



Figuur 1; Ontwerp Delta21.

ONTWERP DUINENRIJ ENERGIE-OPSLAGMEER

Scriptie afstuderen (definitief)

Dam J.L. van
(Joost)
15130436

Joost van Dam
Student aan De Haagse Hogeschool
studentnummer: 15130436
Opleiding: Civiele Techniek
Specialisatie: waterbouw

De Haagse Hogeschool
Johanna Westerdijkplein 75
2521 EN, Den Haag

Afstuderen, CV-AFST-13

Rotterdam, 2020
Versie: definitief
Datum: 05-04-2020

Bedrijfsbegeleider Van Oord Nederland B.V.:

Naam begeleider : Dhr. Rik Beekx
Functie : Vakgroep hoofd Business Development
E-mailadres : rik.beekx@vanoord.com

Begeleiders De Haagse Hogeschool:

Naam eerste begeleider : Dhr. Rob Weersink
E-mailadres : R.weersink@hhs.nl

Naam tweede begeleider : Dhr. Bas Hilckmann
E-mailadres : S.P.hilckmann@hhs.nl

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie met betrekking tot het afstuderen op het dijkontwerp energie-opslagmeer binnen het project Delta21. Deze scriptie is geschreven als onderdeel van het afstuderen aan de voltijd opleiding civiele techniek met als specialisatie waterbouw aan de Haagse Hogeschool in opdracht van het bedrijf Van Oord Nederland B.V.. In november 2019 tot april 2020 is mijn onderzoek uitgevoerd. Ik heb het doen van onderzoek en het schrijven van mijn scriptie als erg interessant en leuk ervaren. Ik heb veel geleerd tijdens mijn afstudeertraject.

Ik wil graag een moment nemen om mijn begeleiders te bedanken. Als eerste wil ik dhr. Rik Beekx bedanken voor de goede begeleiding, de goede nieuwe inzichten die hij mij gaf tijdens het afstudeertraject en de vaak interessante lange verhalen over het vak van waterbouw. Ook heb ik een prettige sfeer op de werkvloer ervaren gedurende mijn afstuderen. Daarnaast wil ik dhr. Weersink en dhr. Hilckmann bedanken voor de begeleiding vanuit de Haagse Hogeschool. Ook wil ik Delta21 oprichters Huub en Leen bedanken voor het mogelijk maken van een afstudeeropdracht aan het project.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Joost van Dam, Rotterdam, 05-04-2020

Samenvatting

Nederland is kwetsbaar voor overstromingen door de lage ligging van het land ten opzicht van het waterpeil van de zee en de vele rivieren die door Nederland stromen. Daarbij komt ook nog eens kijken dat de waterpeilen van de zee en de rivieren stijgen door klimaatveranderingen. De waterveiligheid van Nederland moet te alle tijden gewaarborgd worden om overstromingen te voorkomen. Maatregelen die getroffen worden zijn het bouwen van nieuwe waterkeringen, het uitvoeren van dijkverbeteringen en verbeteringen uitvoeren ten aanzien van CO₂-reductie. Tegenwoordig worden er ook steeds meer innovatieve projecten en programma's bedacht door Rijkswaterstaat, waterschappen, kennisinstellingen, bedrijven in de waterbouw en zelfs oud waterbouwers, die zich nog altijd inzetten voor het behoud van een watervrij Nederland.

Zo'n innovatief project is vaak multidisciplinair, een plan dat dus allerlei verschillende disciplines combineert. Delta21 is een zo'n project. Delta21 is ontstaan uit discussies van de initiatiefnemers (oud waterbouwers) en verschillende betrokken partijen over de waterveiligheid van Nederland. Er werd een plan ontwikkeld voor een energieopwek- en energieopslaglocatie die Nederland gaat beschermen tegen wateroverlast. Ook zorgt dit project voor natuurherstel. De energieopslaglocatie is een groot energiemeer met een oppervlakte van 20 km², dat door middel van een zandige kustverdediging, in zee ten zuiden van de Tweede Maasvlakte, wordt gecreëerd.

In dit onderzoek is er getracht antwoord te krijgen op de vraag: 'In hoeverre is een zandige kustverdediging toepasbaar ter bescherming van het energie-opslagmeer van Delta21?' Daarvoor zijn er vervolgens twee varianten ontworpen als zandige kustverdediging. De eerste variant is een 'normale' duin, een duin dat volledig uit zand bestaat. De tweede variant is een duin met een hangend strand. Een hangend strand wordt gebruikt om een duin te ondersteunen met een onderwaterdam parallel aan de kust. Hierdoor zou er eventueel zand kunnen worden bespaard bij het maken van het ontwerp.

Voordat de twee varianten ontworpen kunnen worden, moeten de eisen, randvoorwaarden, uitgangspunten en aannames gemaakt worden in een Programma van Eisen. In dit programma staan eisen zoals aan welke wetten en voorschriften het duin aan moet voldoen. Voorbeelden van randvoorwaarden zijn: het te kiezen klimaatscenario, maatgevende stormen, dijktrajecten die invloed hebben en hydraulische- en geotechnische randvoorwaarden, zoals de golfhoogte en korrelgrootte waarmee ontworpen kan worden. Een voorbeeld van een uitgangspunt is dat er een gesloten grondbalans dient te worden gerealiseerd. Ten slotte moesten er ook aannames gedaan worden om te kunnen beginnen met ontwerpen.

Voor het ontwerp van het duin is hij eerst opgesplitst in twee delen: duin Noord en duin West. Dit komt omdat er twee andere maatgevende stormen het duin bereiken aan de Noord- en Westzijde. Vervolgens zijn het duinafslagprofiel, het volume van de jaarlijkse erosie, het volume van de zetting en de verschillende taluds bepaald. Als resultaat is een duin ontworpen met een volume van 93.000.000 m³ zand. De totale kosten hiervan worden geschat op € 279.000.000,-. Al het benodigde zand kan gehaald worden uit het te graven energiemeer en daarmee is er sprake van een gesloten grondbalans voor de bouw van het duin.

Voor het ontwerp van variant 2, het hangend strand, is er eerst gekeken naar het ontwerp van de onderwaterdam. Eerst is uitgegaan van een stortsteenconstructie als top laag, maar is er berekend dat een te grote diameter steen neergelegd zou moeten worden aan de zeezijde. Daarom is er een

alternatief bedacht: Xbloc. Een Xbloc is een betonnen blok in de vorm van een 'X'. Uit de berekeningen volgde dat er duizenden profielen gemaakt moeten worden, waardoor een duin kan volstaan van slechts 24.750.000 m³ zand. Een flinke besparing op zand, maar de kosten van betonblokken zijn relatief hoog. Aan de meerzijde van het duin volstaat een stortsteenconstructie. De totale kosten van het hangend strand worden geschat op € 365.250.000,-.

Een Multicriteria-analyse is gemaakt om een advies uit te brengen over de twee varianten. Criteria van deze analyse zijn kosten, ecologie, duurzaamheid en complexiteit. Uit de kosten volgt dat het duin minder kost dan het hangend strand. Het hangend strand heeft, vanwege het geringere zeeoppervlak dat gebruikt wordt voor het duin en door de nieuwe habitat die de onderwaterdam mogelijk maakt, een betere score voor ecologie. De duurzaamheid van het project is voldoende, er wordt namelijk een energiemeer aangelegd wat opweegt tegen de emissies van het project. Het opspuiten van een dam is niet complex, maar het maken en plaatsen van de grote Xbloccs is dat wel. Er wordt daarom geadviseerd om te kiezen voor het normale duin (variant 1).

Er is daarna een kostenraming gemaakt voor het geadviseerde ontwerp van het duin. Nadat er gekozen was voor een uitvoeringsmethode is duidelijk geworden dat er € 2,50 per m³ betaald wordt in plaats van de eerder geschatte € 3 per m³. De totale kosten van het duin worden geraamd op € 232.500.000. En de totale uitvoeringstijd is 186 weken, ruim 3,5 jaar.

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting	4
Inleiding.....	9
Probleemstelling	10
Doelstelling	10
Onderzoeksvraag met deelvragen	11
Werkwijze	11
1. Waterveiligheid Nederland.....	12
1.1 Nederland: waterland	12
1.2 Klimaat	13
1.3 Risicomanagement.....	15
1.4 Oplossingen.....	16
1.4.1 Waterkering	16
1.4.2 Dijkverbetering.....	18
1.4.3 CO ₂ -reductie.....	19
1.4.4 Andere oplossingen	20
2. Eén idee met 3 oplossingen: Delta21	21
2.1 Het project	21
2.2 Waterveiligheid.....	23
2.3 Energieopslag.....	23
2.4 Natuurherstel.....	23
2.5 De duinenrij.....	24
2.5.1 ‘Duin volledig van zand’ versus ‘duin met een hangend strand’	24
3. Programma van Eisen	25
3.1 Eisen	25
3.1.1 Wetten en voorschriften.....	25
3.1.2 Het energiemeer	25
3.1.3 De duinenrij.....	25
3.2 Randvoorwaarden.....	26
3.2.1 Klimaatscenario.....	26
3.2.2 Maatgevende stormen.....	26
3.2.3 De duinenrij.....	27
3.2.4 Dijktraject.....	28

3.2.5	Hydraulische randvoorwaarden voor klimaatscenario 2100 W+	28
3.2.6	Geotechnische randvoorwaarden	29
3.2.7	Waterdiepte	29
3.3	Uitgangspunten.....	30
3.3.1	Dam hangend strand.....	30
3.3.2	Gesloten grondbalans	31
3.3.3	Waterpompturbines	31
3.4	Aannames	31
3.4.1	Steile duin	31
3.4.2	Erosie.....	32
3.5	Ontwerpprogramma's.....	32
4.	Varianten.....	33
4.1	Variant 1: Duin	33
4.1.1	Ontwerp duin Noord.....	33
4.1.2	Ontwerp duin West.....	36
4.1.3	Volumebepaling	39
4.1.4	Schatting kosten.....	40
4.1.5	Gesloten grondbalans	40
4.2	Variant 2: Hangend strand	42
4.2.1	Stortsteenconstructie zeezijde	42
4.2.2	Alternatief zeezijde: Xbloc	46
4.2.3	Stortsteenconstructie meerzijde	47
4.2.4	Volume duin	48
4.2.5	Schatting kosten.....	49
4.2.6	Locaties met een hangend strand.....	50
5.	Multi Criteria Analyse	52
5.1	Criteria.....	52
5.2	Probleemanalyse.....	53
5.2.1	Kosten	53
5.2.2	Ecologie	54
5.2.3	Duurzaamheid.....	56
5.2.4	Complexiteit van het project	57
5.2.5	Effectentabel.....	58
5.3	Standaardisatie	59

5.4	Weging	60
5.5	Resultaat	60
6.	Kostenraming	61
6.1	Uitvoeringsmethode	61
6.2	Kostenraming	62
	Conclusies	63
	Aanbevelingen	65
	Aanbeveling Van Oord Nederland B.V.	67
	Bibliografie	69
	Bijlagen.....	73
	Bijlage 1: Werkplan	73
	Bijlage 2: Reflectieverslag	89
	Bijlage 3: Geotechnisch en hydraulisch rapport	91
	Bijlage 4: Berekening golfoploop	108
	Bijlage 5: Berekening opwaaiing	110
	Bijlage 6: Ondergrond Delta21 AutoCad.....	111
	Bijlage 7: Duin Noord volledig zand	112
	Bijlage 8 Duin West volledig zand	113
	Bijlage 9: Zettingsrapport duin Noord	114
	Bijlage 10: Zettingsrapport duin West	130
	Bijlage 11: Zettingshoeveelheden.....	150
	Bijlage 12: D_{n50} berekening stortsteenconstructie zeezijde.....	151
	Bijlage 13: D_{n50} berekening stortsteenconstructie meerzijde.....	152
	Bijlage 14: Berekening onderlagen meerzijde	153

Inleiding

Het klimaat verandert. De aarde warmt op door de toename van broeikasgassen, zoals CO₂, in de lucht. Er komen langere periodes van hitte en droogte voor. Ook treden er meer natte periodes op (KNMI, 2019). Door extreme buien komt er meer water in de rivieren en zeeën. Daardoor stijgt het rivierpeil en stijgt de zeespiegel. Nederland moet zich beschermen tegen wateroverlast vanaf de Noordzee en vanaf de rivieren. De waterveiligheid moet gegarandeerd worden. Voor deze waarborging zijn talloze oplossingen, denk aan het bouwen van waterkeringen en dijkverbetering. Ook CO₂-reductie is een oplossing, wat tevens bijdraagt aan het Klimaatakkoord van 2030 (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2019).

Niet alleen het stijgende waterpeil is een probleem, er worden ook hoogtetekorten van dijken verwacht door zetting en de oxidatie van veen. De overheid heeft in een programma over de waterveiligheid een aantal scenario's opgesteld voor dijken in Nederland. Zij verwachten dat in 2050 ruim 30% van de dijken te laag zijn en in 2100 zelfs 50%. De hoofdlijn van het landelijke programma is gericht op dijkverhoging, dijkversterking en het decentraal wegpompen van het overtollige water. Een centrale aanpak voor het probleem van waterveiligheid is een andere manier. Een voorbeeld is overtollig water van de rivier direct in zee pompen.

Het project, Delta21, richt zich op een centrale aanpak: het versterkt de pompcapaciteit voor de hoofdwatersystemen en zorgt er voor dat 600 kilometer dijk niet hoeft worden opgehoogd (Lavooij&Berke, 2019). Voor dit plan zal er tussen de kust van de Tweede Maasvlakte en het Zuid-Hollandse eiland Goeree Overflakkee een energie-opslagmeer worden gecreëerd, door middel van een waterkering, een gemaal en een afsluitbare kering. Hiermee vergroot het plan de waterveiligheid voor een deel van Zuid-Holland en Zeeland. Zowel voor wateroverlast van binnendijks als buitendijks.

Dit project richt zich allereerst op de waterveiligheid, maar er is ook sprake van energieopslag en natuurherstel. Energieopslag door middel van een energie-opslagmeer dat energie op kan slaan. Natuurherstel door middel van het terugbrengen van het zoute getij in het Haringvliet, door het openen van de Haringvlietdam en het plaatsen van een afsluitbare kering.



Figuur 2; Project Delta21 (Lavooij&Berke, 2019).

Aan de randen van het energie-opslagmeer wordt een duinenrij ontworpen. Dit duin is essentieel voor Delta21, want zo wordt het energie-opslagmeer gecreëerd. Het idee is dat het ontwerp van de kering een natuurlijk en duurzaam karakter heeft. Er worden twee mogelijkheden voor het ontwerp van de zandige kustverdediging onderzocht: een duin of een hangend strand. De term hangend strand wordt

gebruikt om een zandsuppletie ondersteund door een dam parallel aan de kust mee aan te geven. Doordat achter het duin een meer zit, kan eventueel ook een parallelle dam achter het duin worden geplaatst. Het idee is om het zand ter creatie van de duinen uit de zeebodem te baggeren, waardoor het energiemeer ontstaat.

Mijn afstudeerbedrijf Van Oord Nederland B.V. is één van de sponsors van het project Delta21. Van Oord is een Nederlands bedrijf en wereldwijd actief als toonaangevende aannemer van bagger-, waterbouwkundige en offshore energieprojecten (olie, gas en wind) met innovatieve oplossingen voor maritieme uitdagingen (Techniek, 2019).

Probleemstelling

Nederland is kwetsbaar voor overstromingen, daarom zal het land beschermd moeten worden. De kustgebieden zijn het meest kwetsbaar. Dit zijn ook de gebieden met grote gevolgen als je kijkt naar groepen slachtoffers, economische schade en infrastructuur (Deltacommissaris, 2019).

Doelstelling

Doel van het onderzoek is een alternatieve oplossing voor dijkverhoging te vinden om de waterveiligheid van Goeree Overflakkee, en daarmee voor Nederland, te bevorderen. Er wordt draagvlak gezocht door het incorporeren van ecologische, economische en klimaatbestendige oplossingen.

Onderzoeksvraag met deelvragen

In hoeverre is een zandige kustverdediging toepasbaar ter bescherming van het energie-opslagmeer van Delta21?

- Wat kan er gedaan worden om de waterveiligheid te bevorderen?
 - Wat houdt dijkverhoging in?
 - Wat houdt dijkverbetering in?
 - Wat is een duin?
 - Wat is hangend strand?
 - Wat zijn de voor- en nadelen van deze opties?
- Wat houdt het project Delta21 in?
 - Wat zorgt voor de waterveiligheid, de energieopslag en het natuurherstel?
 - Waar gaat Delta21 vanuit als optie tegen waterveiligheid?
 - Wat zijn de relevante kenmerken van de projectlocatie?
 - Wat houdt het principe 'Building with nature' in?
- Wat zijn de randvoorwaarden en uitgangspunten?
 - Wat is de grondopbouw?
 - Wat zijn de korreldiameters?
 - Wat zijn de gegevens van de golven en waterstanden van de Noordzee?
 - Moeten er aannames worden gedaan? Zo ja, welke zijn dit?
- Wat is het ontwerp van een zandige kustverdediging voor Delta21?
 - Hoe ziet ontwerp 1: duin volledig met zand eruit?
 - Hoe ziet ontwerp 2: duin met hangend strand eruit?
 - Ontwerp 2: Hoe ver zit de dam van het duin weg? En hoe hoog is deze dam?
 - Welk ontwerp wordt er gekozen?
 - Wat is van het gekozen ontwerp: de stabiliteit, de zetting en het volume?
 - In hoeverre is er sprake van een gesloten grondbalans? (zand uit valmeer = zand voor duin?)
- Wat zijn de aanlegkosten van het ontwerp van Delta21?
- In hoeverre is het gekozen ontwerp interessant voor Van Oord Nederland B.V.?
 - Grondverzet
 - Grootte
 - Omzet
 - Complexiteit
 - Kansrijkheid

Werkwijze

- Literatuuronderzoek; Waterveiligheid Nederland en Delta21.
- Parameter- en gegevensonderzoek.
- Programma van Eisen: eisen, randvoorwaarden, uitgangspunten en aannames.
- Ontwerp verschillende varianten.
- Multicriteria-analyse.
- Keuze variant of eventueel combinatie variant (optimalisatie).
- Kostenraming.
- Conclusies.
- Aanbevelingen.

1. Waterveiligheid Nederland

1.1 Nederland: waterland

Nederland en water zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Met zijn lange kust en vele rivieren heeft Nederland altijd strijd tegen het water moeten leveren. Bijna een derde van het land ligt onder de zeespiegel, dus als het niet wordt beschermd zou de helft onder water komen te liggen (Holland.com, 2019). Voor het veilige landje, zoals wij het kennen, is hard moeten knokken. Hierdoor zijn grote waterbouwkundige projecten ontstaan. Men kan dus zeggen dat Nederland een echt waterland is.

Nederland kent dus een lange geschiedenis met betrekking tot waterveiligheid. Vroeger, zo'n 500 jaar v. Chr., was men al bezig met onze huizen op terpen te plaatsen en de waterschappen zijn altijd actief geweest. De laatste 100 jaar zijn er veel overstromingen, rampen en ontwikkelingen geweest (Rijkswaterstaat, 2017):

Waterveiligheid door de jaren heen

- 1916: Zuiderzeevloed
- 1926: Overstroming Rijn en Maas
- 1953: Watersnoodramp
- 1960: Eerste Deltacommissie en Deltaplan
- 1975-1994: Riviercommissies Becht en Boertien
- Kustbeleid vanaf 1990
- (Bijna) overstromingen 1993 en 1995
- 1995: Deltaplan Grote Rivieren
- 1996: Wet op de Waterkering
- Sinds 2000: Waterbeheer 21e eeuw (WB21)
- 2001-2005: Noodoverloopgebieden en Rampenbeheersing
- 2003-2016: Aanpak zwakke schakels kust
- 2005: Orkaan Katrina beïnvloedt het Nederlandse waterveiligheidsbeleid
- Sinds 2006: Maaswerken
- Sinds 2006: Ruimte voor de Rivier
- Sinds 2006: Waterveiligheid 21e eeuw (WV21)
- 2007-2008: Tweede Deltacommissie
- Sinds 2007: Europese Hoogwaterrichtlijn
- 2009: Waterwet
- 2009: Nationaal Waterplan 2009-2015
- Sinds 2010: Deltaprogramma
- 2011: Bestuursakkoord Water
- 2014: Eindrapportage Veiligheid Nederland in Kaart (VNK)
- 2014: Start nieuw Hoogwaterbeschermingsprogramma
- 2015: Nationaal Waterplan 2016-2021
- 2017: Wijziging Waterwet
- 2019 (naar verwachting): Omgevingswet

In 1916 was er een vloed die niet heel omvangrijk was, maar wel een grote invloed had: de Zuiderzeevloed. Deze vloed had niet een enorme impact, behalve wat kleine overstromingen en doorgebroken dijken. Maar deze vloed heeft wel geleid tot de afsluiting van de Zuiderzee en inpoldering van de zee door middel van de Zuiderzeewerken.

Op 1 februari 1953 vond de grootste ramp plaats: de welbekende Watersnoodramp. Met een windkracht van 11 tot 12 en gevaarlijk hoogwater kwam deze Noordwesterstorm binnen en braken de dijken in Zeeland (Zeeuws Archief, 2019). Door deze stormvloed overstroomde er een gebied van zo'n 150.000 hectare, er vielen daarom veel slachtoffers en er was ongelofelijk veel schade. Deze ramp was de aanleiding tot de eerste aangestelde Deltacommissie, die nog hetzelfde jaar het Deltaplan presenteerde. Dit plan moest er voor zorgen dat zo'n ramp nooit meer kon gebeuren. De Deltawerken waren de uitvoering van dit plan en sloten het deltagebied volledig af.

In 2007 werd er door het kabinet de tweede Deltacommissie opgericht. Dit keer niet opgericht door een watersnoodramp, maar om te kunnen anticiperen op toekomstige ontwikkelingen zoals bijvoorbeeld de stijgende zeespiegel.

Figuur 3; Tijdlijn waterveiligheid (Rijkswaterstaat, 2019a).

Deze commissie is een adviesorgaan dat moet toezien op de waterveiligheid van Nederland. Het advies resulteerde in een Deltawet, Deltaprogramma, Deltafonds en de benoeming van een Deltacommissaris (Yska, 2009).

Sinds 2010 is er een Deltaprogramma. Dit is een nationaal programma dat Nederland beschermt tegen overstromingen, zorgt voor voldoende zoetwater en het land klimaatbestendiger inricht. Om het programma goed te laten functioneren is een goede samenwerking van de Rijksoverheid, provincies, waterschappen en gemeenten vereist. Maar ook maatschappelijke organisaties met veel kennis over water zijn er vaak bij betrokken. Jaarlijks op Prinsjesdag verschijnt er een nieuw Deltaprogramma met daarin de nieuwe plannen, een planning en een overzicht van de kosten.

Het programma heeft tot nu toe niet erg goed rekening gehouden met de stijging van de zeewaterspiegel (Rijkswaterstaat, 2019a). Deze stijgt mogelijk harder dan er tot nu toe is rekening gehouden in het plan. Dit heeft alles te maken met het veranderende klimaat.

1.2 Klimaat

Het grootste probleem voor de waterveiligheid van Nederland is op dit moment het veranderende klimaat. Dit probleem heeft een aantal gevolgen (KNMI, 2019):

Het weer wordt extremer: er komen langere periodes van hitte en droogte voor. Zo worden winters zachter en zomers worden juist droger en heter. Maar er treden ook meer natte periodes op, want in het voorjaar, najaar en in de winter valt er meer neerslag. (KNMI, 2019). Er komt daarom ook meer kans op overstromingen:

- Door de smeltende poolkappen, het smeltende zee-ijs en de smeltende permafrost zal de zeespiegel stijgen.
- Rivieren en riolering kunnen bij hevige regenval het water niet meer goed afvoeren.



Figuur 4; Overstroming Nederland (BNR Nieuwsradio, 2016).

Het extreme weer zorgt dus voor hardere stormen en die vaker voor zullen komen. Deze stormen hebben erosie aan zandige kustgebieden tot gevolg. Deze zandafname kan op twee manieren ontstaan (Bodemacademie, 2019):

1. Winderosie: de toenemende wind zal meer en vaker zand wegblazen.
2. Watererosie: de toenemende waterstroming zal zand aan de kust of oevers van de rivieren meer en vaker meenemen.

Het KNMI heeft vier verschillende klimaatscenario's opgesteld (KNMI, 2014). Een gematigd en een warm scenario voor het jaar 2050 en voor het jaar 2100. De toekomstige klimaatveranderingen worden zo in beeld gebracht. En op deze waarden kunnen waterbouwkundige kunstwerken, dijken en duinen ontworpen worden.

Het veranderende klimaat treft ook de natuur (WWF, 2019). Het leidt namelijk tot verlies van biodiversiteit, waardoor natuurlandschappen verloren gaan. Daardoor raken verscheidene soorten groepen dieren en de genetische diversiteit van dieren in het geding. Daarom is het van groot belang om bij oplossingen van waterveiligheid te denken aan het creëren van natuur.

Het principe “Building with nature” is daardoor in het leven geroepen. Bij ‘Bouwen met Natuur’ is het de bedoeling dat de techniek een minimale rol speelt en dat de natuur het echte werk doet. Het is een nieuwe manier van ontwerpen in de waterbouw die de natuur benut. Tegelijkertijd ontstaan er kansen voor de economie, natuur en maatschappij (Ecoshape, 2020). Er worden daardoor slimme, innovatieve en veelal natuurlijke oplossingen bedacht om de waterveiligheid te waarborgen.

“Building with nature” in Jakarta:

In Indonesië is een natuurlijk kustverdedigingssysteem ontworpen met mangroves. Voor de kust zijn in het water mangrovebossen geplaatst. Deze mangrove fungeert als een natuurlijke golfbreker; het houdt met zijn diepe wortels de bodem vast, waardoor kusterosie wordt tegengegaan; en het zorgt voor meer leven onderwater (Wageningen University & Research (WUR), 2019).



Figuur 5; Mangrove wordt gepland in Indonesië (Deltares, 2015).

1.3 Risicomanagement

Gezien alle veranderingen wordt bescherming tegen het stijgende water steeds belangrijker. Maar niet alleen het klimaat verandert. Er zijn veranderingen op het vlak van sociaaleconomische ontwikkelingen en de bevolkingsomvang neemt sterk toe. Het te beschermen land wordt kostbaarder, waardoor de overstromingsschade zal toenemen.

Behalve het stijgende waterpeil zijn er nog meer veranderende risico's waar rekening mee gehouden moet worden. Er worden namelijk ook hoogtetekorten van dijken verwacht door zetting en de oxidatie van veen. Hieronder zijn de verschillende risico's te zien in vergelijking met de gematigde (G) en warme (W) scenario's van het jaar 2100. De '+' staat voor een zeer extreem scenario met ook verandering in luchtstromingspatronen.

2100		G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging in 2050		+1°C	+1°C	+2°C	+2°C
Wereldwijde temperatuurstijging in 2100		+2°C	+2°C	+4°C	+4°C
Verandering in luchtstromingspatronen in West Europa		nee	ja	nee	ja
Winter	gemiddelde temperatuur	+1,8°C	+2,3°C	+3,6°C	+4,6°C
	koudste winterdag per jaar	+2,1°C	+2,9°C	+4,2°C	+5,8°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+7%	+14%	+14%	+28%
	aantal natte dagen ($\geq 0,1$ mm)	0%	+2%	0%	+4%
	10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+8%	+12%	+16%	+24%
	hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	-1%	+4%	-2%	+8%
Zomer	gemiddelde temperatuur	+1,7°C	+2,8°C	+3,4°C	+5,6°C
	warmste zomerdag per jaar	+2,1°C	+3,8°C	+4,2°C	+7,6°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+6%	-19%	+12%	-38%
	aantal natte dagen ($\geq 0,1$ mm)	-3%	-19%	-6%	-38%
	dagsom van de neerslag die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+27%	+10%	+54%	+20%
	potentiele verdamping	+7%	+15%	+14%	+30%
Zeespiegel	absolute stijging	35-60 cm	35-60 cm	40-85 cm	40-85 cm

Figuur 6; Risico's vergroten (Ministeriel&M, 2013).

Er wordt risicomanagement toegepast voor de bescherming tegen overstromingen om alle veranderingen tegen te gaan. Dit wordt ook opgenomen in het Deltaprogramma. Het managen van de risico's omtrent overstromingen is om basisveiligheid te bieden, grote economische schade te voorkomen, grote groepen slachtoffers te voorkomen en de vitale en kwetsbare voorzieningen te beschermen (RLI, 2011).

Om de risico's te beheren worden er allerlei nieuwe eisen opgesteld voor dijken, dammen en duinen. Sinds 2017 gelden er nieuwe veiligheidsnormen voor waterkeringen (De Waal, 2016). Deze worden berekend door:

Risico waterveiligheid = kans op overstroming * gevolg (schade)

Kans op overstroming bestaat uit:

- Waterstand;
- Dijkbelasting;
- hoogte en sterkte dijk.

Gevolg, oftewel schade, bestaat uit:

- Totale schade, bestaat uit directe schade en indirecte schade;
- Slachtoffers.

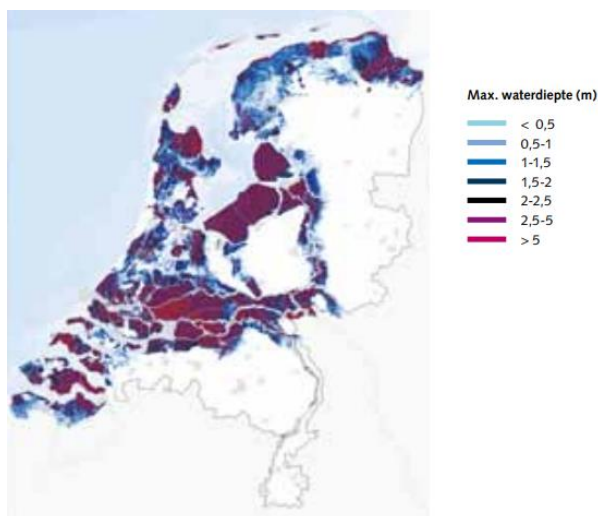
(Bart van der Veer, 2013)

1.4 Oplossingen

Om de waterveiligheid te kunnen garanderen worden verschillende oplossingen bedacht. Deze oplossingen bestaan uit het bouwen van een waterkering, het verbeteren van de dijk, het verminderen van CO₂-uitstoot en het ontwerpen van innovatieve plannen (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007).

1.4.1 Waterkering

De eerste oplossing is misschien de meest voor de hand liggende: het bouwen van een waterkering. Om Nederland te beschermen tegen overstromingen heeft ons land ruim 3.700 kilometer aan waterkeringen. Waterkeringen zijn meestal door mensen gemaakt en hebben als doel het tegenhouden van water. Zonder keringen lopen grote gebieden van Nederland onder met water. De bekendste waterkeringen zijn de Deltawerken, die Nederlands grootste verdedigingssysteem tegen hoogwater vanuit zee vormen.



Figuur 7; Waterdiepte Nederland zonder waterkeringen (Rijkswaterstaat, 2019d).

We onderscheiden juridisch twee soorten waterkeringen (Rijkswaterstaat, 2019d):

- Primaire waterkeringen: die ons land beschermen tegen buitenwater uit de Noordzee, de Waddenzee, de grote rivieren en het IJssel- en Markermeer. Bijvoorbeeld de Maeslantkering.
- Secundaire waterkeringen, ook wel regionale waterkeringen: die ons land beschermen tegen binnenwater uit de vele meren, kleine rivieren en kanalen.

We onderscheiden fysiek 2 soorten waterkeringen:

1. Aangelegde waterkeringen:
 - Dijken;
 - Waterbouwkundige kunstwerken; bijvoorbeeld sluisen, stuwen, gemalen en de stormvloedkeringen;
 - Vaste dammen.
2. Natuurlijke waterkeringen:
 - Duinen.



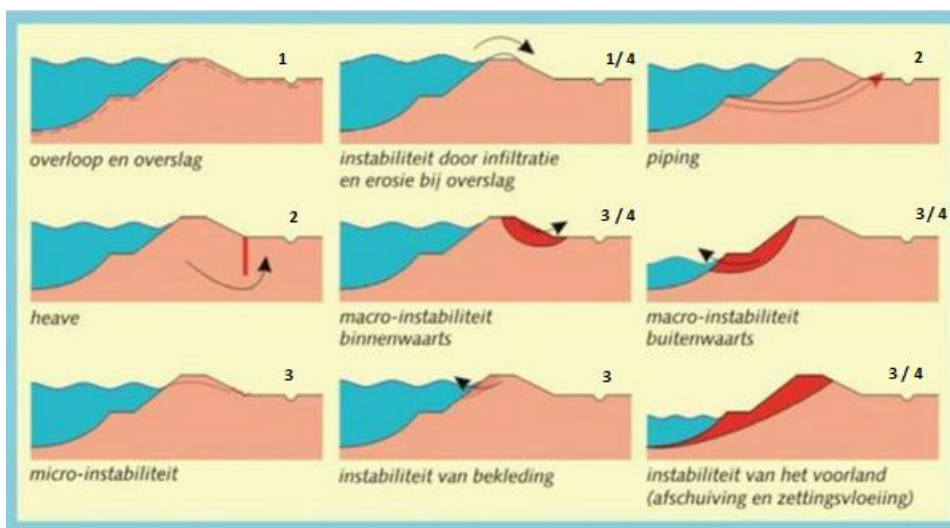
Figuur 8; De Maeslantkering: zowel een primaire kering, als een kunstwerk (AD, 2016).

1.4.2 Dijkverbetering

De tweede oplossing is het gebruiken van dijkverbetering. Dit wordt toegepast omdat de dijk bezwijkt als gevolg van verschillende faalmechanismen. Het stijgende water heeft veel invloed op het bezwijken, maar het heeft ook andere invloeden zoals droogte, verkeersbelasting en menselijke en dierlijke activiteit.

De faalmechanismen worden verdeeld in 4 hoofdgroepen (Deltares, z.d.):

1. Overloop en overslag; er stroomt/golft water over de dijk heen. Dit heeft het gevolg dat het achterliggende land niet meer beschermd is, waardoor de dijk faalt.
2. Piping; onderloopsheid van de dijk, er stroomt water door de dijk. Dit heeft het gevolg dat de dijk instabiel wordt en zakkingen op kunnen treden, waardoor de dijk faalt.
3. Instabiliteit; het evenwicht in de dijk is niet meer aanwezig. Dit heeft ten gevolg dat er afschuivingen zowel binnenwaarts als buitenwaarts ontstaat, waardoor de dijk faalt.
4. Erosie; materiaal spoelt van en uit de dijk. Dit heeft ten gevolg dat de dijk niet meer genoeg bescherming biedt als de breedte bijvoorbeeld gehalveerd wordt, waardoor de dijk faalt.



Figuur 9; Faalmechanismen met hoofdgroep genummerd (Waterschap Rivierenland, 2016).

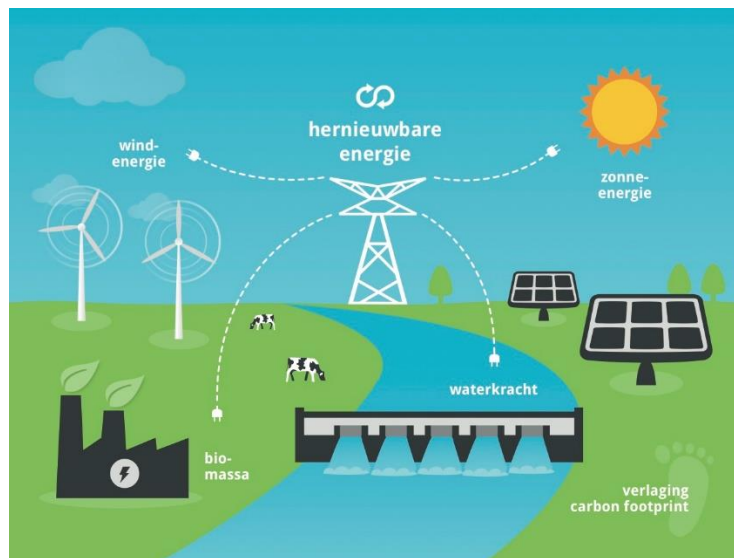
Om al dit falen tegen te gaan, wordt er dijkverbetering toegepast. Er zijn allerlei maatregelen die genomen kunnen worden bij het constateren van een faalmechanisme, die onderverdeeld worden in de volgende typen (Deltares, z.d.):

- Belastingbeperkende maatregelen, bijvoorbeeld door de waterstand te verkleinen door het waterpeil via een gemaal te controleren.
- Stabiliteit verhogende maatregelen, bijvoorbeeld door het verzwaren/verbreden van de dijk door middel van zand.
- Erosie remmende maatregelen, bijvoorbeeld bekleding aanbrengen in de vorm van geotextiel.
- Verhoging van de kering, bijvoorbeeld verhogen door middel van zandzakken, big bags of steilwand.
- Toevoeging van een extra kering, bijvoorbeeld aanleggen van een noodkering.

1.4.3 CO₂-reductie

De derde oplossing is CO₂-reductie. De vermindering van de uitstoot kan de volgende manieren (Schure, Daniëls, Ros, & Koelemeijer, 2020):

- Groene energie genereren; wind, water en zon moeten als bron gebruikt worden en vooral de kolencentrales moeten sluiten.
- Overheid moet ingrijpen; kilometerheffing en aanpassing maximale snelheid.
- Bedrijven moeten meer letten op hun uitstoot en veranderingen doorvoeren; kortere vaarafstanden hanteren, EMVI plannen, biobrandstoffen ontwikkelen en elektrisch materieel gebruiken.
- De mens zelf moet bewuster handelen; eet 1 à 2 dagen in de week vegetarisch, laat de auto vaker staan of stap over naar elektrisch rijden en maak minder gebruik van een vliegtuig (FLYGRN, 2019).



Figuur 10; CO₂-reductie voor een groenere wereld (Schone Energie B.V., 2019).

