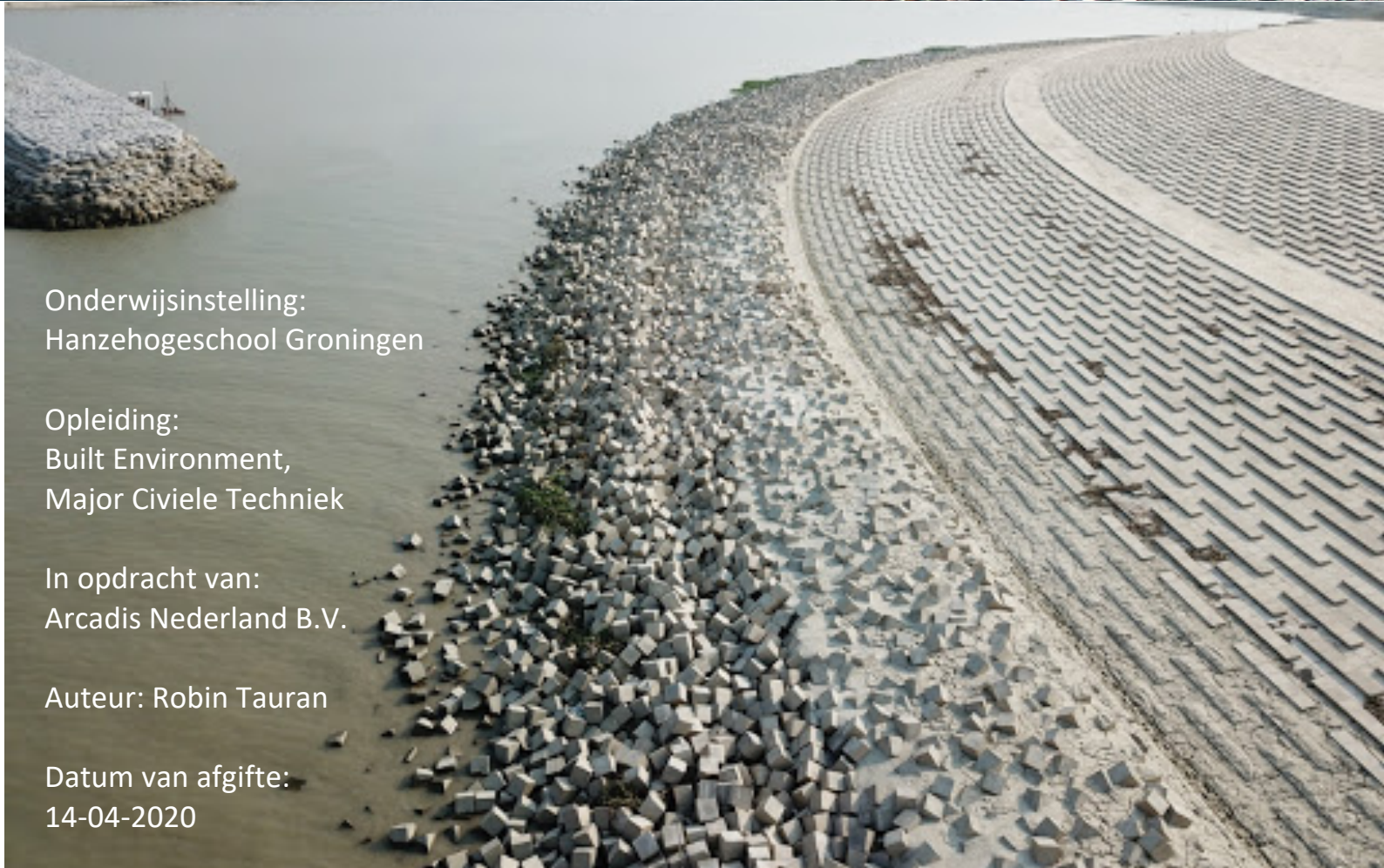


Van berekening naar 3D-ontwerp in één uur

Een nieuw parametrisch ontwerpproces voor golfbrekers en oeverbeschermingen.



Onderwijsinstelling:
Hanzehogeschool Groningen

Opleiding:
Built Environment,
Major Civiele Techniek

In opdracht van:
Arcadis Nederland B.V.

Auteur: Robin Tauran

Datum van afgifte:
14-04-2020

Titelblad

Beroepsproducten van de bachelor

Definitieve versie 1.0

Auteur : Robin Tauran
Studentennummer : 344213
Emailadres : robin-tauran@hotmail.com
Telefoon : +31 6 38385253



Onderwijsinstelling : Hanze hogeschool Groningen
Faculteit : Academie voor Architectuur, Bouwkunde en Civiele Techniek
Docentbegeleider : J. Pama

Afstudeerbedrijf : Arcadis Nederland B.V.
Afstudeerbegeleiders : K. Stoeten
B. Feldbrugge

Datum van afgifte : 14-04-2020
Plaats van afgifte : Groningen
Revisie : 1.0

Voorwoord

Voor u ligt de verslaglegging van mijn beroepsproducten met de titel: 'Van berekening naar 3D-ontwerp in één uur.' Ik, Robin Tauran, heb de beroepsproducten gerealiseerd bij Arcadis Nederland B.V. te Zwolle, Amersfoort en Rotterdam van september 2019 tot en met 24 april 2020. Dit verslag is onderdeel van het afstudeerproces van de studie Built Environment, met de major Civiele Techniek, van de Hanzehogeschool in Groningen. De beroepsproducten zijn gemaakt voor internationaal gebruik. De voertaal daarvan is Engels, het kan daarom voorkomen dat er begrippen op afbeeldingen en bijlagen in het Engels weergegeven zijn.

Mijn interesses binnen de civiele techniek liggen in de waterbouw. Na een goed gesprek in juli 2019 met mijn afstudeerbegeleiders B. Feldbrugge & K. Stoeten heb ik een leuk aanbod gekregen om digitale mogelijkheden met het parametrisch ontwerpen van waterbouwkundige objecten te onderzoeken. Naast het maken van mijn beroepsproducten heb ik in de periode van september tot en met december 2019 ook een periode werkervaring opgedaan bij Arcadis en ik heb dat als zeer positief ervaren.

Ik wil graag een aantal personen bedanken uit mijn afstudeertraject: mijn persoonlijke bedrijfsbegeleiders Kasper Stoeten en Berend Feldbrugge voor hun vertrouwen, behulpzaamheid en kritische blik. Daarnaast wil ik ook Vincent van der Wal en Jelle Teeling bedanken voor hun inzichten. Ook wil ik mijn docentbegeleider Jelle Pama en studiegenoot Lars Jansen bedanken voor alle discussieruimtes die er geweest zijn. Er zijn ook nog vele andere Arcadianen die mij geholpen hebben om naar de juiste richting te sturen. Ik wil ook Arcadis bedanken voor de flexibiliteit die zij mij heeft gegeven om in drie verschillende kantoren te mogen werken.

Ik wens u veel leesplezier toe,

Robin Tauran

Groningen, 14 april 2020.

Begrippenlijst:

Begrip (alfabetische volgorde)	Omschrijving
3D-printen	Het maken van 3D-objecten door middel van digitale ontwerpen door een printer.
Algoritme	Een script om een herhaling uit te voeren of om een besluit op basis van logica te nemen.
Artificial Intelligence	De wetenschap die zich bezighoudt met het creëren van intelligentie, die niet bedacht is door de mens.
Autodesk Subassembly Composer 2020	Een softwareprogramma van Autodesk waarmee parametrische doorsnedes kunnen worden gemaakt.
Big Data	Datasets die te groot zijn om ze met bestaande systemen bij te houden.
Building Information Modelling	Het maken van een intelligent model van een bouwwerk dat helpt om besluiten te nemen voor projecten.
CAD- programma	Een tekenprogramma welke door de computer ondersteund wordt.
Civil3D	Een CAD-tekenprogramma van Autodesk
Digitalisering	Het vertalen van processen naar een taal die de computer gebruikt.
Dynamo	Een gratis, publiek toegankelijk, grafische programmeertaal.
Internet of Things	De verbondenheid van alle apparaten via het internet.
Level of detail (Lod)	Het detailniveau van bijvoorbeeld een ontwerp.
Parameters	Variabelen, zijn onderdeel van een systeem.
Proof of Concept	Een methode om te bewijzen of een idee of functionaliteit haalbaar is en bruikbaar is.
Python	Een programmeertaal
Repository	Opslagplaats, locatie waar bijvoorbeeld meerdere scripts worden bewaard.
Revit	Een softwareprogramma van Autodesk
Robotisering	Het vervangen van menselijke taken door robots.
Script	Graaf, een serie met instructies voor een programma
Self-learning machines	Machines die met hun eigen kunstmatige intelligentie nieuwe begrippen leren.
Testcase	Onderzoek of het gemaakte systeem het gewenste resultaat oplevert.
Visual programming	Programmeren door middel van grafische elementen.

Samenvatting

Er zijn momenteel grote veranderingen in de bouwsector vanwege de voordelen van de rekenkracht van computers, krachtige en efficiënte data-analyses en verbintenissen in de digitale wereld. Eén van die veranderingen is het digitaliseren van ontwerpprocessen met behulp van parametrisch ontwerpen.

De groep Havens en Waterbouw van Arcadis wordt vaak gevraagd om een ontwerp van een golfbreker of oeverbescherming te maken en vroeg zich af of er digitale mogelijkheden zijn om de stap van ontwerpberekening naar 3D-ontwerp slimmer en sneller vorm te geven. Er zijn veel herhaaldelijke en simpele taken die geautomatiseerd kunnen worden.

Uit het vraagstuk is de hoofdvraag gevormd: *‘Hoe ziet het ontwerpproces voor golfbrekers en oeverbeschermingen eruit, waarbij de vertaling van het waterbouwkundig ontwerp naar parametrisch 3D-ontwerp centraal staat?’* Door een nieuw ontwerpproces op te stellen voor een parametrisch 3D-ontwerp wordt het ontwerpproces minder complex en gefragmenteerd.

Door gesprekken met specialisten, literatuuronderzoek en een periode van werkervaring is een nieuw ontwerpproces opgesteld. Er is een praktische toepassing uitgewerkt voor een 3D-ontwerp voor golfbrekers en een advies opgesteld voor een ontwerpproces voor oeverbeschermingen.

Door middel van een testcase is het nieuwe ontwerpproces gecontroleerd en uit de resultaten is geconcludeerd dat het nieuwe ontwerpproces een nauwkeurig parametrisch ontwerp genereert. Daarmee heeft het nieuwe ontwerpproces een Proof of Concept gekregen van het team van Havens en Waterbouw. Het nieuwe ontwerpproces is ook inzetbaar op meerdere projecten en is minder complex en gefragmenteerd. Het is mogelijk om een parametrisch 3D-ontwerp te genereren binnen een uur na de verkregen resultaten van de ingenieur.

Abstract

Currently, the building industry is subject to major changes because of the upcoming benefits of computers with powerful and efficient data analysis and connections in the digital world. One of those early changes is the digitalization of design processes using parametric design.

The Ports and Waterways team from Arcadis is often asked to propose a design of a breakwater of bank protection. This team wondered whether there are digital possibilities to shape the transition from design calculation to a 3D design in a smarter and quicker way. There are many repetitive and simple tasks that can be automatized.

From the question of the team the following main question was formed: 'What does the design process for breakwaters and bank protection look like, where the translation from hydraulic engineering design to a parametric 3D design is key?' By creating a new design process for a parametric 3D design, the current design process will be less complex and fragmented.

By having conversations with specialists, doing literature review and by a period of working experience a new design process is made. A practical solution for a 3D design of a breakwater was created as well as an advice for a new design process for bank protection. This practical application and advice are so called 'Profession products'.

To evaluate the profession products, the design process was tested with a testcase. From the results it is concluded that the new design process generates an accurate parametric design. Therefore, the new design process received a Proof of concept by the Ports & Waterways Team. The new design process can be used for multiple projects and is less complex and fragmented. It is now possible to generate a parametric 3D-design within an hour after receiving the results from the coastal engineer.

Structuur van het verslag

In dit verslag wordt antwoord gegeven op de hoofdvraag uit paragraaf 1.3, een nieuw ontwerpproces voor golfbrekers en oeverbeschermingen, door een praktische oplossing en een advies. Het advies voor oeverbeschermingen volgt uit de praktische toepassing voor golfbrekers en uit de literatuurstudie. De structuur is daarom als volgt:

- Hoofdstuk 1: Inleiding tot afstudeeronderwerp
- Hoofdstuk 2: Plan van Aanpak
- Hoofdstuk 3: Literatuurstudie
- Hoofdstuk 4: Realisatie beroepsproduct
Waarbij paragraaf 4.1 de praktische oplossing voor golfbrekers is.
Waarbij paragraaf 4.5 het advies voor oeverbeschermingen is.
- Hoofdstuk 5: Verantwoording van eindresultaten,
Waarbij paragraaf 5.1 een testcase is op de praktische oplossing voor golfbrekers.
- Hoofdstuk 6: Conclusies, aanbevelingen en discussie

Het antwoord op de hoofdvraag: *‘Hoe ziet het ontwerpproces voor golfbrekers en oeverbeschermingen eruit, waarbij de vertaling van het waterbouwkundig ontwerp naar parametrisch 3D-ontwerp centraal staat?’* wordt gegeven in paragraaf 4.1 en 4.5.

De inleiding tot het afstudeeronderwerp is gegeven in hoofdstuk 1. In hoofdstuk 2 is de methodologie voor het maken van de beroepsproducten beschreven. De theoretische achtergrond over golfbrekers en oeverbeschermingen en parametrisch ontwerpen is beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 is een praktische toepassing bedacht voor een nieuw ontwerpproces voor golfbrekers en een advies geschreven over het beoogde ontwerpproces voor oeverbeschermingen. In hoofdstuk 5 is door middel van een testcase op de praktische toepassing het nieuwe ontwerpproces vergeleken met het bestaande ontwerpproces. Daarnaast is in het vijfde hoofdstuk een oordeel gegeven over de bruikbaarheid en betrouwbaarheid van de beroepsproducten. In hoofdstuk 6 zijn de conclusies ontleend uit de resultaten en zijn verdere aanbevelingen en opmerkingen weergegeven.

Inhoudsopgave

Figurenlijst	9
Tabellenlijst.....	9
Videolinks	9
1. Inleiding	10
1.1 Aanleiding tot afstudeeronderwerp	10
1.2 Probleemstelling	11
1.3 Hoofdvraag en deelvragen beroepsproduct	12
1.4 Doelstelling beroepsproduct	13
2. Plan van Aanpak.....	14
2.1 Plan van Aanpak, beroepsproduct 1	15
2.2 Plan van Aanpak, beroepsproduct 2	16
3. Literatuurstudie	17
3.1 Wat zijn golfbrekers en oeverbeschermingen?	17
3.1.1 Golfbrekers.....	17
3.1.2 Oeverbeschermingen	20
3.2 Wat is de relevantie van het beroepsproduct en hoe past dit binnen de bedrijfsvisie?	22
3.3 Wat is parametrisch ontwerpen?	23
3.3.1 Parametrisch ontwerpen	23
3.3.2 Parametrisch ontwerpen als onderdeel van een integraal proces.....	24
3.4 Hoe ziet het huidige ontwerpproces voor een ontwerp van golfbrekers en oeverbeschermingen eruit? .	25
3.5 Hoe ziet het parametrisch ontwerpen van waterbouwkundige constructies er nu uit?.....	28
4. Realisatie beroepsproduct.....	29
4.1 Welke toepassing van parametrisch ontwerpen is geschikt voor de realisatie van het beroepsproduct? 29	
4.2 Op welke manier moeten en kunnen de verschillende disciplines parameters aanleveren?.....	31
4.3 Hoe kan het parametrisch ontwerp in Civil3D gerealiseerd worden?	31
4.4 Welke parameters zijn er nodig voor het parametrisch 3D-ontwerp?	33
4.4.1 Parameters van een 3D-ontwerp van golfbrekers.	33
4.4.2 Parameters van een 3D-ontwerp van oeverbeschermingen	38
4.5 Beroepsproduct 2 Handleiding oeverbeschermingen	39
4.6 Hoe is het ontwikkelde beroepsproduct voor alle gebruikers herleidbaar en overzichtelijk?.....	40
5. Eindresultaten beroepsproduct	41
5.1 Testcase parametrisch 3D-ontwerp golfbreker	41
5.2 Bruikbaarheid	44
5.3 Betrouwbaarheid	44
6. Conclusies, aanbevelingen en discussie	45
6.1 Conclusies	45

6.2	<i>Aanbevelingen</i>	47
6.3	<i>Discussie</i>	48
Bronnenlijst		49
Bijlagenlijst		50

Figurenlijst

Figuur 1, digitalisering in verschillende sectoren volgens McKinsey & Company	10
Figuur 2, huidig ontwerpproces voor golfbrekers en oeverbeschermingen waaruit een 3D-ontwerp volgt	11
Figuur 3, voorlopig inzicht in gewenste ontwerpproces voor het parametrische ontwerp	13
Figuur 4, het design thinking process, bron https://www.interaction-design.org/literature/article/5-stages-in-the-design-thinking-process-	14
Figuur 5, methodologie voor het creëren van het beroepsproduct	15
Figuur 6, golfbreker in vogelvluchtperspectief, Rock Manual hoofdstuk 6	17
Figuur 7, golfbreker doorsnede conventional rubble mound, Rock Manual hoofdstuk 6.	18
Figuur 8, kruinmuur op de haven van Sri Lanka, https://www.xbloc.com/en/projects/dikkowita-sri-lanka	19
Figuur 9, oeverbescherming in Myanmar, https://www.globalnewlightofmyanmar.com/new-design-concrete-wall-to-protect-banks-against-erosion/	20
Figuur 10, Parametrisch ontwerpen als onderdeel van digitaal ontwerpproces, Bron: EvolveLab	24
Figuur 11, bovenaanzicht golfbreker lay-out	26
Figuur 12, doorsnedes golfbreker.	26
Figuur 13, bovenaanzicht lay-out oeverbescherming	27
Figuur 14, doorsnede oeverbescherming met een toplaag en matras	27
Figuur 15, datastroom voor het parametrisch 3D-ontwerp	30
Figuur 16, gebruikersinterface van de Dynamo Player	31
Figuur 17, het Dynamo script voor golfbrekers	32
Figuur 18, surf similarity parameter, Rock Manual	33
Figuur 19, Van der Meer formule voor bepalen Dn50 van de toplaag, Rock Manual	33
Figuur 20, laagdiktes van de golfbreker als functie van de Dn50A, Rock Manual	34
Figuur 21, golfbrekertype: 'Shallow'	35
Figuur 22, golfbreker type: 'Conventional rubble mound'	35
Figuur 23, golfbreker type: 'Crown'	35
Figuur 24, composer variant a), shallow	36
Figuur 25, composer variant b), seaward	36
Figuur 26, composer variant c), leeward	37
Figuur 27, composer variant d), crown	37
Figuur 28, golfbreker lay-out	41
Figuur 29, 3D-ontwerp van golfbreker in Civil3D	42
Figuur 30, eerste doorsnede van een sectie wordt niet geüpdatet	43

Tabellenlijst

Tabel 1, Resultaat verkregen volumes tegenover controle op 8 tot 10 meter diepte	42
--	----

Videolinks

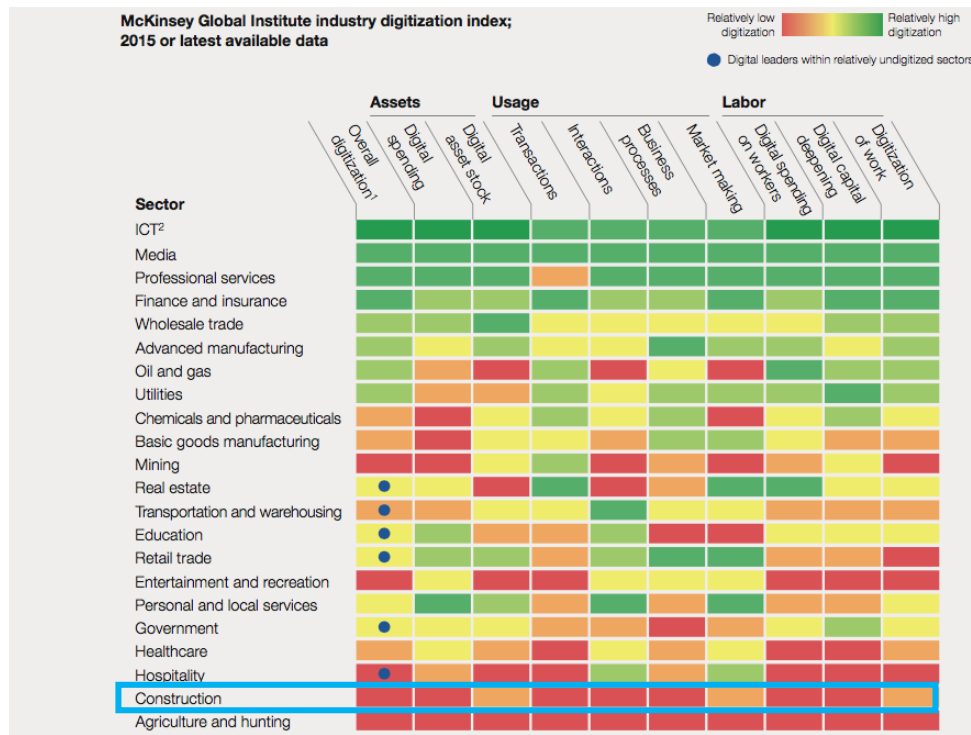
Videolink 1) : https://www.youtube.com/watch?v=ajKhhlMJW_s

1. Inleiding

In dit hoofdstuk is de aanleiding tot het afstudeeronderwerp beschreven en de probleemstelling aangeduid. Op basis van de probleemstelling is vervolgens een hoofdvraag geformuleerd, die wordt ondersteund door deelvragen. Daarna zijn de doelstellingen beschreven voor de beoogde beroepsproducten.

1.1 Aanleiding tot afstudeeronderwerp

De bouwsector is onderhevig aan grote veranderingen vanwege de voordelen van de rekenkracht van computers, krachtige en efficiënte data-analyses en verbintenissen in de digitale wereld. De bouwsector ziet nu ook deze voordelen in en maakt daardoor de omslag naar digitalisering¹. (Laczkowski, Padhi, Rajagopal, & Sandrone, 2019) De bouw loopt achter op deze omslag vergeleken met andere sectoren en is nu bezig met een inhaalslag. (BOCS, 2019) Zie Figuur 1. We naderen een nieuw era waarbij digitalisering centraal staat.



Figuur 1, digitalisering in verschillende sectoren volgens McKinsey & Company

Omslag²

De omslag naar digitalisering bij Arcadis is gestart met het kenmerk *Arcadis Digital in 2030* waarbij thema's aanbod komen zoals:

- Building Information Modelling
- Big Data
- Internet Of Things
- Parametrisch ontwerpen³
- Artificial Intelligence.

¹ Digitalisering, zie begrippenlijst

² Voor alle vaktermen, zie begrippenlijst.

³ Parametrisch ontwerpen, zie paragraaf 3.3

Aansluitende thema's zijn robotisering, self-learning machines en 3D-printen, welke steeds belangrijker worden voor ontwerpmethoden in alle takken van de bouw. De mogelijkheden met digitalisering zijn ongekend en daarom is het voor mij als jonge ingenieur erg interessant om mij te ontwikkelen in de transitie naar digitalisering. Voor mij is het niet de vraag of ik mij wil meegaan in de transitie, maar hoe vroeg ik er mee begin.

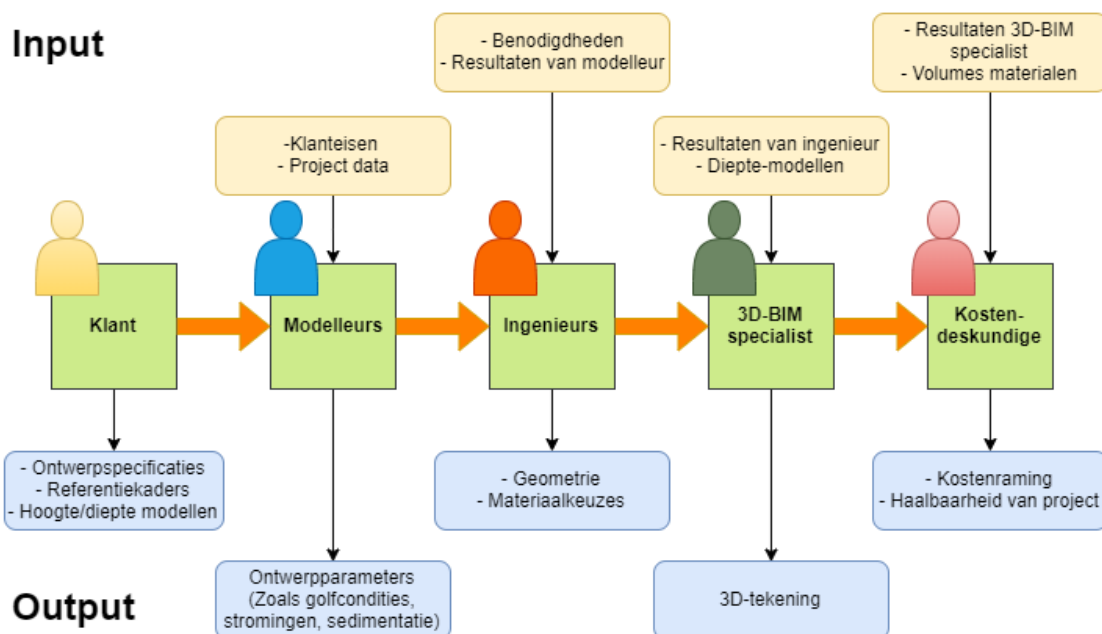
Digitalisering in waterbouw

De groep Havens en Waterbouw van Arcadis Nederland B. V. wordt vaak gevraagd voor het maken van een ontwerp van een golfbreker of oeverbescherming. Golfbrekers en oeverbeschermingen zijn waterbouwkundige constructies, de kenmerken en verschillen zijn beschreven in paragraaf 3.1.

Dit team van Arcadis heeft veel expertise met het ontwerpen van deze twee waterbouwkundige constructies. Vanuit het team is de vraag ontstaan of er digitale mogelijkheden zijn om de stap van ontwerpberekening naar 3D-ontwerp slimmer en sneller vorm te geven. Er zijn veel herhaaldelijke en simpele taken die geautomatiseerd kunnen worden. Van Arcadis heb ik het aanbod gekregen om onderzoek te doen naar parametrisering van het 3D-ontwerp van golfbrekers en oeverbeschermingen, een krachtige stap naar digitalisering in de waterbouwkunde. Het gewenste toekomstbeeld is om naar een klant te kunnen gaan met een keuze uit meerdere ontwerpen waarbij de klant direct het 3D concept-ontwerp kan zien, toegepast op de locatie.

1.2 Probleemstelling

Het conventionele ontwerpproces van golfbrekers en oeverbeschermingen, zie Figuur 2, past niet bij de toekomstgerichte bedrijfsvisie⁴. Het ontwerpproces is te complex, gefragmenteerd en kost meer tijd dan met de huidige technologische mogelijkheden noodzakelijk is. Er zijn er veel handelingen die geautomatiseerd kunnen worden met het gebruik van parametrisch ontwerpen.



Figuur 2, huidig ontwerpproces voor golfbrekers en oeverbeschermingen waaruit een 3D-ontwerp volgt

⁴ Bedrijfsvisie, zie paragraaf 3.2.

1.3 Hoofdvraag en deelvragen beroepsproduct

Hoofdvraag

Naar aanleiding van de probleemstelling is de volgende hoofdvraag geformuleerd:

‘Hoe ziet het ontwerpproces voor golfbrekers en oeverbeschermingen eruit, waarbij de vertaling van het parametrisch waterbouwkundig ontwerp naar een 3D-ontwerp centraal staat?’

De hoofdvraag duidt dat er een nieuw ontwerpproces bedacht dient te worden. Parametrisch ontwerpen is hier een integraal onderdeel van.

De hoofdvraag wordt ondersteund door **negen deelvragen**:

Literatuurstudie

1. Wat is parametrisch ontwerpen?
2. Wat is de relevantie van het beroepsproduct en hoe past dit binnen de bedrijfsvisie?
3. Wat zijn golfbrekers en oeverbeschermingen?
4. Hoe ziet het huidige ontwerpproces voor een ontwerp van golfbrekers en oeverbeschermingen eruit?

Beroepsproduct

5. Welke toepassing van parametrisch ontwerpen zijn geschikt voor de realisatie van het beroepsproduct?
6. Welke parameters zijn er nodig voor het parametrisch 3D-ontwerp?
7. Op welke manier moeten en kunnen de verschillende disciplines parameters⁵ aanleveren?
8. Hoe kan het parametrisch ontwerp in Civil3D gerealiseerd worden?

