied I		
Volume Baggerspecie zonder talud	248.443.388	m3
Talud Lengte	11.493	m
Helling talud	1:20	-
Talud volume	1.436.625	m3
Volume Baggerspecie met Talud	247.006.763	m3
Gebied II		
Volume Baggerspecie zonder talud	233.404.762	m3
Talud Lengte	1165	m
Helling talud	1:20	-
Talud volume	203.875	m3
Volume Baggerspecie met Talud	233.200.887	m3
Gebied III		
Volume Baggerspecie zonder talud	186.611.873	m3
Talud Lengte	8456	m
Helling talud	1:20	-
Talud volume	1.818.040	m3
Volume Baggerspecie met Talud	184.793.833	m3
Percentage per gebied dat naar -27,5 meter NAP		
Totaal oppervlak	5.886.972	m2
Gebied I extra	2.280.752	m2
Gebied II extra	3.606.220	m2
Extra verdieping van 2,5 meter		
Gebied I extra	5701880	m3
Gebied II extra	9015550	m3

Tabel 8: Bagger hoeveelheden per gebied

Verder is uitgewerkt de hoeveelheid baggerspecie van de Toegangsgeul. De geëiste bodemdpte voor de toegangsgeul is -8 m NAP. De geëiste breedte is 200 meter. De huidige bodemdpte is momenteel volgens Navionics -4 m NAP. Het bepalen van de taludsteilheid is niet opgenomen in dit rapport en is voor de berekening aangenomen dat dit een 'recht toe recht aan-constructie' betreft. Een onderwatertalud van 1:20 zou de stabiliteit voor een grotendeels garanderen, echter er moet rekening mee worden gehouden met de beperkte breedte. Dit zou leiden vanuit de geringe breedte tot het niet behalen van de geëiste bodemdpte van -8 NAP. Dit zal dan ook nader moeten worden onderzocht en is hier nu een aanname in gedaan.

In de onderstaande tabel 9 staan de waardes en hoeveelheden aangegeven.

Scheepsvaartgeul		
Geëiste diepte	8	m
Geëiste breedte	200	m
Totaal oppervlak	19.177.942	m ²
Bodemdiepte is -4 m NAP		
Extra verdieping 4 meter		
Hoeveelheden baggerspecie scheepsgeul		
Talud wordt niet meegenomen. Na het baggeren zal er een natuurlijk talud ontstaan.		
Volume baggerspecie	76.711.768	m ³

Tabel 9: Bagger hoeveelheden toegangsggeul

Een gedeelte van het gebied I en II wordt gebaggerd tot een diepte van -27,5 NAP. Het extra baggervolume dat daaruit volgt is in tabel 10 verwerkt.

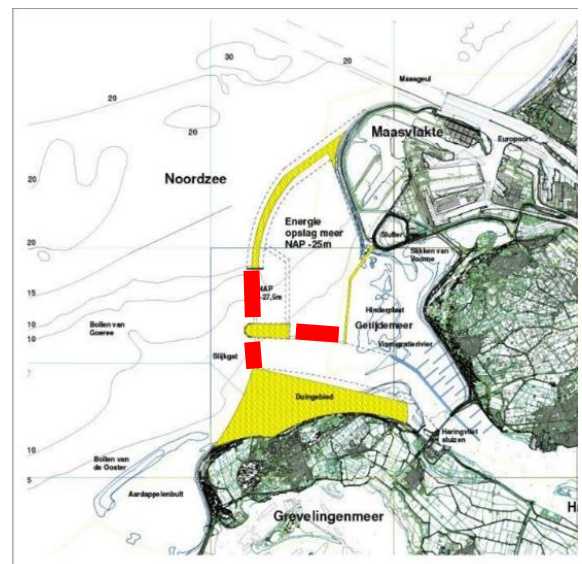
De onderstaande tabel 10 geeft per gebied de juiste baggervolumes aan en in het **groen het totaal te baggeren volume**.

Gebied I met extra verdieping	252 miljoen m ³
Gebied II met extra verdieping	242 miljoen m ³
Gebied III met extra verdieping	184 miljoen m ³
Toegangsggeul	76 miljoen m ³
Totaal met extra verdieping	755 miljoen m³

Tabel 10: . Bagger hoeveelheden

4.5. Aansluitingen en bouwwerken

Net zoals het ontwerp van de duinenrijen niet volledig is, geldt dit ook voor het ontwerp van de pompen/ turbines en de overlaatconstructie (hierna te noemen bouwwerken). Er ontbreken ook verdere gegevens hieromtrent. In onderhavige rapportage is derhalve een aanname gedaan dat voornoemde bouwwerken worden gerealiseerd, maar dat hierin het op te stellen bagger- en opspuitplan voornamelijk geen rekening mee gehouden hoeft te worden. De verwachting is dat de bouwwerken een positief effect zullen hebben op de downtime reductie. De bouwwerken zullen de gaten tussen de Noordwest duin, Zuid duin en Oost duin opvullen, waardoor er minder tot geen golven het projectgebied kunnen inkomen. Op figuur 26 is de positie te zien waar deze bouwwerken worden gerealiseerd en ook vanuit hun positionering en afsluitende werking voor reductie van de golven zullen zorgdragen.



Figuur 26: Visualisatie locatie bouwputten

4.6. Onbruikbare baggerspecie; kust Goeree-Overflakkee

In hoofdstuk 3.1.2. 'Bodemdieptes en Bodemkwaliteit' zijn vier dwarsprofielen gemaakt. Aan de hand van deze dwarsprofielen is er een onderscheid gemaakt tussen wat bruikbare en onbruikbare baggerspecie is. De baggerspecie is bruikbaar zodra het gebruikt kan worden voor de aanleg van de duinenrijen. Zodra dit niet het geval is, wordt de baggerspecie gezien als onbruikbaar. Op basis van de gemaakte en bestaande grondboringen zijn vier verschillende soorten baggerspecie geconstateerd en bepaald. Dit zijn;

- Zand fijne categorie : Korrelgrootte: tussen 105µm en 150µm
- Zand midden categorie : Korrelgrootte: tussen 150µm en 210µm
- Zand grove categorie : Korrelgrootte: tussen 210µm en 300µm
- Klei/veen : Korrelgrootte: tussen <0,002µm

Uit de grondboringen blijkt dat de kleilagen deels veen bevatten. Door de onnauwkeurigheid van deze boringen worden de kleilagen gezien als onbruikbare baggerspecie, omdat hier veen in zit. Uit de bemonstering en berekeningen is gebleken dat de baggerspecie voornamelijk Zand midden categorie betreft. Deze wordt gezien als bruikbare baggerspecie voor de aanleg van de duinenrijen en aldaar ook toegepast. Dit wordt aangevuld met een gedeelte van de baggerspecie met de kwaliteit Zand grove categorie. Mocht er in toekomstig onderzoek naar voren komen dat de duinenrijen op bepaalde plekken te zwak zijn dan zal het Zand grove categorie op deze plekken worden ingezet. Er zijn ook enkele lagen Zand fijne categorie op de boringen te zien. Doordat er genoeg Zand midden en grove categorie aanwezig is, wordt Zand fijne categorie niet gebruikt voor de aanleg van de duinenrijen en wordt de baggerspecie Zand fijne categorie te samen met Klei/veen als onbruikbare baggerspecie gezien.

Zoals aangegeven wordt een gedeelte van het te baggeren baggerspecie voor de duinenrijen gebruikt (zie voornoemde paragraaf Duinontwerp). De overige baggerspecie zal elders moeten worden gebruikt of gedumpt. Voor de kust van Goeree-Overflakkee is door Delta21 een gebied voorzien waar deze onbruikbare baggerspecie kan worden getransporteerd met als uitgangspunt dat de baggerspecie geschikt is voor het beoogde gebruik. Delta21 is nog in overleg met de gemeente Goeree-Overflakkee, om dit mogelijk te maken, doch thans is hier nog geen duidelijkheid over. Als aanname is nu gedaan dat de gemeente Goeree-Overflakkee zal instemmen met het voorstel van Delta21 en de onbruikbare baggerspecie aldaar kan worden gedumpt.

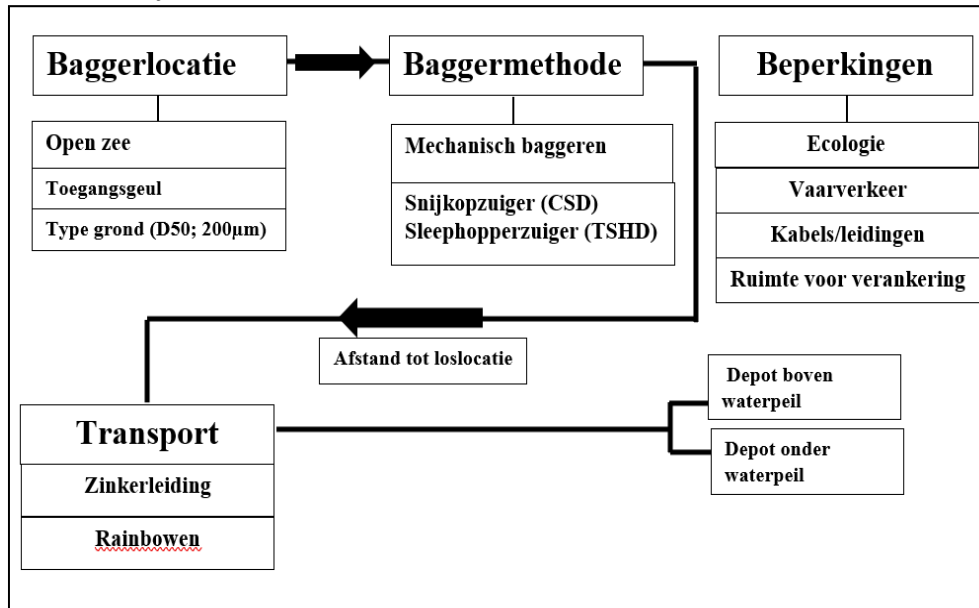
De oppervlakte van de nieuwe te vormen kustlijn in het Delta21-plan is bepaald aan de hand van de ontwerptekeningen van Delta21. De bodemdiepte voor de kust van Goeree-Overflakkee is daarbij onderzocht en in hoofdlijnen bekend. De onderstaande tabel 11 geeft de gebruikte waardes en de daarbij behorende antwoorden weer.

Duingebied Goeree			
Gemiddelde bodemdiepte	-3	m NAP	
Oppervlakte gebied	20.393.831	m ²	
Overige hoeveelheid baggerspecie	415.508.691	m ³	
Hoogte duinengebied	20,4	m	
Hoogte boven NAP	17,4	m	

Tabel 11: Duinengebied Goeree-Overflakkee

5. Baggermaterieel

Er is onderzocht welk type baggerschip het meest passende is om in te zetten voor de baggerwerkzaamheden in het Delta21-plan. Voor het baggeren van het Energieopslagmeer worden het type Snijkopzuiger (CSD) en Sleephopperzuiger (TSHD) ingezet (Baggertechniek, 1999). Er is daarbij rekening gehouden met de locatie/bereikbaarheid en haar eigenschappen, de methode van baggeren, de afstand tot de loslocatie waar de baggerspecie kan worden gedumpt, de wijze waarop transport van de baggerspecie plaatsvindt en waar uiteindelijk de baggerspecie wordt gedumpt. Tevens dient er rekening te worden gehouden met externe invloeden die de inzet en wijze van werken kan beperken. In figuur 27 is dit als 'procesboom' door opsteller verwoord in een schema om ook de onderlinge relatie te verduidelijken.



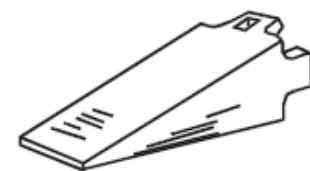
Figuur 27: Procesboom

In hoofdstuk 6 en 8 wordt de keuze voor de inzet van het type CSD en TSHD verduidelijkt met een verwijzing naar bijlage 9 en 10. In de bijlage 9 en 10 is ook de werking van de gekozen baggerschepen kort samengevat.

De schepen die worden ingezet beschikken over materieel waarmee ze gaan baggeren. Het belangrijkste onderdeel voor een TSHD is de draghead en voor de snijkopzuiger is dit de snijkop.

De draghead van een TSHD kan verschillende maten hebben. Via de site <http://nl.acir-marine.com/marine-dredging-equipment/tshd-components/universal-california-active-type-dredge-drag.html> kan er een keuze worden gemaakt van de draghead. De keuze voor het type draghead is verder niet in onderhavig rapport meegenomen en zal bij verdere technische uitwerking van het bagger- en opspuitplan moeten worden meegewogen.

Het verschil in de snijkoppen zit hem vooral in de diameter en het type tanden dat op de koppen wordt geïnstalleerd. Er wordt voornamelijk zand gebaggerd. De tand die hierbij hoort is de Wide Chisel zie figuur 28. Verder is er een aantal lagen die bestaan uit klei/veen. Deze CL Flared is de juiste tand voor deze lagen zie figuur 29. (vlasblom3-the-cutter-suction-dredger, 2005)



WIDE CHISEL

Figuur 28: Wide shisel zand baggers



CL FLARED

Figuur 29: CL Flared klei baggeren

6. Productiebaggermaterieel

Voor het opstellen van een bagger- en opspuitplan is het van belang om een keuze te maken in het type baggerschip met bijbehorende productiecapaciteit. Dit weegt ook door in de op te stellen planning en kosten. Om de productiecapaciteit te kunnen bepalen is het van groot belang welk type situ-materialen er moet worden gebaggerd. Vanuit de door Delta21 aangeleverde grondboringen is bepaald dat het op te zuigen materiaal voornamelijk uit zand bestaat. De dichtheid van het zand dat aanwezig is op de projectlocatie bedraagt 2650 kg/m^3 . Naast de dichtheid van het zand is de dichtheid van het water (zout: 1025 kg/m^3 / zoet: 1000 kg/m^3), de bodemdiepte en de plaats hoogte van de pomp van belang.

Verder is er een aantal eigenschappen van het schip die invloed hebben op de baggerproductie. Dit zijn o.a. de diameter van de snijkop en draghead en de pompcapaciteit van de baggerschepen. Hoe groter de diameter van de snijkop danwel de breedte van de draghead in combinatie met de pompcapaciteit hoe meer baggerspecie er kan worden opgezogen.

Om de berekeningen te maken die hebben geleid tot de uitkomsten zoals opgenomen in de tabellen 11 en 12, opgenomen in paragraaf 6.1 en 6.2, zijn er aannames gedaan in de onderliggende waardes van de berekeningen, daar waar mogelijk geverifieerd vanuit een aantal rapporten. Zonder input van gegevens die beschikbaar zijn bij baggerbedrijven, zijn deze aannames onvermijdelijk gebleken. Om toch de berekeningen te kunnen maken en een richting te geven, zijn de aannames gedaan. In overleg met de begeleider van het project van Delta21 (een oud-baggeraar) zijn de aannames gedaan. Via Delta21 is wel getracht om de benodigde waardes bij baggeraars op te vragen, echter is aangegeven dat deze gegevens als bedrijfsgeheim worden beschouwd en derhalve niet beschikbaar worden gesteld.

In paragraaf 6.1 is de productiesnelheid van een aantal CSD's bepaald en in paragraaf 6.2 voor een aantal TSHD's.

6.1. Productiesnijkop

Om de productiesnelheid te berekenen moet er eerst een Snijkopzuiger (CSD) worden gekozen. Er zijn in totaal 9 verschillende snijkopzuigers bekeken met verschillende grootte. Er zijn uiteindelijk **4 CSD's** gekozen op basis van de hoogste cyclusproductie. De cyclusproductie houdt in hoeveel kuub grond er in een uur kan worden gebaggerd rekening houdend met alle te nemen proces stappen.. Om tot deze productie snelheden te komen is er een aantal gegevens benodigd en zoals voornoemd is aangegeven zijn hier aannames in gedaan.

De volgende gegevens zijn bekend (Baggertechniek, 1999):

- Dichtheid zand (kwarts) : $2650 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
- Dichtheid water (zout) : $1025 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
- Dichtheid mengsel : $1500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
- Diameter zuigbuis : $1,1 \text{ [m]}$
- Mengselsnelheid : $5,0 \text{ [m/s]}$

Met behulp van het vak simulatie van baggeren is er voor een negental schepen op basis van een aantal aannames een aantal gegevens berekend (Hogeschool Rotterdam, 2021). De volledige Excel sheet van de berekeningen is te vinden in bijlage 9. In bijlage 9 staan ook de gebruikte formules. Tabel 12 geeft de baggerpompdebieten aan voor ieder gekozen schip, gebaseerd op de haal-/snij-/pompproductie,

De onderstaande gegevens worden gebruikt voor de fasering (zie Hoofdstuk 8). In de fasering wordt de downtime in de productie verwerkt. De vier vetgedrukte CSD's zijn de gekozen snijkopzuigers.¹

ID	Naam Dredger	Q-cyclus [m3/hrs]	Q-cyclus [m3/jaar]
1	CSD Helios	5159	45.189.233
2	CSD Taurus	3352	29.361.103
3	CSD Phoenix I	3352	29.361.103
4	CSD Edax	2311	20.242.703
5	CSD Jokra	1515	13.267.573
6	CSD Cyrus II	2777	24.327.771
7	CSD Artemis	4653	40.763.605
8	CSD Zheng He	4653	40.763.605
9	CSD Hondius	1909	16.721.414

Tabel 12: Productie snelheden snijkopzuigers

De productiecapaciteit van de schepen ligt eigenlijk veel hoger, echter omdat het schip verschillende stappen moet maken binnen het baggerproces en dit tijd kost, valt de cyclusproductie lager uit. De werkmethode van de CSD's wordt in bijlage 9 toegelicht. Hierdoor zal duidelijk worden, waar het schip door wordt vertraagd.

6.2. Productie sleeppopper

Er is voor een achttal sleeppopperzuigers (TSHD) de productie snelheden uitgerekend. Er staat in bijlage 10 een voorbeeld van een handberekening hoe deze berekening is uitgevoerd. Voor de andere schepen zijn de gebruikte formules verwerkt in een Excel-sheet zie bijlage 10. Uit deze 8 verschillende TSHD's is een keuze gemaakt welke in het werk kunnen worden gebruikt. Deze zijn gekozen op basis van de meest snelle productiesnelheden, echter er is uiteindelijk voor het type TSHD (Crestway) gekozen. Het type TSHD (Crestway) heeft een kleinere diepgang dan de andere types en geeft dit meer zekerheid bij eventuele onvoorziene ondiepe plekken. In onderstaande tabel 13 staat een achttal TSHD's. opgenomen. De gegevens van de vier vet gedrukte types zullen worden gebruikt om de fasering te bepalen. Hier zal dan de downtime overheen gaan waarna de daadwerkelijke productie zichtbaar wordt.

Naam Dredger	cyclus [sec]	Q-cyclus [m3/hrs]	Tijd productief [min]
Medway	7.884	2604	99
Beachway	9.246	2727	122
Waterway	7.410	2066	91
Willem van Oranje	11.366	4119	157
Crestway	7.083	2509	86
Gateway	11.366	4119	157
Oranje	11.332	5717	157
Prins der Nederlanden	11.332	5717	157

Tabel 13: Productie Sleeppopperzuigers

¹ De gebruikte gegevens zijn eenmaal gebruikt voor het vak simulatie van baggeren. De tabellen zijn met medestudenten eerder ingevuld, echter dit waren andere gegevens dan dat er in dit rapport zijn gebruikt. De basis is het zelfde maar de ingevoerde getallen niet.

Net als bij de snijkopzuigers geldt voor de sleepopperzuigers dat de productiecapaciteit niet de daadwerkelijke productie is en de cyclusproductie lager ligt vanuit het baggerproces dat wordt doorlopen. De cyclus waarmee rekening is gehouden bestaat uit een optelling van een gemiddelde lostijd van 1800 seconden (half uur), het keren van de TSHD's in een tijdsbestek van 120 seconden, inclusief de tijd dat ze productief zijn, waarna de daadwerkelijke baggerproductie naar voren komt (zie tabel 13). De tijd die het kost om naar de losplaats te varen wordt niet meegenomen in de berekening, omdat deze variabel is. De schepen zullen echter een gelijke vaarroute volgen waardoor t.o.v. van elkaar dit de uitkomst niet zal beïnvloeden. De inzet van de schepen is optimaal indien de schepen een volle beun hebben zodra zij aankomen bij de losplaats.

Om de beun te kunnen bepalen wordt de volgende formule aangehouden (CtWA5300-snikkopzuigers Sleepopperzuigers) (Veen-Bastien-van, 2001):

De dichtheid van het kwartszand in-situ is voor de Noordzee meestal in de verhouding van 60% zand en 40% water.

$$\rho_{zand(in-situ)} = (0,6 \times 2650) + (0,4 \times 1025) = 2000 \text{ kg/m}^3$$

Logischerwijs neemt de verhouding zand-water af in de beun. Hierdoor ontstaat er meestal een nieuwe verhouding van 55% zand en 45% water.

$$\rho_{zand(beun)} = (0,55 \times 2650) + (0,45 \times 1025) = 1919 \text{ kg/m}^3$$

De verhoudingsverandering tussen 60% en 55% is een verschil van 10% (60-40=20, 65-55=10, verschil tussen 20 en 10=10). Deze 10% valt binnen het verwachte beeld dat uit praktijkwaarden is bepaald.

Onderstaand de praktijkwaarden voor de vooruitlevering:

➤ Grind	0	-	5	%
➤ Grof tot fijn zand	5	-	10	%
➤ Gesteente	25	-	50	%
➤ Klei	25	-	75	%
➤ Slib	0	-	200	%

6.3. Productie winzuiger

De winzuiger heeft dezelfde productiesnelheid als een CDS. Echter, een winzuiger kan geen gladde bodem achterlaten en er zullen kuilen ontstaan. Uit het rapport:

<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:a657c46a-655a-4f61-8922-fa4e0f90186c/datastream/OBJ>.

zijn er van twee winzuigers de zuigproductietijden bekend. Dit zijn de twee winzuigers "Faunus" en "Moza".

Winzuigers zullen echter niet worden toegepast voor dit project, omdat het project grotendeels zal worden uitgevoerd op open zee. De downtime voor de winzuigers wordt hierdoor simpelweg te hoog, waardoor de winzuigers vrijwel niet kunnen werken in de van toepassing zijnde omstandigheden. In bijlage 17 is de baggerproductie vermeld.

6.4. Transporteren

6.4.1. Baggerspecie transporteren naar projectlocatie

Het transporteren van de gebaggerde baggerspecie kan op een aantal verschillende manieren plaatsvinden. Waar naar gekeken moet worden is welke wijze het meest passende is voor de projectlocatie. Bekend is dat de projectlocatie relatief ondiep is. De gemiddelde bodemdiepte ligt op ongeveer -5 m NAP.

Er zijn twee manieren van transporteren die veelvuldig worden toegepast. Dat zijn via een pijpleiding of via een zelf varende (TSHD).

De baggerspecie die wordt gebruikt voor de aanleg van de duinen wordt gewonnen op de projectlocatie zelf vanuit het op diepte brengen van het Energieopslagmeer. Dit heeft een groot voordeel. Er is eerder in dit rapport vermeld dat de baggerspecie die gewonnen wordt met het op diepte brengen van de projectlocatie gebruikt kan worden voor de duinenrij. Hierdoor is de afstand van de baggerlocatie tot aan de stortlocatie heel klein. Dit brengt als voordeel met zich mee dat er goed gebruik kan worden gemaakt van rainbowen. Tijdens het baggeren kan er gelijktijdig worden gestort. Zodra de aanleg van de duinenrij gereed is, moet de overige baggerspecie worden afgevoerd.

De overige baggerspecie kan worden gelost voor de kust bij Goeree. Dit zal gaan door middel van zinkerleidingen. De reden dat er gebruik wordt gemaakt van zinkerleidingen en niet van drijvende leidingen is de scheepvaart. De leidingen doorkruisen een vaarweg. Zodra je gebruik gaat maken van drijvende leidingen kan er geen enkel schip meer langs en dit is onacceptabel. Op figuur 30 is doormiddel van een rode lijn de route van de leidingen aangegeven. Er zal in totaal vier keer 9000 m (36.000 meter) zinkerleiding moeten worden aangelegd.

De slijtage van de zinkerleiding is sterk afhankelijk van de productie die je per week/maand/ jaar draait. Verder heeft de hoekigheid van het zand invloed op de slijtage. Er wordt vanuit gegaan dat er een normale slijtage plaats vindt. Na overleg met de begeleiders hierover is een aanname gedaan dat de zinkerleidingen een levensduur hebben van 2 á 3 jaar in volledig gebruik. Dit betekent dat de zinkerleidingen **éénmaal** vervangen moeten worden. Kosten voor het aanbrenen van de zinkerleidingen staan in de kostenraming. In bijlage 12 'baggerscenario's' zijn de zinkerleidingen verder toegelicht.



Figuur 30: Positie Zinkerleiding

6.4.2. Baggerspecie transporteren naar stortlocaties voor onbruikbare baggerspecie

Er zullen ook ladingen baggerspecie worden gewonnen die onbruikbaar zullen zijn voor de aanleg van de duinenrijen. Hierdoor zal de baggerspecie ergens moeten worden gedumpt op een daarvoor aangegeven locatie. De slufteer zoals eerder beschreven in paragraaf 3.1.6., is geen mogelijkheid.

De onbruikbare baggerspecie zal op twee manieren worden vervoerd. Zodra een TSHD dit baggert zal deze zelf naar de baggerstortlocatie kunnen varen en zodra het de onbruikbare baggerspecie door een CSD wordt gebaggerd dan zal deze via de pijpleiding voor de kust van Goeree worden gelost.



Figuur 31: Baggerstortlocatie

De onbruikbare baggerspecie bestaat voornamelijk uit schone klei en silt/veen. Aanname is dat de baggerspecie geschikt is voor de locatie (zie ook het gebruik bij de aanleg van de Markerwadden (zie : [Marker Wadden | Natuurmonumenten](#)) en de gemeente Goeree-Overflakkee hiervoor toestemming verleend. Wanneer hier geen toestemming voor wordt verleend dan zal onbruikbare baggerspecie moeten worden vervoerd door een zeebestendig transport schip, die de baggerspecie bij de baggerstortlocatie zal dumpen (zie figuur 31)

6.4.3. Baggerspecie transporteren naar tijdelijke opslaglocatie

Het baggerproces moet niet onnodig stil komen te liggen doordat de werkzaamheden aan de duinenrijen niet snel genoeg gaan ten opzichte van de baggerwerkzaamheden. Dit is een aandachtspunt, doch niet verder uitgewerkt in deze rapportage.

6.5. Survey

Een belangrijk onderdeel van het baggeren is de survey (meetbv, 2021). Tijdens het uitvoeren van het project moet er geregeld worden gemeten of de geëiste bodemdiepte wordt behaald. Mochten er plekken zijn waar deze diepte niet wordt behaald dan moet dit worden verrekend of worden hersteld. Door het geregeld monitoren van de bodem kan dit goed in de gaten worden gehouden. Het controleren wordt niet meegenomen in de fasering. Voor het stadium waarin Delta21 zich nu bevind is dit voorlopig nog niet interessant welk type survey er wordt uitgevoerd. Je hebt verschillende soorten manieren hoe je deze survey kan uitvoeren.