1.4.4 Andere oplossingen

Er worden ook steeds meer innovatieve plannen bedacht. Dit zijn multidisciplinaire projecten die zowel waterveiligheid als bijvoorbeeld natuurherstel of energieopslag aanpakken. Ook zijn het vaak programma's die vanuit Rijkswaterstaat en de waterschappen worden ontwikkeld. Een aantal van deze projecten/programma's zijn:

- Ruimte voor de Rivier (Ruimte voor de Rivier, 2018);
Dit programma heeft er voor gezorgd dat er aan ruim 30 projecten langs de Rijntakken is gewerkt, om meer ruimte te creëren voor de rivier. Dit is gebeurd op een aantal manieren: dijkverlegging, uiterwaardvergraving, dijkverbetering, ontpoldering, zomerbedverlaging, waterberging en obstakelverwijdering.
- Zandmotor (Zandmotor, 2019);
Er is sprake van erosie aan de Nederlandse kust. Rijkswaterstaat stort daarom eens in de vijf jaar zand op het strand en voor de kust. Met de zandmotor, een schiereiland voor de kust oftewel een hele grote hoop zand, wordt door middel van erosie aan het eiland het zand op een natuurlijke manier verspreid over de Nederlandse kust. De natuur legt het zand voor ons op de juiste plek.
Het nieuwe schiereiland zorgt ook nog eens voor een nieuw natuur- en wandelgebied.
- Hoogwaterbeschermingsprogramma (Hoogwaterbescherming, 2014);
Een programma dat is opgesteld door de overheid, Rijkswaterstaat en de waterschappen om waterkeringen, zoals onder andere dijken, duinen, sluizen en gemalen, aan de wettelijke veiligheidsnormen te laten voldoen. Het plan zorgt voor betere bescherming tegen hoog water en maakt dijken weer veilig en aantrekkelijk. Nederland moet samenleven met het water, nu en in de toekomst.
- Multifunctionele waterkeringen:
 - Boulevard Scheveningen (Tromp, 2019); een geheel vernieuwde boulevard die er niet alleen mooi uit ziet, maar fungeert als harde zeewering.
 - Almere Strand (DUIN.nl, 2019); een nieuwe woonwijk gebouwd in nieuwe duinen, woonplezier en waterveiligheid gaan hier hand in hand.
 - Delta21 (Lavooij&Berke, 2019); een toekomstbestendige oplossing voor de zuidwestelijke delta. Een multifunctioneel project waar gedacht wordt aan waterveiligheid, energietransitie en natuurherstel, door middel van een nieuwe natuurlijke waterkering in zee waarmee een energiemeer wordt gecreëerd.

2. Eén idee met 3 oplossingen: Delta21

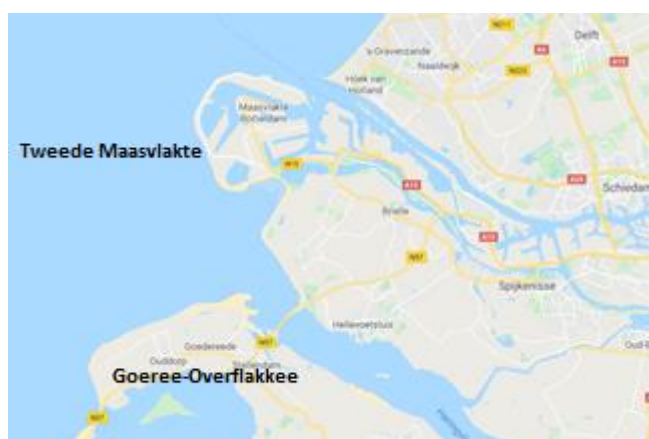
2.1 Het project

Het Delta21-plan is ontstaan uit discussies van de initiatiefnemers met de betrokken partijen over de waterveiligheid van Nederland, die zowel vanuit de Noordzee of vanuit de rivieren de Zuidwestelijke delta bedreigen. De kern van de oplossing is gelegen in het wegpompen van overtollig rivierwater naar zee. Omdat de pompen daarvoor slechts eenmaal per 10 jaar nodig zijn, is gezocht naar een toepassing voor de pompen gedurende de tijd dat ze niet nodig zijn voor de overstromingsveiligheid. Er is daarom gekozen voor de opslag van het water in een energieopslagbassin.

Het plan houdt ook rekening met het Klimaatakkoord voor 2030 waarin grootschalige uitbreiding van zonne- en windenergie zich zal voordoen. Het aanbod van energie is dus sterk afhankelijk van de weersgesteldheid. Veel van deze, vaak overtollige, energie moet dan wel ergens opgeslagen worden. Daaruit werd Delta21 ontwikkeld: een energieopwek- en energieopslaglocatie die Nederland beschermt tegen wateroverlast.

Er komt bij dat het plan kan dienen als natuurherstel in het Haringvliet en in het Hollands diep. Als gevolg van de Deltawerken zijn deze wateren verzoet en is de brakwaterbiotoop geheel verdwenen. Door de Haringvlietsluizen open te zetten kan de zoutwaterbiotoop zich in het Haringvliet weer helemaal herstellen. Deze biotoop ontstaat door het getijde en is van belang voor sommige vissen en vogels, waardoor vismigratie tussen de Noordzee en de Rijn weer hersteld worden. Door dit Delta21 concept hoeft de overheid veel minder geld te besteden aan het ophogen van 600 kilometer dijk en zal het project met de energieopwekking ook nog extra inkomsten opleveren.

Delta21 is een idee voor een multifunctionele waterkering. Het project is namelijk een oplossing dat zal zorgen voor waterveiligheid, energieopslag en natuurherstel. Het plan is als volgt: er zal tussen de kust van de Tweede Maasvlakte en het Zeeuwse eiland Goeree Overflakkee in zee, een energieopslagmeer worden gecreëerd. Een waterkering, een gemaal, een overlaat en een afsluitbare kering maken dit mogelijk.



Figuur 11; Projectlocatie (Maps, 2020).



Figuur 12; Delta21 met kunstwerken (Lavooij&Berke, 2019).

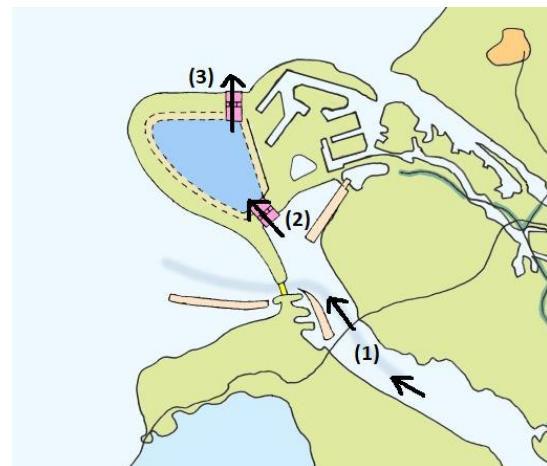
Ook zorgt Delta21 ervoor dat in de Noordzee een meer ontstaat van 20 km². Dit meer zal fungeren als valmeer en als energie-opslagmeer.

- Valmeer:

Bij een zware storm op de Noordzee, zal het Noordzeewater worden opgestuwd en zullen de keringen in het estuarium gesloten moeten worden. Een estuarium is een trechtervormige riviermonding, waar zoet rivierwater en zout zeewater worden vermengd. Om toch het overtollige rivierwater te kunnen afvoeren, kunnen de pompen in het Valmeer gebruikt worden.

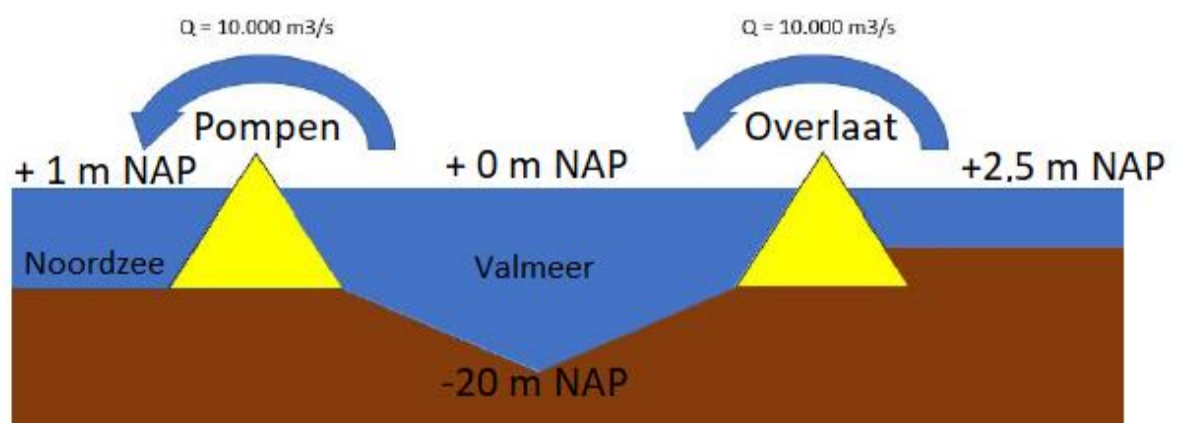


Figuur 13; Estuarium (Maps, 2020).



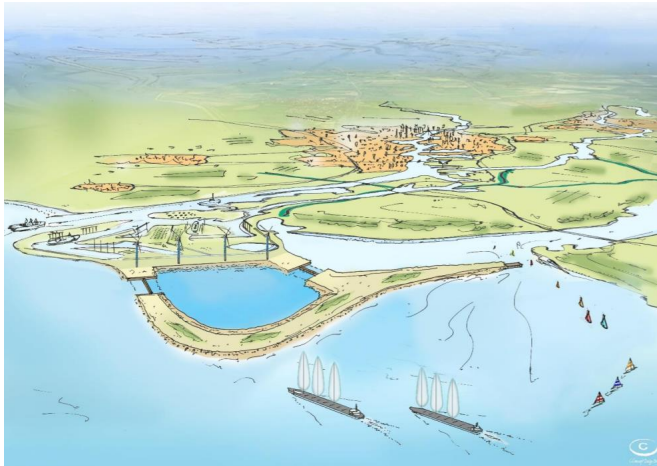
Figuur 14; Valmeer (Lavooij&Berke, 2019).

In tijden van hoge rivierafvoeren (1), zal het Energieopslagmeer als valmeer gebruikt worden. Het rivierwater stroomt dan via een overlaat in het meer (2). Het kan in extreme situaties 10.000 [m³/s] water over de overlaat laten stromen. Het gemaal, oftewel ca. 2 km aan waterpomp gemalen, kan in tijden van een geheel gevuld meer het overtollige water wegpompen in zee (3), met een pompcapaciteit van 10.000 [m³/s]. Hierdoor wordt de rivier ontlast en daalt de waterspiegel in de rivieren.



Figuur 15; Waterlevels.

- **Energie-opslagmeer:**
Het meer fungeert ook als energie-opslagmeer. Daardoor is het meer waardevol in tijden van normale waterstanden op de rivier. Energie kan er worden opgeslagen door middel van opslag in waterkracht. Maar het kan ook weer worden gegenereerd door middel van de waterpomp gemalen.



Figuur 16; Delta21 (Lavooij&Berke, 2019).

2.2 Waterveiligheid

Delta21 is primair gericht om een deel van Zuid-Holland en Zeeland en daarmee Nederland te beschermen tegen wateroverlast. Deze noodzaak wordt versterkt vanwege de stijgende zeespiegel en het stijgende rivierpeil. Het houdt hoogwater vanaf de Noordzee tegen met een waterkering en het ontlast de rivier. Daardoor biedt het bescherming tegen zowel binnendijkse gebieden als buitendijkse gebieden.

2.3 Energieopslag

De enorme pompcapaciteit die in het Valmeer beschikbaar komt, kan heel nuttig dagelijks gebruikt worden om energie op te slaan. Het is erg verspillend als zoveel pompcapaciteit renteloos jaren achtereen moet wachten tot het ineens hard nodig is. Het plan biedt de mogelijkheid om in het grootschalig opslagbekken, gedurende 12 uur met een vermogen van 1860 MW, energie tijdelijk in waterkracht op te slaan. Zo kunnen de dagelijkse pieken en dalen in vraag en aanbod van energie, tegen lage kosten, worden opgevangen.

2.4 Natuurherstel

Toen de Haringvlietdam gebouwd werd, als één van de Deltawerken tussen Voorne-Putten en Goeree-Overflakkee, is het Haringvliet afgesloten. Daardoor is de rivier sindsdien voorzien van zoet water in plaats van zout water. Dit heeft allerlei natuurveranderingen met zich mee gebracht. De biodiversiteit is flink achteruit gegaan en het gebied is droger geworden. Delta21 pleit weer voor een milieuvriendelijke open verbinding tussen de Noordzee en het Haringvliet, waardoor het zoute getij terugkeert en de natuur in de regio hersteld kan worden. Ook kan dan de vismigratie tussen zee en rivier worden hersteld.

2.5 De duinenrij

Aan de randen van het energie-opslagmeer komt een waterkering, die op een natuurlijke, duurzame manier zal worden ontworpen. Er zal worden overwogen dit met een duin volledig van zand of een duin met een 'hangend strand' oplossing te doen. Ten eerste zal in deze situatie het principe "Building with Nature" gebruikt worden om geen zand te verspillen in het Noordzeegebied. Het zand wat wordt gebaggerd om het energiemeer te creëren, zal worden gebruikt om de duinen te kunnen realiseren. De meest gewenste uitkomst is een gesloten grondbalans. Dit betekent dat het volume zand wat uit met meer wordt gebaggerd, even groot is aan het volume zand van de duinenrij.

2.5.1 'Duin volledig van zand' versus 'duin met een hangend strand'

Een aantal voordelen van een hangend strand ten opzichte van een gewone duin zijn (Lavooij&Berke, 2019):

- Meer vrijheidsgraden bij ontwerp suppletie. Op steile kustprofielen kunnen bijvoorbeeld flauwe stranden worden gecreëerd met een beperkte hoeveelheid zand.
- Manipulatie van profielontwikkeling mogelijk. Deze invloed op de profielontwikkeling is voornamelijk significant als de dam een duidelijk golfbrekerfunctie vervult.
- Zeer geschikte methode om profielontwikkeling onder invloed van bijvoorbeeld zeespiegelstijging te volgen.
- Ruimtelijke winst aan het binnentalud, zodat het energiemeer kleiner kan worden (Lavooij&Berke, 2019).

Nadelen van een hangend strand kunnen zijn (Lavooij&Berke, 2019):

- Onshore gericht transport wordt geblokkeerd door de dam. Dit noodzaakt tot optimalisatie van de afstand van de dam uit de kust.
- Een ondiepe onderwaterdam kan een gevaar vormen voor zwemmers en watervaartuigen.
- Bij een groot getijverschil kan de dam tijdens laag water boven de waterspiegel uitsteken, dit kan visueel en praktisch onaantrekkelijk zijn. Het natuurlijke karakter is dan ook verdwenen.

Beide varianten zullen, later in deze scriptie, tegen elkaar worden afgewogen op basis van een aantal criteria (Lavooij&Berke, 2019):

- Kosten van zand voor de aanleg van het totale volume van het duin. Door het gebruik van een dam kan hierop worden bespaard.
- Toekomstige kosten voor onderhoud aan het duin. Door het gebruik van een dam zal het zandverlies en dientengevolge ook de suppletie-frequentie worden gereduceerd.
- Kosten voor de bouw en het onderhoud van de dam. Deze kosten zullen moeten opwegen tegen bovengenoemde besparingen.
- De duurzaamheid van het duin.
- Het duin dat het meest ecologie met zich mee brengt en de bestaande ecologie niet te veel verstoort.
- De complexiteit van het gehele project.

3. Programma van Eisen

3.1 Eisen

3.1.1 Wetten en voorschriften

Een civieltechnisch project moet altijd voldoen aan verschillende Nederlandse wetten en voorschriften. Hieronder is een overzicht gegeven van alle wetten en voorschriften waaraan het duinontwerp moet voldoen:

- Waterwet 2020 (Waterwet, 2020);
- Waterveiligheidseisen volgens Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017 (De Waal, 2016);
- Wet Ruimtelijke ordening (Wet ruimtelijke Ordening, 2018);
- Eurocode;
- Natuurbeschermingswet (Natuurbeschermingswet, 1998);
- Wet milieubeheer (Wet milieubeheer, 2019);
- Technisch Rapport Duinafslag (Van de Graaff e.a., 2007);
- Wet algemene bepalingen (Wet algemene bepalingen, 2012);

3.1.2 Het energiemeer

De oppervlakte van het energiemeer is 20,0 [km²] (Lavooij&Berke, 2019). Het meer wordt leeggepompt met grote waterpompen met een pompcapaciteit van 10.000 [m³/s].

3.1.3 De duinenrij

Er wordt een ontwerp van de duinenrij van Delta21 rondom het energiemeer, van gemaalpompen tot overlaat, gemaakt. Twee ontwerpen worden er gemaakt: duin volledig van zand of een duin met een hangend strand.

Deze duin met een lengte van 15,0 [km] wordt geplaatst tussen de Tweede Maasvlakte en Goeree. De duinenrij fungeert als primaire waterkering, want de kering moet overstromingen voorkomen. Anders werkt het hele systeem van Delta21 in tijden van hoge rivierafvoeren en hoogwater op de Noordzee niet. Het duin dient het achterliggende land te beschermen tegen het hoge water van de Noordzee.

3.2 Randvoorwaarden

3.2.1 Klimaatscenario

Het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) heeft verschillende klimaatscenario's opgesteld voor Nederland. De KNMI-scenario's voor de jaren 2050, 2100 en 2200 vermelden extremere afvoeren en zeespiegelstijgingen, zoals hieronder weergegeven in de afbeelding.

Jaar	2050	2100	2200
Minimumscenario:			
zeespiegel	+ 0,10 m	+ 0,20 m	+ 0,40 m
extra stormopzet	-	-	-
golfhoogte	-	-	-
verhoging dwarsprofiel	+ 0,10 m	+ 0,20 m	+ 0,40 m
Middenscenario:			
zeespiegel	+ 0,30 m	+ 0,60 m	+ 1,20 m
extra stormopzet	-	-	-
golfhoogte	-	-	-
verhoging dwarsprofiel	+ 0,30 m	+ 0,60 m	+ 1,20 m
Maximumscenario:			
zeespiegel	+ 0,45 m	+ 0,85 m	+ 1,70 m
extra stormopzet	+ 0,40 m	+ 0,40 m	+ 0,40 m
(extra verhoging basispeil)			
golfhoogte	+ 5%	+ 5%	+ 5%
verhoging dwarsprofiel	+ 0,45 m	+ 0,85 m	+ 1,70 m

Figuur 17; Aanbevolen waarden voor randvoorwaarden op lange termijn (den Heijer, 2002).

Het maximumscenario wordt aangegeven met W+ en het is wettelijk bepaald dat met deze maximale scenario's primaire waterkeringen ontworpen worden (De Waal, 2016). Het ontwerp houdt rekening met het klimaatscenario 2100 W+, wat resulteert in een ontwerplevensduur van 80 jaar. Er is niet voor gekozen om door middel van interpolatie een tussenliggende ontwerplevensduur te benaderen omdat dit zou leiden tot schijnnaauwkeurigheden en interpolatie onzekerheden. Aanbevolen wordt om in een later stadium een gedetailleerde Life Cycle Costs-analyse te maken om de ontwerplevensduur in combinatie met de onderhoudsintervallen te optimaliseren. Dit maakt echter geen deel uit van deze afstudeerscriptie, maar is wel terug te vinden in de aanbevelingen.

Duin	Klimaatscenario
Duin Noord	2100 W+
Duin West	2100 W+

Tabel 1; Klimaatscenario.

3.2.2 Maatgevende stormen

Er wordt rekening gehouden met twee stormen: noordwester- en zuidwesterstorm. De noordwesterstorm is in het algemeen veel krachtiger, maar deze zal niet de hele duinenrij raken. Het deel duin wat geraakt wordt door een noordwester storm moet hogere en zwaardere golven kunnen keren. De duinenrij zal daarom opgesplitst worden in twee delen: Noord en West.

Duin	Maatgevende storm
Duin Noord	Noordwesterstorm
Duin West	Zuidwesterstorm

Tabel 2; Duingegevens.



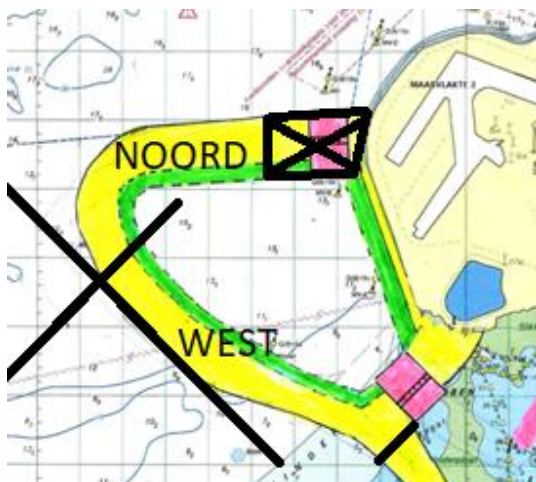
Figuur 18; Twee richtingen van storm (Maps, 2020).

3.2.3 De duinenrij

Het duin wordt dus opgesplitst in twee duinen: duin Noord en duin West. De lengtes van deze twee delen zijn:

Duin	Lengte (l) [km]
Duin	15
Duin Noord	6,6
Duin West	8,4

Tabel 3; Duingegevens.



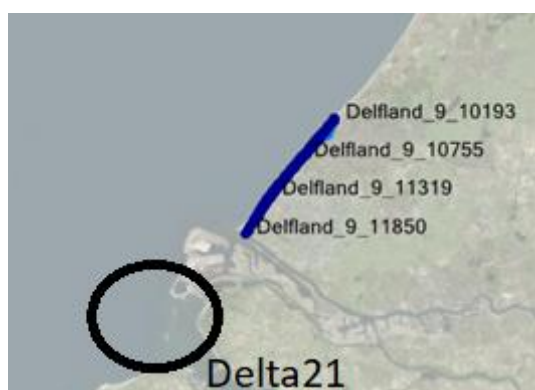
Figuur 19; Ontwerp Delta21 (Lavooij&Berke, 2019)

3.2.4 Dijktraject

Nederland kent verschillende dijktrajecten. Om de duinen te kunnen ontwerpen met de hydraulische randvoorwaarden van het klimaatscenario, wordt er gebruik gemaakt van deze dijktrajecten (Deltares, 2020c). Deze trajecten zijn opgebouwd uit oplopende metring. De maatgevende metring is waar de golfhoogte het hoogst is (zie hydraulische randvoorwaarden).

Duin	Maatgevend dijktraject	Maatgevende metring	Normfrequentie
Duin Noord	Delfland 14-5	11.319	1/10.000
Duin West	Goeree 25-1	14.750	1/4.000

Tabel 4; Dijktraject.



Figuur 20; Dijktraject Delfland 14-5 (Deltares, 2020c).



Figuur 21; Dijktraject Goeree 25-1 (Deltares, 2020c)

3.2.5 Hydraulische randvoorwaarden voor klimaatscenario 2100 W+

De golfhoogte, de golfperiode en het stormvloedpeil zijn berekend met het klimaatscenario 2100 W+ met behulp van Riskeer (Deltares, 2020c), die data gebruikt uit het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI) (De Waal, 2016). Deze hydraulische randvoorwaarden zijn uiteindelijk bepaald door bij het maatgevende dijktraject, de hoogste (= maatgevende) waarde van de golfhoogte en de bijbehorende golfperiode te onderzoeken. In de bijlage (zie bijlage 3: Geotechnisch en hydraulisch rapport) is het volledige hydraulisch rapport te vinden.

Naam	Symbool	Eenheid
Significante golfhoogte	H_s	meter [m]
Significante golfperiode	T_s	seconde [s]

Tabel 5 Significante golfhoogte en golfperiode;

Duin	Maatgevende storm	Dijktraject	Metrering	H_s [m]	T_s [s]	Stormvloedpeil [m NAP]
Duin Noord	Noordwesterstorm	Delfland 15-4	11.319	7,3	12,26	+4,62
Duin West	Zuidwesterstorm	Goeree 25-1	14.750	3,99	12,85	+4,00

Tabel 6; Waarde significante golfhoogte, significante golfperiode en stormvloedpeil.

3.2.6 Geotechnische randvoorwaarden

De korrelgrootte van het zand, wat gewonnen wordt ter creatie van het meer en opgespoten wordt ter realisatie van het duin, moet bepaald worden. Want deze korrelgrootte is namelijk erg van invloed op het ontwerp. Hoe groter de korrel, hoe stabiel het duin en hoe kleiner het ontwerp van het duin.

Er is daarom onderzoek gedaan naar de korrelgrootte, in de bijlage is het volledige geotechnisch rapport te vinden.

Naam	Symbool	Eenheid
Korrelgrootte	D ₅₀	micrometer [μm]

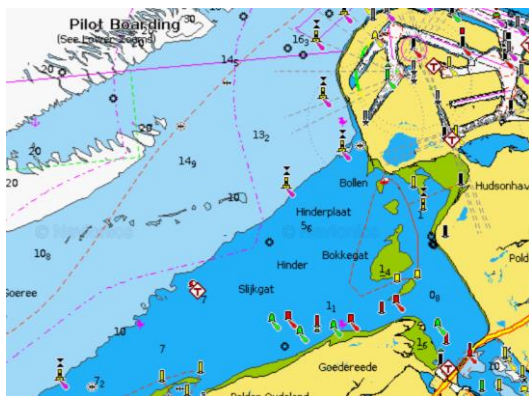
Tabel 7; Korrelgrootte.

Duin	D50 [μm]
Duin Noord	120
Duin West	120

Tabel 8; Waarde korrelgrootte.

3.2.7 Waterdiepte

De waterdiepte in het gebied is bepaald via de webapp Navionics (Navionics, 2020). Voor het opspuiten van het duin is dit van belang.



Figuur 22; Waterdiepte.

De waterdieptes in dit gebied verschillen erg met elkaar. Daarom moet er een model van de ondergrond worden gebruikt. Deze data van de ondergrond is gedownload via de site van de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (NOAA, 2020). Deze data kan worden ingeladen in AutoCad.



Figuur 23; Ondergrond Delta21 (NOAA, 2020).

3.3 Uitgangspunten

3.3.1 Dam hangend strand

Kruinhoogte

De dam van het hangend strand kan gezien worden als de teenconstructie van het duin. Deze dam is volgens de Rock Manual een onderwaterdam (CIRIA, 2012). De kruinhoogte van de dam staat daarom altijd onderwater, wat tevens een natuurlijk karakter aan het duin geeft. Om dit te garanderen moet er uitgezocht worden op welke waterhoogte het maatgevend laagwater (MLW) zit. Dit MLW wordt door verschillende meetstations op diverse plekken gemeten. Dicht in de buurt van de projectlocatie zitten drie stations: Lichteiland Goeree, Haringvliet 10 en Stellendam buiten (Rijkswaterstaat, 2020).



Figuur 24; Meetstations (Maps, 2020).

Van deze stations is het MLW bekend vanaf NAP (Normaal Amsterdams Peil):

Tabel 9; Maatgevend laagwater.

Meetstation	MLW [m NAP]
Lichteiland Goeree	-1,21
Haringvliet 10	-1,27
Stellendam buiten	-1,70

Gezien deze MLW gegevens is er vanuit gegaan dat de hoogte van de kruin van de onderwaterdam op -2,00 meter NAP dient te liggen, zodat de kruin altijd geheel onderwater staat.

Parameters

Voor het bepalen van de dam zijn verschillende parameters van toepassing (CIRIA, 2012):

- Een achter- en voortalud van 1:1,5;
- Δ = Relatieve dichtheid = $(\rho_{\text{steen}} - \rho_{\text{water}}) / \rho_{\text{water}}$ [-];
- $\rho_{\text{steen}} = 2650$ [kg/m³];
- $\rho_{\text{water}} = 1030$ [kg/m³];

Materiaal

De dam wordt met een stortsteenconstructie gemaakt, omdat het veruit de beste en goedkoopste manier is om deze te ontwerpen. Naast het kostenaspect kent een dergelijke dam nog vele andere voordelen (Wageningen University & Research (WUR), 2000):

- een eenvoudige aanleg;
- een lange levensduur;
- relatief lage kosten;
- goede mogelijkheden voor hergebruik;
- de hoge dichtheid van het materiaal die de constructie een goede weerstand tegen belastingen geeft.

Voor deze stortsteenconstructie wordt een standaard ontwerp toegepast, bestaande uit een opbouw van breuksteen.

3.3.2 Gesloten grondbalans

Het idee van Delta21 is dat al het zand dat wordt opgezogen om het meer te creëren, wordt gebruikt om de duinen te realiseren (Lavooij&Berke, 2019). Zodat er geen extra zand geleverd hoeft te worden.

$$\text{Volume zand ter creatie meer} = \text{volume zand ter realisatie duin}$$

De benodigde diepte kan berekend worden met het volume van het duinontwerp en het oppervlak van het meer.

3.3.3 Waterpompturbines

De waterpompen van Delta21 zitten aan de Noordkant en hebben een lengte van 2,0 km, op basis van eerder gedaan onderzoek.

3.4 Aannames

3.4.1 Steile duin

Het duin is ontworpen als steile duin omdat dan het minste zand nodig is om het duin te creëren. In andere bestaande situaties ligt vaak al een duin, dus daarmee valt deze situatie niet te vergelijken. Een steile duin wordt volgens het technisch rapport duinafslag, ook wel het TRDA, beschreven met de volgende taluds (Van de Graaff e.a., 2007):

Duin	Buitentalud	Binnentalud	Talud naar zeebodem	Talud naar energiemeerbodem
Duin Noord	1:3	1:2	1:12,5	1:12,5
Duin West	1:3	1:2	1:12,5	1:12,5

Tabel 10; Taluds.

3.4.2 Erosie

Er moet rekening gehouden worden met erosie aan het duin door de jaren heen. Dit betreft zand wat van het duin afslaat met normale waterstanden het hele jaar door. Elke 4 jaar worden duinen onderhouden (Rijkswaterstaat, 2018). Er vanuit gaande dat je deze onderhoudsronde net mist, moet er in het duin dus een volume voor een erosie zijn van 4 jaar. Om dit volume te kunnen bepalen, is er gekeken naar de zandsuppleties per jaar in de omliggende gebieden. Van Oord Nederland B.V. doet dit onderhoud op de kop van Schouwen, hierdoor is vanuit het afstudeerbedrijf gekomen aan volumes van het onderhoud. Er wordt jaarlijks op de kop van Schouwen circa 100.000 m³ zand gesuppleerd over een kustlengte van 12 km. De lengte van het duin is 15 km, dus dat zou neerkomen op een extra jaarlijks volume van 125.000 m³. Er moet rekening gehouden worden met een onderhoud van om de 4 jaar, dat betekent dat het volume nog 4 keer zo groot is: 500.000 m³ voor 15 km. Per meter is dit 33,33 m³, dat extra bij het duin komt.

3.5 Ontwerpprogramma's

Om het duin te kunnen ontwerpen wordt er gebruik gemaakt van verschillende ontwerpprogramma's die door Deltares zijn ontwikkeld. Deze programma's gebruiken de wettelijke voorschriften van hydraulische en geotechnische randvoorwaarden (Deltares, 2020d):

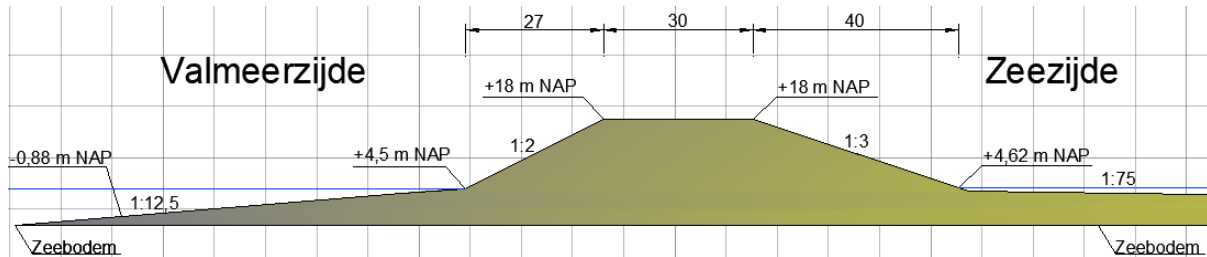
- Wettelijke randvoorwaarden volgens WBI2017 gegenereerd door het programma Riskeer (Deltares, 2020c);
- Duinafslag: programma van Deltares: MorphAn (Deltares, 2020b);
- Tekeningen: AutoCad LT 2019, Civil3D (AutoDesk, 2018);
- Zettingsberekeningen: D-Settlement (Deltares, 2020a).

4. Varianten

4.1 Variant 1: Duin

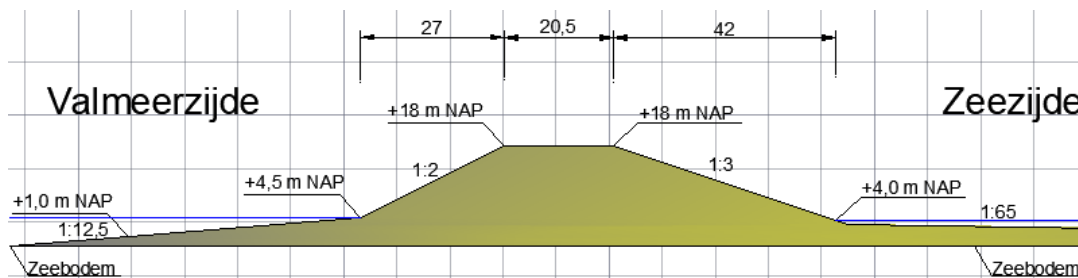
Allereerst: het duin. Het duin is opgesplitst in twee delen: Noord en West.

Ontwerp duin Noord:



Figuur 25; Ontwerp duin Noord.

Ontwerp duin West:

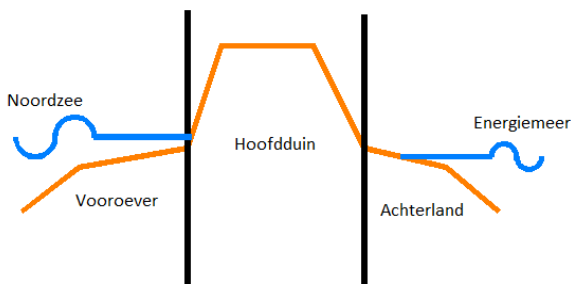


Figuur 26; Ontwerp duin West.

De ontwerpen op groter formaat zijn ook terug te vinden in bijlage 7 en 8. Hieronder is te lezen hoe deze twee duinen zijn ontworpen, hoe het totale volume van de zandige duin is bepaald en bij welke diepte van het energiemeer een gesloten grondbalans wordt bereikt.

4.1.1 Ontwerp duin Noord

Om duin Noord gemakkelijk te ontwerpen wordt hij opgesplitst in de vooroever, het hoofdduin en het achterland. De vooroever is het deel van het duin aan de kant van de Noordzee, het hoofdduin is het middengedeelte van het duin en het achterland is het gedeelte aan de kant van het energiemeer (zie onderstaand figuur). Door deze drie delen uiteindelijk samen te voegen ontstaat het gehele duin.



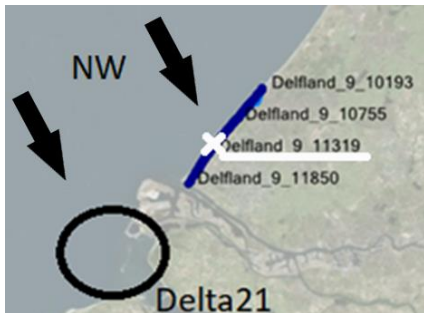
Figuur 27; Duin.

4.1.1.1 Het hoofdduin

Het ontwerpen start bij het hoofdduin. Het hoofdduin bestaat uit het duinafslagprofiel, een stuk extra veiligheid en het volume voor de erosie, de $33,33 \text{ m}^3/\text{m}$. Ook moeten het voor- en achtertalud worden bepaald.

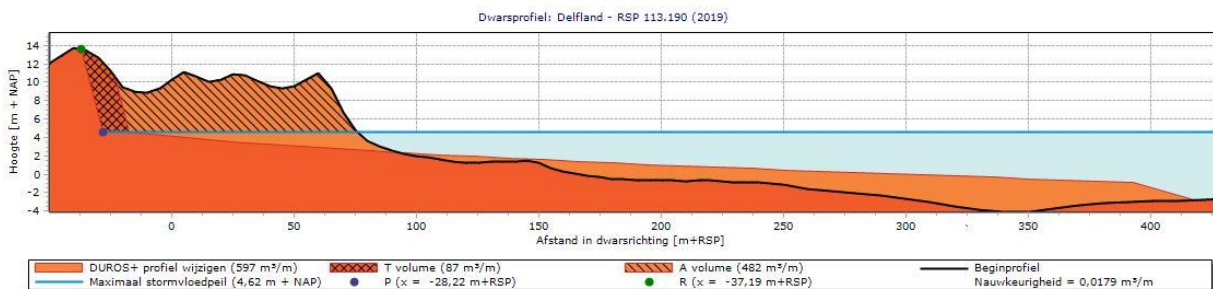
Allereerst moet het duinafslagprofiel van het duin bepaald worden, deze wordt bepaald door het programma MorphAn. Dit is een programma voor de berekening van het duinafslagprofiel voor duinen onder normale weeromstandigheden en voor de toekomstige klimaatscenario's, die de correcte wettelijke methode toepast van een duinontwerp. Dit programma berekent dit profiel door middel van de korrelgrootte van het duin en de golfhoogte en de golfperiode vanaf de Noordzee. Het duinafslagprofiel is het minimale afgeslagen profiel tijdens een storm. In dit geval van duin Noord: de noordwesterstorm onder het klimaatscenario 2100 W+. Het volume van dit afslagprofiel is het minimale volume van het duin. Het duin zal erna wel onderhouden moeten worden.