Reflectie

9. Hoe is het ontwikkelde beroepsproduct voor alle gebruikers herleidbaar en overzichtelijk?

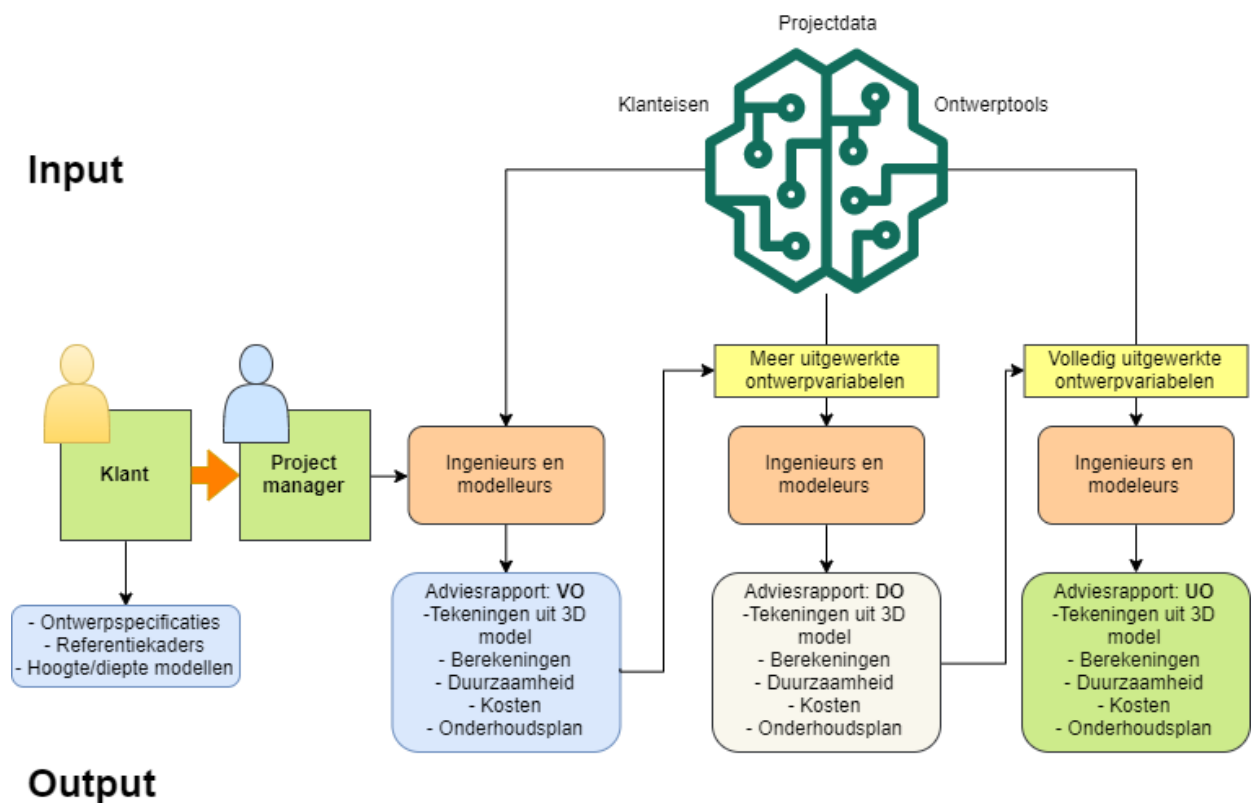
⁵ Parameters of ontwerpvariabelen, zie begrippenlijst.

1.4 Doelstelling beroepsproduct

De doelstellingen voor het beroepsproduct zijn:

- De complexiteit en fragmentatie van het ontwerpproces van golfbrekers en oeverbeschermingen dient gereduceerd te worden door het definiëren van een gestandaardiseerd en deels geautomatiseerd ontwerpproces.
- Het maken van een parametrisch 3D-ontwerp van een golfbreker door middel van een algoritme⁶.
- Het maken van een handleiding voor het ontwerpproces voor een 3D-ontwerp van oeverbescherming op basis van de ervaring die wordt opgedaan met het opstellen van het parametrisch ontwerpproces voor golfbrekers.

Het eindproduct dient gerealiseerd te worden in Civil3D. In dit CAD-tekenprogramma kan een 3D-ontwerp worden gekoppeld aan een projectlocatie in het wereldcoördinatenstelsel. Het is ook vereist dat het ontwerpproces voor een 3D-ontwerp van golfbrekers en oeverbeschermingen inzetbaar is op meerdere projecten.



Figuur 3, voorlopig inzicht in gewenste ontwerpproces voor het parametrische ontwerp.

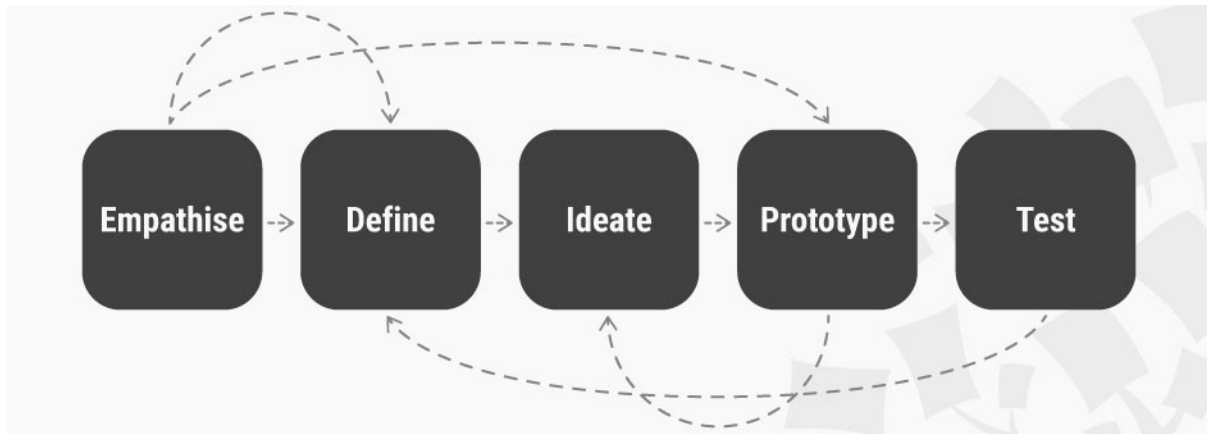
⁶ Algoritme, zie begrippenlijst.

2. Plan van Aanpak

In dit hoofdstuk beschrijf ik mijn plan van aanpak voor het realiseren van de beroepsproducten, zoals opgesteld in mijn 'Voorstel Beroepsproduct'. De gebruikte methodiek om tot een parametrisch ontwerp te komen is het design thinking process, zie Figuur 4.

De beoogde beroepsproducten zijn:

- 1) Een **ontwerpproces met algoritme** voor golfbrekers zijn, waaruit een parametrisch 3D-ontwerp volgt.
- 2) Een **advies** voor het ontwerpproces voor een 3D-ontwerp van oeverbescherming. Het tweede beroepsproduct volgt na de voltooiing van het model voor golfbrekers



Figuur 4, het design thinking process, bron <https://www.interaction-design.org/literature/article/5-stages-in-the-design-thinking-process->

Empathise

De eerste fase van het design thinking process is het definiëren van het probleem en het begrijpen van eisen en wensen van de opdrachtgever.

Define

In de tweede fase van het design thinking process is het maken van onderscheid tussen hoofdzakelijke problemen, eisen en wensen en de niet-hoofdzakelijke.

Ideate

In de derde fase zijn er verschillende creatieve oplossingen en innovaties voor de probleemstelling voorgesteld. In deze fase worden zo min mogelijk ideeën uitgesloten om goede ideeën te behouden.

Prototype

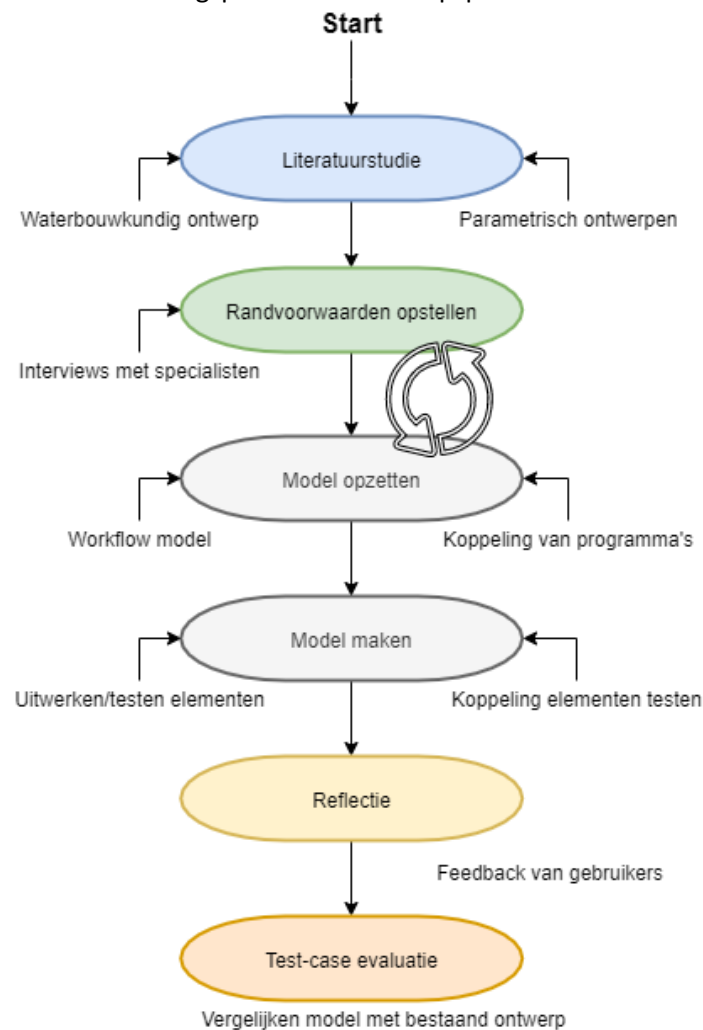
In de vierde fase worden de best mogelijke oplossingen uit de ideate fase uitgewerkt tot één goed plan of product. Er kan worden gekozen om slechts één idee of om meerdere ideeën uit te werken.

Test

De laatste fase is het testen van de gevormde prototypes. Hierna kan worden geëvalueerd of het product voldoet aan de eisen en wensen van de klant. Wanneer dit toch niet de juiste oplossing blijkt te zijn dient de ontwerper terug te gaan naar de define fase om zo tot een alternatieve oplossing te komen.

2.1 Plan van Aanpak, beroepsproduct 1.

Een illustratie van het totstandkomingsproces voor beroepsproduct 1 is zichtbaar in Figuur 5.



Figuur 5, methodologie voor het creëren van het beroepsproduct

Literatuurstudie

De kennis over deelvragen 1 tot en met 4 is verkregen door literatuurstudie te doen in boeken en op het internet. De technische kennis over de waterbouwkundige objecten is opgedaan uit The Rock Manual en Introduction to Bed Bank and Shore Protection.⁷ De kennis over parametrisch ontwerpen is opgedaan door interviews en deskresearch via internet.

Randvoorwaarden opstellen

Door gesprekken te houden met de opdrachtgever en specialisten zijn de randvoorwaarden opgesteld. Hierna zijn verschillende ideeën gevormd.

Model opzetten

Door de verkregen kennis is een oplossing gekozen. Die oplossing is uitgewerkt tot een plan om een model te maken.

⁷ Rock Manual & Introduction to Bed bank and Shore Protection, zie bronnenlijst.

Model maken

Het maken van het model is het maken van het prototype. In deze fase zijn verschillende elementen tot een geheel samengebracht om tot een eindontwerp te komen.

Reflectie

Na het maken van het prototype is een evaluatie gedaan door mijzelf en mijn begeleiders of het model overzichtelijk was.

Testcase evaluatie

Deze fase is het testen van het prototype om een Proof of Concept te krijgen. Als controle wordt een bestaand ontwerp vergeleken met het eindontwerp.

2.2 Plan van Aanpak, beroepsproduct 2.

Wanneer het eerste beroepsproduct is voltooid kan ik het tweede beroepsproduct maken.

Het tweede beroepsproduct is een **advies** voor het maken van een model voor oeverbeschermingen.

Dit kan ik opstellen door:

- Het ontwerpproces voor golfbrekers als richtlijn te gebruiken;
- De verschillen tussen golfbrekers en oeverbeschermingen uit de literatuurstudie te bekijken;
- Deze verschillen te implementeren in het ontwerpproces voor golfbrekers, zodat er een ontwerpproces voor oeverbescherming wordt gerealiseerd.

3. Literatuurstudie

In dit hoofdstuk is alle benodigde voorkennis over het afstudeeronderwerp beschreven.

3.1 Wat zijn golfbrekers en oeverbeschermingen?

Golfbrekers en oeverbeschermingen zijn twee typen waterbouwkundige constructies. Binnen Arcadis wordt voor deze twee type constructies de term 'lineaire grondconstructies' gebruikt. Dat wil zeggen, constructies die zijn verbonden aan de grond welke over een afstand zijn geplaatst en direct met elkaar verbonden zijn. De gekoppelde constructies vormen een geheel waterbouwkundig ontwerp. Enkele voorbeelden zijn: golfbrekers, oeverbescherming, dijkbekleding, wegen en rails. Golfbrekers en oeverbeschermingen hebben een aantal overeenkomsten en verschillen en deze worden duidelijk na de volgende paragrafen.

3.1.1 Golfbrekers

Golfbrekers komen voor in verschillende wateren, zoals zeeën, oceanen, rivieren en meren:



Figuur 6, golfbreker in vogelvluchtperspectief, Rock Manual hoofdstuk 6.

‘Een golfbreker is een constructie die hoofdzakelijk ontworpen is voor de bescherming van aangemeerde schepen in havens en voor de bescherming van havenfaciliteiten tegen golfacties, maar een golfbreker wordt soms ook gebruikt om stranden tegen erosie te beschermen of kostbare leefgebieden te beschermen die bedreigd worden door destructieve krachten van de zee.’ (Verhagen, d'Angremont, & v Roode, Breakwaters and closure dams 2nd edition, 2009)

Golfbreker in rivier

De bovenstaande definitie is duidelijk gericht op golfbrekers in zeeën en oceanen. Er zijn ook golfbrekers in rivieren, deze worden kribbes genoemd, welke andere functies kunnen hebben. Enkele functies zijn: het geleiden van stromingen en de diepte en breedte van een vaargeul of rivier fixeren.

Golfbreker in zee

Een golfbreker die is verbonden aan een haven wordt vaak ontworpen om zowel havens te beschermen tegen golfacties als om het sedimenttransport te blokkeren. Wanneer een golfbreker haaks aan een strand is verbonden wordt dit type golfbreker in het Engels een groyne genoemd. Een coastal groyne, kustgolfbreker, wordt vaak ontworpen voor het behouden of aanwinnen van de kustlijn of om sedimenttransport langs de kust te blokkeren. Sommige golfbrekers worden ook ontworpen om shoaling tegen te gaan. Shoaling is een proces waarbij een golf die een kust nadert zijn rotatie niet meer kan maken in het relatief ondiepe water. De golf wordt daardoor hoger en korter en daardoor bedreigend voor de kustlijn.

Golfbreker types

Golfbrekers zijn erg dure constructies vanwege de grote hoeveelheden materialen die benodigd zijn. Er zijn verschillende type golfbrekers, te noemen:

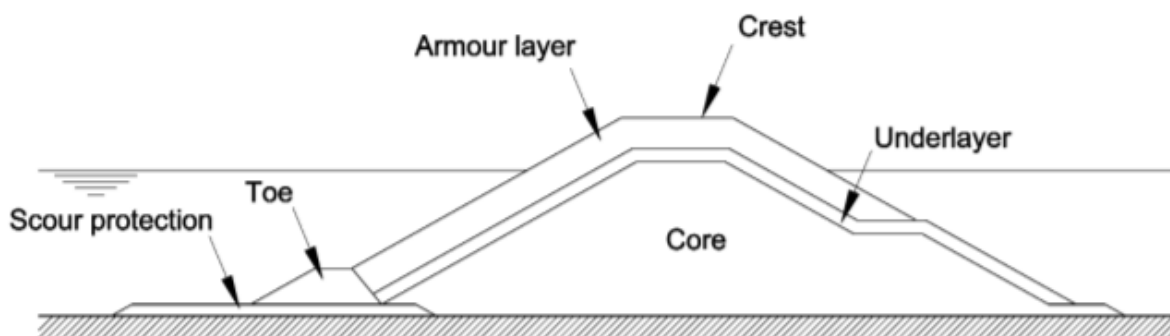
- Stortsteen/breuksteen/klassieke/conventionele golfbrekers
- Monolithische golfbrekers
- Composiet golfbrekers
- Speciale/onconventionele golfbrekers

Het type golfbreker dat wereldwijd het meest wordt ontworpen is de conventionele golfbreker. In het voorstel beroepsproduct en in overleg met praktijkbegeleider K. Stoeten is gekozen om voor het afstudeeronderwerp enkel te richten op conventionele golfbrekers.

De conventionele golfbreker bestaat doorgaans uit breuksteen en/of gewapend betonblokken.

Typische doorsnede

Een typische doorsnede van een conventionele golfbreker is zichtbaar in Figuur 7. De golfbreker bestaat uit meerdere lagen. De bovenste laag van de golfbreker is onderhevig aan de directe invloeden van golven. Deze laag, de armour layer/toplaag, bestaat uit het grootste formaat stenen of gewapende betonblokken. Het formaat van breuksteen en betonelementen is meestal per gewicht bepaald en het is daardoor op basis van kosten effectiever om te werken met meerdere formaten. De verschillende formaten zijn doorgaans ingedeeld in drie lagen, te noemen: armour layer, filter/under-layer en de core, oftewel de toplaag, filterlaag en kern.



Figuur 7, golfbreker doorsnede conventional rubble mound, Rock Manual hoofdstuk 6.

Op dit type golfbreker kan een additief/superstructuur worden geplaatst, zoals een betonnen wand of kruinmuur, zie Figuur 8. Deze wand heeft meestal twee functies:

- Toegankelijkheid voor personen of voertuigen creëren.
- De hoeveelheid water dat tijdens extreme golfcondities over de golfbreker verplaatst te limiteren.



Figuur 8, kruinmuur op de haven van Sri Lanka, <https://www.xbloc.com/en/projects/dikkowita-sri-lanka>

Kribbes (golfbreker in rivier)

Kribbes bestaan doorgaans uit een toplaag met stenen, welke soms gepenetreerd zijn met asfalt of beton. Daaronder ligt vaak een matras/zinkstuk/kraagstuk welke van verschillende materialen kan worden gemaakt, veelal uit geotextiel, wiepen of bamboematrassen.

Verschillen en overeenkomsten golfbrekers en kribbes

Verschillen:

- Dimensies en toegepaste steengrootte
- Locatie in zee/oceaan of in een rivier
- Lagenopbouw
- Erosiegevoeligheid van de constructie
- Functie: beschermen havenfaciliteiten/kustlijn behouden en breedte rivier fixeren

Overeenkomsten:

- Beschermen tegen golfacties
- Kan worden toegepast voor het behoud van de kust/oever
- Gebruik van breuksteen

3.1.2 Oeverbeschermingen

Oeverbescherming is een maatregel om het erosieproces aan oevers tegen te gaan of te reguleren. 'Oevererosie kan leiden tot verlies van grond en kan eigendom of constructies bedreigen.' [...] De afzetting van geërodeerd bankmateriaal verder stroomafwaarts kan ook schade veroorzaken, zowel aan constructies (bijvoorbeeld sedimentatie of erosie onder bruggen) als aan de omgeving (bijvoorbeeld verstikking van grind door fijn sediment). (Nguyen, Bank Protection Rivers and Lochs, 2008)

Volgens Nguyen heeft natuurlijke oevererosie verschillende doelen: 'ecologische habitatten te vernieuwen, onderdeel uitmaken van de natuurlijke balans van rivieren en terwijl sediment wordt geërodeerd, het sediment in de rivier stroomafwaarts verplaatsen en afzetten om zo de rivierenergie af te voeren.'

Wanneer wordt oeverbescherming toegepast?

Wanneer ergens erosie aan oevers is zijn er vijf opties om de oever te behouden: (Schiereck, Introduction to bed, bank and shore protection, 2004)

1. Niets doen (Geen maatregel)
2. **De oorzaak van het probleem weghalen (Harde maatregel)**
3. Sediment toevoegen (Zachte maatregel)
4. **De belastingen die erosie veroorzaken verminderen. (Harde maatregel)**
5. **De sterkte van het erosiegevoelige gebied verhogen. (Harde maatregel) Door bijvoorbeeld oeverbescherming**

De keuze voor de bovenstaande toepassingen hangt af van verschillende belangen.

Bij een natuurgebied kan bijvoorbeeld gekozen worden om geen maatregelen te nemen, waar in een stedelijk gebied met veel inwoners en een hoge economische waarde eerder gekozen zal worden om de erosie tegen te gaan of te reguleren. Een voorbeeld van oeverbescherming langs een dorp in Myanmar is zichtbaar in Figuur 9.



Figuur 9, oeverbescherming in Myanmar, <https://www.globalnewlightofmyanmar.com/new-design-concrete-wall-to-protect-banks-against-erosion/>

Maatregelen

Om de erosie tegen te gaan of te reguleren kunnen de volgende toepassingen worden gebruikt:

- **Oever- of dijkbekleding**
Kan bestaan uit een samenstelling van materialen.
De meest toegepaste materialen zijn: steen, betonelementen, asfalt of gras.
- **Stijve constructies**
Bijvoorbeeld verticale stalen damwanden/platen of houten verticale bekleding aan de oever.
Deze constructies worden meestal toegepast als er weinig ruimte aan de oever beschikbaar is voor oeverbescherming en als er huizen of wegen direct naast het water zijn.
- **Kribbe**
Hebben meestal als doel om de diepte van een rivier te reguleren door de breedte van de rivier te fixeren. Bestaat doorgaans uit stenen dammen of houten palen. Houten palen zijn meestal een goedkopere maatregel maar hebben een kortere levensduur
- **Natuurlijke oeverbescherming**
Kan bestaan uit verschillende vegetatie, zoals wilgen, riet of andere planten die golven en getijdestromen kunnen reduceren. Wanneer de golfacties te krachtig zijn voor de vegetatie om te overleven wordt soms een combinatie toegepast van een beschermend matras (geotextiel bijvoorbeeld) met vegetatie ertussen geplaatst. Daarnaast draagt natuurlijke oeverbescherming bij aan een verbetering van de lokale ecologie en is deze vorm van oeverbescherming duurzamer dan de andere mogelijke maatregelen.

Vanuit deze bevindingen is het raadzaam om verder te onderzoeken welke parameters en randvoorwaarden van elkaar verschillen voor het ontwerp van een golfbreker of oeverbescherming. Daarnaast zijn er verschillende disciplines bij het ontwerp betrokken, het is interessant om te kijken hoe al deze disciplines aan elkaar gekoppeld kunnen worden in het ontwerpproces.

Conclusie

Golfbrekers en oeverbeschermingen zijn twee typen waterbouwkundige constructies. Golfbrekers worden meestal ontworpen om havens of kuststroken te beschermen tegen golfacties of erosie. Oeverbeschermingen worden ontworpen om oevererosie tegen te gaan.

3.2 Wat is de relevantie van het beroepsproduct en hoe past dit binnen de bedrijfsvisie?

‘De Architecture Engineering en Construction industrie (AEC⁸) loopt achter op de digitalisering’ (Harris, Marshall, & Owen, 2019)

Een aantal invloedrijke personen in de digitaliseringsomslag zijn geïnterviewd door Jammie Harris, Jordan Marshall en Jonathan Owen. Volgens hen loopt de bouw achter op digitalisering doordat:

- Projecten in de AEC vergeleken met andere industrieën lang duren en het daardoor lastig is om grote wijzigingen op projecten door te voeren. Daarnaast wordt voor een project een contract opgesteld en mag daar niet aan gewijzigd worden, dus wordt er weinig geëxperimenteerd. Dit zorgt ervoor dat er weinig dynamiek zit in het ontwerpproces.
- Bedrijven de mogelijkheden van digitalisering niet als verbetering van het ontwerpproces zien, maar als een toevoeging.
- De industrie afwachtend is naar nieuwe software.
- De veranderingen die moeten worden doorgevoerd erg grondig zijn.
- De industrie lage marges op projecten heeft, waardoor hoge investeringen in digitalisering hoge financiële risico's voor een bedrijf met zich meebrengt. Hierdoor worden er weinig onderzoeken gedaan naar nieuwe technieken.
- Men in de AEC digitale tools enkel toepast in een traditioneel ontwerpproces en niet fundamenteel de digitale mogelijkheden gebruikt.
- Er op weinig bestaande projecten volledig digitaal wordt gewerkt, daardoor is het vertrouwen in digitalisering nog niet groot.
- De cultuur in de industrie vanaf ouds af aan al een conservatieve houding heeft.
- Bij de educatie voor een baan in de AEC-sector starters traditioneel worden opgeleid, waar geen digitale vaardigheden nodig zijn.
- Het volledig begrijpen van digitalisering en nieuwe ontwerptools een intensief leerproces is.

Na een interview met een collega, specialist automatisering van ontwerpprocessen, is naar voren gekomen dat Arcadis nu erg inzet op het digitaliseren van het bedrijf. Arcadis wil enerzijds meegaan met de tijd, maar ziet vooral de voordelen in van de nieuwe en geautomatiseerde ontwerpprocessen. Volgens de specialist zorgt parametrisch ontwerpen voor:

- Een hogere kwaliteit van het ontwerp.
- Ondersteuning in duurzaamheid.
- Een verhoging van de productiviteit.
- Reduceren van complexiteit.
- Besparen van moeizame en herhaaldelijke taken.
- Een reductie van de ontwerptijd.

Met de bedrijfsvisie: ‘Arcadis Digital in 2030’ zijn er nog veel stappen te ondernemen en daar is parametrisch ontwerpen slechts een klein onderdeel van, maar wel een van de eerste stappen.

Conclusie

De relevantie van het afstudeerontwerp binnen de bedrijfsvisie ligt in het halen van voordelen uit de nieuwe digitale ontwerpprocessen en in het meegaan met de tijd.

⁸ De AEC, Architecture, Construction and Engineering industrie is de industrie waar waterbouw onder valt.

3.3 Wat is parametrisch ontwerpen?

Interessant is om te weten wat het voordeel is van parametrisch ontwerpen, omdat dit kan aantonen waarom het van belang is voor Arcadis om te investeren in deze nieuwe techniek.

3.3.1 Parametrisch ontwerpen

Definitie

“Parametrisch ontwerpen is het expliciet definiëren van parameters van objecten en het leggen van relaties tussen objecten.” (Tudelft, 2015)

Voordelen

Parametrisch ontwerpen zorgt ervoor dat ‘het gehele ontwerpproces gesimplificeerd wordt, wat ervoor zorgt dat zowel de productiviteit omhoog gaat als de kwaliteit van het ontwerp’ (Fu, 2018). Volgens Fu zorgt een parametrisch ontwerpproces ook voor een ideale ontwerpmethode om duurzaamheid in het ontwerp te ondersteunen. Hieruit valt te zeggen dat parametrisch ontwerpen relevant is voor het reduceren van complexiteit in het ontwerpproces van golfbrekers en oeverbeschermingen. Daarmee betekent het ook dat de doelstelling uit het voorstel beroepsproduct correct geformuleerd is.

Doelstelling uit het voorstel beroepsproduct: *De complexiteit en fragmentatie van het ontwerpproces van golfbrekers en oeverbeschermingen dient gereduceerd te worden door het definiëren van een geparametriseerd ontwerpproces.*

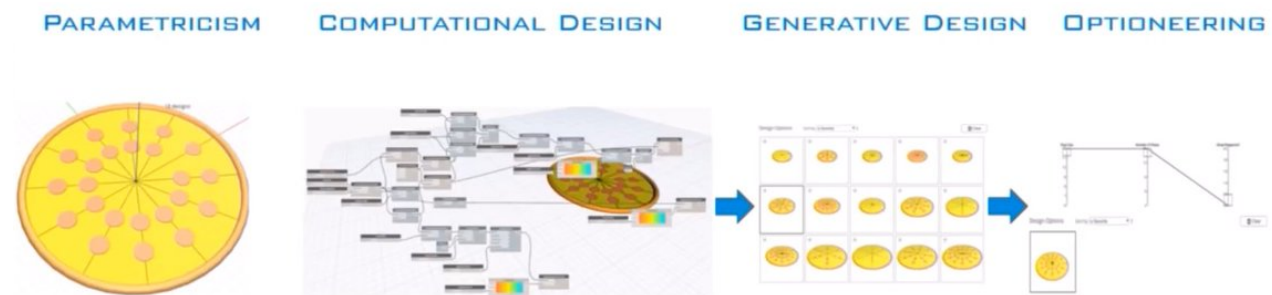
Volgens Llorens kan met parametrisch ontwerpen makkelijk oorspronkelijke waarden worden aangepast, waardoor de precisie verhoogd wordt. Daarnaast kunnen moeizame en herhaaldelijke opdrachten bespaard blijven wat ook tijd in het ontwerpproces bespaart. (Llorens, 2015)

Programma's

Parametrische ontwerpen kunnen worden gegenereerd in verschillende softwareprogramma's. Enkele toonaangevende softwareprogramma's volgens Fu zijn: Rhino (architectuur), SolidWorks (mechanische ontwerp applicaties), CATIA (lucht- en ruimtevaart, auto- en scheepsindustrie), AutoCad (mechanische en bouw ontwerpen), Bentley MicroStation V8 (voor architecten en ingenieurs). Daarnaast kunnen softwareprogramma's elkaar ondersteunen. Die samenwerking verloopt dan parametrisch. Het is bijvoorbeeld mogelijk om data vanuit Excel op te roepen als invoer voor een ander softwareprogramma. Binnen Arcadis wordt vooral parametrisch ontworpen met Revit en Dynamo.

3.3.2 Parametrisch ontwerpen als onderdeel van een integraal proces

Om door middel van digitalisering tot het best mogelijke ontwerp voor een opdrachtgever te komen, zijn een aantal belangrijke stappen nodig, zie Figuur 10.



Figuur 10, Parametrisch ontwerpen als onderdeel van digitaal ontwerpproces, Bron: EvolveLab

Volledige digitalisatie van ontwerpproces

- De eerste stap ten opzichte van traditioneel ontwerpen is het maken van parametrisaties, het maken van gestandaardiseerde ontwerpen.
- Vervolgens kan in de tweede stap met parametrisch ontwerpen een algoritme worden geschreven zodat de computer begrijpt wat de parametrisatie is. Vervolgens dienen alleen de parameters bepaald/ gelinkt te worden aan het programma waarmee parametrisch ontworpen wordt.
- De derde stap is door generative design, generatief ontwerpen, de computer alle mogelijke varianten met de parameters en gewenste waardes te laten bepalen.
- De laatste stap is optioneering design, het kiezen van de beste optie uit de resultaten van generative design. Door het vergelijken van de eisen van de opdrachtgever/klant met de vele ontwerpen kan vervolgens het beste resultaat ontstaan.