➤ De Multi Beam:

Met een multi beam worden hoogtekaarten gegenereerd, hoeveelheden, laagdiktes en verschillende bepaald. Dit gebeurt doormiddel van meerdere geluidgolven die onder verschillende hoeken naar de bodem worden gestuurd. Hiermee wordt een digitaal terreinmodel vervaardigd.

➤ Single Beam:

Een single beam echolood zendt geluidsgolven naar de bodem. De weerkaatsing vanaf de bodem wordt vastgelegd met een GPS-meettoestel. Hiermee kan de bodemligging worden vastgesteld. Groot voordeel van een single beam is dat deze bruikbaar is op hele ondiepe locaties.

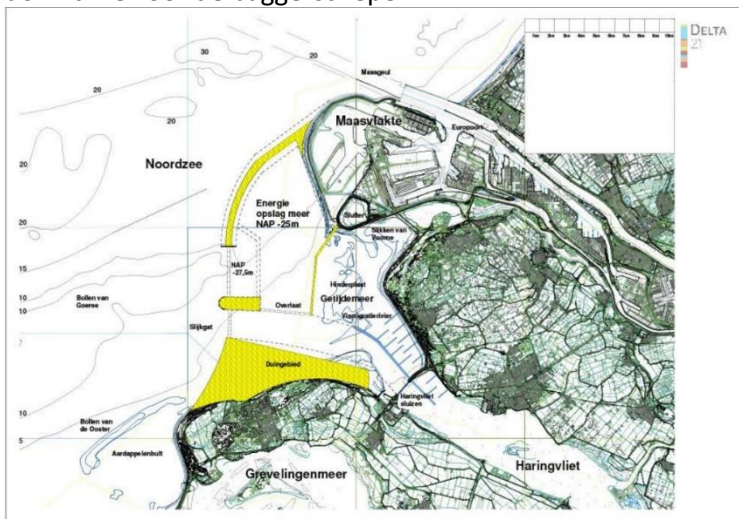
7. Downtime

7.1. Downtime zeewind- en golven

De downtime is de tijd waarin de schepen niet operationeel kunnen zijn. Dit komt dan vooral door de golfhoogte en de golfperiode in het gebied. Op basis van het rapport 'CtWA5300-Snijkopzuiger/Sleepkopzuiger' is er aangenomen dat kleine snijkopzuigers niet meer kunnen werken bij een waarde voor de Hs (significante golfhoogte) groter dan 0,5 meter en voor grote snijkopzuiger een Hs van 1,5 meter. De snijkopzuigers die in dit project worden gebruikt zijn grote snijkopzuigers. Een maximale Hs van 1,5 meter wordt hier dus als maatgevend genomen. De maximale Hs voor de TSHD's is op 2,0 meter gesteld.

Onderstaand is een aantal tabellen weergegeven met daarin per maand de overschrijdingspercentages hoger dan **Hs: 0,5 meter en 1,5 meter** weergegeven. De golven vanuit zee boven de 270 graden ten opzichte van het Noorden zullen geen invloed hebben op de snijkopzuigers (deze richting staat vermeld in hoofdstuk 3 paragraaf 5 golfhoogte/waterstanden). Dit volgt uit het gegeven dat de Noordwest duin allereerst wordt aangelegd alvorens de snijkopzuigers te werk zullen gaan. De Noordwest duin zal de golven onder de overschrijdingswaarde van 1,5 m brengen.

Naast de zeegolven kunnen er door de grootte van het Energieopslagmeer windgolven ontstaan. Deze windgolven zijn in onderstaande paragraaf uitgewerkt. Uit de berekening voor de overschrijdingsfrequentie voor de windgolven is gebleken dat deze geen effect hebben op de downtime. De percentages zijn dermate laag dat deze verder niet meer worden gebruikt voor de downtime voor de baggerschepen.



Figuur 32: Energieopslagmeer

In hoofdstuk 3.1.5. golven/waterstanden, is toegelicht waarom de golfperiodes niet maatgevend zijn voor de downtime in dit gebied. Een stormperiode met hoge golfperiodes is niet waargenomen in het jaar 2020. Het jaar 2020 is als maatgevend aangehouden voor het bepalen van de golfhoogtes en golfperiodes. De grote golfperiodes komen voornamelijk uit het noorden en hebben dus weinig invloed op de snijkopzuigers. Wel zal er meer afslag plaatsvinden op de Noordwest duin bij storm. Dit zal moeten worden gemonitord tijdens de uitvoering, waarna bij schade er eventuele herstelwerkzaamheden op Noordwest duin moeten worden uitgevoerd. Daardoor wordt er zorggedragen dat het gebied achter de Noordwest duin in de luwte blijft (figuur 32).

De onderstaande tabellen 14 t/m 17 geven de overschrijdingsfrequenties per maand weer. De vetgedrukte percentages zijn de percentages die niet worden gereduceerd door de Noordwest duin. De niet vetgedrukte percentages worden uiteindelijk op 5% gesteld (op basis van feedback van de begeleider van Delta21, omdat er diffractie zou kunnen optreden), omdat de Noordwest duin zorgt

draagt dat het achterliggende gebied in de luwte komt te liggen. De niet vetgedrukte percentages worden voor het berekenen van de baggerproducties in hoofdstuk 6 op **5%** downtime aangenomen i.p.v. de percentages die in onderstaande tabellen staan. Dit zijn de maanden die worden beschermd door de Noordwest duin.

Tabel 14 geeft de overschrijdingspercentages weer van de windsnelheden boven de 15 m/s. Dit zijn vrijwel verwaarloosbare percentages. De percentages zijn dan ook niet opgenomen als maatgevend, omdat bij hoge golven er meestal hoge windsnelheden gelden.

Snijkopzuiger overschrijdingspercentages: Bij windsnelheid van 15 m/s.

Maand	Overschrijdings-frequentie
Januari	3,8%
Februari	2,7%
Maart	0,9%
April	0,1%
Mei	0,3%
Juni	0,6%
Juli	0,4%
Augustus	0,4%
September	1,3%
Oktober	2,1%
November	1,9%
December	2,6%

Tabel 14: Snijkopzuiger overschrijdingspercentages: Bij windsnelheid van 15 m/s.

In tabel 15 staan de maatgevende overschrijdingspercentages voor de downtime. Met deze downtimegegevens zijn de productieberekeningen van de snijkopzuigers opgesteld.

**Snijkopzuiger/winzuiger overschrijdingspercentages:
Overschrijdingspercentages bij een Hs van 1,5 meter:**

Maand	Overschrijdings-frequentie
Januari	33%
Februari	69,39%
Maart	27,34%
April	5%
Mei	13,36%
Juni	19,54%
Juli	15,09%
Augustus	17,52%
September	18,34%
Oktober	38,78%
November	25,48%
December	20,21%

Tabel 15: Snijkopzuiger/winzuiger overschrijdingspercentages: Hs 1,5 m

Tabel 16 wordt niet als maatgevend beschouwd, omdat deze waarde gelden voor kleine snijkopzuigers die echter niet goed operationeel zijn in open zee. Er wordt voor het baggeren van het Energieopslagmeer alleen gebruik gemaakt van grote zeebestendige snijkopzuigers.

Overschrijdingspercentages bij een Hs van 0,5 meter:

Maand	Overschrijdings-frequentie
Januari	86,72%
Februari	95,57%
Maart	90,09%
April	66,23%
Mei	71,98%
Juni	58,83%
Juli	82,55%
Augustus	72,37%
September	80,66%
Oktober	99,93%
November	71,83%
December	90,06%

Tabel 16: Overschrijdingspercentages bij een Hs van 0,5 meter

Tabel 17 geeft de maatgevende overschrijdingspercentages weer voor de sleepopperzuigers.

Sleepopperoverschrijdingspercentages:

Overschrijdingspercentages bij een Hs van 2 meter:

Maand	Overschrijdings-frequentie
Januari	11,91%
Februari	56,73%
Maart	14,69%
April	1,92%
Mei	4,67%
Juni	6,44%
Juli	9,31%
Augustus	9,55%
September	9,42%
Oktober	12,70%
November	13,08%
December	12,89%

Tabel 17: Overschrijdingspercentages bij een Hs van 2 meter

7.2. Golfgroei/Strijklengte

De golfgroei/strijklengte is bepaald en uitgewerkt in bijlage 11. De uitwerking is hier verder niet aangegeven, omdat er is geconcludeerd dat de berekende maatgevende Hs (significante golfhoogte) en Ts (significante golfperiode) te verwaarlozen zijn. De downtime wordt hier niet door beïnvloed.

8. Fasering

8.1. Baggerscenario's

De projectlocatie is onderverdeeld in drie verschillende deelgebieden op basis van verschillende onderlinge bodemdieptes. Deze bodemdieptes zijn bepalend voor welk type schip het gebied kan baggeren. De gebiedsverdeling is geoptimaliseerd, zodat de minimale baggerdiepte van de gekozen schepen wordt behaald.

Er zijn aan de hand van meerdere brainstormsessies en verschillende feedback momenten tussen opsteller en begeleider van Delta21 en de Hogeschool Rotterdam 4 baggerscenario's bedacht. Er zijn meerdere verschillende scenario's te bedenken, echter is in overleg met de begeleiders besloten om onderhavig rapport te beperken tot deze 4 baggerscenario's. Daarbij komt baggerscenario 1.1 als meest passende baggerscenario naar voren.

De overige 3 baggerscenario's zijn opgenomen in bijlage 12 Baggerscenario's sheet 1, inclusief een verdere uitwerking van baggerscenario 1.1.

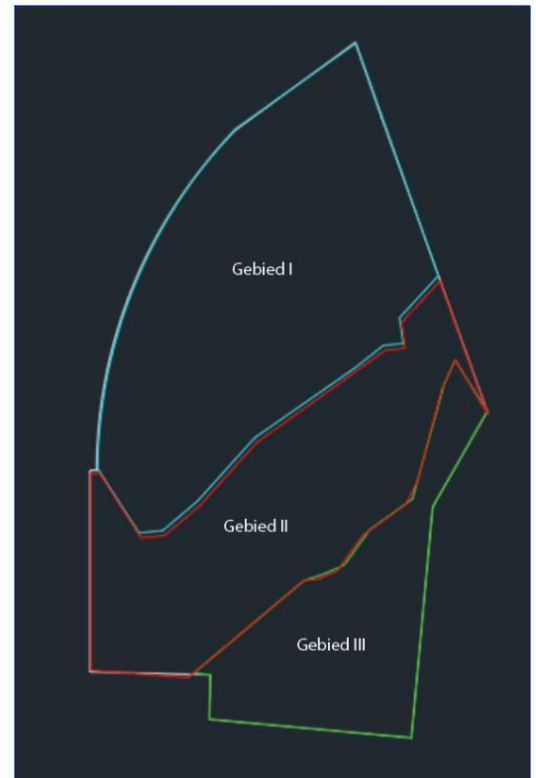
Samengevat leidt dit tot het volgende:

Baggerscenario 1.1:

Gebied I (zie figuur 33) wordt d.m.v. TSHD's tot een diepte van -25 m NAP gebaggerd. De bodem in dit gebied loopt van -10 m NAP tot -15 m NAP. Gebied I heeft voldoende diepgang om door de gekozen TSHD's te worden gebaggerd. Gebied II en III zullen in eerste instantie tot een diepte van -15 m NAP worden gebaggerd door CSD's, waarna TSHD's (TSHD's hebben een hogere productiesnelheid) de bodem tot een diepte van -25 m NAP baggeren. De huidige bodemdiepte van Gebied II ligt tussen de -5 m NAP en -10 m NAP. De bodemdiepte van Gebied III ligt tussen de -2 m NAP en -5 m NAP.

De Noordwest duin wordt voor 50% aangelegd. Door het aanleggen van de Noordwest duin zal er een luwte ontstaan voor het achterliggende gebied. Hierdoor is er vrijwel geen downtime meer door golven. De bepaalde downtime wordt op 5% gesteld i.v.m. de diffractie die langs de Noordwest duin ontstaat. Er zitten onvermijdelijke onnauwkeurigheden in de golfrichting. De Noordwest duin reduceert alleen de golven die vanuit het noorden, noordwesten en het westen komen.

Doordat er minder downtime is gerekend in dit scenario t.o.v. de andere scenario's, liggen de baggerschepen minder lang stil wat bevorderlijk is voor de realisatie duur.



Figuur 33: Gebiedsverdeling

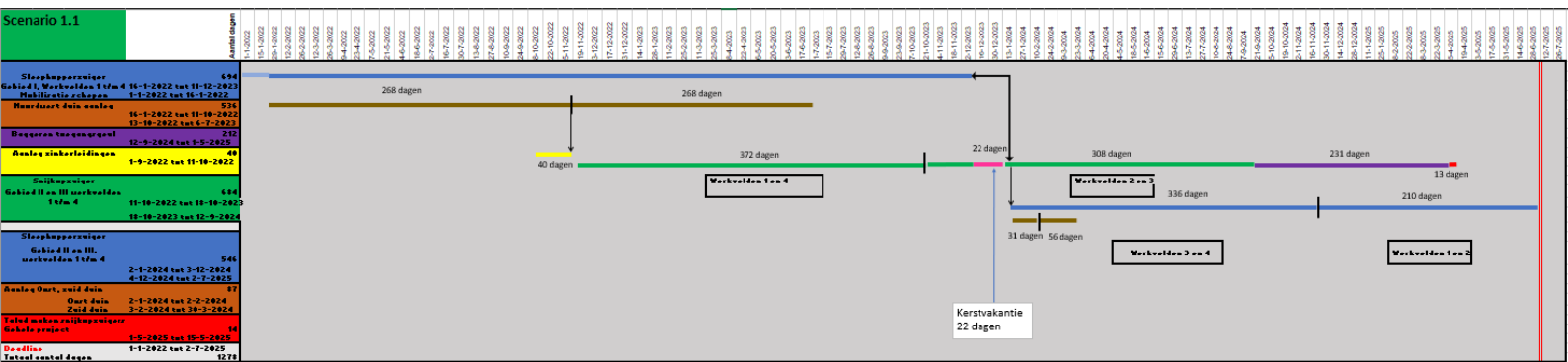
In bijlage 12 staat ook de visualisatie van baggerscenario 1.1 weergegeven, deze heeft echter meer toelichting nodig. De toelichting wordt gegeven in onderstaande paragraaf 8.2 fasering.

In paragraaf 8.2 is uiteengezet waarom dit het meest passende scenario is, waarbij de realisatieduur en kosten de belangrijkste maatgevende factoren zijn.

Baggerscenario 1.1 heeft twee significante voordelen: een lagere downtime en kortere realisatie duur. Hierdoor zijn de benodigde baggerschepen minder lang benodigd, met als voordeel lagere inzetkosten.

De realisatie duur wordt onderstaand verder besproken. De kosten daarentegen worden in Hoofdstuk 9 ‘Kostenraming’ verder uitgewerkt en toegelicht.

In paragraaf 8.2 ‘fasering’ is baggerscenario 1.1 in verschillende fases overzichtelijk opgedeeld. Dit heeft geleid tot het opstellen van het bagger- en opspuitplan, verwerkt in een balkenschema op basis van inzet van materieel in de tijd uitgezet (zie figuur 34). Het is gebaseerd op de verworven kennis en onderzoekgegevens die in het onderhavige rapport zijn uitgewerkt, inclusief de aannames die er zijn gedaan. Het schema geeft een goed beeld weer van de opbouw van de fasering. Onderstaand is de verkleinde versie weergegeven. Voor de vergrote versie zie bijlage 12.



Figuur 34. Balkenschema bagger- en opspuitplan

Aan de hand van het bovenstaande baggerscenario 1.1 is er een planning opgesteld. Deze planning is in paragraaf 8.3 uitgewerkt.

8.2 Fasering

Aan de hand van baggerscenario 1.1 is er een fasering opgesteld. De fasering is opgesteld om nauwkeuriger te kunnen bepalen waar en hoelang schepen in de deelgebieden baggeren en/ of de duinenrijen opspuiten, danwel baggerspecie moet worden afgevoerd. De tijd die een baggerschip nodig heeft om een bepaalde hoeveelheid te baggeren is bepaald in hoofdstuk 6. Aan de hand van de fasering kan ook de inzet van de schepen worden bepaald, waarbij meerdere baggerschepen tegelijkertijd operationeel kunnen zijn. Dit leidt uiteindelijk tot het kunnen vaststellen van de realisatieduur. Het optimaliseren van de fasering is dan ook erg belangrijk.

In de onderstaande fasering zijn er verschillende werkveldnummers benoemd. De baggerschepen hebben hun eigen en verschillende productiesnelheden. Op basis van deze productiesnelheden is de grootte van de werkvelden bepaald. De nummers zijn hierbij gekoppeld aan de schepen met de daarbij behorende werkveldoppervlaktes. Onderstaand is ook de verdeling van de werkvelden weergegeven. Deze werkvelden zijn zo bedacht dat een sloophopperzuiger danwel een snijkopzuiger heel systematisch het gebied kan baggeren. Dit, om ervoor zorg te dragen dat de betrouwbaarheid van het baggerproces wordt gewaarborgd.

Door de schepen elk een eigen werkveld toe te kennen, kunnen zij zonder al te veel rekening te hoeven houden met andere schepen te werk gaan. Door de vrije ruimte is er ook voldoende ruimte om te manoeuvreren. De TSHD's zullen keren op het moment dat de beun voor 50% gevuld is, zodat na het keren de overige 50% kan worden gevuld. Aansluitend varen ze terug naar de plek waar de Noordwest duin wordt aangelegd en waar de TSHD's kunnen lossen middels rainbows. Voor het aanbrengen van de Oost en Zuid duin wordt er gebruik gemaakt van dezelfde techniek.

Voor het aanleggen van de kust van Goeree zullen de schepen (CSD's en TSHD's) zich koppelen aan de zinkerleidingen. Op zinkerleidingen, om langdurige vaartijd te voorkomen. Het transport van de

baggerspecie wordt dan via de zinkerleidingen verzorgd. De CSD's zullen continue gekoppeld blijven aan de zinkerleidingen. De TSHD's koppelen zich na het vullen van de beun. Beide koppelingen vinden plaats middels zogenaamde kogelscharnieren.

Onderstaand is aangegeven welk type baggerschip, per werkveld en deelgebied wordt ingezet.

Gebied I:

Sleephopperzuigers

- Werkveld 1: TSHD Gateway
- Werkveld 2: TSHD Crestway
- Werkveld 3: TSHD Oranje
- Werkveld 4: TSHD Prins der Nederlanden

Gebied II en III:

Snijkopzuigers

- Werkveld 1: CSD Helios
- Werkveld 2: CSD Taurus
- Werkveld 3: CSD Artemis
- Werkveld 4: CSD Zheng He

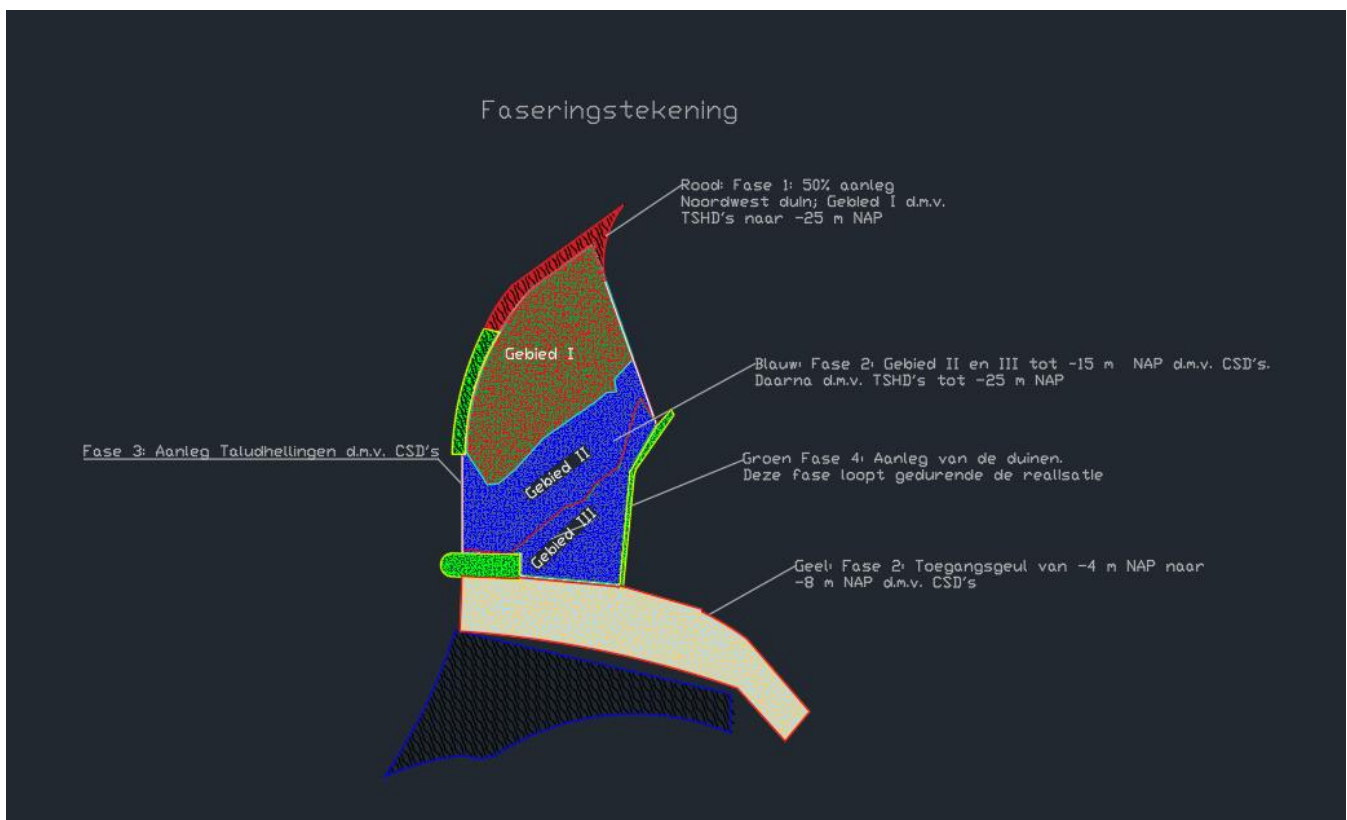
Sleephopperzuigers

- Werkveld 1: TSHD Gateway
- Werkveld 2: TSHD Crestway
- Werkveld 3: TSHD Oranje
- Werkveld 4: TSHD Prins Der Nederlanden

Toegangsgedul

- Wordt gebaggerd door de vier gekozen CSD's

Figuur 35 geeft het overzicht van de fasering weer. De verschillende fases zijn in één overzicht samengevat. De vermelde fases worden per fase in onderstaande paragrafen verder toegelicht. Voor de aan te houden downtime (incl Hmax) zie par. 7.1, voor de golfrichting zie par. 3.1.5, voor de opbouw duinenrij zie par. 4.1 en voor de baggerhoeveelheden zie par. 4.4.

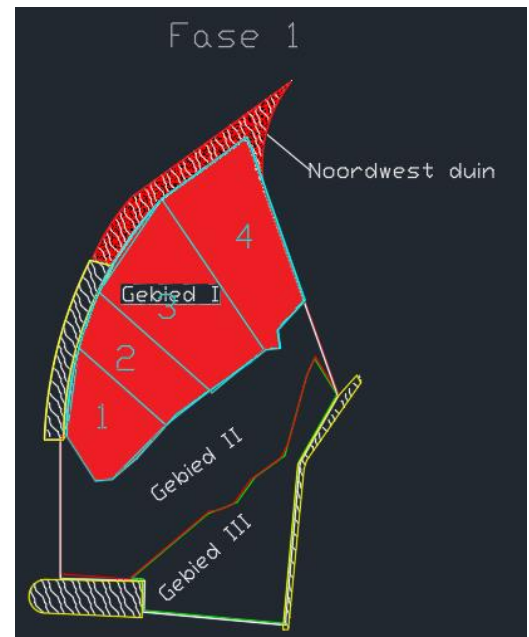


Figuur 35: Faseringssteking

Fase 1:

Aanleg Deelgebied I en de Noordwest duin (Rood gearceerd):

De Noordwest duin bevindt zich ten westen van de Maasvlakte II. De bodemdiepte in dit gebied ligt tussen de -12,5 en -15 m NAP. Ongeveer de helft van het Energieopslagmeer bevat deze diepte. Een TSHD (sleephopperzuiger) met een diepgang van niet meer dan 10 meter kan dit gebied baggeren en de Noordwest duin aanleggen. Door de Noordwest duin volledig aan te leggen, zal de rest van het projectgebied in de luwte komen te liggen met als gevolg een lagere golfhoogte en een gunstigere downtime. De Noordwest duin zal ook gelijk moeten worden verdicht. Deze verdichting zal zorgdragen dat de duin de geëiste dichtheid heeft, waardoor deze sterk genoeg is om bestand te zijn tegen storm. Als de aanleg van de Noordwest duin niet volledig wordt afgerond, zal er veel zandverlies optreden. Dit zand zal tevens kunnen teruglopen in het te baggeren gebied. Dit zorgt ervoor dat er meer gebaggerd moet worden en dat de Noordwest duin steeds herhaaldelijk moet worden hersteld. Al met al is het dus beter om de Noordwest duin volledig aan te leggen. Bij 50% voltooiing van de Noordwest duin zullen in werkveld 1 en 4 van gebied II en III de snijkopzuigers gaan baggeren. Dit om wachttijd te voorkomen. Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 8.3. Gebiedsverdeling.



