

Offshore Installation of Floating Renewables

Ide Hollema, Koen Hoogendoorn en Roy Vaags
V5A | SCHAERSVOORDE

Samenvatting

Dit verslag behandelt de oplossing voor het uitdagende probleem van bewegende windmolens en floaters op zee. Binnen dit kader worden diverse oplossingen aangedragen om het specifieke probleem aan te pakken waarmee Van Oord momenteel geconfronteerd wordt. Naast het bespreken van verschillende gegevens met betrekking tot het plaatsen van windmolens en jaarlijkse getijden, wordt er dieper ingegaan op een van de voorgestelde oplossingen. Een bijzondere focus ligt op een fysiek model dat we hebben gecreëerd en de theorieën achter dit ontwerp. Hierbij wordt uitgebreid ingegaan op de overwegingen die hebben geleid tot de keuze voor dit specifieke ontwerp, waarbij diverse afwegingen een rol hebben gespeeld in het ontwerpproces.

Inhoud

Samenvatting	1
1. Inleiding.....	3
2. Proces.....	4
Opdrachtgever zoeken.....	4
Opdracht	4
Planning	5
3. Onderzoeksfase.....	6
Vooronderzoek.....	6
Verdiepend onderzoek en probleemschets	7
4. Ontwerpfase.....	11
Inleiding	11
Programma van eisen.....	11
Plan van aanpak	11
Onze ideeën	12
Ontwerp testopstelling	15
Floater.....	18
Boot.....	19
Kraan	20
5. Praktijkfase	21
Inleiding	21
Test opstelling realiseren	21
Onderzoek uitvoeren.....	22
Oplossingen verder uitwerken	30
6. Resultaat	33
Eindmodel.....	33
7. Discussie.....	37
8. Conclusie	38
9. Proces bespreken.....	39
8. Nawoord	40
10. Logboek.....	41
11. Bronnenlijst.....	43

1. Inleiding

Iedereen is tegenwoordig wel bekend met de hoge en witte fenomenen, ook wel windmolens genoemd. Het is een groene en duurzame manier van stroom opwekken. Dit kan op verschillende plekken gedaan worden denk aan, op land en op zee. Die laatste is steeds vaker van toepassing, omdat ze uit de buurt staan van mensen. Hierdoor ondervinden mensen die in de buurt wonen van een windmolen geen last van slagschaduw, minder uitzicht, een vervuilende horizon of een suizend geluid. Alleen dit brengt ook de nodige problemen met zich mee, denk aan het plaatsen, het verstoren van het zeeleven en het weer op zee. Van Oord is zich hier dan ook op aan het richten hoe ze dit proces kunnen verbeteren bij het plaatsen van hun windmolens. Bij het vast maken van de windmolens op drijvende platformen hebben ze onze hulp gevraagd.

2. Proces

Opdrachtgever zoeken

Onze opdrachtgever is Ferdy Hengeveld. Hij is al ruim 20 jaar actief in de windmolen sector. Tegenwoordig werkt hij als Manager R&D And Innovation bij Van Oord. Van Oord is een vooraanstaand Nederlands bedrijf in de offshore windenergiesector. Met een grote geschiedenis die teruggaat tot 1868, heeft Van Oord een sterke reputatie opgebouwd als een betrouwbare partner voor offshore windprojecten over de hele wereld. Het bedrijf heeft zijn achtergrond in de baggerindustrie, maar heeft zich in de loop der jaren steeds meer ontwikkeld tot een grote speler in de duurzame energiesector, met een bijzondere focus op windenergie op zee. Ze zijn bij veel verschillende proces bij windmolens op zee betrokken van planning tot aanleg. Je kan ze onder ander ook kennen van het project Gemini, waarbij ze 150 windmolens op zee hebben aangelegd.