De resultaten van deze ontwerpmethodes zijn niet enkel de perfecte geometrie, maar ook inzicht in andere informatie. Bij gebouwen kan dit bijvoorbeeld zijn: hoeveelheid zonlicht, energiebehoeften, duurzaamheid en akoestiek. Voor golfbrekers en oeverbeschermingen zijn de voordelen van parametrisch ontwerpen vooral inzicht in de exacte volumes en een oordeel over de duurzaamheid.

Conclusie

Parametrisch ontwerpen is het expliciet definiëren van parameters van objecten en het leggen van relaties tussen objecten. Parametrisch ontwerpen zorgt ervoor dat productiviteit, kwaliteit en precisie verhoogd worden. Ook zorgt parametrisch ontwerpen voor reductie van complexiteit en tijd in het ontwerpproces. Parametrisch ontwerpen is onderdeel van de digitalisering van ontwerpprocessen.

3.4 Hoe ziet het huidige ontwerpproces voor een ontwerp van golfbrekers en oeverbeschermingen eruit?

Momenteel wordt bij Arcadis zelden een 3D-ontwerp gemaakt in het huidige ontwerpproces voor golfbrekers en oeverbeschermingen. De klant en aannemer ontvangen voor het ontwerp van een constructie enkel een aantal 2D-tekeningen, vaak ook op verzoek van de klant. Op basis van die 2D-tekeningen wordt in de VO- en DO-fase volumes bepaald.⁹ Om voor mijn beroepsproduct tot een 3D-ontwerp te komen, kijk ik naar het ontwerpproces voor een 2D-tekening van golfbrekers en oeverbeschermingen.

Aanleiding tot geometrie

De geometrie van golfbrekers en oeverbeschermingen wordt bepaald door een aantal ontwerpvariabelen. Deze ontwerpvariabelen worden gekozen door de ingenieurs. De ingenieurs kiezen de ontwerpvariabelen op basis van de resultaten van modelleers. Er wordt een aantal varianten bekeken en uiteindelijk wordt de gewenste variant door de klant gekozen. Deze ontwerpvariabelen van de ingenieurs bepalen de niet enkel de grootte van de waterbouwkundige objecten. De waarden van de ontwerpvariabelen zijn ook maatgevend voor de samenstelling van elementen. Bijvoorbeeld bij een golfbreker kunnen extreme golfcondities of een lokaal gebrek aan breuksteen leiden tot de keuze van betonblokken voor de toplaag in plaats van het gebruik van stortsteen. Bij oeverbeschermingen kan de lage stroomsnelheid maatgevend zijn voor de keuze tussen natuurlijke oeverbeschermingen, zoals gras, of het gebruik van stortsteen.

Een tekenaar of ontwerper maakt het 2D-ontwerp op basis van:

- De gekozen structurele werking van het ontwerp
- De grootte van de waarden van de ontwerpvariabelen
- De koppeling van het ontwerp met de ondergrond en omgeving.
- Ervaring
- Geldende voorschriften voor het ontwerp.

Lay-out en doorsnedes

Bij golfbrekers en oeverbeschermingen wordt doorgaans als eerste de lay-out van de middellijn bepaald. Bij golfbrekers is dit vaak het midden en bij oeverbeschermingen is dit vaak de kruinlijn. Voorbeelden hiervan zijn te zien in Figuur 11 en Figuur 13. Vervolgens worden een aantal doorsnedes gemaakt van de lay-out, zie Figuur 12 en Figuur 14. De doorsnedes worden meestal gemaakt bij bochten, overgangen op verschillende steengroottes en op rechte stukken met een interval van een aantal meter. Bij een golfbreker van 500 meter lang is dit interval op DO-niveau bijvoorbeeld ongeveer 25 meter. Zoals te zien is in Figuur 12 heeft de bodemkaart/diepte een grote invloed op het ontwerp. Uiteindelijk wordt een overzichtstekening gemaakt waarop een grove schatting van de lay-out staat. De schatting is grofweg doordat het ontwerp niet nauwkeurig is verbonden met de bodemkaart. Figuren 6, 7, 8 en 9 staan op paginanummers 26 en 27.

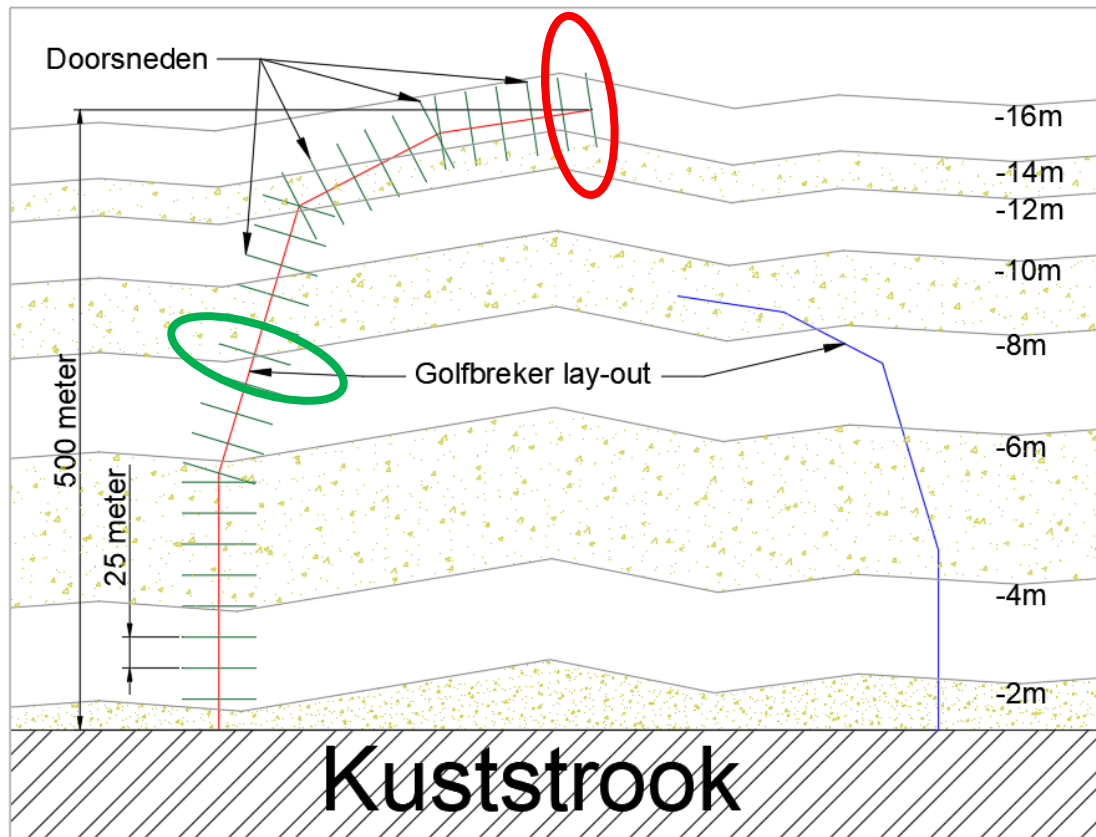
Volumes

Door middel van lineaire interpolatie tussen de doorsnedes worden de volumes van de lagen van het waterbouwkundig object bepaald. Deze volumes worden doorgegeven aan de kostenspecialist. De kostenspecialist kent de prijs van de materialen per volume en zo wordt het bedrag van de constructie bepaald.

⁹ VO en DO, voor ontwerp en definitief ontwerp.

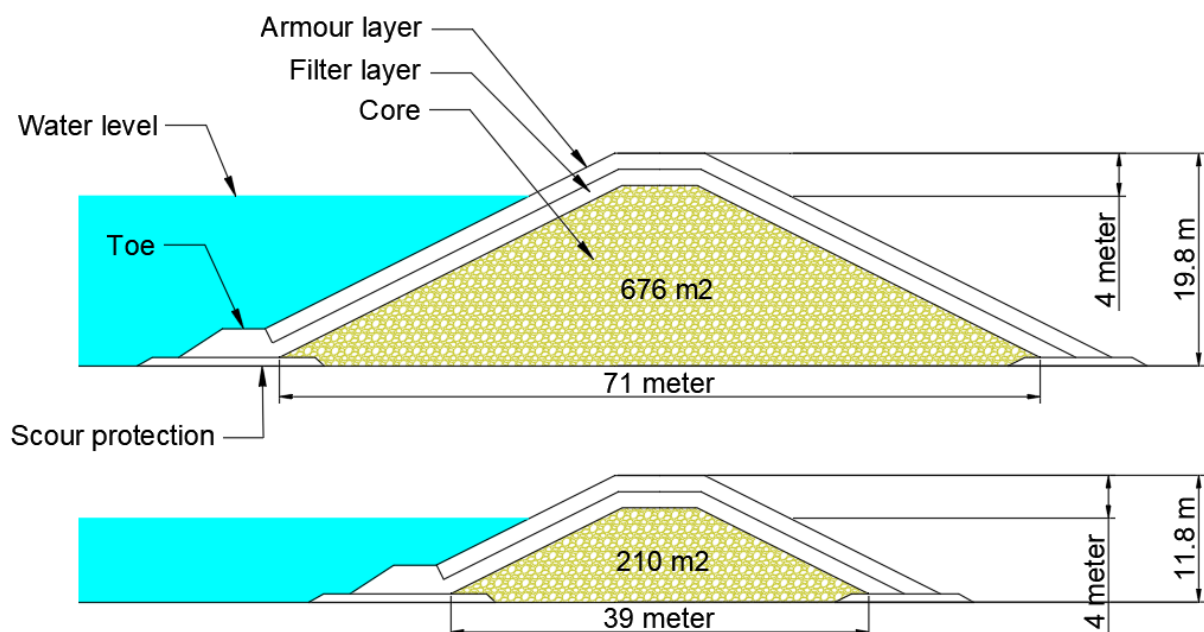
Conclusie

Het huidige ontwerpproces voor een 3D-ontwerp van golfbrekers en oeverbeschermingen wordt in de praktijk vaak niet uitgevoerd. Er wordt doorgaans een aantal 2D-tekeningen gemaakt en op basis daarvan worden volumes bepaald.

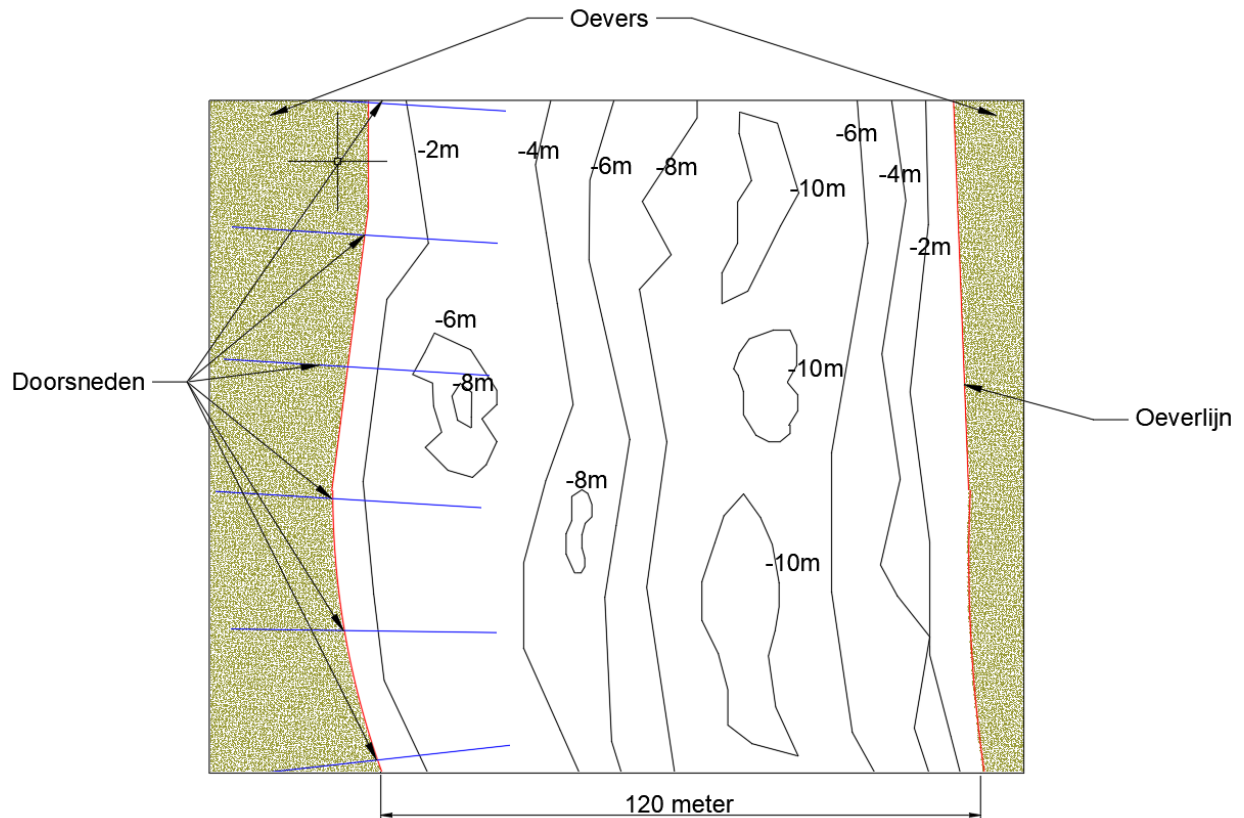


Figuur 11, bovenaanzicht golfbreker lay-out

De contourlijnen in de bovenstaande figuur zijn de waterdieptes. De grootste doorsnede uit Figuur 12 is in het rood omcirkeld in het bovenaanzicht in Figuur 11.

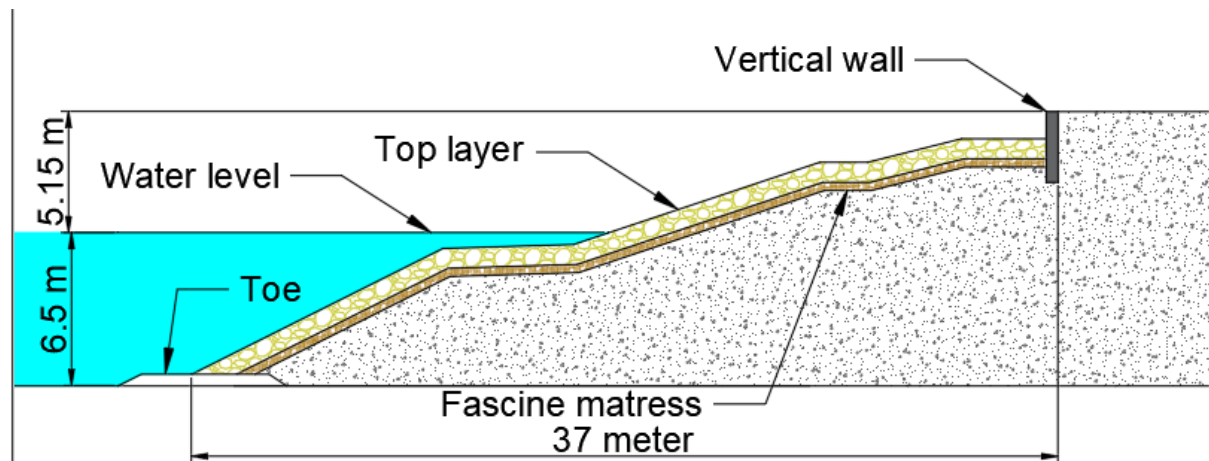


Figuur 12, doorsnedes golfbreker.



Figuur 13, bovenaanzicht lay-out oeverbescherming

De contourlijnen in de bovenstaande figuur zijn de waterdieptes.



Figuur 14, doorsnede oeverbescherming met een toplaag en matras

In Figuur 12 en Figuur 14 is de waterdiepte in het blauw weergegeven.

3.5 Hoe ziet het parametrisch ontwerpen van waterbouwkundige constructies er nu uit?

Er zijn al een aantal parametrische ontwerptools om bijvoorbeeld globale dimensies van de golfbreker te berekenen. Dit wordt meestal als indicatief hulpmiddel gebruikt. Binnen Arcadis zijn er al enkele parametrische tools, maar voor de literatuurstudie kijk ik daar niet naar.

CADOB

In de CADOB (Computer Aided Design Of Breakwaters), een rapport van Rijkswaterstaat uit 1992 is voor het eerst een computerprogramma (CADOB) voor het ontwerp van een doorsnede van een golfbreker beschreven. Met dit programma was het voor het eerst mogelijk om vier verschillende doorsnedes van een conventionele golfbreker te genereren door de computer aan de hand van parameters, een vorm van parametrisch ontwerpen. Uit de doorsnedes kan het CADOB dan een volume voor de benodigde steensoort bepalen en vergelijken met een cumulatieve distributie curve voor de productie van een steengroeve. Hieruit volgt de optimale keuze voor de toe te passen steengroottes voor de golfbreker. (Hombergen, 1992)

CODES

Op het platform van CoDeS (de Wit, 2019) (Coastal Design and Support tools) zijn vele tools beschikbaar voor het ontwerpen van constructies die met coastal engineering te maken hebben. Deze tools zijn niet 100% nauwkeurig, maar zijn vooral bedoeld om ingenieurs te ondersteunen in hun ontwerpkeuzes en zijn bedoeld om klanten en stakeholders snel een indicatief inzicht te geven in het ontwerp. De ontwerpen zijn in 2D visueel zichtbaar. De tools zijn gemaakt door een samenwerking van Deltares, Witteveen+ Bos & RoyalHaskoning DHV en zijn online gratis beschikbaar.

Er is onder andere een tool beschikbaar voor het ontwerp van golfbrekers. Deze tool kan een de dimensies van de golfbreker en een aantal eigenschappen uitrekenen aan de hand van bodemkaarten, gewenste locatie, golfddata en andere data. Uiteindelijk kan ook een kostprijs van het ontwerp worden berekend. De uitkomsten zijn gebaseerd op de richtlijnen uit de Rock Manual en de nauwkeurigheid is onzeker.

CRESS

CRESS (onbekend, 2019) is net als CoDeS een platform met tools voor het ontwerpen van constructies die met coastal engineering te maken hebben. Daarnaast biedt het platform ook tools aan voor rivier engineering.

In dit platform is het echter niet mogelijk om een visueel ontwerp te genereren, het is wel mogelijk om maatgevende parameters van een ontwerp uit te rekenen aan de hand van basisgegevens. Het is duidelijk zichtbaar op dit platform dat het makkelijk er is om te herleiden welke formule er is gebruikt voor het uitrekenen van een parameter vergeleken met CoDeS. CRESS kan belangrijke parameters bepalen voor zowel oeverbeschermingen als golfbrekers als andere waterbouwkundige constructies.

BREAKWAT (sinds 2000)

BREAKWAT is ook een ontwerptool voor het voorontwerp van coastal engineering constructies. Deze tool kan worden gebruikt om snel een aantal maatgevende parameters te bepalen.

4. Realisatie beroepsproduct

In dit hoofdstuk staat geschreven hoe het eindproduct tot stand is gekomen en wordt er een praktische oplossing geformuleerd als antwoord op de hoofdvraag.

4.1 Welke toepassing van parametrisch ontwerpen is geschikt voor de realisatie van het beroepsproduct?

Om een parametrisch 3D-ontwerp te realiseren dient te worden gekeken naar een standaard ontwerp en de parameters die het standaard ontwerp beïnvloeden. Het standaard ontwerp wordt een parametrisatie genoemd. Een parametrisatie van een golfbreker doorsnede kan worden gemaakt door de geometrie wiskundig uit te drukken in een script. De parameters kunnen in hetzelfde of script worden aangeleverd en gewijzigd.

Scripting

Er dient dus als eerste een parametrisatie te worden gemaakt via een script. De conventionele methode om een script te maken is door middel van programmeren. Een methode om eenvoudiger scripts te schrijven is door het gebruik van visual programming/visueel programmeren. Visual programming is als beginnend programmeur gebruiksvriendelijker voor het maken van eenvoudige scripts. Enkele handelingen zijn namelijk al gestandaardiseerd in 'nodes' en elementen worden grafisch weergegeven in plaats van tekstueel. Er zijn verschillende tools/ gereedschappen om visueel te programmeren.

Koppeling met omgeving

Een script dient te worden uitgevoerd in een programma waar de parametrisatie wordt getoond. Doorgaans worden er bij Arcadis geen 3D-ontwerpen van golfbrekers gemaakt, maar worden er 2D-tekeningen in AutoCad gemaakt. Het zou dus mogelijk zijn om een script uit te voeren in AutoCad, waar ook een 3D-ontwerp uit volgt. Er ontbreekt dan echter een belangrijke verbinding. Namelijk de verbinding van een ontwerp met de ondergrond/projectlocatie. Een conventionele golfbreker is altijd verbonden met de ondergrond. Een programma waar eenvoudig de projectlocatie/ondergrond in geïmporteerd kan worden is Civil3D2020 van Autodesk.

Programma's

Het is in Civil3D mogelijk om een VBA-script te draaien en sinds 2019 is het mogelijk om in Civil3D een script van Dynamo te draaien, een Visual Programming programma. Dynamo is ook ontwikkeld door het team van Autodesk en heeft daardoor een goede samenwerking met Civil3D. Daarom heb ik gekozen om door middel van visual programming het 3D ontwerp van een golfbreker te realiseren. Echter blijkt dat er ook nog een ander programma is van Autodesk waarmee parametrisaties kunnen worden gemaakt, namelijk de Autodesk Subassembly Composer 2020. Deze parametrisaties zijn doorsnedes van de golfbreker en daardoor ontbreekt nog steeds de link naar een 3D-ontwerp.

Van 2D naar 3D

Het grootste deel van een golfbreker kan worden gezien als een object met een aantal doorsnedes die aan een lay-out is gekoppeld. Alleen de kop van de golfbreker wijkt af van de rest van het ontwerp. In Civil3D is het mogelijk om een *corridor* te creëren. Een corridor is bijvoorbeeld een weg, een rails, een stoepwand, een tunnel en is een 3D-object. Door standaarddoorsnedes te koppelen aan de lay-out van de golfbreker kan er een *corridor* worden gemaakt in Civil3D. De waarden van de parameters van de doorsnedes van de *corridor* kunnen vervolgens in Civil3D worden aangepast om de gewenste geometrie te krijgen.

Parameter invoer

Nu is het in Civil3D niet overzichtelijk wat een parameter is, waar de van de parameter vandaan komt en of het een realistische waarde is. Daarom heb ik ervoor gekozen om mijn parameters te verkrijgen uit een Excelbestand. In Excel is het mogelijk om de referenties van de parameters toe te voegen en is het overzichtelijker voor een gebruiker wat een realistische waarde voor de parameter is. Met Dynamo kunnen de parameters uit het Excelbestand worden gelezen en kunnen de waarden van de parametrisaties worden overgeschreven. Daarnaast kan een Excelbestand ook altijd worden omgezet in een koppeling met andere software.

Totstandkomingsproces

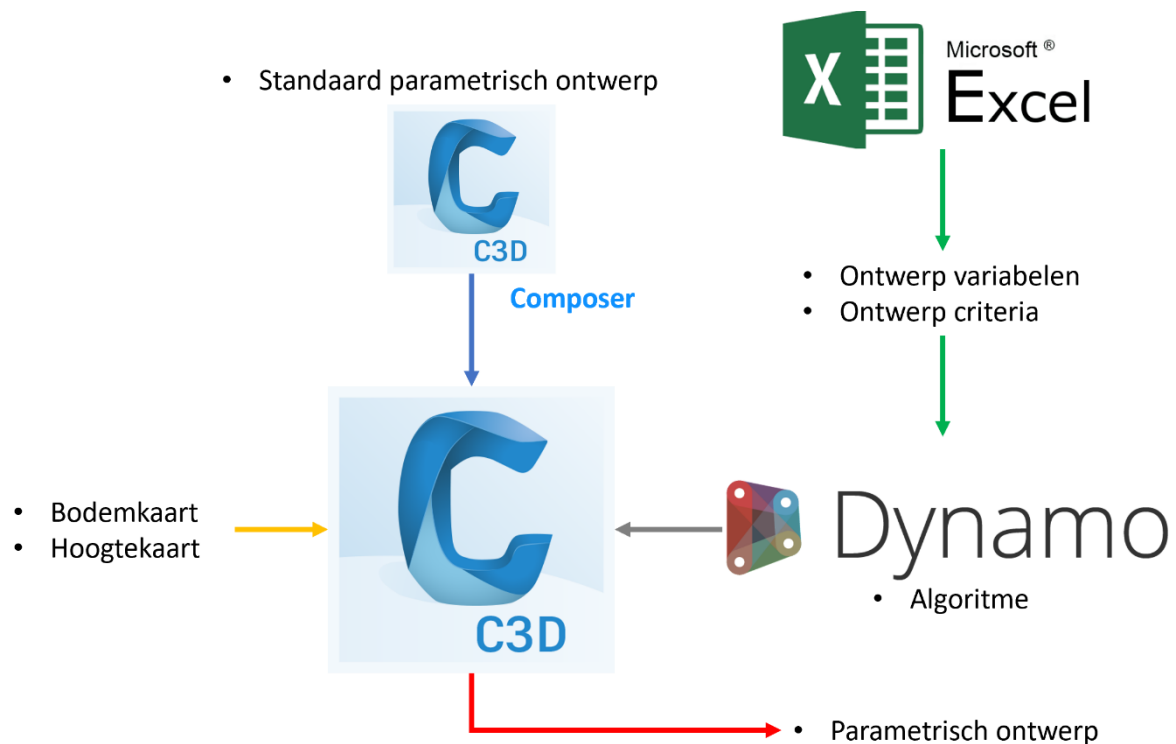
Het totstandkomingsproces van het bepalen van de toepassing van parametrisch ontwerpen is te vinden in bijlage 2.

Conclusie

De toepassing van parametrisch ontwerpen voor het realiseren van het beroepsproduct is:

1. Het maken van parametrisaties in de Subassembly Composer.
2. Een corridor in Civil3D te maken met de parametrisaties.
3. In een Excelsheet de waarden van de parameters te bepalen.
4. Het visual programming script te draaien om het gewenste 3D ontwerp in Civil3D te verkrijgen.

Het volledige ontwerpproces is zichtbaar in Figuur 15.



Figuur 15, datastroom voor het parametrisch 3D-ontwerp

4.2 Op welke manier moeten en kunnen de verschillende disciplines parameters aanleveren?

Via de Excelsheet die ik heb gemaakt. Zoals uitgelegd in paragraaf 4.1 is Excel een geschikt middel om de waardes van parameters in te voeren. In de Excelsheet kan de ingenieur meerdere varianten van een parametrisch 3D-ontwerp doorrekenen. Het is op het moment een logische keuze om Excel te gebruiken omdat Exceldata altijd kan worden omgezet naar leesbare data voor een ander programma zoals Dynamo.

In de toekomst is het mogelijk om de Excelsheet uit te breiden zodat de coastal modelleur en de ingenieur dezelfde Excelsheet kunnen gebruiken om zo het risico op overdrachtsproblemen te verminderen. Uitleg over de Excelsheet is terug te lezen in bijlagen 3 en 4.

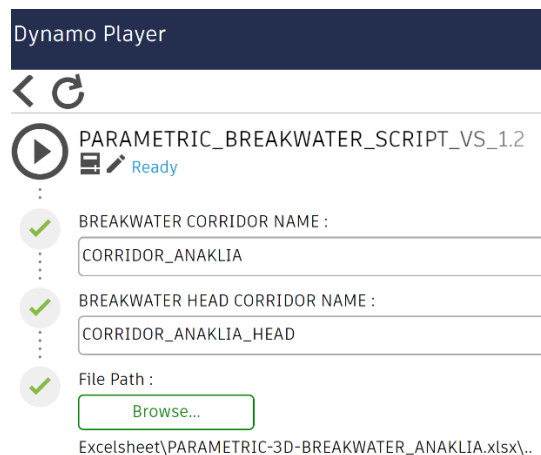
Conclusie

De verschillende disciplines moeten parameters aanleveren via Excel om het risico op overdrachtsproblemen te verminderen en om leesbare data voor het Dynamo-script te verkrijgen.

4.3 Hoe kan het parametrisch ontwerp in Civil3D gerealiseerd worden?

Zoals uitgelegd in paragraaf 4.2, moet de ontwerper als eerste in de Excelsheet de ontwerpvariabelen voor het parametrisch ontwerp invoeren. Vervolgens dient de ontwerper in Civil3D een aantal project specifieke handelingen volgens een vast stramien te verrichten. Dit stramien wordt het gebruikersproces genoemd en is te zien in bijlage 1.

De ontwerper moet uiteindelijk slechts drie componenten linken om het parametrisch 3D-ontwerp in Civil3D te realiseren. Voor golfbrekers is dit bijvoorbeeld de naam van het golfbreker object, de kop van de golfbreker en de Excelsheet, zie ook Figuur 16. Voor oeverbescherming zijn de componenten: het oeverbescherming object, het start- en eindpunt van het traject en de Excelsheet.