Voor duin Noord is dijktraject Delfland 15-4 maatgevend, omdat op dit traject dezelfde golven aankomen als op het noordelijke deel van het duin. De dijktrajecten van Voorne en Goeree waren niet maatgevend, omdat deze meer in de luwte liggen van de Tweede Maasvlakte. Via MorphAn is op dit traject gezocht naar het grootst mogelijke duinafslagprofiel. Het grootst mogelijke profiel omdat dit maatgevend is. Dit profiel is bij metrerung Delfland 11.319 aangetroffen (zie de afbeelding). Dit punt ligt redelijk zuidelijk op het traject. Dat is interessant, want hoe dichterbij de projectlocatie hoe beter het overeen zal komen.



Figuur 28; Dijktraject Delfland met storm en projectlocatie (Deltares, 2020c, bewerkt in Paint).

Het duinafslagprofiel bestaat uit de duinafslag boven het rekenpeil en een toeslag voor de veiligheid (Van de Graaff e.a., 2007). De duinafslag (A volume) van metrerung 11.319 is $482 \text{ [m}^3/\text{m]}$ en de bijkomende toeslagvolume (T volume) is $87 \text{ [m}^3/\text{m]}$, zoals te zien in de figuur hieronder uit MorphAn. Het totale duinafslagprofiel voor duin Noord komt neer op $569 \text{ [m}^3/\text{m]}$. Dit volume slaat af boven het rekenpeil, het stormvloedpeil, van $+4,62 \text{ [m NAP]}$ (De Waal, 2016).



Figuur 29; MorphAn metrerung 11.319.

Tabel 11; Duinafslagprofiel duin Noord.

Duin Noord		
Duinafslagprofiel	569	[m ³ /m]
A volume	482	[m ³ /m]
T volume	87	[m ³ /m]

Er is bepaald dat er een steile duin wordt ontworpen. Het talud van steile duinen is bepaald vanaf een helling van 1:3 (Van de Graaff e.a., 2007). Deze steilste mogelijke helling van 1:3 is daarom aangehouden als voorttalud. Als achtertalud is een helling van 1:2 aangehouden, zoals het TRDA altijd aanhoudt (Van de Graaff e.a., 2007). Ook het extra volume voor de erosie van 33,33 [m³/m] is ingepast in het ontwerp.

De ontwerpkuinhoogte van het duin is bepaald op +18 [m NAP]. De minimale kuinhoogte van het duin was namelijk 13,0 [m], dit plus het stormvloedpeil is +17,62 [m NAP]. Een makkelijk afgerond ontwerppeil is gewenst.

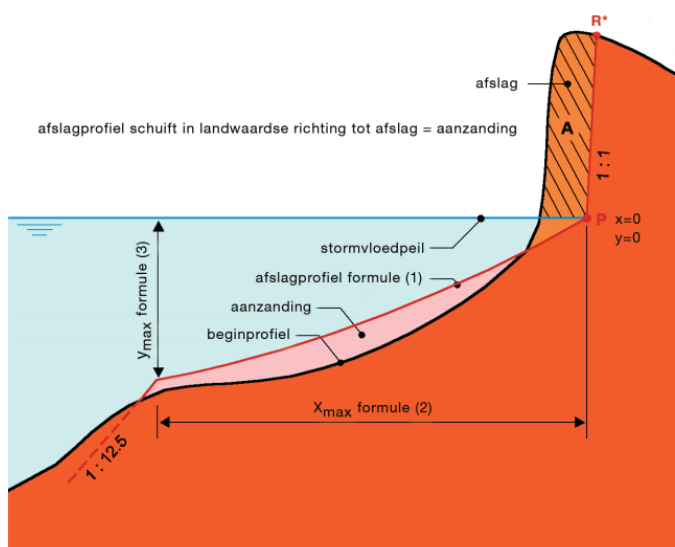
4.1.1.2 De vooroever

De vooroever is het stuk duin waar het afslagprofiel op afslaat, vandaar wordt er rekening gehouden met het volume van het afslagprofiel van Delfland metreering 11.319. MorphAn berekent deze vooroever door middel van een x_{max} en y_{max} te bepalen:

$$x_{max} = 400 \text{ [m];}$$

$$y_{max} = 5,5 \text{ [m].}$$

Dat betekent dat de helling van de vooroever 1:75 bedraagt. Hij begint dus op het rekenpeil van +4,62 [m NAP] en eindigt op -0,88 [m NAP].



Figuur 30; Duinafslagprofiel.

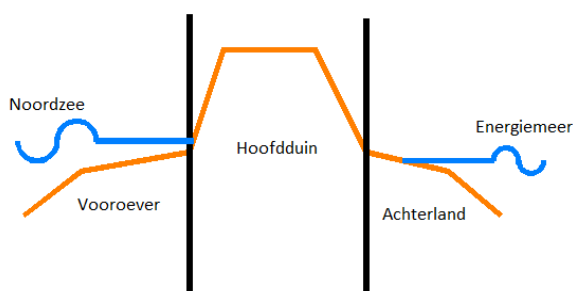
Na het stuk vooroever waar de aanzanding komt van het afslagprofiel, gaat het talud door een helling van 1:12,5 tot de zeebodem, zoals in het technisch rapport duinafslag (TRDA) staat beschreven (Van de Graaff e.a., 2007). De diepte van de zeebodem verschilt erg bij duin Noord. Hiermee is rekening gehouden door een ondergrond te downloaden (NOAA, 2020). Daardoor is nauwkeurig het volume bepaald.

4.1.1.3 Het achterland

Het talud van het achterland van 1:12,5 wordt aangehouden vanaf een minimale waakhogte op + 4,5 [m NAP]. Deze hoogte wordt bepaald door de golfloop van 1,0 [m] en er wordt rekening gehouden met een toeslag voor opwaaiing van 3,5 [m], zie de bijlage voor de berekeningen. De helling 1:12,5 is een ideale helling om toe te passen volgens het TRDA (Van de Graaff e.a., 2007). Dit komt omdat de helling weinig erosie tot gevolg heeft bij een kleine golfloop (wat hier dus het geval is). Ook wordt dit talud in een tamelijk laat stadium van het afslagproces afgezet blijkt uit het TRDA.

4.1.2 Ontwerp duin West

Duin West is op een vergelijkbare manier ontworpen als duin Noord. Het duin wordt opgesplitst in de vooroever, het hoofdduin en het achterland. Door deze drie delen uiteindelijk samen te voegen ontstaat ook hier het gehele duin.



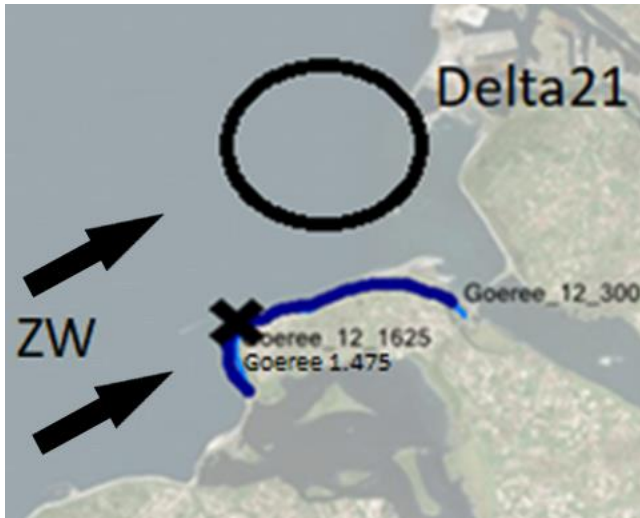
Figuur 31; Duin.

4.1.2.1 Het hoofdduin

Het ontwerpen start bij het hoofdduin. Het hoofdduin bestaat uit het duinafslagprofiel, een stuk extra veiligheid en het volume voor de erosie, de 33,33 m³/m. Ook moet het voor- en achtertalud worden bepaald.

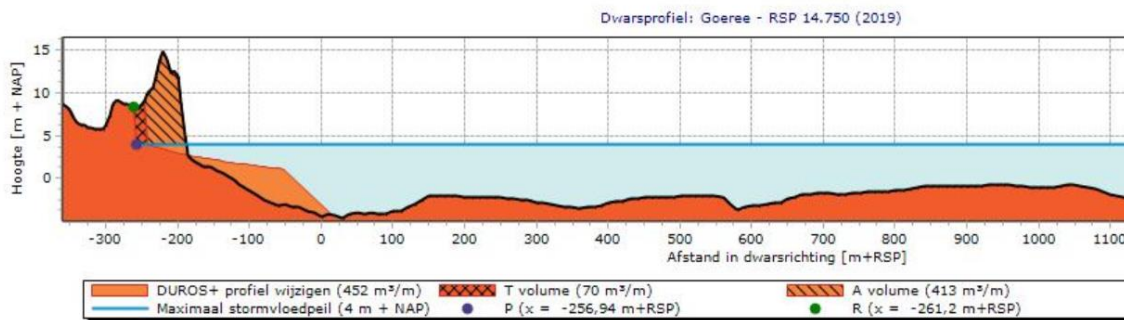
Allereerst moet het duinafslagprofiel van het duin bepaald worden, deze wordt weer bepaald door het programma MorphAn. In dit geval van duin West wordt er wel de andere storm, de zuidwesterstorm onder het klimaatscenario 2100 W+, aangehouden.

Voor duin West is dijktraject Goeree 25-1 maatgevend, omdat op dit traject dezelfde golven aankomen als op het noordelijke deel van het duin. Het dijktraject van Voorne is niet maatgevend, omdat deze een kleinere golfhoogte heeft. Via MorphAn is op dit traject gezocht naar het grootst mogelijke duinafslagprofiel. Het grootst mogelijke profiel omdat die maatgevend is. Dit profiel is bij metrerung Goeree 14.750 aangetroffen (zie de afbeelding).



Figuur 32; Dijktraject Goeree met storm en projectlocatie (Deltares, 2020c, bewerkt in Paint).

Het duinafslagprofiel bestaat uit de duinafslag boven het rekenpeil en een toeslag voor de veiligheid (Van de Graaff e.a., 2007). De duinafslag (A volume) van metrerings 14.750 is 413 [m³/m] en de bijkomende toeslag (T volume) is 70 [m³/m], zoals te zien in de figuur uit MorphAn. Het totale duinafslagprofiel heeft een volume van 483 [m³/m]. Dit volume slaat af boven het rekenpeil, het stormvloedpeil, van +4,00 [m NAP] (De Waal, 2016).



Figuur 33; MorphAn metrerings 14.750.

Tabel 12; Duinafslagprofiel duin West

Duin West		
Duinafslagprofiel	483	[m ³ /m]
A volume	413	[m ³ /m]
T volume	70	[m ³ /m]

Er is bepaald dat er een steile duin wordt ontworpen. Het talud van steile duinen is bepaald vanaf een helling van 1:3 (Van de Graaff e.a., 2007). Deze steilste mogelijke helling van 1:3 is daarom aangehouden als voortalud. Als achtertalud is een helling van 1:2 aangehouden, zoals het TRDA altijd aanhoudt (Van de Graaff e.a., 2007). Het volume voor de erosie van 33,33 [m³/m] is ook ingepast in het ontwerp.

De ontwerpkuinhoogte van het duin is bepaald op +18 [m NAP]. De minimale kuinhoogte van het duin was namelijk 13,0 [m], dit plus het stormvloedpeil is +17,00 [m NAP]. Om de duinen makkelijk in elkaar door te laten lopen is gekozen voor dezelfde kuinhoogte als duin Noord.

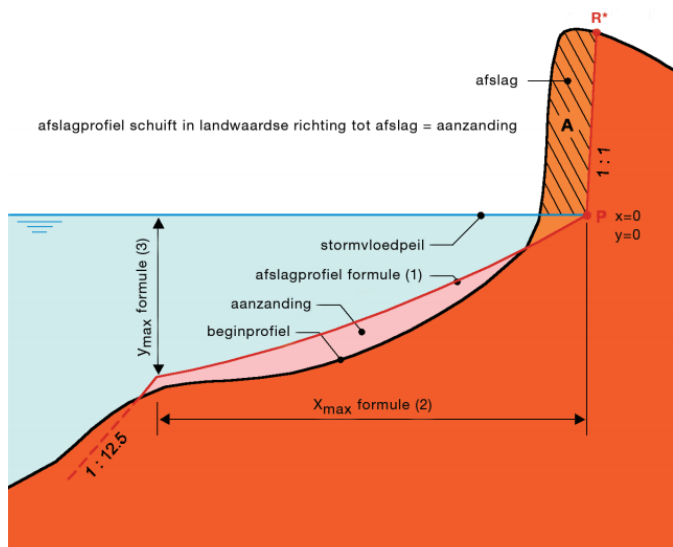
4.1.2.2 De vooroever

Bij de vooroever van duin West wordt er rekening gehouden met het volume van het afslagprofiel van Goeree mettering 14.750. MorphAn berekent deze vooroever door middel van een x_{max} en y_{max} te bepalen:

$$x_{max} = 190 \text{ [m];}$$

$$y_{max} = 3,0 \text{ [m].}$$

Dat betekent dat de helling van de vooroever 1:65 bedraagt. Hij begint dus op het rekenpeil van +4,00 [m NAP] en eindigt op +1,0 [m NAP].



Figuur 34; Duinafslagprofiel.

Na het stuk vooroever waar de aanzanding komt van het afslagprofiel, gaat het talud door een helling van 1:12,5 tot de zeebodem, zoals in het technisch rapport duinafslag (TRDA) staat beschreven (Van de Graaff e.a., 2007). De diepte van de zeebodem verschilt erg bij duin Noord, hiermee is rekening gehouden door een ondergrond te downloaden (NOAA, 2020). Daardoor is nauwkeurig het volume bepaald.

4.1.2.3 Het achterland

Het talud van het achterland van 1:12,5 wordt aangehouden vanaf een minimale waakhoogte op +4,5 [m NAP]. Deze hoogte wordt bepaald door de golfoploop van 1,0 [m] en er wordt rekening gehouden met een toeslag voor opwaaiing van 3,5 [m], zie de bijlage voor de berekeningen. De helling 1:12,5 is een ideale helling om toe te passen volgens het TRDA (Van de Graaff e.a., 2007). De helling heeft weinig erosie tot gevolg bij een kleine golfoploop (wat hier dus het geval is). Ook wordt dit talud in een tamelijk laat stadium van het afslagproces afgezet blijkt uit het TRDA.

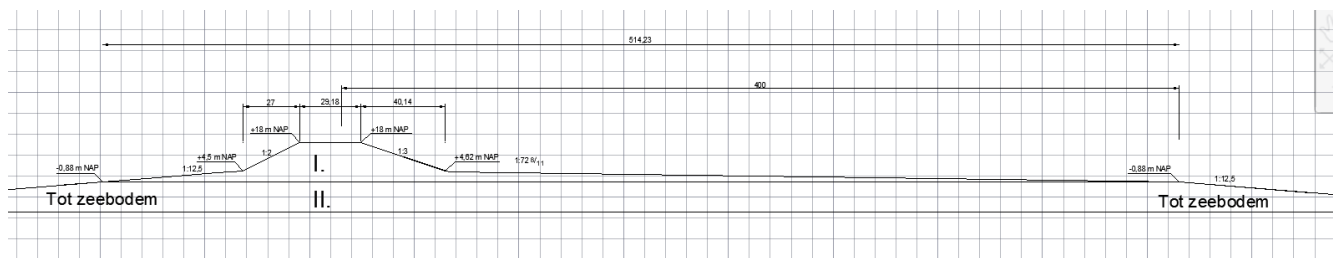
4.1.3 Volumebepaling

Het totale volume van het duin volledig met zand is 93.000.000 [m³]. Dit volume is opgebouwd uit het volume van duin Noord met erosie (61.160.280 [m³]), het volume van duin West met erosie (28.689.855 [m³]) en de zetting van de duinen (3.036.000 [m³]). In deze paragraaf is te lezen hoe dit berekend is.

4.1.3.1 Volume duin Noord

Het volume van het duin is berekend met AutoCad. Dit volume bestaat uit het deel van +18 [m NAP] tot en met -0,88 [m NAP] en het deel van -0,88 [m NAP] tot de verschillende zeebodem:

- I. Volume deel van +18 [m NAP] tot en met -0,88 [m NAP] = 15.807.000 [m³].
- II. Volume deel van -0,88 [m NAP] tot de zeebodem = 45.353.280 [m³].



Figuur 35; Deel I en II duin Noord (AutoDesk, 2018).

Het totaal volume duin Noord wordt berekend door deze twee delen bij elkaar op te tellen.

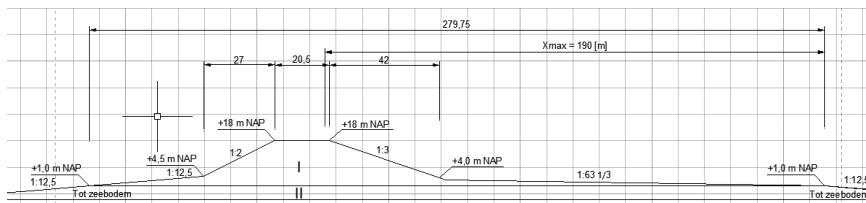
= 61.160.280 [m³].

De complete tekening van het duin is terug te vinden in bijlage 7: Ontwerp duin Noord.

4.1.3.2 Volume duin West

Het volume van dit duin is berekend met AutoCad. Dit volume bestaat uit het deel van +18 [m NAP] tot en met +1,0 [m NAP] en het deel van +1,0 [m NAP] tot de zeebodem.

- I. Volume deel van +18 [m NAP] tot en met +1,0 [m NAP] = 10.852.751 [m³].
- II. Volume deel van +1,0 [m NAP] tot de zeebodem = 17.837.104 [m³].



Figuur 36; Deel I en II duin West (AutoDesk, 2018).

Het totaal volume duin West wordt berekend door deze twee delen bij elkaar op te tellen = 28.689.855 [m³].

De complete tekening van het duin is terug te vinden in bijlage 8: Ontwerp duin West.

4.1.3.1 Zettingsvolume

Nu het ontwerp van de twee duinen klaar is, moet er nog met de zetting rekening gehouden worden. De zetting na 10.000 dagen wordt berekend met het programma D-Settlement (Deltares, 2020a). Dit is een programma van Deltares die zettingen berekent conform de vigerende norm. De zettingen voor duin Noord en West komen beiden uit op 1,0 [m] op de kruin. Dit zorgt dus voor een extra volume wat het duin moet opvangen. Dit volume komt neer op 1.706.294 [m³] voor duin Noord en voor duin West komt het volume neer op 1.329.540 [m³].

Volume totale zetting = 3.036.000 [m³].

4.1.4 Schatting kosten

Nu het totaal volume van het duin bekend is: 93.000.000 m³, kan er een kleine schatting worden gemaakt over de totale kosten van het duin. Bij Van Oord Nederland B.V. ligt de prijs ongeveer op € 3 per m³ verzet zand. Deze prijs is erg afhankelijk van welk materieel er wordt ingezet. Voor dit onderzoek biedt deze waarde een goede indicatie.

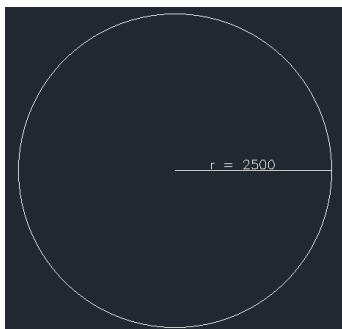
Totale kosten duin = 93.000.000 m³ * € 3 = € 279.000.000.

Voor de geadviseerde variant zal een uitgebreide kostenraming gemaakt worden.

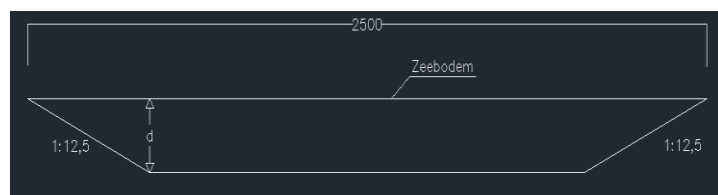
4.1.5 Gesloten grondbalans

Er moet sprake zijn van een gesloten grondbalans. Daarvoor moet al het zand van de duinen met een inhoud van 93.000.000 m³ afkomstig zijn uit het ontgraven energiemeer met een oppervlakte van 20.000.000 m². Er moet worden bepaald bij welke diepte van het meer de ontgraving gelijk is aan de inhoud van het duin.

De oppervlakte van het meer wordt als een cirkel gezien. Oppervlakte cirkel = $\pi * r^2$, wat betekent dat de straal ongeveer 2500 meter is. Nu kan er door middel van een dwarsdoorsnede bepaalt worden wat de diepte van het meer is.

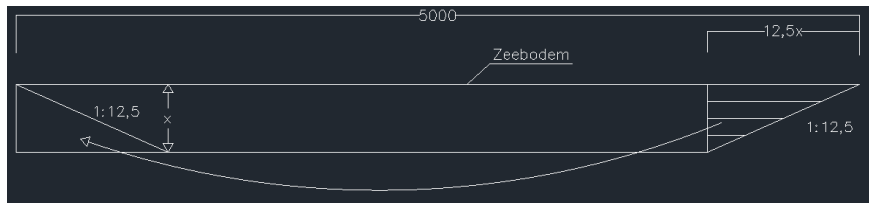


Figuur 37; Oppervlakte meer (bovenaanzicht).

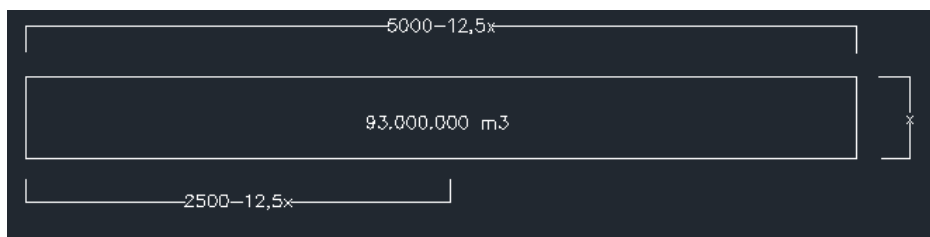


Figuur 38; Dwarsdoorsnede meer.

Door deze twee figuren te combineren ontstaat er een soort van cilinder, om een echte cilinder te krijgen haal je de hoek van een kant af en plak je hem aan de andere kant, zie afbeelding 39.



Figuur 39; Cilinder maken.



Figuur 40; Cilinder met $r=2500-12,5x$ en $d=x$.

De formule van de inhoud van een cilinder is $\pi * r^2 * d$.

$$\pi = 3,14\dots$$

$$r^2 = (2500-12,5x)^2$$

$$d = x$$

- $x = 4,98152 = 5,0$ meter. Deze diepte is nodig vanaf de zeebodem om een gesloten grondbalans te bereiken.

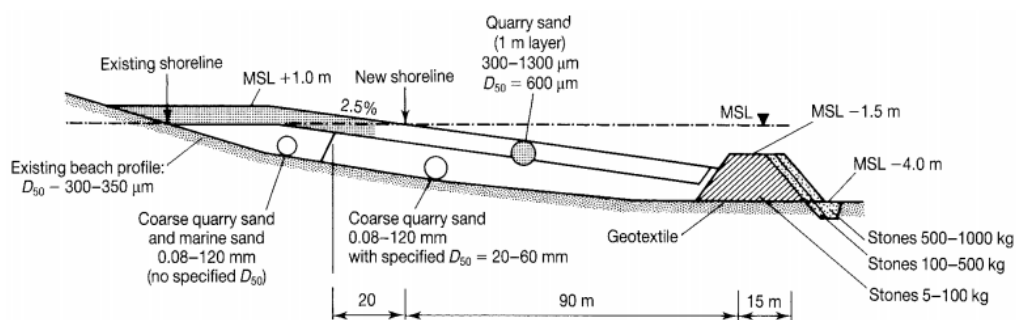
De gemiddelde waterdiepte in het meer ligt nu al op -7 meter NAP. Het meer wordt dus zeker tot -13 meter NAP diep. Er zijn plannen van Delta21 om in het meer aan de slag te gaan met energieopwekking. Hiervoor is een diepte gewenst tot -20 meter NAP (Lavooij&Berke, 2019). Daaruit blijkt dus dat er meer dan genoeg zand aanwezig is voor de realisatie van de duinen.

4.2 Variant 2: Hangend strand

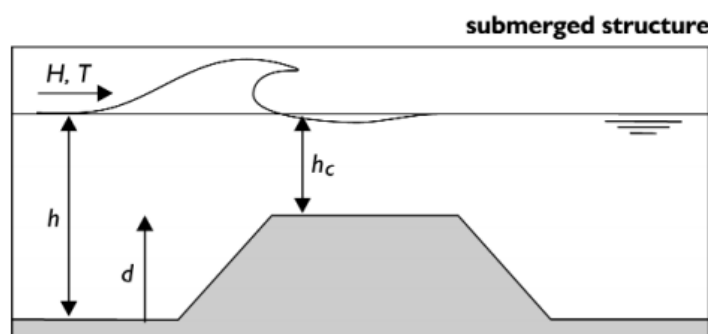
4.2.1 Stortsteenconstructie zeezijde

Om het hangend strand aan de zeezijde van het duin te kunnen realiseren zijn er dammen nodig. Eerst moeten deze dammen worden ontworpen en daarna kan het duin ontworpen worden aan de hand van de grootte van deze dammen. Om de toplaag en filterlagen van de dam te bepalen wordt er gebruik gemaakt van de Rock Manual (CIRIA, 2012). De Rock Manual is een Engelse handleiding die wordt gebruikt voor het gebruik van steen in de waterbouw.

Ten eerste wordt het soort dam van het hangend strand bepaald zodat de juiste formules gebruikt worden. In hoofdstuk 6, (H)6.3.1.7: Sill or submerged breakwater, staat beschreven dat voor een hangend strand niet een dam, maar een onderwater golfbreker moet worden gebruikt (zie figuur 40 en 41). Ook staat er bij dat de stabiliteit en het ontwerp van deze golfbreker sterk wordt beïnvloed door de gekozen kruinhoogte ten opzichte van het waterniveau. Vanuit het programma van eisen is er gegeven dat de kruinhoogte van de dam van Delta21 is bepaald op -2,0 meter NAP.



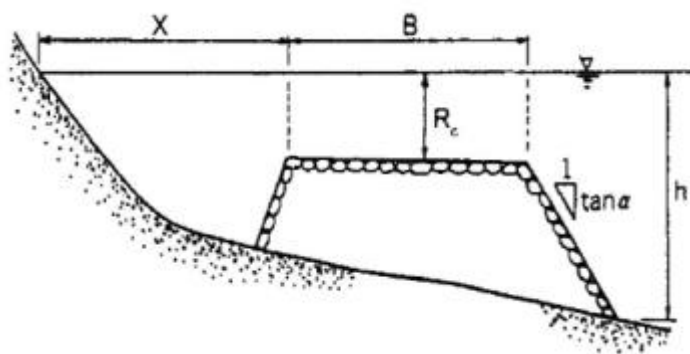
Figuur 41; Onderwater golfbreker ter realisatie van het hangend strand (CIRIA, 2012)



Figuur 42; Onderwater structuur van een golfbreker (CIRIA, 2012).

In hoofdstuk 5, H5.2.2.4: Low-crested and submerged structures, staat beschreven dat het kenmerk van een onderwater golfbreker is, dat de kruinhoogte onder het zeewaterniveau ligt. Dit is dus precies de dam die nodig is voor het project. Deze golfbreker heeft een aantal dimensies (zie afbeelding hieronder):

- R_c = het aantal meter dat de golfbreker onderwater zit [m];
- B = de breedte van de kruin [m];
- X = afstand tot waar je strand/duin op waterniveau zit [m];
- $\tan \alpha$ = de helling van je talud [graden];
- h = waterdiepte voor de golfbreker [m].



Figuur 43; Golfbreker met verschillende dimensies (CIRIA, 2012).

Om een onderwater golfbreker te ontwerpen, moet de steendiameter van de golfbreker bepaald worden om te voldoen aan de vereiste stabiliteit. De formule hiervoor staat onder het kopje “statically stable emergent and submerged structure” van hoofdstuk 5:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = A + B \frac{R_c}{D_{n50}} + C \left(\frac{R_c}{D_{n50}} \right)^2$$

Figuur 44; Formule onderwater golfbreker (CIRIA, 2012).

- H_s = de golfhoogte: 7,3 [m];
- Δ = relatieve dichtheid: 1,65 [-];
- D_{n50} = de benodigde steendiameter voor de toplaag van de golfbreker [m];
- R_c = het aantal meter dat de golfbreker onderwater zit bij een waterniveau van +4,62 [m NAP] en een kruinhoogte van -2 [m NAP]: 6,62 [m];
- A, B, C = vastgestelde parameters [-] (CIRIA, 2012);
 - o $A = 1,544$ [-];
 - o $B = -0,230$ [-];
 - o $C = 0,053$ [-].

Bij deze vastgestelde parameters (A,B,C) horen verschillende condities van de golfbreker:

Parameter	Symbol	Range
Front and rear slope angle	$\tan\alpha$	1:1.5
Relative buoyant density	Δ	1.65
Number of waves	N	2600 - 3000
Fictitious wave steepness	s_{op}	0.010 - 0.049
Non-dimensional freeboard	R_c/D_{n50}	-2.01 - 2.41
Non-dimensional crest width	B/D_{n50}	6.0
Non-dimensional structure height	d/D_{n50}	16 - 24
Stability number	$H_s/(\Delta D_{n50})$	1.1 - 3.7

Figuur 45; Het bereik van verschillende parameters golfbreker (CIRIA, 2012).

De oplossing van deze formule is $D_{n50} = 3,57$ [m] (zie bijlage 12).

Er is een vuistregel voor onderwater golfbrekers:

$$\text{Vuistregel: } D_{n50} \geq 0,3 \cdot d \quad (\text{CIRIA, 2012})$$

D_{n50} moet groter dan of gelijk zijn aan 0,3 keer de waterdiepte aan de voorkant van golfbreker anders blijven de stenen niet netjes liggen op de plaats waar ze zijn gestort. De waterdiepte verschilt op de projectlocatie van +4,62 [m NAP] stormvloedpeil tot een bodemdiepte van -17 [m NAP] aan de noordelijke kant van het duin tot en met -4 [m NAP] aan de westelijke kant van het duin. De D_{n50} is berekend bij een waterdiepte van -10 meter NAP.

$$d_{\max} = +4,62 \text{ [m] tot } -10 \text{ [m NAP]} = 14,62 \text{ [m]}$$

$$0,3 \cdot 14,62 = 4,39 \text{ [m]}$$

Nu moet gecontroleerd worden of de vuistregel klopt:

$$3,57 \text{ [m]} \geq 4,39 \text{ [m]}, \text{ dit klopt niet.}$$

Er wordt ook geconstateerd dat 3,57 meter voor D_{n50} een erg grote waarde is. Uit de figuur van de steensortering, figuur 46, kan de sortering van de steen worden afgelezen.

Standaardsteensortering voor $\rho_{steen} = 2650 \text{ kg/m}^3$.
(In de tabel staan de gemiddelde waarden)

Sortering	M_{50} in kg	D_{50} in m	D_{n50} in m	D_{15} in m	D_{85} in m
30/60 mm	0.31	0.06	0.05	0.04	0.07
40/100 mm	0.80	0.08	0.07	0.05	0.10
50/150 mm	2.15	0.12	0.09	0.08	0.15
80/200 mm	6.19	0.16	0.13	0.11	0.20
5-40 kg	19.50	0.24	0.19	0.18	0.31
10-60 kg	35.75	0.30	0.24	0.23	0.34
40-200 kg	115.0	0.44	0.35	0.34	0.51
60-300 kg	184.0	0.51	0.41	0.40	0.58
300-1000 kg	676.5	0.79	0.63	0.63	0.88
1-3 ton	1995	1.13	0.91	0.93	1.26
3-6 ton	500	1.48	1.19	1.29	1.58
6-10 ton	8000	1.79	1.45	1.60	1.88

Figuur 46; Steensortering.

Echter is deze steensortering zo groot dat hij niet eens in de tabel is opgenomen. De grootste steensortering 6-10 ton heeft namelijk een D_{n50} van maximaal 1,45 meter. Dat betekent dat er stenen groter dan 10 ton nodig zijn voor deze dam. Deze stenen worden niet gebruikt in de waterbouw, maar er wordt dan overgeschakeld op andere alternatieven, bijvoorbeeld stalen profielen. Dat betekent dat een stortsteenconstructie in dit ontwerp niet mogelijk is.

4.2.2 Alternatief zeezijde: Xbloc

Een dam met natuurlijk breuksteen als toplaag is dus geen oplossing voor de dam van het hangend strand aan de zeezijde van het duin. Er moet worden gekeken naar andere technische mogelijkheden, zoals het gebruik van een sterker materiaal. In de waterbouw wordt er tegenwoordig veel gewerkt met een soort betonnen blok met de vorm van een 'X', ook wel bekend als een Xbloc. Ook kan een Xbloc worden ondergedompeld (Delta Marine Consultants, 2001), waardoor een Xbloc kan fungeren als toplaag van de dam van het hangend strand.



Figuur 47; Xbloc (Delta Marine Consultants, 2001).

Op de website van Xbloc kan er bepaald worden d.m.v. een calculator welke Xbloc nodig is voor de situatie. Eerst is de situatie van de zeezijde bekeken. Hiervoor moeten bepaalde waarden worden ingevuld, zoals te zien in figuur 47. Deze geeft ook uitkomst voor een Xbloc Plus, maar daar wordt verder niet in verdiept in deze scriptie.

Input parameters

Section Type:

Armour Slope:

Concrete Density: kg/m³

Water Density: kg/m³

Design Hs 1 year: m

Design Hs 100 year: m

Seabed Slope: %

Toe Level: m

Crest Level: m

Seabed Level At Toe: m

Design High Water Level: m

Core Permeability:

Output parameters

Parameter	Xbloc	XblocPlus	
Theoretical volume	15.56	15.87	m ³
Standard volume	16	16	m ³
Unit mass	38.4	38.4	t
Unit height	3.63	2.09	m
Armour thickness	3.5	3.3	m
Concrete volume	1.46	1.33	m ³ /m ²
Rock grading under layer	3.0-6.0	1.0 - 3.0	t
Thickness under layer	2.4	1.8	m
Packing density	9.10	8.3	Xblocs/100m ²
Number of rows	4	4	

Figuur 48; Invoer en uitkomst calculator Xbloc (Delta Marine Consultants, 2001).

De uitkomst ligt er niet om, een Xbloc van 38,4 ton met een onderlaag van 3,0-6,0 ton. Dat zijn Xblocs met een relatief groot formaat. Om een schatting van de kosten te maken, moet er een inschatting van de hoeveelheid Xblocs worden gemaakt. Het totaal aantal Xblocs dat nodig is voor de buitenzijde aan de zeezijde is 4 per rij en de breedte is 3,63 meter. Dat betekent $4 * (15.000/3,63) = 16.500$ Xblocs van 38,4 ton.

4.2.3 Stortsteenconstructie meerzijde

Ten tweede wordt er ook een hangend strand toegepast aan de meerzijde van het duin. In hoofdstuk 4.2.1 wordt volgens de Rock Manual bepaald dat er voor een hangend strand een onderwater golfbreker nodig is (CIRIA, 2012).

Om een onderwater golfbreker te ontwerpen, moet de steendiameter (D_{n50}) van de golfbreker bepaald worden om te voldoen aan de vereiste stabiliteit. Deze wordt bepaald met de formule:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = A + B \frac{R_c}{D_{n50}} + C \left(\frac{R_c}{D_{n50}} \right)^2$$

Figuur 49; Formule onderwater golfbreker (CIRIA, 2012).

- H_s = de golfhoogte: 2,0 [m];
- Δ = relatieve dichtheid: 1,65 [-];
- D_{n50} = de benodigde steendiameter voor de toplaag van de golfbreker [m];
- R_c = het aantal meter dat de golfbreker onderwater zit bij een waterniveau van +4,5 [m NAP] en een kruinhoogte van -2 [m NAP]: 6,5 [m];
- A, B, C = vastgestelde parameters [-] (CIRIA, 2012);
 - o A = 1,544 [-];
 - o B = -0,230 [-];
 - o C = 0,053 [-].

De oplossing van deze formule is $D_{n50} = 0,80$ [m] (zie bijlage 13).

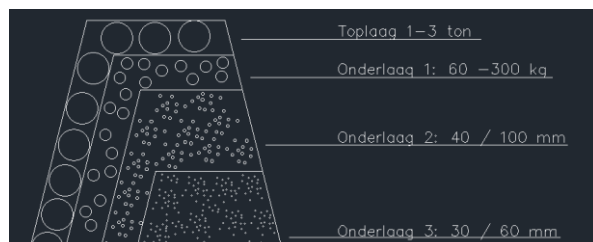
Standaardsteensortering voor $\rho_{\text{steen}} = 2650 \text{ kg/m}^3$ (In de tabel staan de gemiddelde waarden)					
Sortering	M_{50} in kg	D_{50} in m	D_{60} in m	D_{75} in m	D_{95} in m
30/60 mm	0.31	0.06	0.05	0.04	0.07
40/100 mm	0.80	0.08	0.07	0.05	0.10
50/150 mm	2.15	0.12	0.09	0.08	0.15
80/200 mm	6.19	0.16	0.13	0.11	0.20
5-40 kg	19.50	0.24	0.19	0.18	0.31
10-60 kg	35.75	0.30	0.24	0.23	0.34
40-200 kg	115.0	0.44	0.35	0.34	0.51
60-300 kg	184.0	0.51	0.41	0.40	0.58
300-1000 kg	676.5	0.79	0.63	0.63	0.88
1-3 ton	1995	1.13	0.91	0.93	1.26
3-6 ton	4500	1.48	1.19	1.29	1.58
6-10 ton	8000	1.79	1.45	1.60	1.88

Figuur 50; Steensortering.

De stortsteenconstructie heeft een toplaag van 1-3 ton. Met de filterregel van Terzaghi worden de onderlagen bepaald (CIRIA, 2012):

$$\frac{D_{15} \text{ filtermateriaal}}{D_{85} \text{ basismateriaal}} \leq 4,5$$

- Toplaag : 1 – 3 ton
- Onderlaag 1 : 60 – 300 kg
- Onderlaag 2 : 40 / 100 mm
- Onderlaag 3 : 30 / 60 mm



Figuur 51; Stortsteenconstructie.