Eigenschappen gefaseerd gebied:

- Aanvang bodemdiepte Gebied I ligt tussen de -10 m NAP en -15 m NAP naar een geëiste bodemdiepte van -25 m NAP.
- Totale oppervlakte Gebied I; **20 km²**
- Totale hoeveelheid baggerspecie; **250 Mm³ (miljoen kuub)**
- Totale hoeveelheid benodigd voor 50% aanleg Noordwest duin; **97 Mm³** (100% Noordwest duin 194 Mm³)
- Realisatie duur baggeren Gebied I; **694 dagen**
- Realisatie duur 50% aanleg Noordwest duin; **268 dagen**

Fase 2 :

Aanleg Deelgebied II en III (Blauw en Oranje gearceerd) van aanvang bodemdiepte naar -15 m NAP en voltooiing Noordwest duin + aanleg toegangseul:

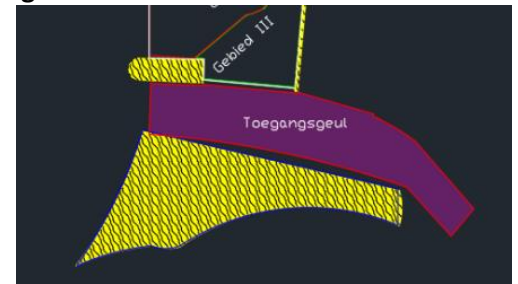
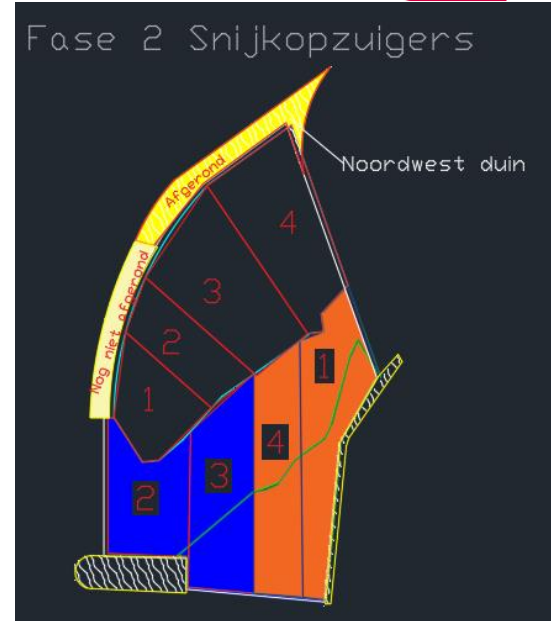
Fase 2 vangt tussentijds aan als Fase 1 nog niet is afgerond. Zo wordt door de TSHD's bijvoorbeeld nog het 2^e gedeelte van de Noordwest duin aangelegd. Zodra het werkgebied in de luwte ligt kan er gebruik worden gemaakt van de snijkopzuigers (werkveld 1 en 4). De snijkopzuigers kunnen in het gebied waar de bodemdiepte tussen de 0 en -5 m NAP ligt goed werken in tegenstelling tot een TSHD. De bodemdiepte zal hier naar -15 m NAP worden gebaggerd, waarna een TSHD in fase 3 het gebied verder op diepte brengt. Er worden grote CSD's gebruikt met daardoor een grotere diepgang dan t.o.v. kleinere types. De zeebodem loopt van diep naar ondiep van zee naar de kust. CSD's kunnen door haar baggertechniek een kanaal voor zichzelf uitgraven. Door deze methode kan er heel systematisch het gebied worden gebaggerd. Er zijn c.q. varen veel boten in het gebied en het is belangrijk dat de schepen een eigen werkveld hebben waar alleen zij werken. Hierdoor wordt de kans op ongelukken verkleind en daarmee ook vertraging vanuit 'falen' voorkomen. In deze fase zal ook de toegangseul worden

gebaggerd door de snijkopzuigers. Door de diepte van -4 m NAP kunnen hier alleen de snijkopzuigers baggeren. Na aanleg van het 2^e gedeelte van de Noordwest duin (overige 50%), volgt werkveld 2 en 3.

Eigenschappen gefaseerd gebied:

- Bestaande uit twee deelgebieden, Gebied II en Gebied III.
- Aanvang bodemdiepte Gebied II ligt tussen de -5 m NAP en de -10 m NAP.
- Aanvang bodemdiepte Gebied III ligt tussen de -2 m NAP en de -5 m NAP.
- Totale oppervlakte Gebied II en III; **22 km²**
- Totale hoeveelheid baggerspecie Gebied II en III tot -15 m NAP; **227 Mm³**
- Realisatie duur baggeren werkvelden 1 en 4; **372 dagen**
- Realisatie duur baggeren werkvelden 2 en 3; **308 dagen + 22 dagen vertraging wegens vakantie**
- Realisatie duur aanleggen overige 50% Noordwest duin; **268 dagen**

- Aanvang bodemdiepte Toegangseul -4 m NAP
- Totale oppervlakte Toegangseul; **19 km²**
- Totale hoeveelheid baggerspecie tot -8 m NAP; **76 Mm³**
- Totale realisatie duur Toegangseul; **231 dagen**



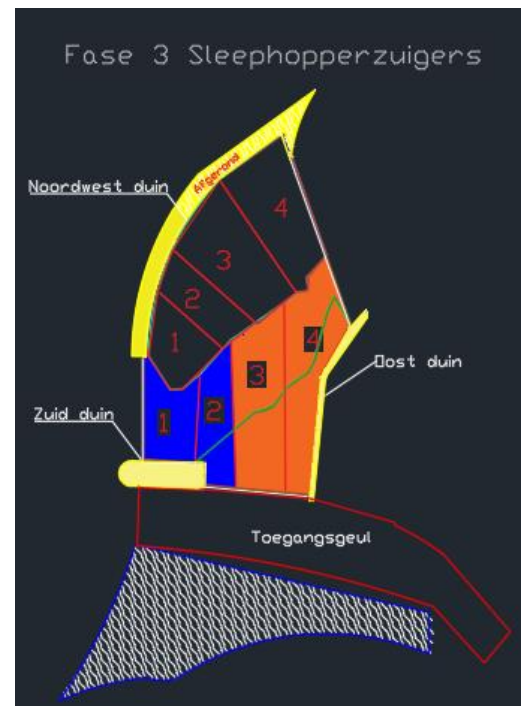
Fase 3

Aanleg Deelgebied II en III (Blauw en Oranje gearceerd) van -15 m NAP naar -25 m/ -27,5 m NAP, inclusief aanleg Zuid- en oost duin:

Fase 3 vangt aan als Fase 2 gedeeltelijk is afgerond. De CSD's hebben dan in fase 2 de werkvelden 1 en 4 afgerond en vangen zij aan met de werkvelden 2 en 3. De werkvelden 3 en 4 in fase 3 zijn bij aanvang van fase 3 voor een groot gedeelte geschikt om door TSHD's de bodemdiepte van -15 m NAP te baggeren naar -25m NAP. De CSD's baggeren aansluitend in fase 2 gelijktijdig met fase 3 de werkvelden 2 en 3 naar een bodemdiepte van -15 m NAP en zodra zij gereed zijn vangen de TSHD's in fase 3 aan met de aldaar benoemde werkvelden 1 en 2, eveneens naar een bodemdiepte van -25 m NAP (let op dat de werkvelden in fase 2 en 3 anders benoemd zijn i.v.m. de werkveldverdeling in elke fase). Tijdens de baggerwerkzaamheden wordt de Zuid- en Oostduin aangelegd, zodra ook deze bereikbaar zijn voor de TSHD's. Uiteindelijk wordt werkveld 1 nog gebaggerd naar een bodemdiepte van -27,5 m NAP.

Eigenschappen gefaseerd gebied;

- Bestaande uit twee deelgebieden, Gebied II en Gebied III.
- Aanvang bodemdiepte ligt op -15 m NAP
- Totale oppervlakte Gebied II en III; **22 km²**
- Realisatie duur werkvelden 3 en 4; **336 dagen**
- Realisatie duur werkvelden 1 en 2; **210 dagen**



- Totale hoeveelheid baggerspecie Zuid duin; **11 Mm³**
- Realisatie duur aanleg Zuid duin; **31 dagen**
- Totale hoeveelheid baggerspecie Oost duin; **20 Mm³**
- Realisatie duur aanleg Oost duin; **56 dagen**

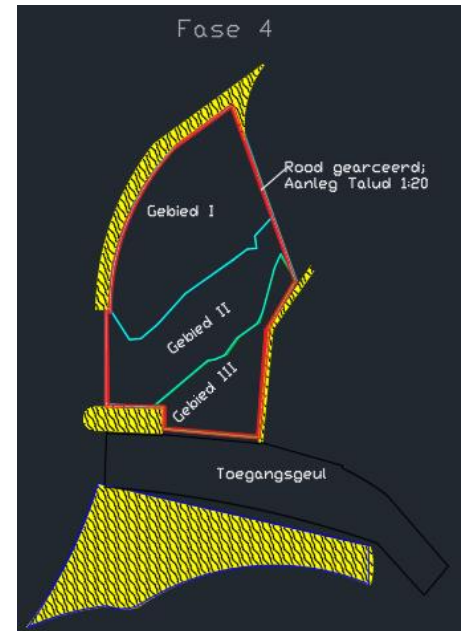
Fase 4

Aanleg talud (Rood gearceerd)

Zodra de deelgebieden op de vereiste bodemdiepte zijn gebracht en de Duinenrijen zijn aangelegd, moet het onderwatertalud de juiste hellingshoek verkrijgen. Dit vindt plaats met de inzet van CSD's.

Tijdens de aanleg van het talud van de Duinenrijen, zullen ook de aansluitingen op de kunstwerken t.b.v. de pompen en overlaat/turbines plaatsvinden.

Het onderwatertalud krijgt aan de zijde van het Energieopslagmeer (binnenzijde) een helling van 1:20. De buitenzijde van het talud van de duinen wordt niet aangelegd door snijkopzuigers. Door de ondiepte kan dit worden opgespoten door TSHD's, waarna het de juiste helling krijgt met behulp van kranen en bulldozers. Dit onderdeel is toegelicht in Hoofdstuk 4 Grondberekeningen. Het aanbrengen van het talud (onder waterpeil) zal als gevolg van de uitvoeringswijze tot vertraging leiden t.o.v. het recht toe recht aan baggeren. Er is op basis van feedback van de begeleider aan opsteller een vertraging van 30% opgenomen. De aansluitingen van de duinen op de pompen en overlaat/turbines worden niet verwerkt in dit rapport. Onderhavig rapport omvat namelijk niet het onderzoek naar en de uitwerking van de duinenrij en de daarbij behorende aansluitingen.



Eigenschappen gefaseerd gebied:

- Omtrek; **27 km**
- Totale talud volume; **3,5 Mm³**
- Totale duur aanleg talud; **13 dagen**

Fase 5

Transport

Fase 5 wordt tijdens het gehele baggertraject uitgevoerd. De baggerspecie zal moeten worden vervoerd. De TSHD's zullen door middel van rainbowen de Noordwest duin aanleggen. Dit zal geen extra vaartijd kosten met als uitgangspunt dat er systematisch wordt gevaren en de TSHD's elke keer met een volle beun bij de losplaats uitkomen. De baggerspecie die uit gebied II en III wordt gewonnen, zal grotendeels worden gelost voor de kust van Goeree. Dit transport zal plaatsvinden in zinkerleidingen. Een zinkerleiding zal worden aangesloten op de CSD's en TSHD's, waardoor de baggerspecie direct naar de kust van Goeree wordt gepompt.

Eigenschappen gefaseerd gebied:

- Totaal 4 zinkerleidingen;
- Lengte enkele zinkerleiding; 9000 m;
- Totaal aantal meters benodigde zinkerleidingen; 36 km, echter deze moeten minimaal als gevolg van slijtage éénmaal worden vervangen;
- 8 boosters om de baggerspecie door de zinkerleidingen te persen, 2 boosters per zinkerleiding;
- Realisatie duur aanleg zinkerleidingen; 40 dagen. Dit is aangenomen op basis van feedback begeleider.

Met behulp van de bovenstaande fasering kan een gedetailleerde planning worden gemaakt. Met behulp van de op te stellen planning kan de voortgang van de realisatie worden bijgehouden. Verder helpt deze fasering Delta21 bij het inschatten van de omvang van het project. Door beperkt beschikbare gegevens inzake de transportmethodes is bovenstaande gebaseerd op een aanname. De keuze voor zinkerleidingen lijkt misschien irrationeel, echter door feedback momenten met de begeleiders van opsteller is er toch voor gekozen om enige gegevens op te nemen, zodat dit in een latere fase kan worden geverifieerd en eventueel uitgewerkt c.q. aangepast.

Niet meegewogen in de onderhavige rapportage is de aanleg van de bouwputten voor de pompinstallaties en de overlaat/turbines.

8.3. Planning

Er is voor gezorgd dat de werkzaamheden op elkaar aansluiten, zodat er geen wachttijd/stilstand ontstaat bij de baggerschepen en de realisatie duur is geoptimaliseerd.

In bijlage 14 staat de planning volledig weergegeven. Onderstaand (figuur 36) is slechts een klein gedeelte van de opgestelde planning waaruit de activiteit, de duur en de begin-en einddatum is te lezen.

Tijdsschema Delta 21; Scenario 1.1			
Activiteit	Duur [dagen]	Begindatum	Einddatum
FASE 1	471 dagen	1-1-2022	17-4-2023
Installatie schepen	15 dagen	1-1-2022	16-1-2022
TSHD Medway	0,5 dagen	16-1-2022	16-1-2022
TSHD Crestway	14 dagen	2-1-2022	16-1-2022
TSHD Oranje	3 dagen	13-1-2022	16-1-2022
TSHD prins der Nederlanden	15 dagen	1-1-2022	16-1-2022
CSD Helios	10 dagen	6-1-2022	16-1-2022
CSD Taurus	11 dagen	5-11-2022	16-1-2022
CSD Artemis	10 dagen	6-1-2022	16-1-2022
CSD Zheng He	2,5 dagen	13-1-2022	16-1-2022
Baggeren Gebied I (4x)	694 dagen	16-1-2022	11-12-2023
Aanleg Noordwest duin (4x)	536 dagen	16-1-2022	6-7-2023
Aanleg Noordwest duin [50%]	268 dagen	16-1-2022	11-10-2022
Aanleg Noordwest duin [50%]	268 dagen	13-10-2022	6-7-2023
Aanleg zinkerleidingen	40 dagen	1-9-2022	11-10-2022
FASE 2	995 dagen	11-10-2022	2-7-2025
CSD's werkvelden 1 en 4 (4x)	372 dagen	11-10-2022	18-10-2023
CSD's werkvelden 2 en 3 (4x)	308 dagen	18-10-2023	12-9-2024
TSHD's werkvelden 1 en 2 (3x)	336 dagen	2-1-2024	3-12-2024
TSHD's werkvelden 3 en 4 (3x)	210 dagen	4-12-2024	2-7-2025
Baggeren toegangs(scheeps)geul	231 dagen	12-9-2024	1-5-2025
FASE 3	14 dagen	1-5-2025	15-5-2025
CSD talud vormen (4x)	14 dagen	1-5-2025	15-5-2025
FASE 4	87 dagen	2-1-2024	30-3-2024
TSHD Aanleg Oost duin (3x)	39 dagen	2-1-2024	2-2-2024
TSHD Aanleg Zuid duin (3x)	22 dagen	3-2-2024	30-3-2024
DEADLINE	1278 dagen totaal	1-1-2022	2-7-2025

Figuur 36. Tijdsschema

9. Kostenraming

Voor baggerscenario 1.1 is een kostenraming opgesteld. De totale kosten is een optelling van de kosten voor zowel CSD's als TSHD's. De kostenopstelling voor de CSD's zijn gebaseerd op kengetallen verkregen van de Hogeschool Rotterdam. De kengetallen voor TSHD's zijn onbekend. Door opsteller is getracht deze kengetallen via Delta21 te verkrijgen bij diverse baggermaatschappen, echter zijn deze niet verstrekt vanuit bedrijfsgeheim. Opsteller heeft derhalve de kosten voor de TSHD's zelfstandig afgeleid van de kengetallen voor een CSD. Als gevolg daarvan zijn deze kengetallen onnauwkeurig en worden als een aanname beschouwd. De kostenraming staat nu nauwkeurig in getal aangegeven, doch wordt geadviseerd om hier marge op aan te houden en meer te denken in een range.

Over de totale kosten is een winst & risico percentage aangehouden van 5%. Uit onderzoek blijkt dat grotere bedrijven een winst & risico percentage tussen de 3 en 6% aanhouden (winst&risico, 2014). De totale kosten voor het baggeren van het Energieopslagmeer, de aanleg van de duinenrijen en de aanleg van de toegangseuvel komen neer op ca. **€ 1.329 miljoen euro inclusief BTW**. Het onderhoud van de duinen is niet meegewogen in de raming, omdat er nog nieuwe ontwerpen van de duinen moeten worden gemaakt.

De volledige uitwerking van de kostenraming staat vermeld in bijlage 15. Onderstaand is samenvatting van de verschillende kostenposten.

Kostenraming		Kosten	
1	Snijkopzuigers	€	534 Miljoen [EUR]
2	Sleephopperzuiger	€	596 Miljoen [EUR]
3	Zinkerleidingen	€	78 Miljoen [EUR]
4	TOTAAL	€	1.208 Miljoen [EUR]
5	Algemene kosten [5%]	€	60 Miljoen [EUR]
6	Winst & Risico [5%]	€	60 Miljoen [EUR]
7	TOTAAL (incl winst % risico)	€	1.329 Miljoen [EUR]

Conclusie

In dit rapport is gezocht naar een antwoord op de vraag om een praktijkgericht en gefaseerd bagger- en opspuitplan op te stellen ter realisatie van het Energieopslagmeer binnen het voorgenomen Delta21-plan, gebaseerd op geverifieerde uitgangspunten alsmede op actuele en voorspelde randvoorwaarden binnen het plangebied.

Het Delta21-plan betreft een uitgebreid, innovatief en vergaand plan, waarbij de planvorming in hoofdlijnen is opgesteld. De beschikbaarheid van onderzoeken is echter beperkt. Het verkrijgen van onderbouwde informatie die benodigd is voor het opstellen van een baggerplan waren niet danwel beperkt aanwezig. Daarnaast is het niet gelukt om op een aantal vlakken essentiële bedrijfsspecifieke informatie los te krijgen bij baggerbedrijven die vanuit 'bedrijfsgeheim' de benodigde gegevens niet wilden delen. Als gevolg hiervan is er op een aantal vlakken aannames gedaan en in overleg met de begeleiders van opsteller uitgangspunten toegepast.

De navolgende te verifiëren uitgangspunten alsmede de actuele randvoorwaarden zijn met behulp van de deelvragen bepaald:

- Inventarisatie van de specifieke eisen die gelden voor het Energieopslagmeer vermeld in het Delta21-plan + maatregelen die door stakeholders ter verbetering zijn aangegeven die invloed hebben op het bagger- en opspuitplan;
- Specifieke locatie-eisen: wind, bodemdiepte, bodemkwaliteit, stromingen, golfhoogte, afstand baggerlocatie tot stortlocatie, klimaatveranderingen, obstakels;
- Grondberekening: Duinontwerp, bagger hoeveelheden (bruikbaar/ onbruikbaar)
- Baggermaterieel (baggerschepen);
- Productiematerieel (productiesnikkopen, productietijd);
- Downtime: strijklengte;
- Fasering: baggerscenario's, fasering, planning;
- Kostenraming

Het is gelukt om met behulp van de beantwoording van de deelvragen die tot voornoemde uitgangspunten hebben geleid, op basis van deze uitgangspunten ook daadwerkelijk een bagger- en opspuitplan tot stand te laten komen, verwerkt in een balkenschema op basis van inzet van materieel in de tijd uitgezet en onderbouwd met een planning en kosten. Dit is wel onder voorbehoud van gedane aannames (voorspelde randvoorwaarden) en de onbekendheid wat na invulling van die aannames dit uiteindelijk voor het bagger- en opspuitplan gaat betekenen. Daar zal nadere invulling aan moeten worden gegeven middels aanvullend onderzoek.

Aanbevelingen

Gedane aannames in het rapport

In het onderhavige rapport is een aantal aannames gedaan. Men dient zorg te dragen dat de gedane aannames worden gefilterd uit het rapport en dat hier invulling aan wordt gegeven. Dan zal ook opnieuw moeten worden bekeken of dit consequenties heeft voor het opgestelde bagger- en opspuitplan.

Ontwerp duinenrij:

Als gevolg van het nieuwe ontwerp van het Delta21-plan, sluiten het in eerder opgestelde en gebruikte ontwerp voor de Noordwest duin niet volledig meer aan. Er is een aanname gedaan betreffende het ontwerp van de Zuid- en Oost duin om baggerhoeveelheden te bepalen. Deze duinenrijen dienen opnieuw ontwikkeld te worden ook vanuit het gegeven dat het een energie-opslagmeer betreft met verhoogde opslag t.o.v. van NAP. Onderzocht moet worden of een damconstructie niet passender is.

Aansluitingen:

Eerder in het rapport is er melding gedaan voor onderzoek naar de 'aansluitingen'. Dat zal goed samen gaan met de nieuwe ontwerpen voor de Oost en Zuid duin. Er kan worden gedacht aan een bermconstructie met stortstenen. Goede voorbeelden hiervan zijn te zien bij de Oosterschelde kering.

Bodem Energieopslagmeer:

Dit rapport is opgesteld met beperkte gegevens van de bodem met als gevolg van een onnauwkeurigheid in het bepalen van de grondlagen en de bodemdiepte. De bodemdiepte van de projectlocatie is gebaseerd op een kaart die niet 100% nauwkeurig is. Er zal zowel een scan van de bodem als aanvullende grondboringen moeten worden gemaakt om de uitgangspunten voor de gemaakte berekeningen te toetsen en/of aanpassing van de gemaakte berekeningen noodzakelijk is. Tevens zal dan moeten worden gekeken naar de fasering van de deelgebieden.

Duinengebied Goeree:

Er is een aanname gedaan dat de gemeente Goeree Overflakkee medewerking verleent aan het storten van de baggerspecie dat niet wordt gebruikt in de duinenrijen. Het is voor het bedachte bagger- en opspuitplan van groot belang dat dit daadwerkelijk plaats gaat vinden vanuit transport, planning en kosten. Indien dit anders wordt zal aanpassing moeten volgen. Men dient dus zorg te dragen om hier zekerheid over te krijgen.

Overige bruikbare baggerspecie

Men kan onderzoeken of er andere geïnteresseerde partijen zijn voor de baggerspecie die niet in het project wordt gebruikt en bijvoorbeeld voor verkoop in aanmerking komt. Het is onwaarschijnlijk dat een project op land de baggerspecie zal kopen doordat er zout in de baggerspecie zit. Het zal dus een project op zee moeten zijn. Er zijn meerdere innovatieve ontwikkelingen om ook Nederland te beschermen tegen een verhoogde zeespiegel. De eventuele opbrengsten komen ten goede van de financiële haalbaarheid van het Delta21-plan.

Bronnenlijst

- Atlas actueel*. (2021). Noordzeeloket. <https://www.noordzeeloket.nl/atlas-actueel/>
- Ondergrondgegevens | DINOloket*. (221AD). DINOloket. <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2021, 14 mei). *Home*. Rijkswaterstaat. <https://www.rijkswaterstaat.nl/>
- Home | Bodemrichtlijn*. (2020). <https://www.bodemrichtlijn.nl/>. <https://www.bodemrichtlijn.nl/>
- waterbouw:vgm_handboek_3_19 [Arbocatalogus Waterbouw]*. (2020b). arbocataloguswaterbouw. https://www.arbocataloguswaterbouw.nl/p/waterbouw/vgm_handboek_3_19#zinkerleidingen
- dredging.org*. (2020). dredging. <https://dredging.org/media/ceda/org/documents/resources/otheronline/vlasblom3-the-cutter-suction-dredger.pdf>.
- S. (2019, 15 september). *Hoe ontstaan golven?* BoardShortz.nl. [https://www.boardshortz.nl/hoe-ontstaan-golven/#:%7E:text=Golven%20ontstaan%20door%20%20gebeurtenissen,vaak%20een%20lagedruk%20gebied\)%20waait.&text=Op%20deze%20rimpels%20heeft%20de,hel%20begin%20van%20een%20golf](https://www.boardshortz.nl/hoe-ontstaan-golven/#:%7E:text=Golven%20ontstaan%20door%20%20gebeurtenissen,vaak%20een%20lagedruk%20gebied)%20waait.&text=Op%20deze%20rimpels%20heeft%20de,hel%20begin%20van%20een%20golf).
- Helpdeskwater*. (2020). Helpdesk water. <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/technische-leidraden/zoeken-technische/@192798/golfgroei-bijlage/#h835915f7-b236-426f-951b-20cd9fabdbb7>
- Wins%risico. (2014, 16 juni). *Winst en risico berekenen*. mijntipsenadvies.nl. https://www.mijntipsenadvies.nl/2010-01/winst-en-risico-berekenen-NLTABWAR_EU121104
- Brouwers, B. (2021, 11 mei). *Energie-eilanden op de Noordzee: goed nieuws voor het klimaat en een kans voor ondernemend Nederland*. Innovation Origins. <https://innovationorigins.com/nl/energie-eilanden-op-de-noordzee-goed-nieuws-voor-het-klimaat-en-een-kans-voor-ondernemend-nederland/>
- KNMI - Daggegevens van Noordzee stations*. (2020). KNMI dag gegevens. https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens_Noordzee
- Navionics ChartViewer*. (2020). Navionics. https://webapp.navionics.com/#boating@9&key=oiayH_kzS
- Hogeschool Rotterdam LMS*. (2021). <https://lms.hr.nl/#-216>. <https://lms.hr.nl/#-216>
- Hogeschool Rotterdam LMS*. (2021b). <https://lms.hr.nl/#-219>. <https://lms.hr.nl/#-219>
- Baggeren*. (2021). Helpdesk water. <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterbodems/baggeren/>

Baggertechnieken. (2021). Helpdesk water.

<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterbodems/baggeren/keuze-baggertechniek/>

Wet- en regelgeving. (2021). Helpdesk water.

<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterbodems/wet-regelgeving/>

- Netherlands, I. (2021). Rijkswaterstaat Waterinfo. waterinfo.

<https://waterinfo.rws.nl/#!/kaart/golfhoogte/>

- Netherlands, I. (2021b). *Rijkswaterstaat Waterinfo.* waterinfo.

<https://waterinfo.rws.nl/#!/kaart/stroming/>

- Netherlands, I. (2021c). *Rijkswaterstaat Waterinfo.* waterinfo.

<https://waterinfo.rws.nl/#!/kaart/wind/>

Royal Haskoning. (2012, maart). *Baggerplan gemeente Heusden 2012–2022.* M.G.G. Gommers.

Rijkswaterstaat. (2011, september). *Handreiking Werkplan.*

HKV lijn in water. (2015, januari). Bureaustudie ter validatie van golfgroeiformules voor gelimiteerde strijklengte. Stowa.

Delta21. (2019, juli). *Update 2019 Delta21.*

vlasblom the cutter suction dredger. (2005, mei). Prof.Ir. W.J. Vlasblom.

Veen-Bastien-van.pdf (2001, maart); Afstudeerrapport

CtWA5300-SnijkopzuigerSleepkopzuiger, Baggertechniek. (1999, juli). Technische Universiteit Delft.

Baggeren (Poptie).pdf (2014)

User, S. (2021). *Waterdiepte meten met multibeam of singlebeam.*

<https://www.meetbv.nl/hydrografisch-meten>. <https://www.meetbv.nl/hydrografisch-meten>

Dam van Delta21. (2020). <https://www.delta21.nl/wp-content/uploads/2020/06/Duin-STRANDontwerp-DELTA21-Joost.pdf>. Joost van Dam afstudeerrapport.

Adrichem Delta21. (2021). <https://www.delta21.nl/wp-content/uploads/2021/02/eindrapport-Steve-Influence-of-rapid-draw-down-on-dike-stability.pdf>. Steve van Adrichem afstudeerrapport.