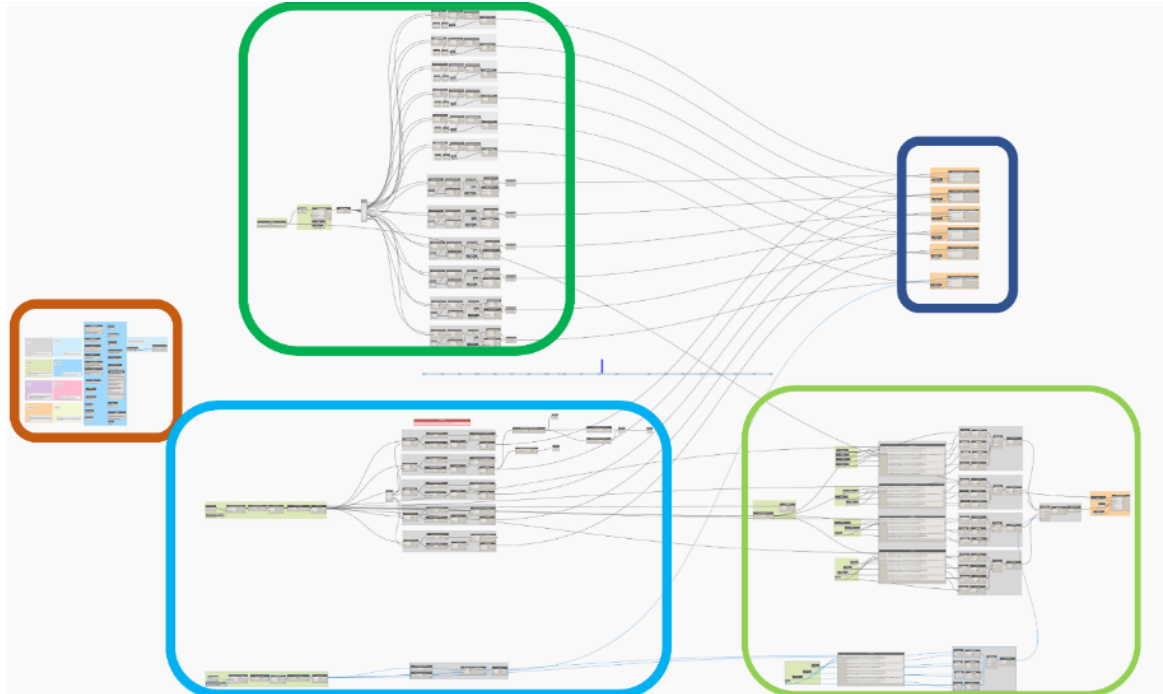
Figuur 16, gebruikersinterface van de Dynamo Player

Overgangen

Wanneer een golfbreker of oeverbescherming uit meerdere doorsnedes bestaat zijn er detailovergangen nodig. In Civil3D worden dit 'transitional subassemblies' genoemd. Het is lastiger om een parametrisatie van een overgang te maken dan van een traditionele doorsnede. Om het detailniveau van het ontwerp te verhogen zijn deze overgangen echter wel nodig in het ontwerp.

Het Dynamo script

In Figuur 17 is het visual programming script voor golfbrekers zichtbaar. Met het script worden waarden van parameters van een standaard object, zoals de golfbreker, overgeschreven met nieuwe waarden vanuit een Excelsheet. Daarnaast worden de volumes van het golfbreker object teruggestuurd naar hetzelfde Excelbestand. Het script bestaat uit vijf elementen die in bijlage 6 verder worden uitgelegd.



Figuur 17, het Dynamo script voor golfbrekers

Conclusie

Het parametrisch ontwerp kan in Civil3D gerealiseerd worden door de koppeling van Civil3D objecten, de Excelsheet en het algoritme in de Dynamo Player. Wanneer alle elementen gelinkt zijn is het eindresultaat zichtbaar in Civil3D.

4.4 Welke parameters zijn er nodig voor het parametrisch 3D-ontwerp?

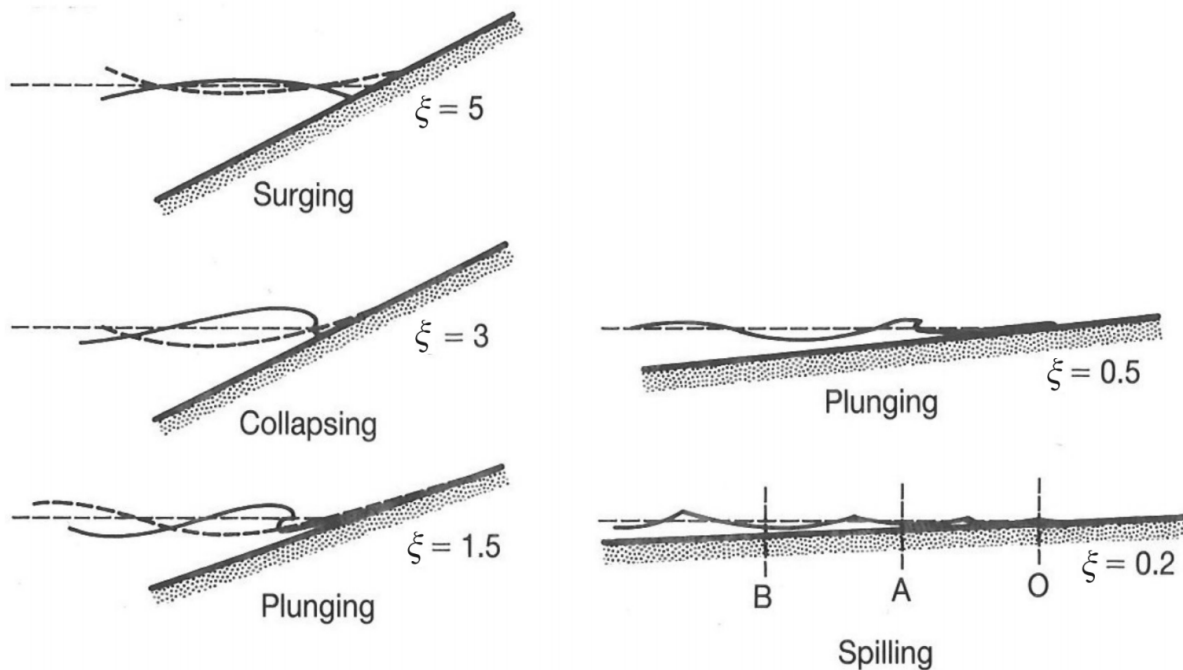
Omdat ik ervoor gekozen heb om enkel een parametrisch 3D-ontwerp van golfbrekers te maken heb ik gefocust op de parameters voor een golfbreker 3D-ontwerp. De parameters van oeverbeschermingen heb ik daarom minder gedetailleerd beschreven.

4.4.1 Parameters van een 3D-ontwerp van golfbrekers.

Aanleiding tot waterbouwkundig ontwerp

De leidraad voor het ontwerp van een golfbreker is The Rock Manual.

In deze handleiding staat beschreven hoe een golfbreker kan worden ontworpen. Zoals beschreven in paragraaf 3.1.1 wordt een golfbreker in zee geplaatst om havenfaciliteiten te beschermen of de kustlijn te behouden. De maatgevende parameter van een golfbreker ontwerp is de helling. Hoe steiler de helling, hoe groter de benodigde steendiameter. Dit komt door de *surf similarity parameter* ξ . Zie Figuur 18. Over het algemeen is de regel des te hoger de waarde van ξ des te groter de benodigde steendiameter.



Figuur 18, surf similarity parameter, Rock Manual

De benodigde steendiameter van de toplaag van de golfbreker (D_{n50}) is afhankelijk van de surf similarity parameter en volgt uit de Van der Meer formule uit Figuur 19.

For **plunging conditions** ($\xi_{s-1,0} < \xi_{cr}$):

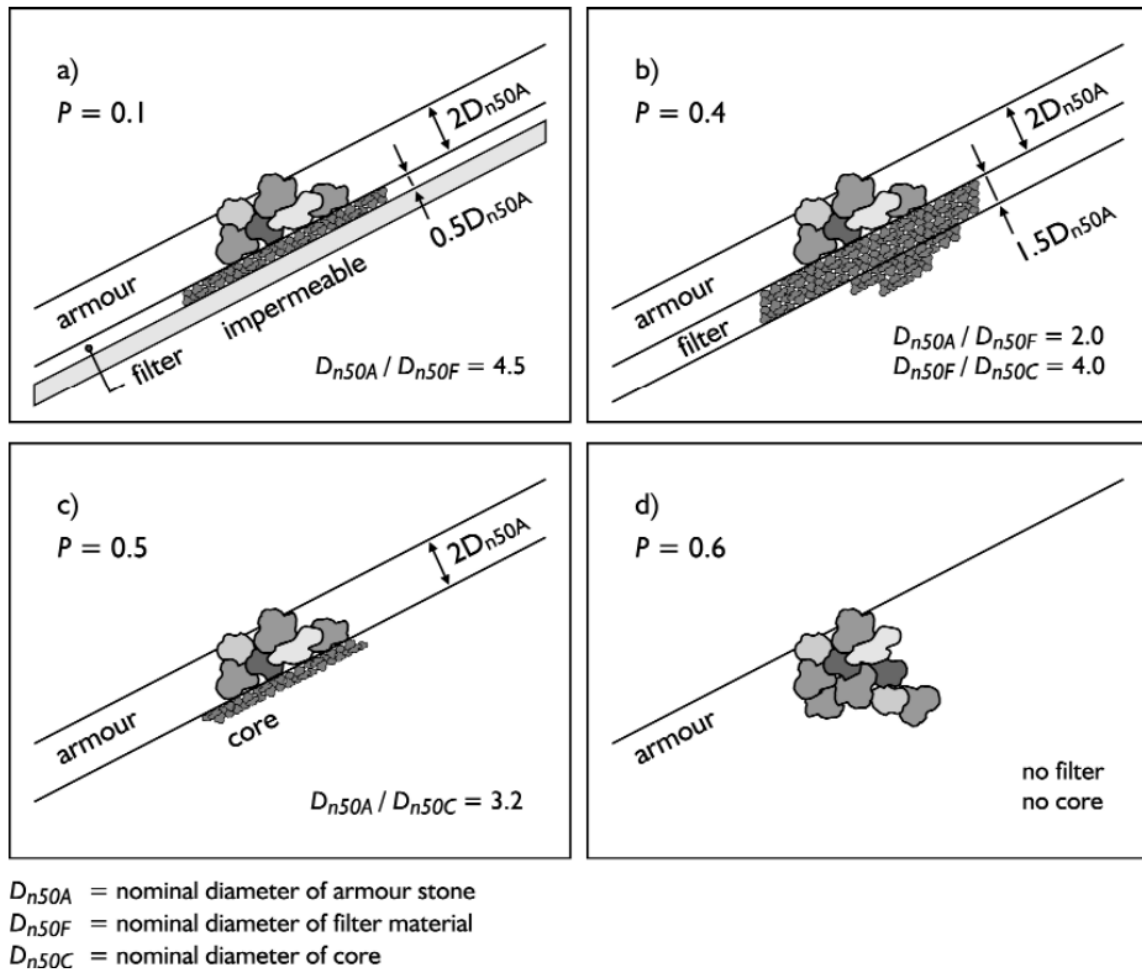
$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_{pl} P^{0.18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \left(\frac{H_s}{H_{2\%}} \right) (\xi_{s-1,0})^{-0.5}$$

and for **surging conditions** ($\xi_{s-1,0} \geq \xi_{cr}$):

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_s P^{-0.13} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \left(\frac{H_s}{H_{2\%}} \right) \sqrt{\cot \alpha} (\xi_{s-1,0})^P$$

Figuur 19, Van der Meer formule voor bepalen D_{n50} van de toplaag, Rock Manual

De laagdiktes van de golfbreker zijn afhankelijk van de D_{n50} van de toplaag, zie Figuur 20. Het type golfbreker waarop is afgebakend is variant b) uit de onderstaande figuur.



Figuur 20, laagdiktes van de golfbreker als functie van de D_{n50A} , Rock Manual

Golfbreker varianten

Verschillende golfbreker varianten wordt doorgaans voornamelijk bepaald door:

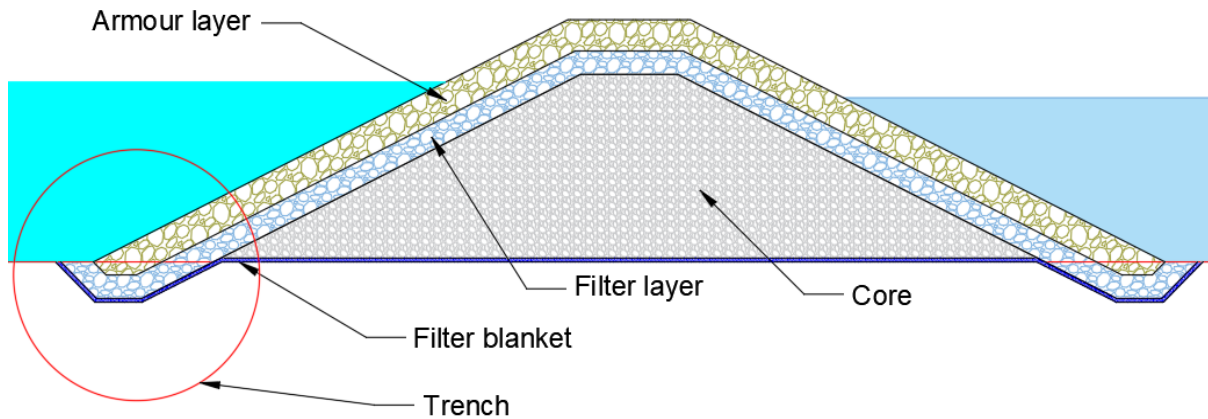
- Golfcondities, sedimentatie en stromingen
- Stabiliteit van de ondergrond
- Beschikbaarheid materiaal.

De golfbreker dient de belastingen (a) van een toekomstige storm op te nemen of te reduceren. Daarbij hoort de ondergrond (b) stabiel te blijven, wat kan betekenen dat er soms grondverbetering nodig is. Daarnaast is de lokale beschikbaarheid van materiaal (c) van belang voor de maximale steendiameter of het gebruik van betonelementen in plaats van breuksteen.

Vervolgens wordt er een ontwerp gemaakt wat rekening houdt met de ontwerpcriteria. Hieruit kunnen meerdere ontwerpen volgen. Uiteindelijk wordt het meest optimale gekozen. In de traditionele ontwerpmethode worden doorgaans een aantal (2 tot 4) varianten bekeken. Deze varianten zijn doorsnedes met een verschillende hellingsgraad. Op basis van de hellingsgraad wordt een benodigde steendiameter gekozen en daarmee een steensortering. De steensortering is vaak de maatgevende beslissing.

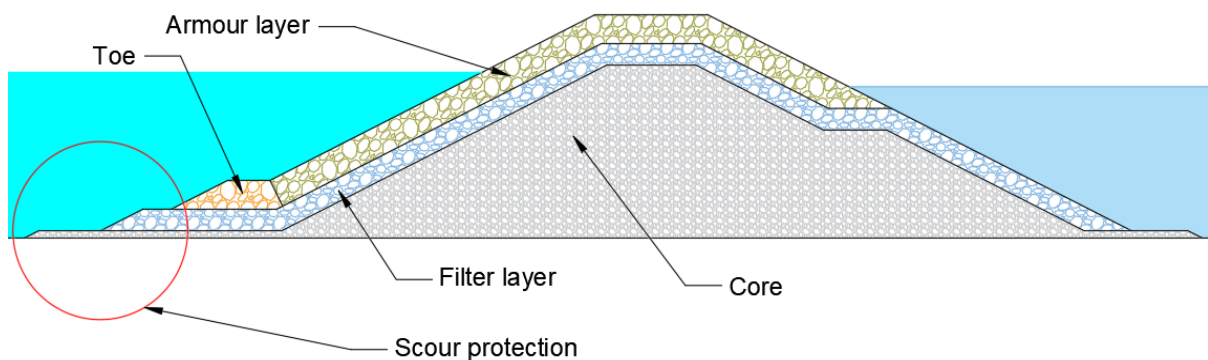
Verschillende golfbreker types

Een conventionele golfbreker kan uit meerdere golfbreker doorsnedes bestaan. Bij het ondiepe deel van de golfbreker (vanaf de kust) wordt vaak de toplaag doorgetrokken tot onder de zeebodem, zie Figuur 21.

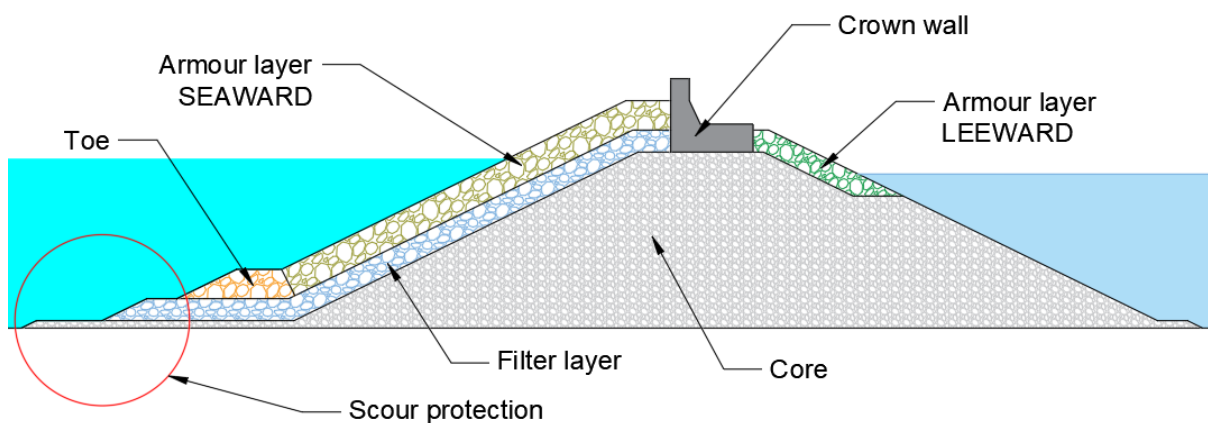


Figuur 21, golfbrekertype: 'Shallow'

De rest van de golfbreker bestaat uit de conventionele variant, de conventional rubble mound, zie Figuur 22, of de variant met een kruin muur, zie Figuur 23.

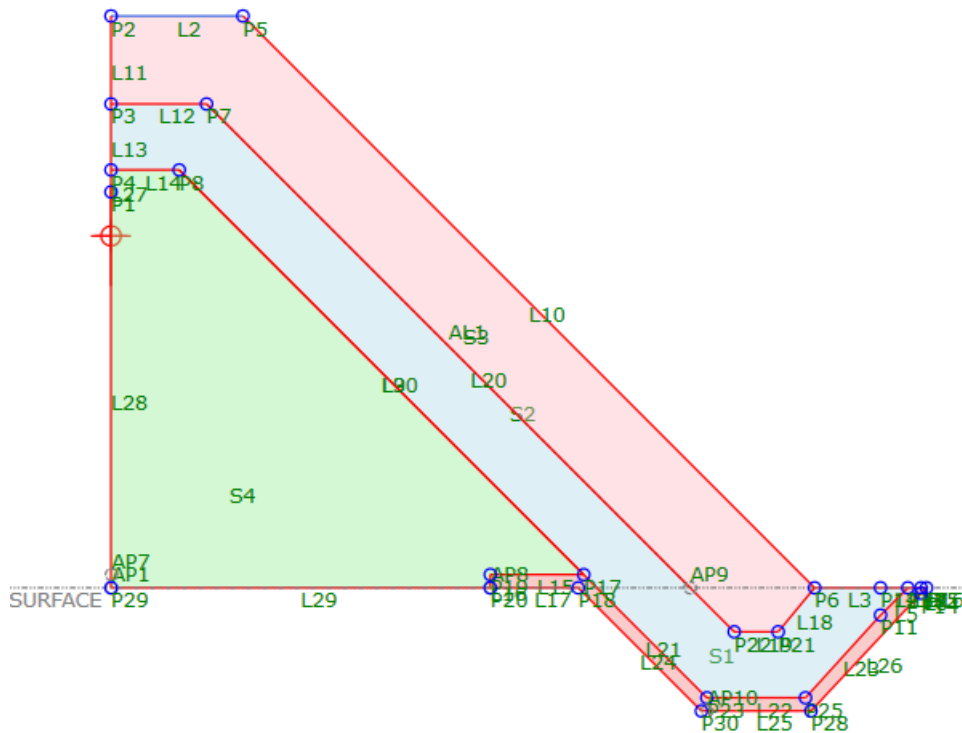


Figuur 22, golfbreker type: 'Conventional rubble mound'



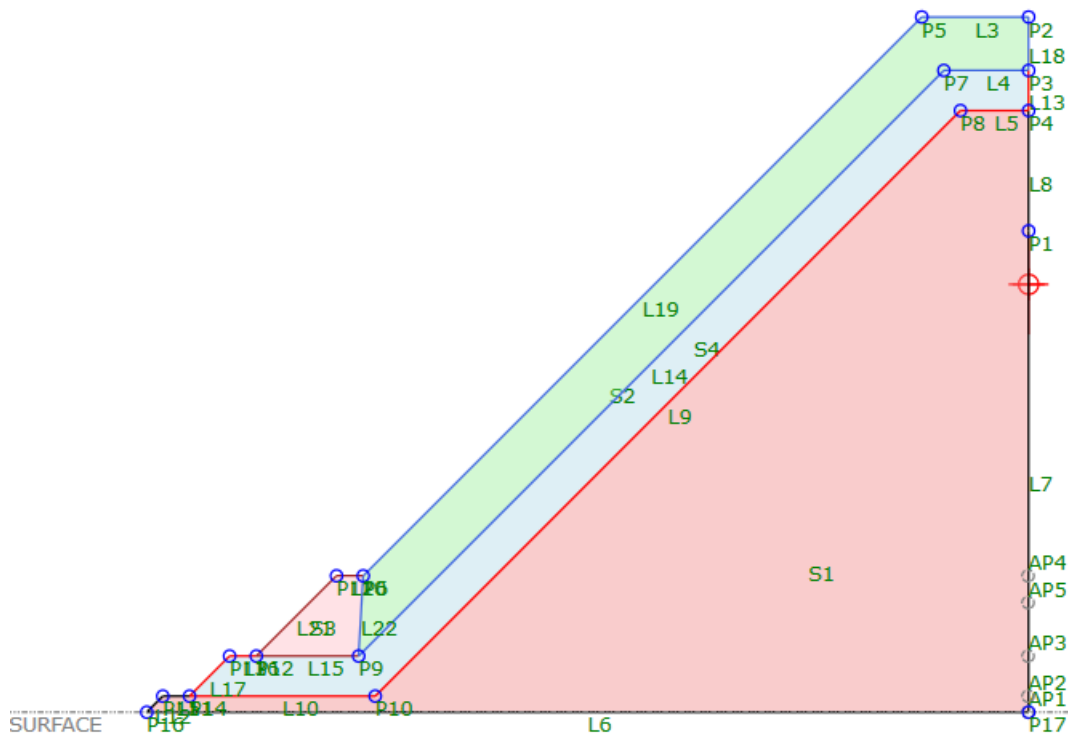
Figuur 23, golfbreker type: 'Crown'

Autodesk Subassembly Composer 2020 varianten:

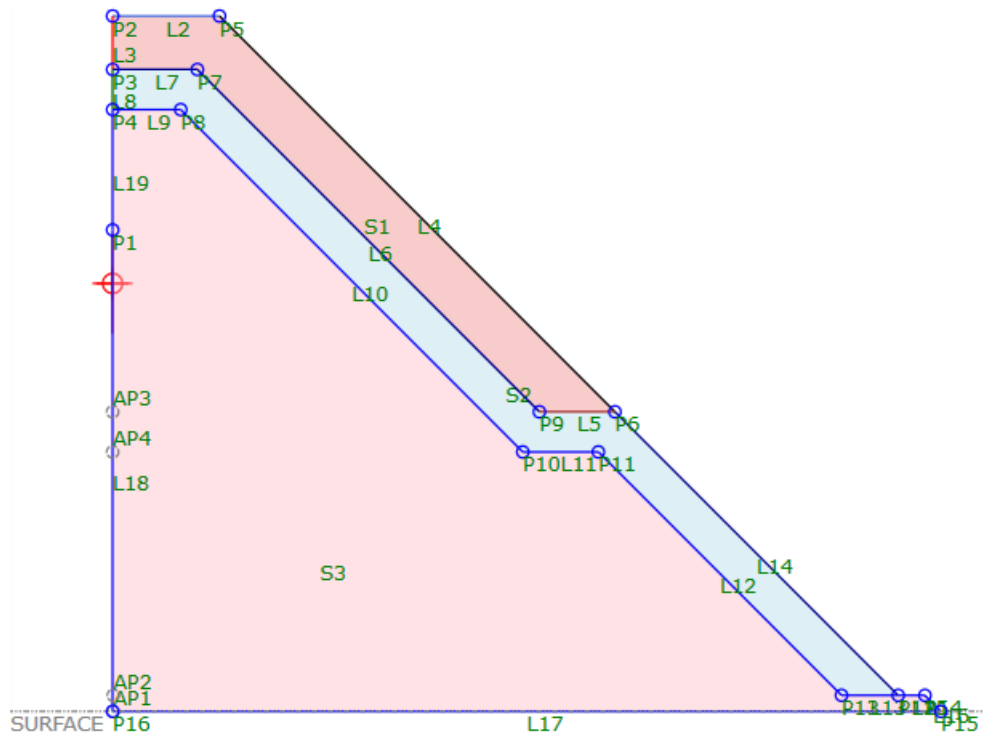


Figuur 24, composer variant a), shallow

- De parametrisatie van het golfbreker type 'Shallow', bij het ondiepe deel van een golfbreker bestaat uit twee doorsneden van composer variant a), zie Figuur 24.
- De parametrisatie van het type golfbreker 'Conventional rubble mound' bestaat uit composer varianten b) en c), zie Figuur 25 en Figuur 26.

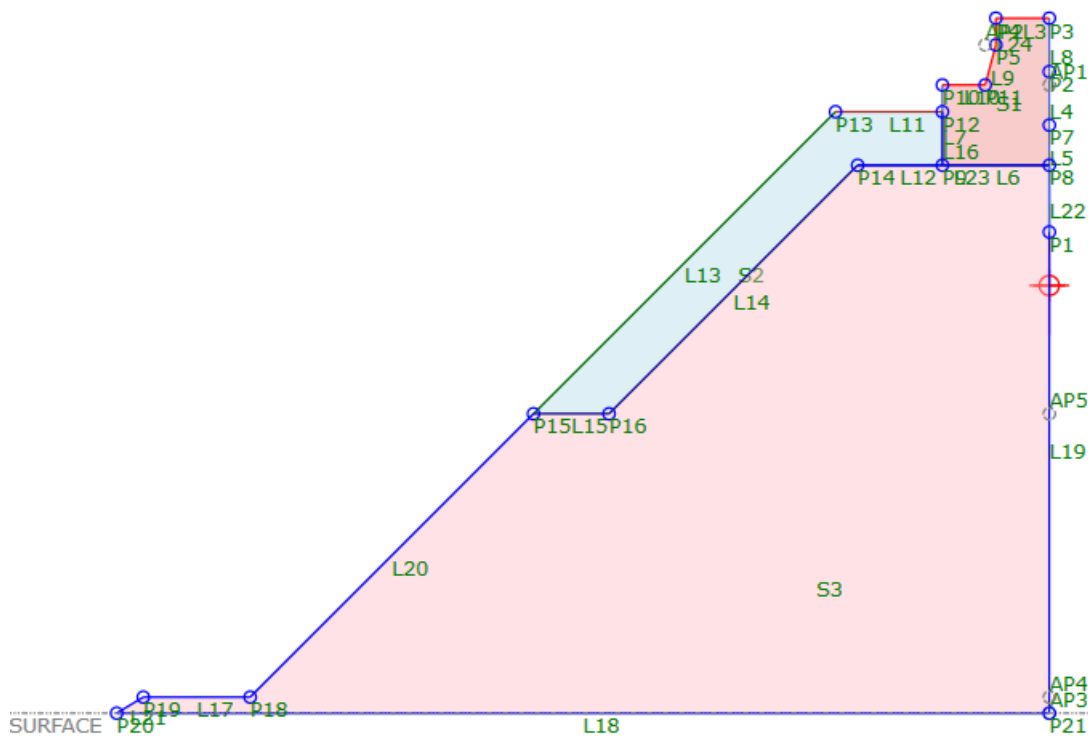


Figuur 25, composer variant b), seaward



Figuur 26, composer variant c), leeward

- De parametrisatie van het type golfbreker 'Crown' bestaat uit composer varianten b) en d), zie Figuur 25 en Figuur 27.



Figuur 27, composer variant d), crown

Overzicht afgebakende parameters

Omdat het uitgangspunt is dat de engineering (berekeningen) al is gedaan zijn er veel parameters geëlimineerd voor het script/algoritme. De belangrijkste parameters voor een 3D-ontwerp van een golfbreker zijn:

- De diameter van de steen van de toplaag van de golfbreker.
- De helling van de golfbreker.

Deze twee parameters zijn afhankelijk van elkaar. De overige parameters zijn te vinden in bijlage 3&4.

4.4.2 Parameters van een 3D-ontwerp van oeverbeschermingen

Aanleiding tot waterbouwkundig ontwerp

De richtlijnen en randvoorwaarden van het ontwerp van oeverbeschermingen staat beschreven in de Rock manual of in Introduction to Bed Bank and shore production.

Zoals uitgelegd in paragraaf 3.1 hebben golfbrekers en oeverbeschermingen veel overeenkomsten. De parameters die bepalend zijn voor het constructieve ontwerp van de waterbouwkundige objecten verschillen weinig van elkaar. Voor sommige oeverbeschermingen zijn scheepsgolven maatgevend in plaats van windgolven.

Parameters

Maatgevende parameters zoals die bij golfbrekers zijn:

- Fluctuatie waterstand en daarmee de ontwerp waterstand.
- Een kruinhoogte.
- Een of meerdere hellingen van het ontwerp.
- De benodigde steendiameter bij het gebruik van breuksteen.
- De laagdiktes.

Conclusie

De benodigde parameters voor het 3D-ontwerp van golfbrekers zijn afgeleid van twee belangrijke parameters, te weten de helling van het ontwerp en de toegepaste diameter van de breuksteen in de toplaag. Voor het 3D-ontwerp van oeverbescherming zijn veel parameters gelijk aan die van een golfbreker ontwerp, maar zijn er enkele verschillen.

4.5 Beroepsproduct 2 Handleiding oeverbeschermingen

Om een nieuw ontwerpproces op te zetten voor oeverbeschermingen gebruik ik hetzelfde proces als die voor golfbrekers. Er zijn echter een aantal punten waar aandacht moet worden besteed aan verschillen.

Opstellen handleiding

Stap 1: Opstellen randvoorwaarden.

Stap 2: Bepalen van maatgevende parameters.