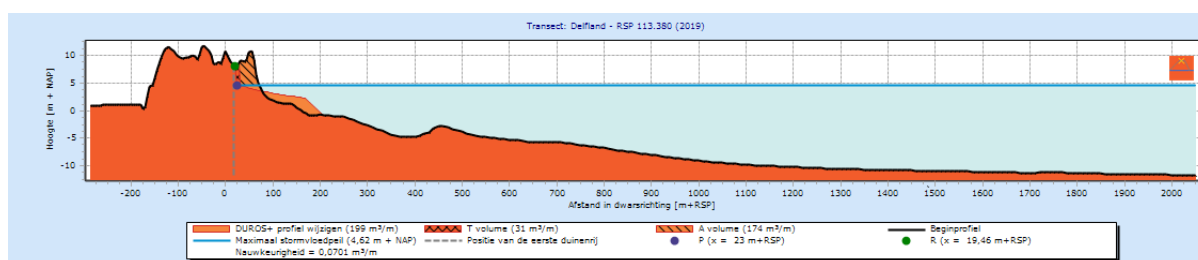
Zie bijlage 14 voor de gehele uitwerking.

4.2.4 Volume duin

Het totale volume van het duin is 24.750.000 m³, in de twee paragrafen hieronder wordt dit volume verklaard.

Besparing zand lagere duin

Door de onderwaterdam worden de golven eerder gebroken. De maximale golf die op het duin slaat is daardoor veel kleiner en dat betekent dat het duin kleiner kan zijn ten opzichte van variant 1. De maximale golf die op het duin slaat is de helft van de waterdiepte (CIRIA, 2012). Bij een stormvloed van +4,62 meter NAP en een kruinhoogte van -2 meter NAP is de maximale waterdiepte 6,62 meter. Hieruit wordt geconcludeerd dat de maximale golfhoogte 3,31 meter is. Hiermee is opnieuw een MorphAn som gedraaid. En daar blijkt dat er een duinafslagprofiel is van 205 m³/m bij dijktraject Delfland in plaats van 482 m³/m.



Figuur 52; MorphAn hangend strand.

Dit is een factor 2,4 minder dan zonder de onderwaterdam. Vandaar wordt er uitgegaan van een volume duin die 2,4 keer zo klein is als bij een duin zonder hangend strand.

Dat komt neer op een volume van $93.000.000 \text{ m}^3 / 2,4 = 38.750.000 \text{ m}^3$ zand.

Besparing zand buitenzijde

Het hele idee van een hangend strand is dat er minder zand hoeft worden te gebruikt voor het duin door middel van de dammen die worden geplaatst. Daarom wordt het volume dat de dam uitspaart bepaald. Er is bekend dat de kruinhoogte van de dam op -2,0 meter NAP ligt. Dat betekent dat al het zand aan de buitenkant van de dammen, in dit geval dus de kant van de Noordzee en de kant van het energiemeer, niet meer nodig is voor de dam. Dit volume is in AutoCad berekend en komt neer op 14.000.000 m³. Het totaal volume kan bepaald worden door dit volume nog van het lagere duin volume af te halen.

4.2.5 Schatting kosten

De totale kosten zijn de kosten van het duin plus de kosten van de dam. Dit komt uit op een totale prijs van € 365.250.000. De schattingen zijn gemaakt met behulp van informatie intern uit Van Oord Nederland B.V.

Kosten duin

Nu het totaal volume van het duin bekend is: 24.750.000 m³, kan er een kleine schatting worden gemaakt over de totale kosten van het duin. Net als bij de schatting van het gewone duin wordt er een prijs aangehouden van € 3 per m³.

Totale kosten duin = 24.750.000 m³ * € 3 = € 74.250.000.

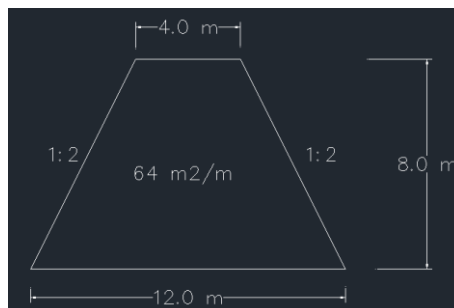
Kosten dam

Het maken van de Xblocs hangt van veel factoren af. Denk aan de bereikbaarheid van de locatie maar ook de beschikbaarheid van materialen en uiteraard ook de hoeveelheid die er nodig is.

Voor een Xbloc van 38,4 ton kost het ongeveer € 400 per m³ om het te maken en € 400 per m³ om het profiel te plaatsen. Voor het maken van de totale stortsteenconstructie wordt er geschat dat deze in totaal € 200 per meter kost. Deze prijzen zijn geschat door een specialist bij Van Oord.

- Zeezijde: de totale kosten Xbloc van 38,4 ton = kosten * aantal m³ per blok * aantal blokken = (400 + 400) * 16 * 16.500 = € 211.200.000.
- Meerzijde: de totale kosten stortsteenconstructie = kosten per meter * aantal meter = 200 * 15.000 = € 3.000.000.

Deze Xblocs liggen op een onderlaag, daarvoor moeten de kosten ook ingeschat worden. Het volume van deze onderlaag wordt geschat op 64 m³.



Figuur 53; Volume onderlaag.

De kosten per m³ onderlaag voor de Xbloc 38,4 ton wordt geschat op € 40 voor maken en € 40 voor plaatsen.

- Zeezijde: kosten onderlaag Xbloc 38,4 ton = kosten * onderlaag m²/m * lengte dam = (40 + 40) * 64 * 15.000 = € 76.800.000.

Totale kosten dam = € 291.000.000.

4.2.6 Locaties met een hangend strand

Het is dus helemaal niet realistisch een hangend strand toe te passen, omdat de kosten zo hoog zijn en de maat van de Xbloc dusdanig groot is. Maar als het hier niet kan, waarom kan het dan wel op andere plekken toegepast worden. Om deze vraag te beantwoorden moet er worden gekeken naar andere locaties met een hangend strand:

- Bugibba Beach, Malta.

Aan de Noordzijde van Malta in de Middellandse Zee ligt Bugibba Beach. Er is een hangend strand toegepast. Hier kunnen grote golfhoogtes ontstaan en de waterdiepte van de zee is gelijk aan die van het project van Delta21 aan de Noordzee.



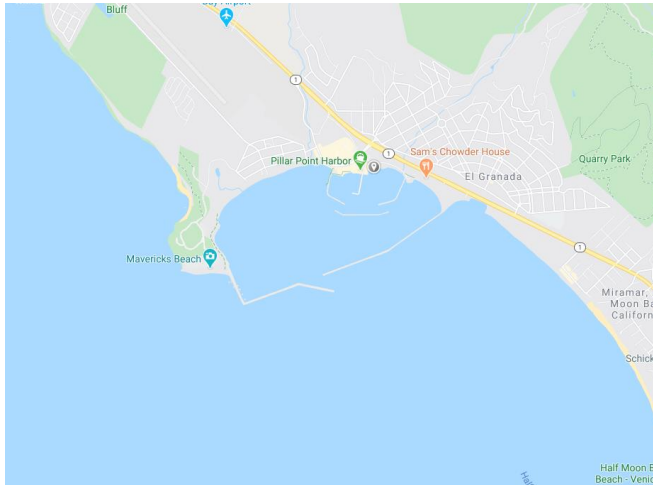
Figuur 54; Locatie Bugibba Beach (Maps, 2020).

Bugibba Beach is een erg vergelijkbare locatie. Maar er is hier nog iets anders van belang, want achter het breuksteen wordt gebruik gemaakt van een betonnen rand oftewel een harde zeewering (zie afbeelding). Er wordt dus helemaal niet gebruik gemaakt van een onderwater golfbreker van breuksteen. Maar het doel is alleen om een lekker strandje te creëren voor de strandgasten en het heeft helemaal niets te maken met kustverdediging.



Figuur 55; Hangend strand of harde zeewering? (The Palace, 2020).

- Pillar Point Haven, El Granada, Californië, Verenigde Staten.
In Californië ligt, net ten Zuidelijk van San Francisco, de Pillar Point haven van El Granada. Er is een hangend strand toegepast in deze haven. Deze haven ligt aan de Stille Oceaan en daarom is de locatie vergelijkbaar aan die van Delta21, gekeken naar golfhoogtes en waterdieptes.



Figuur 56; Pillar Point Harbour (Maps, 2020)

Hier is weer iets aan de hand wat in eerste instantie niet duidelijk is: het hangende strand ligt achter twee golfbrekers. De dammen van het hangende strand fungeren daarom niet als echte golfbrekers, maar als dammen waardoor het zand van het strand niet wegspoelt. Ook in deze situatie heeft het hangend strand niets te maken met kustverdediging.

- Verder zijn er veel projecten met een hangend strand bij meren. Bijvoorbeeld het meer van Winnepesaukee bij New-Hampshire. Echter zijn dit geen vergelijkbare locaties, want op dit meer komen geen vergelijkbare stormen voor als op de zee. Dat betekent veel lagere golfhoogtes en golfperiodes. Bij deze meren wordt het hangend strand gebruikt voor de aanleg van een klein strandje en heeft het ook weer niets te maken met kustverdediging.

5. Multi Criteria Analyse

5.1 Criteria

Voor de analyse zijn er 4 criteria gekozen: kosten, ecologie, duurzaamheid en complexiteit van het project. Er wordt naar de kosten gekeken, omdat er moet worden gekeken naar de financiële haalbaarheid van het project. Ecologie en duurzaamheid zijn belangrijke criteria voor de haalbaarheid van een toekomstige zandige kustverdediging. En de complexiteit van het project is belangrijk voor de waterbouwkundige haalbaarheid. Hieronder is per criteria een toelichting te lezen.

- **Kosten:**

Aan de bouw van het duin zijn kosten verbonden. Deze kosten worden verdeeld in twee categorieën:

 - De uitvoeringskosten:

Dit zijn de kosten van alle werkzaamheden voor de uitvoering van een volledige duin. Hierbij gaat het om het winnen van het zand, tot het opspuiten van het duin. Ook zitten hierin de kosten van de aanleg van de dam van het hangend strand.
 - De onderhoudskosten:

Een duin moet onderhouden worden omdat door wind en water zand afslaat. Er moet door deze vormen van erosie, na verloop van tijd extra zand worden aangebracht. Het duin moet immers altijd voldoen aan de vigerende eisen, zodat het de maatgevende storm kan weerstaan.

- **Ecologie:**

De ecologie zal reageren op de bouw van de twee verschillende duinen. De samenhang van planten, dieren en hun natuurlijke omgeving verandert tijdens de uitvoering. Er wordt hier gekeken naar de flora en fauna die er zich bevinden. Er wordt gekeken naar het totale oppervlak wat verstoord wordt. Maar er wordt ook gekeken naar kansen die het nieuwe gebied met zich meebrengen.

- **Duurzaamheid:**

De duinenrij brengt allerlei positieve en negatieve effecten met zich mee op het gebied van duurzaamheid. Duurzaamheid is een groot begrip, daarom is er uitgegaan van de volgende factoren:

 - klimaatverandering;
 - emissies.

- **Complexiteit van het project:**

Er moet worden gekeken of het Delta21 project haalbaar is. Dit betekent dat alle aspecten moeten worden bekeken in het traject van aanbesteden tot realisatie. En of het project door alle betrokken partijen wordt geaccepteerd.

5.2 Probleemanalyse

In de probleemanalyse worden de schalen van de criteria vastgesteld, de scores per criterium beschreven en uiteindelijk wordt het geheel in een effectentabel geplaatst.

5.2.1 Kosten

De kosten zijn verdeeld in twee categorieën: de uitvoeringskosten en de onderhoudskosten. De eenheid van dit criterium is euro. De scores zijn daarom beschreven in de totale kosten per variant.

De uitvoeringskosten zijn voor beide varianten geschat in hoofdstuk 4:

Tabel 13; Kosten varianten.

	Duin	Hangend strand
Uitvoeringskosten	€ 279.000.000	€ 365.250.000

Er wordt geconcludeerd dat het project Delta21 in de relatief duurdere projecten van Nederland behoort. Variant 1: het duin is relatief stukken goedkoper ten opzichte van het hangend strand. Het hangend strand is bijna twee keer zo duur. Uit deze kosten blijkt al dat de andere criteria van de analyse veel voordeel moeten opleveren voor het hangend strand, wil Rijkswaterstaat voor dit project zo'n 150 miljoen euro meer uitgeven.

Ten tweede valt onder het criterium kosten: de onderhoudskosten. Voor de onderhoudskosten wordt er gekeken naar de kosten die gemaakt worden als onderhoud aan de zeezijde van het duin. Te plegen onderhoud komt dan neer op een "normale" zandsuppletie, die overal langs de Nederlandse kust plaatsvinden. Hiervoor wordt meestal een zandwinlocatie op de Noordzee gezocht op een afstand van 10–15 km van de suppletielocatie. Omdat je dit vroegtijdig ziet aankomen, er zal immers altijd op een gegeven moment onderhoud moeten gebeuren, kan je voor het project voor een lange periode zo'n wingebied aanvragen. Het onderhoud kan dan eenvoudig ingepland worden.



Figuur 57; Onderhoud aan een palmeiland in Dubai (VanOord, 2019).

Om het volume te bepalen wordt er gerekend met het feit dat het duinafslagprofiel is afgeslagen. Deze moet dus opnieuw worden aangebracht op het duin. Er wordt weer geschat met kosten van € 3 per m³.

Het duinafslagprofiel voor het duin:

- Duin Noord = afslagprofiel * lengte duin * kosten = 482 m³/m * 6600 m * € 3 = € 9.500.000.
- Duin West = afslagprofiel * lengte duin * kosten = 413 m³/m * 8400 m * € 3 = € 10.500.000.
- Dat komt neer op totale onderhoudskosten van € 20.000.000.

Het duinafslagprofiel voor het duin met hangend strand wordt op de helft geschat. Omdat er eerder al geschat is dat het volume van het duin met hangend strand twee keer zo klein is door een kleinere golfhoogte. Daarom worden de totale onderhoudskosten geschat op € 10.000.000.

Echter zullen deze onderhoudskosten niet jaarlijks terugkeren, want de storm is gebaseerd op normfrequenties van 1/10.000 en 1/4.000. Beide duinen moeten allebei onderhouden worden. Het hangend strand in een iets kleinere mate door een kleiner volume van het duin, maar toch sluit de onderwaterdam het onderhoud aan het duin niet uit. Vandaar kan er geconcludeerd worden dat deze kostenpost niet voldoende invloed heeft op het criterium kosten. Daarom wordt deze als verwaarloosbaar beschouwd en niet in de kosten meegenomen.

5.2.2 Ecologie

Bij het criterium ecologie wordt eerst bepaald wat voor flora en fauna zich bevinden in het project van Delta21 en welke daadwerkelijk last hebben van het project. Daarna wordt er bepaald hoe groot de gebieden zijn die door de bouw verstoord worden en de mate van verstoring. De schaal van dit criterium wordt bepaald door een 1 - 5 toe te kennen, zie onderstaande tabel.

Tabel 14; Scores ecologie.

5	Verbetering van de ecologie
4	Geen verstoring van de ecologie
3	Neutraal
2	Verstoring van de ecologie
1	Ernstige verstoring van de ecologie

Het project ligt midden in een Natura2000 gebied: Voordelta (Rijkswaterstaat, 2019c). Dit is een gebied waar flora en fauna worden beschermd. Door het realiseren van Delta21 wordt er een groot stuk van de Voordelta weggenomen. Een groot gedeelte zeebodem waar meer dan 100 soorten dieren een deel van hun leven doorbrengen. Larven van wormen nestelen hier, vissen maken gebruik van de bodem en ook bijvoorbeeld kreeftachtigen. Daarnaast is de kustzone van de Voordelta een belangrijke kraamkamer voor vissen, omdat het voedselrijkdom erg hoog is. De samenstelling van de bodem met verschillende vegetatie is erg goed in de Voordelta (Rijkswaterstaat, 2019b). Ook zwemmen er lage aantallen grote vissen in de kustzone, dus er wordt weinig gejaagd op jonge vissen.

Er zijn veel soorten vissen te vinden, bijvoorbeeld bot, tong, schol, kabeljauw en haring. Ook is het gebied erg vogelrijk en zwemmen er zeehonden.



Figuur 58; Zeehonden rusten wat uit in de Voordelta (Zeezoogdieren.org, 2019).

Voor het project van Delta wordt er voor beide varianten een energiemer gecreëerd met een vaste oppervlakte van 20 km². Het extra ruimtebeslag van het duin zal niet extra bijdragen aan deze al grote oppervlakte. Dus er wordt verwacht dat als er alleen gekeken wordt naar het totaal oppervlak van het hele project, dat er in beide situaties evenveel verstoord wordt in flora en fauna.

Ook wordt er bij de bouw van de twee varianten evenveel gebruik gemaakt van zwaar materieel. Deze zorgen voor evenveel geluidshinder en verstoring van het gebied. De trillingen op de bodem tijdens de plaatsing van de onderwaterdam zullen meer impact hebben, dan wanneer er alleen zand wordt opgespoten. In dit geval zal de bodem meer verstoord worden bij het hangend strand.

Het duin kan gaan fungeren als een rustgebied voor vogels en zeehonden. Beide duinen zullen makkelijk te betreden zijn vanuit het water. Het gewone duin heeft een flauwe helling van zand waarop zeehonden makkelijk kunnen aanspoelen. Net als het hangend strand waar dit ook het geval is. Echter is het gewone duin een stuk groter en heeft daarom het potentieel om een grotere broeden rustplaats voor vogels te worden. Maar het hangend strand heeft een onderwaterdam die erg in trek is bij allerlei vissen om zich te nestelen. Dus als rustgebied scoren de twee varianten ook hetzelfde.

Het komt er op neer dat een groot gebied van de Voordelta gaat veranderen. De ecologie wordt daarom verstoord, maar er zijn wel weer kansen waardoor een ernstige verstoring voorkomen wordt. Het verschil in oppervlaktebeslag en de komst van een nieuwe habitat in de onderwaterdam zorgt ervoor dat een hangend strand hier beter scoort.

Score:

- Duin = 3

- Hangend strand = 4

5.2.3 Duurzaamheid

Bij het criterium duurzaamheid worden er twee factoren beschouwd: de klimaatverandering en de emissies die uitgestoten worden tijdens het project. De schaal van dit criterium wordt bepaald door een waarde 1 - 5 toe te kennen, zie onderstaande tabel.

Tabel 15; Scores duurzaamheid.

5	Erg duurzaam
4	Voldoende duurzaam
3	Neutraal
2	Te weinig duurzaam
1	Niet duurzaam

Delta21 is een project dat klimaatveranderingen wil tegen gaan met verschillende oplossingen. Voor de opwekking van energie wordt er gebruik gemaakt van waterkracht, zonne-energie en windenergie (Lavooij&Berke, 2019). Er wordt flink geïnvesteerd in schone energie en er wordt ingezet op een efficiënt energieverbruik. Als er gekeken wordt naar wat het totaal plaatje van Delta21 aanbiedt tegen klimaatverandering is dat voor beide varianten hetzelfde. Het duin biedt namelijk niet extra opties tegen klimaatverandering. In dit opzicht is Delta21 een vooruitstrevend plan met goede ideeën voor een duurzame aanpak.



Figuur 59; Wind- en zonne-energie (Maps, 2020).

Emissie is de term die wordt gebruikt voor de uitstoot van broeikasgassen, fijnstof en andere schadelijke stoffen. Het is noodzakelijk dit zo laag mogelijk te houden, zodat het bijdraagt aan de duurzaamheid van het project. Er zal voor dit project veel uitgestoten worden door zwaar materieel. Voor beide varianten wordt dit zware materieel aangebracht, dus de uitstoot van dit materieel ligt dicht bij elkaar voor beide varianten. Ook als er wordt gekeken naar onderhoud. Er wordt bij de variant van het hangend strand nog meer uitgestoten. Dat komt door het maken en transporteren van de Xbloc-elementen. Er moeten namelijk in totaal bijna 80.000 elementen worden gemaakt en worden getransporteerd naar de precieze plek van storting. Het hangend strand stoot daarom meer uit dan het gewone duin.

Het komt er op neer dat Delta21 veel goed doet wat betreft duurzaamheid, maar voor de realisatie moet er veel uitgestoten worden.

Score:

- Duin = 4

- Hangend strand = 3

5.2.4 Complexiteit van het project

Bij het criterium complexiteit wordt er gekeken of het hele project van Delta21 technisch gezien haalbaar is. De schaal van dit criterium wordt bepaald door een waarde 1 - 5 toe te kennen, zie onderstaande tabel.

Tabel 16; Scores eenvoudigheid.

5	Erg eenvoudig
4	Voldoende eenvoudig
3	Neutraal
2	Complex
1	Erg complex

Delta21 is een vooruitstrevend idee voor de waterveiligheid van Nederland. Het is integendeel wel een complex idee en dat heeft niet zo zeer te maken met de uitvoering van het project van de duinen. Als men kijkt naar de te verrichten werkzaamheden voor de aanbesteding, werkvoorbereiding, uitvoering en oplevering, dan is het project uit te voeren. Bijvoorbeeld Van Oord Nederland B.V. en de grotere Nederlandse waterbouwbedrijven hebben voor dit project genoeg kennis en materieel in huis. Het kan voorkomen dat Van Oord Nederland B.V. specifieke kennis en materieel niet zelf in huis heeft, maar dan wordt er een onderaannemer ingehuurd.

Maar er worden veel onzekerheden verwacht door het werken op zee/aan de kust, doordat er op zee hoge golven kunnen ontstaan. Het werk kan daardoor stilgelegd moeten worden. Een zandige duin opspuiten is dat opzicht redelijk makkelijk, als het wordt vergeleken met de onderwaterdammen aanbrengen vanaf een ponton of iets dergelijks. Daar zit dus veel meer risico aan.



Figuur 60; "Nederland zit gebakken met kennis en materieel" (VanOord, 2019).

Het complexe zit in het tevreden houden van alle betrokken partijen die met de bouw van dit project in aanraking komen. Het is niet dat deze doelgroepen tegen waterveiligheid zijn, maar er staan veel belangen op het spel. Zoals eerder gezegd ligt het in Natura2000 gebied, dus er zijn genoeg dierenvrienden die dit project liever niet zien komen. Het project verslechtert de doorvaart naar Stellendam, daardoor zijn vissers langer bezig voordat ze op zee zitten. En of Rijkswaterstaat dit project wel ziet zitten qua kosten is ook maar de vraag.

Als er dus wordt gekeken naar de bouw van het project dan is dit redelijk eenvoudig te noemen. Met alle kunde die de Nederlandse waterbouwbedrijven in huis hebben, moet dat goed komen. Alleen is de uitvoeringsmethode van een duin veel makkelijker te noemen dan die van een hangend strand. Hoe het project in de markt ligt is redelijk complex door de vele betrokken partijen.

Score:

- Duin = 5

- Hangend strand = 3

5.2.5 Effectentabel

Hieronder is de effectentabel weergegeven. In de effectentabel staan alle scores van de 4 criteria.

Tabel 17; Effectentabel.

Criteria	Eenheid	Duin	Hangend strand
Kosten	€	279.000.000	365.250.000
Ecologie	1-5	3	4
Duurzaamheid	1-5	4	3
Complexiteit	1-5	5	3

5.3 Standaardisatie

Voor nu is het zaak om alle criteria een gelijke waardeverdeling te geven. Omdat bij drie van de vier criteria de waarde 1-5 is toegepast, zullen de kosten ook in eenzelfde 1-5 score vertaald worden.

Tabel 18; Score kosten.

5	100 miljoen euro
4	200 miljoen euro
3	300 miljoen euro
2	400 miljoen euro
1	500 miljoen euro of meer

Omdat de totale kosten niet precies voldoen aan tabel 18, wordt er geïnterpoleerd voor de beide kosten.

Het duin valt tussen score 3 en 4 met 279 miljoen euro. Door middel van interpoleren komt er een score van 3,2 uit.

Het hangend strand valt tussen score 2 en 3 met 365,25 miljoen euro. Door middel van interpoleren komt er een score van 2,3 uit.

Met deze standaardisatie kan de effectentabel bijgewerkt worden:

Tabel 19; Effectentabel na aanpassing score kosten.

Criteria	Eenheid	Duin	Hangend strand
Kosten	1-5	3,2	2,3
Ecologie	1-5	3	4
Duurzaamheid	1-5	4	3
Complexiteit	1-5	5	3

5.4 Weging

Er wordt een weging toegepast, omdat sommige criteria meer bepalend zijn voor de keus van het duin. De weging is mede bepaald door een expert van Van Oord Nederland B.V.. De kosten dienen zo laag mogelijk te zijn. Dit heeft alles te maken met de haalbaarheid van dit project. Daarom heeft dit criteria de overhand. De totale weging moet samen 100% zijn. De kosten krijgen 50% en de overige zaken ook 50%. De criteria duurzaamheid en ecologie zijn actuele thema's welke belangrijk zijn om draagvlak bij de omgeving te creëren. Vandaar dat deze beide 20% krijgen en de complexiteit maar 10%.

Tabel 20; Wegingen per criteria.

Criteria	Weging
Kosten	50%
Ecologie	20%
Duurzaamheid	20%
Complexiteit	10%

5.5 Resultaat

Met de wegingen en de scores kunnen de eindscores van de Multicriteria-analyse gemaakt worden, deze zijn te zien in tabel 21.

Tabel 21; Multicriteria-analyse.

Criterium	Weging	Duin	Hangend strand
Kosten	50%	$0,5 * 3,2 = 1,6$	$0,5 * 2,3 = 1,2$
Ecologie	20%	$0,2 * 3 = 0,6$	$0,2 * 4 = 0,8$
Duurzaamheid	20%	$0,2 * 4 = 0,8$	$0,2 * 3 = 0,6$
Complexiteit	10%	$0,1 * 5 = 0,5$	$0,1 * 3 = 0,3$
Totaal		3,5 uit 5	2,9 uit 5

De eindscores van de MCA geven aan dat er geadviseerd wordt voor de aanleg van een duin voor het project van Delta21. In het geval van een hangend strand zijn de kosten zeer hoog, deze kosten vloeien voort uit de aanleg van een acceptabele onderwaterdam. Ook al zijn er later minder onderhoudskosten nodig voor het hangend strand, weegt dit niet op tegen de totale aanlegkosten van het project. De criteria ecologie scoort bij het hangend strand beter door het lagere verbruik van zeeoppervlak en de nieuwe habitat in vorm van een dam. De complexiteit van het project is bij het opspuiten van een duin erg simpel, daarentegen is het maken en de aanleg van de Xbloccs van dit grote formaat complexer. Bij duurzaamheid is vooral gekeken naar de emissies. Hieruit blijkt dat er meer moet worden uitgestoten voor de bouw van een hangend strand, maar de bouw van het hele project verbeterd de duurzaamheid in de loop van de jaren.

6. Kostenraming

Om een beter inzicht te krijgen van de kosten van de gekozen variant, het duin volledig van zand, is er een kostenraming gemaakt. Hiervoor is het noodzakelijk om een uitvoeringsmethode te kiezen, daarna de productie van het materieel te bepalen en ten slotte een meer gedetailleerde kostenraming te maken.

6.1 Uitvoeringsmethode

Om het duin volledig van zand te realiseren moet er zand worden gezogen van de zeebodem, dit zand moet daarna getransporteerd worden en op de juiste plekken opgespoten worden. Hiervoor is allerlei materieel nodig.

Ten eerst is er een cutterzuiger nodig. Dit zelfvarende schip snijdt (cut) met behulp van een roterende snijkop zand van de zeebodem los en zuigt dit zand vervolgens op. De cutterzuiger wordt ondersteund door een multicat. Ondersteuning in de vorm van het verzetten van de ankers van een cutterzuiger en de cat voorziet de cutterzuiger van brandstof. Met behulp van drijvende leidingen wordt het opgezogen zand getransporteerd naar de sproeiponton. De sproeiponton loost het zand zo nauwkeurig mogelijk op de juiste plaats onder water. Nadat het zand reikt tot het wateroppervlak en het duin zichtbaar is, kan er gebruik gemaakt worden van landleidingen en grondverzetmachines om het duin verder af te werken. Buiten al het materieel wat direct bijdraagt aan de uitvoering van het duin is er nog één schip nodig: de crewboot. Deze boot brengt alle werkers naar hun werkplek en ook weer aan wal.



Figuur 61: Cutterzuiger met drijvende leiding (VanOord, 2019).

6.2 Kostenraming

De totale kosten van de uitvoering van het project van 93.000.000 m³ is **€ 232.500.000**. Dat komt neer op € 2,50 per kub zand. Dit is dus minder dan de vooraf geschatte € 3,00 per kub zand. De hele uitwerking van de kostenraming is gemaakt met een interne kostentool van Van Oord Nederland B.V. en kan vanwege concurrentiegevoeligheid niet verstrekt worden als bijlage. Hieronder wordt wel verteld wat het plan van aanpak is geweest voor het maken van deze kostenraming.

Ten eerste wordt er gekeken naar de productiviteit van een cutterzuiger (CSD), hier de Athena. Dit is namelijk het materieel welke continu moet produceren, anders ligt het werk stil. Deze productie wordt bepaald door de bepaalde indicatie van de productie van de Athena en er wordt gekeken naar het aantal uur dat de Athena operationeel is in de week. Hieruit blijkt dat de CSD 500.000 m³ zand per week kan produceren. Met deze productie en het totale volume van het duin (93.000.000 m³) wordt berekend dat deze CSD totaal 186 weken nodig heeft voor de bouw van de hele duin. Dit is ruim 3,5 jaar.



Figuur 62; Cutterzuiger (CSD) Athena (Van Oord, 2019).

Met dit gegeven kan er worden bepaald hoeveel het kost per materieel. De kostenraming bestaat uit de directe kosten voor het benodigde materieel, exclusief de mobilisatie, eenmalige kosten, opslagen voor de algemene kosten, winst en risico (AKWR). De kosten per materieel zijn opgebouwd uit: de materieelkosten, brandstofkosten en arbeidskosten.

Deze 186 weken zijn de cutterzuiger, multicat, crew/surveyboot, persleidingen en sproeioponten steeds bezig. Alleen de stortploeg heeft minder lang nodig. De stortploeg verwerkt namelijk het zand bovenwater. En er wordt 60 weken bovenwater gewerkt van de 186 weken.

Als laatste gegeven van de kostenraming moet bepaald worden hoeveel meter aan persleiding er nodig is. De lengte van de drijvende leiding is bepaald door de afstand van het midden van het meer tot en met de buitenkant van het duin. Deze afstand komt neer op 1500 meter. De benodigde lengte van de land- en stortleiding is de totale breedte van de breedste duin, duin Noord, 515 meter.

Conclusies

In dit onderzoek is gezocht naar een antwoord op de vraag: 'In hoeverre is een zandige kustverdediging toepasbaar, ter bescherming van het energie-opslagmeer van Delta21?' Hiervoor is onderzoek gedaan naar twee soorten varianten van een zandige kustverdediging: een duin en een hangend strand. Om tot het antwoord van de hoofdvraag te komen, is het eerst van belang dat de deelvragen beantwoord worden.

Ten eerste is er antwoord gezocht op deelvraag 1: 'Wat kan er worden gedaan om de waterveiligheid te bevorderen?' Om de waterveiligheid te bevorderen zijn er vier oplossingen. De eerste oplossing is het bouwen van waterkeringen. Waterkeringen houden namelijk water tegen en zorgen zo dat grote gebieden in Nederland beschermt zijn tegen water. De tweede oplossing is het verbeteren van dijken. Er zijn allerlei invloeden die een dijk ondervindt, zoals het stijgende water en droogte, om dit tegen te gaan wordt een dijk verbeterd. De derde oplossing is het tegengaan van CO₂-uitstoot. Klimaatverandering ontstaat mede door te veel CO₂-uitstoot, dit heeft een stijgende zeespiegel tot gevolg. De laatste oplossing is het ontwerpen van innovatieve plannen voor de toekomst. Dit zijn multidisciplinaire projecten, die waterveiligheid aanpakken en tegelijkertijd kijken naar andere disciplines zoals natuurherstel en energieopwekking.

Ten tweede is er antwoord gezocht op deelvraag 2: 'Wat houdt het project van Delta21 in?' Delta21 is een energieopwek- en energieopslaglocatie die Nederland beschermt tegen wateroverlast. Energieopwekking gebeurt met grote waterpompen en in het energiemeer kan energie worden opgeslagen. Nederland wordt beschermd tegen wateroverlast door een zandige kustverdediging die wordt gerealiseerd door het energiemeer te creëren. Het systeem van Delta21 zorgt voor ontlasting van de binnenwateren in tijden van hoog water op de rivieren. Ook zorgt Delta21 voor natuurherstel in de regio. Het project pleit voor een milieuvriendelijke open verbinding tussen de Noordzee en het Haringvliet, waardoor het zoute getij terug keert in de rivier. Dit zorgt voor een verrijking van de biodiversiteit in de regio en het leven in het water neemt weer toe.

Vervolgens is er antwoord gezocht op deelvraag 3: 'Wat zijn de randvoorwaarden en uitgangspunten?' Om een goed overzicht van de randvoorwaarden en uitgangspunten te krijgen is er gebruik gemaakt van een Programma van Eisen. In dit programma staan de eisen, randvoorwaarden, uitgangspunten en aannames van het project. Het duin van Delta21 is 15 km lang, door twee verschillende maatgevende stormen wordt deze verdeeld in duin Noord 6,6 km en duin West 8,4 km. Hieronder zijn de dijktrajecten, hydraulische en geotechnische randvoorwaarden te zien.

Tabel 22; Dijktraject

Duin	Maatgevend dijktraject	Maatgevende metrerering	Normfrequentie
Duin Noord	Delfland 14-5	11.319	1/10.000
Duin West	Goeree 25-1	14.750	1/4.000

Tabel 23; Hydraulische randvoorwaarden

Duin	Maatgevende storm	Dijktraject	Metreering	Klimaatscenario	Hs [m]	Ts [s]	Stormvloedpeil [m NAP]
Duin Noord	Noordwester storm	Delfland 15-4	11.319	2100 W+	7,3	12,26	4,62
Duin West	Zuidwester storm	Goeree 25-1	14.750	2100 W+	3,99	12,85	4

Tabel 24; Geotechnische randvoorwaarden.

Duin	D50 [μm]
Duin Noord	120
Duin West	120

De uitgangspunten van het project zijn dat er een gesloten grondbalans gerealiseerd moet worden en dat de kruin van de dam van het hangend strand onderwater staat.

Nu kan deelvraag 4 beantwoordt worden: 'Wat is het ontwerp voor een zandige kustverdediging van Delta21?' Met het Programma van Eisen zijn twee varianten opgesteld. Variant 1: duin verdeeld in duin Noord en duin West. Duin Noord heeft een afslagprofiel van $569 \text{ m}^3/\text{m}$ en een totaal volume van $61.160.280 \text{ m}^3$. Duin West heeft een afslagprofiel van $483 \text{ m}^3/\text{m}$ en een totaal volume van $28.689.855 \text{ m}^3$. Dat komt neer op een totaal volume van $93.000.000 \text{ m}^3$ inclusief zetting van $3.036.000 \text{ m}^3$. Daardoor kan er sprake zijn van een gesloten grondbalans. De kosten worden geschat op € 279.000.000.

Voor variant 2 is er een onderwaterdam voor het hangend strand ontworpen met een toplaag van Xbloc en geen stortsteenconstructie. Voor de zeezijde zijn er 16.500 Xbloccs van 38,4 ton nodig en voor de meerzijde is er een stortsteenconstructie nodig. Door de plaatsing van de onderwaterdam is het nieuwe volume van het duin $24.750.000 \text{ m}^3$. De totale kosten van het hangend strand worden geschat op € 365.250.000. Door het toepassen van een Multicriteria-analyse, met de criteria: kosten, ecologie, duurzaamheid en complexiteit van het project, is uiteindelijk geadviseerd dat het ontwerp voor Delta21 is: het duin.

Vervolgens kan deelvraag 5 worden beantwoordt: 'Wat zijn de aanlegkosten van het ontwerp van Delta21?' De aanlegkosten van het duin zijn geraamd op € 232.500.000. Deze kosten zijn bepaald door eerst de uitvoeringsmethoden te kiezen. Daarna konden kosten worden opgesteld voor de verschillende posten. De uitvoering duurt 186 weken, ruim 3,5 jaar.

Tot slot blijkt dat een zandige kustverdediging toepasbaar is, ter bescherming van het energiemeer van Delta21. Uit het onderzoek blijkt dat zowel een duin als een hangend strand toegepast kunnen worden. Een duin kost een stuk minder ten opzichte van een hangend strand. Als er wordt gekeken naar ecologie en eenvoudigheid van het project dan scoren beide varianten even hoog. Het duin is wel iets duurzamer dan een hangend strand als er wordt gekeken naar de emissies.