Natura2000. (2021). <https://www.clo.nl/indicatoren/nl142501-begrenzing-van-het-natuurnetwerken-natura-2000-gebieden>

Dynamische Compactie. (2021). Cofra. <https://cofra.com/nl/technieken/compactie/dynamische-compactie.html>

Bijlagen

- Bijlage 1 Wet en regelgeving
- Bijlage 2 Windgegevens Lichteiland Goeree
- Bijlage 3. Bodemdieptes
- Bijlage 4. Dwarsprofielen
- Bijlage 5. Gegevens waterstanden golfhoogte Lichteiland Goeree
- Bijlage 6. Waterstanden
- Bijlage 7. Duin hoeveelheden
- Bijlage 8. Bagger hoeveelheden
- Bijlage 9. Snijkopzuiger
- Bijlage 10. Sleephopperzuiger
- Bijlage 11. Golfgroei
- Bijlage 12. Bagger scenario's
- Bijlage 13. Fasering
- Bijlage 14. Planning
- Bijlage 15. Kostenraming
- Bijlage 16. Relatieve dichtheid
- Bijlage 17. Winzuiger

Bijlage 1: Wet- en regelgeving

Voordat er kan worden gebaggerd moet er worden gekeken naar wat wel en wat niet mag volgens de Wet- en regelgeving. Er wordt voor de bagger werkzaamheden op drie verschillende punten onderscheid gemaakt. Voor het daadwerkelijke baggeren zelf, het transporteren van de baggerspecie en de bestemming van de baggerspecie. Op de site: <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterbodems/wet-regelgeving/> van de Rijksoverheid zijn de wetten en regelgeving op een rijtje gezet. Er zal eerst moeten worden gekeken naar welke vergunningen er benodigd zijn voor het realiseren van het project. (Tabel hieronder is grotendeels overgenomen van de site: <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterbodems/wet-regelgeving/>)

Baggeren/ ontgraven

Vergunning- of melding plichtige activiteiten	Wetgeving
Uitvoeren van activiteiten binnen de begrenzing van het Rijkswaterstaatwerk	Waterwet
MER-plichtige activiteit (bijv. aanleg, vergroting of uitbreiding van een vaarweg of waterweg of haven, verlegging van zomerbed, activiteit in N2000-gebied)	Besluit Milieueffectrapportage (onderdeel Wet milieubeheer)
Lozingen als gevolg van baggeren	Besluit lozingen buiten inrichting
Potentiële lozingen vanuit de waterbodem die als gevolg van een ingreep wordt blootgelegd	Waterbodemimmissietoets
Verstoren of verwijderen planten of dieren	Flora- en faunawet Gedragscodes Natuurbeschermingswet
Planologische aanpassing	Wabo
Grensoverschrijdende verontreiniging in de waterbodem met een bron in de landbodem (>Interventiewaarde)	Wet bodembescherming

Transport

Vergunning- of melding plichtige activiteiten	Wetgeving
Transport van materiaal dat vrijkomt bij baggeren, ontgraven of werkzaamheden aan vaste objecten	Wet milieubeheer

Bestemming

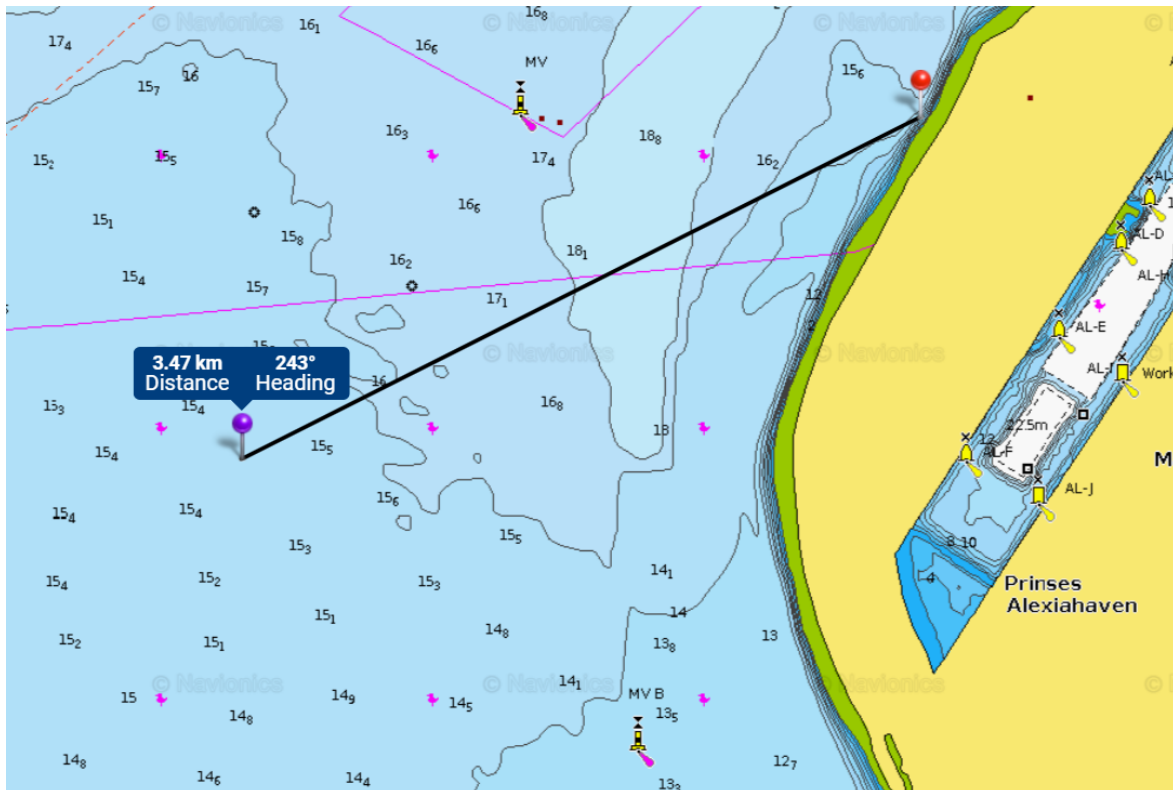
Vergunning- of melding plichtige activiteiten	Wetgeving
Nuttig toepassen van materiaal dat vrijkomt bij baggeren, ontgraven of werkzaamheden aan vaste objecten (bouwstoffen, grond en baggerspecie)	Besluit bodemkwaliteit
Inrichting van tijdelijke opslag voor grond, baggerspecie of bouwstoffen	Wet milieubeheer of Besluit bodemkwaliteit
Lozing van retourwater uit tijdelijke opslag voor baggerspecie (niet zijnde een nuttige toepassing door, vanwege het Besluit bodemkwaliteit)	Waterwet
Storten van materiaal dat vrijkomt bij baggeren, ontgraven of werkzaamheden aan vaste objecten	Wet milieubeheer

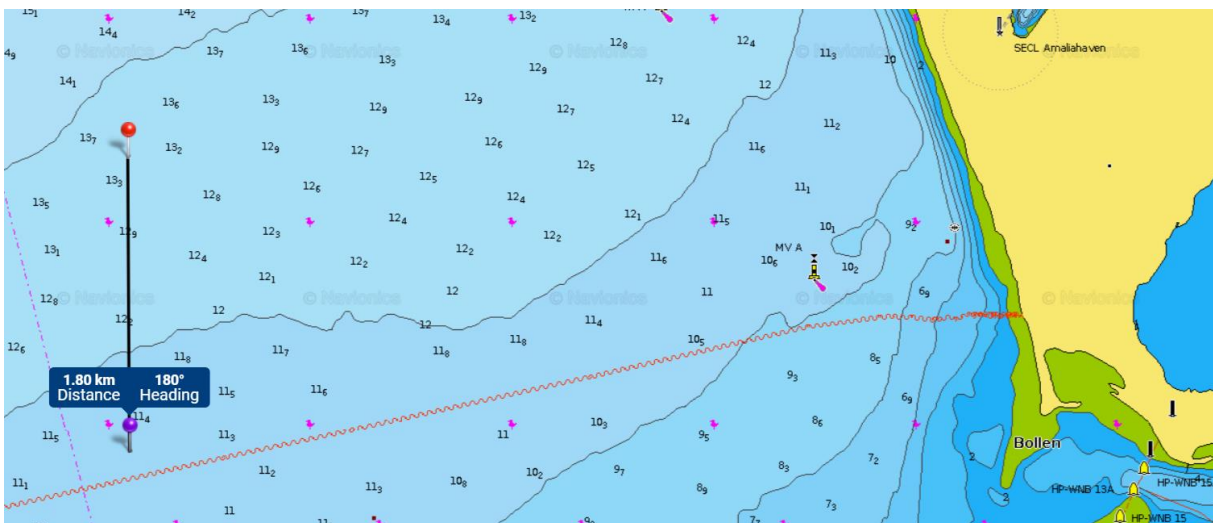
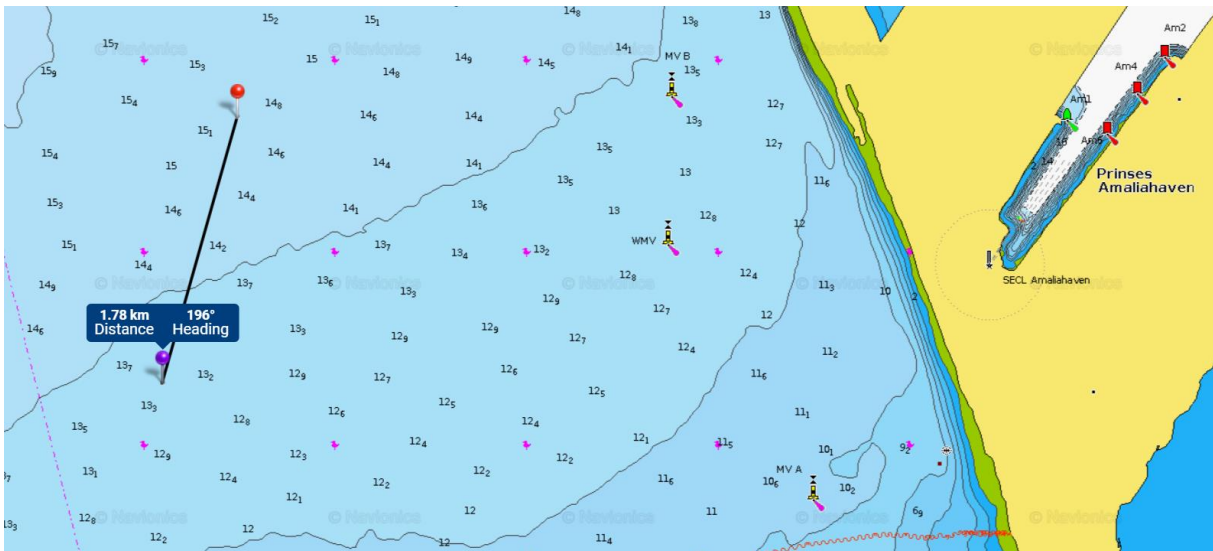
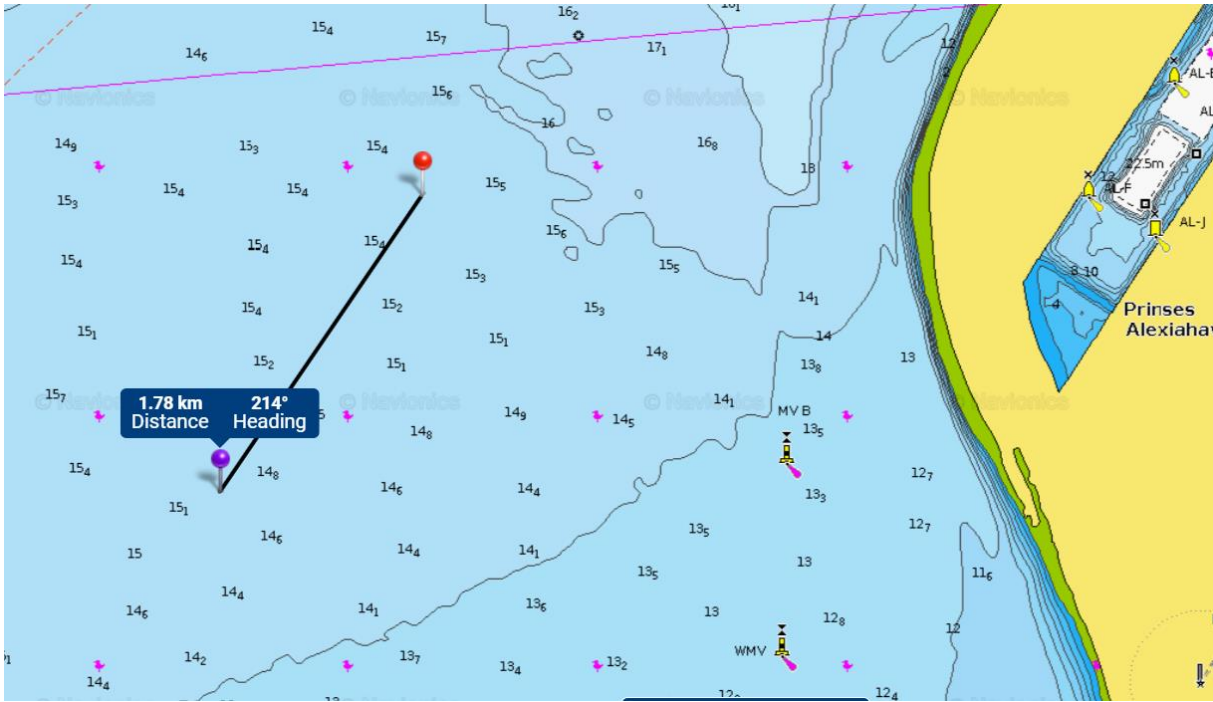
Bijlage 2. Windgegevens Lichteiland Goeree

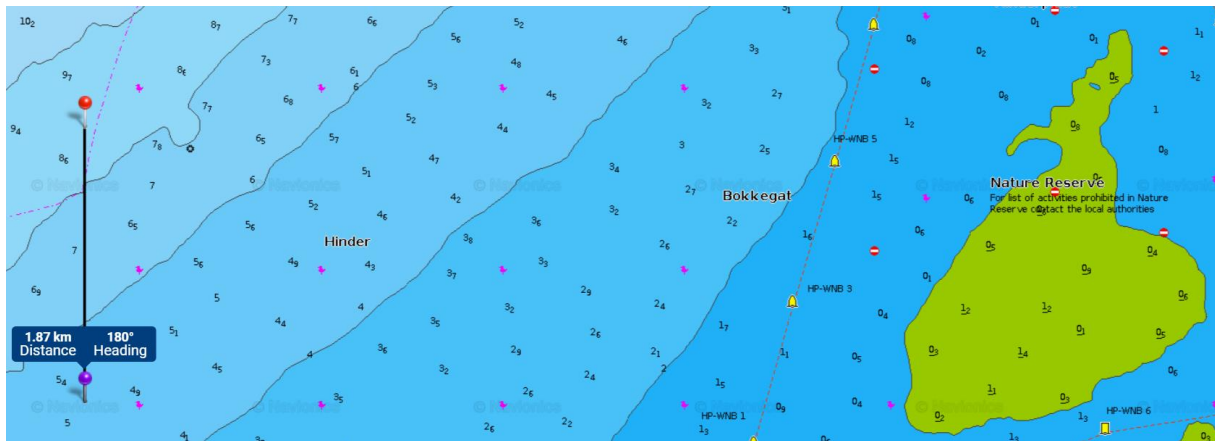
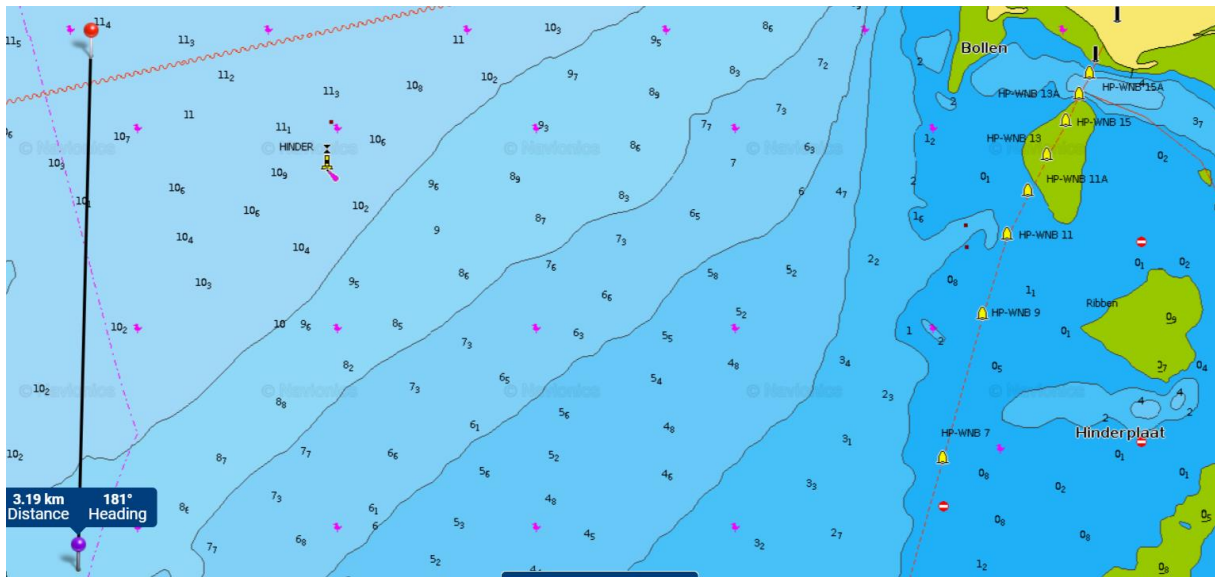
De Excel-sheet is te groot om in de bijlage te plaatsen. U wordt doorververwezen naar het separaat toegevoegde Excel bestand: 'Wind gegevens Lichteiland Goeree'. Hierin zijn ruwe winddata verwerkt tot gemiddelde windgegevens en is de overschrijdingspercentages voor een windkracht van 15 m/s en hoger bepaald.

Bijlage 3: Bodemdieptes

Onderstaande figuren zijn screenshots van Navionics-kaarten. Aan de hand van deze kaarten zijn de bodemdieptes bepaald. Door het aanbrengen van lijnen is getracht de contouren van het Energieopslagmeer aan te geven.





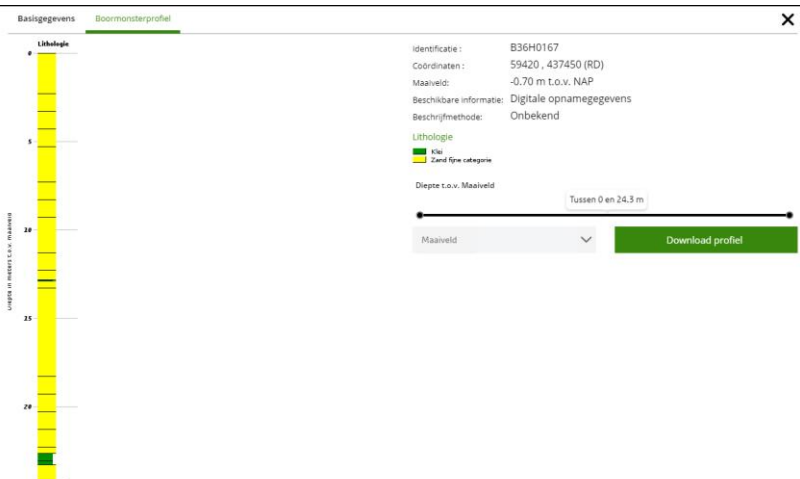
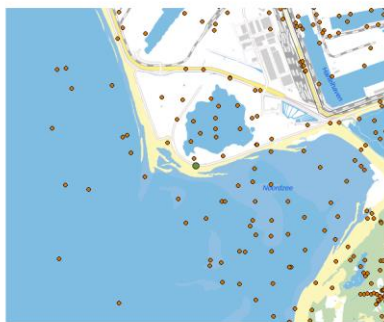


Grondboringen

Onderstaand de 12 grondboringen die zijn gebruikt bij het bepalen van de bodemopbouw.

Boring 1:

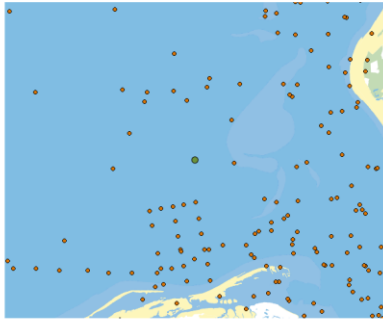
Geologisch booronderzoek
Identificatie B36H0167



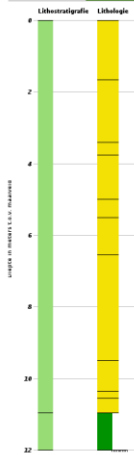
Boring 2:

Geologisch booronderzoek

Identificatie B36H0170



Basisegegevens Boormonsterprofiel



Identificatie : B36H0170
 Coördinaten : 58209 , 432219 (RD)
 Maalveld : -9,75 m t.o.v. NAP
 Beschikbare informatie : Gescande documenten en Digitale opnamegegevens
 Beschrijfmethode : Overig
 Kwaliteit interpretatie : Niet gevalideerd in ondergrondmodel

Lithostratigrafie Lithologie
 ■ klei ■ klei
 ■ zand midden categorie ■ zand midden categorie

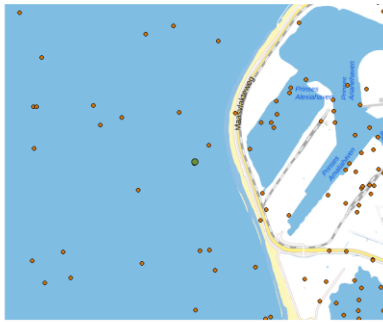
Diepte t.o.v. Maalveld Tussen 0 en 12 m

Maalveld

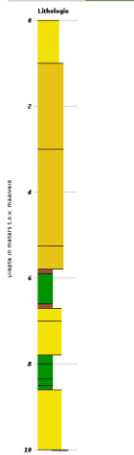
Boring 3:

Geologisch booronderzoek

Identificatie B5030012



Basisegegevens Boormonsterprofiel



Identificatie : B5030012
 Coördinaten : 56325 , 441430 (RD)
 Maalveld : -15,31 m t.o.v. NAP
 Beschikbare informatie : Digitale opnamegegevens
 Beschrijfmethode : Onbekend

Lithologie
 ■ klei ■ klei
 ■ zand midden categorie ■ zand midden categorie
 ■ zand grove categorie ■ zand grove categorie
 ■ veen ■ veen

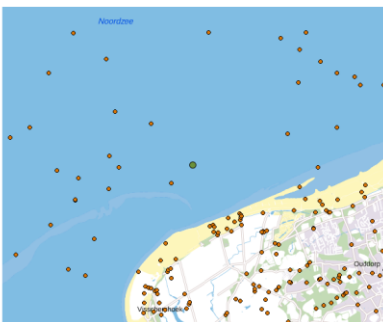
Diepte t.o.v. Maalveld Tussen 0 en 10 m

Maalveld

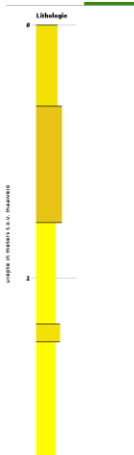
Boring 4:

Geologisch booronderzoek

Identificatie B5060166



Basisegegevens Boormonsterprofiel



Identificatie : B5060166
 Coördinaten : 560237 , 5742764 (WGS84)
 Maalveld : -4,85 m t.o.v. NAP
 Beschikbare informatie : Digitale opnamegegevens
 Beschrijfmethode : Onbekend

Lithologie
 ■ zand fijn categorie ■ zand fijn categorie
 ■ zand midden categorie ■ zand midden categorie
 ■ zand grove categorie ■ zand grove categorie

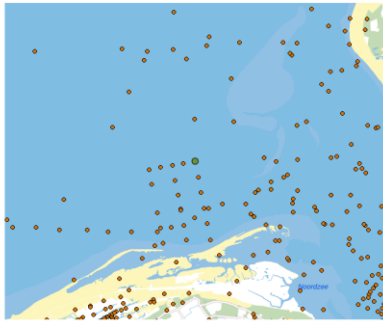
Diepte t.o.v. Maalveld Tussen 0 en 1,72 m

Maalveld

Boring 5:

Geologisch booronderzoek

Identificatie B36H0421



Basgegevens Boormonsterprofiel



Identificatie: B36H0421
 Coördinaten: 58220, 431315 (RD)
 Maaiveld: -2.40 m t.o.v. NAP
 Beschikbare informatie: Gescande documenten en Digitale opnamegegevens
 Beschrijfmethode: Onbekend

Lithologie

Zand midden categorie

Diepte t.o.v. Maaiveld

Tussen 0 en 3 m

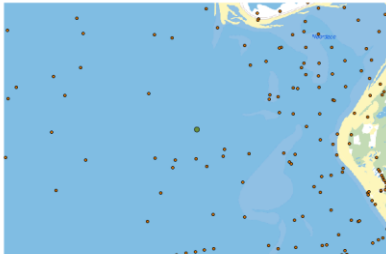
Maaiveld

Download profiel

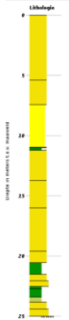
Boring 6:

Geologisch booronderzoek

Identificatie B5030937



Basgegevens Boormonsterprofiel



Identificatie: B5030937
 Coördinaten: 57764, 434500 (RD)
 Maaiveld: Onbekend
 Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens
 Beschrijfmethode: Onbekend

Lithologie

Leem

Afz

Zand fijn categorie

Zand midden categorie

Diepte t.o.v. Maaiveld

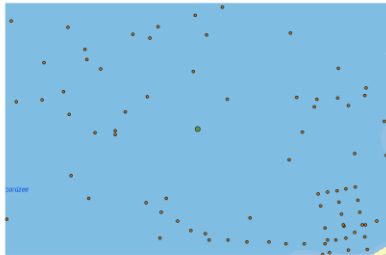
Tussen 0 en 25 m

Download profiel

Boring 7:

Geologisch booronderzoek

Identificatie B5031152



Basgegevens Boormonsterprofiel



Identificatie: B5031152
 Coördinaten: 563352, 5747557 (WGS84)
 Maaiveld: -4.25 m t.o.v. NAP
 Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens
 Beschrijfmethode: Onbekend

Lithologie

Zand fijn categorie

Zand midden categorie

Diepte t.o.v. Maaiveld

Tussen 0 en 1.68 m

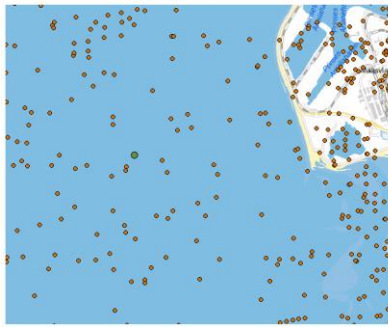
Maaiveld

Download profiel

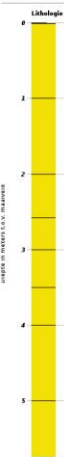
Boring 8:

Geologisch booronderzoek

Identificatie B5030027



Basigegevens **Boormonsterprofiel** Boormonsterfoto



Identificatie: B5030027
 Coördinaten: 560564, 5752448 (WGS84)
 Maaiveld: -14.61 m t.o.v. NAP
 Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens
 Beschrijfmethode: Onbekend

