



## **PROJECTWERK BOUWKUNDE**

### **Groep 5: Executive summary**

#### **“Stroomeiland”**

*Samenwerking KHBO en KUL*

Prof. Dr. Ir. J. Monbaliu

Dr. Ir. B. Van de Walle

Dr. A. Janssens

Arne Ureel  
Gunther Pauwels  
Jelle Weustenraad  
Jonas Coene  
Jonas Degeyter  
Jorgen Van Bael  
Merel Kroeders  
Michael Weymeis  
Sebastiaan Passchyn

# Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	2
1.1	Doelstellingen .....	3
1.2	Plan van aanpak.....	3
1.3	Dimensionering .....	3
2	Ontwerp van de dijkopbouw.....	4
2.1	Werkwijze.....	4
2.2	Resultaat .....	5
3	Hydrodynamisch onderzoek .....	6
3.1	Resultaten stromingsmodellering (Telemac) .....	6
3.2	Resultaten modellering sedimenttransport.....	7
3.3	Golfmodellering (SWAN).....	7
3.3.1	1000-jarige storm.....	7
3.3.2	100-jarige storm.....	8
4	Grondmechanisch onderzoek.....	9
4.1	Opstellen grondprofiel .....	9
4.2	Extra grondonderzoek.....	10
4.3	Berekenen van zettingen .....	10
4.4	Globale stabiliteit dijk.....	11
5	Uitvoering.....	11
5.1	Concessiezone .....	11
5.2	Fases van de uitvoering.....	11
6	Conclusies.....	12

## 1 Inleiding

In dit project wordt een combinatie gemaakt van zowel een ophoging van een zandbank, als het aanleggen van een eiland. Er zal een eiland worden ontworpen door het verhogen van een zandbank voor de kust van Oostende. De keuze is op de stroombank gevallen, een zandbank die anderhalve kilometer voor de kust van Oostende ligt. Het eiland kan op vele mogelijke manieren ingeplant worden, maar in dit project wordt het voorstel gemaakt om een natuurgebied te ontwikkelen op dit eiland. Deze keuze wordt gefundeerd door het feit dat de stroombank ligt in een habitatrictlijngebied, zijnde Trapegeer-Stroombank opgesteld volgens de Europese richtlijn 92/43/EEG inzake de instandhouding van de natuurlijke habitats en de wilde fauna en flora.

## 1.1 Doelstellingen

Het uiteindelijke hoofddoel van dit project is een degelijke kustbescherming te bekomen voor de kust van Oostende door een eilandje te bouwen op de stroombank. Dit voor een 1000-jarige storm waarvan de hydrodynamische randvoorwaarden werden berekend door het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

Naast dit hoofddoel zijn er ook nog enkele nevendoelelen die in aanmerking komen. Zo is het de bedoeling om via ons eiland een sedimenttransport op gang te brengen richting de Oostende kuststrook, waardoor er op een natuurlijke wijze een vooroeversuppletie tot stand wordt gebracht.

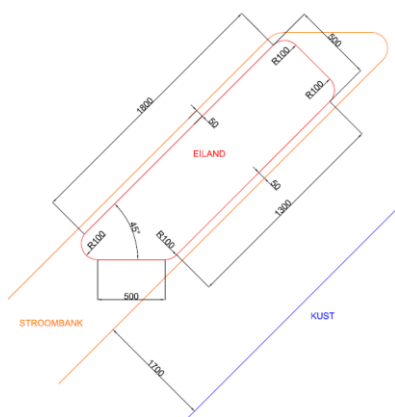
## 1.2 Plan van aanpak

Om gestructureerd tewerk te gaan is een duidelijk plan noodzakelijk bij dergelijke opdrachten, rekening houdend met het beschikbare budget, en dus de beschikbare tijd. Er werd gekozen om eerst een algemeen ontwerp van het eiland vast te leggen. Daarna kunnen alle ontwerpparameters worden bepaald die nodig zijn voor de verdere berekeningen. Deze berekeningen zijn onder meer het sedimenttransport en het effect op de significante golfhoogte, beiden berekend via computersimulaties. Uit deze resultaten wordt dan een dijkopbouw bepaald, waarna dan de zettingen van het eiland en de stabiliteitsfactor tegen algemene glijding van het talud zullen worden berekend. Als laatste wordt ook gekeken naar de mogelijke uitvoeringsmethodes en wordt een kostprijsschatting gemaakt.