Stap 3: Maken van parametrisaties.

Denk hierbij ook aan het maken van transitional subassemblies, zo wordt het Lod¹⁰ van het ontwerp hoger.

Stap 4: Maken van Excelsheet waar ontwerpvariabelen kunnen worden bepaald.

Stap 5: Eventueel het maken van een Python script¹¹ voor het genereren van een corridor.

Stap 6: Maken van algoritme in Dynamo voor Civil3D.

Gebruikershandleiding:

Stap 1: Importeer de projectlocatie in Civil3D.

Stap 2: Maak een soepele verbinding tussen de landkaart en de bodemkaart waar het ontwerp op wordt gegenereerd.

Stap 3: Maak een standaard Corridor van de oeverbescherming in Civil3D.

Stap 4: Vul de Excelsheet in.

Stap 5: Vul de Dynamo Player in en run het script.

Speciale programmeerscripts

Het ontwerpproces voor oeverbeschermingen kan in de toekomst meer geautomatiseerd worden met in Civil3D met het gebruik van extra programmeerscripts. Zoals uitgelegd in paragraaf 4.1 dienen op het moment nog een aantal handelingen in Civil3D te worden uitgevoerd die geautomatiseerd kunnen worden.

Deze handelingen zijn: het creëren van een *alignment/lay-out*, het maken van een *surface profile*, het toevoegen van doorsnedes aan een *alignment* om een *corridor* te maken en als laatste het opsplitsen van een *corridor* naar meerdere *regions* om daar vervolgens een doorsnede aan te koppelen.

Het is mogelijk om dit te programmeren in Dynamo voor Civil3D, maar daar is een IronPython Script voor nodig. De output van dit script zal dan de standaard *corridor* in Civil3D zijn. Vervolgens kan de output worden gekoppeld aan mijn script en zo is het mogelijk om in een lege Civil3D tekening een parametrische golfbreker te creëren door enkel:

- Lay-out aan te klikken of te importeren.
- De gewenste doorsnedes toe te voegen.

¹⁰ Level of detail, zie begrippenlijst.

¹¹ Python script, zie begrippenlijst.

4.6 Hoe is het ontwikkelde beroepsproduct voor alle gebruikers herleidbaar en overzichtelijk?

Gebruikers

De uiteindelijke gebruikers van de beroepsproducten zijn de ontwerpers, tekenaars en kostenspecialisten. De personen die het beroepsproduct bij elk project maken zijn ontwerpers die ervaring hebben met Civil3D. Er zijn dus twee groepen gebruikers:

De ontwerpers:

- In het ontwerpproces maakt de ontwerper een parametrisch ontwerp van de resultaten van de ingenieur.

De eindgebruikers:

- De tekenaar gebruikt het parametrisch 3D-ontwerp voor detailtekeningen en overzichtstekeningen.
- De kostenspecialist gebruikt de verkregen volumes uit het parametrisch 3D-ontwerp.

Herleidbaarheid en overzichtelijkheid voor de ontwerpers

Voor het gebruik van Civil3D is een handleiding opgesteld, zoals te lezen in bijlage 1. Hier is stapsgewijs in te zien hoe het ontwerpproces moet verlopen. In het script is de Arcadis standaard gebruikt, daardoor is het voor collega's overzichtelijk wat het script uitvoert. Het script komt op de Repository¹² van Arcadis te staan, waar gebruikers meer informatie over het script kunnen vinden. De waarden van de ontwerpvariabelen kunnen allemaal worden herleid uit the Rock Manual. De parametrisaties zijn opgebouwd door verkregen kennis en door overleg met een specialist. De Dynamo Player creëert overzichtelijkheid, omdat een ontwerper met het koppelen van slechts drie elementen het uiteindelijke ontwerp kan realiseren. Wanneer de ontwerper telkens het script zou moeten openen is er minder overzicht en eenvoud.

Herleidbaarheid voor de eindgebruikers

De waarden van de volumes die worden gestuurd naar de Excelsheet, komen uit het parametrisch 3D-ontwerp. De volumes komen dus uit de Civil3D-tekening. Wanneer een tekenaar bedenkingen heeft over het 3D-ontwerp dient deze na te gaan hoe de Civil3D-tekening is opgebouwd.

Overzicht in Excel

De Excelsheet is zo opgebouwd dat er stapsgewijs gewerkt wordt. Door deze structuur te creëren wordt het risico verminderd dat er ontwerpvariabelen worden vergeten.

Conclusie

Door het gebruik van de Arcadis standaard, het gebruik van de Dynamo Player, het plaatsen van het script op de Repository en door een stapsgewijze structuur in Excel is het beroepsproduct voor alle gebruikers overzichtelijk. Door het opstellen van een handleiding, waar stapsgewijs wordt uitgelegd en door het gebruik van referenties uit the Rock Manual is het beroepsproduct herleidbaar voor alle gebruikers.

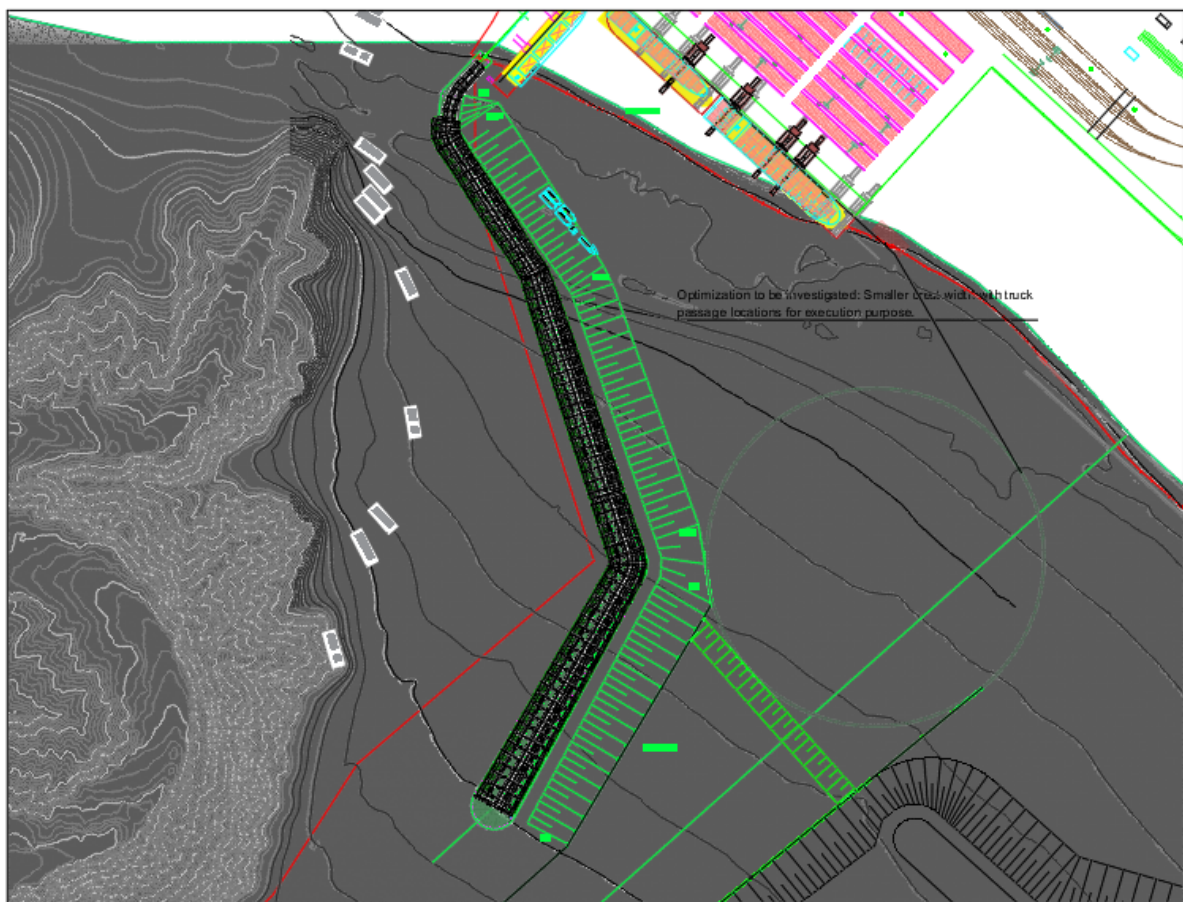
¹² Repository, zie begrippenlijst.

5. Eindresultaten beroepsproduct

In dit hoofdstuk laat ik de eindresultaten zien. Als eerste wordt uitgelegd of het parametrisch 3D-ontwerp een proof of concept¹³ heeft gekregen door een testcase op een bestaand project. Vervolgens worden de bruikbaarheid en betrouwbaarheid van het beroepsproduct beschreven.

5.1 Testcase parametrisch 3D-ontwerp golfbreker

Om het script, de Excelsheet en de parametrisaties te toetsen voor een proof of concept heb ik een bestaand afgerond project gekozen. Het project is het ontwerp van een golfbreker aan een haven bij Georgië. Er zijn ontwerptekeningen gemaakt van deze golfbreker en op basis daarvan een schatting van de volumes. Een bovenaanzicht van de lay-out (zwart en groen) van de golfbreker is te zien in Figuur 28.



Figuur 28, golfbreker lay-out

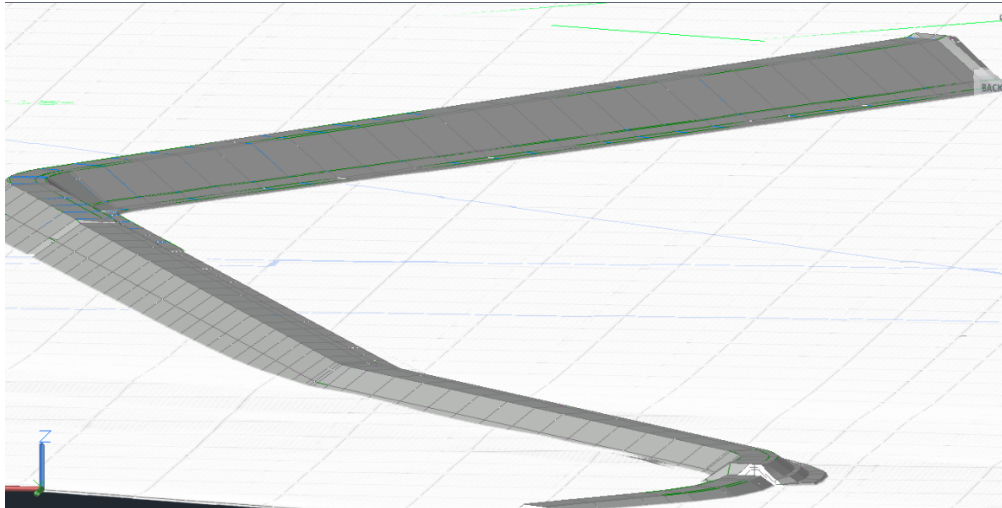
De doelen van de proof of concept zijn:

- Een parametrisch 3D-ontwerp in Civil3D te realiseren van de golfbreker
- De volumes van het parametrisch 3D-ontwerp te vergelijken met de geschatte volumes
- Te kijken of er fouten zitten in het nieuwe ontwerpproces.

¹³ Proof of Concept, zie begrippenlijst

Resultaat parametrisch 3D-ontwerp

Op basis van de ontwerptekeningen in bijlage 8 heb ik de waardes van alle ontwerpvariabelen bepaald en in de Excelsheet ingevoerd. Vervolgens heb ik in Civil3D een standaard golfbreker/corridor gemaakt en heb ik het script gedraaid. Het eindresultaat is te zien in Figuur 29. Het invullen van de Excelsheet duurde voor 1 golfbrekervariant minder dan een uur.



Figuur 29, 3D-ontwerp van golfbreker in Civil3D

Resultaat volumes Controle sectie van 8 tot 10 meter diepte

	Toplaag In m3	Filterlaag In m3	Kern In m3	Teen in m3	Alle lagen In m3
Oude schatting Excel met trapezium model	-	-	-	-	158,909
Volumes verkregen uit parametrisch 3D-ontwerp	28,990	28,539	102,255	2,384	162,168

Tabel 1, Resultaat verkregen volumes tegenover controle op 8 tot 10 meter diepte

Uit de resultaten is af te lezen dat er een verschil is van 3,259 m3, wat neer komt op een afwijking van -2.1% ten opzichte van de schatting met het trapezium model. Het Civil3D model geeft vergelijkbare resultaten als de schatting, maar geeft sneller resultaat en heeft een hoger detailniveau.

Wat gaat er goed?

Het script updaten gaat zonder foutmeldingen. Op dit project duurde het updaten van het standaard object via het script minder dan 1 minuut. De resultaten werden zonder foutmeldingen naar Excel verstuurd. Zoals te zien in Figuur 29, zijn de verbindingen met de ondergrond ook goed uitgevoerd.

Wat gaat er fout?

Er zijn er nog een aantal fouten in het parametrisch ontwerp. Deze fouten zijn visueel weergegeven in bijlage 8.

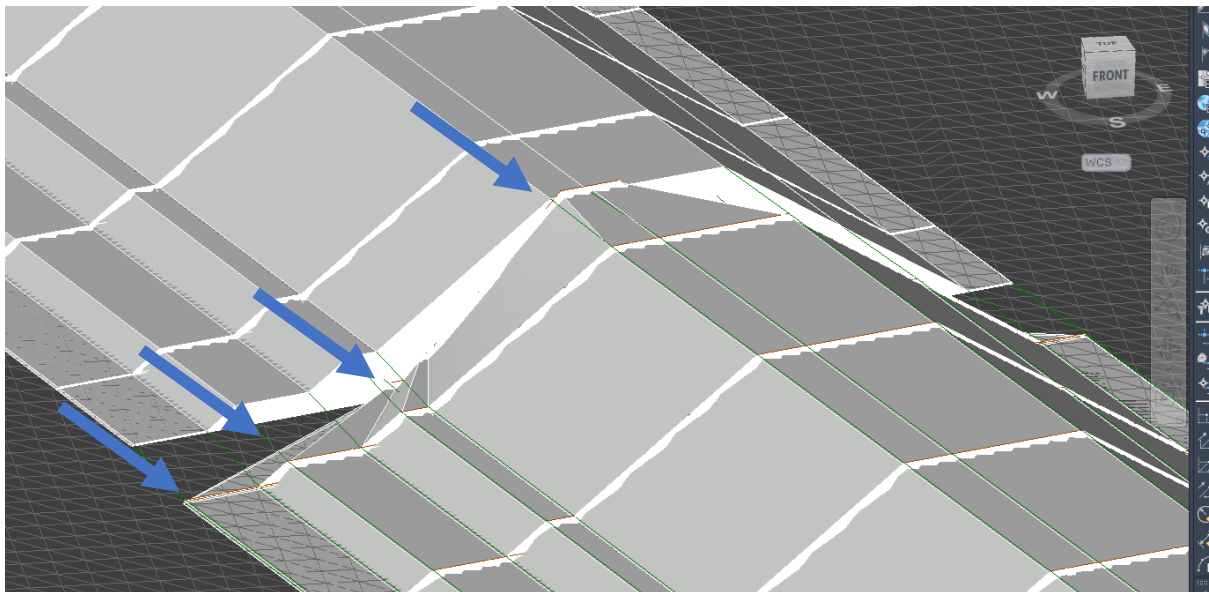
In Civil3D:

1. De overgangen van een golfbreker type doorsnede naar een ander type.
2. Bij een knik in de lay-out van de golfbreker worden doorsnedes op elkaar geplaatst.
3. Intersecting volumes, bij knikken (2) worden volumes niet meegenomen of gaan volumes door een ander volume heen. Dit komt omdat er alleen volumes tussen doorsnedes worden gemaakt.

4. Eerste doorsnede van een station/start van een nieuwe golfbreker sectie wordt niet geüpdatet. Dit komt door een automatische verwijzing in Civil3D waarbij meerdere eigenschappen verkeerd worden meegenomen.

In Dynamo:

5. Corridor.Get. Solids node werkt niet op alle tekeningen.
 6. Bij bepaalde een frequentie van doorsnedes werkt het script niet meer/loopt vast. Dit probleem doet zich alleen voor bij lange golfbrekers, bijvoorbeeld lengte 1500 meter en frequentie 5 meter.
- De oplossing voor probleem 1 is het maken van transitional subassemblies. Dit zijn detail overgangen.
 - De oplossing voor problemen 2 en 3 is het maken van een grote radius in plaats van een knik. Hierdoor worden de doorsnedes niet meer over elkaar heen geplaatst. Het model zal wel een afwijking hebben met de realiteit, maar het verschil in volumes is erg klein en zal daardoor als kleine onzekerheid moeten worden meegenomen.
 - Voor het probleem 4 is nog geen oplossing, dit lijkt een beperking van Civil3D. Zie ook Figuur 30.
 - Probleem 5 wordt verholpen door dezelfde oplossing als die voor probleem 2 en 3. Het is wel mogelijk om een extra *station* toe te voegen, daardoor wordt de nauwkeurigheid iets verhoogd.
 - Probleem 6 kan voorlopig niet worden verholpen. De nauwkeurigheid blijft afhankelijk van de lengte van de golfbreker.



Figuur 30, eerste doorsnede van een sectie wordt niet geüpdatet

Conclusie

De afwijking is erg gering en daarom kan geconcludeerd worden dat het parametrisch 3D-ontwerp correct is gegenereerd. Het script is voor meerdere projecten inzetbaar. Het parametrisch ontwerp kan in Civil3D gerealiseerd worden. De resultaten van de volumes zijn nauwkeurig en voldoen aan de verwachtingen. De enige blijvende fout is het niet kunnen updaten van de eerste doorsnede van een sectieovergang, waardoor op dat punt ook het volume niet nauwkeurig wordt meegenomen.

5.2 Bruikbaarheid

Golfbrekers

- Wanneer de fouten uit paragraaf 5.1 eruit zijn gehaald is het parametrisch ontwerpproces voor golfbrekers en oeverbeschermingen inzetbaar op meerdere projecten. Er zijn echter nog weinig ontwerpers die met 3D-modellen werken. De ontwerpers dienen ervaring te hebben met Civil3D.
- Op het moment is het parametrisch ontwerp voor een concept of voorontwerp nauwkeurig genoeg. Wanneer er detailaansluitingen gemaakt worden kan het parametrisch 3D-ontwerp uiteindelijk ook worden gebruikt voor een detail ontwerp.
- De belangrijkste informatie die uit de 3D-ontwerpen volgt is de volumes. Er kunnen ook 2D-tekeningen worden geëxporteerd vanuit het 3D-ontwerp. Daarnaast kan er nu ook een ontwerp-tekening vanuit vogelvluchtperspectief worden gemaakt of kan het model worden gekoppeld met bijvoorbeeld een virtual reality-bril. Zo kan Arcadis een klant een betere impressie van de werkelijkheid van het ontwerp in de omgeving aanbieden.
- Voor ander types doorsnedes dient de Excelsheet te worden uitgebreid. Wanneer er wordt gekozen om bijvoorbeeld van alle golfbrekervarianten een parametrisatie te maken, moet er overwogen worden om een nieuwe Excelsheet te maken in plaats van de bestaande uit te breiden.

Oeverbeschermingen

- Het advies voor oeverbeschermingen is gebaseerd op het parametrisch ontwerpproces voor golfbrekers en daarom even bruikbaar als beroepsproduct 1.

5.3 Betrouwbaarheid

Referenties doorsnede waterbouwkundig ontwerp

De gebruikte referenties voor doorsnedes van golfbrekers en oeverbeschermingen komen uit de Rock Manual en Introduction to Bed Bank and Shore Protection. Omdat de berekeningen al uitgevoerd zijn dienen enkel de waardes van de parameters van een parametrisatie te worden ingevoerd in de Excelsheet.

Herleidbaarheid

Voor de herleidbaarheid wordt verwezen naar paragraaf 4.6.

Koppeling met bodemkaart

Omdat het waterbouwkundig 3D-ontwerp is gekoppeld aan een bodemkaart is het heel erg belangrijk om altijd recente gegevens te verkrijgen. Daarnaast wordt ook aanbevolen om studie te doen naar erosiegevoeligheid van de bodem. Wanneer het ontwerp enige tijd na het verkrijgen van de bodemkaarten (vele maanden of een paar jaren) wordt gebouwd en er achteraf veel materiaal van de bodem geërodeerd blijkt te zijn, wordt het ontwerp gemaakt op basis van achterhaalde informatie. De oorspronkelijke geschatte volumes komen dan niet overeen met de werkelijkheid. Wanneer het mogelijk is wordt aanbevolen om de data over de bodem realtime bij te houden en koppelen met Civil3D.

Verificatie tussenresultaten

Na elk tussenresultaat is met afstudeerbegeleider K. Stoeten gevalideerd of het deelresultaat voldoet aan de gestelde eisen van de opdrachtgever. Na een tussentijdse presentatie bij Arcadis is ook de bruikbaarheid op projecten geanalyseerd door het hoofd Algemene Zaken.

6. Conclusies, aanbevelingen en discussie

In dit hoofdstuk worden alle conclusies uit de eindresultaten ontleend, zijn de verdere aanbevelingen op het beroepsproduct beschreven en is er zijn de objectieve opmerkingen over het afstudeerproces beschreven.

6.1 Conclusies

De hoofdvraag luidt:

‘Hoe ziet het ontwerpproces voor golfbrekers en oeverbeschermingen eruit, waarbij de vertaling van het parametrisch waterbouwkundig ontwerp naar een 3D-ontwerp centraal staat?’

In paragraaf 4.1 en 4.5 wordt antwoord gegeven op de hoofdvraag. In deze paragraaf staat het nieuwe ontwerpproces voor golfbrekers en oeverbeschermingen beschreven, waarbij de vertaling van het parametrisch waterbouwkundig ontwerp naar een 3D-ontwerp centraal staat.

Het nieuwe ontwerpproces is:

1. Het maken van parametrisaties in de Subassembly Composer.
2. Een corridor in Civil3D te maken met de parametrisaties.
3. In een Excelsheet de waardes van de parameters te bepalen.
4. Het visual programming script te draaien om het gewenste 3D ontwerp in Civil3D te verkrijgen.

Conclusies op de deelvragen:

Wat zijn golfbrekers en oeverbeschermingen?

Golfbrekers en oeverbeschermingen zijn twee typen waterbouwkundige constructies. Golfbrekers worden meestal ontworpen om havens of kuststroken te beschermen tegen golfacties of erosie. Oeverbeschermingen worden ontworpen om oevererosie tegen te gaan.

Wat is de relevantie van het afstudeeronderwerp en hoe past dit bij de bedrijfsvisie?

De relevantie van het afstudeerontwerp binnen de bedrijfsvisie ligt in het halen van voordelen uit de nieuwe digitale ontwerpprocessen en in het meegaan met de tijd.

Wat is parametrisch ontwerpen?

Parametrisch ontwerpen is het expliciet definiëren van parameters van objecten en het leggen van relaties tussen objecten. Parametrisch ontwerpen zorgt ervoor dat productiviteit, kwaliteit en precisie verhoogd worden. Ook zorgt parametrisch ontwerpen voor reductie van complexiteit en tijd in het ontwerpproces. Parametrisch ontwerpen is onderdeel van de digitalisering van ontwerpprocessen.

Hoe ziet het huidige ontwerpproces voor een 3D-ontwerp voor golfbrekers en oeverbeschermingen er momenteel uit?

Het huidige ontwerpproces voor een 3D-ontwerp van golfbrekers en oeverbeschermingen wordt in de praktijk vaak niet uitgevoerd. Er wordt doorgaans een aantal 2D-tekeningen gemaakt en op basis daarvan worden volumes bepaald.

Welke toepassing van parametrisch ontwerpen is geschikt voor het realiseren van het beroepsproduct?

De toepassing van parametrisch ontwerpen voor het realiseren van het beroepsproduct is:

- Het maken van parametrisaties in de Subassembly Composer.
- Een corridor in Civil3D te maken met de parametrisaties.
- In een Excelsheet de waarden van de parameters te bepalen.
- Het visual programming script te draaien om het gewenste 3D ontwerp in Civil3D te verkrijgen.

Het praktische voorbeeld van bovenstaande is te zien in paragraaf 4.1.

Op welke manier moeten en kunnen de verschillende disciplines parameters aanleveren?

De verschillende disciplines moeten parameters aanleveren via Excel om het risico op overdrachtsproblemen te verminderen en om leesbare data voor het Dynamo-script te verkrijgen.

Hoe kan het parametrisch ontwerp in Civil3D gerealiseerd worden?

Het parametrisch ontwerp kan in Civil3D gerealiseerd worden door de koppeling van Civil3D objecten, de Excelsheet en het algoritme in de Dynamo Player. Wanneer alle elementen gelinkt zijn is het eindresultaat zichtbaar in Civil3D.

Welke parameters zijn er nodig voor het parametrisch 3D-ontwerp?

Voor het 3D-ontwerp van oeverbescherming zijn veel parameters gelijk aan die van een golfbreker ontwerp, maar zijn er enkele verschillen. De benodigde parameters voor het 3D-ontwerp van golfbrekers zijn afgeleid van twee belangrijke parameters, te weten de helling van het ontwerp en de toegepaste diameter van de breuksteen in de toplaag.

Hoe is het ontwikkelde parametrische proces/model voor alle gebruikers herleidbaar en overzichtelijk?

Door het gebruik van de Arcadis standaard, het gebruik van de Dynamo Player, het plaatsen van het script op de repository en door een stapsgewijze structuur in Excel is het beroepsproduct voor alle gebruikers overzichtelijk. Door het opstellen van een handleiding en het gebruik van referenties naar the Rock Manual is het beroepsproduct herleidbaar voor alle gebruikers.

Conclusies uit de testcase:

- De afwijking is erg gering en daarom kan geconcludeerd worden dat het parametrisch 3D-ontwerp correct is gegenereerd.
- Het script is voor meerdere projecten inzetbaar.
- Het parametrisch ontwerp kan in Civil3D gerealiseerd worden.
- De resultaten van de volumes zijn nauwkeurig en voldoen aan de verwachtingen.
- Met het nieuwe ontwerpproces kan binnen een uur een 3D-ontwerp gegenereerd worden uit de resultaten van de ingenieur/ontwerper.
- De enige blijvende fout is het niet kunnen updaten van de eerste doorsnede van een sectieovergang, waardoor op dat punt ook het volume niet nauwkeurig wordt meegenomen.
- Het beroepsproduct heeft een Proof of Concept verkregen doordat de resultaten overeenkomen met de verwachtingen.

6.2 Aanbevelingen

- **Bepalen helling golfbreker**
Het bepalen van de helling van een golfbreker is een iteratief proces, welke geautomatiseerd kan worden. De helling van de golfbreker is namelijk bepalend voor:
 - De krachtenwerking op de constructie
 - De stabiliteit die de ondergrond kan voorzien.
 - De geometrie van de golfbreker.
- **Koppeling rekenprogramma**
Het was voor het maken van het model voor golfbrekers te complex om een koppeling te maken tussen het ontwerp en een rekenprogramma. Het conventionele rekenprogramma is Mathcad. Om het 3D-ontwerp te toetsen op sterkte en stabiliteit raad ik aan om een koppeling te maken tussen het Dynamo-model en het rekenprogramma. Dit kan door middel van een API/VBA-script. Door de sterkte-en stabiliteitseisen te koppelen aan het Dynamo-model kan de optimale geometrie voor een golfbreker of oeverbeschermingen bepaald worden.
- **Inzetten op meer digitalisering**
Om uiteindelijk het best mogelijke ontwerp te genereren voor een golfbreker of oeverbeschermingen dient de automatisering van het ontwerpproces naar een hoger niveau getild te worden, zoals beschreven in paragraaf 3.2.
- **Dijkontwerp**
Het is interessant voor Arcadis om te onderzoeken of het nieuwe ontwerpproces ook toepasbaar is voor een dijkontwerp, aangezien dit type constructie veel raakvlakken heeft met golfbrekers en oeverbeschermingen.
- **Andere vormen parametrisch ontwerpen koppelen**
Koppel bijvoorbeeld data over de beschikbaarheid van steensorteringen, prijzen van materialen en transport, van een gebied aan het waterbouwkundig ontwerp.
- **Verhogen detailniveau**
Gebruik maken van *transitional subassemblies*, zoals uitgelegd in paragraaf 4.3 om het detailniveau van het ontwerp te verhogen.
- **Gebruik maken van Python scripts**
Gebruik Python scripts voor het programmeren in plaats van het visual programming programma Dynamo. Met Python zijn meer programmeer mogelijkheden dan met Dynamo.

6.3 Discussie

Het was misschien makkelijker geweest als ik de doorsnedes van de composer als een gehele doorsnede had genomen in plaats van twee kanten. Dit had mogelijk tijd gescheeld, was ook makkelijker te controleren en dan waren er minder parameters nodig geweest. Daarnaast had ik ook graag meer keuzevrijheid in Excel gelaten voor andere toekomstige uitbreiding.

Ik had graag de ontwerper minder handelingen in Civil3D laten verrichten, maar daarvoor had ik met Python moeten programmeren en dan had ik mij in Python moeten verdiepen. Ik vind dat ik uiteindelijk de juiste keuze heb gemaakt, omdat ik anders waarschijnlijk niet op tijd klaar zou zijn met mijn beroepsproduct.

Ik ben ook van mening dat ik voor het maken van een beroepsproduct misschien toch in het begin de focus alleen maar op golfbrekers had kunnen leggen in plaats van golfbrekers en oeverbeschermingen. Dan had ik graag het script uitgebreid om flexibeler te zijn met andere golfbrekertypes. Daarnaast denk ik wel dat de extra kennis over oeverbescherming ondersteuning heeft geboden met het opzetten van het nieuwe parametrische ontwerpproces doordat ik rekening hield met meerdere waterbouwkundige objecten.

De uitbraak van Covid-19 en de maatregelen die daardoor genomen zijn hebben ook invloed gehad op mijn afstudeerproces. De laatste maand heb ik thuis moeten werken en online moeten communiceren met mijn begeleiders van Arcadis en van de Hanzehogeschool. Ten gevolge hiervan is op het einde mijn concentratievermogen en productiviteit iets verminderd. Er is ook geen tijd of mogelijkheid geweest om het gehele team van Arcadis mijn beroepsproduct te laten testen.