Lithologie
 ■ Klei
 ■ Zand (middelen categorie)

Diepte t.o.v. Maaiveld

Tussen 0 en 5.75 m

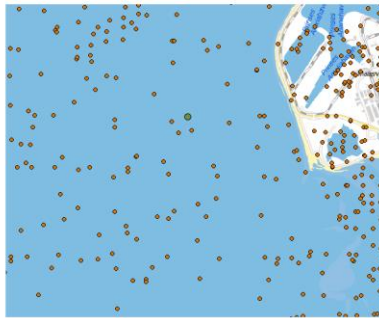
Maaiveld

Download profiel

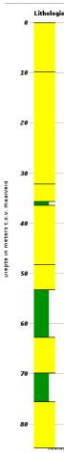
Boring 9:

Geologisch booronderzoek

Identificatie B5031271



Basigegevens **Boormonsterprofiel**



Identificatie: B5031271
 Coördinaten: 562642, 5754164 (WGS84)
 Maaiveld: Onbekend
 Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens
 Beschrijfmethode: Onbekend

Lithologie
 ■ Klei
 ■ Zand (fijne categorie)

Diepte t.o.v. Maaiveld

Tussen 0 en 64.85 m

Download profiel

Boring 10:

Geologisch booronderzoek

Identificatie B5030025



Basigegevens **Boormonsterprofiel** Boormonsterfoto



Identificatie: B5030025
 Coördinaten: 57619, 439178 (RD)
 Maaiveld: -8.79 m t.o.v. NAP
 Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens
 Beschrijfmethode: Onbekend

Lithologie
 ■ Zand (fijne categorie)

Diepte t.o.v. Maaiveld

Tussen 0 en 3.52 m

Maaiveld

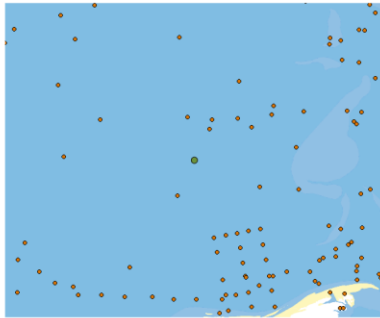
Download profiel

Boring 11:

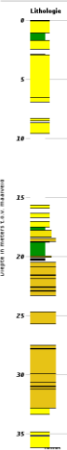
Geologisch booronderzoek Geotechnisch sonderonderzoek DINO

Geologisch booronderzoek

Identificatie B5030930



Basigegevens Boormonsterprofiel



Identificatie: B5030930
 Coördinaten: 56804, 432798 (RD)
 Maalveld: Onbekend
 Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens
 Beschrijfmethode: Onbekend

Lithologie

- Leem
- Klei
- Zand fne categorie
- Zand midden categorie
- Zand grove categorie
- Geen monster

Diepte t.o.v. Maalveld

Tussen 0 en 36.19 m

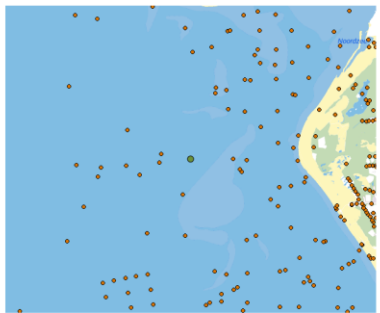
Download profiel

Boring 12:

Geologisch booronderzoek Geotechnisch sonderonderzoek DINO

Geologisch booronderzoek

Identificatie B5030929



Basigegevens Boormonsterprofiel



Identificatie: B5030929
 Coördinaten: 59166, 433853 (RD)
 Maalveld: Onbekend
 Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens
 Beschrijfmethode: Onbekend

Lithologie

- Leem
- Klei
- Zand fne categorie
- Zand midden categorie
- Zand grove categorie
- Geen monster

Diepte t.o.v. Maalveld

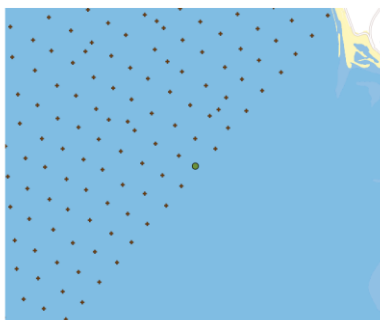
Tussen 0 en 20.95 m

Download profiel

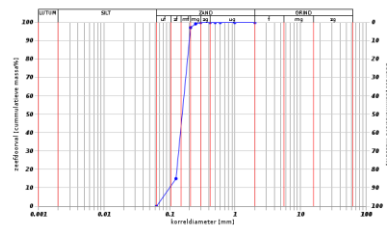
Korrelgrootte:

Geologisch waterbodemonderzoek

Identificatie B5030322



Basigegevens Korrelgrootte analyse



Identificatie monster: K1970-09-0089
 Monster: van 0.00 m tot 0.20 m
 Dieptetraject t.o.w.: Zeebodem

Download grafiek

Bijlage 4. Dwarsprofielen

U wordt doorverwezen naar het separaat toegevoegde Excel-bestand 'Dwarsprofielen'.

Bijlage 5. Gegevens golfhoogte Lichteiland Goeree

U wordt doorverwezen naar het separaat toegevoegde Excel-bestand 'Gegevens golfhoogte Lichteiland Goeree'.

Bijlage 6. Waterstanden

U wordt doorverwezen naar het separaat toegevoegde Excel-bestand 'Waterstanden'.

Bijlage 7. Duin hoeveelheden

U wordt doorverwezen naar het separaat toegevoegde Excel-bestand 'Duin hoeveelheden'

Bijlage 8. Bagger hoeveelheden

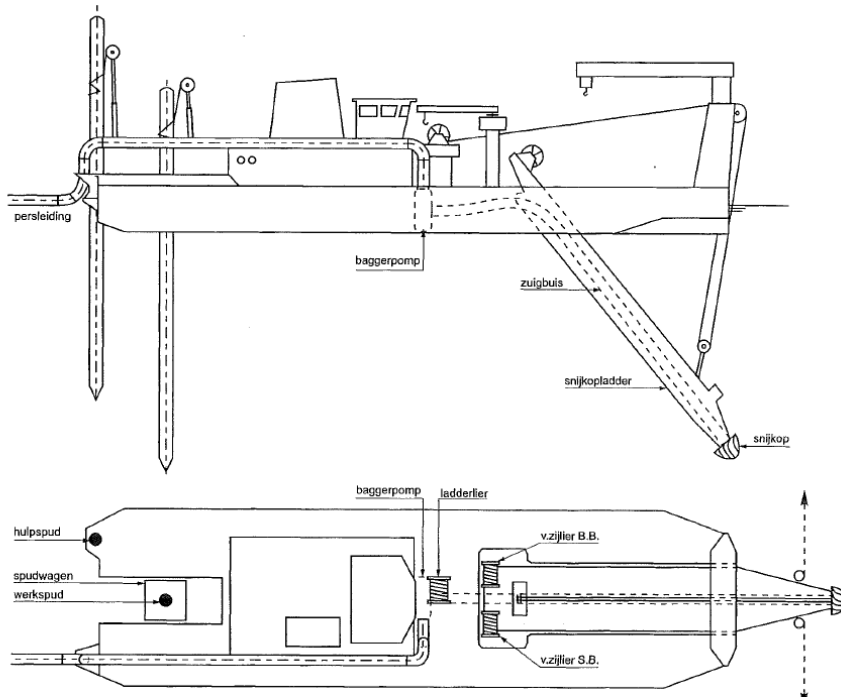
U wordt doorverwezen naar het separaat toegevoegde Excel-bestand 'Bagger hoeveelheden'

Bijlage 9. Snijkopzuigers

U wordt doorverwezen naar het separaat toegevoegde Excel-bestand 'Snijkopzuigers'. Voor verder toelichting zie onderstaand.

De snijkopzuiger is ontstaan uit de winzuiger. De winzuiger maakt gebruik van een zuigmond om vooral los baggermateriaal op te zuigen. Wanneer een winzuiger een kleilaag tegen komt, zal deze hier veel moeite mee hebben en zal de productie achteruitgaan. Verder laat de winzuiger geen strakke bodem achter. Dit te samen overtuigde de aannemer om de zuigmond te voorzien van een snijkop en de baggermethode te veranderen. Hieruit is de snijkopzuiger ontstaan.

De snijkopzuiger is een stationair baggerwerktuig, omdat de snijkopzuiger tijdens het baggeren verankerd ligt. De snijkopzuiger gaat als volgt te werk: De snijkopzuiger verankert zichzelf met een spudpaal aan de achterkant van het schip. Aan de voorkant van het schip liggen aan beide zijden zijdraden. Deze zijdraden worden gebruikt om het schip met een maanbeweging van links naar rechts te trekken en andersom. Tijdens het proces van links naar recht graaft het schip met de snijkop halve manen van de bodem. Onderstaande figuur geeft extra toelichting.



Figuur 37. Snijkopzuiger

Toepassingsgebied:

Snijkopzuigers worden vooral ingezet voor de aanleg van havens en waterwegen en het opspuiten van nieuw land. Snijkopzuigers zijn niet goed in staat om te werken bij grote deiningen en golven. De maximale H_s (significante golfhoogte) is **0,5 meter** om voor een snijkopzuiger te kunnen werken. Voordeel van een snijkopzuigers is dat die vrijwel elke grondsoort kan baggeren. Van zwak veen tot rots kan worden gebaggerd. De tanden op de snijkop moeten wel worden aangepast op het type grondsoort. De slijtage van de tanden per grondsoort zullen ook anders zijn. Een ander voordeel is dat een snijkopzuiger een strakke bodem achterlaat. De belangrijkste onderdelen van de snijkopzuiger zijn te zien op figuur 37 bestaande uit:

- Snijkopladder
- Snijkop
- Casco
- Ankerbomen
- Spudpalensysteem
- Lieren
- Pompensysteem

De werkmethode van de snijkopzuiger wordt verder onderstaand beschreven.

Toelichting berekening snijkopzuigers:

De onderstaande toelichting is voor het schip Willem van Rubroek, echter later in het rapport zijn andere schepen gekozen. Des al niet te min is de onderstaande wijze wel op elk type schip van toepassing. De gegevens van voornoemde schip zijn wel gebruikt en toegepast in het Excelbestand 'Bijlage 9: Snijkopzuigers'.

Sneebreedte:

De sneebreedte heeft invloed op de productietijd. Met de onderstaande formule wordt de sneebreedte van het gekozen schip bepaald.

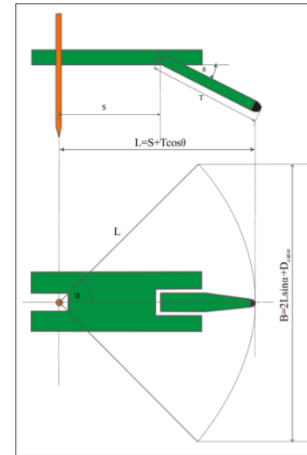
$$B = 2L * \sin(45^\circ) + D_{cutter}$$

Aangezien er geen precieze afmetingen van baggerschepen beschikbaar zijn, wordt er gebruik gemaakt van verhoudingsberekeningen. De totale lengte van het schip is bekend. Hierdoor kan er met meetwerk de afstand van de spudpaal tot de ladder worden gemeten, inclusief de lengte van de ladder zelf. Onderstaand een uitgewerkt voorbeeld van de lengtebepaling.

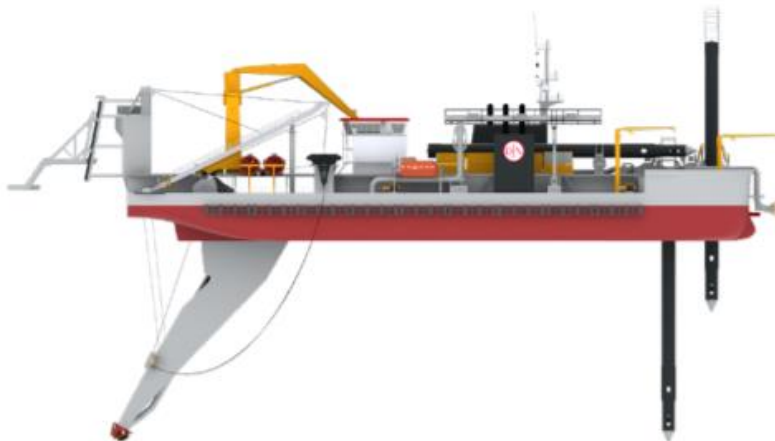
De hoek waar de ladder van de schepen onderstaan is verschillend voor het talud, maar voor de bodem wordt deze op -15 meter geplaatst. Er wordt vanuit gegaan dat het zand naar beneden schuift waardoor de snijkopzuiger dit kan opbaggeren.

Schip Willem van Rubroeck:

Totale lengte	: 151,3 meter
Afstand van achterkant schip tot ladder: 91,9 meter	
Lengte ladder	: 54 meter



Figuur 38. Snijbreedte. Bron: <https://dredging.org/media/ceda/org/documents/resources/otheronline/vlasblom3-the-cutter-suction-dredger.pdf>



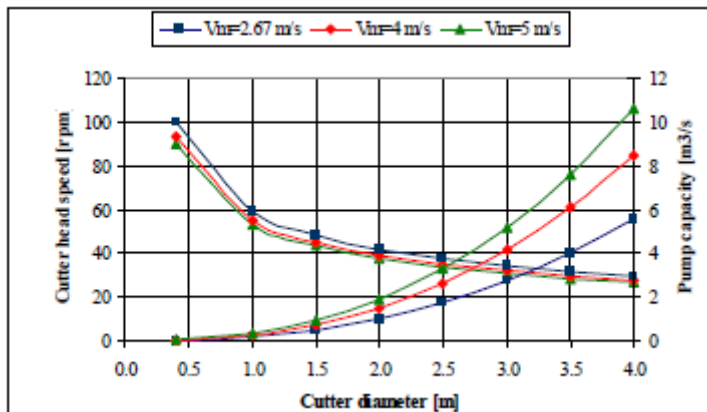
Figuur 39. Willem van Rubroeck Snijkopzuiger. Bron: <https://www.jandenu.com/sites/default/files/2020-05/Willem%20van%20Rubroeck%20%28NL%29.pdf>

De maximale sneebreedte van de snijkopzuiger Willem van Rubroeck=
 $L = S + T \cos(\theta) \rightarrow L = 91,9 + 54 * \cos(16^\circ) = 143,8 \text{ m}$

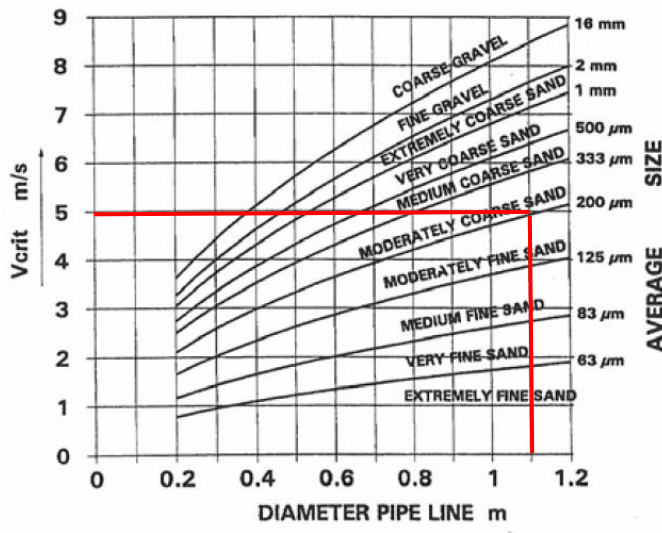
Maximale sneebreedte bij een diepte van -15 meter NAP:
 $B = 2 * 143,8 \text{ m} * \sin(45^\circ) + 1,1 \text{ m} = 204,46 \text{ m}$

Met de bovenstaande sneebreedte van 204,46 \rightarrow 205 meter is de fasering doorgerekend. De reden dat er met deze 205 meter wordt doorgerekend, is dat dit de kleinste sneebreedte is. Hoe ondieper er wordt gebaggerd des te breder de sneebreedtes worden en wat gunstiger uitvalt. De sneebreedte van 205 meter is de meest ongunstige breedte, waardoor deze ook maatgevend is.

De snijkopsnelheid (rpm), snijkopdiameter en pomp capaciteit staan met elkaar in verhouding. Met de onderstaande tabel kan de meest voordelig combinatie worden gekozen.



De snelheid waarmee het zandmengsel door de pijpleiding gaat hangt af van het type zand en van de diameter van de pijpleiding. Met behulp van onderstaande tabel is de zandmengsel-snelheid bepaald.



Figuur 40. Zandmengsel snelheidstabel. Bron: vlasblom3-the-cutter-suction-dredger.pdf

Het schip heeft een pijpdiameter van 1,1 meter en de gemiddelde korrel diameter van het te winnen zand is 200μm. Voor de mengselsnelheid in de pijpleiding wordt aangenomen dat dit 5 m/s is. Dit aan de hand van de bovenstaande tabel.

Onderstaand is de productie van de snijkopzuiger uitgerekend. Hiervoor is een aantal gegevens benodigd. Een aantal van deze gegevens is bovenstaand uitgewerkt. De grond (zand) die op de projectlocatie aanwezig is, wordt gezien als een breach-forming grondsoort. Dit betekent dat de grond gemakkelijk afschuift naar beneden. Als er in een lagere laag wordt gebaggerd, zullen de bovenste lagen naar beneden schuiven. Dit zal bijvoorbeeld bij rotslagen niet gebeuren. Daar moet elke meter één voor één weg worden gebaggerd. Zand is dus breach-forming. Dit is positief voor de productiesnelheid. Uit het rapport 'vlasblom3-the-cutter-suction-dredger' blijkt dat bij een baggerdiepte van -15 meter een talud ontstaat tussen 1:10 en 1:20. Dit ontstaat natuurlijk bij zandgronden. Bij goede breaching-forming grond (zand) is de doordringbaarheid van zand $1 \cdot 10^{-4}$ en de bijbehorende hoek $\alpha = 10^\circ$. De hoek van de ladder is 16 graden. De maximale cutter Head filling is $\beta + \theta = 90^\circ$. De hoek β is nodig volgende formule: $V_h = V_w \left\{ 1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \right\}$. Deze formule geeft de

relatie weer tussen de banksnelheid en de snelheid van de voorwaartse beweging van zuigpijp. Aan de hand van deze relatie kan worden gesteld dat de hoek β gelijk is aan 90° . Hieruit volgt $90^\circ - 16^\circ = 74^\circ \rightarrow \beta = 74^\circ$.

Met deze gegevens kan de productiesnelheid worden berekend.

De maximale progressie van de dredger is:

$$V_h = 16 * 10^{-4} \left(1 - \frac{\tan(10^\circ)}{\tan(74^\circ)} \right) = 15 * 10^{-4} m/s$$

De breach productie is:

$$P_b = V_h * B * H \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Hierin is:

- B: breedte van de snee (zie berekening sneebreedte) [m]
- H: hoogte van het te baggeren stuk grond (face height) [m]

$$P_b = 15 * 10^{-4} * 205 * 5 = 1,53 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

De snijkop heeft een diameter van 2,5 meter. Het aantal omwentelingen per minuut is 20. Dit is voor zand snel genoeg. De zuigsnelheid is 5 m/s en de pijpdiameter is 1,1 meter. Voor zand met een d_{50} kleiner dan $500 \mu m$ wordt een spilling factor van 0,4 genomen. Het percentage dat dan kan worden opgezogen is:

$$P_f = \theta * \frac{V_z}{\omega * R} = 0,4 * \frac{5}{\pi} = 0,63 [-]$$

De zuigproductie hierbij is:

$$Q_s = 0,63 * 1,53 = 0,96 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

De spilling hier is 37% van de face height. Dat komt neer op 3,7 meter. Dit is een grote hoeveelheid spillage. Echter door de variatie van de doordringbaarheid van de grond mag er een standaard worden aangenomen voor de P_f van 0,9.

Hieruit volgt:

$$Q_s = 0,9 * 1,53 = 1,38 \left[\frac{m^3}{s} \right] \rightarrow 4968 \rightarrow 5000 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

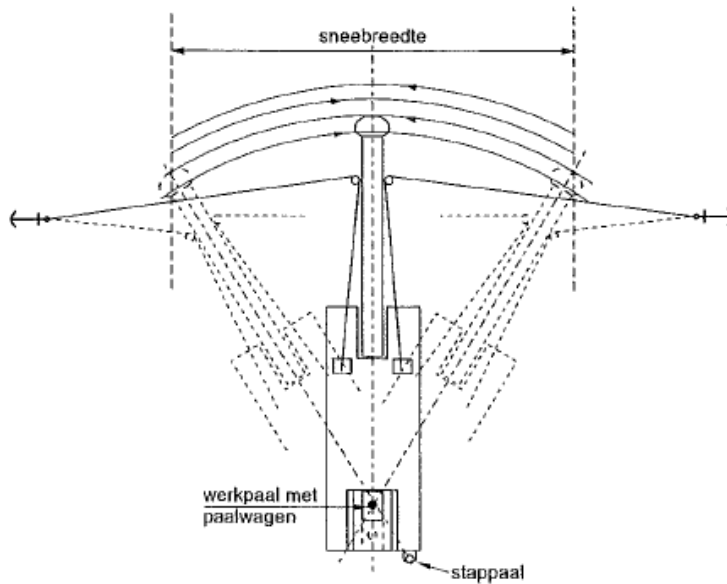
Om zoveel mogelijk spillage alsnog te baggeren moet er een extra swing worden gemaakt. Met de onderstaande formule wordt de snelheid van deze swing bepaald om zoveel mogelijk spillage alsnog op te zuigen. Het oppervlak wat de kop zuigt is $2,5 m^2$.

$$V_t = \frac{Q_b}{A_c} = \frac{1,53}{2,5} = 0,61 \frac{m}{s} = 36,6 \left[\frac{m}{min} \right]$$

Werkmethodiek snijkopzuigers:

De snijkopzuiger ligt tijdens het bedrijf (werkzaam) verankerd met een spudpaal aan de achterkant van het schip en middels twee zijankers aan de voorkant van het schip. Dit is te zien op figuur 41. Om de snijkop van links naar rechts te laten bewegen of andersom moeten de lieren aan de voorkant van het schip aan de ene kant af te laten lopen en aan de andere kant op te halen. Dit proces wordt 'verhalen' genoemd. Er is een aantal factoren die hier effect op kunnen hebben. Dit zijn:

- Grondsoort
- Wind- en stroomkrachten
- Positie van het schip



Figuur 41. Sneebreeds snijkopzuiger

Aan de achterkant van het schip zitten twee spudpalen. Deze palen zorgen voor de verankering aan de achterkant van het schip en dragen zorg dat het schip stappen vooruit kan zetten. Een spudpaal zit in een paalwagen. Dit is de werkspudpaal die ervoor zorgt dat het schip stappen kan maken. De afstand van de paalwagens -ook wel de slag genoemd- ligt tussen de 4 en 6 meter in. Zodra de snijkopzuiger klaar is om een volgende stap te maken, wordt de werkspudpaal gehesen waarna de paalwagens met de gewenste stap naar voren gaat. Voordat de werkspudpaal wordt gehesen, wordt eerst de hulpspudpaal in de grond gezet zodat de snijkopzuiger niet door wind of stroming weg drijft. Zodra de paalwagens de stap naar voren heeft gezet, zal de werkspudpaal weer in de grond worden gezet en de hulpspudpaal worden gehesen. Deze cyclus neemt zo'n 2 tot 4 minuten in beslag.

De paalwagencyclus is als volgt:

- Verhalen : met een draaiende snijkop van de "aslijn" naar bakboord of zwaaien.
- Stappen : snijkopzuiger met een staplengte naar voren.
- Verhalen : snijkopzuiger naar stuurboord zwaaien
- Stappen : herhaling van bovenstaande
- Stappen : snijkopzuiger vooruit duwen; de paalwagens is nu volledig naar voren.
- Verhalen : snijkopzuiger van stuurboord naar de "aslijn" zwaaien.
- Verhalen : zwaaien nu gestopt; hulpspudpaal in de "aslijn" in de grond zetten, werkspudpaal ophijsen; paalwagens naar beginsituatie terugzetten; werkspudpaal terug in de grond zetten; hulpspudpaal hijsen.
- Verhalen : nieuwe cyclus

Het proces van het verpompen van de baggerspecie gaat als volgt: De zuigmond zuigt de los gemaakte baggerspecie op waarna de baggerspecie door de ladder naar het schip gaat. Halverwege de ladder zit de eerste pomp, dit wordt de onderwaterpomp genoemd. Door de pomp onder water te plaatsen geeft dit als voordeel meer waterdruk in het pomphuis waardoor er meer baggerspecie verpompt kan worden zonder dat er cavitatie ontstaat. Hierna vervolgt de baggerspecie zijn weg in het schip waar een of twee pompen de baggerspecie verder pompen. Via het achterdek van het schip zal de baggerspecie het schip verlaten door een pijpleiding heen. Het uiteinde van de pijpleiding ligt op de gewenste stortlocatie.

Er zijn enkele externe en interne factoren waar rekening mee moet worden gehouden die onderstaand zijn benoemd. Dit is ook de PvE van het schip.

Externe factoren:

- Tijdens het baggeren moet er goed worden gekeken naar de grondsoort. Bij het baggeren van rots en klei kan er een verstopping ontstaan in de pijpleiding. De belangrijkste oorzaak is dat deze grondsoorten kunnen deformeren.
- De golfhoogte speelt een belangrijke rol. Zodra er veel golven aanwezig zijn kan de snijkopzuiger de bodem niet mooi strak baggeren of zelfs helemaal niet. De maximale Hs (significante golfhoogte) is 0,5 meter voor een snijkopzuiger.
- De stroomrichting is ook van belang. Wanneer er namelijk een harde stroming staat en de snijkopzuiger baggert tegen deze stroming in dan zouden de lieren kunnen breken. Dit zal voor veel oponthoud zorgdragen.
- De bodemdiepte mag niet te diep zijn. De maximale bodemdiepte die een snijkopzuiger kan baggeren staat vermeld op de sheets die de baggersaars vrijgeven voor een schip. Een locatie zal i.p.v. te diep niet zo snel te ondiep zijn voor een snijkopzuiger, omdat een snijkopzuiger voor zich uit een weg kan baggeren.

Interne factoren:

De interne factoren zijn vooral gebaseerd op het vermogen van het schip. Als een schip een bepaalde grondsoort niet kan baggeren omdat het schip de kracht niet heeft, dan houdt het op. Verder is de kracht van de pompen van belang. Dit bepaalt hoe snel de baggerspecie door de pijpleiding kan worden getransporteerd.

Bijlage 10. Sleephopperzuigers

U wordt doorverwezen naar het separaat toegevoegde Excel-bestand 'Sleephopperzuigers'. De toelichting op de berekening is onderstaand vermeld.