## 1.3 Dimensionering

In samenspraak met de volledige groep werd besloten om het eiland de vorm zoals te zien op Figuur 1-1. Daarnaast staat in Figuur 1-2 een virtuele simulatie van het eiland weergegeven.

De stroming loopt parallel met de kust. Hierdoor zou de stroming afgebogen moeten worden door de vorm van het eiland. Deze gewijzigde stroming zou dan voor een sedimenttransport richting de kust zorgen. Hierdoor zou een natuurlijke vooroeversuppletie ontstaan.



Figuur 1-1: Afmetingen eiland



Figuur 1-2: Virtuele voorstelling van het eiland

## 2 Ontwerp van de dijkopbouw

Het eiland vindt zijn functie als natuurgebied. Daarom werd gekozen om met natuurlijke elementen te werken bij de dijkopbouw. Het gekozen ontwerp is een stortsteendijk opgebouwd uit geotextiel gevuld met zand met een beschermlaag stortsteen voorzien van een granulaire filter. Er wordt een teenfilter en plasberm voorzien. Om de kosten te drukken, wordt een zekere hoeveelheid overtopping toegelaten.

Om de stabiliteit van de constructie te garanderen, wordt er rekening gehouden met de weerstand tegen afschuiven, golfwerking en stroming.

De ontwerpparameters voor een 100-jarige storm worden gehanteerd (SWL = 6,10 m TAW en  $H_s = 3,71$ m). De golfperiode  $T_s$  volgt net zoals de significante golfhoogte uit het SWAN-model en bedraagt 10 s. De afleiding van deze parameters wordt verder besproken in paragraaf 3.3.

### 2.1 Werkwijze

Met de ontwerpformules van Van der Meer en Hudson werd de gemiddelde nominale diameter en gemiddeld gewicht van de beschermlaag berekend. De formules van Van der Meer zijn nauwkeuriger dan die van Hudson. De basisveronderstellingen om gebruik te maken van de formules van Van der Meer zijn voldaan, namelijk het betreft een stortsteenconstructie met een deklaag uit natuurlijke rots- of stortsteen, er is geen of slechts geringe golfoverslag ( $< 15\%$  van de golven) en er is een gelijkmatige helling van het talud. De resultaten staan genoteerd in Tabel 2-1.

Tabel 2-1: resultaten Hudson en Van der Meer

	Hudson	Van der Meer
Dn50 [m]	1,40	1,39
W50 [N]	72369,94	70742,96

De minimum laagdikte van de beschermlaag is bepaald op 2,77 m en de laagdikte van de filterlaag moet minimum 2,08 m bedragen.

Er wordt een granulaire filter voorzien om te voorkomen dat de kern van de dijk kan wegspoelen bij faling van het geotextiel. Het is wel mogelijk om de meest soepele eisen op te leggen op de filterlagen door de aanwezigheid van de geotextiel.

Uiteindelijk wordt er gevonden dat de filterlaag uit drie lagen moet worden opgebouwd. Elk van deze lagen moet minstens 50 cm dik zijn om goed werkbaar te zijn op zee. Dit is geen probleem aangezien de totale laagdikte van de filter voorzien is op 2,1 m. In Tabel 2-2 worden de fictieve korreldiameters van de drie filterlagen weergegeven.