Opdracht

De opdracht voor ons is dat we een oplossing verzinnen voor het plaatsen van een windmolen op een vlot. Het doel is dat we het mogelijk maken om windmolens op een drijvend platform op zee te plaatsen terwijl het beweegt. Het is dan de bedoeling dat we een systeem bedenken om dit mogelijk te maken. We moeten hierbij vooral ingaan op de haalbaarheid van de oplossing. Ook een bijkomend probleem waar we aan moeten denken is dat het systeem voor meerdere vloten moet werken. Elk vlot ziet er verschillend uit en heeft verschillende grootte het mooiste is dus dat er een schip is die je kan gebruiken bij alle soorten vloten. Dit bespaart tijd en geld, omdat je niet meerderen schepen nodig hebt en je hoeft ook niet met meerderen schepen naar de windmolens terug. Overigens hebben wij niet de taak gekregen om te reken hoe het schip met het vlot reageert op de golven, de wind en andere overige krachten. Dit hoeven wij niet te doen, omdat je dit moet doen met modellen die erg ingewikkeld en complex zijn als het in de theorie, maar werkt kunnen de mensen bij Van Oord dit zelf verfijnen en nuanceren. Met de kennis, en overige informatie over de vloten en boten die ze daar hebben.

Planning

Week 34	Oriënteren op de zeven bètawerelden en groepjes vormen.
Week 35	Bouwstenen invullen.
Week 36	Bouwstenen verder invullen en begin zoektocht naar opdrachtgever.
Week 37	Opdrachtgever zoeken.
Week 38	Verdiepen in de opdrachtgever en de problemen.
Week 39	Bellen met opdrachtgever om meer informatie te krijgen over het probleem en het verhelderen van onduidelijke punten. Het verder uitwerken van de problemen en alvast brainstormen over oplossingen.
Week 40	Kijken voor geschikte materialen
Week 41	Het verder uitwerken van de oplossingen.
Week 42	Het onderwerp uitprinten en een drijf proef doen
Week 43	Het ontwerp verfijnen die uit de drijf proef komen
Week 44	Ontwerp verfijnen en positron contacteren.
Week 45	Het uittesten van de boot in het positron
Week 46	Aan de hand van de resultaten de oplossing verbeteren
Week 47	Het geven en luisteren van een pitch.
Week 48	Aan de slag gaan met de feedback en oplossingen.
Week 49	Het verder uitwerken van het verslag met de oplossing.
Week 50	Het bekijken van elkaars verslagen
Week 51	Het verder uitwerken van het verslag aan de hand van de feedback en definitief ontwerp maken
Week 52	Vakantie
Week 1	Vakantie
Week 2	De laatste puntjes op de i en presentatie voorbereiden
Week 3	Toetsweek
Week 4	Presentaties

Telkens bij het doen van de taak die per week bedoeld was keken we wie waar goed in is en zo de taken verdeelt om zo goed mogelijk resultaat te krijgen. Echter hebben wij daarbij elkaar steeds meegenomen in het proces, zodat de ander er ook weer wat van leerde. Hierbij hebben we ook openlijk gesproken over het resultaat en daar feedback op gegeven om zo het beste resultaat te kunnen creëren. Niet echt een hele strakke planning per persoon om het beste resultaat te behalen, omdat je dan niet heel vast zit aan een taak. Toch hebben we wel geprobeerd het per week overzichtelijk te houden en het duidelijk af te kaderen wat de bedoeling was voor die week om zo niet achter te komen lopen.

3. Onderzoeksfase

Vooronderzoek

Voor het vooronderzoek zijn we begonnen met het kijken naar de 'kick-off' presentatie die we van de opdrachtgever hebben gekregen. Hierin staat veel informatie over het plaatsen van windmolens op zee. Ook staat er een uitleg in over waar rekening mee moet worden gehouden in het vak en dus ook bij deze opdracht. Verder zijn wij gaan kijken naar online video's over hoe we tegenwoordig windmolens op zee plaatsen. Meerdere links naar dit soort filmpjes stonden ook in de 'kick-off' presentatie.



Verdiepend onderzoek en probleemschets

Werking windmolen:

De werking van de windmolen is in principe niet heel ingewikkeld. Het is één grote dynamo, net zoals die in een fiets. De drie wieken die een lengte hebben van 30 tot 100 meter zijn zo gebouwd dat ze een drukverschil creëren. Aan de ene kant van de wiek ontstaat een hoge druk en aan de andere kant het tegenovergestelde (Figuur 1). Door dit drukverschil rond de hele molen gaan de wieken draaien. De wieken zijn verbonden aan een as die met een laag aantal toeren van 13 tot 18 ronddraait. Dit zijn niet genoeg toeren om efficiënt elektriciteit mee op te wekken. Daarom zit er een groot tandwiel aan de as die is verbonden met andere tandwielen om de toeren te verhogen van 18 tot wel 1800 (Figuur 2). Dit hoge aantal wordt vervolgens in een generator gevoerd om elektriciteit op te wekken. Om ervoor te zorgen dat een windmolen altijd optimaal in de wind staat, heeft een windmolen boven op een windwijzer die is verbonden met een computer die vervolgens de windmolen kan draaien.