Bronnenlijst

- BOCS. (2019, 12 13). *Digitisation of construction industry- a promised land for VCs and Entrepreneurs*. Opgehaald van medium.com:
https://medium.com/@team_37693/digitisation-of-construction-industry-a-promised-land-for-vcs-and-entrepreneurs-1312fd88cc3
- de Wit, S. (2019, 10 10). *CODES*. Opgehaald van Open Knowledge Platform Delta Technology:
<https://publicwiki.deltares.nl/display/CODES/Breakwater+design>
- Fu, F. (2018). *Design and Analysis of Tall and Complex Structures*. Butterworth-Heinemann.
- Harris, J., Marshall, J., & Owen, J. (2019, 7 19). *Introducing Building's digital champions: 'You have just got to be brave'*. Opgehaald van Building.co.uk:
<https://www.building.co.uk/focus/introducing-buildings-digital-champions-you-have-just-got-to-be-brave/5100690.article>
- Hombergen, V. (1992). *CADOB, Computer Aided Breakwater Design*. Rijkswaterstaat, Bouwdienst.
- Laczowski, K., Padhi, A., Rajagopal, N., & Sandrone, P. (2019, 12 19). *How OEM can seize the high tech future in agriculture and construction*. Opgehaald van mckinsey.com:
<https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/how-oems-can-seize-the-high-tech-future-in-agriculture-and-construction>
- Lee, J. H., Gu, N., & Ostwald, M. J. (2014, 07 14). Creativity and parametric design? Comparing designer's cognitive approaches with assessed levels of creativity. *International Journal of Design Creativity and Innovation*, p. 330. Opgehaald van Taylor and Francis Online:
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17452007.2018.1564645>
- Llorens, J. (2015). *Fabric Structures in Architecture*. Woodhead Publishing.
- Nguyen, N. (2008). *Bank Protection Rivers and Lochs*. SEPA. Opgehaald van sepa.org.uk.
- Nguyen, N. (2008). *Bank Protection Rivers and Lochs*. SEPA. Opgehaald van sepa.org.uk.
- onbekend. (2019, 10 09). *CRESS.nl*. Opgehaald van CRESS.nl: www.cress.nl
- Schierck, G. J. (2004). *Introduction to bed, bank and shore protection*. New York: Spon Press.
- Schierck, G. J. (2004). *Introduction to bed, bank and shore protection*. New York: Spon Press.
- Verhagen, H. J., d'Angremond, K., & v Roode, F. (2009). *Breakwaters and closure dams 2nd edition*. Delft: VVSD.
- Verhagen, H. J., d'Angremond, K., & v Roode, F. (2009). *Breakwaters and closure dams 2nd edition*. Delft: VVSD.

Bron kennis over golfbrekers:

CIRIA, CUR, CETMEF (2007). *The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition)*. C683, CIRIA, London

Bron afbeelding golfbreker voorblad:

<https://digitalconstruction.witteveenbos.com/projects/sustainable-concrete-mixtures-for-the-3d-printing-of-breakwater-units/amp/> (8-04-2020)

Bron oeverbescherming voorblad:

<http://cdr-international.nl/portfolio/bangladesh-sinohydro-value-engineering-river-training-works-padma-multipurpose-bridge/> (8-04-2020)

Bijlagenlijst

Bijlage 1:	Gebruikersproces	:	pag. 1
Bijlage 2:	Totstandskomingsproces	:	pag. 4
Bijlage 3:	Inputsheets Excel	:	pag. 5
Bijlage 4:	Outputsheets Excel	:	pag. 10
Bijlage 5:	Autodesk Subassembly Composer 2020	:	pag. 13
Bijlage 6:	Dynamo Script	:	pag. 17
Bijlage 7:	Randvoorwaarden	:	pag. 21
Bijlage 8:	Testcase	:	pag. 23
Bijlage 9:	Procesverloop realiseren beroepsproduct	:	pag. 27
Bijlage 10:	Relatie competenties en beroepsproduct	:	pag. 30
Bijlage 11:	Reflectie op de afgelopen periode	:	pag. 32

Bijlage 1: Gebruikersproces

Introductie

Deze handleiding is bedoeld voor ontwerpers die ervaring hebben met Civil3D en die enige affiniteit hebben met digitale ontwerpprocessen. Belangrijk uitgangspunt bij deze handleiding is dat termen zoals 'Assembly' en 'Corridor' bekend zijn. Kennis van Dynamo voor Civil3D of Revit is een pre, maar niet noodzakelijk. De volgende tools dienen geïnstalleerd te zijn op de computer van de ontwerper:

- Microsoft Office
- Civil3D versie vanaf 2020

Werking handleiding

De ontwerper van de golfbreker kan in de Excelsheet de ontwerpvariabelen invoeren, zie stap 1. In Civil3D maakt men vervolgens een *corridor* aan, zie stap 2 tot en met stap 10. Vervolgens kan het dynamo script gedraaid worden, zie stap 11. Dit script past de waardes van de parameters van de *subassemblies* aan. Nadat het script voltooid is kan in Civil3D het ontwerp worden bekeken, zie stap 12.

Excel

1. Excelsheet

Voer de Excelsheet met ontwerpvariabelen in.

Civil3D

2. Drawing utilities

Stel in de drawing utilities de *drawing units in* op metric. Voer vervolgens de projectlocatie in op het juiste coördinatenstelsel. Sla het bestand op onder een unieke projectgebonden naam.

3. Surface

Maak een TIN-surface. Zet de *surface style* op *contours and triangles*. Geef de *surface* een unieke naam, zoals PROJECTNAAM_SURFACE. Importeer de x,y,z- coördinaten van de bodemkaart van de projectlocatie in bij de *point files* van de *definition* van de surface. Dit is bijvoorbeeld een CSV-bestand of txt of xyz.

- Opmerking:

Als er een zeer gedetailleerde bodemkaart wordt gebruikt kan Civil3D vastlopen. Het is in dat geval wenselijk om de data te knippen tot enkel het gebied waar de golfbreker komt. Een resolutie van 5x5 meter is voldoende, maar een hogere resolutie geeft wel nauwkeurigere resultaten.

4. Geolocation Map

Controleer de geolocation met *Online Map Data* of de bathymetry klopt.

5. Alignment **Let op dat de golfbreker het alignment goed volgt!!**

Maak de lay-out van de golfbreker(s) door een polyline te tekenen en hier een *alignment by object* van te maken of door coördinaten in te voeren en vervolgens hier een *alignment* van te maken. Hier kan bijvoorbeeld de golfbreker lay-out van de afstudeerstudent van TU-Delft worden geïmporteerd. Zet het *alignment type* op *rail*. Geef de *alignment* een unieke naam, zoals BREAKWATER_ALIGNMENT. Er wordt gevraagd om de *direction* van het *alignment*, zorg ervoor dat de pijl vanaf de kust naar het water wijst.

6. Surface Profile

Creëer een *surface* zonder coördinaten en noem het SURFACE_z_0. Voeg vervolgens aan het *alignment* de *surface profile* toe, genaamd SURFACE_z_0.

7. Assembly en subassemblies

Maak ergens op de tekening op een handige plek (buiten de bodemkaart) een *assembly* aan. Ga vervolgens naar de *tool palette* naar het tabblad *custom* en importeer daar via de rechtermuisklik de vijf pkt. - bestanden genaamd:

- SEAWARD_TOE.pkt
- LEEWARD.pkt
- LEEWARD_CROWN.pkt
- SEAWARD_SHALLOW.pkt
- LEEWARD_SHALLOW.pkt

- Wanneer er een golfbreker zonder kruin wordt ontworpen → Maak een *assembly* genaamd: Conventional Rubble Mound.

Voeg aan de *assembly* de subassemblies SEAWARD_TOE en LEEWARD toe.

- Wanneer er een golfbreker met kruin wordt ontworpen → Maak een *assembly* genaamd: CROWN WALL.

Voeg aan de *assembly* de subassemblies SEAWARD_TOE en LEEWARD_CROWN toe.

- Bij het ondiepe deel van de golfbreker → Maak een *assembly* genaamd: SHALLOW.

Voeg aan de *assembly* de subassemblies SEAWARD_SHALLOW en LEEWARD_SHALLOW toe.

Let erop dat je de *subassemblies* aan de juiste kant van de *assembly* plaatst. De seaward *side* dient de directe golfacties tegen te houden. Zet in de *assembly properties* het *assembly type* op *railway*.

8. Corridor

Maak een *corridor* aan van de *alignment*, verbind de *assembly* aan de *surface* van de bodemkaart. Kies vervolgens zelf een *frequency*, afstand tot een volgende doorsnede, van bijvoorbeeld 10 of 5 meter. Hoe lager het getal, hoe hoger de nauwkeurigheid, maar des te trager het model werkt. Ervaring geeft dat voor de rechte stukken van de golfbreker een *frequency* van 20 meter wordt aangehouden en voor bochten 1 meter.

Bestaat de *corridor* uit meerdere *assemblies*? Ga dan bij *corridor properties* naar *split regions* en kies de grenzen. Voeg vervolgens aan deze grenzen de juiste *assembly types* toe.

9. Breakwater head corridor

Wanneer de lay-out van de golfbreker is gemaakt, voeg dan de golfbrekerkop toe door een tweede *corridor* te maken. Maak een *assembly* met enkel een seaward *side*. Zorg ervoor dat de richting van het *alignment* van de golfbrekerkop correct is en ook de *surface profile* correct volgt. Zet de *frequency* op 0.1 meter.

10. Extract solids

Om de volumes uit de *corridor* te verkrijgen dient op de *corridor* geklikt te worden en daarna op *extract solids from all regions*. Het is mogelijk om elk element van de golfbreker een andere kleur te geven voor visualisatie. *Extract* de *solids* van zowel de golfbreker als die van de golfbreker kop.

Dynamo Player

11. Het Dynamo in Civil3D script runnen

Nadat de *corridor* is opgebouwd gaat de ontwerper naar de *manage tab* en start de ontwerper de visual programming player *Dynamo Player* op. Hier opent de ontwerper het bestand:

'MASTERPLAN_BREAKWATER_VS_1.2'.

In de *Dynamo Player* dient de ontwerper de Excelsheet en de *corridor* uit de Civil3D tekening in te voeren. Na deze stap is de *corridor* opnieuw gemaakt en zijn de resultaten te bekijken in Civil3D. De volumes worden gestuurd naar Excel.

Civil3D

12. Analyse

Als laatste is het mogelijk om over de golfbreker te 'rijden of te vliegen' met *drive*.

Het is via *Planning and Analysis* ook mogelijk om *online mapdata* te gebruiken, zodat de koppeling van het ontwerp met de omgeving te zien is. *Extract* daarvoor ook alle *featurelines* om over de golfbreker te rijden.

13. Andere golfbreker variant uit de Excelsheet

Wanneer de ontwerper een andere golfbreker variant wil maken uit de Excelsheet dient diegene de juiste opties in Excel te selecteren en de sheet opnieuw op te slaan en te koppelen met de *Dynamo player*. Vervolgens moet het script opnieuw gedraaid worden.

Bijlage 2: Totstandskomingsproces bepalen toepassing parametrisch ontwerpen

CAD-programma

Bij de start van het afstudeerjaar heb ik ter referentie een video bekeken over parametrisch ontwerpen van een bovenleiding met Civil3D en Dynamo.

Videolink 1) : https://www.youtube.com/watch?v=ajKhhlMJW_s

Omdat Civil3D geschikt is voor grondvolumes, waartoe golfbrekers en oeverbeschermingen behoren, was de keuze voor het CAD-tekenprogramma al vastgesteld. De directe kandidaat als CAD-programma was namelijk Revit, maar deze bleek ongeschikt omdat dit programma niet bewerkelijk was voor grondvolumes. Daarnaast kan in Revit ook geen koppeling worden gemaakt met de ondergrond.

Parametrisch ontwerpen

Vanwege de videolink 1) was er een sterke voorkeur naar Dynamo. Binnen Arcadis gebruiken veel afdelingen Dynamo en daarom heb ik een aantal gesprekken en kleine interviews gehouden met experts. Uit deze gesprekken is naar voren gekomen dat het een goede keuze was om met Dynamo te gaan werken tegenover andere parametrische ontwerpprogramma's. Er was namelijk al een gratis, en open toegankelijk forum waar ik als beginnend programmeur veel informatie uit kon halen. Daarnaast waren er genoeg collega's waar ik mee kon sparren als ik tegen een probleem aan zou lopen.

Parametrisch waterbouwkundig ontwerp

Ik heb nog de optie overwogen om een parametrisch ontwerp volledig in het script te maken, maar dit bleek ook niet mogelijk omdat er geen koppeling met de ondergrond kon worden gemaakt. Ik heb gesprekken gevoerd met specialisten van Civil3D binnen Arcadis om te kijken of ik het beste een parametrisatie kon maken met de composer of in Civil3D. Uit deze gesprekken kwam naar voren dat het mogelijk was om een parametrisatie van een golfbreker te maken met de AutodeskSubassembly Composer 2020.

Ontwerpvariabelen/ parameter invoer

In overleg met mijn afstudeerbegeleider heb ik gekozen om Excel te gebruiken als parameter invoer. Dit was een voor de hand liggende keuze omdat Excel goed samenwerkt met Dynamo.

Bijlage 3: Inputsheet Excel

In deze bijlage is de gehele inputsheet van mijn gemaakte Excelsheet weergegeven. De Excelsheet is in het Engels weergegeven, zodat het gebruikt kan worden voor meerdere (internationale) projecten.

Preface:

In this sheet, the designer of a conventional rubble mound breakwater can fill in design variables.
This sheet will be used as input for Dynamo for Civil3D to generate a 3D geometry, bound to the desired project location.

- * It is prompt that the lay-out of the breakwater has already been determined.
- * It is prompt that the designer has already determined the design variables.

input		
Input cell of design variables	123456	All of these cells should be filled in with the required type of input.
Choice for designer	Option 1	Here, the designer of a breakwater can make a choice based on the input.
Description	123456	These cells should not be altered by the designer.
Output	123456	These cells should not be altered by the designer.

Make sure that the decimal separator is set to the dot symbol instead of a comma

Go to File --> Options --> Advanced and set the decimal separator to the dot sign (.)

Make sure that the Microsoft Office language is set to English

Go to File --> Options --> Language and set the language to english

Fill in the sheet step by step

- Step 1. Divide the breakwater into sections/regions.
- Step 2. Watch breakwater types and the Civil3D assembly names.
- Step 3. Fill in the slopes of the breakwater, the Dn50 of the materials and pick the correct assembly types per breakwater region.
- Step 4. Choose the desired slope per breakwater region.
- Step 5. Determine the layer thickness off the armour and filter layer.
- Step 6. Other dimensions
- Step 7. Design the toe of the breakwater.
- Step 8. Determine the crown dimensions if necessary

Divide breakwater into sections

Step 1.

What is the total breakwater length?

How many **sections** does the breakwater have?

Please divide the breakwater into sections starting with section 1 at 0 meter.
The maximum for this sheet is set to 5 sections.

The breakwater head is considered as the same as the last section.
Example: the breakwater has 3 sections, breakwater head cross section has same dimensions as section 3.

The startpoint of section 1 is the point where the breakwater starts as seen from the coast.

Section	1	2	3	4	5
Civil3D Name	Region A	Region B	Region C	Region D	Region E
Start point	0	200	328	868	1500
End point	200	328	868	1500	

Total number of sections

Stap 2: Is een overzicht van de drie doorsnede types.

Step 3.

1. In this part of the excelsheet you have the possibility to fill in up to 5 different slopes for the seaward side of the breakwater. Slope option 1 to slope option 5.

2. For each slope the **Dn50 off the applied rocks** has to be filled in. Make sure you enter all of them correctly. **If you make an mistake in this part of the sheet, the results will not be valid!**

3. Don't forget to fill the Dn50 and slopes for **all breakwater sections/regions**. *The breakwater head has the same slope and Dn50 as the last section.*

4. Pick an **assembly type** for the section/region. The types can be found at "Breakwater types".

The materials of the breakwater are:

Armour layer:	Loose rock or concrete armour unit
Filter layer:	Loose rock
Filter blanket:	Geotextile
Toe:	Loose rock
Core:	Quarry run

Example breakwater with 1 section:

		Seaward slope				
Assembly type:		Slope 1	Slope 2	Slope 3	Slope 4	Slope 5
Conventional rubble mound		1 to 1	3 to 4	1 to 2	1 to 2.5	1 to 3
Dn50, applied Armour layer seaward		1.24	1.2	1.1	0.98	0.9
Dn50, applied Filter layer seaward		0.62	0.6	0.55	0.49	0.45
Dn50, applied Toe		0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
		Leeward slope				
		Slope 1	Slope 2	Slope 3	Slope 4	Slope 5
		1 to 1	3 to 4	1 to 2	1 to 2	1 to 2
Dn50, applied Armour layer leeward		1.24	1.2	1.1	1.1	1.1
Dn50, applied Filter layer leeward		0.62	0.6	0.55	0.55	0.55

Region A

Assembly type:
SHALLOW type

Armour layer seaward
Filter layer seaward
Toe

Dn50 applied	
0.65 meter	Option 1
0.01 meter	
0.1 meter	

Slope on the leeward side of the breakwater

Armour layer leeward
Filter layer leeward

Slope of:	1	to	1.5
Cotan:	1.500	Angle:	33.6901

Dn50 applied	
0.65 meter	Option 1
0.01 meter	

Which slope do you choose?

Step 4.

Choose the slopes for each section

For section 1/ Region A I choose	Slope option	1
For section 2/ Region B I choose	Slope option	1
For section 3/ Region C I choose	Slope option	1
For section 4/ Region D I choose	Slope option	1

Finished step 4?

yes

the armour layer and filter layer

Step 5.

Determine the thickness of the layers

Since the breakwater types only have an armour and a filter layer, the permeability of the structure is 0.4

	Thickness of the armour layer seaward
For section 1/ Region A I choose	2 * Dn50, armour
For section 2/ Region B I choose	2 * Dn50, armour
For section 3/ Region C I choose	2 * Dn50, armour
For section 4/ Region D I choose	2 * Dn50, armour

Step 6.

From Civil3D z=0 to M.S.L.

From Mean Sea Level to **Design Water Level**

0	meter
0.001	meter

< Only fill in if crest height is determined based on D.W.L.

Height BREAKWATER

Crest height from Design Water Level

Region A	Region B	Region C	Region D
1.3 meter	4.6 meter	5 meter	6.15 meter

Minimum height of core above M.S.L. for construction of the breakwater

0 meter	0.5 meter	0.5 meter	0.5 meter
---------	-----------	-----------	-----------

Calculated height core above M.S.L.

-0.009 meter	1.501 meter	1.501 meter	2.051 meter
--------------	-------------	-------------	-------------

New crest height if minimum height is used

1.309 meter	3.599 meter	3.999 meter	4.599 meter
-------------	-------------	-------------	-------------

Highest crest height = decisive

1.309 meter	4.6 meter	5 meter	6.15 meter
-------------	-----------	---------	------------

Width BREAKWATER

Minimum construction width

10 meter	10 meter	10 meter	10 meter
----------	----------	----------	----------

Hier moet nog wat mee worden gedaan

Overtopping width

0 meter	0 meter	0 meter	0 meter
---------	---------	---------	---------

End of armour layer LEEWARD

Significant wave height on the leeward side

0 meter	2 meter	2 meter	2 meter
---------	---------	---------	---------

Calculated depth by wave height

0 meter	1.4 meter	1.4 meter	1.4 meter
---------	-----------	-----------	-----------

Depth from D.W.L. to end of armour layer

0 meter	0.83 meter	0.83 meter	0.83 meter
---------	------------	------------	------------

Use custom depth of wave height?

yes custom?	yes custom?	yes custom?	yes custom?
-------------	-------------	-------------	-------------

Step 7.

Toe width by rocks Rock manual page 829

Calculated toe width by rocks

Toe width by meters (minimum)

Use custom width or width by rocks?

Region A		Region B		Region C		Region D	
3	rocks	3	rocks	4	rocks	4	rocks
0.3	meter	0.3	meter	0.4	meter	0.4	meter
0	meter	5.75	meter	5.75	meter	5.75	meter
yes	custom?	yes	custom?	yes	custom?	yes	custom?

Toe height by rocks

Calculated toe height by rocks

Toe height by meters

Use custom height or height by rocks?

Slope of shoulder and toe as cotan

3	rocks	3	rocks	3	rocks	4	rocks
0.3	meter	0.3	meter	0.3	meter	0.4	meter
1.85	meter	1.85	meter	1.85	meter	1.85	meter
yes	custom?	yes	custom?	yes	custom?	yes	custom?
1.5	-	1.5	-	1.5	-	1.5	-

Shoulder seaward side breakwater (SWD)

Shoulder leeward side breakwater (LWD)

Shoulder filter

Height of scour protection

Blanket height

0.1	meter	5	meter	5	meter	5	meter
0.1	meter	3	meter	3	meter	3	meter
0.1	meter	5	meter	5	meter	5	meter
0.1	meter	0.1	meter	0.1	meter	0.1	meter
0.1	meter	0.1	meter	0.1	meter	0.1	meter

Step 8:

Eventueel invoeren van de afmetingen en andere ontwerpvariabelen van de kruinmuur.

Step 8.

Is there a crown wall at a region?

Is there a crown wall on the breakwater?

Crest height per region

Freeboard height top freeboard is crest height.

Height slab

Width crown

Width wall

Delta z,2

Delta x

Region A	Region B	Region C	Region D	Region E
FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

no[illegible]

Number of rocks from top crest armour to crown
seaward side

Number of rocks from top crest armour to crown
leeward side

3	rocks
2	rocks

Moeilijke misschien nog

Wanneer alle parameters/ontwerpvariabelen correct zijn ingevuld moet het bestand worden opgeslagen.

Bijlage 4: Outputsheet Excel

De output van Excel is de nieuwe waarden van de composer parameters. In de volgende afbeeldingen is te zien dat de namen in Excel hetzelfde zijn als die van de Composer.

Description	Parameter number
Thickness of the armour layer on the leeward side	1
Thickness of armour layer on the seaward side	2
Thickness of filter layer on the seaward side	3
Calculated horizontal distance from crown to slope	4
Height of the scour protection from the surface	5
The angle of the armour layer on the leeward side in degrees	6
The slope of the shoulder and toe on the leeward side	7
The width of the shoulder on the leeward side	8
Slope breakwater as cotan	9
The vertical distance from DWL to the end of the armour layer	10
Width of the crown	11
The height of the crown slab	12
Width of the wall	13
The crest height of the breakwater minus the freeboard height	14
Freeboard height of the crown	15
Vertical distance from freeboard to the fillet of the crown	16
Horizontal distance of the fillet from the wall of the crown	17
Distance from MSL to DWL	18

COMPOSER_PARAMETER_NAME	Subassembly name
ARMOURLAYER_LWD_CRWN	CROWN
ARMOURLAYER_SEAWARD	CROWN
FILTERLAYER_SEAWARD	CROWN
DISTANCE_TOP_LWD_CRWN	CROWN
HEIGHT_SCOUR_LWD_CRWN	CROWN
alpha_LWD_CRWN	CROWN
SLOPE_SHOULDER_AND_TOE_LWD_CRWN	CROWN
WIDTH_SHOULDER_LWD_CRWN	CROWN
SLOPE_OF_BW_LWD_CRWN	CROWN
End_of_armour_layer_LWD_CRWN	CROWN
Width_crown	CROWN
Height_slab	CROWN
Width_wall	CROWN
CREST_HEIGHT_FROM_DWL_LWD_CRWN	CROWN
FREEBOARD_LWD_CRWN	CROWN
Delta_z2	CROWN
Delta_x	CROWN
MSL_TO_DWL_LWD_CRWN	CROWN

Description	Parameter number
Distance from MSL to DWL	1
The crest height of the breakwater	2
The vertical distance from DWL to the end of the armour layer	3
Thickness of the filter layer on the leeward side	4
Thickness of the armour layer on the leeward side	5
Slope breakwater as cotan	6
Calculated horizontal distance from baseline to slope on the top, leeward	7
Height of the scour protection from the surface	8
The width of the shoulder on the leeward side	9
The angle of the armour layer on the leeward side in degrees	10
The slope of the shoulder and toe on the leeward side	11

COMPOSER_PARAMETER_NAME	Subassembly name
MSL_TO_DWL_LWRD	LEEWARD
CREST_HEIGHT_FROM_DWL_LWRD	LEEWARD
End_of_armour_layer_LWRD	LEEWARD
FILTER_LAYER_LWRD	LEEWARD
ARMOUR_LAYER_LWRD	LEEWARD
SLOPE_OF_BW_LWRD	LEEWARD
DISTANCE_TOP_LWRD	LEEWARD
HEIGHT_SCOUR_LWRD	LEEWARD
WIDTH_SHOULDER_LWRD	LEEWARD
alpha_LWRD	LEEWARD
SLOPE_SHOULDER_AND_TOE_LWRD	LEEWARD

Description	Parameter number
Distance from MSL to DWL	1
The crest height of the breakwater	2
Thickness of filter layer on the seaward side	3
The width of the shoulder at the filter layer on the seaward side	4
The width of the toe on the topside	5
Thickness of the armour layer on the seaward side	6
Slope breakwater as cotan	7
Calculated horizontal distance from baseline to slope on the top, seaward	8
Height of the scour protection from the surface	9
The width of the shoulder on the seaward side	10
The angle of the armour layer in degrees	11
The slope of the shoulder and toe on the seaward side	12
The height of the toe	13

COMPOSER_PARAMETER_NAME	Subassembly name
MSL_TO_DWL_SWDTOE	SEAWARD_TOE
CREST_HEIGHT_FROM_DWL_SWDTOE	SEAWARD_TOE
FILTER_LAYER_SWDTOE	SEAWARD_TOE
SHOULDER_FILTER_SWDTOE	SEAWARD_TOE
WIDTH_TOE_SWDTOE	SEAWARD_TOE
ARMOUR_LAYER_SWDTOE	SEAWARD_TOE
SLOPE_OF_BW_SWDTOE	SEAWARD_TOE
DISTANCE_TOP_SWDTOE	SEAWARD_TOE
HEIGHT_SCOUR_SWDTOE	SEAWARD_TOE
WIDTH_SHOULDER_SWDTOE	SEAWARD_TOE
alpha_SWDTOE	SEAWARD_TOE
SLOPE_SHOULDER_AND_TOE_SWDTOE	SEAWARD_TOE
HEIGHT_TOE_SWDTOE	SEAWARD_TOE

Description	Parameter number
Distance from MSL to DWL	1
The crest height of the breakwater	2
Thickness of the filter blanket	3
Thickness of the filter layer on both sides	4
Thickness of the armour layer on both sides	5
Slope breakwater as cotan	6
Calculated horizontal distance from baseline to slope on the top	7
The width of the shoulder	8
The angle of the armour layer on both sides in degrees	9
Calculated horizontal distance from baseline to slope on the top	10
The slope of the shoulder and toe on both sides	11

COMPOSER_PARAMETER_NAME	Subassembly name
MSL_TO_DWL_SWD_SHALL	SHALLOW SWD
CREST_HEIGHT_FROM_DWL_SWD_SHALL	SHALLOW SWD
Blanket_height_SWD_SHALL	SHALLOW SWD
FILTER_LAYER_SWD_SHALL	SHALLOW SWD
ARMOUR_LAYER_SWD_SHALL	SHALLOW SWD
SLOPE_OF_BW_LEEWARD_SWD_SHALL	SHALLOW SWD
DISTANCE_TOP_LEEWARD_SWD_SHALL	SHALLOW SWD
WIDTH_SHOULDER_LEEWARD_SWD_SHALL	SHALLOW SWD
alpha_LEEWARD_SWD_SHALL	SHALLOW SWD
DISTANCE_TOP_LEEWARD_LWD_SHALL	SHALLOW LWD
SLOPE_SHOULDER_AND_TOE_SWD_SHALL	SHALLOW SWD

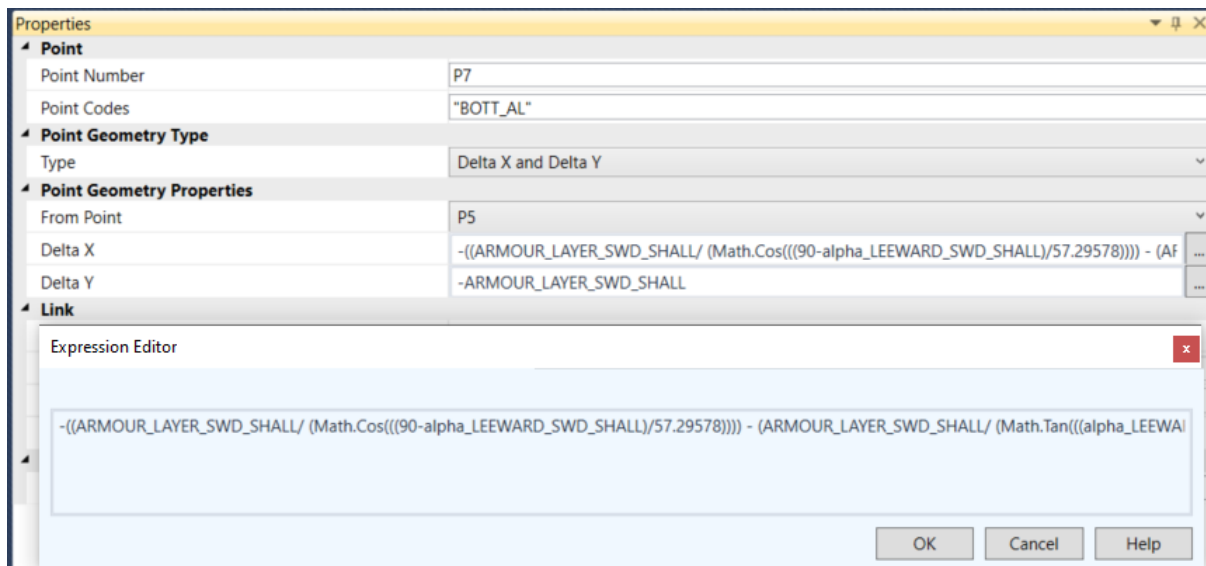
De waarden van de parameters worden bepaald op de invoersheet. De gefilterde output ziet er als volgt uit:

Region 4 DYN	Region 5 DYN	DYNNAME Reg 1	DYNNAME Reg 2
FALSE	FALSE	MSL_TO_DWL_SWD_SHALL	FALSE
FALSE	FALSE	CREST_HEIGHT_FROM_DWL_SWD_SHALL	FALSE
FALSE	FALSE	Blanket_height_SWD_SHALL	FALSE
FALSE	FALSE	FILTER_LAYER_SWD_SHALL	FALSE
FALSE	FALSE	ARMOUR_LAYER_SWD_SHALL	FALSE
FALSE	FALSE	SLOPE_OF_BW_LEEWARD_SWD_SHALL	FALSE
FALSE	FALSE	DISTANCE_TOP_LEEWARD_SWD_SHALL	FALSE
FALSE	FALSE	WIDTH_SHOULDER_LEEWARD_SWD_SHALL	FALSE
FALSE	FALSE	alpha_LEEWARD_SWD_SHALL	FALSE
FALSE	FALSE	DISTANCE_TOP_LEEWARD_LWD_SHALL	FALSE
FALSE	FALSE	SLOPE_SHOULDER_AND_TOE_SWD_SHALL	FALSE
0.001	0.001	FALSE	MSL_TO_DWL_LWRD
6.15	5.6	FALSE	CREST_HEIGHT_FROM_DWL_LWRD
0.83	1.4	FALSE	End_of_armour_layer_LWRD
1.3	1.3	FALSE	FILTER_LAYER_LWRD
2.8	2	FALSE	ARMOUR_LAYER_LWRD
1.5	1.5	FALSE	SLOPE_OF_BW_LWRD
8.282759911	8.519429192	FALSE	DISTANCE_TOP_LWRD
0.1	0.1	FALSE	HEIGHT_SCOUR_LWRD
3	2.5	FALSE	WIDTH_SHOULDER_LWRD
33.69006753	33.69006753	FALSE	alpha_LWRD
1.5	1.5	FALSE	SLOPE_SHOULDER_AND_TOE_LWRD

Bijlage 5: Autodesk Subassembly Composer 2020

De doorsnedes uit paragraaf 4.4 zijn gemaakt met de Subassembly Composer.