Tabel 2-2: Samenvatting filterlagen

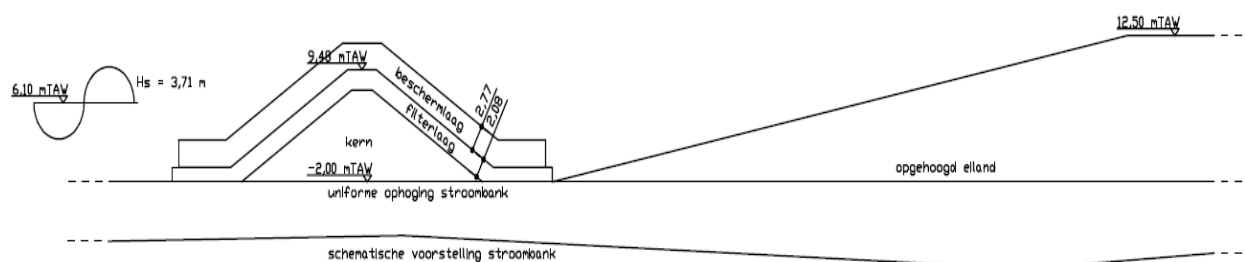
filterlaag 1		filterlaag 2		filterlaag 3	
d10	1700 $\mu\text{m}$	d10	17000 $\mu\text{m}$	d10	170000 $\mu\text{m}$
d15	1800 $\mu\text{m}$	d15	18000 $\mu\text{m}$	d15	180000 $\mu\text{m}$
d50	2700 $\mu\text{m}$	d50	27000 $\mu\text{m}$	d50	270000 $\mu\text{m}$
d60	2900 $\mu\text{m}$	d60	29000 $\mu\text{m}$	d60 <td 29000 $\mu\text{m}$	

De vrije hoogte boven het stil-waterpeil van de golfbreker werd berekend met behulp van de overtopping-manual en bedraagt 3,38 m. De kruinbreedte werd bepaald als drie keer de gemiddelde nominale diameter van de beschermlaag en bedraagt 4,16 m.

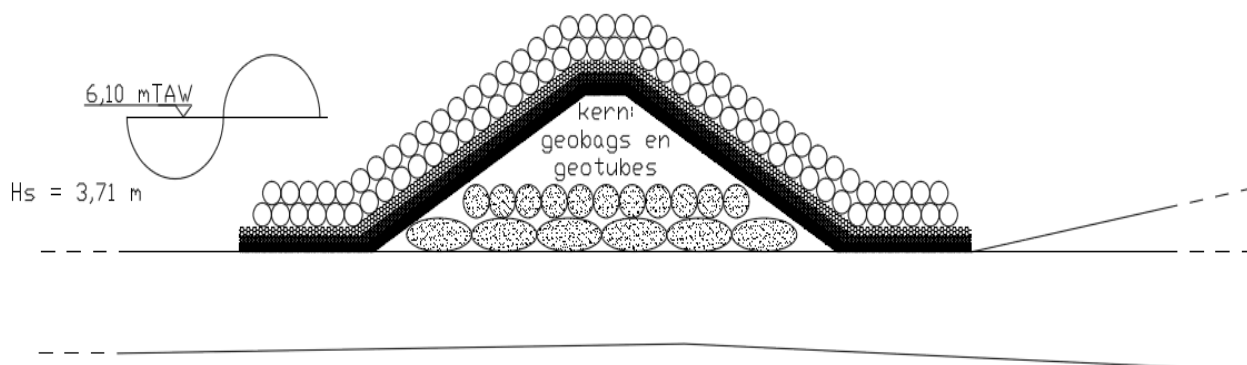
In Figuur 2-1 worden de afmetingen van de dijk gegeven, in Figuur 2-2 wordt het gebruikte materiaal voor deze dijkopbouw schematisch weergegeven.

Om zeker te zijn dat door overtopping geen erosie aan de eilandzijde ontstaat dient de stortsteen ver genoeg in de gracht door te lopen. Om de nodige lengte te bepalen kan eventueel extra golfslagmodellering worden uitgevoerd.