Aanbevelingen

- **Overgangen:**

Om het duin volledig te maken, is het noodzakelijk dat er 3 verschillende overgangen van het duin worden ontworpen. Het gaat hier om de overgang van het duin naar de waterpompturbines, de overgang van het duin naar de overlaat en de overgang van duin Noord naar duin West. In de scriptie is er aangenomen deze overgangen te verwaarlozen. Maar deze overgangen zijn belangrijk om het duin goed aan te laten sluiten op het gehele ontwerp van Delta21.
- **Steile duin:**

In het ontwerp is er gekozen om het duin aan te nemen als een steile duin. Hiervoor is gekozen omdat er het minste zand nodig is voor een steile duin. Daarom moet er nog een studie worden gedaan naar het beste talud voor een duin tijdens stormen. Zodat er een talud kan worden gekozen waarbij het volume van het zand het minst is bij een lage waarde van erosie en afslag.
- **Erosie:**

Het volume van de erosie voor het duin zijn aangenomen op $33,33 \text{ m}^3/\text{m}$. Deze aanname is gedaan op basis van het onderhoud op de kop van Schouwen. Er moet daarom nog meer onderzoek gedaan worden naar het morfologische ontwikkelingen aan het duin. Pas daarna kan er echt worden bepaald hoeveel erosie er jaarlijks zal optreden.
- **Ontwerplevensduur:**

In de scriptie is er rekening gehouden met een ontwerplevensduur van 80 jaar, door het klimaatscenario van 2100 te kiezen. Voor een project wordt altijd de minimale levensduur bepaald, waar de juiste randvoorwaarden uit voortkomen. Dit gebeurt door met interpolatie een tussenliggende ontwerplevensduur te kiezen. In een later stadium zouden dan meer gedetailleerde Life Cycle Costs-analyses gemaakt kunnen worden om de ontwerplevensduur in combinatie met de onderhoudsintervallen te optimaliseren. Zie paragraaf 3.2.1 Klimaatscenario van de randvoorwaarden in het Programma van Eisen.
- **Primaire waterkering:**

In het onderzoek is tijdens het ontwerpen rekening gehouden met de bouw van een primaire waterkering. Er kan worden onderzocht of dit wel echt nodig is. Stel er wordt een secundaire kering gebouwd, dan zal er een veel kleinere duin nodig zijn door een lagere normfrequentie van het dijktraject. Dat betekent dat de kosten ook omlaag zullen gaan. Er zal bij een grote storm wel economische schade zijn, maar het gaat hier niet om mensenlevens.

- **Bodemdiepte:**

De volumebepalingen van het duin zijn gedaan aan de hand van een ondergrond van NOAA (NOAA, 2020), omdat deze grid makkelijk over te zetten is naar een AutoCad werkmap. Het is van groot belang dat de ondergrond erg goed in kaart wordt gebracht. De bodem is namelijk bij de aanleg van de Tweede Maasvlakte ook al gebruikt als zandbuffer. Er dient een volumebepaling gedaan te worden met de meest up-to-date bodemkaarten.

- **Kostenraming**

Bij de kostenraming is er alleen gekeken naar de uitvoeringskosten. Er dienen ook nog kosten te worden berekend voor de werkvoorbereiding (vergunningen, surveys, engineering) en eindafwerking van het project. Ook zal de prijs berekend worden inclusief mobilisatie, eenmalige kosten, opslagen voor Algemene Kosten, Winst & Risico.

- **'Building with Nature':**

Er is verder niet nagedacht over het 'Building with Nature' principe. Het duin kan bijvoorbeeld voor extra stabiliteit met oesterkisten worden bekleed. Het energiemeer kan als kweekplek worden gebruikt voor Zeeuwse mosselen en oesters. Dus er kan nog meer onderzoek worden gedaan naar de economische baten van het plan.

- **Recreatie:**

Een eventuele vervolgstudie zou gewijd kunnen worden aan recreatie op en rond het duin. Zo'n grote duin kan bijvoorbeeld een goede plek zijn voor een wandel- en/of hondenuitlaatgebied.

Aanbeveling Van Oord Nederland B.V.

In hoeverre het project interessant is voor Van Oord Nederland B.V. hangt volgens hen af van 5 criteria: het aantal grondverzet, de grootte van het project, de omzet, de complexiteit en de kansrijkheid. In deze aanbeveling worden deze criteria aan de hand van informatie van Van Oord Nederland B.V. besproken.

1. Grondverzet:

Van Oord Nederland B.V.: 'Projecten met grondverzet (nat) en storten van stenen (nat) is interessant. Minder interessant is werk met asfalt en damwanden.'

- Uit de scriptie blijkt dat de uitvoering van het duin en het hangend strand een project is met gigantisch veel nat en een deel droog grondverzet. Als er eventueel toch gekozen wordt voor het hangend strand levert dit ook veel werk op met het storten van stenen voor de onderwaterdam. Er is verder geen werk met asfalt en damwanden in dit project. Dus een interessant project op basis van grondverzet.

2. Grootte van het project:

Van Oord Nederland B.V.: 'Er worden pas projecten aangenomen vanaf 50.000 m³. Hoe meer kub zand, des te beter. Wij hebben namelijk groot materieel om in te zetten.' Hieronder is weergegeven bij welke orde grootte het project voor Van Oord interessant is.

0 m ³ – 50.000 m ³	Niet interessant
50.000 m ³ - 100.000 m ³	Redelijk interessant
100.000 m ³ – 1.000.000 m ³	Interessant
> 1.000.000 m ³	Erg interessant

- Het volume van het duin bestaat uit 93.000.000 m³, dit betekent dat het een erg interessant project is. Het volume van het hangend strand bestaat uit 24.750.000 m³, dit betekent dat ook dit een erg interessant project is. Het project is gigantisch gekeken naar het aantal kub grondverzet.

3. Omzet:

Van Oord Nederland B.V.: 'Aan een project moet een minimaal één miljoen euro worden omgezet, anders is het project niet interessant.' Hieronder is weergegeven bij welke orde grootte het project voor Van Oord interessant is.

0 – 1 (mln €/jr)	Niet interessant
1 (mln €/jr) – 50 (mln €/jr)	Redelijk interessant
50 (mln €/jr) – 100 (mln €/jr)	Interessant
> 100 (mln €/jr)	Erg interessant

- De kosten van het totale project liggen boven de 200 miljoen euro. Omdat Van Oord veel materieel in huis heeft, kan worden verwacht dat het voor een redelijk laag bedrag aangenomen kan worden. Hierop kan dus zeker 100 miljoen euro omzet worden gemaakt. Een erg interessant project gekeken naar de beoogde winst uit deze omzet.

4. Complexiteit:

Van Oord Nederland B.V.: ‘Het liefst hebben wij alle disciplines van het project in huis en besteden wij zo min mogelijk uit, waardoor de grootst mogelijke winst gehaald kan worden.’

- Met behulp van een interne kostentool van Van Oord is de kostenraming gemaakt. Deze tool houdt ook rekening met de gekozen uitvoeringsmethode. De gekozen methode is een methode die Van Oord veel gebruikt voor projecten. Binnen deze methode heeft Van Oord al het materieel zelf in huis. Dat betekent dat het project erg interessant is op basis van de complexiteit van het project.

5. De kansrijkheid:

Van Oord Nederland B.V.: ‘De kans op slagen van het project hangt af van het verkrijgen van vergunningen, de omgeving en de verschillende betrokken partijen.’

- De kans op slagen is het enige criterium dat door Van Oord genoemd wordt, waar enige twijfel over bestaat. Er zullen veel vergunningen moeten worden aangevraagd voor de bouw van Delta21. Maar als Rijkswaterstaat dit plan doorzet dan wordt er verwacht dat alle vergunningen uiteindelijk rond te krijgen zijn. Ten tweede ligt het project in Natura2000 gebied, dit is een beschermd gebied. Als het project door mag gaan dan zullen er maatregelen getroffen worden om het ingenomen gebied te compenseren. Delta21 heeft al goede voornemens in verband met natuurherstel, dit moet leiden tot een goede compensatie. Als laatste zullen alle betrokken partijen het eens moeten worden over het project. Rijkswaterstaat, gemeente, waterschap, vissers en omwonenden hebben allemaal zo hun eigen mening over het project. Op een gegeven moment moeten er knopen doorgehakt worden en compromissen worden gesloten als het project doorgang wilt krijgen.

Concluderend, het project van Delta21 is een interessant project voor Van Oord Nederland B.V.. De criteria grondverzet, de grootte, de omzet en de complexiteit zijn namelijk alle vier beoordeeld als goed met de kennis van nu. Daaruit blijkt dat het een erg interessant project is voor Van Oord Nederland B.V.. De kansrijkheid van het project is alleen wat onzekerder. Maar omdat het zo'n gigantisch project is, wordt aanbevolen om Delta21 op de voet te blijven volgen. Zeker omdat het een revolutionair project is dat veel aandacht zal krijgen over de hele wereld.

Bibliografie

- AD. (2016). Rijkswaterstaat test het sluiten van Maeslantkering | Rotterdam |. Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://www.ad.nl/rotterdam/rijkswaterstaat-test-het-sluiten-van-maeslantkering~add89ed8/?referrer=https://www.google.com/>
- AutoDesk. (2018). AutoCad.
- Bart van der Veer. (2013). *Deltaprogramma Deltaprogramma Waterveiligheid: K van Kans naar Kans x Gevolg*.
- BNR Nieuwsradio. (2016). “Nederland niet goed verzekerd tegen overstromingen”. Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://www.bnr.nl/nieuws/binnenland/10311506/nederland-niet-goed-verzekerd-tegen-overstromingen>
- Bodemacademie. (2019). Erosie. Geraadpleegd 23 januari 2020, van <http://bodemacademie.nl/bodemkwaliteit/bodemverstoring/erosie/>
- CIRIA. (2012). The Rock Manual - The use of rock in hydraulic engineering. Geraadpleegd 20 februari 2020, van <http://www.kennisbank-waterbouw.nl/DesignCodes/rockmanual/>
- De Waal, J. P. (2016). Basisrapport WBI 2017.
- Delta Marine Consultants. (2001). Xbloc | Effective wave protection for breakwaters and shores. Geraadpleegd 18 maart 2020, van <https://www.xbloc.com/>
- Deltacommissaris. (2019). Waterveiligheid | Deltaprogramma | Deltacommissaris. Geraadpleegd 26 november 2019, van <https://www.deltacommissaris.nl/deltaprogramma/gebieden-en-generieke-themas/veiligheid>
- Deltares. (z.d.). Faalmechanisme. Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://v-web002.deltares.nl/sterktenoodmaatregelen/index.php/Faalmechanisme>
- Deltares. (2015). Indonesia and the Netherlands launch large coastal safety initiative in Java. Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://www.deltares.nl/en/news/indonesia-netherlands-launch-large-coastal-safety-initiative-java/>
- Deltares. (2020a). D-Settlement.
- Deltares. (2020b). MorphAn.
- Deltares. (2020c). Riskeer.
- Deltares. (2020d). Software products. Geraadpleegd 24 januari 2020, van <https://www.deltares.nl/nl/software/>
- den Heijer, F. (2002). *Leidraad Zandige Kust*. Geraadpleegd van <http://resolver.tudelft.nl/uuid:c65ef988-9cea-4617-bcdc-4c611b286295>
- DINOloket. (2020). Ondergrondgegevens. Geraadpleegd 24 januari 2020, van <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>
- DUIN.nl. (2019). Duin.nl | daar wil je nooit meer weg! Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://duin.nl/>
- Ecoshape. (2020). Building with Nature. Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://www.ecoshape.org/nl/>

- ENW. (2007). Ontwerpbelastingen voor het rivierengebied.
- FLYGRN. (2019). 3 tips om zelf je CO2-uitstoot te verminderen. Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://flygrn.com/nl/blog/3-tips-om-zelf-je-co2-uitstoot-te-verminderen>
- Helpdesk Water. (2018). Algemene formule voor de golfoploop. Geraadpleegd 11 februari 2020, van <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/technische-leidraden/zoeken-technische/@193113/algemene-formule/>
- Holland.com. (2019). Nederland Waterland - Ontdek hoe Nederland leeft met water. Geraadpleegd 23 januari 2020, van https://www.holland.com/be_nl/toerisme/holland-stories/nederland-waterland.htm
- Hoogwaterbescherming. (2014). *Veilige dijken, dammen, duinen*.
- KNMI. (2014). *Klimaatscenario'14 brochure*.
- KNMI. (2019). Trends in weerextremen in Nederland. Geraadpleegd 6 november 2019, van <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/trends-in-weerextremen-in-nederland>
- KNMI. (2020). KNMI'06 klimaatscenario's. Geraadpleegd 24 januari 2020, van http://www.klimaatscenario's.nl/knmi06/samenvatting/#Inhoud_2
- Lavooij&Berke. (2018). DELTA21 en Waterveiligheid, (1).
- Lavooij&Berke. (2019). Home - Delta21.nl. Geraadpleegd 6 november 2019, van <https://www.delta21.nl/>
- Maps. (2020). Google Maps. Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://www.google.nl/maps/@51.9254354,4.4913636,14z>
- Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2019). Klimaatakkoord | Klimaatakkoord. Geraadpleegd 18 maart 2020, van <https://www.klimaatakkoord.nl/>
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2007). Water veiligheid, Begrippen begrijpen, 74.
- Ministeriel&M. (2013). *Deltaprogramma Deltaprogramma Waterveiligheid: K van Kans naar Kans x Gevolg*.
- Natuurbeschermingswet. (1998). wetten.nl - Regeling - BWBR0009641. Geraadpleegd 24 januari 2020, van <https://wetten.overheid.nl/BWBR0009641/2016-04-14>
- Navionics. (2020). Navionics ChartViewer. Geraadpleegd 24 januari 2020, van <https://webapp.navionics.com/?lang=en#boating@8&key=syv%7BHwetV>
- NOAA. (2020). Grid Extract - National center for environmental information. Geraadpleegd 24 februari 2020, van <https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/wcs-client/>
- Rijkswaterstaat. (2017). *Waterveiligheid begrippen begrijpen | Publicatie | Ministerie van Infrastructuur en Milieu. juni*. Geraadpleegd van <https://www.deltacommissaris.nl/deltaprogramma/documenten/publicaties/2017/06/01/waterveiligheid-begrippen-begrijpen>
- Rijkswaterstaat. (2018). Suppletie -- programma Kustlijn zorg.
- Rijkswaterstaat. (2019a). Deltaprogramma 2019. Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://deltaprogramma2019.deltacommissaris.nl/>

- Rijkswaterstaat. (2019b). Natuur en biodiversiteit - Noordzeeloket. Geraadpleegd 19 maart 2020, van <https://www.noordzeeloket.nl/functies-gebruik/natuur/>
- Rijkswaterstaat. (2019c). Voordelta | natura 2000. Geraadpleegd 19 maart 2020, van <https://www.natura2000.nl/gebieden/zeeland/voordelta>
- Rijkswaterstaat. (2019d). Waterkeringen. Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/waterkeringen/index.aspx>
- Rijkswaterstaat. (2020). Waterhoogte - Waterinfo. Geraadpleegd 20 februari 2020, van <https://waterinfo.rws.nl/#!/kaart/waterhoogte-t-o-v-nap/>
- RLI. (2011). *Raden voor de leefomgeving en infrastructuur*. Geraadpleegd van www.rli.nl
- Ruimte voor de Rivier. (2018). Het programma. Geraadpleegd 21 maart 2019, van <https://www.ruimtevoorderivier.nl/>
- Schone Energie B.V. (2019). Definitief Klimaatakkoord | 70 procent elektriciteit in 2030 afkomstig van windmolens en zonnepanelen. Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://www.schone-energiebv.nl/definitief-klimaatakkoord-70-procent-elektriciteit-in-2030-afkomstig-van-windmolens-en-zonnepanelen/>
- Schure, K. M., Daniëls, B. W., Ros, J. P. M., & Koelemeijer, R. B. A. (2020). *QUICK SCAN MOGELIJKE AANVULLENDE MAATREGELEN EMISSIEREDUCTIE 2020 TEN BEHOEVE VAN URGENDA KLIMAATZAAK Quick scan*.
- Techniek. (2019). Techniek Bedrijven | Van Oord. Geraadpleegd 26 november 2019, van <https://www.techniekbedrijven.nl/bedrijven/10-van-oord>
- The Palace. (2020). The Top Blue Flag and Best Beaches in Malta - AX The Palace. Geraadpleegd 27 februari 2020, van <https://thepalacemalta.com/things-to-do-malta/activities/top-blue-flag-beaches/>
- Tromp, E. (2019). Multifunctionele waterkeringen - Deltares. Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://www.deltares.nl/nl/projecten/multifunctionele-waterkeringen/>
- Van de Graaff, J., Van Gent, M. R. A., Boers, M., Diermanse, F. L. M., Walstra, D. J., Steetzel, H. J., & Lodder, Q. J. (2007). Technical report dune erosion (Dutch: Technisch Rapport Duinafslag). Geraadpleegd van <http://resolver.tudelft.nl/uuid:24410aa7-15ae-4ae6-a300-0328eb912e73>
- VanOord. (2019). Van Oord.com. Geraadpleegd 6 november 2019, van <https://www.vanoord.com/contact>
- Wageningen University & Research (WUR). (2000). *Breuksteen in de praktijk Directoraat-Generaal Rijkswatersta& Dienst Weg-en Waterbouwkunde*.
- Wageningen University & Research (WUR). (2019). Building with Nature along a tropical muddy coast in Indonesia: innovation in mangrove restoration. Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://www.wur.nl/nl/project/Building-with-Nature-along-a-tropical-muddy-coast-in-Indonesia-innovation-in-mangrove-restoration.htm>
- Waterschap Rivierenland. (2016). Het+project,+faalmechanismen+overzicht.jpg (1024×768). Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://slideplayer.nl/slide/12041078/69/images/9/Het+project%2C+faalmechanismen+overzi>

cht.jpg

Waterwet. (2020). wetten.nl - Regeling - Waterwet - BWBR0025458. Geraadpleegd 24 januari 2020, van <https://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/2020-01-01>

Wet algemene bepalingen. (2012). wetten.nl - Regeling - BWBR0001833. Geraadpleegd 24 januari 2020, van <https://wetten.overheid.nl/BWBR0001833/2012-01-01>

Wet milieubeheer. (2019). wetten.nl - Regeling - Wet milieubeheer - BWBR0003245. Geraadpleegd 24 januari 2020, van <https://wetten.overheid.nl/BWBR0003245/2019-11-14>

Wet ruimtelijke Ordening. (2018). wetten.nl - Regeling - BWBR0020449. Geraadpleegd 24 januari 2020, van <https://wetten.overheid.nl/BWBR0020449/2018-07-01>

WWF. (2019). Wat is klimaatverandering? | WWF | Oorzaken en gevolgen. Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://www.wwf.nl/wat-we-doen/focus/klimaatverandering>

Yska, D. W. A. (2009). *MASTERSCRIPTIE UNIVERSITEIT TWENTE PUBLIC ADMINISTRATION ENVIRONMENT, SPATIAL QUALITY AND SUSTAINABILITY*. Twente.

Zandmotor. (2019). Zandmotor. Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://www.dezandmotor.nl/nl/>

Zeeuws Archief. (2019). De Ramp: feiten, cijfers en links. Geraadpleegd 23 januari 2020, van <https://www.zeeuwsarchief.nl/zeeuwse-verhalen/de-ramp-van-1953-en-de-deltawerken-2/de-ramp-feiten-cijfers-en-links/>

Zeezoogdieren.org. (2019). Grijs Zeehonden Voordelta – Bollen van de Ooster – Zeezoogdieren.org. Geraadpleegd 19 maart 2020, van <https://www.zeezoogdieren.org/wordpress/2016/04/30/grijze-zeehonden-voordelta-bollen-van-de-ooster/>

Bijlagen

Bijlage 1: Werkplan



Werkplan: Joost van Dam, 15130436

Voorwoord

Voor u ligt het werkplan met betrekking tot het afstuderen op het dijkontwerp energie-opslagmeer binnen het project DELTA21 voor Van Oord. Dit werkplan is geschreven als afstudeeropzet. Het rapport is te beschouwen als een plan van aanpak en als het startdocument voor het afstuderen aan de voltijd opleiding civiele techniek met als specialisatie waterbouw aan de Haagse Hogeschool. In opdracht van het bedrijf Van Oord. Van november 2019 tot april 2020 zal mijn onderzoek worden uitgevoerd.

Inhoud

Voorwoord	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
1.0 Algemene informatie	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
2.0 Achtergrond	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
3.0 Probleemstelling	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.0 Doelstelling	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.0 De opdracht	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.1 Onderzoeksvraag	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2 Hoofdfragen met deelvragen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.3 Werkwijze	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.0 Productentabel met competenties	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
7.0 Projectgrens en haalbaarheid	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.0 Planning.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
9.0 Openstaande vakken	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Bronvermelding	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Bijlage.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.

1.0 Algemene informatie

Gegevens afstudeerder:

Naam afstudeerder : Joost van Dam
Adres : Zwart Janstraat 13B, 3035 AJ, Rotterdam
Telefoonnummer : +31 (0)6 38131759
E-mailadres (privé) : vandamjoost@hotmail.com
E-mailadres (HHS) : J.L.vanDam@student.hhs.nl
E-mailadres (Van Oord) : Joost.vanDam@vanoord.com
Studie : Civiele techniek
Hbo-specialisatie : Waterbouw
Studentnummer : 15130436
Hbo-stage 1 : Heijmans Schiphol
Hbo-minor 1 : River Engineering
Hbo-minor 2 : Management en Bedrijfskunde

Gegevens afstudeerbedrijf en werklocatie: (Van Oord Nederland B.V., 2019)

Bedrijf : Van Oord Nederland B.V.
Adres : Schaardijk 211, 3063 NH, Rotterdam
Telefoonnummer : +31 (0)88 8260000
E-mailadres : info@vanoord.com

Bedrijfsbegeleider Van Oord:

Naam begeleider : Dhr. Rik Beekx
Functie : Vakgroep hoofd Business Development
Telefoonnummer : +31 (0)6 1148 9945
E-mailadres : rik.beekx@vanoord.com

Begeleiders De Haagse Hogeschool:

Naam eerste begeleider: Dhr. Rob Weersink
Telefoonnummer : +31 (0)6 4429 0044
E-mailadres : R.weersink@hhs.nl
Naam tweede begeleider : Dhr. Bas Hilckmann
Telefoonnummer : +31 (0)6 1842 2750
E-mailadres : S.P.hilckmann@hhs.nl

2.0 Achtergrond

Het klimaat verandert. De aarde warmt op door de toename van broeikasgassen in de lucht en er komen langere periodes van hitte en droogte voor, maar ook treden er meer natte periodes op. (KNMI, 2019). Door extreme buien komt er meer water in de rivieren en zeeën. Daardoor zal het rivierpeil stijgen, waardoor het debiet van rivieren toe neemt. De zeespiegel zal natuurlijk ook stijgen. Nederland zal zich moeten gaan beschermen tegen hoogwater van de rivieren en de zee. De waterveiligheid moet gegarandeerd worden. Hier zijn talloze oplossingen voor, bijvoorbeeld dijkverhoging, dijkversterking en het bouwen van waterkeringen. Niet alleen het stijgende waterpeil is een probleem, maar er worden ook hoogtetekorten van dijken verwacht door zetting en de oxidatie van het veen.

Het Deltaprogramma Veiligheid heeft een aantal scenario's opgesteld voor dijken in Nederland, ze verwachten dat in 2050 ruim 30% van de dijken te laag zijn en in 2100 zelfs 50%. De hoofdlijn van het landelijke Deltaprogramma is gericht op dijkverhoging, dijkversterking en het decentraal wegpompen van het overtollige water. Het alsmaar verhogen van de dijken moet stoppen, want er kunnen enorme besparingen worden bereikt. Ook zal er vaker voor een centrale aanpak gekozen moet worden.

Het project 'Delta21' wilt zich juist richten op de versterking van de pompcapaciteit voor de hoofwatersystemen, een centrale aanpak (Lavooij&Berke, 2019). Voor dit plan zal er tussen de kust van de Tweede Maasvlakte en het Zeeuwse eiland Goeree Overflakkee een energie-opslagmeer worden gecreëerd, door middel van een waterkering, een gemaal en een afsluitbare kering. In tijden van hoogwater op de rivieren, kan de rivier ontlast worden door het meer te vullen en het gemaal kan overtollig water wegpompen in tijden van de allerhoogste waterstanden. Als eerste vervult het dus een functie voor de waterveiligheid.



Figuur 63; Project Delta21.

Het meer is niet alleen van nut bij hoge waterstanden, het heeft een tweede functie als energie-opslagmeer. Energieopslag in een valmeer met duurzame opwekking van energie, zoals windturbines en zonnecellen.

Ten derde is er sprake van natuurherstel bij dit project: vismigratie wordt hersteld door het terugbrengen van het zoute getij in de Haringvliet, unieke vegetatie terugbrengen en een milieuvriendelijke inrichting van het ontwerp. Aan de randen van het energie-opslagmeer komt een duinenrij, die op een natuurlijke, duurzame manier zal worden ontworpen. Er zal worden overwogen dit met een duin volledig van zand of een duin met een 'hangend strand' oplossing te doen. De term 'hangend strand' wordt gebruikt om een zandsuppletie ondersteund door een dam parallel aan de kust mee aan te geven.

Mijn afstudeerbedrijf Van Oord Nederland B.V. is één van de sponsors van het project Delta21. Van Oord is een Nederlands bedrijf en wereldwijd actief als toonaangevende aannemer van bagger-, waterbouwkundige en offshore energieprojecten (olie, gas en wind) met innovatieve oplossingen voor maritieme uitdagingen (Techniek, 2019).

3.0 Probleemstelling

Nederland is kwetsbaar voor overstromingen, daarom zal het land beschermt moeten worden. De kustgebieden zijn het meest kwetsbaar. Dit zijn ook nog eens de gebieden met grote gevolgen als je kijkt naar groepen slachtoffers, economische schade en infrastructuur (Deltacommissaris, 2019). De Randstad is een voorbeeld van een gebied met een hoog beschermingsniveau, omdat daar het grootste deel van ons bruto nationaal product wordt verdiend. Er moet een oplossing worden bedacht voor de waterveiligheid van (een deel van) Zeeland. De Staat in het water heeft dan wel een lager beschermingsniveau dan de Randstad, maar heeft wel veel kilometer aan dijken en is dus kwetsbaar.

4.0 Doelstelling

Doel van het onderzoek is een oplossing vinden voor de waterveiligheid van Zuid-Holland en Zeeland en daarmee voor Nederland. Deze oplossing zal op een natuurlijke manier moeten worden ontworpen en met een gesloten grondverzet moeten worden uitgevoerd.

5.0 De opdracht

5.1 Onderzoeksvraag

In hoeverre is een duinenrij met volledig zand of een duinontwerp met een hangend strand toepasbaar, ter bescherming van het energie-opslagmeer van Delta21?

5.2 Hoofdvragen met deelvragen

- Wat kan er gedaan worden tegen de waterveiligheid?
 - Wat houdt dijkverhoging in?
 - Wat houdt dijkverbetering in?
 - Wat is een duin met volledig zand?
 - Wat is een duin met hangend strand ontwerp?
 - Wat zijn de voor- en nadelen van deze opties?
- Wat houdt het project Delta21 in?
 - Wat zorgt voor de waterveiligheid, de energieopslag en het natuurherstel?
 - Waar gaat Delta21 vanuit als optie tegen waterveiligheid?
 - Wat zijn de relevante kenmerken van de projectlocatie?
 - Wat houdt het principe 'Building with nature' in?
- Wat zijn de randvoorwaarden en uitgangspunten?
 - Wat is de grondopbouw?
 - Wat zijn de korreldiameters?
 - Wat zijn de gegevens van de golven en waterstanden van de Noordzee?
 - Moeten er aannames worden gedaan? Zo ja, welke zijn dit?
- Wat is het ontwerp voor Delta21?
 - Hoe ziet ontwerp 1: duin volledig met zand eruit?
 - Hoe ziet ontwerp 2: duin met hangend strand eruit?
 - Ontwerp 2: Hoe ver zit de dam van het duin weg? En hoe hoog is deze dam?
 - Welk ontwerp wordt er gekozen?
 - Wat is van het gekozen ontwerp: de stabiliteit, de zetting en het volume?
 - In hoeverre is er sprake van een gesloten grondbalans? (zand uit valmeer = zand voor duin?)
- Wat zijn de aanlegkosten van dit ontwerp?
- In hoeverre is het gekozen ontwerp interessant voor Van Oord Nederland B.V.?
 - Grondverzet
 - Grootte
 - Omzet
 - Complexiteit
 - Kansrijkheid

5.3 Werkwijze

- Literatuuronderzoek; Waterveiligheid Nederland en Delta21.
- Parameter- en gegevensonderzoek.
- Programma van Eisen: eisen, randvoorwaarden, uitgangspunten en aannames.
- Ontwerp verschillende varianten.
- Multi Criteria Analyse.
- Keuze variant of eventueel combinatie variant (optimalisatie).
- Kostenraming.
- Aanbeveling.

6.0 Productentabel met competenties

Deelvragen	Producten	Benodigde informatie*	Competenties**
Wat houdt dijkverhoging in?	Beschrijving dijkverhoging als waterveiligheidsmethode, tekst	Gegevens uit artikelen, websites, BlackBoard	G1
Wat houdt dijkverbetering in?	Beschrijving dijkverbetering als waterveiligheidsmethode, tekst	Gegevens uit artikelen, websites, BlackBoard	G1
Wat is een duin met volledig zand?	Beschrijving als waterveiligheidsmethode, tekst, afbeelding	Gegevens uit artikelen, websites, BlackBoard	G1
Wat is een duin met hangend strand ontwerp?	Beschrijving als waterveiligheidsmethode, tekst, afbeelding	Gegevens uit artikelen, websites, BlackBoard	G1
Wat zijn de voor- en nadelen van deze opties?	Beschrijven in hoofdstuk.	Gegevens uit artikelen, websites, BlackBoard	B6, G2
Wat zorgt voor de waterveiligheid, de energieopslag en het natuurherstel?	Uitleg plan Delta 21, 3 oplossingen voor het probleem uitleggen	Gegevens Delta21	G1
Waar gaat Delta21 vanuit als optie tegen waterveiligheid?	Uitleg plan Delta 21 over het aan te leggen duin met eventueel hangend strand, tekst	Gegevens Delta21	G1
Wat zijn de relevante kenmerken van de projectlocatie?	Uitleg plan Delta 21, tekst	Gegevens Delta21	G1
Wat houdt het principe 'Building with nature' in?	Beschrijving, tekst, Delta21 is gecharmeerd van dit principe, in welke mate past Delta21 dit toe.	Gegevens uit artikelen, websites, BlackBoard	G1
Wat is de grondopbouw?	Onderzoek naar bodem. Grondlagen weergeven.	Dinoloket afbeelding	G1
Wat zijn de korreldiameters?	Onderzoek naar bodem. Op de plek waar het duin gaat komen, moeten er de korreldiameters van de zeebodem zijn	Dinoloket, verschillende parameters	G1
Wat zijn de gegevens van de golven en waterstanden van de Noordzee?	Onderzoek naar golfhoogte, golflengte, golfperiode, waterstanden Noordzee. Deze gegevens verschillen waarschijnlijk erg van elkaar. Ik moet zowel kijken naar golven uit	KNMI-gegevens Noordzee, morfologie gegevens Noordzee, waterinfo: waterdata Rijkswaterstaat	G1

	Noordwestelijke als Zuidwestelijke richting. Deze gegevens worden gebruikt voor de berekeningen en ontwerpen.		
Moeten er aannames worden gedaan? Zo ja, welke zijn dit?	Aannames doen, eventuele parameters zelf definiëren. Ik verwacht dat alle parameters te vinden zijn. Het gaat hier vooral om golfhoogtes, golfperiodes, golflengtes, korrelgroottes.	Aannames doen aan de hand van gelijksoortige projecten of met behulp van berekeningen	B1
Hoe ziet ontwerp 1: duin volledig met zand eruit?	Ontwerptekening getekend op de computer.	Met het programma MorphAn, dit programma maakt een ontwerp door invoering van golfhoogte, golfperiode en korrelgrootte.	B2
Hoe ziet ontwerp 2: duin met hangend strand eruit?	Ontwerptekening getekend op de computer.	Met het programma MorphAn, dit programma maakt een ontwerp door invoering van golfhoogte, golfperiode en korrelgrootte.	B2
Hoe ver zit de dam van het duin weg? En hoe hoog is deze dam?	Damhoogte en damafstand van hangend strand bepalen	Berekening door het aantal volume zand in te schatten wat uit het meer wordt gehaald, dit moet gelijk zijn aan het volume zand van de duinen. Ideale damhoogte en damafstand d.m.v. golfhoogte, golflengte, golfperiode.	B2
Welk ontwerp wordt er gekozen?	Multi criteria analyse, afweging maken welk ontwerp beter is voor het project.	Criteria opstellen: zandgebruik, ruimtegebruik	B6, G2
Wat is van het gekozen ontwerp: de stabiliteit, de zetting en het volume?	Stabiliteit, zetting, volume, Berekeningen met verschillende programma's, ook handig gebruik van Excel zodat berekeningen makkelijk herleidbaar zijn.	Stabiliteit d.m.v. Hydra-NL en MorphAn, zetting d.m.v. D-settlements, volume d.m.v. AutoCad	B6, G6

In hoeverre is er sprake van een gesloten grondbalans? (zand uit valmeer = zand voor duin?)	Grondbalans, berekening, de tekening van het ontwerp in AutoCad gebruiken om het volume van het duin uit te halen. Volume valmeer bepalen.	Aantal m3 uit valmeer gelijk stellen aan benodigde hoeveelheid zand voor het ontwerp	G1
Wat zijn de aanlegkosten van dit ontwerp?	Kostenraming, calculator Van Oord, verschillende posten verklaren	Materiaalkosten, materieelkosten en loonkosten	B6, G6
In hoeverre is het gekozen ontwerp interessant voor Van Oord Nederland B.V.?	Aanbeveling, conclusie	Criteria: grondverzet, grootte, omzet, complexiteit en kansrijkheid	B6

Tabel 1; Productentabel met competenties.

**Benodigde informatie: hier zal ik altijd hulp krijgen van verschillende engineers van mijn afstudeerbedrijf Van Oord.*

***Competenties: B1=Initiëren en sturen; B2=Ontwerpen; B6=Monitoren, toetsen, evalueren; G1=Onderzoeken; G2=Communiceren en G6=Leren en verder ontwikkelen.*

7.0 Projectgrens en haalbaarheid

- De projectgrenzen worden aangegeven door de start- en einddatum. De begindatum project van het project is 11/11/2019 en het project wordt afgesloten met een presentatie in week 15 van 2020.
- Er is geen maximaal budget gesteld aan het ontwerp van de duinenrij met een hangend strand oplossing.
- Er is aan het project voldaan als er een variant is bedacht die kan fungeren als duinenrij voor het project Delta21 en dat Van Oord weet of dit project interessant is.
- De haalbaarheid van het project is groot. Wel moet Van Oord inkijk geven in berekening van dijken, zoals ontwerp, stabiliteit, zetting, kwel. Ook moet met de kostenraming geholpen worden.
- Nadat een product klaar is, zal deze gereviewd worden door Van Oord, om de haalbaarheid te waarborgen.
- Door eens in de twee weken af te spreken met de begeleiders van de Haagse Hogeschool (HHS) zal de kwaliteit van het project gewaarborgd worden en het rapport zal daarom voldoen aan de eisen van de HHS.

8.0 Planning

Beschrijving	Opmerkingen	Weeknummer	Datum
Concept werkplan		45	8-11-2019
Start afstuderen		46	11-11-2019
Werkplan		47	22-11-2019
Tussenpeiling	Datum inplannen, evt. week 5	4/5	20-1-2020/31-1-2020
Concept afstudeerrapport		12	9-3-2020
Definitief afstudeerrapport		14	23-3-2020
Verdediging		15	6-4-2020/10-4-2020
Wintersluiting	Geen werkzaamheden	52 / 1	23-12-2019/5-1-2020
Afspraak begeleiders(s) HHS	2-wekelijkse afspraak per start	-	-
Afspraak begeleiders Van Oord	2-wekelijkse afspraak per start	-	-

Tabel 2; Planning.

De uitgebreide planning is in MS Project gemaakt, deze is te vinden in de bijlage.

9.0 Openstaande vakken

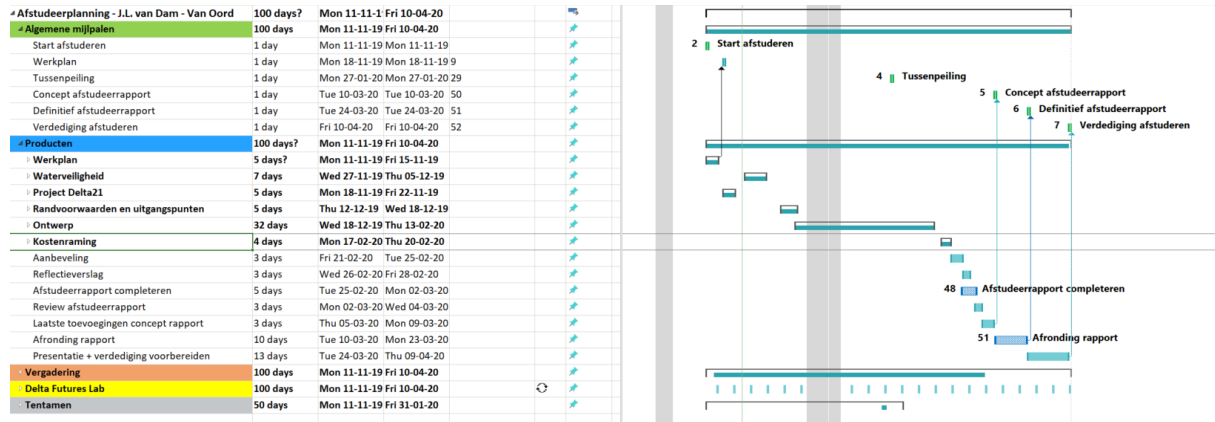
- Keerconstructies (Stedelijk waterbeheer) Opdracht
- Verkeer en Vervoer 5: Railbouw Tentamen
- CAD1 Opdracht

Eind blok 2 kunnen keerconstructies en V&V5 ingevoerd worden. Dit is voor de tussenpeiling. CAD1 kan woensdag 27 november 2019 ingeleverd worden bij dhr. Weersink.

Bronvermelding

Zie bronvermelding rapport.

Bijlage: Planning MS Project



Figuur 64; Planning werkplan MS Project.

Bijlage 2: Reflectieverslag

In de zelfreflectie reflecteer ik op mijn ontwikkeling tijdens het afstuderen en op de invulling van de competenties, zoals ik die heb meegenomen in mijn werkplan.

Van Oord Nederland B.V.