Figuur (1)



Figuur (2)

Werking funderingen:

Normaal gesproken worden windmolens in zee geplaatst met behulp van zwaartekracht gebaseerde funderingen, statieffunderingen of jacketfunderingen.

Zwaartekracht gebaseerde funderingen (Figuur 3).

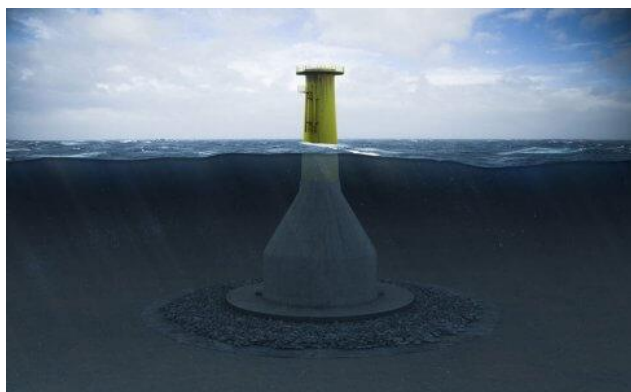
Dit zijn funderingen die op de bodem van de zee worden geplaatst, tot ongeveer 30 meter diep. Door het gewicht van het gewapende beton op de bodem blijft de windmolen overeind. Het zijn relatief goedkope materialen, maar het probleem is dat er veel gebaggerd moet worden om de funderingen te plaatsen. Het probleem met baggeren is dat het veel leven op de zeebodem verstoort. Ook eenmaal geplaatst, vormt de betonnen paal een obstakel voor het zeeleven, omdat ze er telkens omheen moeten zwemmen.

Monopile funderingen (Figuur 4).

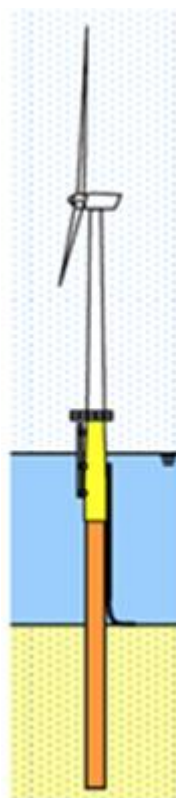
Dit is een fundering die gebruikmaakt van een pijp die diep in de zee wordt geplaatst. Met deze fundering kun je een windmolen plaatsen tot een diepte van 40 meter. Maar ook dit heeft weer schadelijke gevolgen voor de natuur, want zo'n installatie wordt geplaatst door middel van heien. Dit heien veroorzaakt een bepaald geluid en drukgolven waardoor sommige zeedieren gedesoriënteerd raken of zelfs sterven.

Jacketfundering (Figuur 5)

Nog een soort fundering is een jacketfundering. Een groot voordeel van zo'n fundering is dat hij tot dieptes van 60 meter geplaatst kan worden. Maar net als bij de monopile komen er bij het plaatsen door middel van heien geluiden en schokgolven vrij, waardoor vissen kunnen sterven en gedesoriënteerd kunnen raken. Bovendien kunnen de waterstromen veranderen, wat versterking van de ecosystemen tot gevolg kan hebben.