## 2.2 Resultaat



Figuur 2-1: Afmetingen dwarsdoorsnede golfbreker met 100-jarige waterhoogte en golfhoogte

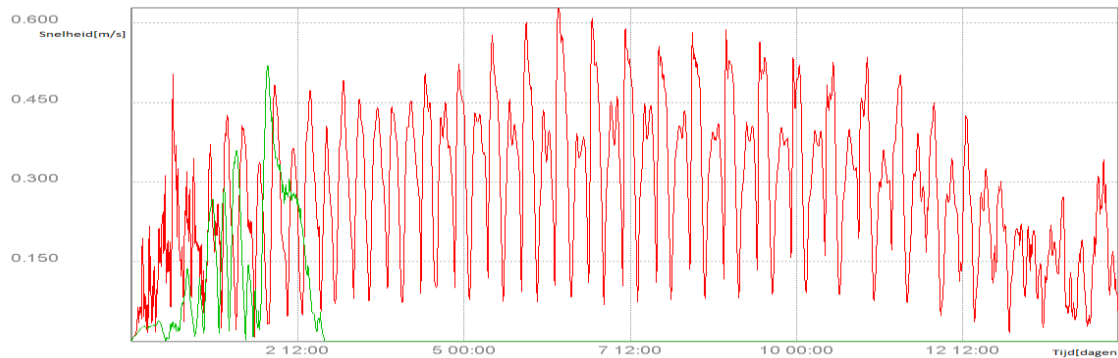


Figuur 2-2: Dwarsdoorsnede materiaalopbouw golfbreker

### 3 Hydrodynamisch onderzoek

Het hydraulisch onderzoek werd onderverdeeld in twee delen, zijnde het stromings en sedimenttransport, uitgevoerd met behulp van Telemac en de golfmodellering, waarvoor Swan werd gebruikt.

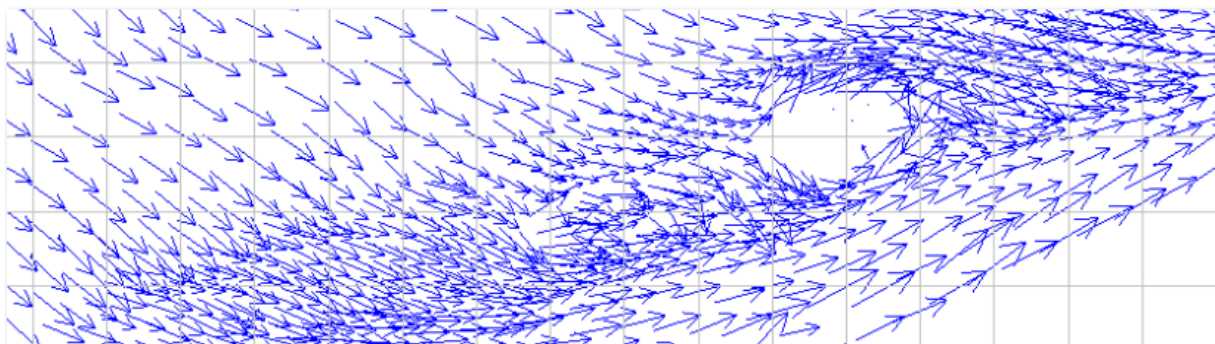
#### 3.1 Resultaten stromingsmodellering (Telemac)



Figuur 3-1 Stroomsnelheden in knoop 9740

In Figuur 3-1 is de stroomsnelheid in een punt achter het eiland vergeleken voor de situatie met en zonder eiland. Er is duidelijk te zien dat de stroomsnelheden met eiland (groene lijn) kleiner zijn dan de snelheden zonder eiland (rood). Door een eiland te plaatsen is er dus zeker een invloed op de stromingen alhoewel er wel rekening mee moet gehouden worden dat er met een vrij grove mesh is gewerkt. Wanneer er een te fijne mesh wordt gekozen, ontstaan er helaas instabiliteiten en wordt er helemaal geen duidelijk resultaat verkregen. Vooral rond het eiland zijn de stromingen gewijzigd. Het effect dichtbij de kust is uit dit model moeilijk te zien.

Door de aanwezigheid van het eiland wordt ook de afbuiging van de stroming naar de kust toe plaatselijk versterkt zoals geschetst wordt in Figuur 3-2. Dit zal een positieve invloed hebben op de suppletie na het verhogen van de bank. Er dient opgemerkt te worden dat voor het model met eiland na twee dagen instabiliteiten begonnen op te treden wat ook is te zien in de grafiek door een snelheid nul.