Om te beginnen heb ik me altijd erg thuis gevoeld op het kantoor van Van Oord. Dat komt door de open cultuur op kantoor waardoor het makkelijk is anderen te benaderen. Daardoor had ik goede gesprekken over waterbouw en kreeg ik hulp van de mensen op mijn afdeling. Ook is de werksfeer altijd erg goed. Daardoor geeft Van Oord de mogelijkheid om optimaal te kunnen functioneren tijdens werktijd. Ik zou daarom ook elke civiele student aanraden om bij Van Oord een afstudeerstage te lopen.

Mijn ontwikkeling tijdens het afstuderen

In het begin was het allemaal erg wennen. Alles is nieuw, je bent je plek een beetje aan het vinden en je hebt eigenlijk nog geen idee wat je allemaal te wachten staat. Na een week of twee als het werkplan ook af is, kon ik alles wat meer plaatsen. Daardoor kreeg ik ook meer stress omdat ik me toen realiseerde wat ik allemaal moest doen. Maar ik heb ondertussen wel geleerd dat dat er nou eenmaal bij hoort. En dat ik niet vanaf moment 1 de touwtjes in handen kan hebben. Als ik achteraf terug denk heb ik heel veel gehad aan mijn werkplan, omdat alle deelvragen die ik had opgesteld een houvast bieden. Door de deelvragen te beantwoorden, kom je stapsgewijs dichterbij het beantwoorden van de onderzoeksvraag. En was het ook duidelijk waarmee je je moest bezig houden van week tot week.

Na het doen van literatuurstudie, kwam ik in de ontwerpfasen. Deze fase heb ik als heel erg leuk ervaren. Je duikt echt in de stof, in dit geval een duin, en je bent ook echt iets aan het maken. Het wordt echt tastbaar daardoor. Daarom ben ik erg blij dat ik een meetbaar onderzoek heb gedaan. Ik heb ook geleerd dat je af en toe beter iets langer echt goed kan onderzoeken, dan snel en half. Je kunt daarom als iets bijvoorbeeld niet uitkomt, beter beredeneren waarom dit is. De afronding van mijn scriptie vond ik ook leuk om te doen. Het was wel even gek met die laatste paar weken in quarantaine door het coronavirus. Maar ik heb mijn plek in huis kunnen vinden, waar ik geconcentreerd en met plezier mijn scriptie af kon maken.

Competenties

B1=Initiëren en sturen

Aan competentie B1 is gewerkt vanaf het begin, moet je zelf initiatief tonen welke kant je op wilt met het onderzoek. Daardoor stuur je jezelf naar de kant die je op wilt. Ik heb gemerkt bij de literatuurstudie, dat als je onderwerpen zelfstandig aan het onderzoeken bent dat het dan heel leuk is om hier zelf richting aan te geven.

B2=Ontwerpen

Aan competentie B2 is gewerkt door het maken van twee verschillende varianten voor het ontwerp van een zandige kustbescherming. Deze ontwerpen heb ik zelfstandig bepaald met af en toe begeleiding van mijn begeleiders. Het vinden van alle benodigde parameters was af en toe lastig, maar uiteindelijk is dat allemaal goed gekomen. Het ontwerpen deed ik ook met een programma dat ik nog niet kende voor mijn stage (MorphAn; voor het berekenen van duisnafslag). Dit programma heb ik mij ook eigen gemaakt wat de nodige tijd heeft gekost.

B6=Monitoren, toetsen, evalueren

Aan competentie B6 is gewerkt door het maken van een Multicriteria-analyse, het evalueren van de uitkomsten en bij het afronden van de scriptie bij de conclusies en aanbevelingen. Hier merkte ik dat ik goed in staat ben om bepaalde onderwerpen te kunnen onderbouwen met sterke argumenten. En af en toe met een helicopter-view naar de bevindingen van het onderzoek te kijken.

G1=Onderzoeken

Aan de competentie G1 is gewerkt door het doen van heel veel onderzoek over vooral duinen in mijn literatuurstudie. Ook bij het maken van mijn Programma van Eisen moest ik veel onderzoek doen naar de verschillende eisen, randvoorwaarden, uitgangspunten en aannames. Ik heb echt het gevoel dat ik heb geleerd zelfstandig en systematisch te werk te gaan. Ook door het opschrijven van vragen en dan door te gaan, kwam ik erachter dat je deze vragen na verloop van tijd zelf kon beantwoorden door het onderzoek wat ik aan het doen was.

G2=Communiceren

Aan de competentie G2 is gewerkt tijdens de hele afstudeerperiode. Ik heb veel geleerd van kennismakingsgesprekken in het begin tot gesprekken op niveau over problemen waar ik mee te kampen had. Ook heb ik veel geleerd van de wijze van communicatie in een bedrijf: dat is eigenlijk best losjes en vriendelijk, maar wel met een enorme dosis kennis bij iedereen. Daarom is het van belang vragen goed te formuleren, met name als je een mail stuurt met vragen over een project waar de ander niet al maanden mee bezig is.

G6=Leren en verder ontwikkelen

Aan de competentie G6 is gewerkt tijdens de ontwerpfase: het leren van nieuwe software. Verder heb ik erg veel geleerd van het hele zelfstandige proces van het maken van een scriptie. Zelf keuzes maken, zelf bepalen en zelf uitvoeren. Ik heb dan ook echt het idee dat ik ben gegroeid in het hele proces.

Concluderend, ik heb het doen van onderzoek en het schrijven van mijn scriptie als erg interessant en leuk ervaren. Daarnaast was het ontzettend leuk om dat het zo'n actueel onderwerp is. Ik ben dan ook heel benieuwd of het project er daadwerkelijk gaat komen. Ik hoop ook dat ik Van Oord goede inzichten heb kunnen geven naar de haalbaarheid van dit project.

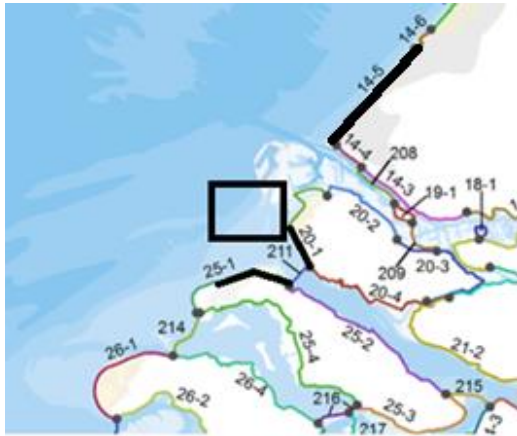
Bijlage 3: Geotechnisch en hydraulisch rapport

Om de geotechnische randvoorwaarden te bepalen is ten eerste de web applicatie DINO-loket (DINOloket, 2020) gebruikt, daarna is met het programma Riskeer de korrelgrootte nogmaals bepaald.

Korrelgrootte [μm]	
DINO-loket	120
Riskeer	141

De maatgevende is de kleinste. Dus een korrelgrootte van 120 [μm].

Riskeer gebruikt de dijktrajecten om de hydraulische randvoorwaarden te genereren. Er zijn voor de berekeningen 3 (omliggende) dijktrajecten gekozen. Dit zijn de omliggende dijktrajecten 14-5, 20-1 en 25-1. Dit voor de normale toestand en met 2100 W+.



Figuur 65; Dijktraject (Waterwet, 2020).

1. DINO-Loket en Delta21: Geotechnische randvoorwaarden

In DINO-loket is een bruikbaar boormonster gevonden. Tot 50 [m] is er bijna alleen zand in de vorm van:

- Zeer fijn zand: korrelgrootte tussen 105 [μm] en 150 [μm];
- Matig fijn zand: korrelgrootte tussen 150 [μm] en 210 [μm].

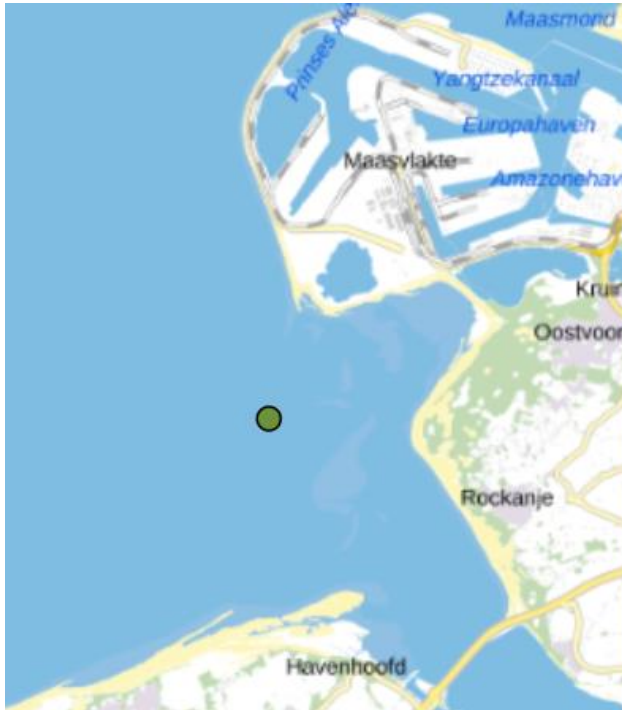
Van 27-28 meter en vanaf 46 [m] is er een kleilaag (zie de sondeerdiagrammen hieronder).

De kleinste korrel kan hier dus 105 [μm] zijn, maar omdat we niet er vanuit gaan dat deze overal zo klein is. Wordt er uit DINO-loket als maatgevende korrel 120 [μm] gekozen, om net even iets hoger te zitten.

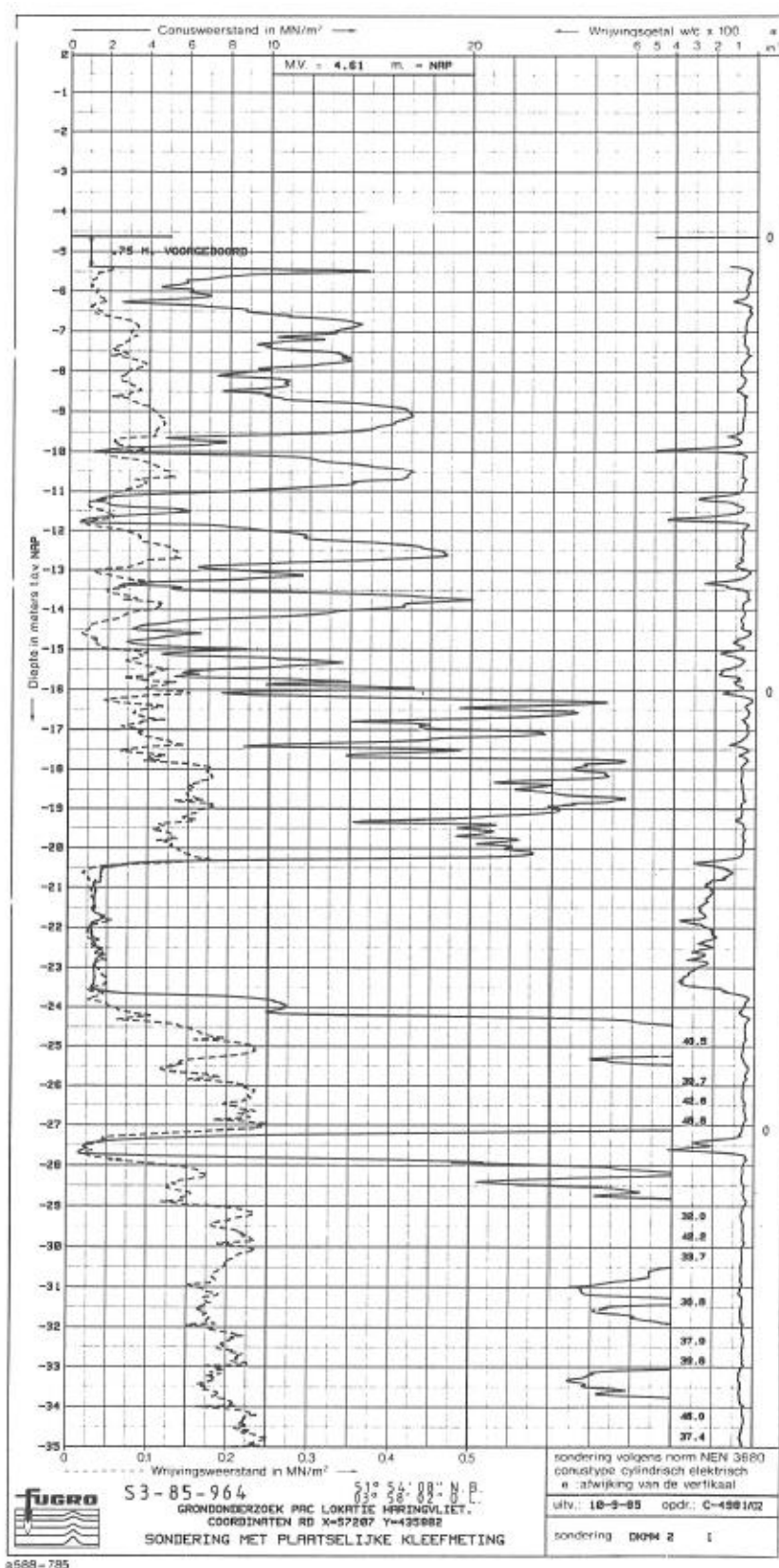
Ondergrens	Bovengrens	Fractie
$\geq 630 \text{ mm}$	-	blokken
$\geq 200 \text{ mm}$	630 mm	keien
$\geq 63 \text{ mm}$	200 mm	stenen
$\geq 16 \text{ mm}$	63 mm	Zeer grof grind
$\geq 5,6 \text{ mm}$	16 mm	Matig grof grind
$\geq 2 \text{ mm}$	5,6 mm	Fijn grind
$\geq 0,420 \text{ mm}$	2 mm	Uiterst grof zand
$\geq 300 \mu\text{m}$	420 μm	Zeer grof zand
$\geq 210 \mu\text{m}$	300 μm	Matig grof zand
$\geq 150 \mu\text{m}$	210 μm	Matig fijn zand
$\geq 105 \mu\text{m}$	150 μm	Zeer fijn zand
$\geq 63 \mu\text{m}$	105 μm	Uiterst fijn zand
$\geq 2 \mu\text{m}$	63 μm	silt
-	< 2 μm	lutum

Figuur 66;Korrelgrootte classificatie.

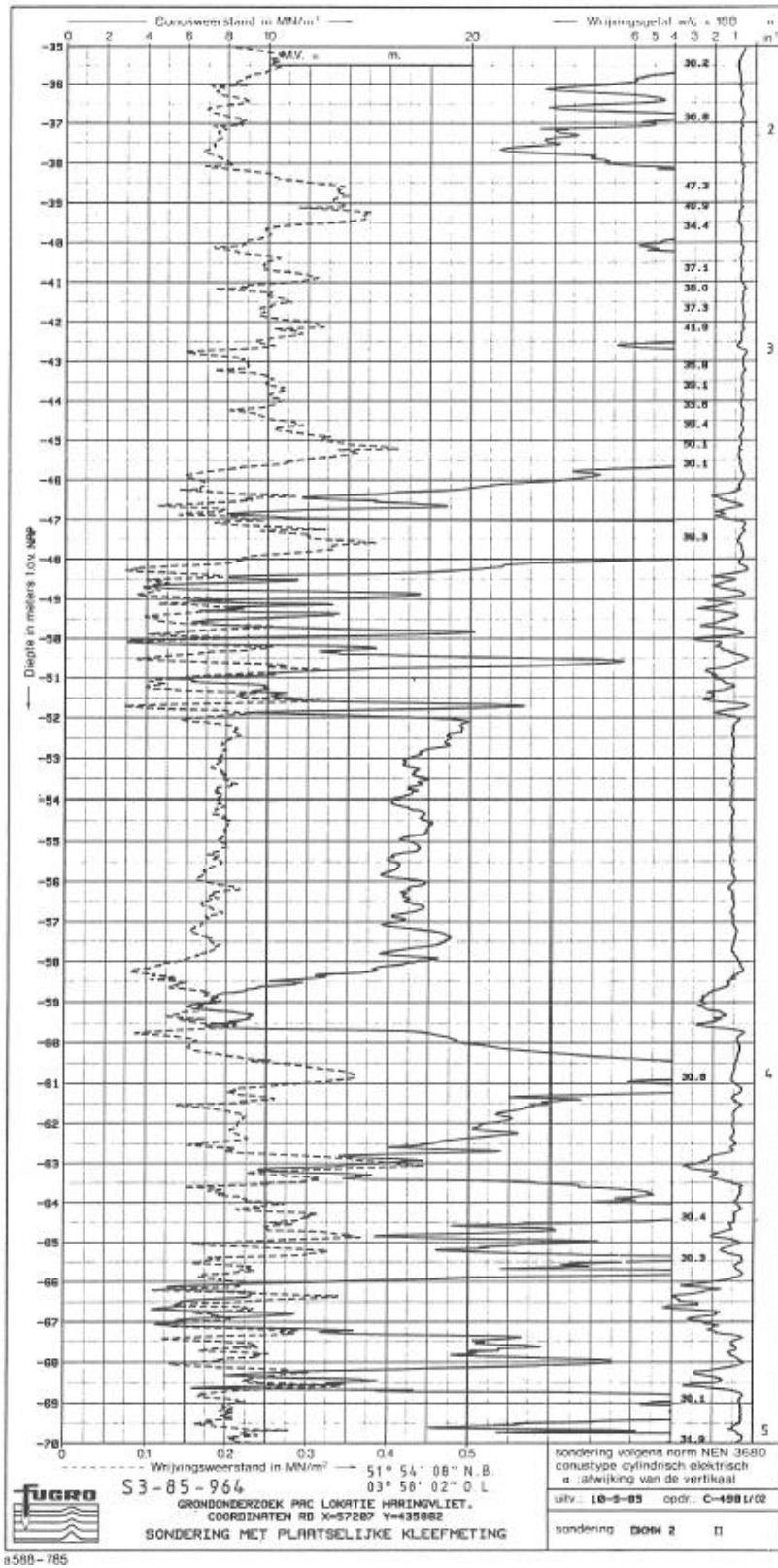
Boormonster S36H00033_00



Figuur 67; Locatie boormonster.

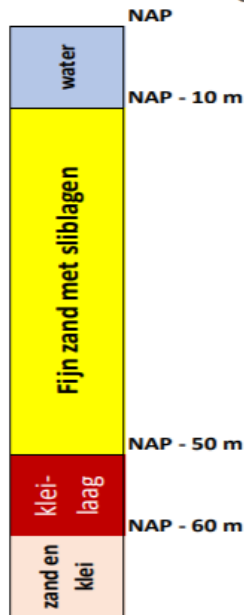


Figuur 68; Sondeerdiagram.



Figuur 69; Sondeerdiagram.

Uit het rapport waterveiligheid van Delta21 blijkt ook dat de grondopbouw bestaat uit fijn zand tot -50 meter NAP met af en toe wat slibgrenzen er doorheen. Vanaf -50 meter NAP tot -60 meter NAP is er een dikke kleilaag (Lavooij&Berke, 2018). Dezelfde gegevens als DINO-loket.



Figuur 70; Grondopbouw.

2. Riskeer: Geotechnische randvoorwaarden

Voor de berekening van de korrelgrootte wordt alleen gekeken naar de dijktrajecten 20-1 en 25-1 omdat tussen deze trajecten Delta21 wordt geplaatst. Traject 15-4 ligt dus te ver om maatgevend te zijn. Hieronder zijn de uitkomsten gegeven van de twee trajecten.

UITKOMST: Maatgevend is de kleinste korrel = 141 [μm].

Dijktraject 20-1

Gemiddelde	165,1509	[μm]
Mediaan	157	[μm]
Hoogste	200	[μm]
Laagste	141	[μm]

Dijktraject 25-1

Gemiddelde	213,1139	[μm]
Mediaan	208	[μm]
Hoogste	241	[μm]
Laagste	173	[μm]

Dijktraject 20-1; 2020	
Metrering	D50 [μm]
660	175
680	173
700	170
720	168
740	166
760	163
780	161
800	159
820	158
840	157
860	155
880	154
900	153
920	153

940	152
960	151
980	150
1000	150
1000,1	150
1001	150
1002	150
1003	149
1003,1	150
1004	149
1020	149
1040	148
1060	148
1080	147
1100	146
1120	145
1140	144
1160	143
1180	142
1200	141
1220	147
1240	153
1260	159
1280	165
1300	170
1320	176
1340	182
1360	188
1380	194
1400	200
1420	200
1440	200
1460	200
1480	200
1500	200
1501	200
1520	200
1540	200
1560	200

Dijktraject 25-1; 2020	
Metrering	D50 [μm]
300	173
320	174
325	175
330	175
350	176
375	178
400	180
425	182
450	184
475	185
500	187
525	189
545	190
550	190
555	191
575	192
600	194
625	196
650	197
675	199
700	201
725	202
750	203
775	204
800	205
825	207
850	208
875	209
900	210
925	209
950	209
975	208
1000	207
1025	206
1050	206
1075	205
1100	204

1125	205
1150	205
1175	206
1200	206
1225	206
1250	207
1275	207
1300	208
1325	212
1350	217
1375	221
1400	225
1425	229
1450	233
1475	237
1500	240
1501	241
1502	241
1525	240
1550	239
1575	239
1600	238
1601	238
1602	238
1625	237
1650	236
1675	236
1700	235
1701	235
1702	235
1725	235
1750	235
1775	236
1800	236
1801	236
1802	236
1825	236
1850	236
1875	237
1900	237
1901	237
1902	237

3. Riskeer: Hydraulische randvoorwaarden

Dit is de gemiddelde golfhoogte en golfperiode gemeten vanaf met meetpunt Lichteiland Goeree.

Voor de hydraulische randvoorwaarden wordt de maatgevende golfhoogte en golfperiode bepaalt door de hoogste waarde te nemen. Dijktraject 20-1 en 25-1 zijn maatgevend voor het deel WEST van het duin. Traject 14-5 is bepalend voor het deel NOORD.

4. Riskeer: Hydraulische randvoorwaarden 2100 W+

Voor de hydraulische randvoorwaarden wordt de maatgevende golfhoogte en golfperiode bepaalt door de hoogste waarde te nemen. Dijktraject 20-1 en 25-1 zijn maatgevend voor het deel WEST van het duin. Traject 14-5 is bepalend voor het deel NOORD.

UITKOMST NOORD: Hs = 7,3 [m] en Ts = 12,26 [s].

UITKOMST WEST: Hs = 3,99 [m] en Ts = 12,85 [s].

NOORD

Dijktraject 14-5

Hs;gem	7,194 [m]
Hs;hoogste	7,3 [m]
Hs;laagste	7,07 [m]
Ts;gem	12,01867 [s]
Ts;hoogste	12,26 [s]
Ts;laagste	11,77 [s]

WEST

Dijktraject 20-1

Hs;gem	2,702642 [m]
Hs;hoogste	2,83 [m]
Hs;laagste	2,32 [m]
Ts;gem	12,81472 [s]
Ts;hoogste	12,85 [s]
Ts;laagste	12,77 [s]

Dijktraject 25-1

Hs;gem	2,74038 [m]
Hs;hoogste	3,99 [m]
Hs;laagste	0,95 [m]
Ts;gem	11,95823 [s]
Ts;hoogste	11,98 [s]
Ts;laagste	11,92 [s]

Dijktraject 14-5; 2100 W+			
Metrering	Hs	Ts	Waterstand
11018	7,3	12,25	4,63
11034	7,3	12,26	4,63
11050	7,3	12,25	4,63
11056	7,3	12,25	4,63
11072	7,29	12,23	4,63
11088	7,29	12,22	4,63
11094	7,29	12,22	4,63
11109	7,28	12,2	4,63
11125	7,28	12,21	4,63
11131	7,28	12,2	4,63
11147	7,28	12,19	4,63
11163	7,27	12,17	4,63
11169	7,27	12,18	4,63
11176	7,26	12,17	4,63
11196	7,26	12,16	4,63
11221	7,24	12,11	4,63
11244	7,23	12,1	4,63
11263	7,23	12,09	4,63
11282	7,22	12,08	4,63
11301	7,22	12,07	4,63
11319	7,22	12,07	4,63
11338	7,21	12,05	4,63
11356	7,2	12,04	4,62
11375	7,2	12,03	4,62
11394	7,19	12,02	4,62
11412	7,17	11,96	4,62
11431	7,17	11,96	4,62

11450	7,16	11,94	4,62
11469	7,16	11,94	4,62
11488	7,15	11,92	4,62
11510	7,13	11,87	4,62
11535	7,12	11,86	4,62
11560	7,12	11,85	4,62
11586	7,11	11,83	4,62
11611	7,12	11,86	4,62
11636	7,12	11,86	4,62
11662	7,11	11,84	4,62
11687	7,1	11,82	4,62
11700	7,1	11,82	4,62
11725	7,09	11,81	4,62
11750	7,09	11,79	4,62
11775	7,08	11,78	4,62
11800	7,07	11,77	4,62
11825	7,08	11,77	4,62
11850	7,07	11,77	4,62

Dijktraject 20-1; 2100 W+			
Metrering	Hs [m]	Ts [s]	Waterstand [m NAP]
660	2,34	12,85	4,74
680	2,34	12,85	4,74
700	2,34	12,85	4,74
720	2,33	12,85	4,74
740	2,33	12,85	4,74
760	2,33	12,84	4,75
780	2,33	12,84	4,75
800	2,33	12,84	4,75
820	2,32	12,84	4,75
840	2,32	12,84	4,75
860	2,83	12,84	4,75
880	2,83	12,83	4,75
900	2,83	12,83	4,75
920	2,83	12,83	4,76
940	2,82	12,83	4,76
960	2,82	12,83	4,76

980	2,82	12,83	4,76
1000	2,82	12,83	4,76
1000,1	2,82	12,83	4,76
1001	2,82	12,83	4,76
1002	2,82	12,83	4,76
1003	2,81	12,82	4,76
1003,1	2,82	12,83	4,76
1004	2,81	12,82	4,76
1020	2,81	12,82	4,76
1040	2,81	12,82	4,76
1060	2,81	12,82	4,76
1080	2,8	12,82	4,77
1100	2,8	12,82	4,77
1120	2,8	12,81	4,77
1140	2,8	12,81	4,77
1160	2,79	12,81	4,77
1180	2,79	12,81	4,77
1200	2,79	12,81	4,77
1220	2,79	12,81	4,77
1240	2,78	12,8	4,78
1260	2,78	12,8	4,78
1280	2,78	12,8	4,78
1300	2,77	12,8	4,78
1320	2,77	12,8	4,78
1340	2,77	12,79	4,78
1360	2,77	12,79	4,78
1380	2,76	12,79	4,79
1400	2,76	12,79	4,79
1420	2,76	12,79	4,79
1440	2,75	12,78	4,79
1460	2,75	12,78	4,79
1480	2,75	12,78	4,79
1500	2,74	12,78	4,79
1501	2,74	12,78	4,79
1520	2,74	12,77	4,8
1540	2,74	12,77	4,8
1560	2,73	12,77	4,8

Dijktraject 25-1; 2100 W+

Metrering	Hs	Ts	Waterstand
300	1,39	11,97	3,95
320	1,39	11,97	3,95
325	1,39	11,97	3,95
330	1,39	11,97	3,95
350	1,39	11,97	3,95
375	1,39	11,97	3,95
400	1,39	11,97	3,95
425	1,39	11,97	3,95
450	1,39	11,97	3,95
475	0,95	11,97	3,95
500	0,95	11,97	3,95
525	0,95	11,97	3,94
545	0,95	11,98	3,94
550	0,95	11,98	3,94
555	0,95	11,98	3,94
575	0,95	11,98	3,94
600	0,95	11,98	3,94
625	0,95	11,98	3,94
650	2,62	11,98	3,94
675	2,62	11,98	3,94
700	2,62	11,98	3,94
725	2,62	11,98	3,94
750	2,62	11,98	3,94
775	2,62	11,98	3,94
800	3,01	11,98	3,94
825	3,01	11,97	3,94
850	3,01	11,97	3,94
875	3,01	11,97	3,95
900	3,01	11,97	3,95
925	3,01	11,97	3,95
950	3,56	11,97	3,95
975	3,56	11,97	3,95
1000	3,56	11,97	3,95
1025	3,55	11,97	3,95
1050	3,55	11,97	3,95
1075	3,55	11,97	3,95
1100	3,55	11,97	3,95
1125	3,55	11,97	3,95

1150	3,55	11,97	3,95
1175	3,55	11,97	3,95
1200	3,99	11,96	3,95
1225	3,99	11,96	3,96
1250	3,99	11,96	3,96
1275	3,98	11,96	3,96
1300	3,98	11,96	3,96
1325	3,98	11,96	3,96
1350	3,97	11,96	3,96
1375	3,97	11,96	3,96
1400	3,97	11,96	3,96
1425	3,97	11,96	3,96
1450	3,97	11,96	3,96
1475	2,97	11,96	3,96
1500	2,97	11,95	3,97
1501	2,97	11,95	3,97
1502	2,97	11,95	3,97
1525	2,97	11,95	3,97
1550	2,97	11,95	3,97
1575	2,96	11,95	3,97
1600	2,96	11,95	3,97
1601	2,96	11,95	3,97
1602	2,96	11,94	3,98
1625	2,95	11,94	3,98
1650	2,95	11,94	3,98
1675	2,94	11,94	3,98
1700	2,94	11,94	3,98
1701	2,94	11,94	3,98
1702	2,94	11,93	3,99
1725	2,94	11,93	3,99
1750	2,93	11,93	3,99
1775	2,93	11,93	3,99
1800	2,92	11,93	3,99
1801	2,92	11,92	3,99
1802	2,92	11,92	3,99
1825	2,92	11,92	4
1850	2,92	11,92	4
1875	2,91	11,92	4
1900	2,91	11,92	4

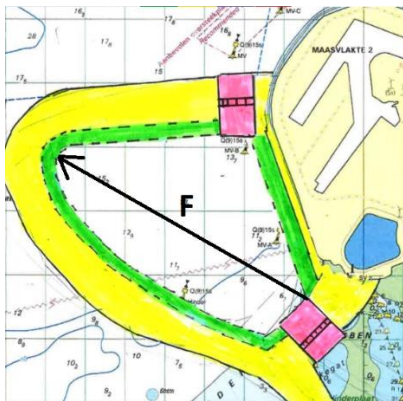
1901	2,91	11,92	4
1902	2,91	11,92	4

Bijlage 4: Berekening golfloop

Golfloop ($z_{2\%}$) is bepaald met de algemene formule voor golfloop (Helpdesk Water, 2018).

Gegevens:

- Maximale strijklengte: $F = 7000$ [m];
- Maximale windsnelheid: $U = 17,0$ [m/s]; aan de kust met klimaatscenario 2100 W+.
- Diepte van energiemeer: $d = 20$ [m];
- Talud achterland = 1:12,5.

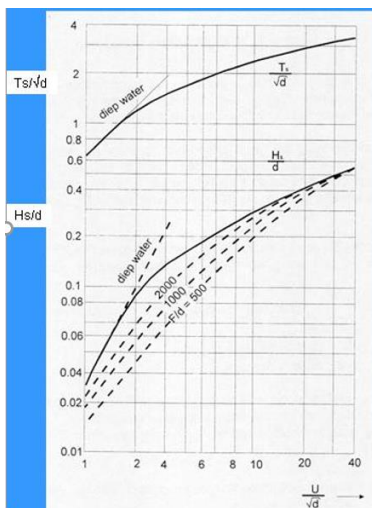


Figuur 71; Strijklengte.

	1976-2005	G 2100	G+ 2100	W 2100	W+ 2100
De Kooy	15,8	15,8	16,4	15,4	17,0
De Bilt	11,1	11,1	11,5	10,8	11,9
Eelde	13,3	13,3	13,8	13,0	14,3

Figuur 72; Windsnelheid (KNMI, 2020).

Hiermee kunnen aan de hand van het nomogram de golfhoogte en de golfperiode bepaald worden:



- $H_s = H_{m0} = 2,0$ [m];
- $T_s = 6,7$ [s].

Ook moet de golflengte bepaalt worden
($g = \text{gravitatieconstante} = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]})$):

$$L = g T_s^2 / 2\pi = 9,81 * 6,7^2 / 2\pi = 70 \text{ [m]}.$$

Figuur 73; Nomogram.

Vervolgens kan de golfsteilheid (S_0) berekend worden:

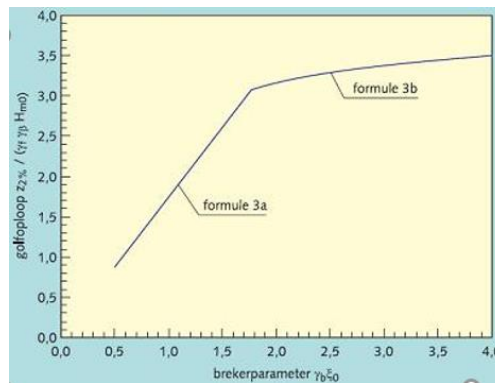
$$S_0 = H_s / L = 2,0 / 70 = 0,02857 = 0,03 \text{ [m]}.$$

Vervolgens kan de brekerparameter (ξ) berekend worden:

$$\xi = \text{helling} / \sqrt{S_0} = (1/12,5) / \sqrt{0,02857} = 0,47 \text{ [-]}$$

De brekerparameter is maatgevend voor de formule van de golfoploop. Uit deze waarde blijkt dat er met formule 3A moet worden gerekend.

$$z_{2\%} / H_{m0} = 1,75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_0 \quad \mathbf{3a}$$



Figuur 74; Formule golfoploop.

Figuur 75; Brekerparameter.

Golfoploop: $z_{2\%} = 1,75 * \xi * H_{m0} * \gamma_b * \gamma_f * \gamma_\beta$

γ_b = invloedsfactor voor een berm; er is hier geen berm, dus vervalt.

γ_f = invloedsfactor voor ruwheid op het talud; er is geen bekleding op het talud, dus vervalt.

γ_β = invloedsfactor scheve golfaanval; er wordt uitgegaan van een golfaanval van 0 graden = 1 [-].

$\gamma_b * \gamma_f * \gamma_\beta$ moet groter of gelijk zijn aan 0,4: $1 \geq 0,4$, dus voldoet.

Golfoploop: $z_{2\%} = 1,75 * 0,47 * 1,2 * 1 = 1,197 \text{ [m]} = 0,99 = 1,0 \text{ [m]}.$

Bijlage 5: Berekening opwaaiing

De opwaaiing wordt berekend volgens de algemene formule van opwaaiing (ENW, 2007):

$$\Delta h = \frac{\alpha u^2 F \cos(\phi)}{d}$$

waarin:

Δh	= opwaaiing	[m]
α	= coëfficiënt: $0.35 \cdot 10^{-4}$	[s ² /m]
u	= windsnelheid	[m/s]
F	= strijklengte	[m]
ϕ	= hoek tussen de windrichting en de dwarsrichting	[°]
d	= waterdiepte	[m]

$\Delta h = \text{opwaaiing} = 3,54 = 3,5 \text{ [m]}$;

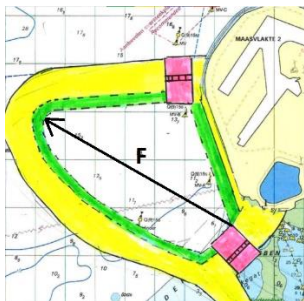
$\alpha = \text{coëfficiënt} = 0,35 \cdot 10^{-4} [-]$;

$u = \text{windsnelheid} = 17,0 \text{ [m/s]}$;

$F = \text{strijklengte} = 7000 \text{ [m]}$;

$\phi = \text{hoek tussen de windrichting en dwarsrichting} = 0 \text{ [graden]}$;

$d = \text{waterdiepte} = 20 \text{ [m]}$.

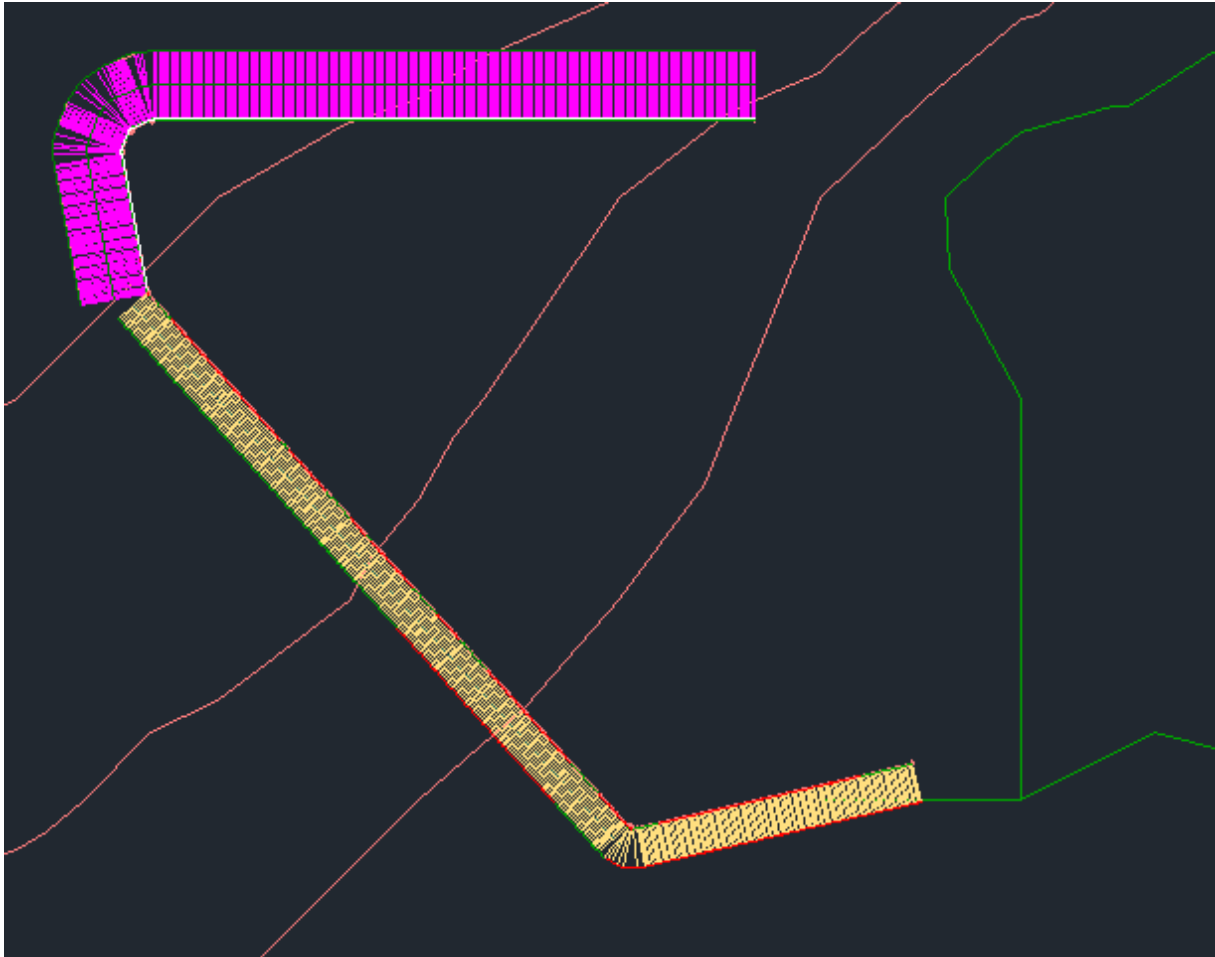


Figuur 76; Strijklengte.