De sleephopperzuiger is een schip dat gebruik maakt van grote sterke motoren en pompen om baggerspecie het schip op te laden. De sleephopperzuiger is zelf varend en heeft een eigen opslag voor de baggerspecie aan boord. Deze opslag wordt 'de beun' genoemd. De sleephopperzuiger beschikt over een aantal pompen die de baggerspecie verpompen. Er is een aantal manieren waarop de sleephopperzuiger de baggerspecie kan lossen. Onderstaand een aantal specifieke uitrustingen van een sleephopperzuiger:

- Achterwaarts gerichte zuigbuizen, deze zijn voorzien van een sleepkop die - wanneer het schip vooruit vaart - over de grond worden gesleept;
- Een of meerdere baggerpompen die worden gebruikt voor de het opzuigen, transporteren en lossen van de baggerspecie;
- Een beun met daarin een overvloei. De overvloei zorgt ervoor dat het overtollige water uit de beun kan.

Toepassingsgebied:

De sleephopperzuiger wordt voornamelijk toegepast voor het op diepte brengen en houden van waterwegen. Verder wordt het schip gebruikt voor het aanwinnen van land, terreinophoging en zandopspuiting.

Beperkingen:

Het schip heeft ook een aantal nadelen. Dit komt vooral door de grootte van de schepen. Hierdoor kunnen de schepen lastig manoeuvreren in kleine ruimtes. Ook is de diepgang van het schip een beperking, waarbij er goed moet worden gekeken bij welke bodemdiepte het schip kan worden ingezet.

De werkmethode van de sleephopperzuigers wordt onderstaand verder toegelicht.

Toelichting Sleephopperzuiger:

Onderstaand de toelichting voor hoe de productie sleephopperzuigers zijn berekend. In bijlage 10 Sleephopperzuigers zijn deze berekeningen verwerkt in een Excel-bestand.

De sleephopperzuiger die wordt gebruikt om de projectlocatie te baggeren is de Gateway. De reden dat dit schip is gekozen heeft te maken met de diepgang. Een grotere diepgang (geladen) van -10 meter is niet mogelijk door dat de bodemdiepte bij -15 begint. De volgende gegevens van het schip zijn bekend.

Gekozen TSHD		
Algemene schip gegevens		
Naam schip	Gateway	
Type schip	TSHD	
Eigenaar	Boskalis	
Bouw jaar	2010	
Fysieke eigenschappen		
Lengte (OA)	143,53	m
Breedte	28	m
Diepgang (geladen)	10	m
Snelheid	28,70	Km/h
Totale kracht	13.870	kW
Hopper volume	12.000	m ³
Draag capaciteit	22.000	t
Bagger diepte	62	m
Zuigpijp diameter	1,2	m
Aantal zuigbuizen	1	stuks

Hieronder de tabel met de baggerhoeveelheden voor de TSHD

TSHD vanaf -15 meter ten opzichte van NAP		
252.708.643	m ³	Gebied I
100.030.613	m ³	Gebied II
99.815.653	m ³	Gebied III
452.554.909	m ³	Totaal TSHD

De snelheid van het schip ligt bij een aanname van schoon zand met een redelijke kwaliteit op ongeveer **2,8 km/h**. Deze snelheid is aangenomen uit het rapport Baggeren (Poptie).

De dichtheid van het zandmengsel in de pijpleiding moet worden geschat. Dit ligt tijdens de productie aan de **Dredgemaster**. Dichtheden van 1,1 en 1,3 t/m³ zijn tekenen dat de dredgemaster het rustig aan doet. Dichtheden van 1,5 en 1,6 t/m³ kunnen ook goed voorkomen. Uit vooronderzoek is gebleken dat er in het zandpakket tot -50 meter zich af en toe kleine dunne lagen met zacht klei en veen kunnen bevinden. Deze lagen kunnen hinder opleveren tijdens het baggerproces. Het kan zelfs zo zijn dat het gehele talud in één keer naar beneden komt. Daarom wordt er voor een veilige waarde van 1,3 t/m³ gekozen voor de dichtheid van het zandmengsel. Deze waarde is ook gelijk een optimale waarde voor het vol krijgen van de beun.

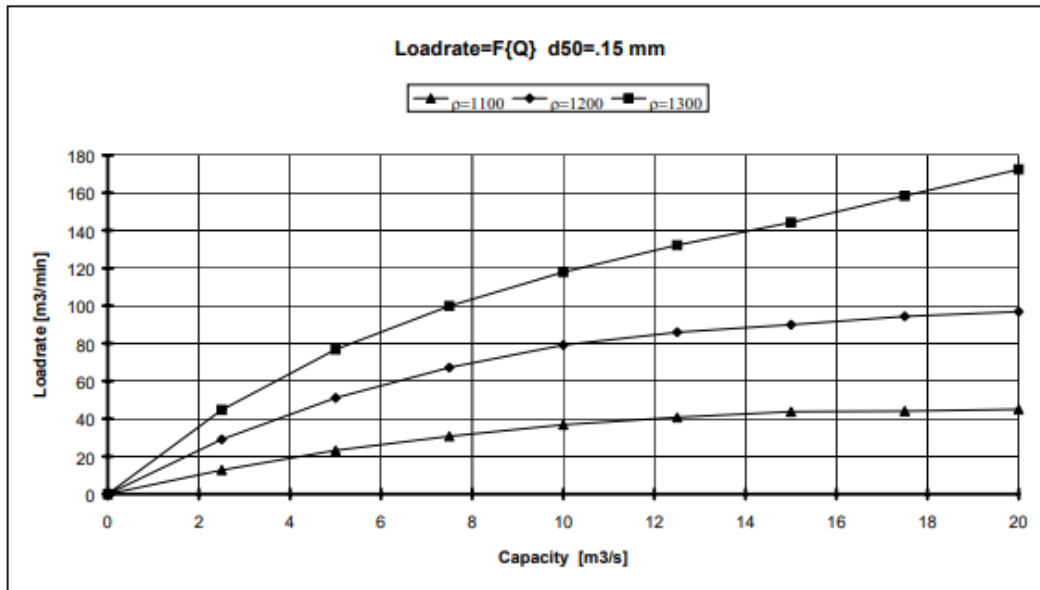


Figure 2-22 Loadrate as function of pump capacity

It can be proven that for certain particle sizes there is an optimum loadrate.

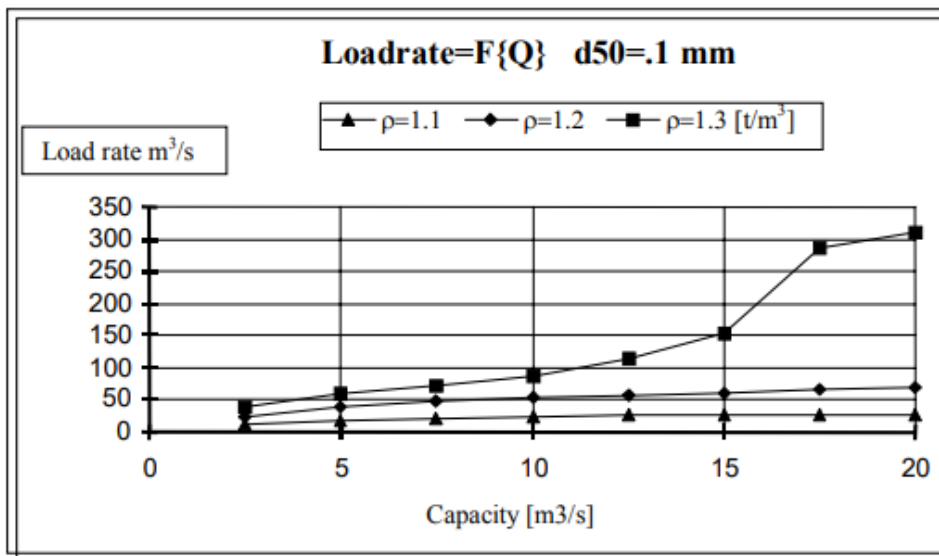


Figure 2-23

De draagcapaciteit van het schip is 22.000 ton. Hier moet nog een percentage van tussen de 85% en 95% van worden afgehaald i.v.m. met voorraden die op het schip aanwezig zullen zijn. Dit is bij elke maatschappij anders en verscheelt per schip. De deadweight bestaat niet alleen uit de nuttige lading baggerspecie. Hiertoe behoren eveneens:

- Voorraden
- Reserveonderdelen
- Bemanning
- Ballastwater

De voorraden die aan boord van het schip zijn:

- Drink- en afwaswater
- Proviand
- Brandstof
- Smeermiddel

De 'payload' is de nuttige lading die overblijft na aftrek van het bovengenoemde. Onderstaand zijn benoemd de percentages aan de hand van praktijkgegevens. Met deze praktijkgegevens kan een aanname worden gedaan voor de 'payload'.

- Weinig voorraad en reserveonderdelen meer dan 95% deadweight
- Normale voorraad en reserveonderdelen ongeveer 95% deadweight
- Veel voorraad en reserveonderdelen meer dan 90% deadweight
- Zeer veel voorraad en reserveonderdelen meer dan 85% deadweight

Een beschikbaar laadvermogen van 95% zal worden gekozen. Dit, omdat het schip dicht voor de kust werkt. Voorraden en reserveonderdelen kunnen gemakkelijk en snel naar het schip worden gebracht zonder dat dit veel tijd in gebruik neemt. $22.000 * 0,95 = 20.900 \text{ m}^3$

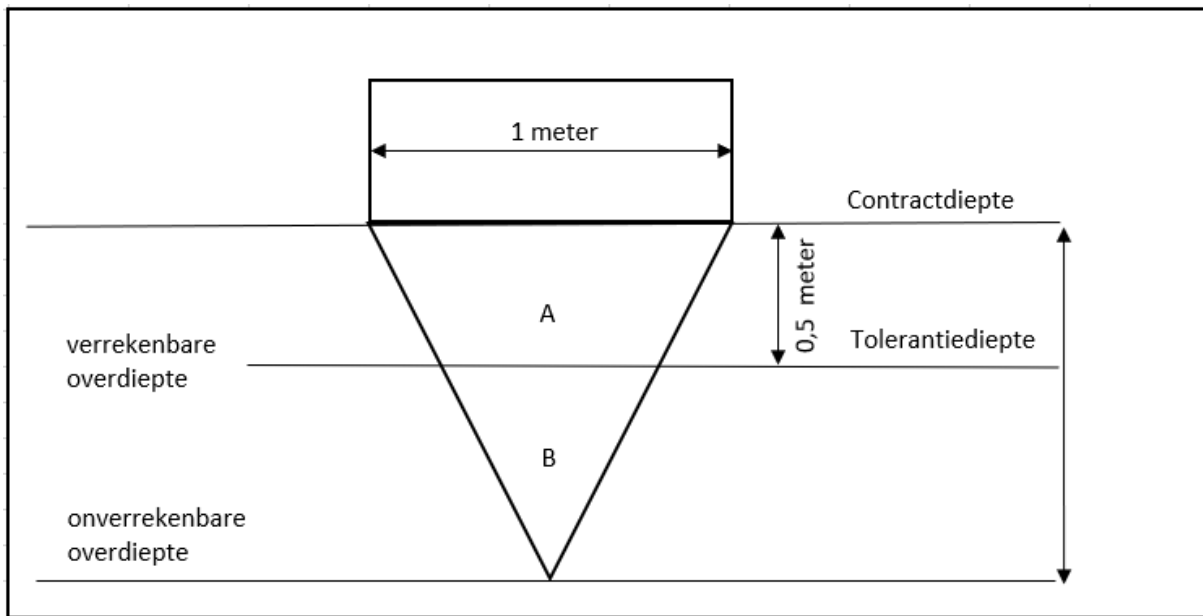
Ervaringsgegevens:

Uit het rapport: CtWA5300-SnijkopzuigerSleepkopzuiger.pdf zijn er 'Ervaringsgegevens' van de aannemer overgenomen. Het betreffen gegevens die worden aangenomen door ervaren baggeraars.

- **Slib:**
 - Laadtijd = 20 minuten
 - De zuigconcentratie = 50 % (gemiddelde)
- **Zand:**
 - De zuigconcentratie = 30 % met een debiet $5 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Beladingsgraad = 90 % bij een overloopverlies van 20% cumulatief
 - De uitlevering van het zand = 5 %
 - De dichtheid in het beun = $1900 \text{ kg}/\text{m}^3$
- Lostijden voor beide grondsoorten = 5 minuten inclusief keren
- Keertijden tijdens het zuigen = 2 minuten
- Overdiepte: de zuiger zal naar verwachting een oneffen bodem achterlaten met een top-dal verschil van ca. 1 meter.
- Zuigsnelheid tussen de 2 km/h en de 3,5 km/h. ligt vooral aan de afstanden die het schip door kan halen.

Zuigproductie:

Er zal een overdiepte van 1 meter gehanteerd moeten worden. In onderstaande figuur is de overdiepte gevisualiseerd. Hier is de hoeveelheid verrekenbare overdiepte te zien en onverrekenbare overdiepte.



De verrekenende overdiepte vierkant A is $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$. De onverrekenbare overdiepte driehoek B bedraagt $0,125 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

- Hoeveelheid effectieve vracht

Voor de beladingsgraad van de beun ligt op ongeveer 90%, de andere 10% is water. De dichtheid van het zand in-situ is 2000 kg/m^3 . De gezamenlijke dichtheid mag niet boven de 15.400 ton komen. De volgende formule volgt hieruit:

$$(0,9 \times 2000 + 0,1 \times 1025) \times \text{lading} = 20.900 \text{ ton}$$

$$\text{lading} = 10.985 \text{ m}^3$$

De lading zand die in de beun zit is dan $10.985 \times 0,9 = 9886,5 \text{ m}^3$.

Na het uitleveren 5% = $9886,5 \times 1,05 = 10380 \text{ m}^3$ situ

- Vaartijd van en naar losplaats: $(\text{gemiddelde afstand (1)} \times 2 \times 60) / 28,7 = 4 \text{ min}$
- Toeslag i.v.m. het vertragen en versnellen van het schip
min = 10
- $\text{zuigtijd} = \frac{\text{effectieve vracht}}{(1 - \text{overloopverlies}) \times \text{zuigproductie}}$
- $\frac{9886,5}{(1 - 0,2) \times 0,3 \times 5 \times 60} = 165 \text{ min}$
- Benodigde zuiglengte om de beun vol te krijgen:

$$\frac{165 \times 3,5 \times 1000}{60} = 9625 \text{ meter}$$

Werkmethodiek sleepopperzuigers;

De sleepopper zuigcyclus is als volgt:

- Ontgraven
- Laden
- Geladen vaart
- Lossen
- Ongeladen vaart terug
- Herhaling van bovenstaande

Laden: Het laden van de sleepopperzuiger gaat als volgt: Langs het schip bevinden zich één of twee zuigarmen. Deze zuigarmen hebben aan het einde van de arm een sleepkop zitten die over de bodem wordt getrokken. Hierdoor kan de sleepkop het zand van de bodem losmaken waarna het door de zuigarm naar binnen wordt gezogen. Een combinatie van baggerspecie en water wordt naar binnen gezogen, waarna het wordt opgeslagen in de beun van het schip. De beun is een eigen opslag van het schip waar de baggerspecie met water wordt opgeslagen. Door een overlaat in de beun aan te brengen kan het water dat is meegezogen uit de beun stromen waardoor de baggerspecie achterblijft in de beun. Het schip maakt dus gebruik van een sleepkop waar niet heel veel kracht kan worden opgezet. Door middel van wrikken kan het schip los sediment opzuigen. maar het kan geen sterk klei of rots naar binnen zuigen.

Lossen: De sleepopperzuiger heeft een aantal verschillende manieren om de beun leeg te maken.

Dit kan door middel van **Dumpen:** De bodem van de beun bestaat uit deuren en als het schip op de juiste locatie is, kan het schip de deuren van de beun openen waardoor al het baggerspecie op de geëiste locatie valt.

Verder kan dit door middel van **Persen:** Door middel van pompen wordt er weer water toegevoegd aan de baggerspecie, waardoor de baggerspecie vloeibaar wordt. Hierdoor kan het door een buis worden geperst, aangesloten op en aangedreven door pompen, waardoor de 'vloeibare' baggerspecie aan het uiteinde van de buis op de juiste plek wordt geloosd. Wanneer de baggerspecie via buizen hele grote afstand moeten afleggen, zullen er meerdere pompen in een serie worden gezet of er wordt gebruikt gemaakt van een tussen station.

Een van de bekendste manieren om te lossen is **Rainbowen:** Dit heeft dezelfde basis als persen maar nu wordt er via een zgn. 'Tromp' - die meestal voorop de boeg zit - de baggerspecie op de juiste locatie gespoten.

De laatste manier van lossen is via een **Kraan:** Dit zal voornamelijk worden gebruikt om de baggerspecie van het ene schip naar het andere schip te krijgen of de baggerspecie moet aan land worden gestort

Bijlage 11. Golfgroei

Bijlage 11 bestaat uit het onderstaande uitwerking van het rapport en uit een Excel bestand. Het Excel bestand staat in de map Excel Bijlage.

De golven op zee kunnen door verschillende oorzaken ontstaan. De golven ontstaan door wind over het zeeoppervlak, een beving van de aarde of door de zwaartekracht en de aantrekking van de zon en maan (getij). De meest voorkomende situatie is het ontstaan door wind op zee. De wind zorgt ervoor dat de spanning van het water op zee verstoord raakt, waardoor er rimpels ontstaan. Deze rimpels worden aangegrepen door de wind, waardoor ze steeds meer energie van de wind mee krijgen en de golf steeds groter en 'cleaner' wordt.

Het energieopslagmeer is omringd door dijken en land die ervoor zorgdragen dat er geen golven van de Noordzee in dit meer terechtkomen. De golven vanuit zee worden volledig gebroken voordat zij het meer kunnen bereiken. Het meer staat niet in directe verbinding met de zee en er zal nauwelijks een verschil in getij te merken zijn. Zware aardbevingen komen in Nederland nauwelijks tot niet voor, dus golven die ontstaan door bevingen mogen worden verwaarloosd. Zwaartekrachtgolven mogen ook worden verwaarloosd.

Golven die ontstaan door wind moeten worden bepaald. De golfhoogte is afhankelijk van de strijklengte, de diepte van het oppervlaktewater en de windsnelheid.

In bijlage 11 worden de maatgevende Hs (significante golfhoogte) en Ts (significante golfperiode) berekend. Deze zijn berekend op ontstaan door wind zonder invloed van andere factoren. Onderstaand is de tabel met daarin de maatgevende Hs en Ts per maand weergegeven.

In de onderstaande tabel 19 staan de gemiddelde door wind ontstane golfhoogtes met de bijhorende periodes. Dit zijn niet de maatgevende gegevens. Er is per maand bepaald bij welke windsnelheid de significante golfhoogte boven de 0,5 meter komt. Daarna is er gekeken hoe vaak deze windsnelheid per maand wordt overschreden.

Maand	Hs [m/s]	Ts [sec]
Januari	0,42	2,7
Februari	0,40	2,6
Maart	0,35	2,4
April	0,29	2,3
Mei	0,29	2,3
Juni	0,28	2,2
Juli	0,27	2,2
Augustus	0,28	2,2
September	0,32	2,4
Oktober	0,38	2,6
November	0,39	2,6
December	0,41	2,7

Tabel 18: Golf gegevens strijklengte

In de onderstaande tabel 20 is per maand de maatgevende windsnelheid en de bijbehorende overschrijdingspercentage en golfperiode vermeld bij een golfhoogte van 0,5 meter. De bijbehorende golfperiode is 2,9 seconden. Deze 2,9 seconden wordt gezien als een lage golfperiode. Daarom zal een overschrijdingshoogte van 1,0 meter ook voldoen. In tabel 21 zijn de overschrijdingspercentages bij 1,0 meter te zien.

Overschrijdingspercentages bij een Hs van 0,5 meter

Maand	Maatgevende windsnelheid [m/s]	Overschrijdingspercentage [%]	Golfperiode [sec]
Januari	9,66	34,87	2,9
Februari	9,55	30,12	2,9
Maart	9,55	21,19	2,9
April	9,56	12,34	2,9
Mei	9,55	13,78	2,9
Juni	9,69	11,35	2,9
Juli	9,66	11,51	2,9
Augustus	9,65	13,78	2,9
September	9,67	18,83	2,9
Oktober	9,65	26,24	2,9
November	9,66	28,11	2,9
December	9,66	34,61	2,9

Tabel 19. Overschrijdingspercentages bij een Hs van 0,5 meter

Tabel 21 geeft de overschrijdingspercentages bij een Hs van 1,0 meter weer. Hierin is te zien dat deze overschrijdingspercentages vrijwel verwaarloosbaar zijn. Daarom zal de golfgroei door wind niet worden meegenomen in de downtime berekening. In bijlage 11 'Golfgroei' staan de berekeningen voor het bovenstaande.²

Overschrijdingspercentages bij een Hs van 1,0 meter

Maand	Maatgevende windsnelheid [m/s]	Overschrijdingspercentage [%]	Golfperiode [sec]
Januari	17,6	0,44	3,9
Februari	17,5	0,48	3,9
Maart	17,4	0,17	3,9
April	17,5	0,00	3,9
Mei	17,5	0,00	3,9
Juni	17,7	0,00	3,9
Juli	17,6	0,00	3,9
Augustus	17,6	0,00	3,9
September	17,7	0,09	3,9
Oktober	17,6	0,52	3,9
November	17,6	0,36	3,9
December	17,6	0,52	3,9

Tabel 20. Overschrijdingspercentages bij een Hs van 1,0 meter

² Bijlage 11 tot stand gekomen tussen opsteller en een medestudent. Beiden werken aan het onderzoek naar het Delta21-plan, echter elk aan een ander onderwerp en eigen onderzoek. De gegevens vanuit bijlage 11 zijn gezamenlijk opgesteld, omdat de gegevens voor beide onderzoeken noodzakelijk zijn.

Berekeningsrapport Golfgroei

Zoals bovenstaand is aangegeven kunnen de golven op zee door verschillende redenen ontstaan.

Golven die ontstaan door wind is het overige punt wat moet worden bepaald. De golfhoogte is afhankelijk van de strijklengte, de diepte van het oppervlakte water en de windsnelheid.

Golfgroeiformules

Met de golfgroeiformules kan een schatting worden gemaakt van de golfrandvoorwaarden. Deze formules zijn gebaseerd op jarenlange metingen op de locatie waar deze golfrandvoorwaarden van belang zijn. Er zijn vier methodes die worden beschreven in de volgende subparagrafen: volgens Bretschneider, volgens Young & Verhagen, volgens Breugem & Holthuijsen en volgens Kahma & Calkoen. Voor alle formules word gebruik gemaakt van de volgende variabelen:

1. F , de (effectieve) strijklengte in [m];
2. U , de windsnelheid op 10 m hoogte in [m/s];
3. d , de waterdiepte in [m];
4. g , de gravitatieversnelling in [m/s²].

4.1. Formule van Bretschneider

De formules van Bretschneider zijn een uitwerking van grafische relaties die zijn afgeleid door [Sverdrup en Munk, 1947]. De meetdata van Lake Okeechobee (Florida, USA) en de Golf van Mexico zijn gebruikt door Bretschneider. Hierbij is Bretschneider ervan uitgegaan dat de windsnelheid U de windsnelheid op 10 meter hoogte boven de waterspiegel is., waarbij de wind lang genoeg waait in dezelfde richting om ervoor te zorgen dat het golfveld volgroeid is.

De Bretschneider formules zijn (cf. [CERC, 1973]):

$$H_s = \frac{0,283 \times U^2 a_1}{g} \tanh \left(\frac{0,0125}{a_1} \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0,42} \right)$$

en

$$T_p = \frac{7,519 \times U a_2}{g} \tanh \left(\frac{0,77}{a_2} \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0,25} \right)$$

,

Waarbij:

$$a_1 = \tanh \left(0,530 \left(\frac{gd}{U^2} \right)^{0,75} \right) \quad \text{en} \quad a_2 = \tanh \left(0,833 \left(\frac{gd}{U^2} \right)^{0,375} \right).$$

4.2. Formule van Young & Verhagen

Bij de formule van Young & Verhagen worden de windrichtingen over de as van Noord naar Zuid en van Zuid naar Noord gebruikt. Dit is in de situatie van Delta21 niet ideaal, omdat de dominante windrichting vanuit het Noordoosten richting het Zuidwesten gaat. Het verschil van deze methode ten opzichte van de formule van Bretschneider is dat de formule van Bretschneider gebruik maakt van een single-point meet methode. De formule van Young & Verhagen wordt afgeleid uit een set van 8 meetpunten. Deze methode wordt vooral gebruikt voor ondiepe locaties. Het Energieopslagmeer met een diepte van -25 meter NAP wordt niet gezien als ondiep, vandaar dat de keuze niet is gevallen op de toepassing van de formule van Young & Verhagen. Om de formule van Young & Verhagen te kunnen uitvoeren is de formule van Bretschneider nodig. Dit ook weer om specifiekere golfgroei te bepalen bij een ondiepe bodem.

$$H_s = \frac{0,241 \times U^2 b_1^{0,87}}{g} \tanh^{0,87} \left(\frac{3,133 \times 10^{-3}}{b_1} \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0,575} \right)$$

$$T_p = \frac{7,519 \times U b_2^{0,37}}{g} \tanh^{0,37} \left(\frac{5,215 \times 10^{-4}}{b_2} \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0,73} \right)$$

Waarbij:

$$b_1 = \tanh \left(0,493 \left(\frac{gd}{U^2} \right)^{0,747} \right) \quad \text{en} \quad b_2 = \tanh \left(0,331 \left(\frac{gd}{U^2} \right)^{1,014} \right)$$

4.3. Formule van Breugem & Holthuijsen

De formule van Breugem & Holthuijsen is een variant op de formule van Young & Verhagen. Het verschil zit hem in de windrichting die vanuit het zuiden naar het noorden gaat. Dit omdat er bij Lake George een versmalling is vanuit het zuiden naar het noorden. Dit is een hele specifieke aanpassing aan de formule een geheel gebaseerd op de situatie bij Lake George. Omdat deze zo specifiek is, wordt deze niet gebruikt bij de bepaling van de golfgroei op het Energieopslagmeer van Delta21.

$$H_s = \frac{0,240 \times U^2 c_1^{0,572}}{g} \tanh^{0,572} \left(\frac{4,410 \times 10^{-4}}{c_1} \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0,790} \right)$$

$$T_p = \frac{7,690 \times U c_2^{0,187}}{g} \tanh^{0,187} \left(\frac{2,770 \times 10^{-7}}{c_2} \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1,450} \right)$$

Waarbij:

$$c_1 = \tanh \left(0,343 \left(\frac{gd}{U^2} \right)^{1,14} \right) \quad \text{en} \quad c_2 = \tanh \left(0,100 \left(\frac{gd}{U^2} \right)^{2,01} \right)$$

4.4. Formule van Kahma & Calkoen

De formules van Kahma & Calkoen zijn voornamelijk gebaseerd op een compilatie van meerdere datasets en alleen geldig voor een dimensie loze strijklengte groter dan 100. Er zit geen diepte in de formules verwerkt, wat opmerkelijk is. In deze formules worden dus alleen diep water beschouwd. Deze afgeleide groeikromme is dus niet toepasbaar op relatief ondiep water.