Figuur 3-2: Ombuiging stroming bij het eiland

## 3.2 Resultaten modellering sedimenttransport

Eerst wordt het morfodynamisch model zonder eiland bekeken. Uit de resultaten blijkt dat dit een vrij goed beeld geeft van het bodemtransport voor de kust. In de simulatie is namelijk te zien dat dit transport zich voornamelijk naar het oosten verplaatst, wat overeenkomt met de realiteit. Bij het runnen van de mesh met eiland, blijken er verschillende instabiliteiten op te treden. Het effect van het eiland op het sedimenttransport is dan ook niet zichtbaar.

## 3.3 Golfmodellering (SWAN)

### 3.3.1 1000-jarige storm

Het doel van het project Vlaamse Baaien 2100 is het beschermen van de Belgische kust tegen een 1000-jarige storm. Het eiland in dit project heeft hetzelfde doel en om de invloed hiervan na te gaan wordt rekening gehouden met een 1000-jarige storm.

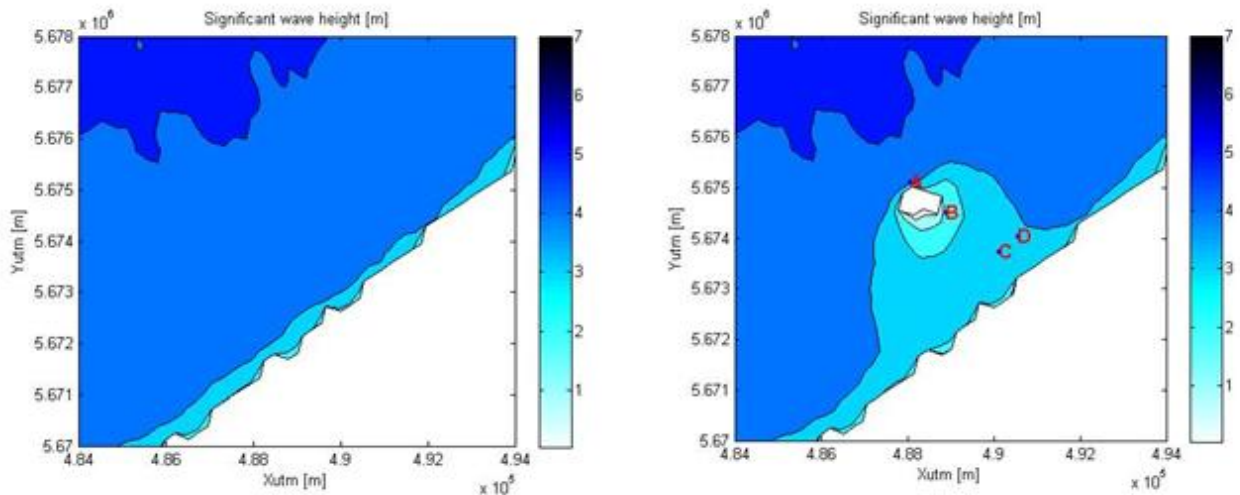
De golfmodellering wordt uitgevoerd met behulp van het computerprogramma Swan. Swan wordt gebruikt om realistische waarden te bekomen van golfeigenschappen in kustgebieden, gegeven bepaalde randvoorwaarden.

De bathymetrie wordt ontleend aan het Marebasse project. Het eiland is toegevoegd door op de plaats waar het eiland moet komen de diepte gelijk aan nul te stellen. In Swan wordt een diepte van nul meter gedefinieerd als droge zone. De kust en de zeebodem vormen natuurlijke randvoorwaarden. De hydrodynamische randvoorwaarden worden afgeleid uit het Hydraulisch randvoorwaardenboek Vlaamse Kust. Hierin is een POT analyse uitgevoerd op metingen van de waterstand, golfhoogte en wind voor de Vlaamse Kust. Tabel 3-1 geeft de randvoorwaarden van een 1000-jarige storm.