	1976-2005	G 2100	G+ 2100	W 2100	W+ 2100
De Kooy	15,8	15,8	16,4	15,4	17,0
De Bilt	11,1	11,1	11,5	10,8	11,9
Eelde	13,3	13,3	13,8	13,0	14,3

Figuur 77; Windsnelheid.

Bijlage 6: Ondergrond Delta21 AutoCad

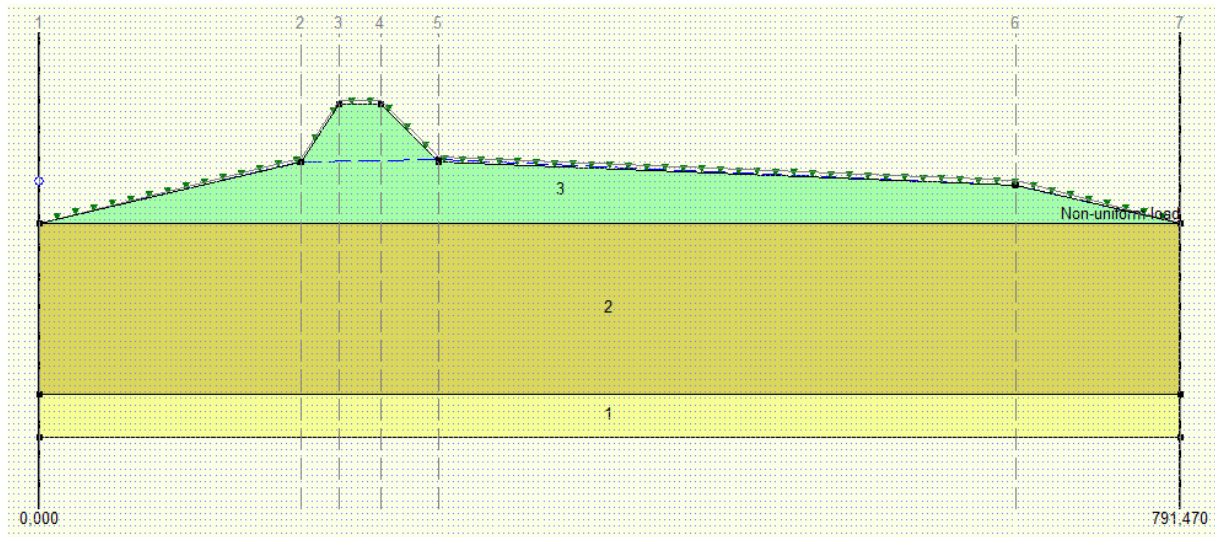


Figuur 78; ondergrond (AutoDesk, 2018).

Bijlage 7: Duin Noord volledig zand
Zie bijgevoegde PDF bestand.

Bijlage 8 Duin West volledig zand
Zie bijgevoegde PDF bestand.

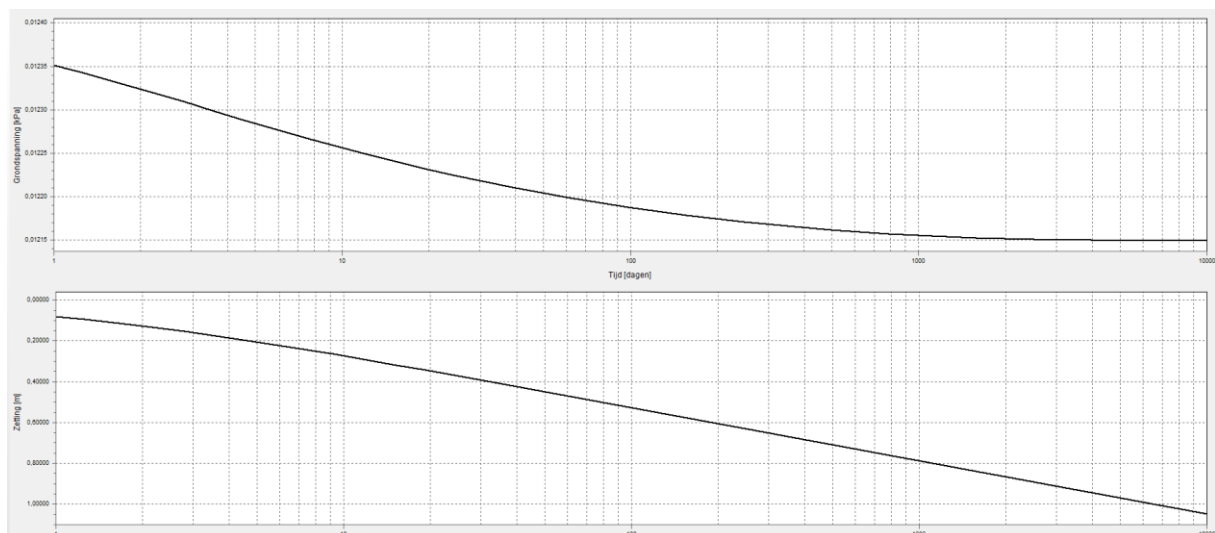
Bijlage 9: Zettingsrapport duin Noord



Figuur 79; Model (Deltares, 2020a).

Verticaal nummer	X-coördinaat [m]	Z-coördinaat [m]	Maaiveld [m]	Zetting [m]
1	0,00	0,00	-10,00	1,049
2	181,25	0,00	4,50	1,060
3	208,25	0,00	18,00	1,054
4	237,33	0,00	18,00	1,054
5	277,47	0,00	4,62	1,059
6	677,47	0,00	-0,88	1,051
7	791,47	0,00	-10,00	1,049

Figuur 80; zetting (Deltares, 2020a).



Figuur 81; Zetting na 30.000 dagen (Deltares, 2020a)

Rapport voor D-Settlement 18.2 (Deltares, 2020a)

Ontwikkeld door Deltares

Bedrijfsnaam: De Haagse Hogeschool

Voorwoord	2
Samenvatting	4
Inleiding	9
Probleemstelling	10
Doelstelling	10
Onderzoeksvraag met deelvragen	11
Werkwijze	11
1. Waterveiligheid Nederland	12
1.1 Nederland: waterland	12
1.2 Klimaat	13
1.3 Risicomanagement	15
1.4 Oplossingen	16
2. Eén idee met 3 oplossingen: Delta21	21
2.1 Het project	21
2.2 Waterveiligheid	23
2.3 Energieopslag	23
2.4 Natuurherstel	23
2.5 De duinenrij	24
3. Programma van Eisen	25
3.1 Eisen	25
3.2 Randvoorwaarden	26
3.3 Uitgangspunten	30
3.4 Aannames	31
3.5 Ontwerpprogramma's	32
4. Varianten	33
4.1 Variant 1: Duin	33
4.2 Variant 2: Hangend strand	42
5. Multi Criteria Analyse	52
5.1 Criteria	52
5.2 Probleemanalyse	53
5.3 Standaardisatie	59

5.4	Weging	60
5.5	Resultaat	60
6.	Kostenraming	61
6.1	Uitvoeringsmethode	61
6.2	Kostenraming	62
	Conclusies	63
	Aanbevelingen	65
	Aanbeveling Van Oord Nederland B.V.	67
	Bibliografie	69
	Bijlagen	73
	Bijlage 1: Werkplan	73
	Bijlage 2: Reflectieverslag	89
	Bijlage 3: Geotechnisch en hydraulische randvoorwaarden	91
	Bijlage 4: Berekening golfoploop	108
	Bijlage 5: Berekening opwaaiing	110
	Bijlage 6: Ondergrond Delta21 AutoCad	111
	Bijlage 7: Duin Noord volledig zand	112
	Bijlage 8 Duin West volledig zand	113
	Bijlage 9: Zettingsrapport duin Noord	114
	Bijlage 10: Zettingsrapport duin West	130
	Bijlage 11: Zettingshoeveelheden	150
	Bijlage 12: D_{n50} berekening	151

Tijd van rapport: 2:12:40 PM

Rapport met versie: 18.2.1.20481

Datum van berekening: 17-2-2020

Tijd van berekening: 2:12:04 PM

Berekend met versie: 18.2.1.20481

Bestandsnaam: E:\..\Afstuderen\5. Ontwerpen\D settlement\Duin Noord

Projectbeschrijving: Duin Noord

Zetting

Laagscheidingen

Laagscheidingnummer	Coördinaten [n]				
3 - X -	0,000	181,250	208,250	237,330	277,470
3 - Y -	- 10,000	4,500	18,000	18,000	4,620
3 - X -	677,470	791,470			
3 - Y -	- 0,880	- 10,000			
2 - X -	0,000	791,470			
2 - Y -	- 10,000	- 10,000			
1 - X -	0,000	791,470			
1 - Y -	- 50,000	- 50,000			
0 - X -	0,000	791,470			
0 - Y -	- 60,000	- 60,000			

PN-lijnen

PN-lijnummer	Coördinaten [n]				
1 - X -	0,000	181,000	277,500	677,000	791,470
1 - Y -	- 10,000	4,500	5,000	- 1,000	- 10,000

Algemene Gegevens

Grondmodel:	NEN Bjerrum
Consolidatiemodel:	Darcy
Rekmodel:	Lineair
Grondwaterniveau:	Initiëel bepaald door PN-lijnummer 1
Volumiek gewicht grondwater:	9,81 [kN/m ³]

Spanningsspreiding

- Grond: Buisman
- Belastingen: Geen
- Einde consolidatie: 10000,00 [dagen]

Geen onderhouden hoogte

Pg (initiëel):	Variabel evenwijdig aan de initiële grondspanning
----------------	---

Pg (Per stap):

Automatisch verhoogd tot de uiteindelijke grondspanning

Kruipsnelheid referentietijd:

1,000 [dagen]

Geen denkbeeldig maaiveld

Met onderwaterzakken

(alleen voor niet-uniforme belastingen)

- Criterium einde iteratie : 0,10 [m]

Breedte belastingkolom

- Niet-Uniforme Belastingen : 1,00 [m]
- Trapeziumvormige Belastingen : 1,00 [m]

Grondprofielen

Laag nummer	Materiaalnaam	PN-lijn boven	PN-lijn onder
3	Sand	1	1
2	Sand drained	1	1
1	Medium Clay	1	1

Grondeigenschappen

Laag nummer	Gedraineerd	Volumiek gewicht		Doorlatendheid rek modulus	Initieel verticale doorlatendheid
		Onverzadigd [kN/m ³]	Verzadigd [kN/m ³]		
3	Nee	18,00	20,00		
Laag nummer	Gedraineerd	Volumiek gewicht		Doorlatendheid rek modulus	Initieel verticale doorlatendheid
		Onverzadigd [kN/m ³]	Verzadigd [kN/m ³]		
2	Ja	18,00	20,00		
1	Ja	17,00	17,00		
Laag nummer	Berging type	Vert. consolid. coëfficiënt Cv [m ² /s]	Verticale doorlatendheid [m/s]	Doorlatendheid rek modulus [-]	Initieel verticale doorlatendheid [m/s]
3	Vert. kons.	1,00E-08	-	-	-
2	Vert. kons.	-	-	-	-
1	Vert. kons.	-	-	-	-
Laag	POP	OCR	Equiv. age		

nummer	[kN/m ²]	[-]	[dagen]			
3	0,00	-	-			
2	0,00	-	-			
1	0,00	-	-			
Laag nummer	Secundaire zwelling type	Secundaire zwelling factor[-]	Spanning ontlastings ratio[-]			
3	Volledig	-	-			
2	Volledig	-	-			
1	Volledig	-	-			
Laag nummer	Herbelasting / zwel-ratio RR [-]	Compressie - ratio CR [-]	Sec. comp.- coëfficiënt Ca [-]	Herbelasting / zwel-index Cr [-]	Compressie- index Cc [-]	Init. poriën - getal (e0) [-]
3	0,0001000	0,0023000	0,0000000	-	-	-
2	0,0001000	0,0023000	0,0000000	-	-	-
1	0,1320000	0,2370000	0,0262000	-	-	-

Niet-Uniforme Belastingen

Belasting nummer	Tijd [dagen]	Volumiek gewicht					
		Onverzadigd [kN/m ³]	Verzadigd [kN/m ³]				
1	0	10,00	10,00				
Belastingnummer		Coördinaten [m]					
1 - X -		0,00	181,25	208,25	237,33	277,47	677,47
1 - Y -		-10,00	5,50	19,00	19,00	5,62	0,12
1 - X -		791,47					
1 - Y -		-10,00					

Verticalen

Verticaalnummer	X-coördinaten [m]				
1 - 5	0,000	181,250	208,250	237,330	277,470

6 - 7	677,470	791,470			
-------	---------	---------	--	--	--

Discretisatie = 100

Resultaat per Verticaal

Resultaat voor Verticaal 1 (X = 0,00 m; Z = 0,00 m)

Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
-10,000	0,012	-10,000	0,011	1,049
-10,100	1,030	-10,000	0,011	1,049
-10,200	2,049	-10,000	0,011	1,049
-10,300	3,068	-10,000	0,011	1,049
-10,400	4,088	-10,000	0,012	1,049
-10,500	5,107	-10,000	0,012	1,049
-10,600	6,127	-10,000	0,013	1,049
-10,700	7,146	-10,000	0,013	1,049
-10,800	8,166	-10,000	0,014	1,049
-10,900	9,185	-10,000	0,014	1,049
-11,000	10,205	-10,000	0,015	1,049
-12,000	20,404	-10,000	0,024	1,049
-13,000	30,605	-10,000	0,035	1,049
-14,000	40,806	-10,000	0,046	1,049
-15,000	51,007	-10,000	0,057	1,049
-16,000	61,208	-10,000	0,068	1,049
-17,000	71,409	-10,000	0,079	1,049
-18,000	81,610	-10,000	0,090	1,049
-19,000	91,810	-10,000	0,100	1,049
-20,000	102,010	-10,000	0,110	1,049
-21,000	112,209	-10,000	0,119	1,049
-22,000	122,408	-10,000	0,128	1,049
-23,000	132,606	-10,000	0,136	1,049
-24,000	142,804	-10,000	0,144	1,049
-25,000	153,001	-10,000	0,151	1,049
-26,000	163,198	-10,000	0,158	1,049
-27,000	173,394	-10,000	0,164	1,049
-28,000	183,590	-10,000	0,170	1,049
-29,000	193,786	-10,000	0,176	1,049
-30,000	203,981	-10,000	0,181	1,049
-32,000	224,371	-10,000	0,191	1,049
-34,000	244,759	-10,000	0,199	1,049

-36,000	265,147	-10,000	0,207	1,049
-38,000	285,534	-10,000	0,214	1,049
-40,000	305,921	-10,000	0,221	1,049
-42,000	326,307	-10,000	0,227	1,049
-44,000	346,693	-10,000	0,233	1,049
-46,000	367,078	-10,000	0,238	1,049
-48,000	387,464	-10,000	0,244	1,049
-50,000	407,849	-10,000	0,249	1,049
-50,000	407,849	-10,000	0,249	1,049
-55,000	443,811	-10,000	0,261	0,524
-60,000	479,773	-10,000	0,273	0,000

Resultaat voor Verticaal 2 (X = 181,25 m; Z = 0,00 m)

Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
4,500	3,553	4,501	3,552	1,060
Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
4,400	4,711	4,504	3,715	1,060
4,300	5,875	4,506	3,882	1,060
4,200	7,045	4,508	4,058	1,059
4,100	8,212	4,511	4,234	1,059
4,000	9,366	4,514	4,399	1,059
3,900	10,503	4,518	4,549	1,059
3,800	11,623	4,521	4,686	1,059
3,700	12,727	4,525	4,809	1,059
3,600	13,816	4,529	4,920	1,059
3,500	14,891	4,534	5,020	1,059
2,650	23,635	4,583	5,586	1,059
1,650	33,379	4,661	5,909	1,059
0,650	42,865	4,749	6,069	1,058
-0,350	52,303	4,834	6,149	1,058
-1,350	61,828	4,906	6,187	1,058
-2,350	71,523	4,958	6,199	1,058
-2,750	75,462	4,972	6,199	1,058
-3,700	84,962	4,989	6,191	1,058
-4,700	95,204	4,982	6,175	1,058
-5,700	105,710	4,948	6,154	1,058
-6,700	116,487	4,886	6,128	1,058
-7,700	127,532	4,796	6,100	1,058
-8,700	138,822	4,680	6,071	1,058

-9,700	150,309	4,545	6,040	1,058
-10,000	153,786	4,501	6,031	1,058
-10,000	153,786	4,501	6,031	1,058
-12,000	174,104	4,501	5,969	1,058
-13,000	184,264	4,501	5,939	1,058
-14,000	194,423	4,501	5,908	1,058
-16,000	214,744	4,501	5,849	1,058
-18,000	235,067	4,501	5,792	1,058
-20,000	255,392	4,501	5,737	1,058
-22,000	275,720	4,501	5,685	1,058
-24,000	296,050	4,501	5,635	1,057
-26,000	316,383	4,501	5,588	1,057
-28,000	336,718	4,501	5,543	1,057
-30,000	357,054	4,501	5,499	1,057
-35,000	407,903	4,501	5,398	1,057
-40,000	458,761	4,501	5,306	1,057
-45,000	509,624	4,501	5,219	1,057
-50,000	560,491	4,501	5,136	1,057
-50,000	560,491	4,501	5,136	1,057
-55,000	596,361	4,501	5,056	0,528
-60,000	632,233	4,501	4,978	0,000

Resultaat voor Verticaal 3 (X = 208,25 m; Z = 0,00 m)

Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
18,000	8,746	18,000	8,745	1,054
17,900	11,017	17,903	9,250	1,054
17,800	13,278	17,807	9,750	1,054
17,700	15,281	17,712	10,000	1,054
17,600	17,027	17,618	9,999	1,053
17,500	18,764	17,523	9,993	1,053
17,400	20,484	17,430	9,977	1,053
Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
17,300	22,182	17,337	9,944	1,053
17,200	23,855	17,244	9,890	1,053
17,100	25,503	17,152	9,816	1,053
17,000	27,132	17,061	9,726	1,053
16,641	32,946	16,735	9,410	1,053
15,641	49,575	15,851	9,173	1,053
14,641	66,234	14,985	9,144	1,053

13,641	82,915	14,118	9,132	1,053
12,641	99,746	13,236	9,126	1,052
11,641	116,805	12,332	9,122	1,052
10,641	134,120	11,401	9,118	1,052
9,641	151,684	10,445	9,114	1,052
8,641	169,474	9,466	9,110	1,052
7,641	187,462	8,467	9,106	1,052
6,641	205,628	7,450	9,101	1,052
5,641	223,728	6,418	8,890	1,052
4,641	234,289	5,379	1,073	1,052
4,000	241,074	5,353	1,069	1,052
2,000	262,276	5,268	1,053	1,052
1,000	272,898	5,223	1,044	1,052
0,000	283,535	5,177	1,034	1,052
-1,000	294,184	5,129	1,024	1,052
-2,000	304,846	5,079	1,013	1,052
-4,000	326,205	4,977	0,987	1,052
-6,000	347,606	4,870	0,956	1,052
-8,000	369,046	4,758	0,918	1,052
-10,000	390,526	4,641	0,874	1,052
-10,000	390,526	4,641	0,874	1,052
-15,000	441,332	4,641	0,729	1,052
-16,600	457,580	4,641	0,673	1,052
-18,600	477,884	4,641	0,598	1,052
-20,000	492,094	4,641	0,542	1,052
-25,000	542,826	4,641	0,324	1,052
-30,000	593,542	4,641	0,090	1,052
-35,000	644,252	4,641	-0,151	1,052
-40,000	694,962	4,641	-0,391	1,052
-45,000	745,676	4,641	-0,626	1,052
-50,000	796,397	4,641	-0,855	1,052
-50,000	796,397	4,641	-0,855	1,052
-55,000	836,122	4,641	2,920	0,527
-60,000	875,872	4,641	6,719	0,000

Resultaat voor Verticaal 4 (X = 237,33 m; Z = 0,00 m)

Diepte	Effectieve Spanning	Stijg-hoogte	Belasting	Zetting
[m]	[kPa]	[m]	[kPa]	[m]
18,000	9,167	18,000	9,166	1,054
17,900	11,432	17,904	9,667	1,054
17,800	13,524	17,808	10,000	1,054
17,700	15,275	17,713	9,999	1,054
17,600	17,017	17,618	9,995	1,054

17,500	18,743	17,524	9,981	1,054
17,400	20,449	17,431	9,951	1,054
17,300	22,131	17,338	9,903	1,054
17,200	23,795	17,245	9,841	1,054
17,100	25,446	17,154	9,772	1,054
Diepte	Effectieve Spanning	Stijg- hoogte	Belasting	Zetting
[m]	[kPa]	[m]	[kPa]	[m]
17,000	27,093	17,062	9,702	1,054
16,300	38,731	16,433	9,438	1,053
15,592	50,569	15,813	9,390	1,053
14,592	67,202	14,950	9,371	1,053
13,592	83,859	14,086	9,363	1,053
12,592	100,673	13,207	9,358	1,053
11,592	117,724	12,303	9,355	1,053
10,592	135,041	11,372	9,351	1,053
9,592	152,620	10,415	9,348	1,053
8,592	170,438	9,433	9,343	1,053
7,592	188,469	8,429	9,338	1,053
6,592	206,689	7,406	9,332	1,053
5,592	223,255	6,371	7,555	1,053
4,792	231,705	5,540	1,301	1,053
4,592	233,820	5,532	1,299	1,053
4,000	240,083	5,508	1,294	1,053
2,000	261,285	5,422	1,274	1,053
1,000	271,907	5,377	1,263	1,053
0,000	282,543	5,330	1,251	1,053
-1,000	293,192	5,282	1,238	1,053
-2,000	303,854	5,233	1,225	1,053
-4,000	325,214	5,130	1,195	1,053
-6,000	346,620	5,022	1,163	1,053
-8,000	368,069	4,909	1,127	1,053
-10,000	389,563	4,792	1,087	1,053
-10,000	389,563	4,792	1,087	1,053
-15,000	440,398	4,792	0,972	1,053
-16,600	456,659	4,792	0,929	1,053
-18,600	476,981	4,792	0,872	1,053
-20,000	491,205	4,792	0,829	1,053
-25,000	541,984	4,792	0,658	1,053
-30,000	592,738	4,792	0,463	1,053
-35,000	643,473	4,792	0,248	1,052
-40,000	694,194	4,792	0,019	1,052
-45,000	744,908	4,792	-0,218	1,052
-50,000	795,618	4,792	-0,458	1,052

-50,000	795,618	4,792	-0,458	1,052
-55,000	835,327	4,792	3,302	0,527
-60,000	875,056	4,792	7,081	0,000

Resultaat voor Verticaal 5 (X = 277,47 m; Z = 0,00 m)

Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
4,620	0,705	5,000	0,704	1,059
4,520	1,896	5,000	0,877	1,059
4,420	3,038	5,000	0,999	1,059
4,320	4,161	5,000	1,103	1,059
4,220	5,277	5,000	1,200	1,058
4,120	6,389	5,000	1,293	1,058
4,020	7,498	5,000	1,383	1,058
3,920	8,604	5,000	1,470	1,058
3,820	9,709	5,000	1,555	1,058
3,720	10,811	5,000	1,639	1,058
3,620	11,912	5,000	1,720	1,058
2,710	21,858	4,999	2,391	1,058
Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
1,710	32,646	4,999	2,985	1,058
0,710	43,298	4,999	3,444	1,058
-0,290	53,844	4,998	3,796	1,058
-1,290	64,307	4,998	4,067	1,058
-2,290	74,711	4,998	4,279	1,058
-2,690	78,859	4,998	4,351	1,058
-3,190	84,035	4,998	4,432	1,058
-3,700	89,305	4,998	4,505	1,058
-4,700	99,617	4,998	4,627	1,058
-5,700	109,905	4,998	4,726	1,058
-6,700	120,173	4,998	4,807	1,058
-7,700	130,425	4,999	4,873	1,058
-8,700	140,665	4,999	4,927	1,058
-9,700	150,895	5,000	4,972	1,057
-10,000	153,962	5,000	4,984	1,057
-10,000	153,962	5,000	4,984	1,057
-12,000	174,405	5,000	5,047	1,057
-13,000	184,618	5,000	5,070	1,057
-14,000	194,826	5,000	5,089	1,057
-16,000	215,233	5,000	5,115	1,057

-18,000	235,628	5,000	5,130	1,057
-20,000	256,014	5,000	5,136	1,057
-22,000	276,394	5,000	5,136	1,057
-24,000	296,769	5,000	5,131	1,057
-26,000	317,140	5,000	5,122	1,057
-28,000	337,507	5,000	5,110	1,057
-30,000	357,873	5,000	5,095	1,057
-35,000	408,778	5,000	5,050	1,057
-40,000	459,675	5,000	4,997	1,057
-45,000	510,568	5,000	4,940	1,056
-50,000	561,456	5,000	4,879	1,056
-50,000	561,457	5,000	4,879	1,056
-55,000	597,343	5,000	4,815	0,528
-60,000	633,227	5,000	4,750	0,000

Resultaat voor Verticaal 6 (X = 677,47 m; Z = 0,00 m)

Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
-0,880	1,487	-0,880	1,486	1,051
-0,980	2,489	-0,980	0,688	1,051
-1,037	3,070	-1,037	0,243	1,051
-1,080	3,510	-1,037	0,243	1,051
-1,180	4,529	-1,037	0,242	1,051
-1,280	5,548	-1,037	0,241	1,051
-1,380	6,565	-1,038	0,238	1,050
-1,480	7,582	-1,038	0,235	1,050
-1,580	8,599	-1,038	0,231	1,050
-1,680	9,615	-1,038	0,227	1,050
-1,780	10,632	-1,038	0,223	1,050
-1,880	11,648	-1,038	0,220	1,050
-2,740	20,397	-1,039	0,193	1,050
-3,740	30,575	-1,041	0,167	1,050
-4,740	40,750	-1,042	0,141	1,050
-5,440	47,870	-1,042	0,123	1,050
-6,400	57,630	-1,043	0,099	1,050
Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
-7,400	67,791	-1,042	0,075	1,050
-8,400	77,946	-1,041	0,052	1,050
-9,400	88,093	-1,039	0,031	1,050
-10,000	94,177	-1,037	0,018	1,050

-10,000	94,177	-1,037	0,018	1,050
-12,000	114,519	-1,037	-0,020	1,050
-13,000	124,691	-1,037	-0,037	1,050
-14,000	134,865	-1,037	-0,053	1,050
-15,000	145,040	-1,037	-0,069	1,050
-16,000	155,216	-1,037	-0,083	1,050
-17,000	165,392	-1,037	-0,096	1,049
-18,000	175,570	-1,037	-0,109	1,049
-19,000	185,748	-1,037	-0,121	1,049
-20,000	195,926	-1,037	-0,132	1,049
-22,000	216,285	-1,037	-0,153	1,049
-24,000	236,646	-1,037	-0,172	1,049
-26,000	257,009	-1,037	-0,190	1,049
-28,000	277,373	-1,037	-0,206	1,049
-30,000	297,738	-1,037	-0,221	1,049
-35,000	348,654	-1,037	-0,254	1,049
-36,600	364,948	-1,037	-0,264	1,049
-38,600	385,317	-1,037	-0,276	1,049
-40,000	399,575	-1,037	-0,284	1,049
-45,000	450,499	-1,037	-0,310	1,049
-50,000	501,425	-1,037	-0,334	1,049
-50,000	501,425	-1,037	-0,334	1,049
-55,000	537,353	-1,037	-0,355	0,525
-60,000	574,508	-1,037	0,850	0,000

Resultaat voor Verticaal 7 (X = 791,47 m; Z = 0,00 m)

Diepte	Effectieve Spanning	Stijg-hoogte	Belasting	Zetting
[m]	[kPa]	[m]	[kPa]	[m]
-10,000	0,018	-10,000	0,017	1,049
-10,100	1,036	-10,000	0,017	1,049
-10,200	2,056	-10,000	0,018	1,049
-10,300	3,075	-10,000	0,018	1,049
-10,400	4,094	-10,000	0,018	1,049
-10,500	5,114	-10,000	0,019	1,049
-10,600	6,134	-10,000	0,020	1,049
-10,700	7,154	-10,000	0,021	1,049
-10,800	8,174	-10,000	0,022	1,049
-10,900	9,194	-10,000	0,023	1,049
-11,000	10,214	-10,000	0,024	1,049
-12,000	20,421	-10,000	0,041	1,049
-13,000	30,630	-10,000	0,060	1,049
-14,000	40,839	-10,000	0,079	1,049
-15,000	51,048	-10,000	0,098	1,049

-16,000	61,255	-10,000	0,115	1,049
-17,000	71,461	-10,000	0,131	1,049
-18,000	81,666	-10,000	0,146	1,049
-19,000	91,870	-10,000	0,160	1,049
-20,000	102,072	-10,000	0,172	1,049
-21,000	112,273	-10,000	0,183	1,049
-22,000	122,473	-10,000	0,193	1,049
-23,000	132,672	-10,000	0,202	1,049

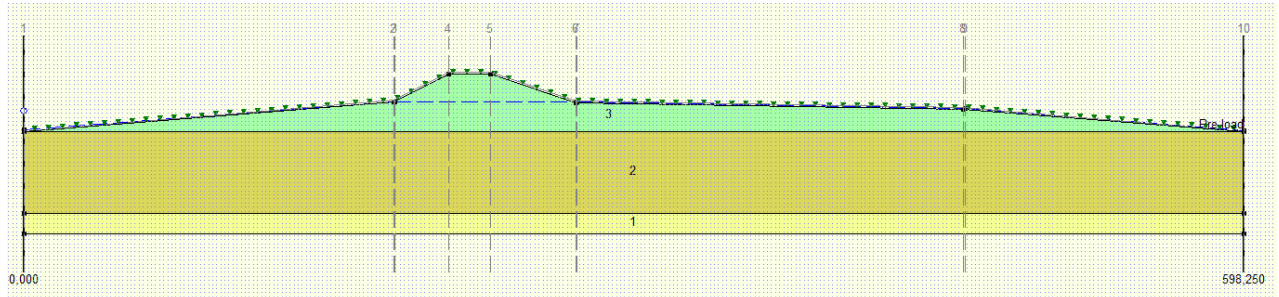
Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
-24,000	142,870	-10,000	0,210	1,049
-25,000	153,067	-10,000	0,217	1,049
-26,000	163,264	-10,000	0,224	1,049
-27,000	173,460	-10,000	0,230	1,049
-28,000	183,656	-10,000	0,236	1,049
-29,000	193,851	-10,000	0,241	1,049
-30,000	204,046	-10,000	0,246	1,049
-32,000	224,434	-10,000	0,254	1,049
-34,000	244,822	-10,000	0,262	1,049
-36,000	265,208	-10,000	0,268	1,049
-38,000	285,594	-10,000	0,274	1,049
-40,000	305,979	-10,000	0,279	1,049
-42,000	326,364	-10,000	0,284	1,049
-44,000	346,748	-10,000	0,288	1,049
-46,000	367,132	-10,000	0,292	1,049
-48,000	387,516	-10,000	0,296	1,049
-50,000	407,899	-10,000	0,299	1,049
-50,000	407,899	-10,000	0,299	1,049
-55,000	443,856	-10,000	0,306	0,524
-60,000	479,812	-10,000	0,312	0,000

Zettingen

Verticaal nummer	X-coördinaat [m]	Z-coördinaat [m]	Maaiveld [m]	Zetting [m]
1	0,00	0,00	-10,00	1,049
2	181,25	0,00	4,50	1,060
3	208,25	0,00	18,00	1,054
4	237,33	0,00	18,00	1,054
5	277,47	0,00	4,62	1,059
6	677,47	0,00	-0,88	1,051
7	791,47	0,00	-10,00	1,049

Einde Rapport

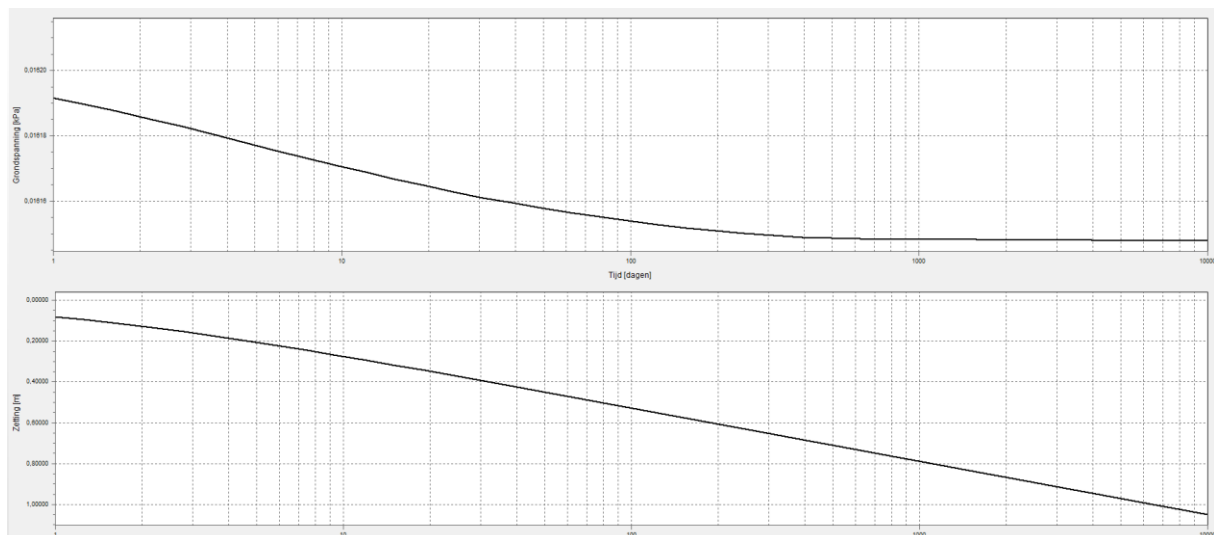
Bijlage 10: Zettingsrapport duin West



Figuur 82; model (Deltares, 2020a).

Verticaal nummer	X-coördinaat [m]	Z-coördinaat [m]	Maaiveld [m]	Zetting [m]
1	0,00	0,00	-10,00	1,050
2	181,25	0,00	4,50	1,076
3	182,03	0,00	4,89	1,075
4	208,25	0,00	18,00	1,064
5	228,75	0,00	18,00	1,065
6	270,75	0,00	4,00	1,077
7	271,14	0,00	3,99	1,077
8	460,75	0,00	1,00	1,070
9	461,54	0,00	0,94	1,070
10	598,25	0,00	-10,00	1,050

Figuur 83; Zetting (Deltares, 2020a).



Figuur 84; zetting na 30.000 dagen (Deltares, 2020a).