Bij kleine dimensie loze strijklengtes valt op dat de formules van Breugem & Holthuijsen overeenkomen met de formules van Kahma & Calkoen. De formules van Breugem & Holthuijsen bevatten een echter diepte-afhankelijke term als toevoeging.

De Kahma & Calkoen formules zijn:

$$H_s = \frac{2,884 \times 10^{-3} \times U^2}{g} \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0,45} \quad \text{en}$$

$$T_p = \frac{7,3 \times 10^{-2} \times 2\pi \times U}{g} \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0,27} .$$

2. Strijklengte

Om de golfhoogte te berekenen moet de effectieve strijklengte worden bepaald. De effectieve strijklengte in het Energieopslagmeer wordt berekend met de methode van Bretschneider. De effectieve strijklengte F_e is nodig om de strijklengte F te bepalen. De formule voor de effectieve strijklengte is:

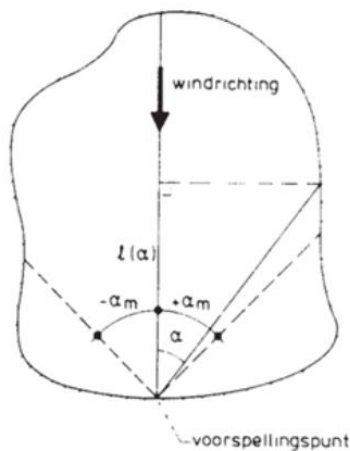
$$F_e = \frac{\sum R(\theta) * \cos^2(\theta)}{\sum \cos(\theta)}$$

Hierin is:

F_e	= Effectieve strijklengte
R	= Strijklengte, afhankelijk van de invalshoek
θ	= Invalshoek

Voor θ dient een maximale van 42 graden aangehouden te worden. In figuur 42 is te zien waar deze waarde gebruikt wordt op het meer. Dit schema wordt toegepast op het Energieopslag meer van Delta21 met de maatgevende windrichting op dit gebied. In figuur 42 is beschreven dat de gemiddelde windrichting in Nederland Zuidwest is. Dit betekent dat het maatgevende aangrijppingspunt van de wind in het meer zich aan de Noordoost zijde moet bevinden.

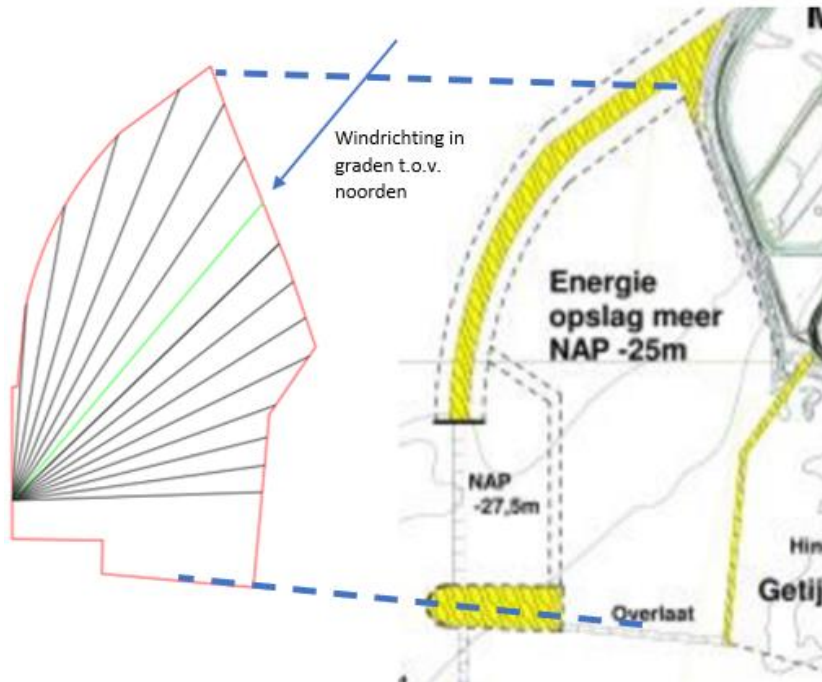
In figuur 43 is een Autocad tekening van het meer te zien, hierin is het schema verwerkt om zo de lengtes te berekenen bij verschillende hoeken vanaf het aangrijppunt van de windrichting. Om de effectieve strijklengte te berekenen wordt gebruik gemaakt van een rekenschema (LOR1(TAW, 1985)).



Figuur 42 Schema rekenvoorbeeld effectieve strijklengte. Bron: Helpdeskwater.nl

3. Berekening golfgroei

De significante golfhoogte en periode worden per maand bepaald. Hiervoor worden de windgegevens van het KNMI gebruikt van de periode 1981 tot 2020. In bijlage 2 is te zien hoe de gemiddelde gegevens per maand zijn bepaald. Door deze windgegevens te gebruiken, kan de effectieve strijklengte worden bepaald, waarna aansluitend de significante golfhoogte en golfperiode kunnen worden bepaald.



Figuur 43 Voorbeeld van het bepalen van de strijklengtes per invalhoek op het Energieopslagmeer van Delta21.

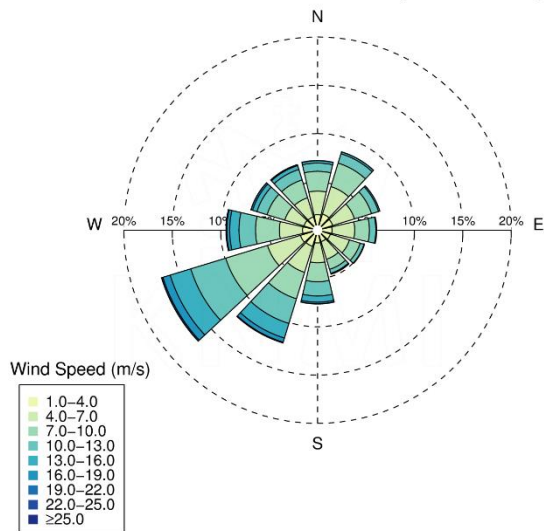
Gemiddelde per maand (1983-2020)	januari	februari	maart	april	mei	juni
Windrichting in graden	200	193	189	173	168	196
	juli	augustus	september	oktober	november	december
	200	202	201	192	201	197

Tabel 21. Gemiddelde windrichting

Gemiddelde per maand (1983-2020)	januari	februari	maart	april	mei	juni
Windsnelheid in m/s	8,445137	7,888389	7,109745	6,154065	6,120616	5,986038
	juli	augustus	september	oktober	november	december
	5,777941	5,956403	6,652538	7,622425	7,837395	8,181843

Tabel 22. Gemiddelde windsnelheden

F010 WindRose for LEGO (1979–2013)



3.1 Maatgevende gegevens:

Maatgevende gegevens voor onderstaande tabellen. Deze gegevens zijn benodigd om de formules geheel in te kunnen vullen.

- Maatgevende waterdiepte = 25,425 m/s
- Maatgevende windsnelheid = per maand verschillend
- Maatgevende strijklengte = per maand aangegeven in de onderstaande tabellen

Gebruikte formules:

Zie kopje 1.1.1.1 Formule van Bretschneider. Hier staan de formules die gebruikt zijn om de onderstaande antwoorden te krijgen. Naast de tabellen zijn de figuren van de windrichtingen op het meer weergegeven.

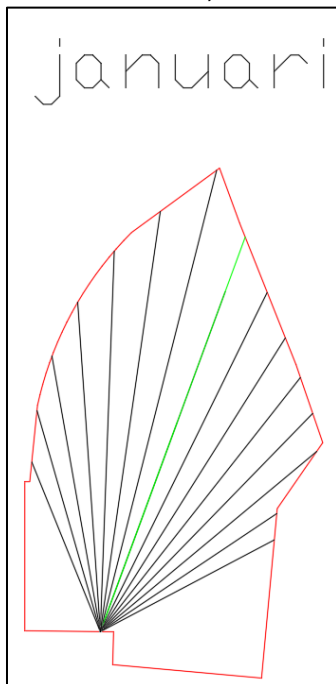
3.1.1. Berekening effectieve strijklengte, golfhoogte en golfperiode.

Januari:

Windrichting	Maand	θ in graden	$\cos \theta$	$\cos(\theta)^2$	R(θ) in meters	R(θ) * $\cos(\theta)^2$
200 graden	Januari	-42	0,743	0,552	3980	2197
		-36	0,809	0,654	4297	2810
		-30	0,866	0,750	5699	4274
		-24	0,914	0,835	6169	5151
		-18	0,951	0,904	6555	5926
		-12	0,978	0,956	7039	6729
		-6	0,995	0,990	7670	7593
		0	1,000	1,000	8528	8528
		6	0,995	0,990	9657	9560
		12	0,978	0,956	8616	8237
		18	0,951	0,904	7730	6988
		24	0,914	0,835	6703	5597
		30	0,866	0,750	5677	4258
		36	0,809	0,664	4668	3100
		42	0,743	0,552	3713	2050

Som van $\cos \theta =$	13,512
Som van R(θ) * $\cos(\theta)^2 =$	82998
Bepaling van de effectieve strijklengte =	6142,53967
$F_e = \frac{\sum R(\theta) * \cos^2(\theta)}{\sum \cos(\theta)}$	

Hs = 0,427688178 m
 Tp = 2,706216511 sec
 α_1 = 0,875318802
 α_2 = 0,869763058

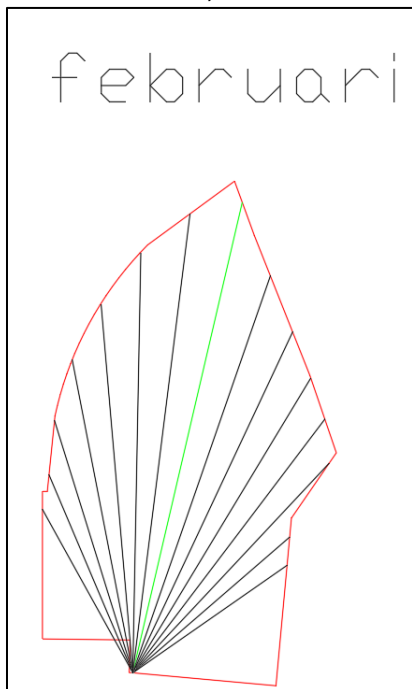


Februari:

Windrichting	Maand	θ in graden	$\cos \theta$	$\cos(\theta)^2$	R(θ) in meters	R(θ) * $\cos(\theta)^2$
193 graden	Februari	-42	0,743	0,552	3854	2127
		-36	0,809	0,654	4253	2781
		-30	0,866	0,750	5892	4419
		-24	0,914	0,835	6524	5448
		-18	0,951	0,904	7062	6384
		-12	0,978	0,956	7722	7382
		-6	0,995	0,990	8617	8531
		0	1,000	1,000	9909	9909
		6	0,995	0,990	9490	9395
		12	0,978	0,956	8619	8240
		18	0,951	0,904	7588	6860
		24	0,914	0,835	6545	5465
		30	0,866	0,750	5418	4064
		36	0,809	0,664	4410	2928
		42	0,743	0,552	3829	2114

Som van $\cos \theta =$	13,512
Som van R(θ) * $\cos(\theta)^2 =$	86046
Bepaling van de effectieve strijklengte =	6368,14
$F_e = \frac{\sum R(\theta) * \cos^2(\theta)}{\sum \cos(\theta)}$	

- Hs = 0,400577137 m
- Tp = 2,62999586 sec
- $\alpha_1 = 0,905397468$
- $\alpha_2 = 0,885786308$

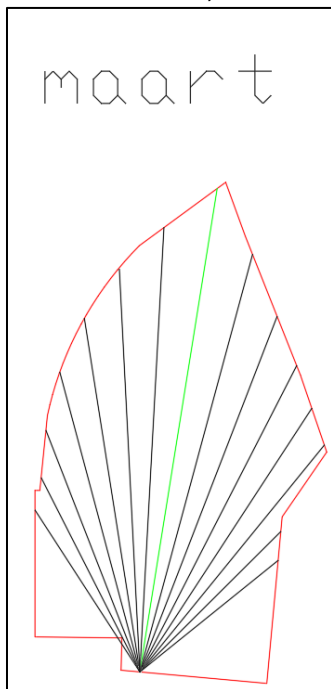


Maart:

Windrichting	Maand	θ in graden	$\cos \theta$	$\cos(\theta)^2$	R(θ) in meters	R(θ) * $\cos(\theta)^2$
189 graden	maart	-42	0,743	0,552	3668	2025
		-36	0,809	0,654	4107	2686
		-30	0,866	0,750	6038	4529
		-24	0,914	0,835	6500	5428
		-18	0,951	0,904	7107	6425
		-12	0,978	0,956	7873	7527
		-6	0,995	0,990	8933	8844
		0	1,000	1,000	10113	10113
		6	0,995	0,990	9193	9101
		12	0,978	0,956	8338	7971
		18	0,951	0,904	7395	6685
		24	0,914	0,835	6413	5355
		30	0,866	0,750	5355	4016
		36	0,809	0,664	4503	2990
		42	0,743	0,552	3983	2199

Som van $\cos \theta =$	13,512
Som van R(θ) * $\cos(\theta)^2 =$	85892
Bepaling van de effectieve strijklengte =	6356,70
$F_e = \frac{\sum R(\theta) * \cos^2(\theta)}{\sum \cos(\theta)}$	

- Hs = 0,354099804 m
 Tp = 2,485889323 sec
 $\alpha_1 = 0,941903279$
 $\alpha_2 = 0,907939221$

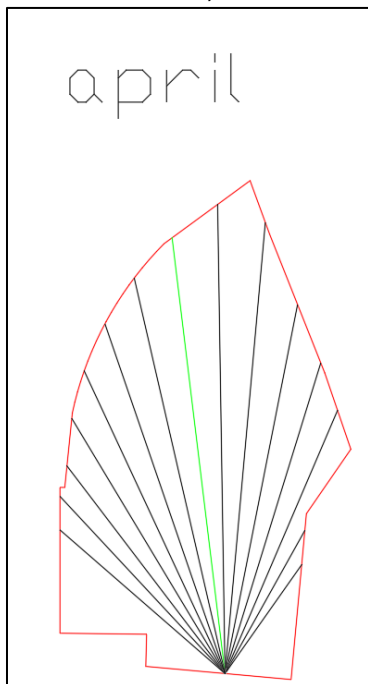


April:

Windrichting	Maand	θ in graden	$\cos \theta$	$\cos(\theta)^2$	R(θ) in meters	R(θ) * $\cos(\theta)^2$
173 graden	april	-42	0,743	0,552	2760	1524
		-36	0,809	0,654	3398	2222
		-30	0,866	0,750	5938	4454
		-24	0,914	0,835	6743	5630
		-18	0,951	0,904	7804	7055
		-12	0,978	0,956	9398	8984
		-6	0,995	0,990	9736	9639
		0	1,000	1,000	9109	9109
		6	0,995	0,990	8421	8337
		12	0,978	0,956	7672	7334
		18	0,951	0,904	6923	6258
		24	0,914	0,835	6172	5154
		30	0,866	0,750	5409	4057
		36	0,809	0,664	5019	3333
		42	0,743	0,552	4534	2503

Som van $\cos \theta =$	13,512
Som van R(θ) * $\cos(\theta)^2 =$	85592
Bepaling van de effectieve strijklengte =	6334,52
$F_e = \frac{\sum R(\theta) * \cos^2(\theta)}{\sum \cos(\theta)}$	

Hs = 0,297817877 m
 Tp = 2,295286729 sec
 $\alpha_1 = 0,974709033$
 $\alpha_2 = 0,934016016$

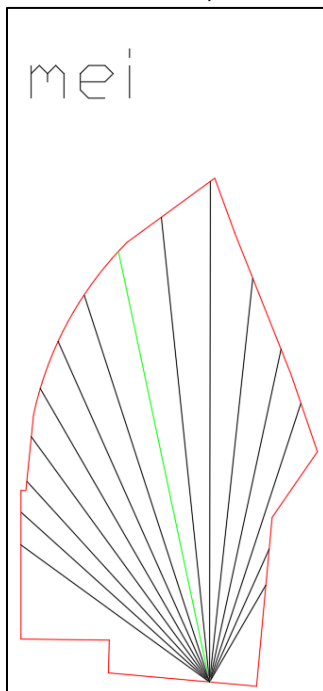


Mei:

Windrichting	Maand	θ in graden	$\cos \theta$	$\cos(\theta)^2$	R(θ) in meters	R(θ) * $\cos(\theta)^2$
168 graden	mei	-42	0,743	0,552	2281	1259
		-36	0,809	0,654	2968	1941
		-30	0,866	0,750	5973	4480
		-24	0,914	0,835	6931	5787
		-18	0,951	0,904	8272	7478
		-12	0,978	0,956	10200	9751
		-6	0,995	0,990	9520	9425
		0	1,000	1,000	8967	8967
		6	0,995	0,990	8288	8205
		12	0,978	0,956	7591	7257
		18	0,951	0,904	6897	6235
		24	0,914	0,835	6172	5154
		30	0,866	0,750	5522	4142
		36	0,809	0,664	5162	3428
		42	0,743	0,552	4740	2616

Som van $\cos \theta =$	13,512	
Som van R(θ) * $\cos(\theta)^2 =$	86124	
Bepaling van de effectieve strijklengte =	6373,92	
$F_e = \frac{\sum R(\theta) * \cos^2(\theta)}{\sum \cos(\theta)}$		

Hs = 0,296613314 m
 Tp = 2,291345796 sec
 $\alpha_1 = 0,97558688$
 $\alpha_2 = 0,934893158$

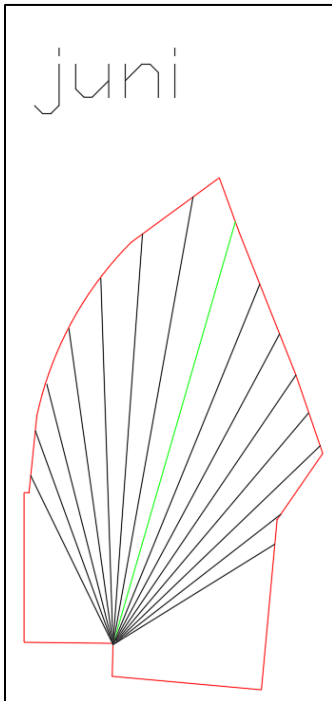


Juni:

Windrichting	Maand	θ in graden	$\cos \theta$	$\cos(\theta)^2$	R(θ) in meters	R(θ) * $\cos(\theta)^2$
196 graden	juni	-42	0,743	0,552	3843	2121
		-36	0,809	0,654	4284	2802
		-30	0,866	0,750	5796	4347
		-24	0,914	0,835	6129	5118
		-18	0,951	0,904	6581	5949
		-12	0,978	0,956	7123	6810
		-6	0,995	0,990	7866	7787
		0	1,000	1,000	8899	8899
		6	0,995	0,990	9192	9100
		12	0,978	0,956	8323	7957
		18	0,951	0,904	7406	6695
		24	0,914	0,835	6439	5377
		30	0,866	0,750	5431	4073
		36	0,809	0,664	4601	3055
		42	0,743	0,552	3796	2095

Som van $\cos \theta =$	13,512
Som van R(θ) * $\cos(\theta)^2 =$	82185
Bepaling van de effectieve strijklengte =	6082,38
$F_e = \frac{\sum R(\theta) * \cos^2(\theta)}{\sum \cos(\theta)}$	

- Hs = 0,283499618 m
- Tp = 2,241223125 sec
- $\alpha_1 = 0,978930632$
- $\alpha_2 = 0,938391201$

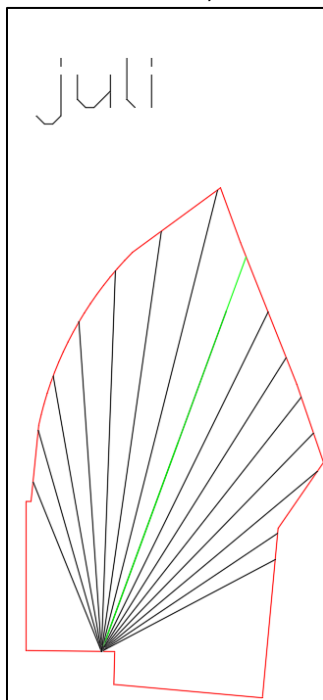


Juli:

Windrichting	Maand	θ in graden	$\cos \theta$	$\cos(\theta)^2$	R(θ) in meters	R(θ) * $\cos(\theta)^2$
200 graden	juli	-42	0,743	0,552	3980	2197
		-36	0,809	0,654	4297	2810
		-30	0,866	0,750	5699	4274
		-24	0,914	0,835	6169	5151
		-18	0,951	0,904	6555	5926
		-12	0,978	0,956	7039	6729
		-6	0,995	0,990	7670	7593
		0	1,000	1,000	8528	8528
		6	0,995	0,990	9657	9560
		12	0,978	0,956	8616	8237
		18	0,951	0,904	7730	6988
		24	0,914	0,835	6703	5597
		30	0,866	0,750	5677	4258
		36	0,809	0,664	4668	3100
		42	0,743	0,552	3713	2050

Som van $\cos \theta =$	13,512	
Som van R(θ) * $\cos(\theta)^2 =$	82998	
Bepaling van de effectieve strijklengte =	6142,54	
$F_e = \frac{\sum R(\theta) * \cos^2(\theta)}{\sum \cos(\theta)}$		

Hs = 0,272907389 m
 Tp = 2,202528251 sec
 $\alpha_1 = 0,983471715$
 $\alpha_2 = 0,943642738$

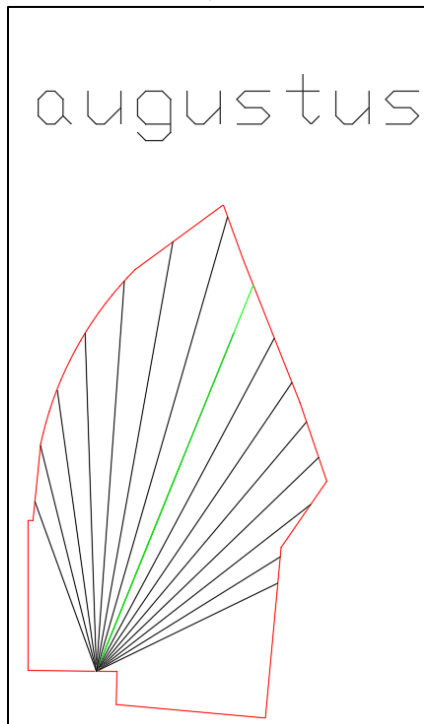


Augustus:

Windrichting	Maand	θ in graden	$\cos \theta$	$\cos(\theta)^2$	R(θ) in meters	R(θ) * $\cos(\theta)^2$
202 graden	augustus	-42	0,743	0,552	4065	2244
		-36	0,809	0,654	4365	2855
		-30	0,866	0,750	5475	4106
		-24	0,914	0,835	6222	5195
		-18	0,951	0,904	6576	5945
		-12	0,978	0,956	7032	6723
		-6	0,995	0,990	7617	7541
		0	1,000	1,000	8409	8409
		6	0,995	0,990	9542	9447
		12	0,978	0,956	8798	8411
		18	0,951	0,904	7863	7108
		24	0,914	0,835	6794	5673
		30	0,866	0,750	5739	4304
		36	0,809	0,664	4684	3110
		42	0,743	0,552	3640	2009

Som van $\cos \theta =$	13,512
Som van R(θ) * $\cos(\theta)^2 =$	83080
Bepaling van de effectieve strijklengte =	6148,58
$F_s = \frac{\sum R(\theta) * \cos^2(\theta)}{\sum \cos(\theta)}$	

- Hs = 0,283239956 m
- Tp = 2,240882229 sec
- $\alpha_1 = 0,979542914$
- $\alpha_2 = 0,939062026$

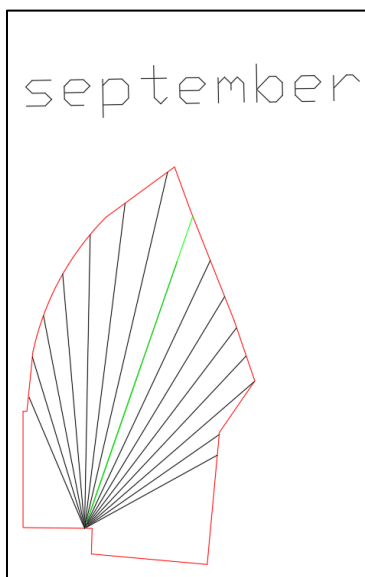


September:

Windrichting	Maand	θ in graden	$\cos \theta$	$\cos(\theta)^2$	R(θ) in meters	R(θ) * $\cos(\theta)^2$
201 graden	september	-42	0,743	0,552	3939	2174
		-36	0,809	0,654	4265	2789
		-30	0,866	0,750	5842	4382
		-24	0,914	0,835	6148	5134
		-18	0,951	0,904	6549	5920
		-12	0,978	0,956	7047	6737
		-6	0,995	0,990	7703	7626
		0	1,000	1,000	8597	8597
		6	0,995	0,990	9527	9432
		12	0,978	0,956	8533	8158
		18	0,951	0,904	7652	6917
		24	0,914	0,835	6645	5549
		30	0,866	0,750	5644	4233
		36	0,809	0,664	4668	3100
		42	0,743	0,552	3713	2050

Som van $\cos \theta =$	13,512	
Som van R(θ) * $\cos(\theta)^2 =$	82796	
Bepaling van de effectieve strijklengte =	6127,61	
$F_{\epsilon} = \frac{\sum R(\theta) * \cos^2(\theta)}{\sum \cos(\theta)}$		

- Hs = 0,322337149 m
 Tp = 2,378491462 sec
 α_1 = 0,959512447
 α_2 = 0,920698464

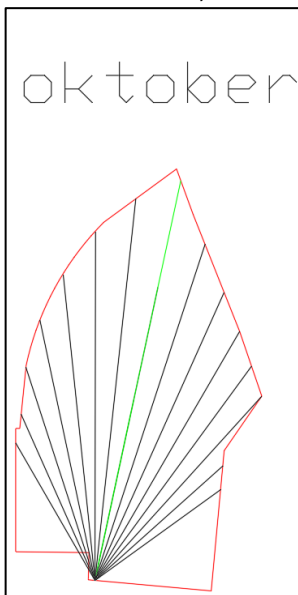


Oktober:

Windrichting	Maand	θ in graden	$\cos \theta$	$\cos(\theta)^2$	R(θ) in meters	R(θ) * $\cos(\theta)^2$
192 graden	oktober	-42	0,743	0,552	3794	2094
		-36	0,809	0,654	4201	2747
		-30	0,866	0,750	6075	4556
		-24	0,914	0,835	6503	5430
		-18	0,951	0,904	7060	6382
		-12	0,978	0,956	7067	6756
		-6	0,995	0,990	8673	8586
		0	1,000	1,000	9809	9809
		6	0,995	0,990	9416	9322
		12	0,978	0,956	9550	9130
		18	0,951	0,904	7537	6813
		24	0,914	0,835	6531	5453
		30	0,866	0,750	5492	4119
		36	0,809	0,664	4454	2957
		42	0,743	0,552	3890	2147