Tabel 3-3: Randvoorwaarden 1000-jarige storm

richting	opzet [cm]	waterstand [cm TAW]	golfhoogte [cm] en piekperiode [s]						windsnelheid [m/s]		
			duur 15'		duur 2h		duur 6h		duur 15'	duur 2h	duur 6h
NO	105	570	628	11,4	589	11	552	10,6	32,7	28,3	26,9
NNO	150	610	693	11,9	610	11,2	534	10,5	32,8	30,5	27,8
N	184	641	627	11,3	605	11,1	545	10,6	34	30,6	28,7
NNW	211	667	669	11,7	617	11,3	589	11	34,9	30,8	29,7
NW	208	666	676	11,8	615	11,2	584	10,9	35,5	30	29
WNW	190	650	747	12,4	692	11,9	655	11,6	37,6	33,5	31,4
W	175	638	718	12,1	687	11,9	642	11,5	39	35,5	33,6

Uit de vergelijking tussen de verschillende windrichtingen blijkt dat de NNW richting de hoogste golfhoogte oplevert. Dit stemt overeen met de verwachtingen. In Figuur 3-3 is de significante golfhoogte gegeven voor en na het toevoegen van het eiland voor de randvoorwaarden richting NNW.



Figuur 3-3: Significante golfhoogte 1000-jarige storm, richting NNW, links zonder eiland, rechts met eiland

De invloed van het eiland is duidelijk zichtbaar. Over een lengte van ongeveer vier kilometer vermindert de golfhoogte met ongeveer een halve meter.

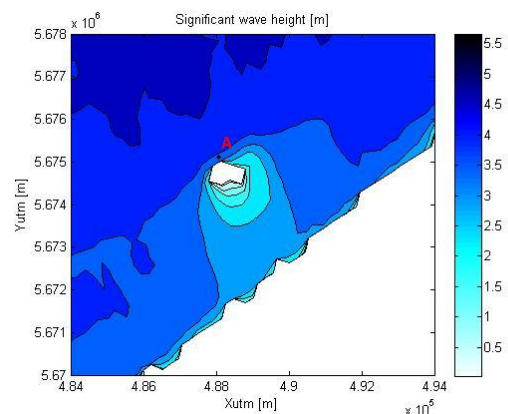
### 3.3.2 100-jarige storm

Voor de bepaling van de ontwerpwaarden van het eiland en bijhorende dijk wordt gewerkt met een 100-jarige storm en een ontwerpduur van 2 uur. De randvoorwaarden weergegeven in Tabel 3-4: Resultaten 100-jarige storm worden uit de POT-analyse van het Hydraulisch randvoorwaarden boek afgeleid.

Tabel 3-4: Resultaten 100-jarige storm

richting	waterstand [cm TAW]	golfhoogte [cm]	piekperiode [s]	windsnelheid [m/s]
NNW	610	530	10,1	26,7

De randvoorwaarden richting NNW geven de grootste golfhoogten. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 2-4. De significante golfhoogte in punt A bedraagt 3,71 m met een piekperiode van 10 s. Punt A ligt aan de teen van de dijk. Aan de zuidzijde van het eiland wordt geen dijk voorzien omdat hier geen belangrijke impact van de golven is.



Figuur 2-4: Significante golfhoogte 100-jarige storm, richting NNW [m]



## 4 Grondmechanisch onderzoek

### 4.1 Opstellen grondprofiel

Op basis van twee boringen op de stroombank (Mathys, 2009) kan reeds een algemeen lagenprofiel worden opgesteld. Het onderscheid tussen de verschillende lagen wordt ook d.m.v. seismische technieken opgemerkt. In Tabel 4-1 worden deze lagen weergegeven.

Tabel 4-1: Indeling grondopbouw

Van [m TAW]	Tot [m TAW]	seismische laag	beschrijving
-2,7	-6,7	U7	Fijn zand met een klein beetje klei en veel schelpfragmenten.
-6,7	-9,7	U6	Fijn zand met iets meer klei en veel schelpfragmenten.
-9,7	-16,7	U4	Fijn zand dat dicht gepakt is. Afwisselend lenzen met een hoger gehalte aan klei. Dit kleigehalte neemt ook toe naar de bodem van deze laag toe.
-16,7	-22,7	U3	Fijn zand dat dicht gepakt is en waarbij het klei gehalte geleidelijk aan weer kleiner wordt naar onder toe.
-22,7	....	Paleogeen	Kleilaag (Tertiair) – Lid van Kortemark