Rapport voor D-Settlement 18.2 (Deltares, 2020a)

Zettingsberekeningen

Ontwikkeld door Deltares

Bedrijfsnaam: De Haagse Hogeschool

Datum van rapport: 17-2-2020

Tijd van rapport: 1:03:53 PM

Rapport met versie: 18.2.1.20481

Datum van berekening: 17-2-2020

Tijd van berekening: 1:02:25 PM

Berekend met versie: 18.2.1.20481

Bestandsnaam: E:\..\Afstuderen\5. Ontwerpen\D settlement\Duin West 2.0

Projectbeschrijving: Duin West

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	4
Inleiding	9
Probleemstelling	10
Doelstelling	10
Onderzoeksvraag met deelvragen	11
Werkwijze	11
1. Waterveiligheid Nederland	12
1.1 Nederland: waterland	12
1.2 Klimaat	13
1.3 Risicomanagement	15
1.4 Oplossingen	16
2. Eén idee met 3 oplossingen: Delta21	21
2.1 Het project	21
2.2 Waterveiligheid	23
2.3 Energieopslag	23
2.4 Natuurherstel	23
2.5 De duinenrij	24
3. Programma van Eisen	25

3.1	Eisen	25
3.2	Randvoorwaarden	26
3.2	Uitgangspunten	30
3.3	Aanname	31
4.	Varianten	33
4.1	Variant 1: Duin volledig met zand	33
4.1.1	Ontwerp: duin Noord	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.1.2	Ontwerp: duin West	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.1.3	Zetting	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.1.4	Gesloten grondbalans	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.2	Variant 2: Duin met een hangend strand	42
5.	Kostenraming	52
6.	Multi Criteria Analyse	52
	Conclusie	63
	Aanbeveling	65
	Bibliografie	69
	Bijlagen	73
	Bijlage 1: Werkplan	73
	Bijlage 2: Reflectieverslag	89
	Bijlage 3: Geotechnisch en hydraulische randvoorwaarden	91
	Bijlage 4: Berekening golfoploop	108
	Bijlage 5: Berekening opwaaiing	110
	Bijlage 6: Ondergrond Delta21 AutoCad	111
	Bijlage 7: Zettingsrapport duin Noord	112
	Bijlage 8: Zettingsrapport duin West	130
	Bijlage 9: Zettingshoeveelheden	150
	Bijlage 10: D_{n50} berekening	151

Weergave van de Invoer

Laagscheidingen

Laagscheidingnummer	Coördinaten [n]				
3 - X -	0,000	181,250	208,250	228,750	270,750

3 - Y -	- 10,000	4,500	18,000	18,000	4,000
3 - X -	460,750	598,250			
3 - Y -	1,000	- 10,000			
2 - X -	0,000	598,250			
2 - Y -	- 10,000	- 10,000			
1 - X -	0,000	598,250			
1 - Y -	- 50,000	- 50,000			
0 - X -	0,000	598,250			
0 - Y -	- 60,000	- 60,000			

PN-lijnen

PN-lijnummer	Coördinaten [n]				
1 - X -	0,000	182,027	271,142	461,543	598,250
1 - Y -	- 9,133	4,778	4,343	1,300	- 9,568

Algemene Gegevens

Grondmodel:	NEN Bjerrum
Consolidatiemodel:	Darcy
Rekmodel:	Lineair
Grondwaterniveau:	Initiëel bepaald door PN-lijnummer 1
Volumiek gewicht grondwater:	9,81 [kN/m ³]

Spanningsspreiding

- Grond: Buisman
- Belastingen: Simuleren

Einde consolidatie: 10000,00 [dagen]

Geen onderhouden hoogte

Pg (initiëel):	Variabel evenwijdig aan de initiële grondspanning
Pg (Per stap):	Automatisch verhoogd tot de uiteindelijke grondspanning
Kruipsnelheid referentietijd:	1,000 [dagen]

Geen denkbeeldig maaiveld

Met onderwaterzakken

(alleen voor niet-uniforme belastingen)

- Criterium einde iteratie : 0,10 [m]

Breedte belastingkolom

- Niet-Uniforme Belastingen : 1,00 [m]
- Trapeziumvormige Belastingen : 1,00 [m]

Grondprofielen

Laag nummer	Materiaalnaam	PN-lijn boven	PN-lijn onder
3	Sand	1	1
2	SAND 2	1	1
1	Medium Clay	1	1

Grondeigenschappen

Laag nummer	Gedraineerd	Volumiek gewicht			
		Onverzadigd [kN/m ³]	Verzadigd [kN/m ³]		
3	Nee	18,00	20,00		
Laag nummer	Gedraineerd	Volumiek gewicht			
		Onverzadigd [kN/m ³]	Verzadigd [kN/m ³]		
2	Ja	18,00	20,00		
1	Ja	17,00	17,00		
Laag nummer	Berging type	Vert. consolid. coëfficiënt Cv [m ² /s]	Verticale doorlatendheid [m/s]	Doorlatendheid rek modulus [-]	Initieel verticale doorlatendheid [m/s]
3	Vert. kons.	1,00E-08	-	-	-
2	Vert. kons.	-	-	-	-
1	Konst. perm.	-	5,787E-07	-	-

Laag nummer	POP [kN/m ²]	OCR [-]	Equiv. age [dagen]			
3	-	1,00	-			
2	-	1,00	-			
1	0,00	-	-			
Laag nummer	Secundaire zwelling type	Secundaire zwelling factor[-]	Spanning ontlasting ratio[-]			
3	Volledig	-	-			
2	Volledig	-	-			
1	Volledig	-	-			
Laag nummer	Herbelasting/ zwel-ratio RR [-]	Compressie- ratio CR [-]	Sec. comp.- coëfficiënt Ca [-]	Herbelasting / zwel-index Cr [-]	Compressie- index Cc [-]	Init. porië n- getal (e0) [-]
3	0,0001000	0,0023000	0,0000000	-	-	-
2	0,0001000	0,0023000	0,0000000	-	-	-
1	0,1320000	0,2370000	0,0262000	-	-	-

Niet-Uniforme Belastingen

Belasting nummer	Tijd [dagen]	Volumiek gewicht					
		Onverzadigd [kN/m ³]	Verzadigd [kN/m ³]				
1	0	18,00	20,00				
Belastingnummer		Coördinaten [m]					
1 - X -		0,00	181,25	208,25	228,75	270,75	460,75
1 - Y -		-10,00	5,50	19,00	19,00	5,00	2,00
1 - X -		598,25					
1 - Y -		-10,00					

Verticalen

Verticaalnummer	X-coördinaten [m]				
1 - 5	0,000	181,250	182,027	208,250	228,750
6 - 10	270,750	271,142	460,750	461,543	598,250

Discretisatie = 100

Resultaat per Verticaal

Resultaat voor Verticaal 1 (X = 0,00 m; Z = 0,00 m)

Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
-10,000	0,016	-9,133	0,015	1,050
-10,100	1,034	-9,133	0,015	1,050
-10,200	2,053	-9,133	0,015	1,050
-10,300	3,073	-9,133	0,016	1,050
-10,400	4,092	-9,133	0,016	1,050
-10,500	5,112	-9,133	0,017	1,050
-10,600	6,132	-9,133	0,018	1,050
-10,700	7,152	-9,133	0,019	1,050
-10,800	8,172	-9,133	0,020	1,050
-10,900	9,192	-9,133	0,021	1,050
-11,000	10,212	-9,133	0,022	1,050
-12,000	20,417	-9,133	0,037	1,050
-13,000	30,624	-9,133	0,054	1,050
-14,000	40,830	-9,133	0,070	1,050
-15,000	51,037	-9,133	0,087	1,050
-16,000	61,244	-9,133	0,104	1,050
-17,000	71,451	-9,133	0,121	1,050
-18,000	81,658	-9,133	0,138	1,050
-19,000	91,865	-9,133	0,155	1,050
-20,000	102,072	-9,133	0,172	1,050
-21,000	112,279	-9,133	0,189	1,050
-22,000	122,486	-9,133	0,206	1,050
-23,000	132,693	-9,133	0,223	1,050
-24,000	142,900	-9,133	0,240	1,050
-25,000	153,106	-9,133	0,256	1,050
-26,000	163,313	-9,133	0,273	1,050
-27,000	173,520	-9,133	0,290	1,050
-28,000	183,727	-9,133	0,307	1,050
-29,000	193,934	-9,133	0,324	1,050

-30,000	204,141	-9,133	0,341	1,050
-32,000	224,555	-9,133	0,375	1,050
-34,000	244,969	-9,133	0,409	1,050
-36,000	265,382	-9,133	0,442	1,050
-38,000	285,796	-9,133	0,476	1,050
-40,000	306,210	-9,133	0,510	1,050
-42,000	326,624	-9,133	0,544	1,050
-44,000	347,038	-9,133	0,578	1,050
-46,000	367,452	-9,133	0,612	1,050
-48,000	387,865	-9,133	0,645	1,050
-50,000	408,279	-9,133	0,679	1,050
-50,000	408,279	-9,133	0,679	1,050
-55,000	444,314	-9,133	0,764	0,525
-60,000	480,348	-9,133	0,848	0,000

Resultaat voor Verticaal 2 (X = 181,25 m; Z = 0,00 m)

Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
4,500	13,239	4,719	13,238	1,076
Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
4,400	14,502	4,731	13,603	1,076
4,300	15,565	4,744	13,776	1,075
4,200	16,642	4,758	13,972	1,075
4,100	17,768	4,773	14,226	1,075
4,000	18,877	4,789	14,472	1,075
3,900	19,940	4,806	14,680	1,075
3,800	20,956	4,823	14,847	1,075
3,700	21,931	4,841	14,981	1,075
3,600	22,874	4,860	15,090	1,074
3,500	23,793	4,879	15,179	1,074
2,650	31,095	5,061	15,600	1,074
1,650	39,219	5,294	15,822	1,073
0,650	47,277	5,521	15,916	1,073
-0,350	55,544	5,719	15,940	1,073
-1,350	64,190	5,875	15,922	1,073
-2,350	73,315	5,979	15,880	1,073
-2,750	77,119	6,005	15,858	1,073
-3,700	86,497	6,030	15,799	1,073

-4,700	96,939	5,997	15,729	1,073
-5,700	108,008	5,900	15,655	1,073
-6,700	119,743	5,734	15,577	1,073
-7,700	132,163	5,499	15,497	1,073
-8,700	145,241	5,196	15,418	1,073
-9,700	158,884	4,836	15,338	1,073
-10,000	163,069	4,719	15,314	1,073
-10,000	163,069	4,719	15,314	1,073
-12,000	183,292	4,719	15,157	1,072
-13,000	193,405	4,719	15,080	1,072
-14,000	203,520	4,719	15,005	1,072
-16,000	223,753	4,719	14,858	1,072
-18,000	243,994	4,719	14,719	1,072
-20,000	264,240	4,719	14,585	1,072
-22,000	284,494	4,719	14,459	1,072
-24,000	304,753	4,719	14,338	1,071
-26,000	325,018	4,719	14,223	1,071
-28,000	345,288	4,719	14,113	1,071
-30,000	365,563	4,719	14,008	1,071
-35,000	416,271	4,719	13,766	1,071
-40,000	467,003	4,719	13,548	1,071
-45,000	517,754	4,719	13,349	1,071
-50,000	568,520	4,719	13,165	1,070
-50,000	568,520	4,719	13,165	1,070
-55,000	604,299	4,719	12,994	0,535
-60,000	640,087	4,719	12,832	0,000

Resultaat voor Verticaal 3 (X = 182,03 m; Z = 0,00 m)

Diepte	Effectieve Spanning	Stijg-hoogte	Belasting	Zetting
[m]	[kPa]	[m]	[kPa]	[m]
4,888	14,140	4,888	14,139	1,075
4,788	15,917	4,802	14,247	1,074
4,778	16,106	4,793	14,261	1,074
4,689	17,671	4,806	15,040	1,074
4,588	18,811	4,821	15,313	1,074
4,489	19,909	4,837	15,552	1,074
4,388	20,945	4,854	15,737	1,074
Diepte	Effectieve Spanning	Stijg-hoogte	Belasting	Zetting
[m]	[kPa]	[m]	[kPa]	[m]

4,288	21,910	4,872	15,858	1,074
4,189	22,813	4,891	15,924	1,073
4,088	23,672	4,910	15,953	1,073
3,989	24,505	4,930	15,960	1,073
3,889	25,326	4,950	15,961	1,073
3,389	29,397	5,057	15,987	1,073
2,844	33,759	5,182	16,028	1,072
1,844	41,619	5,417	16,006	1,072
0,844	49,550	5,638	15,915	1,072
-0,156	57,788	5,826	15,801	1,072
-1,156	66,460	5,968	15,680	1,072
-2,156	75,630	6,060	15,557	1,072
-2,556	79,449	6,081	15,509	1,072
-3,100	84,779	6,096	15,443	1,072
-3,700	90,838	6,094	15,371	1,072
-4,700	101,371	6,047	15,255	1,072
-5,700	112,488	5,941	15,141	1,072
-6,700	124,225	5,772	15,031	1,072
-7,700	136,603	5,538	14,924	1,071
-8,700	149,599	5,242	14,820	1,071
-9,700	163,124	4,892	14,720	1,071
-10,000	167,267	4,778	14,690	1,071
-10,000	167,267	4,778	14,690	1,071
-12,000	187,458	4,778	14,501	1,071
-13,000	197,558	4,778	14,411	1,071
-14,000	207,661	4,778	14,324	1,071
-16,000	227,875	4,778	14,158	1,071
-18,000	248,099	4,778	14,003	1,071
-20,000	268,333	4,778	13,856	1,070
-22,000	288,575	4,778	13,718	1,070
-24,000	308,825	4,778	13,588	1,070
-26,000	329,082	4,778	13,465	1,070
-28,000	349,346	4,778	13,349	1,070
-30,000	369,615	4,778	13,238	1,070
-35,000	420,312	4,778	12,985	1,070
-40,000	471,035	4,778	12,758	1,070
-45,000	521,780	4,778	12,553	1,069
-50,000	572,541	4,778	12,364	1,069
-50,000	572,541	4,778	12,364	1,069
-55,000	608,316	4,778	12,189	0,534
-60,000	644,964	4,778	12,887	0,000

Resultaat voor Verticaal 4 (X = 208,25 m; Z = 0,00 m)

Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
18,000	17,488	18,000	17,487	1,064
17,900	19,690	17,911	17,995	1,064
17,800	21,052	17,822	17,671	1,064
17,700	21,784	17,735	16,723	1,064
17,600	22,357	17,647	15,619	1,063
17,500	23,351	17,560	14,940	1,063
17,400	25,160	17,474	15,082	1,063
17,300	27,299	17,388	15,563	1,063
17,200	29,405	17,304	16,022	1,063
17,100	31,385	17,220	16,365	1,063
Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
17,000	33,240	17,138	16,591	1,063
16,650	39,085	16,854	16,790	1,063
15,650	54,632	16,077	16,519	1,062
14,650	70,187	15,320	16,460	1,062
13,650	85,856	14,555	16,436	1,062
12,650	101,821	13,761	16,421	1,062
11,650	118,188	12,926	16,408	1,062
10,650	134,989	12,047	16,395	1,062
9,650	152,198	11,126	16,381	1,062
8,650	169,768	10,168	16,364	1,062
7,650	187,646	9,179	16,345	1,062
6,650	205,798	8,161	16,324	1,062
5,650	223,907	7,119	16,021	1,062
4,650	234,610	6,064	8,186	1,062
4,000	241,588	6,027	8,168	1,062
2,000	263,130	5,902	8,113	1,062
1,000	273,945	5,836	8,083	1,062
0,000	284,789	5,766	8,054	1,062
-1,000	295,663	5,693	8,025	1,062
-2,000	306,569	5,617	7,995	1,062
-4,000	328,478	5,456	7,937	1,062
-6,000	350,836	5,248	7,881	1,062
-8,000	373,894	4,970	7,826	1,062

-10,000	397,355	4,650	7,771	1,062
-10,000	397,355	4,650	7,771	1,062
-15,000	448,167	4,650	7,634	1,062
-16,600	464,426	4,650	7,588	1,062
-18,600	484,747	4,650	7,529	1,062
-20,000	498,970	4,650	7,487	1,062
-25,000	549,761	4,650	7,328	1,061
-30,000	600,542	4,650	7,159	1,061
-35,000	651,316	4,650	6,982	1,061
-40,000	702,085	4,650	6,802	1,061
-45,000	752,852	4,650	6,619	1,061
-50,000	803,619	4,650	6,435	1,061
-50,000	803,619	4,650	6,435	1,061
-55,000	843,418	4,650	10,284	0,531
-60,000	883,234	4,650	14,150	0,000

Resultaat voor Verticaal 5 (X = 228,75 m; Z = 0,00 m)

Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
18,000	16,499	18,000	16,498	1,065
17,900	19,097	17,911	17,400	1,064
17,800	21,379	17,822	18,000	1,064
17,700	23,050	17,736	17,999	1,064
17,600	24,705	17,650	17,991	1,064
17,500	26,334	17,564	17,965	1,064
17,400	27,926	17,480	17,911	1,064
17,300	29,479	17,396	17,825	1,064
17,200	30,999	17,314	17,714	1,064
17,100	32,499	17,231	17,589	1,064
17,000	33,993	17,150	17,464	1,063
16,550	40,821	16,790	17,079	1,063
15,550	56,358	16,023	16,899	1,063
Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
14,550	71,874	15,273	16,865	1,063
13,550	87,526	14,511	16,849	1,063
12,550	103,499	13,716	16,837	1,063
11,550	119,889	12,879	16,825	1,062
10,550	136,718	11,997	16,811	1,062

9,550	153,955	11,073	16,794	1,062
8,550	171,547	10,112	16,774	1,062
7,550	189,444	9,121	16,751	1,062
6,550	207,611	8,101	16,724	1,062
5,550	225,728	7,057	16,412	1,062
4,550	236,440	6,001	8,569	1,062
4,000	242,348	5,968	8,551	1,062
2,000	263,903	5,841	8,479	1,062
1,000	274,724	5,772	8,441	1,062
0,000	285,575	5,701	8,402	1,062
-1,000	296,456	5,627	8,363	1,062
-2,000	307,370	5,549	8,324	1,062
-4,000	329,296	5,383	8,248	1,062
-6,000	351,693	5,170	8,173	1,062
-8,000	374,832	4,882	8,102	1,062
-10,000	398,400	4,550	8,035	1,062
-10,000	398,400	4,550	8,035	1,062
-15,000	449,198	4,550	7,883	1,062
-16,600	465,456	4,550	7,837	1,062
-18,600	485,781	4,550	7,782	1,062
-20,000	500,009	4,550	7,744	1,062
-25,000	550,822	4,550	7,607	1,062
-30,000	601,632	4,550	7,467	1,062
-35,000	652,433	4,550	7,318	1,062
-40,000	703,226	4,550	7,161	1,061
-45,000	754,010	4,550	6,995	1,061
-50,000	804,789	4,550	6,824	1,061
-50,000	804,789	4,550	6,824	1,061
-55,000	844,598	4,550	10,683	0,532
-60,000	884,419	4,550	14,554	0,000

Resultaat voor Verticaal 6 (X = 270,75 m; Z = 0,00 m)

Diepte	Effectieve Spanning	Stijg-hoogte	Belasting	Zetting
[m]	[kPa]	[m]	[kPa]	[m]
4,000	11,288	4,345	11,287	1,077
3,900	12,360	4,354	11,434	1,077
3,800	13,418	4,365	11,573	1,077
3,700	14,474	4,376	11,718	1,077
3,600	15,527	4,387	11,867	1,077
3,500	16,571	4,400	12,015	1,077

3,400	17,599	4,413	12,154	1,076
3,300	18,610	4,427	12,282	1,076
3,200	19,601	4,442	12,398	1,076
3,100	20,575	4,457	12,501	1,076
3,000	21,534	4,473	12,595	1,076
2,000	30,591	4,653	13,237	1,076
1,000	39,207	4,857	13,662	1,075
0,000	47,746	5,058	13,977	1,075
-1,000	56,443	5,234	14,212	1,075
-2,000	65,460	5,371	14,389	1,075
Diepte	Effectieve	Stijg-	Belasting	Zetting
	Spanning	hoogte		
[m]	[kPa]	[m]	[kPa]	[m]
-3,000	74,909	5,460	14,522	1,075
-4,000	84,867	5,494	14,623	1,075
-5,000	95,393	5,468	14,698	1,075
-6,000	106,542	5,376	14,755	1,075
-7,000	118,352	5,215	14,796	1,075
-8,000	130,831	4,985	14,826	1,074
-9,000	143,927	4,690	14,846	1,074
-10,000	157,518	4,345	14,858	1,074
-10,000	157,518	4,345	14,858	1,074
-12,000	177,904	4,345	14,864	1,074
-13,000	188,090	4,345	14,860	1,074
-14,000	198,272	4,345	14,852	1,074
-15,000	208,451	4,345	14,841	1,074
-16,000	218,627	4,345	14,827	1,074
-18,000	238,974	4,345	14,794	1,074
-20,000	259,313	4,345	14,753	1,073
-22,000	279,648	4,345	14,708	1,073
-24,000	299,980	4,345	14,660	1,073
-26,000	320,309	4,345	14,609	1,073
-28,000	340,636	4,345	14,556	1,073
-30,000	360,963	4,345	14,503	1,073
-35,000	411,778	4,345	14,368	1,073
-40,000	462,593	4,345	14,233	1,072
-45,000	513,412	4,345	14,102	1,072
-50,000	564,235	4,345	13,975	1,072
-50,000	564,235	4,345	13,975	1,072
-55,000	600,062	4,345	13,852	0,536
-60,000	635,893	4,345	13,733	0,000

Resultaat voor Verticaal 7 (X = 271,14 m; Z = 0,00 m)

Diepte	Effectieve Spanning	Stijg- hoogte	Belasting	Zetting
[m]	[kPa]	[m]	[kPa]	[m]
3,994	10,583	4,343	10,582	1,077
3,894	11,815	4,352	10,882	1,077
3,794	13,068	4,361	11,211	1,077
3,694	14,252	4,372	11,481	1,077
3,594	15,339	4,384	11,661	1,077
3,494	16,358	4,396	11,780	1,076
3,394	17,339	4,409	11,868	1,076
3,294	18,301	4,422	11,944	1,076
3,194	19,254	4,436	12,015	1,076
3,094	20,200	4,451	12,086	1,076
2,994	21,140	4,466	12,157	1,076
1,997	30,217	4,641	12,790	1,075
0,997	38,931	4,840	13,264	1,075
-0,003	47,554	5,036	13,621	1,075
-1,003	56,315	5,209	13,894	1,075
-2,003	65,379	5,345	14,103	1,075
-3,003	74,858	5,434	14,264	1,075
-4,000	84,799	5,469	14,389	1,075
-5,000	95,326	5,445	14,485	1,075
-6,000	106,464	5,355	14,560	1,075
-7,000	118,255	5,198	14,617	1,075
-8,000	130,705	4,972	14,660	1,074
-9,000	143,765	4,683	14,692	1,074
Diepte	Effectieve Spanning	Stijg- hoogte	Belasting	Zetting
[m]	[kPa]	[m]	[kPa]	[m]
-10,000	157,312	4,343	14,715	1,074
-10,000	157,312	4,343	14,715	1,074
-12,000	177,716	4,343	14,739	1,074
-13,000	187,909	4,343	14,742	1,074
-14,000	198,098	4,343	14,741	1,074
-15,000	208,284	4,343	14,737	1,074
-16,000	218,466	4,343	14,729	1,074
-18,000	238,822	4,343	14,705	1,074
-20,000	259,170	4,343	14,673	1,073
-22,000	279,512	4,343	14,635	1,073

-24,000	299,850	4,343	14,593	1,073
-26,000	320,184	4,343	14,548	1,073
-28,000	340,517	4,343	14,500	1,073
-30,000	360,848	4,343	14,451	1,073
-35,000	411,671	4,343	14,324	1,073
-40,000	462,493	4,343	14,196	1,072
-45,000	513,317	4,343	14,070	1,072
-50,000	564,144	4,343	13,947	1,072
-50,000	564,144	4,343	13,947	1,072
-55,000	599,975	4,343	13,828	0,536
-60,000	635,808	4,343	13,711	0,000

Resultaat voor Verticaal 8 (X = 460,75 m; Z = 0,00 m)

Diepte [m]	Effectieve Spanning [kPa]	Stijg- hoogte [m]	Belasting [kPa]	Zetting [m]
1,000	10,096	1,313	10,095	1,070
0,900	11,218	1,319	10,260	1,070
0,800	12,171	1,326	10,262	1,069
0,700	13,114	1,333	10,257	1,069
0,600	14,044	1,341	10,245	1,069
0,500	14,962	1,349	10,225	1,069
0,400	15,872	1,358	10,203	1,069
0,300	16,780	1,367	10,182	1,069
0,200	17,688	1,377	10,164	1,069
0,100	18,595	1,387	10,150	1,069
0,000	19,503	1,397	10,140	1,069
-0,900	27,616	1,502	10,112	1,068
-1,900	36,546	1,629	10,099	1,068
-2,900	45,588	1,745	10,085	1,068
-3,900	54,929	1,830	10,070	1,068
-4,500	60,740	1,860	10,061	1,068
-5,500	70,805	1,871	10,046	1,067
-6,500	81,384	1,830	10,031	1,067
-7,500	92,474	1,736	10,016	1,067
-8,500	104,031	1,595	10,000	1,067
-9,500	115,977	1,415	9,984	1,067
-10,000	122,067	1,313	9,977	1,067
-10,000	122,067	1,313	9,977	1,067
-12,000	142,415	1,313	9,945	1,067
-13,000	152,590	1,313	9,930	1,067

-14,000	162,764	1,313	9,914	1,067
-15,000	172,938	1,313	9,898	1,067
-16,000	183,112	1,313	9,882	1,067
-17,000	193,287	1,313	9,867	1,066
-18,000	203,461	1,313	9,851	1,066
Diepte	Effectieve Spanning	Stijg-hoogte	Belasting	Zetting
[m]	[kPa]	[m]	[kPa]	[m]
-20,000	223,810	1,313	9,820	1,066
-22,000	244,158	1,313	9,788	1,066
-24,000	264,507	1,313	9,757	1,066
-26,000	284,855	1,313	9,725	1,066
-28,000	305,204	1,313	9,694	1,066
-30,000	325,553	1,313	9,663	1,066
-35,000	376,425	1,313	9,585	1,066
-40,000	427,298	1,313	9,508	1,065
-45,000	478,171	1,313	9,431	1,065
-50,000	529,045	1,313	9,355	1,065
-50,000	529,045	1,313	9,355	1,065
-55,000	564,919	1,313	9,279	0,532
-60,000	600,794	1,313	9,204	0,000

Resultaat voor Verticaal 9 (X = 461,54 m; Z = 0,00 m)

Diepte	Effectieve Spanning	Stijg-hoogte	Belasting	Zetting
[m]	[kPa]	[m]	[kPa]	[m]
0,937	10,124	1,300	10,123	1,070
0,837	11,291	1,306	10,334	1,070
0,737	12,249	1,313	10,339	1,069
0,637	13,202	1,320	10,345	1,069
0,537	14,147	1,328	10,348	1,069
0,437	15,081	1,336	10,344	1,069
0,337	16,005	1,345	10,335	1,069
0,237	16,920	1,354	10,321	1,069
0,137	17,829	1,364	10,304	1,069
0,037	18,733	1,374	10,287	1,069
-0,063	19,634	1,384	10,270	1,069
-0,932	27,403	1,485	10,178	1,068
-1,932	36,309	1,611	10,129	1,068
-2,932	45,344	1,725	10,098	1,068
-3,932	54,683	1,810	10,074	1,068

-4,532	60,493	1,839	10,061	1,068
-5,500	70,231	1,850	10,042	1,067
-6,500	80,792	1,811	10,023	1,067
-7,500	91,863	1,719	10,005	1,067
-8,500	103,400	1,580	9,988	1,067
-9,500	115,326	1,401	9,970	1,067
-10,000	121,405	1,300	9,962	1,067
-10,000	121,406	1,300	9,962	1,067
-12,000	141,752	1,300	9,928	1,067
-13,000	151,926	1,300	9,912	1,067
-14,000	162,099	1,300	9,896	1,067
-15,000	172,273	1,300	9,879	1,067
-16,000	182,447	1,300	9,863	1,067
-17,000	192,620	1,300	9,847	1,066
-18,000	202,794	1,300	9,831	1,066
-20,000	223,142	1,300	9,798	1,066
-22,000	243,490	1,300	9,766	1,066
-24,000	263,838	1,300	9,735	1,066
-26,000	284,186	1,300	9,703	1,066
-28,000	304,535	1,300	9,671	1,066
-30,000	324,883	1,300	9,640	1,066
-35,000	375,755	1,300	9,561	1,066
-40,000	426,627	1,300	9,483	1,065
Diepte	Effectieve Spanning	Stijg-hoogte	Belasting	Zetting
[m]	[kPa]	[m]	[kPa]	[m]
-45,000	477,500	1,300	9,406	1,065
-50,000	528,373	1,300	9,329	1,065
-50,000	528,373	1,300	9,329	1,065
-55,000	564,247	1,300	9,254	0,532
-60,000	600,122	1,300	9,179	0,000

Resultaat voor Verticaal 10 (X = 598,25 m; Z = 0,00 m)

Diepte	Effectieve Spanning	Stijg-hoogte	Belasting	Zetting
[m]	[kPa]	[m]	[kPa]	[m]
-10,000	0,015	-9,568	0,014	1,050
-10,100	1,033	-9,568	0,014	1,050
-10,200	2,052	-9,568	0,014	1,050
-10,300	3,072	-9,568	0,015	1,050
-10,400	4,092	-9,568	0,016	1,050

-10,500	5,112	-9,568	0,017	1,050
-10,600	6,133	-9,568	0,019	1,050
-10,700	7,153	-9,568	0,020	1,050
-10,800	8,174	-9,568	0,022	1,050
-10,900	9,195	-9,568	0,024	1,050
-11,000	10,216	-9,568	0,026	1,050
-12,000	20,427	-9,568	0,047	1,050
-13,000	30,639	-9,568	0,069	1,050
-14,000	40,851	-9,568	0,091	1,050
-15,000	51,063	-9,568	0,113	1,050
-16,000	61,275	-9,568	0,135	1,050
-17,000	71,487	-9,568	0,157	1,050
-18,000	81,699	-9,568	0,179	1,050
-19,000	91,911	-9,568	0,201	1,050
-20,000	102,123	-9,568	0,223	1,050
-21,000	112,335	-9,568	0,245	1,050
-22,000	122,547	-9,568	0,267	1,050
-23,000	132,759	-9,568	0,289	1,050
-24,000	142,971	-9,568	0,311	1,050
-25,000	153,183	-9,568	0,333	1,050
-26,000	163,394	-9,568	0,354	1,050
-27,000	173,606	-9,568	0,376	1,050
-28,000	183,818	-9,568	0,398	1,050
-29,000	194,030	-9,568	0,420	1,050
-30,000	204,241	-9,568	0,441	1,050
-32,000	224,664	-9,568	0,484	1,050
-34,000	245,088	-9,568	0,528	1,050
-36,000	265,511	-9,568	0,571	1,050
-38,000	285,933	-9,568	0,613	1,050
-40,000	306,356	-9,568	0,656	1,050
-42,000	326,778	-9,568	0,698	1,050
-44,000	347,201	-9,568	0,741	1,050
-46,000	367,623	-9,568	0,783	1,050
-48,000	388,044	-9,568	0,824	1,050
-50,000	408,466	-9,568	0,866	1,050
-50,000	408,466	-9,568	0,866	1,050
-55,000	444,519	-9,568	0,969	0,525
-60,000	480,569	-9,568	1,069	0,000

Zettingen

Zettingen

Verticaal nummer	X-coördinaat [m]	Z-coördinaat [m]	Maaiveld [m]	Zetting [m]
1	0,00	0,00	-10,00	1,050
2	181,25	0,00	4,50	1,076
3	182,03	0,00	4,89	1,075
4	208,25	0,00	18,00	1,064
5	228,75	0,00	18,00	1,065
6	270,75	0,00	4,00	1,077
7	271,14	0,00	3,99	1,077
8	460,75	0,00	1,00	1,070
9	461,54	0,00	0,94	1,070
10	598,25	0,00	-10,00	1,050

Einde Rapport

Bijlage 11: Zettingshoeveelheden

+18,0 [m NAP] = 1,0 [m] zetting

+4,62 [m NAP] = 0,52 [m] zetting

+4,5 [m NAP] = 0,52 [m] zetting

+4,0 [m NAP] = 0,50 [m] zetting

+1,0 [m NAP] = 0,39 [m] zetting

-0,88 [m NAP] = 0,33 [m] zetting

-10 [m NAP] = 0,0 [m] zetting

Volume zetting Noord = $258,5293 \text{ [m}^3/\text{m]} * 6600 \text{ [m]} = 1.706.294 \text{ [m}^3\text{]}$

Volume zetting West = $158,2785 \text{ [m}^3/\text{m]} * 8400 \text{ [m]} = 1.329.540 \text{ [m}^3\text{]}$

Totaal = $3.100.000 \text{ [m}^3\text{]}$

Bijlage 12: D_{n50} berekening stortsteenconstructie zeezijde

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = A + B \frac{R_c}{D_{n50}} + C \left(\frac{R_c}{D_{n50}} \right)^2$$

Figuur 85; formule D_{n50} onderwater golfbreker (CIRIA, 2012).

H_s = de golfhoogte: 7,3 [m];

Δ = relatieve dichtheid = $(\rho_{\text{steen}} - \rho_{\text{water}}) / \rho_{\text{water}} = (2650 - 1030) / 1030 = 1,573$ [-];

D_{n50} = de benodigde steendiameter voor de toplaag van de golfbreker [m];

R_c = het aantal meter dat de golfbreker onderwater zit bij een waterniveau van +4,62 [m NAP] en een kruinhoogte van -2 [m NAP]: 6,62 [m];

A, B, C = vastgestelde parameters [-] (CIRIA, 2012);

A = 1,544 [-];

B = -0,230 [-];

C = 0,053 [-].

De berekening:

- $\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = A + B * \frac{R_c}{D_{n50}} + C * \left(\frac{R_c}{D_{n50}} \right)^2$
- Stel $D_{n50} = x$
- $\frac{7,3}{1,573 * x} = 1,544 + -0,23 * \frac{6,62}{x} + 0,053 * \left(\frac{6,62}{x} \right)^2$
- $\frac{4,64}{x} = 1,544 - \frac{1,52}{x} + 0,053 * \left(\frac{6,62}{x} \right)^2$
- $\frac{6,16}{x} = 1,544 + 0,053 * \left(\frac{6,62}{x} \right)^2$
- $\frac{116,22}{x} = 29,13 + \left(\frac{6,62}{x} \right)^2$
- $\frac{116,22}{x} = 29,13 + \left(\frac{43,82}{x^2} \right)$
- Hele formule vermenigvuldigen met x^2
- $116,22x = 29,13x^2 + 43,82$
- $29,13x^2 - 116,22x + 43,82 = 0$
- ABC-formule geeft $x = 3,57$, dat betekent $D_{n50} = 3,57$ [m].

Bijlage 13: D_{n50} berekening stortsteenconstructie meerzijde

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = A + B \frac{R_c}{D_{n50}} + C \left(\frac{R_c}{D_{n50}} \right)^2$$

Figuur 86; formule D_{n50} onderwater golfbreker (CIRIA, 2012).

H_s = de golfhoogte: 2,0 [m];

Δ = relatieve dichtheid = $(\rho_{\text{steen}} - \rho_{\text{water}}) / \rho_{\text{water}} = (2650 - 1030) / 1030 = 1,573$ [-];

D_{n50} = de benodigde steendiameter voor de toplaag van de golfbreker [m];

R_c = het aantal meter dat de golfbreker onderwater zit bij een waterniveau van +4,5 [m NAP] en een kruinhoogte van -2 [m NAP]: 6,5 [m];

A, B, C = vastgestelde parameters [-] (CIRIA, 2012);

A = 1,544 [-];

B = -0,230 [-];

C = 0,053 [-].

De berekening:

➤ $\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = A + B * \frac{R_c}{D_{n50}} + C * \left(\frac{R_c}{D_{n50}} \right)^2$

➤ Stel $D_{n50} = x$

➤ $\frac{2}{1,573 * x} = 1,544 + -0,23 * \frac{6,5}{x} + 0,053 * \left(\frac{6,5}{x} \right)^2$

➤ $\frac{1,27}{x} = 1,544 - \frac{1,5}{x} + 0,053 * \left(\frac{6,5}{x} \right)^2$

➤ $\frac{2,77}{x} = 1,544 + 0,053 * \left(\frac{6,5}{x} \right)^2$

➤ $\frac{52,26}{x} = 29,13 + \left(\frac{6,5}{x} \right)^2$

➤ $\frac{52,26}{x} = 29,13 + \left(\frac{42,25}{x^2} \right)$

➤ Hele formule vermenigvuldigen met x^2

➤ $52,26x = 29,13x^2 + 42,25$

➤ $29,13x^2 - 52,26x + 42,25 = 0$

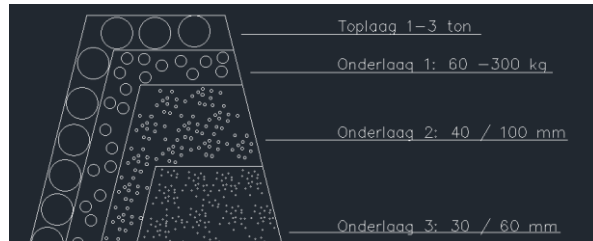
➤ ABC-formule geeft $x = 0,80$, dat betekent $D_{n50} = 0,80$ [m].

Bijlage 14: Berekening onderlagen meerzijde

De stortsteenconstructie heeft een toplaag van 1-3 ton. Met de filterregel van Terzaghi worden de onderlagen bepaald (CIRIA, 2012):

$$\frac{D_{15} \text{ filtermateriaal}}{D_{85} \text{ basismateriaal}} \leq 4,5$$

- Toplaag : 1 – 3 ton
- Onderlaag 1 : 60 – 300 kg
- Onderlaag 2 : 40 / 100 mm
- Onderlaag 3 : 30 / 60 mm



Figuur 87; Stortsteenconstructie.

Gehele uitwerking:

- Onderlaag 1 wordt bepaald door: $M_{50} = \frac{1}{10} \times M_{50, \text{toplaag}} = \frac{1}{10} \times 1995 = 199,5 \text{ kg}$
De figuur van de standaardsteensortering geeft een sortering van **60-300 kg**.
- Onderlaag 2 wordt bepaald door $\frac{D_{15} (60-300 \text{ kg})=0,40}{D_{85} \text{ basismateriaal}} \leq 4,5$
 $D_{85} = 0,088 \text{ meter}$
De figuur van de standaardsteensortering geeft een sortering van **40/100 mm**.
- Onderlaag 3 wordt bepaald door $\frac{D_{15} (40/100 \text{ mm})=0,05}{D_{85} \text{ basismateriaal}} \leq 4,5$
 $D_{85} = 0,011 \text{ meter}$
De figuur van de standaardsteensortering geeft de kleinste en tevens dan laatste sortering van **30/60 mm**.

Standaardsteensortering voor $\rho_{\text{steen}} = 2650 \text{ kg/m}^3$
(In de tabel staan de gemiddelde waarden)

Sortering	M_{50} in kg	D_{50} in m	D_{200} in m	D_{15} in m	D_{85} in m
30/60 mm	0.31	0.06	0.05	0.04	0.07
40/100 mm	0.80	0.08	0.07	0.05	0.15
50/150 mm	2.15	0.12	0.09	0.08	0.20
80/200 mm	6.19	0.16	0.13	0.11	0.31
5-40 kg	19.50	0.24	0.19	0.18	0.34
10-60 kg	35.75	0.30	0.24	0.23	0.51
40-200 kg	115.0	0.44	0.35	0.34	0.58
60-300 kg	194.0	0.54	0.44	0.40	0.88
300-1000 kg	676.5	0.79	0.63	0.63	1.26
1-3 ton	1995	1.13	0.91	0.93	1.58
3-6 ton	4500	1.48	1.19	1.29	1.88
> 6 ton	8000	1.79	1.45	1.60	

Figuur 88; Standaardsteensortering.