Een doorsnede bestaat uit points en links. Een point is altijd gedefinieerd ten opzichte van een andere punt. De verbinding daartussen is een link. De definitie van een punt kan bijvoorbeeld een horizontale verplaatsing zijn van een waarde (parameter) of een formule met meerdere parameters. Zie de afbeelding hieronder.



Elke composer doorsnede heeft meerdere parameters, deze volgen uit de randvoorwaarden voor het parametrisch waterbouwkundig ontwerp. De parameters hebben ook een naamaanduiding. Ik heb bijvoorbeeld voor de kruinhoogte van de golfbreker de naam: CREST_HEIGHT_FROM_DWL gebruikt. Om deze parameter uniek te maken voor een doorsnede heb ik daarachter de naam van de doorsnede gezet: _SWDTOE.

Op de volgende afbeeldingen staan alle parameters van de volgende doorsnedes. Om een realistische doorsnede te verkrijgen hebben alle parameters standaard waardes gekregen.

Seaward cross section

Input/Output Parameters			
Name	Type	Direction	Default Value
Side	Side	Input	Left
MSL_TO_DWL_SWDTOE	Double	Input	1
CREST_HEIGHT_FROM_DWL_SWDTOE	Double	Input	4
FILTER_LAYER_SWDTOE	Double	Input	0,75
SHOULDER_FILTER_SWDTOE	Double	Input	0,5
WIDTH_TOE_SWDTOE	Double	Input	0,5
ARMOUR_LAYER_SWDTOE	Double	Input	1
SLOPE_OF_BW_SWDTOE	Double	Input	1
DISTANCE_TOP_SWDTOE	Double	Input	2
HEIGHT_SCOUR_SWDTOE	Double	Input	0,3
WIDTH_SHOULDER_SWDTOE	Double	Input	0,5
alpha_SWDTOE	Double	Input	45
SLOPE_SHOULDER_AND_TOE_SWDTOE	Double	Input	1
HEIGHT_TOE_SWDTOE	Double	Input	1,5

Leeward cross section

Input/Output Parameters			
Name	Type	Direction	Default Value
Side	Side	Input	Right
MSL_TO_DWL_LWRD	Double	Input	1
CREST_HEIGHT_FROM_DWL_LWRD	Double	Input	4
End_of_armour_layer_LWRD	Double	Input	2,4
FILTER_LAYER_LWRD	Double	Input	0,75
ARMOUR_LAYER_LWRD	Double	Input	1
SLOPE_OF_BW_LWRD	Double	Input	1
DISTANCE_TOP_LWRD	Double	Input	2
HEIGHT_SCOUR_LWRD	Double	Input	0,3
WIDTH_SHOULDER_LWRD	Double	Input	0,5
alpha_LWRD	Double	Input	45
SLOPE_SHOULDER_AND_TOE_LWRD	Double	Input	1

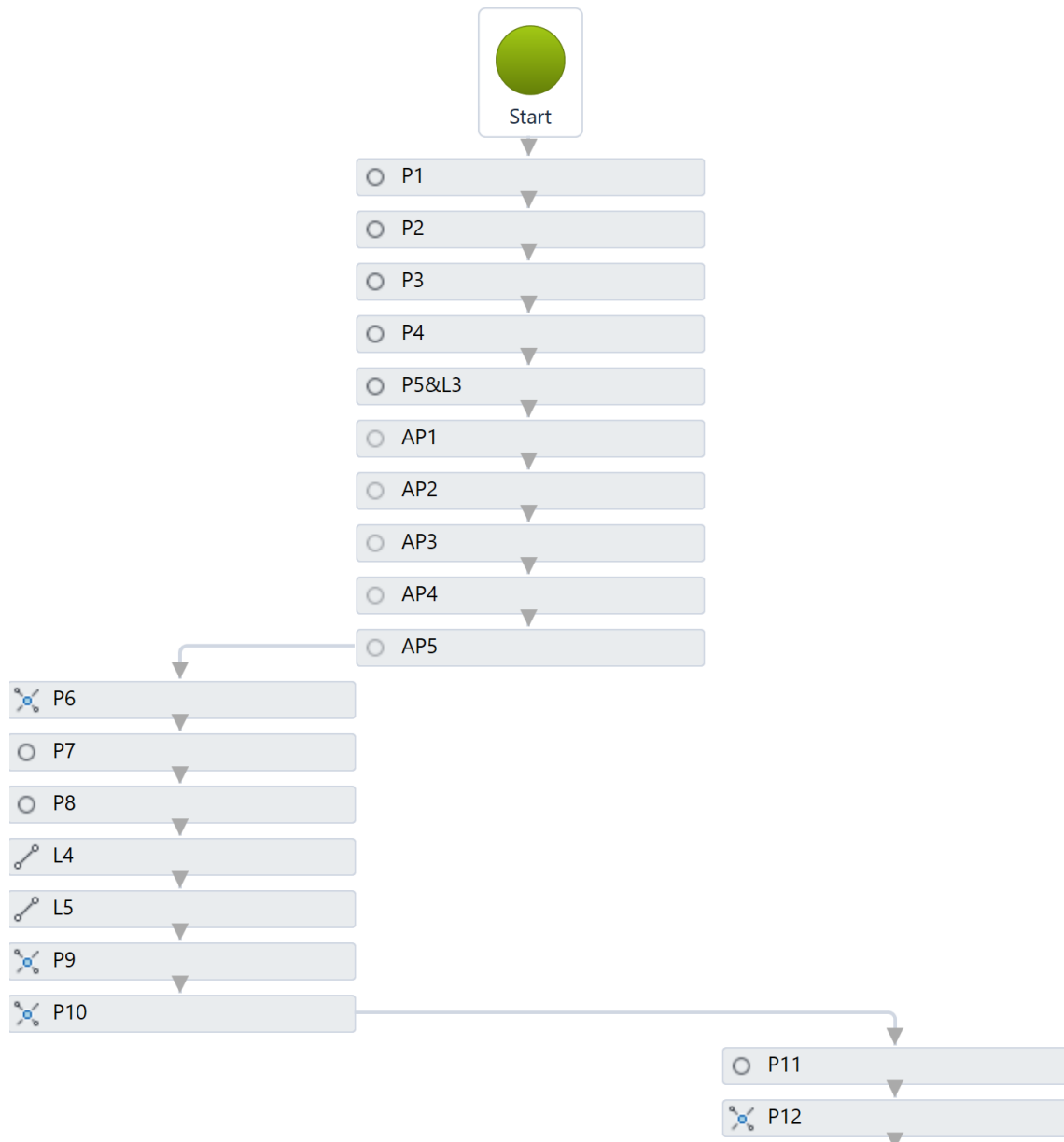
Crown cross section

Input/Output Parameters			
Name	Type	Direction	Default Value
Side	Side	Input	Left
ARMOURLAYER_LWD_CRWN	Double	Input	1
ARMOURLAYER_SEAWARD	Double	Input	1
FILTERLAYER_SEAWARD	Double	Input	0,75
DISTANCE_TOP_LWD_CRWN	Double	Input	2
HEIGHT_SCOUR_LWD_CRWN	Double	Input	0,3
alpha_LWD_CRWN	Double	Input	45
SLOPE_SHOULDER_AND_TOE_LWD_CRWN	Double	Input	1,66
WIDTH_SHOULDER_LWD_CRWN	Double	Input	2
SLOPE_OF_BW_LWD_CRWN	Double	Input	1
End_of_armour_layer_LWD_CRWN	Double	Input	2,4
Width_crown	Double	Input	2
Height_slab	Double	Input	1,5
Width_wall	Double	Input	1
CREST_HEIGHT_FROM_DWL_LWD_CRWN	Double	Input	3
FREEBOARD_LWD_CRWN	Double	Input	1
Delta_z2	Double	Input	0,5
Delta_x	Double	Input	0,2
MSL_TO_DWL_LWD_CRWN	Double	Input	1

Shallow cross section

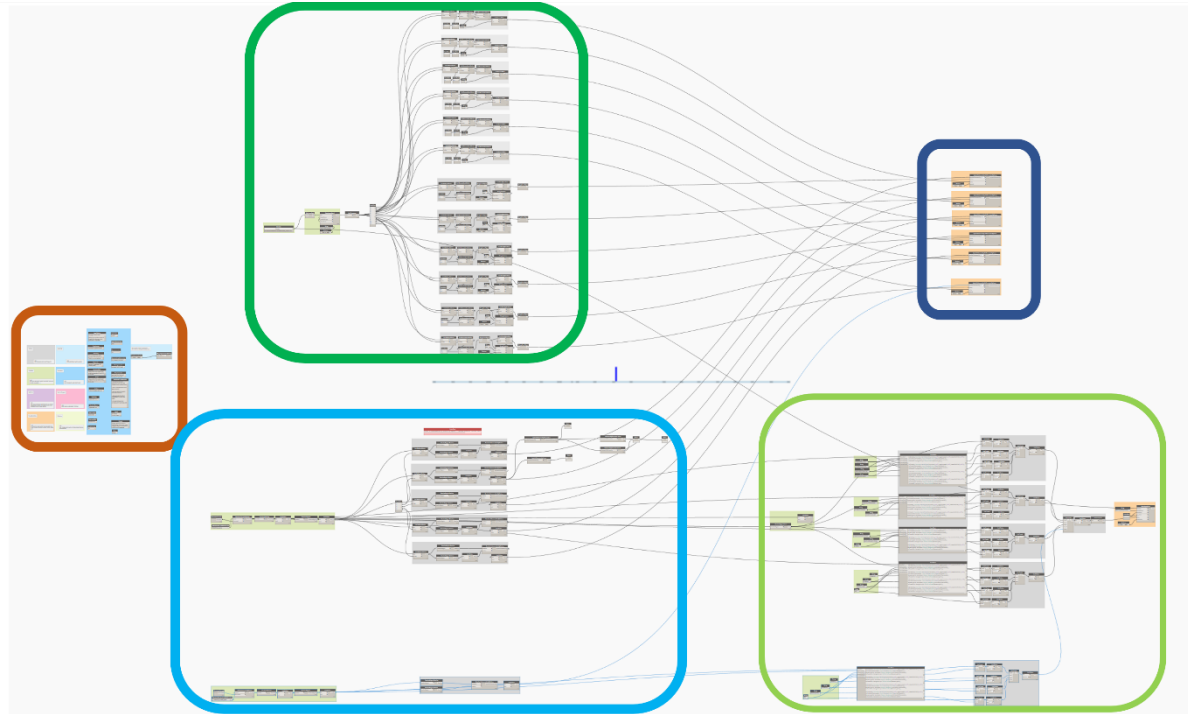
Input/Output Parameters			
Name	Type	Direction	Default Value
Side	Side	Input	Right
MSL_TO_DWL_SWD_SHALL	Double	Input	1
CREST_HEIGHT_FROM_DWL_SWD_SHALL	Double	Input	4
FILTER_LAYER_SWD_SHALL	Double	Input	1,5
ARMOUR_LAYER_SWD_SHALL	Double	Input	2
SLOPE_OF_BW_LEEWARD_SWD_SHALL	Double	Input	1
DISTANCE_TOP_LEEWARD_SWD_SHALL	Double	Input	3
WIDTH_SHOULDER_LEEWARD_SWD_SHALL	Double	Input	2
alpha_LEEWARD_SWD_SHALL	Double	Input	45
SLOPE_SHOULDER_AND_TOE_SWD_SHALL	Double	Input	1,66
Blanket_height_SWD_SHALL	Double	Input	0,3

Er is een flowchart benodigd om van punten en linken een parametrisatie te krijgen. De flowchart van de 'Seaward cross section' ziet er als volgt uit. (Dit is slechts de helft van de flowchart.)



Bijlage 6: Dynamo script

In de onderstaande afbeelding is het gehele Dynamascript te zien, uit paragraaf 4.3. In deze bijlage wordt ingezoomd op de elementen en wordt de werking van de subelementen beschreven.



Vanuit paragraaf 4.3 hieronder een uitleg van de elementen:

Rood links midden

Hier staat de Arcadis standaard met informatie over het script. Hier kan bijvoorbeeld de projectomschrijving worden ingevoerd en er staat uitleg over de functies van het script.

Donkergroen linksboven

Excel input, hier worden gegevens gelezen vanuit Excel. Dit zijn de parameternamen en waarden.

Lichtblauw linksonder

Civil3D input, hier worden gegevens gelezen vanuit Civil3D. Dit is alle benodigde informatie over het standaard object. Bijvoorbeeld: parameternamen en volumes van het object.

Donkerblauw rechtsboven

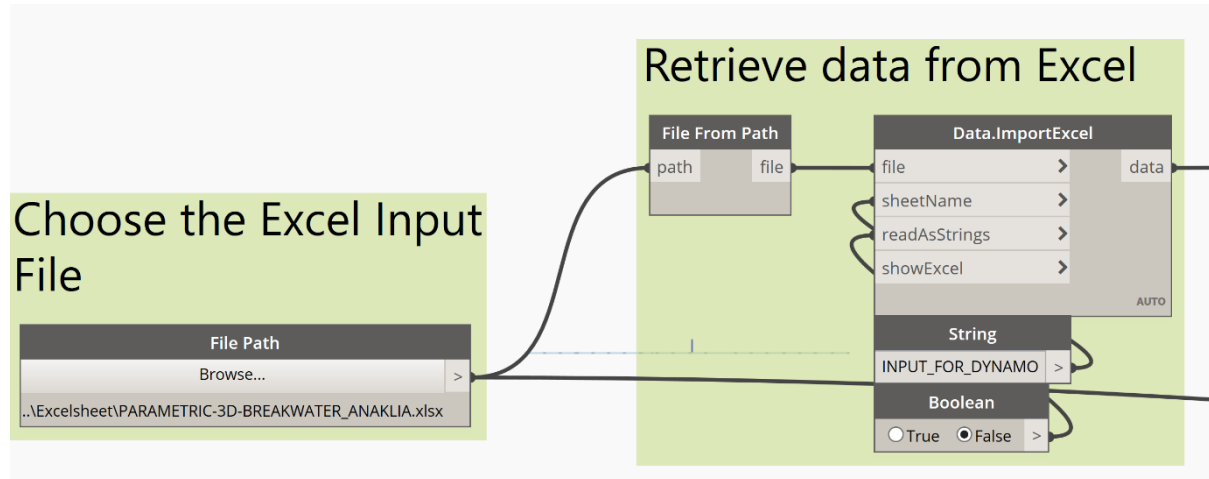
Parameterwaardes wijzigen, in dit element worden de parameterwaardes vanuit Excel overgeschreven boven de oude standaard parameterwaardes van het standaard object. Dit element zorgt ervoor dat het standaard object verandert naar het gewenste object, zoals gedefinieerd in de Excelsheet.

Lichtgroen rechtsonder

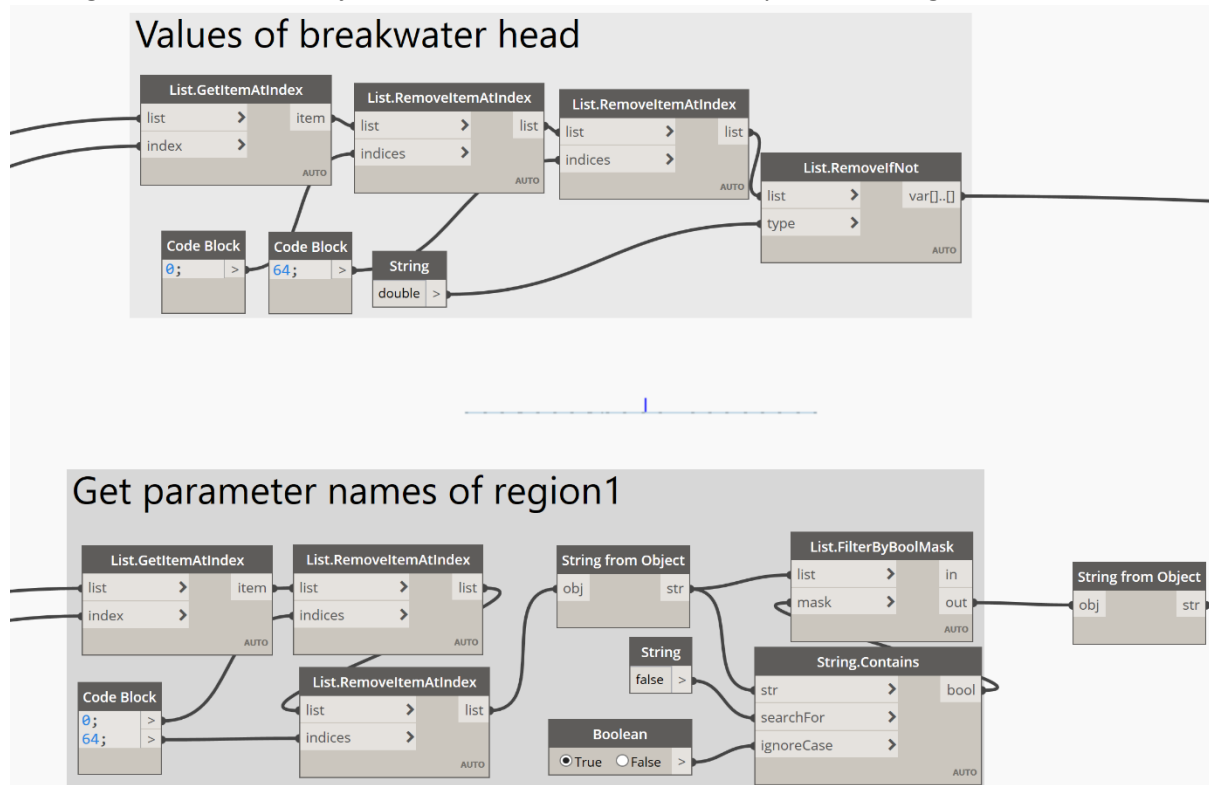
Volumes terugsturen naar Excel, in dit element worden gegevens gelezen over de solids van het standaard object, te weten het volumes van de elementen en de namen van de elementen. De gegevens worden vervolgens teruggestuurd naar hetzelfde Excelbestand als het invoerbestand.

Donkergroen linksboven, Excel Input

In dit element kan als eerste het Excel bestand worden gekoppeld aan het script. Vervolgens kan uit een sheet alle gegevens worden gelezen. Deze sheet is het overzicht met alle parameter namen en waarden.

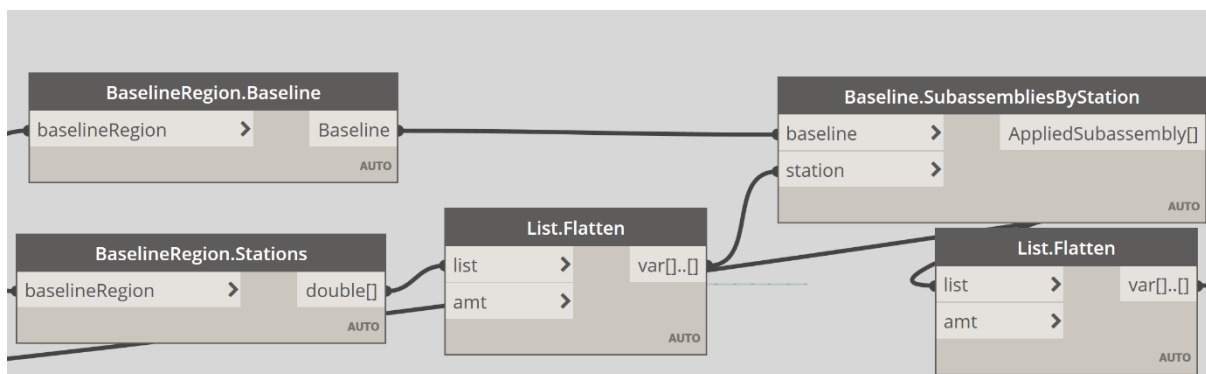
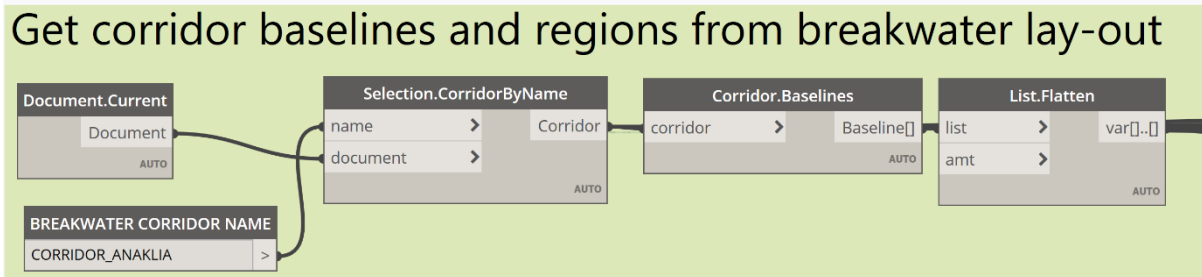


Vervolgens wordt uit deze lijst bruikbare data voor Civil3D en Dynamo verkregen.



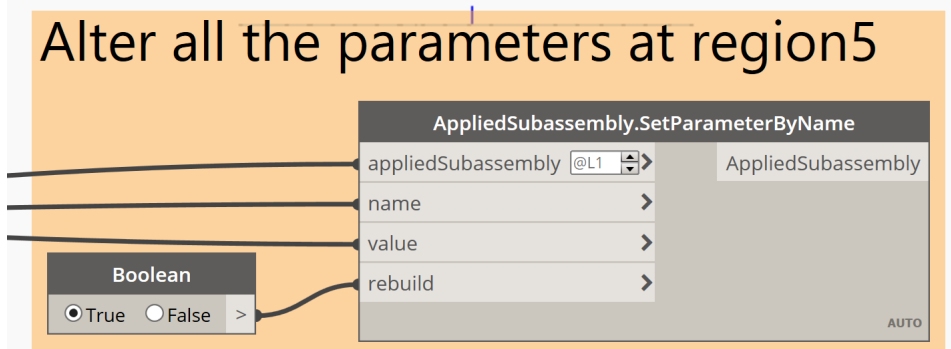
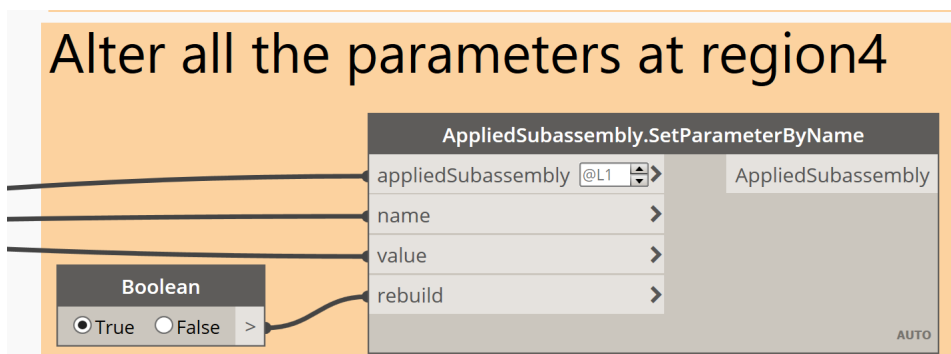
Lichtblauw linksonder, Civil3D input

In de onderstaande afbeelding wordt uit het huidige actieve Civil3D document het standaard object geselecteerd door de naam in te voeren. Vervolgens wordt er in het object gefilterd naar de doorsnedes.



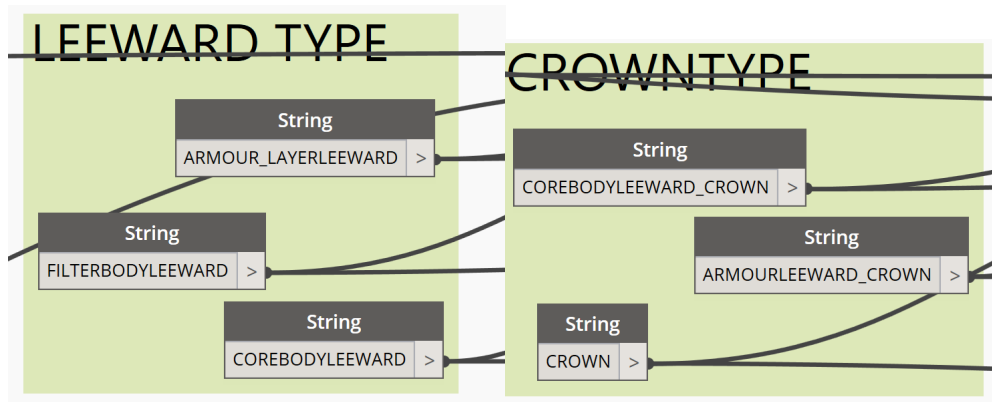
Donkerblauw rechtsboven: Gewijzigde parameters

Deze node schrijft de waardes van de parameters uit Excel over met de oude waardes.



Lichtgroen rechtsonder: Civil3D volumes

Hier worden de volumes van de corridor eerst gefilterd op naam van element en vervolgens worden de gegevens gestuurd naar Excel.



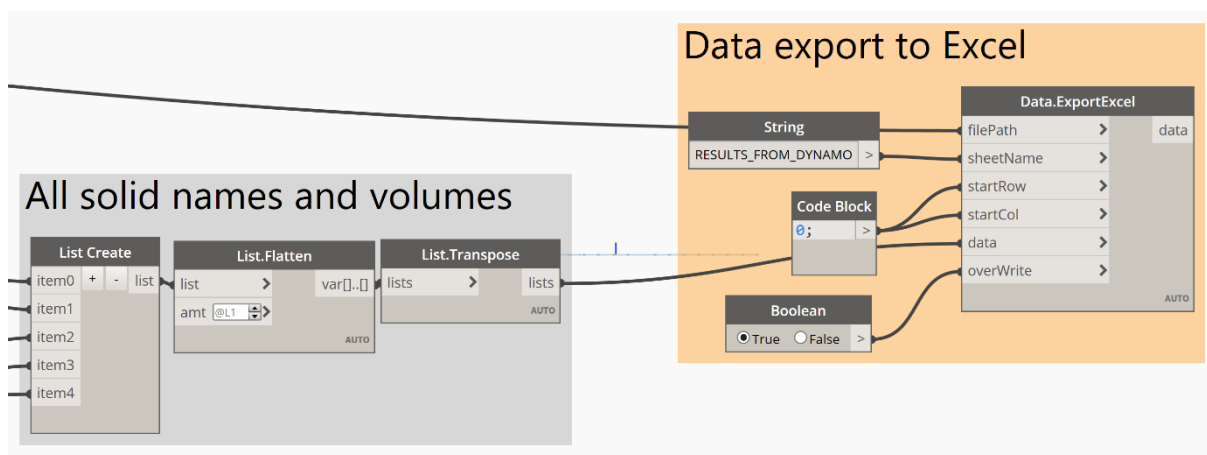
```

Code Block
Corridor1 SolidsA8= Corridor.GetSolids(Corridor1,null,regionname1,null,nameofsolid8,null);
regionname1 SolidsA8flattened= List.Flatten(List.Clean(SolidsA8));
nameofsolid8 GeometryA8= Autodesk.Object.Geometry(SolidsA8flattened);
nameofsolid9 VolumeA8= DesignScript.Solid.Volume(GeometryA8);
nameofsolid10

SolidsA9= Corridor.GetSolids(Corridor1,null,regionname1,null,nameofsolid9,null);
SolidsA9flattened= List.Flatten(List.Clean(SolidsA9));
GeometryA9= Autodesk.Object.Geometry(SolidsA9flattened);
VolumeA9= DesignScript.Solid.Volume(GeometryA9);

SolidsA10= Corridor.GetSolids(Corridor1,null,regionname1,null,nameofsolid10,null);
SolidsA10flattened= List.Flatten(List.Clean(SolidsA10));
GeometryA10= Autodesk.Object.Geometry(SolidsA10flattened);
VolumeA10= DesignScript.Solid.Volume(GeometryA10);

```



Bijlage 7: Randvoorwaarden:

Randvoorwaarden golfbreker:

Projecteisen:

1. Het type golfbreker is conventional rubble mound met of zonder kruin muur.
2. De golfbreker bestaat uit een armour layer/ filter layer, core en toe.
3. De keuze voor de materialen is bekend: breuksteen of gewapende betonblokken.
4. De lay-out is bekend, inclusief de bochtstraal van de kop van de golfbreker ($>3 \cdot H_{s,d}$).
5. De bodemkaart is bekend.
6. De benodigde d_{n50} van de materialen, per hellingsgraad, is bekend.
7. De significante golfhoogte aan de leeward en seaward side zijn bekend.
8. The doordringbaarheid van het ontwerp heeft als waarde 0.4.