Deze indeling kan teruggevonden worden op 4 sonderingen aan de haven van Oostende. Merk op dat deze sonderingen zowel links als rechts en ver verwijderd van de havenmond gekozen werden om zeker te zijn dat de invloed van de vaargeul en de werken aan de strekdam een verwaarloosbare invloed hebben gehad op deze ondergrond. Op deze sonderingen wordt dezelfde indeling in lagen teruggevonden met dien verstande dat laag U7 en U6 één laag vormen. Op basis van de conusweerstand, de beschrijving van Tabel 4-1 en de NAD-tabel die opgesteld werd op basis van ervaring kunnen dan de parameters van Tabel 4-2 bij iedere laag geplaatst worden.

Tabel 4-2: Parameters grondlagen

Van [m TAW]	Tot [m TAW]	seismische laag	qc [Mpa]	$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi'$ [°]	c' [kPa]
-2,7	-6,7	U7 + U6	10	19	27	0
-6,7	-9,7	U4	20	20	30	0
-9,7	-16,7	U3	22	20	30	0
-16,7	-22,7	Tertiair	3,5	18		

Om conservatief te rekenen i.v.m. de zettingen wordt voor de ophoging met het eigengewicht van dicht gepakt zand gewerkt, echter de inwendige wrijvingshoek die gebruikt wordt voor de berekening van het afschuifvlak komt overeen met die van matig gepakt zand om ook hier conservatief te rekenen. In Tabel 4-3 worden de benodigde parameters van de ophoging weergegeven.

Tabel 4-3: Parameters ophoging en dijkopbouw

Grondsoort	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi'$ [°]	$c'$
Zand	18	20	30	0
Filter	17	19	35	0
Beschermlaag	16	20	35	0

## 4.2 Extra grondonderzoek



Figuur 4-1: Bijkomend grondonderzoek

Onder de holocene lagen die opgesomd zijn in de vorige paragraaf bevinden zich tertiaire kleilagen. Om zeker te zijn dat deze reeds geconsolideerd zijn wordt extra bodemonderzoek aangeraden. Daarnaast kunnen door middel van laboratoriumonderzoek ook de parameters op de vorige pagina correct worden bepaald om op die manier de zettingen nauwkeuriger te bepalen en bovendien helemaal zeker te zijn dat de dijk niet afglijdt. Er wordt dan ook aangeraden om op de

hoekpunten van Figuur 4- boringen uit te voeren en ongeroerde monsters te nemen waarop vervolgens naast het bepalen van de korrelgrootteverdeling ook consolidate undrained (CU) compression testen en one dimensional consolidation testen kunnen worden uitgevoerd. In geval van inconsistentie van deze boringen moeten extra CPT en/of boringen worden uitgevoerd.

## 4.3 Berekenen van zettingen

Met behulp van de parameters op de vorige pagina, de aanname dat het waterniveau op MSL ligt, een extra onderverdeling van de lagen in deellagen van 2 m en een afleiding van de formule van Terzaghi kunnen de zettingen berekend worden. Deze worden weergegeven in Tabel 4-4. Enerzijds werd de samendrukkingscoëfficiënt berekend op basis van de conusweerstand. Daarnaast werd ook een coëfficiënt van 100 in rekening gebracht om de mogelijkheid van minder gepakt zand in rekening te brengen. De totale zetting onder het eiland bedraagt 33,8 cm en onder de dijk 32,4 cm.

Tabel 4-4: Resultaten zetting onder eiland en dijk

Consolidatie-coëfficiënt [I]	C = 2 qc/ptz	C = 100	C=100
	eiland	eiland	dijk
Ter hoogte van			
Zetting Laag 1 [cm]	5,8	18	17,4
Zetting Laag 2 [cm]	3,3	10,4	9,9
Zetting Laag 3 [cm]	2,3	5,4	5,1
Totale zetting [cm]	11,4	33,8	32,4