Som van $\cos \theta =$	13,512
Som van R(θ) * $\cos(\theta)^2 =$	86304
Bepaling van de effectieve strijklengte =	6387,19
$F_e = \frac{\sum R(\theta) * \cos^2(\theta)}{\sum \cos(\theta)}$	

- Hs = 0,38504358 m
- Tp = 2,583279179 sec
- $\alpha_1 = 0,918819771$
- $\alpha_2 = 0,893474002$

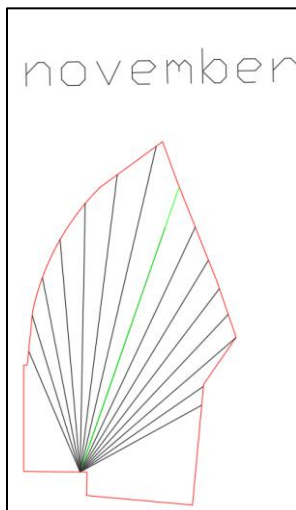


November:

Windrichting	Maand	θ in graden	$\cos \theta$	$\cos(\theta)^2$	R(θ) in meters	R(θ) * $\cos(\theta)^2$
201 graden	november	-42	0,743	0,552	3939	2174
		-36	0,809	0,654	4265	2789
		-30	0,866	0,750	5842	4382
		-24	0,914	0,835	6148	5134
		-18	0,951	0,904	6549	5920
		-12	0,978	0,956	7047	6737
		-6	0,995	0,990	7703	7626
		0	1,000	1,000	8597	8597
		6	0,995	0,990	9527	9432
		12	0,978	0,956	8533	8158
		18	0,951	0,904	7652	6917
		24	0,914	0,835	6645	5549
		30	0,866	0,750	5644	4233
		36	0,809	0,664	4668	3100
		42	0,743	0,552	3713	2050

Som van $\cos \theta =$	13,512	
Som van R(θ) * $\cos(\theta)^2 =$	82796	
Bepaling van de effectieve strijklengte =	6127,61	
$F_{\epsilon} = \frac{\sum R(\theta) * \cos^2(\theta)}{\sum \cos(\theta)}$		

Hs = 0,391565631 m
 Tp = 2,599802506 sec
 α_1 = 0,907875475
 α_2 = 0,887175068

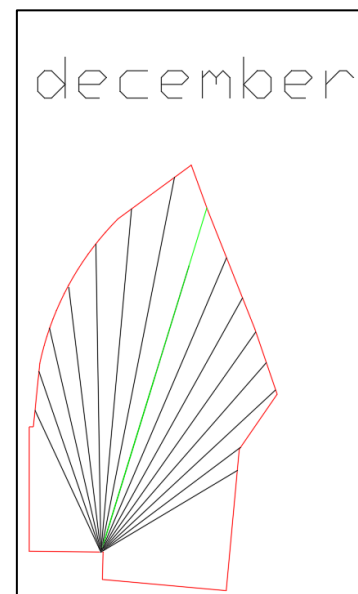


December:

Windrichting	Maand	θ in graden	$\cos \theta$	$\cos(\theta)^2$	R(θ) in meters	R(θ) * $\cos(\theta)^2$
197 graden	december	-42	0,743	0,552	3861	2131
		-36	0,809	0,654	4244	2776
		-30	0,866	0,750	5795	4346
		-24	0,914	0,835	6114	5105
		-18	0,951	0,904	6546	5918
		-12	0,978	0,956	7074	6763
		-6	0,995	0,990	7782	7704
		0	1,000	1,000	8759	8759
		6	0,995	0,990	9286	9193
		12	0,978	0,956	8379	8010
		18	0,951	0,904	7498	6778
		24	0,914	0,835	6489	5418
		30	0,866	0,750	5583	4187
		36	0,809	0,664	4643	3083
		42	0,743	0,552	3800	2098

Som van $\cos \theta =$	13,512	
Som van R(θ) * $\cos(\theta)^2 =$	82270	
Bepaling van de effectieve strijklengte =	6088,63	
$F_e = \frac{\sum R(\theta) * \cos^2(\theta)}{\sum \cos(\theta)}$		

Hs = 0,410526874 m
 Tp = 2,655702374 sec
 α_1 = 0,889977151
 α_2 = 0,877400293



Dit betekent dat de effectieve strijklengte van het Energieopslagmeer 6226 meter bedraagt op basis van de gemiddelde gegevens per jaar en dus niet per maand. Deze waarde kan worden gebruikt om de strijklengte F te bepalen, die uiteindelijk leidt tot een berekening voor de golfgroei. Hiermee kan worden bepaald wat de uiteindelijke golfhoogte op het meer zal worden, zonder dat er constructies op en in het water zijn gerealiseerd.

Golfgroei

In deze paragraaf wordt de significante golfhoogte $H_{1/3}$ (H_s) en -periode $T_{1/3}$ (T_s) bepaald voor het energiemeer. Deze waarden kunnen dan worden gebruikt om te maximale golfhoogtes en -periodes te bepalen.

Hierbij is ervan uitgegaan dat de wind met een constante snelheid over het wateroppervlak waait en dat de duur zodanig lang genoeg is dat de golf tot maximale ontwikkeling komt. Omdat de effectieve strijklengte meer dan 5 km bedraagt, kan er worden geconcludeerd dat er genoeg ruimte is om een golf tot maximale ontwikkeling te laten komen, afhankelijk van de windsnelheid. De tijd die een golf nodig heeft om tot maximale ontwikkeling te komen ligt tussen de drie kwartier tot een uur. Dit is ook weer afhankelijk van de windsnelheid.

Om de significante waarden te bepalen moet eerst worden vastgesteld welke (gemiddelde) windsnelheid (u) en welke waterdiepte (d) er in het meer voorkomt. In tabel 24 zijn de rekenwaarde genoteerd.

	waarde	Eenheid
Maatgevende waterdiepte (paragraaf 1.2)	25,425	m
Maatgevende windsnelheid (paragraaf 4.2)	6,99	m/s
Maatgevende Strijklengte (paragraaf 4.4.1)	6228	m

Tabel 24 Maatgevende waarden voor de berekening van de golfgroei.

De formules voor de berekening van de H_s en T_s zijn als volgt (TAW, 1989):

$$\tilde{H} = 0,283 \operatorname{tgh} (0,53 \tilde{d}^{0,75}) \operatorname{tgh} \left[\frac{0,0125 \tilde{F}^{0,42}}{\operatorname{tgh}(0,53 \tilde{d}^{0,75})} \right] \quad (1)$$

$$\tilde{T} = 2,4\pi \operatorname{tgh}(0,833 \tilde{d}^{0,375}) \operatorname{tgh} \left[\frac{0,077 \tilde{F}^{0,25}}{\operatorname{tgh}(0,833 \tilde{d}^{0,375})} \right] \quad (2)$$

Waarin:

$$\tilde{H} = \frac{H_{1/3} g}{u^2} \quad \text{Dimensieloze golfhoogte} \quad (3)$$

$$\tilde{d} = \frac{dg}{u^2} \quad \text{Dimensieloze waterdiepte} \quad (4)$$

$$\tilde{F} = \frac{Fg}{u^2} \quad \text{Dimensieloze strijklengte} \quad (5)$$

$$\tilde{T} = \frac{T_{1/3} g}{u} \quad \text{Dimensieloze golfperiode} \quad (6)$$

g = versnelling van de zwaartekracht	[m/s]
u = windsnelheid op 10 meter hoogte	[m/s]
d = waterdiepte	[m]
F = strijklengte	[m]
$H_{1/3}$ = significante golfhoogte	[m]
$T_{1/3}$ = significante golfperiode	[s]

De dimensieloze waterdiepte en strijklengte moet als eerste berekend worden:

$$\tilde{d} = \frac{dg}{u^2} > \tilde{d} = \frac{25,425 \cdot 9,81}{6,9^2} = 5,24 \quad [-]$$

$$\tilde{F} = \frac{Fg}{u^2} > \tilde{F} = \frac{6228 \cdot 9,81}{6,9^2} = 1283,27 \quad [-]$$

Het invullen van formule (1) geeft \tilde{H} een waarde van 0,071 [-]. Om de significante golfhoogte te berekenen, moet deze waarde gebruikt worden in formule (3). Omschrijven van deze formule geeft:

$$H_{1/3} = \frac{\tilde{H} \cdot u^2}{g} > H_{1/3} = \frac{0,071 \cdot 6,9^2}{9,81} = 0,35 \quad [\text{m}]$$

Het invullen van formule (2) geeft \tilde{T} een waarde van 3,472 [-]. Om de significante golfperiode te berekenen, moet deze waarde gebruikt worden in formule (6). Omschrijven van deze formule geeft:

$$T_{1/3} = \frac{\tilde{T} \cdot u}{g} > T_{1/3} = \frac{3,472 \cdot 6,9}{9,81} = 2,44 \quad [\text{s}]$$

Einde Bijlage 11

Bijlage 12. Bagger scenario's

U wordt doorverwezen naar het separaat toegevoegde Excel-bestand 'Bagger scenario's'.

De projectlocatie is onderverdeeld in drie verschillende deelgebieden op basis van verschillende onderlinge bodemdieptes. Deze bodemdieptes zijn bepalend voor welk type schip het gebied kan baggeren. De gebiedsverdeling is geoptimaliseerd, zodat de minimale baggerdiepte van de gekozen schepen wordt behaald.

Aan de hand van de gekozen gebiedsverdeling zijn 4 mogelijke baggerscenario's onderzocht en opgesteld. Daarbij kun je onderscheid maken tussen 2 voornaamste baggerscenario's, waarop elk een afgeleid baggerscenario van toepassing is. De afgeleide versie is voorzien van een klein, doch belangrijk verschil t.o.v. de voornaamste versies.

Baggerscenario 1:

Gebied I (zie figuur 44) wordt d.m.v. TSHD's tot een diepte van -25 m NAP gebaggerd. De bodem in dit gebied loopt van -10 m NAP tot -15 m NAP. Gebied I heeft voldoende diepgang om door de gekozen TSHD's te worden gebaggerd. Gebied II en III zullen in eerste instantie tot een diepte van -15 m NAP worden gebaggerd door CSD's, waarna TSHD's (TSHD's hebben een hogere productiesnelheid) de bodem tot een diepte van -25 m NAP baggeren. De huidige bodemdiepte van Gebied II ligt tussen de -5 m NAP en -10 m NAP. De bodemdiepte van Gebied III ligt tussen de -2 m NAP en -5 m NAP.

De Noordwest duin wordt voor 50% aangelegd. Door het aanleggen van de Noordwest duin zal er een luwte ontstaan voor het achterliggende gebied. Hierdoor is er vrijwel geen downtime meer door golven. Om de uiterste situatie te bepalen, wordt er in baggerscenario 1 echter rekening gehouden als ware de duinenrij niet voor 50% is aangelegd, dus met de maximale downtime.

Baggerscenario 1.1:

Baggerscenario 1.1 heeft dezelfde uitgangspunten als bij baggerscenario 1 en is de afgeleide versie hiervan. In dit scenario wordt echter wel rekening gehouden met de downtime die ontstaat door de Noordwest duin (50% aangelegd). De bepaalde downtime wordt naar 5% terug gebracht i.v.m. de diffractie die langs de Noordwest duin ontstaat. De downtime is niet helemaal nul, vanuit de diffractie en er zitten onvermijdelijke onnauwkeurigheden in golfrichting. De Noordwest duin reduceert alleen de golven die vanuit het noorden, noordwesten en het westen komen.

Doordat er minder downtime is gerekend in dit scenario, liggen de baggerschepen minder lang stil wat bevorderlijk is voor de realisatie duur.

Baggerscenario 2:

In baggerscenario 3 wordt Gebied I gebaggerd door TSHD's, waarna Gebied II en III worden gebaggerd door CSD's. Hierin verschilt baggerscenario 3 niet van baggerscenario 1 en 1.1, echter Gebied II en III zullen volledig worden gebaggerd door CSD's en verder niet door TSHD's. Dit is gedaan om te kijken of een andere aanpak van gebruik van materieel invloed zal hebben op de realisatie duur en kosten. Deze aanpak heeft verder niet geleid tot een kortere realisatie duur en lagere kosten.



Figuur 44. Gebiedsverdeling

Baggerscenario 3:

Baggerscenario 3 heeft dezelfde uitgangspunten als bij scenario 2 en is de afgeleide versie hiervan. In dit scenario wordt echter wel rekening gehouden met de downtime die ontstaat door de Noordwest duin (50% aangelegd). De bepaalde downtime wordt naar 5% terug gebracht i.v.m. de diffractie die langs de Noordwest duin ontstaat. De downtime is niet helemaal nul, vanuit de diffractie en er zitten onvermijdelijke onnauwkeurigheden in golfrichting. De Noordwest duin reduceert alleen de golven die vanuit het noorden, noordwesten en het westen komen.

Doordat er minder downtime is gerekend in dit scenario, liggen de baggerschepen minder lang stil wat bevorderlijk is voor de realisatie duur en kosten. Deze aanpak heeft verder niet geleid tot een kortere realisatie duur en lagere kosten.

Gebiedsverdeling

Gebied I: Sleephopperzuiger

De productiesnelheid van de sleephopperzuiger is in hoofdstuk 8.3 uitgewerkt. De gegevens uit hoofdstuk 8.3 zijn verwerkt in een Excel bestand; Sleephopperzuigers (bijlage 10). Hierin staan de tijden voor het keren, de te varen afstand van het schip en de lossingen weergegeven.

Gebied I is in vier werkvelden verdeeld. Elk werkveld wordt gebaggerd door een TSHD. De gekozen TSHD's staan verwerkt in het Excel bestand. De totale baggertijd voor Gebied I bedraagt 99 weken. Gelijktijdig met het baggeren van gebied 1 zal de Noordwest duin worden aangelegd. Dit zal 77 weken duren.

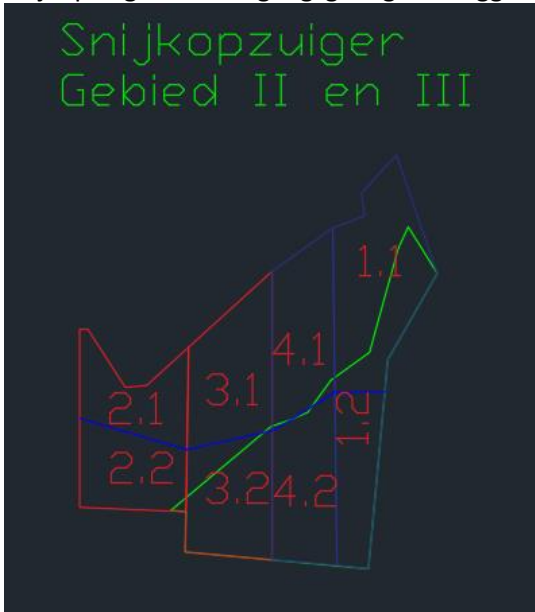


Figuur 45. Werkveld verdeling Gebied I Sleephopperzuigers

Gebied II en III Snijkopzuiger:

Zodra de duin voor 50% is aangelegd kan het baggeren van gebied II en III beginnen. Binnen gebied II en III zijn ook werkvelden. Werkvelden 1 en 4 zullen eerst worden gebaggerd. Deze werkvelden zullen na 50% aanleg van de Noordwest duin voldoende in de luwte liggen. Na 40 weken kan er dus worden begonnen met het baggeren van werkveld 1.1 tot 4.2. Het baggeren van werkvelden 1 en 4 zal worden gedaan door vier snijkopzuigers, dit om de productie hoog te houden. Het baggeren van werkvelden 1 en 4 zal 372 dagen bedragen. Aansluitend op deze 372 dagen zullen werkvelden 2 en 3 worden

gebaggerd, dit zal 308 + 22 vakantie dagen duren. Na het baggeren van gebied II en III zullen de snijkopzuigers de toegangseul gaan bagger dit zal een tijd van 231 dagen in beslag nemen.



Figuur 46. Werkveld verdeling Gebied II en III snijkopzuigers

Gebied II en III Sleephopperzuiger:

Zodra in gebied II en III de werkvelden (voor de snijkopzuiger) 1 en 4 zijn gebaggerd door de snijkopzuigers, kunnen de sleephopperzuigers aan het werk. Dit kan pas na dat de sleephopperzuigers klaar zijn met het baggeren van gebied I en de vakantie van 22 dagen. Op figuur 46 is dit goed te zien hoe deze stap wordt gemaakt. Hierdoor wordt ook duidelijk waarom de snijkopzuigers in eerste instantie werkvelden 1 en 4 volledig hebben gebaggerd. De sleephopperzuigers kunnen nu hun eigen werkvelden 3 en 4 baggeren en aansluitend werkvelden 1 en 2. Het baggeren van werkveld 3 en 4 neemt 336 dagen in beslag. Het baggeren van werkveld 1 en 2 baggeren zal 210 dagen duren. En dit alles zonder oponthoud van andere baggerschepen



Figuur 47. Werkveld verdeling Gebied II en III Sleephopperzuigers

Talud Snijkopzuiger:

Om een talud te creëren, moet een snijkopzuiger stapsgewijs het talud vormen. Zoals eerder gezegd zal er met het type zand dat op de projectlocatie aanwezig is een natuurlijk talud ontstaan tussen 1:10

en 1:20. De vereiste taludsteilheid die uit het ontwerp is voortgekomen is 1:20. Totale duur hiervoor is 14 dagen. Er is rekening gehouden met vertraging. Hiervoor is 130% van de tijd genomen.

Bijlage 13. Fasering

U wordt doorverwezen naar het separaat toegevoegde Excel-bestand 'Fasering'

Bijlage 14. Planning

U wordt doorverwezen naar het separaat toegevoegde Excel-bestand 'Planning'

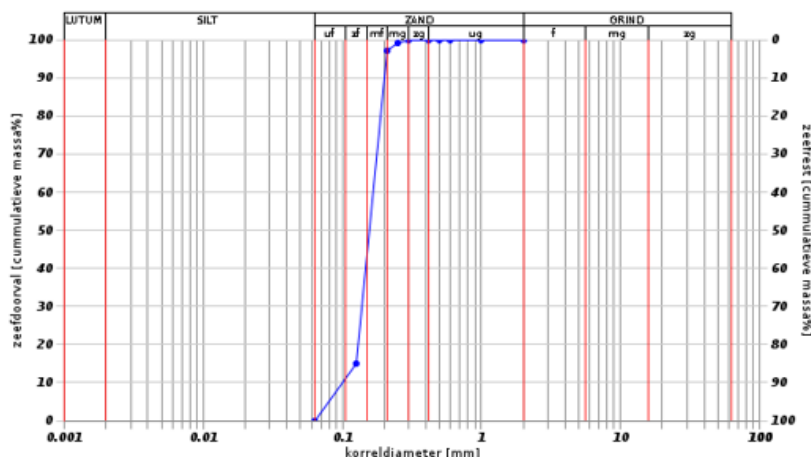
Bijlage 15. Kostenraming

wordt doorverwezen naar het separaat toegevoegde Excel-bestand 'Kostenraming'

Bijlage 16. Relatieve grond dichtheid

Classificatie van de grond

Uit onderzoek blijkt dat de bodem van de projectlocatie bestaat uit zand met een korreldiameter van 0,200 mm. De grond kan worden geclassificeerd als zand als de korreldiameter tussen de 0,063 en 2,000 mm ligt. Er kan dus worden gesteld dat de grond die op de projectlocatie aanwezig is uit matig fijn zand bestaat. Het zand bestaat in de Noordzee vrijwel uit 100% kwarts. De kwaliteiten van kwarts zijn als volgt: Het zand is moeilijk samendrukbaar wat als voordeel heeft dat er na het aanleggen weinig zetting zal zijn. De porositeit van het zand ligt tussen de 35 á 45% en de korreldiameter varieert tussen de 0,063 mm en de 2,000 mm.



De eigenschappen van kwartzand in Nederland zijn als volgt:

- $\gamma_d = 18 \text{ kN/m}^3$ (kwarts zand)
- $\gamma_w = 20 \text{ kN/m}^3$
- $\gamma_s = 26,5 \text{ kN/m}^3$ (specifieke dichtheid kwarts)

Verder is de vorm van de zandkorrels van belang. Dit bepaalt de slijtage aan het baggermateriaal. Er zijn 5 verschillende classificaties voor de vorm van de zandkorrels:

- Rounded
- Well Rounded
- Sub Rounded
- Angular
- Sub Angular

Het zand op de projectlocatie zal in een laboratorium moeten worden onderzocht op tot welke classificatie het zand behoort. De scherpte van het zand wordt bepaald vanuit het korrelverdelingsdiagram. Vanuit de diagram moet worden bepaald of het kleine deel van het zand of juist het grote deel van het zand gerekend wordt tot het scherp zand. Als een klein deel van het zand scherp is, zal dit een minder groot effect hebben op het baggermateriaal dan wanneer een groot gedeelte van het zand scherp is.

Om de kwaliteit te waarborgen zal er een korrelverdelingsdiagram worden opgesteld met daarin de aangegeven grenzen waarin de grond kwaliteit zich moet bevinden. Dit wordt een zandenvolop genoemd. Als een lading zand hiervan afwijkt kan er korting worden gegeven op de baggerlading.

Relatieve dichtheid

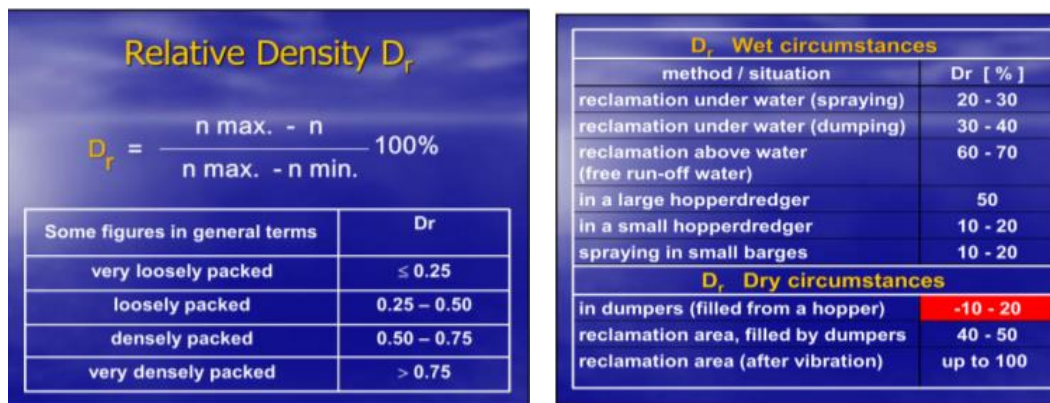
De relatieve dichtheid (**Dr**) wordt gebruikt om verdichtbaarheid van de zandformaties en de kwaliteit te schetsen voor verschillende situaties tijdens het baggerproces. Door middel van de **Dr** wordt het mogelijk om de vorm en het oppervlak van de korrels in het mengsel aan te passen. Een zandmengsel is een combinatie van de gebaggerde specie en water. Dit moet een mengsel zijn om het door een pijpleiding te kunnen vervoeren, indien de bagger losmethode is gebaseerd op lossen via pijpleidingen.. De relatieve dichtheid van het zandmengsel kan worden bepaald wanneer er beschikking is over drie verschillende soorten gegevens:

- Poriëngehalte n
- Poriëngehalte n_{min} , bij deze situatie wordt het maximale volumegewicht gebruikt. Daarom hoort bij deze situatie een **Dr** = 100
- Poriëngehalte n_{max} , bij deze situatie wordt het minimale volumegewicht gebruikt. Daarom hoort bij deze situatie een **Dr** = 0%

Om de relatieve dichtheid **Dr** te bepalen wordt de volgende formule gebruikt:

$$\text{Formule: } D_r = \frac{N_{max} - N_{monster}}{N_{max} - N_{min}} \times 100\%$$

Met behulp van het onderstaande figuur kan worden gezegd of de **Dr** very loosely packed, loosely packed, densely packed of very densely packed is. Dit zal verder bepalen hoeveel zetting er zal optreden nadat de baggerspecie op zijn plek is gestort.



De baggerspecie kan op verschillende manieren op zijn plek worden gelost. Op bovenstaand figuur is te zien dat de **Dr** verandert bij verschillende manieren van lossen.

1. **Spraying:** het zand dat wordt gelost bevat hierbij niet alleen transport water maar ook het water waarin dit zandmengsel wordt gelost.
2. **Dumping:** wordt beïnvloed door menging gedurende dat het zand onderweg is vanaf de stortdeuren van het schip tot aan de bodem. Er is hier sprake van dichtheidsstroom en die is afhankelijk van de diepte dat het zand moet afleggen.
3. Tijdens **Reclamation above water** kan het zandmengsel dat uit een pijpleiding komt optimaal bezinken. De factor die hierbij nog wel speelt, is de manier waarop het zandmengsel uit de pijpleiding stroomt.
4. Een **grote TSHD** bevordert de bezinking van het zandmengsel. Door de lange weg die de zanddeeltjes moeten afleggen voordat ze de overflow bereiken, zijn de meeste zanddeeltjes al bezonken wat een optimale verdichting in de beun bevordert.

5. Bij een **kleine TSHD** zal het zandmengsel met een vergelijkbare snelheid moeten worden verpompt om toch een optimale productie te behalen. Hierdoor zal het zandmengsel minder lang de tijd krijgen om te bezinken waardoor de verdichting in de beun minder is.
6. Bij **kleine bakken** is het effect op het zandmengsel vergelijkbaar met een kleine TSHD.
7. Door **Dumpers** te vullen met de baggerspecie kunnen kluitjes ontstaan. Deze kluitjes gedragen zich in de zandmassa als een soort van superkorrels.
8. Een **reclamation area** is een gebied waar door dumpers droog zand wordt aangelegd. Door dit op deze manier te doen krijgt het water minder de kans het poriëngehalte te verhogen waardoor de zandmassa stabiel blijft.
9. Zodra de zandmassa is verdicht, kan er een **Dr** van 100% worden bereikt. Dit kan ongewenst zijn bij zwakke en ruwe korrels. Er zou vergruizing kunnen optreden.
10. .

Bijlage 17. Winzuiger

Onderstaande zijn de baggerproducties van de winzuiger.

Winzuiger Faunus	:	1500 m ³ /uur (250 μm)
		1800 m ³ /uur (120 μm)
Winzuiger Moza	:	1800 m ³ /uur (250 μm)
		2500 m ³ /uur (120 μm)

De D50 van het zand op de projectlocatie bedraagt 150 μm

Onderstaand zijn van de twee bovengenoemde winzuigers de geïnterpoleerde zuigproducties vermeld:

Winzuiger Faunus	:	1600 m ³ /uur (150 μm)
Winzuiger Moza	:	2000 m ³ /uur (150 μm)

Productietijd:

- Winzuiger Faunus:

$$\frac{V_{situ}}{P} = T \rightarrow \frac{227.164.004}{1600} = 141977,50 \text{ uur} \rightarrow 5916 \text{ dagen}$$

- Winzuiger Moza

$$\frac{V_{situ}}{P} = T \rightarrow \frac{227.164.004}{2000} = 113582,00 \text{ uur} \rightarrow 4732,58 \text{ dagen}$$