Doorsnede eisen: Rock manual, chapter 6 Page 793

9. De breedte van de golfbreker is de minimale breedte voor transport over de golfbreker (construction width) of de minimale breedte voor golfoverslag.
10. De helling van de golfbeker aan de leeward side kan afwijken van de seaward side.
11. Bij een diepte lager dan $0,7 H_s$ vanaf DWL/MSL is er geen teen benodigd voor de golfbreker.
12. De armour layer aan de leeward side van de golfbreker dient te worden doorgetrokken tot aan $0,7 \cdot H_s$ vanaf DWL of MSL.
13. De maximale hoogte van de golfbreker boven de lay-out is altijd de crest height boven DWL.
14. De laagdikte van de armour layer is $2 \cdot D_{n50}$ van de armour blocks
15. De laagdikte van de filter layer is $1,5 \cdot D_{n50}$ van de armour blocks
16. De volgende ontwerpvariabelen dienen als variabele te worden ingevoerd:
Dn50a, | Dn50,toe | Dn50, f | Slope | Toe height | Toe width | Toe slope | H_s , leeward |
Dimensions crown wall | Overtopping width | Construction lane width | Crest Height
Seaward | Crest Height leeward | Verschil MSL tot HAT | Hoogte van de kern door laag of
hoogwaterstand | Slope Seaward | Slope leeward | Afstand crest- crown wall (3 stones)
17. De overige dimensies volgen uit the Rock Manual.

Randvoorwaarden model:

1. Er moet gebruik worden gemaakt van de Arcadis standaard en richtlijnen.
2. Er dient een duidelijke structuur te zijn in het script.
3. Er dient met zo min mogelijk nodes ontworpen te worden.

Randvoorwaarden Excel:

1. De Excelsheet dient overzichtelijk en simpel te zijn.

Bijlage 8: Testcase

De oude schatting met beschouwing als een trapezium doorsnede:

				Average toe length Ltoe (m)		5.85	m
Core width		10	m	Average toe thickness htoe (m)		1.85	m
Depth d2 (-mBZ)	Depth d1 (-mBZ)	Height h (+mBZ)	Section length	Width b1 (m)	Width b2 (m)	Width b3 (m)	Volume Vtotal (m3)
10	8	5	338	11	50	56	158909
			338	m			158,909 m3

Nieuw verkregen volumes:

1	COREBODYSHALLOW	25	COREBODYLEEWARD_CROWN
2	540.7876	26	
3	1789.365	27	ARMOURLEEWARD_CROWN
4	FILTERBODYSHALLOW	28	
5	8.51041	29	CROWN
6	15.30241	30	
7	ARMOURBODYSHALLOW	31	COREBODY
8	1011.304	32	49352.88
9	1904.438	33	36925.86
10	FILTERBLANKETRBODY	34	7.185745
11	58.7499	35	FILTERBODY
12	53.44089	36	32690.05
13	ARMOUR_LAYERLEEWARD	37	14560.87
14	31461.67	38	1.779117
15	12591.23	39	ARMOUR_LAYER
16	1.653603	40	25588.63
17	FILTERBODYLEEWARD	41	16398.29
18	32773.89	42	2.534174
19	13978.8	43	TOE
20	1.671753	44	6489.677
21	COREBODYLEEWARD	45	2384.411
22	102338.2	46	0.269277
23	65328.97		
24	9.841697		

Volumes per element per sectie

Core			
Section 1	2330.152819	m3	Totaal: 256293.1 m3
Section 2	151691.0525	m3	
Section 3	102254.8284	m3	
Section 4	17.02744213	m3	
Filter layer			
Section 1	23.81281883	m3	Totaal: 94030.87 m3
Section 2	65463.93975	m3	
Section 3	28539.67095	m3	
Section 4	3.45086948	m3	
Armour layer			
Section 1	2915.742064	m3	Totaal: 88959.75 m3
Section 2	57050.3014	m3	
Section 3	28989.5226	m3	
Section 4	4.187777014	m3	
Toe			
Section 1	0	m3	Totaal: 8874.357 m3
Section 2	6489.677225	m3	
Section 3	2384.410597	m3	
Section 4	0.269277222	m3	

Totaalvolumes vergeleken met controle uit trapezium model.

Section 1 Shallow type

Total volume: 5270 m3

Section 2 Conventional type

Total volume: 280695 m3

Section 3 Conventional type

Total volume: 162168 m3

Section 4 Conventional type

Total volume: 25 m3

Controle stuk section 3 = 8 tot 10 meter diepte

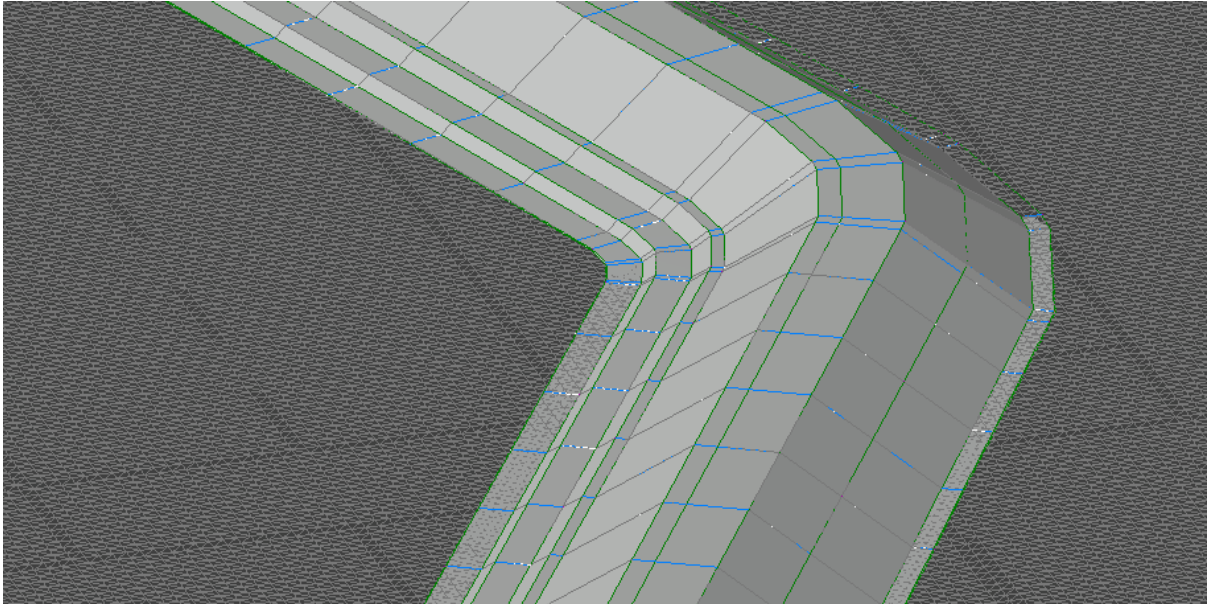
Oude schatting: 158909 m3

Nieuw berekend: 162168 m3

Afwijking: -2.051 %

Verschil in m3: -3259 m3

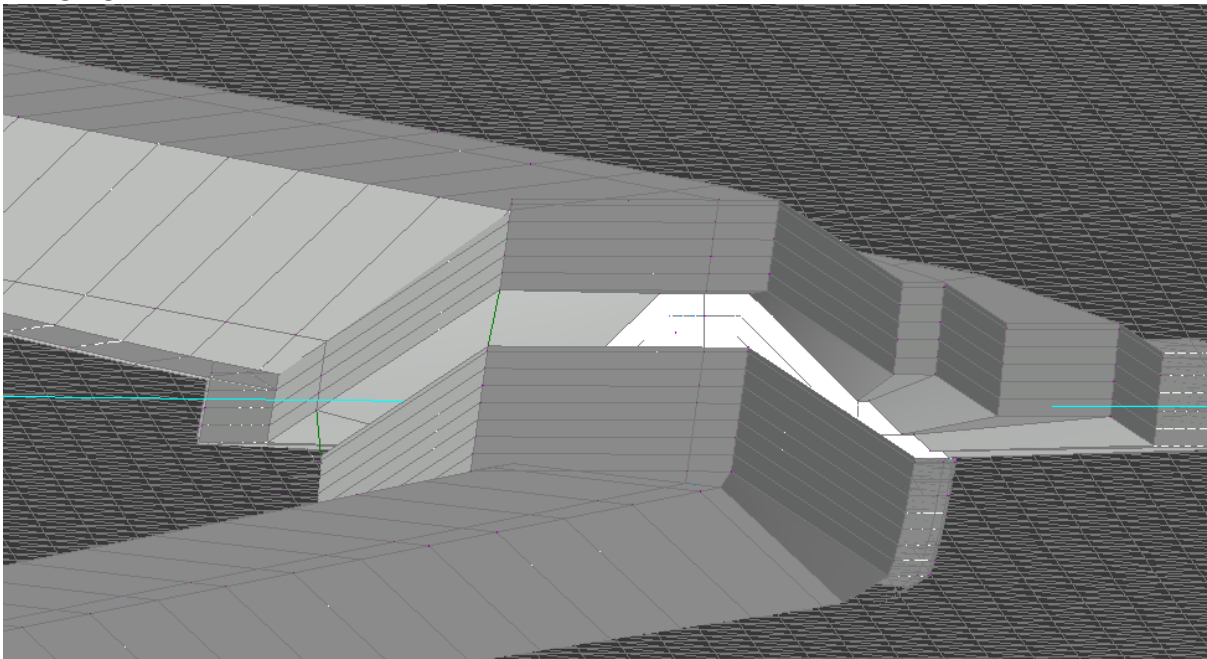
Wat gaat er goed?



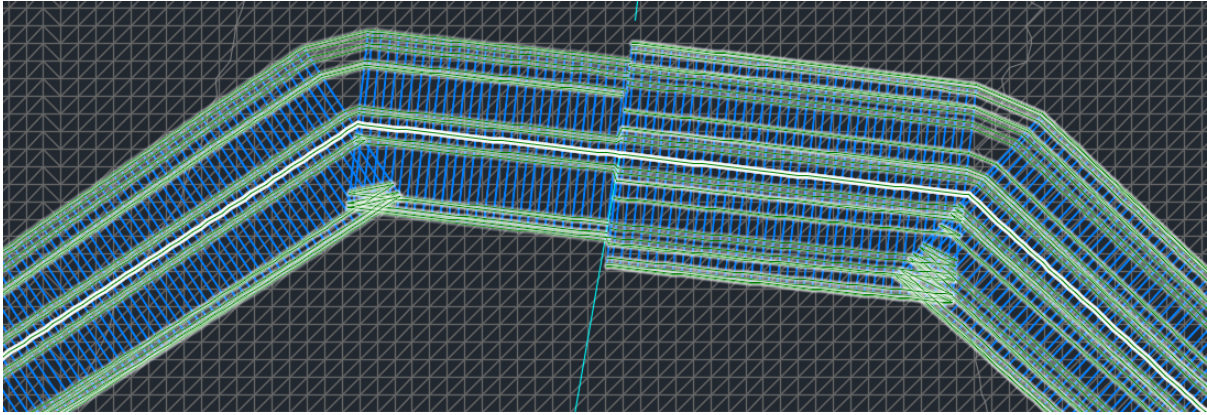
Script updaten gaat goed, verbindingen met de ondergrond. Dit gaat goed bij radii.

Wat gaat er fout?

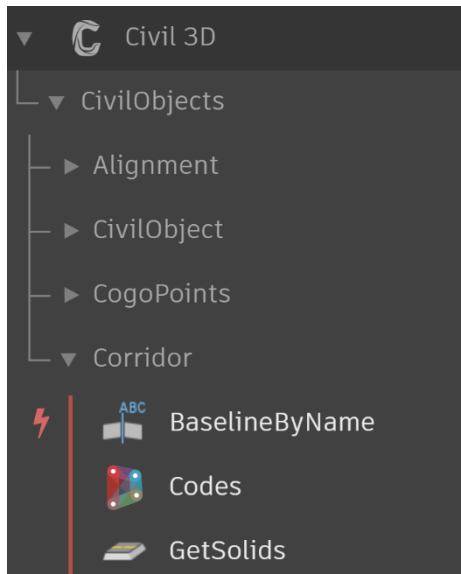
Overgangen



Intersecting volumes dubbel geteld of volumes niet meegenomen. Omdat alleen maar volumes tussen assemblies wordt berekend...



Corridor.Get. Solids node werkt niet wanneer er een knik in de Corridor zit.



Eerste assembly van een station wordt niet geüpdatet.

Bij een frequency van minder dan 5 meter werkt het script niet meer/ loopt vast.

Bijlage 9: Procesverloop realiseren beroepsproduct

In dit hoofdstuk beschrijf ik het doorlopen proces van het vormen van de beroepsproducten. Het proces is beschreven in chronologische volgorde.

September 2019 en januari 2020, start met literatuurstudie en interviews:

In september begon ik met de literatuurstudie naar het afstudeeronderwerp. Ik heb deskresearch gedaan naar golfbrekers, oeverbeschermingen en parametrisch ontwerpen. Omdat parametrisch ontwerpen een relatief nieuw onderwerp is binnen de waterbouwkunde heb ik ook enkele gesprekken gehad met specialisten/ afstudeerstudenten. Zo ben ik tot inzicht gekomen hoe ik een realistisch doel kon opstellen voor het realiseren van mijn beroepsproducten.

Mijn voorlopige inzichten waren:

- *Voor het realiseren van een Minimum Viable Product is het binnen het tijdsbestek van het afstuderen niet realistisch om een 3D-ontwerp voor oeverbeschermingen maken. Bij de koppeling met de hoogte-en dieptemodellen treden vaak complicaties bij de transitie van de twee modellen. Het kost te veel tijd om deze complicaties aan te pakken.*
- *Parametrisch 3D-ontwerp golfbreker kan op meerdere manieren gemaakt worden.*

Vervolgens heb ik in januari de literatuurstudie uitgebreid en heb ik de mogelijkheden van parametrisch ontwerpen bekeken. Daarnaast heb ik ook nog met twee Dynamo-specialisten gesproken en een Civil3D specialist. Uit de gesprekken/interviews met hen heb ik mijn afstudeeronderwerp verder kunnen afbakenen.

Tijdens het oefenen met Dynamo bleek ook dat het prettig was om direct resultaat te zien met visual programming. Bij samenwerking met Civil3D liep het programma wel vaak vast. Na de literatuurstudie kreeg ik tijdelijke antwoorden op deelvraag 1,2,3 en 4.

Januari 2020, zoektocht beste manier van parametrisch ontwerpen

Na de literatuurstudie ben ik op zoek gegaan naar de beste manier om mijn ontwerpproces voor een parametrisch 3D ontwerp van golfbrekers op te zetten. Ik heb gekeken naar de mogelijkheden met Visual Programming en de mogelijkheden met Civil3D.

Daar heb ik de volgende inzichten gekregen:

- *Een typische doorsnede van een golfbreker en oeverbescherming kan worden gemaakt met de Autodesk Subassembly Composer 2020, die erg goed samenwerkt met Civil3D.*
- *Met het gebruik van Dynamo voor Civil3D kunnen parameters van de Subassembly Composer worden gewijzigd aan de hand van invoer uit een Excelsheet.*

Hierdoor kreeg ik antwoord op deelvraag 5 en deels op deelvraag 8.

Januari 2020, gesprek met begeleider/specialist golfbrekers K. Stoeten:

Om de randvoorwaarden van mijn model op te stellen heb ik gesproken met mijn begeleider K. Stoeten, die onder andere specialist is op het gebied van golfbrekers en oeverbeschermingen

Uit de gesprekken volgden de randvoorwaarden van de waterbouwkundige objecten en volgde antwoord op deelvraag 6.

Februari 2020, opzetten plan parametrisch ontwerpproces en maken Excelsheet

Na het opstellen van de randvoorwaarden en inzicht in het maken van een 3D-ontwerp in Civil3D heb ik het plan opgezet voor het maken van het beoogde ontwerpproces voor golfbrekers, waarbij de vertaling van het parametrisch waterbouwkundig ontwerp naar een 3D-ontwerp centraal staat.

Hier heb ik het proces opgedeeld naar meerdere onderdelen.

Parallel aan het opzetten van het plan voor het 3D-ontwerp begon ik met het maken van een Excelsheet met ontwerpvariabelen. Met deze sheet kan een ontwerper de parameters van een typische doorsnede invoeren. Het Visual Programming programma Dynamo kan vervolgens deze invoer verwerken om een 3D-ontwerp te realiseren.

De Excelsheet maken was een iteratief proces. Ik moest telkens randvoorwaarden, eisen en wensen verwerken en daarnaast ook overzichtelijkheid, herleidbaarheid en structuur creëren.

Hieruit volgde antwoord op deelvraag 7 en 8.

Februari 2020, het maken van typische doorsnedes van golfbrekers in de Subassembly Composer 2020

Na het opzetten van het plan heb ik een aantal typische doorsnedes van golfbrekers gemaakt. Deze doorsnedes volgen de basis voor een 3D-ontwerp van golfbrekers in Civil3D. Het was lastig om de composer goed op te zetten. Alles moet wiskundig worden uitgedrukt en na vele versies kreeg ik pas de juiste doorsnedes. Toen ik eenmaal doorhad toen alles werkte, was het heel makkelijk om de andere doorsnedes op te zetten.

Februari Model maken in Dynamo

Dit onderdeel nam de meeste tijd in beslag voor het vormen van het beroepsproduct omdat dit innovatieve vaardigheden van mij vereiste. Ik moest programmeren, dit is een vaardigheid die op de opleiding niet aan de studenten wordt geleerd. In het model heb ik ervoor gezorgd dat er een duidelijke structuur is in de werking en koppeling van elementen. Het was een trial and error proces en ik moest vaak creatieve omwegen bedenken om een nieuwe functie te implementeren. Dit kwam door de beperkte mogelijkheden met Dynamo en Civil3D.

Maken Excelsheet Februari en Maart

Tijdens het maken van de Excelsheet is de opmaak vaak veranderd. Ik kwam erachter dat het niet enkel belangrijk is om de waardes van de parameters in te voeren, maar dat het ook belangrijk is om de theorie te koppelen aan een parameter. Daarom moest ik weer in de theorie en kennis duiken die ik had opgedaan tijdens de werkervaringsperiode.

Om ook meer herleidbaarheid te verwerken in de Excelsheet heb ik visuele elementen neergezet om bijvoorbeeld onderscheid te maken tussen input en output. Om realistische waardes te krijgen voor het 3D-ontwerp heb ik een sheet gemaakt met daarin een bereik met gebruikelijke waardes. Daarnaast heb ik ook geprobeerd om eenvoudigheid toe te voegen door overbodige informatie weg te laten. Ik heb geregeld mijn begeleiders laten meekijken om overzichtelijkheid te creëren.

Maart 2020

Handleiding ontwerpproces voor oeverbeschermingen.

Nadat ik het script, de Excelsheet en de parametrisaties af had gemaakt begon ik met het opstellen van het nieuwe ontwerpproces voor oeverbeschermingen. Aangezien er veel overeenkomsten zijn tussen golfbrekers en oeverbeschermingen was het niet lastig om een advies op te stellen.

Maart en April 2020 Evaluatie model en testcase, vergelijken met andere golfbreker ontwerpen

Ter verificatie voor het beroepsproduct heb ik een testcase gezocht met mijn begeleiders. Omdat mijn er voor mijn golfbreker model slechts drie verschillende doorsnedes waren en een golfbreker uit maximaal vijf verschillende segmenten moest bestaan leek het bestaande project een geschikte keuze. Tijdens het opzetten van het script kwam ik erachter wat een terugkomend probleem was. Wanneer er in het 3D-ontwerp een harde knik zat in plaats van een radius, kreeg ik vreemde resultaten. Daarom heb ik uiteindelijk gekozen om verder te werken met een radius in plaats van een knik en zo kon ik het voorontwerp vergelijken met mijn parametrisch 3D-ontwerp.

Het testen was een iteratief proces en door het testen zijn vele fouten uit het script en ontwerpproces gehaald.

Bijlage 10: Relatie competenties en beroepsproduct

Initiëren en sturen	Leeruitkomst fase II	Aangetoond
1	Verantwoordt het totstandkomingproces van beroepsproduct(en), mede op basis van de inhoudelijke en organisatorische keuzes in het afstudeervoorstel	Verantwoorden van totstandkomingsproces: In paragraaf 4.1 en in bijlage 2 & 9.
Ontwerpen	Leeruitkomst fase II	
3	* doorgrondt het programma van eisen en vertaalt deze naar ontwerpuitgangspunten en gebruikerscriteria - onderkent hoofd- en bijzaken, formele en informele eisen, belangen/wensen/ambities (van opdrachtgever, stakeholders, zichzelf) * benoemt te verrichten vervolgactiviteiten en ontwikkelt op die basis een doelmatige organisatie en planning van werk- en ontwerpproces	Vertalen van eisen: In bijlage 1,3,5,6 en paragraaf 4.3, 4.4 en 4.5. Benoemen vervolgactiviteiten: In paragraaf 5.2, 6.2
4	* inventariseert, verkent en onderzoekt a.d.h.v. (deel)vragen, - (aanvullende) informatie - oplossingsalternatieven en varianten, - nadere specificaties en interpreteert en verantwoordt de uitkomsten; * toetst uitkomsten aan uitgangspunten en gestelde eisen; * hanteert een integrale en systematische denk- en werkwijze, gebruikmakend van - vak-/major specifieke kennis, methoden, technieken, - passende ontwerpmethoden en -technieken, - materialen, - randvoorwaarden, normen en voorschriften	Inventariseren en verkennen In bijlage 9 en paragraaf 3.5 en 4.1. Toetst uitkomsten In paragraaf 5.1 en in bijlage 8. Hanteert integrale en systematische denkwijze: In paragraaf 4.1, 4.2, 4.3 en 4.5 en in bijlage 9.
5	Integreert diverse eisen en wensen (formeel en informeel) in (deel)oplossingen en/of het eindproduct, rekening houdend met gestelde kaders en eisen	Integreert eisen en wensen In paragraaf 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 en in bijlage 3.
Specificeren	Leeruitkomst fase II	
6	* analyseert de beschikbare informatie (DO) en beoordeelt deze op bruikbaarheid en volledigheid en overlegt waar nodig met (externe) specialisten - vertaalt (detail)berekeningen, (detail)tekeningen en onderbouwingen van definitief ontwerp naar technische uitwerkingen, implementatiedocumenten en/of relevante vergunnings-, aanbesteding- en contractdocumenten en kan keuzes daarin verantwoorden - adviseert in, c.q. organiseert en begeleidt het proces van contractvorming	Analyseert en beoordeelt beschikbare informatie In bijlage 2 en 9 Vertaalt berekeningen tekeningen en onderbouwingen In paragraaf 4.3 en in bijlage 1.
Onderzoeken	Leeruitkomst fase II	
9	Analyseert en definieert op methodische en inzichtelijke wijze beroepssituaties en praktijkopgave (en daaraan te ontlelen deelvragen e/o deelaspecten of te verbinden eisen, doelstellingen e/o randvoorwaarden)	Analyseert en definieert beroepssituaties en praktijkopgaven In paragraaf 3.2, 3.3.2, 3.4, 3.5 en 5.2.

	- demonstreert een open, kritische denk- en werkhouding, gericht op willen weten en begrijpen en het leveren van kwaliteit;	Demonstreert een open en kritische denk en werkhouding In bijlage 2 & 9.
10	- onderzoekt op methodische wijze en vanuit een nieuwsgierige houding, de hoofd- en deelvragen van de zelf geformuleerde praktijkopgave(n), - evalueert onderzoeksresultaten, maakt inzichtelijk tot welke conclusies deze leiden en gebruikt deze in argumentaties en onderbouwing - toont aan daarbij gebruik te maken van beschikbare en relevante kennis, inzichten, theorieën, concepten en methodieken.	Onderzoekt de hoofd en deelvragen In hoofdstuk 3,4,5. Evalueert resultaten In paragraaf 5.1 en 6.1 en in bijlage 8 Aantonen gebruik kennis en inzichten In bijlage 2 en 9.
Communiceren & samenwerken	Leeruitkomst fase II	
11	- legt tussentijds verschillende processtadia vast, voor communicatie met anderen en reflectie op tussenresultaten - presenteert (gesproken en in Beeld/tekst) tussen- en eindresultaten op een wijze die voldoet aan professionele eisen m.b.t. taal, vorm en presentatie. - Biedt inzicht in eigen denkprocessen, voortgang en persoonlijke ontwikkeling tijdens de afstudeerstage;	Legt processtadia vast In paragraaf 5.3 en in bijlage 2 & 9 Presenteer op professionele wijze In paragraaf 4.1, 4.5 en 5.1 en in bijlage 8 Biedt inzicht in eigen denkprocessen In paragraaf 4.1 en in bijlage 2 & 9
12	- werkt professioneel samen door anderen te informeren, feedback te geven, te ontvangen, te vragen en zich actief aan samenwerkingsafspraken te houden - toont zich bewust van de eigen rol en verantwoordelijkheden en toont inzicht in de directe werkomgeving, het werkveld en de daarin te onderscheiden beroepsrollen	Werkt professioneel samen In paragraaf 5.3 en in bijlage 2 & 9 Toont zich bewust van eigen rol en verantwoordelijkheden In hoofdstuk 5 bijlage 9.
Managen & innoveren	Leeruitkomst fase II	
13	Toont een zelfsturende en reflectieve werkwijze en -houding tijdens de werkervaringsperiode en bij de totstandkoming van beroepsproduct(en).	In bijlage 2 & 9
14	Toont professioneel vakmanschap en kennis van zaken in de toepassing van (major eigen) vakkennis, vaardigheden en inzichten, zowel in beroepssituaties als bij werkzaamheden en resultaten	In hoofdstuk 5.
15	- reflecteert continue op het eigen (beroepsmatig) handelen en verzamelt en analyseert daartoe relevante informatie; is daarbij gericht op de persoonlijke ontwikkeling, de professionalisering van de eigen beroepsbeoefening en de innovatie van discipline en beroep;	In bijlage 2 en 9.

Bijlage 11: Reflectie op de afgelopen periode

In deze bijlage reflecteer ik op de periode, van september 2019 tot en met april 2020, op het maken van de beroepsproducten.

Verwachtingen

Voordat het afstudeerjaar begon was ik nog aan het oriënteren op de bedrijvenmarkt. Ik was nog onzeker over de richting die ik wilde volgen binnen de civiele techniek. Ik twijfelde tussen het modelleren van woningen en utiliteitsbouw, of het ontwerpen in de waterbouw. Uiteindelijk heb ik gekozen voor waterbouw en ben ik op zoek gegaan naar een passend bedrijf voor mij. Ik kwam erachter dat ik baggeren, bruggen en kustconstructies wel interessant vond, maar daarvoor zou ik naar het westen van het land moeten verhuizen. Na enige zoektocht kwam ik uit bij Arcadis Zwolle. Ik verwachtte dat ik bij dit veelzijdige bedrijf veel kon leren over waterbouw.

Start bij Arcadis

Na het eerste kennismakingsgesprek was mijn eerste gevoel: blijdschap. Ik dacht dat ik met het afstudeeronderwerp 'Parametrisch ontwerpen' een leuke uitdaging kreeg. Ik was daarnaast ook al geïnteresseerd geraakt in programmeren, dus het leek een ideale kans om op dit afstudeeronderwerp af te studeren. Toen ik mij enigszins had verdiept in het parametrisch ontwerpen leek het mij steeds complexer en lastiger haalbaar. Maar de nieuwsgierigheid was groot genoeg om door te blijven gaan.

Met uitgebreidere kennis beroepsproduct maken.

Naarmate ik meer kwam te weten over het afstudeeronderwerp groeide mijn expertise en kreeg ik meer zelfvertrouwen. Op een gegeven moment (midden januari 2020) was ik op het punt gekomen dat ik dacht: 'Nu moet het wel haalbaar zijn om een beroepsproduct te maken'.

Afronding

Toen alle elementen van het beroepsproduct voor het eerst samenwerkten was ik erg opgelucht en tevreden over mijzelf. Ik denk dat ik een mooi product voor het bedrijf heb gemaakt en ik denk dat ik ook erg gegroeid ben in bepaalde kwaliteiten. Mijn schrijfvaardigheid en besluitvaardigheid is erg gegroeid. Wanneer ik terugkijk naar de afgelopen periode denk ik vooral aan: tevredenheid, positivisme, gezelligheid. Ik ben ook blij dat mijn begeleiders steeds het vertrouwen in mij hebben gehad. Daarnaast denk ik dat de vaardigheden die ik de afgelopen periode heb geleerd: programmeren en parametrisch ontwerpen, ook erg waardevol voor mij zijn als beginnend ingenieur.

Samenvatting

Alles omvattend: de afgelopen periode was voor mij erg leerzaam, interessant met enkele lastige momenten. Ik denk dat ik nieuwe vaardigheden die ik heb geleerd mij goed voorbereiden op de toekomst.