## 4.4 Globale stabiliteit dijk

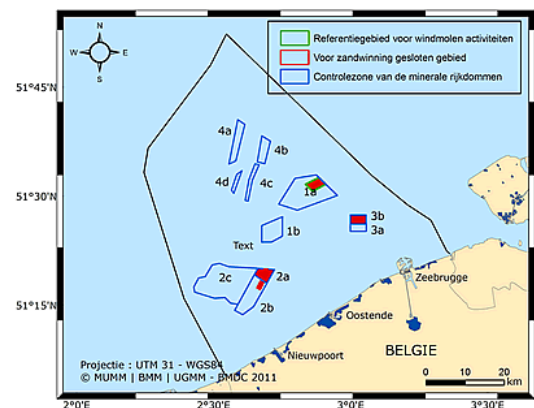
Met behulp van MStab wordt ook de veiligheid tegen afglijden berekend. Hierbij worden verschillende waterstanden in rekening gebracht, net zoals de invloed van de geobags. De meest kleine veiligheidsfactor bedraagt 1,33 wat betekent dat het ontwerp van de dijk wat betreft afglijden veilig is.

## 5 Uitvoering

Bij de realisatie van het stroomeiland dient rekening gehouden te worden met verscheidene parameters. De vaardiepte bij de getijden, weersomstandigheden en uitvoeringstermijnen. Deze factoren beïnvloeden het gebruikte materieel en de werkwijze.

### 5.1 Concessiezone

Een belangrijke beslissing om de kostprijs van de werken te drukken, bestaat eruit een goede ontginningsplaats te gebruiken. Bij deze is vooral de afstand tussen de concessiezone en het Stroomeiland van belang. Figuur 5-1 duidt de verscheidene concessiezones aan. Het dichtst bijgelegen ontginningsgebied is zone 2, de afstand tussen dit gebied en het eiland bedraagt 15 kilometer. Dit is het gebied waaruit zand gewonnen wordt tijdens dit project.



Figuur 5-1: Concessiezones (BMM)

### 5.2 Fases van de uitvoering

Het kernmateriaal van de dijk bestaat uit geotubes en geocontainers. De plaatsing van de geotextielen vereist een egaal oppervlak, hiervoor wordt in een eerste fase de zandbank tot een gelijkmatig niveau opgespoten. Eens het oppervlak aangelegd is ter hoogte van de dijk, wordt deze vereffeningslaag verder uitgevoerd, maar worden tegelijk de geotubes geplaatst.

De plaatsing van de geotubes bestaat uit het opvullen van grote geotextielen met zand in een splijthopper. De diepgang van de splijthopper moet beperkt zijn, zodat de splijthopper de geotubes lost bij hoogwater. Deze geotube dient als basis voor de verder opbouw van de dijkkern, die bestaat uit geocontainers die gestapeld worden door behulp van een kraan op een ponton.

Deze geocontainers dienen als basis om de filterlaag van de dijk aan te leggen. Door gebruik te maken van geotextielen in de kern is een filterlaag in principe overbodig. De reden waarom deze wel geplaatst worden, is de onzekerheid over de duurzaamheid van de geotextielen. De filterlaag als de armourlaag worden door backhoe dredgers en rupskranen (op de dijk) op hun plaats gebracht.

Het opspuiten van het eiland begint zodra de dijk genoeg bescherming biedt, dit is na de plaatsing van de geocontainers.

## 6 Conclusies

Het primaire doel wordt bereikt vermits door de plaatsing van het eiland de golfhoogte voor een storm met een terugkeerperiode van 1000 jaar met een halve meter af neemt voor een kuststrook van ongeveer vier kilometer.

Over het secundaire doel, zijnde een stroming richting kust creëren om zo aan vooroeveroppletie te doen, bestaat nog onduidelijkheid. De eerste analyse van de stroming geeft aan dat er wel degelijk een gedeelte van de stroming richting kust wordt gestuurd. Echter is de vraag of deze stroming groot genoeg is om de zijdelings kuststroming te overwinnen. Een meer succesvol sedimenttransportmodel zal hiervoor moeten opgesteld worden.

De stabiliteit van het eiland is gecontroleerd en in orde. Wel dient bijkomend onderzoek uitgevoerd te worden waaronder extra grondonderzoek en golfslagmodellering.