Figuur (3)



Figuur (4)



Figuur (5)

Drijvende funderingen (Figuur 6)

Een fundering die veel van de hier boven genoemde problemen oplost is de drijvende fundering. Bij deze fundering zijn meerderen mogelijkheden mogelijk. Zo zijn er ontwerpen waarbij er twee windmolens op een platform staan of dat er maar één windmolen op staat. Het grootste voordeel van een drijvende windmolen is dat er niet geheid hoeft te worden. Er komen dus geen schadelijke drukgolven vrij. Omdat er niet geheid hoeft te worden hoef je ook geen rekening te houden met hoe diep de bodem is. Dit levert een erg groot voordeel op, want je kan ze veder op zee plaatsen. Hier is meer wind dus komt meer stroom vrij. Ook staan ze veder van de kust, waardoor je de windmolens niet ziet en ze de horizon niet vervuilen. Alleen zit er een redelijk groot probleem aan, het plaatsen van de windmolen op het platform is erg moeilijk. Want het platform drijft op de zee en het schip ligt ook op de zee. De zee beweegt altijd iets dit zorgt er dus voor dat het platform en de windmolen niet recht op elkaar geplaatst kunnen worden. Nu zijn er ook al drijvend windmolens, maar die worden in de haven op elkaar geplaatst, omdat hier niet tot nauwelijks golven zijn. Het ligt dus allemaal redelijk stil waardoor je het op elkaar kan plaatsen. Dit gaat dan ook wel, alleen het probleem wat hierbij vrijkomt is dat, zo'n platform waarop een windmolen geplaatst moet worden erg groot is ongeveer 80 bij 80 meter. Dit neemt dus erg veel ruimte in beslag zeker in zo'n haven. Je kan dus voorstellen dat het andere bezigheden in de haven stil legt. Dit kost dus erg veel geld, ook moet het van de haven naar de des betreffende plek gesleept worden. Dit kost ook weer extra tijd tevens is het niet altijd zeker of hij geplaatst kan worden (Figuur 7). Dit komt doordat het windstil weer moet zijn als ze het platform aan gaan sluiten. Het schip waarmee ze het plaatsen is erg prijzig dus als ze vertraging hebben kost de windmolen eigenlijk meer. Hoe langer ze erover doen hoe duurder de windmolen eigenlijk is. Dit loont dus steeds minder en dit wil je dus niet hebben. Van Oord wil het anders doen. Zij willen het met de "jack up vessels" (Figuur 8) gaan doen. Maar aangezien ze in het diepe water de poten niet kunnen gebruiken wankelt de boot ook. Zo heb je twee bewegende platformen, hierdoor wordt het heel moeilijk om een windmolen te verplaatsen tussen deze platformen.



Figuur (6)

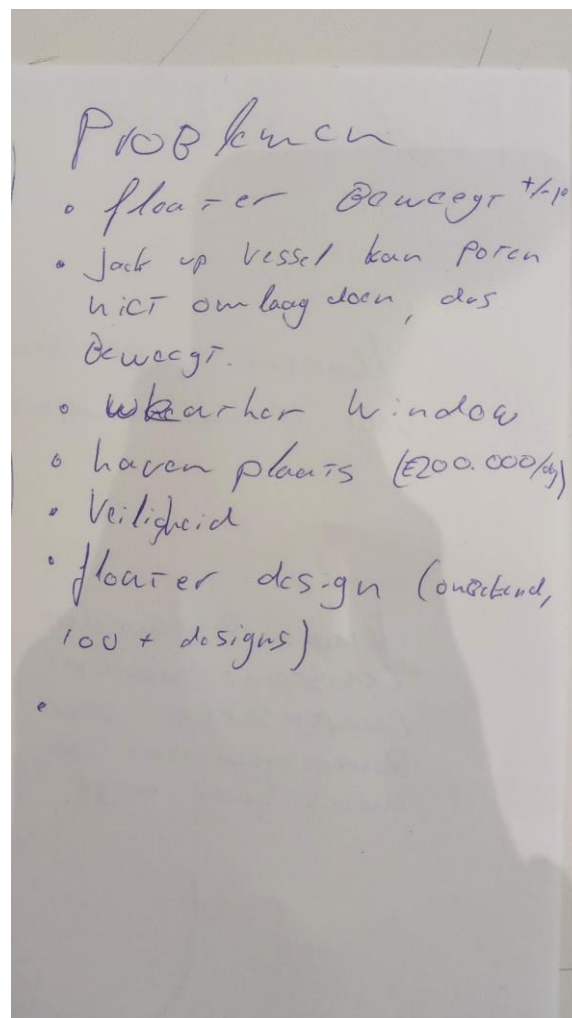
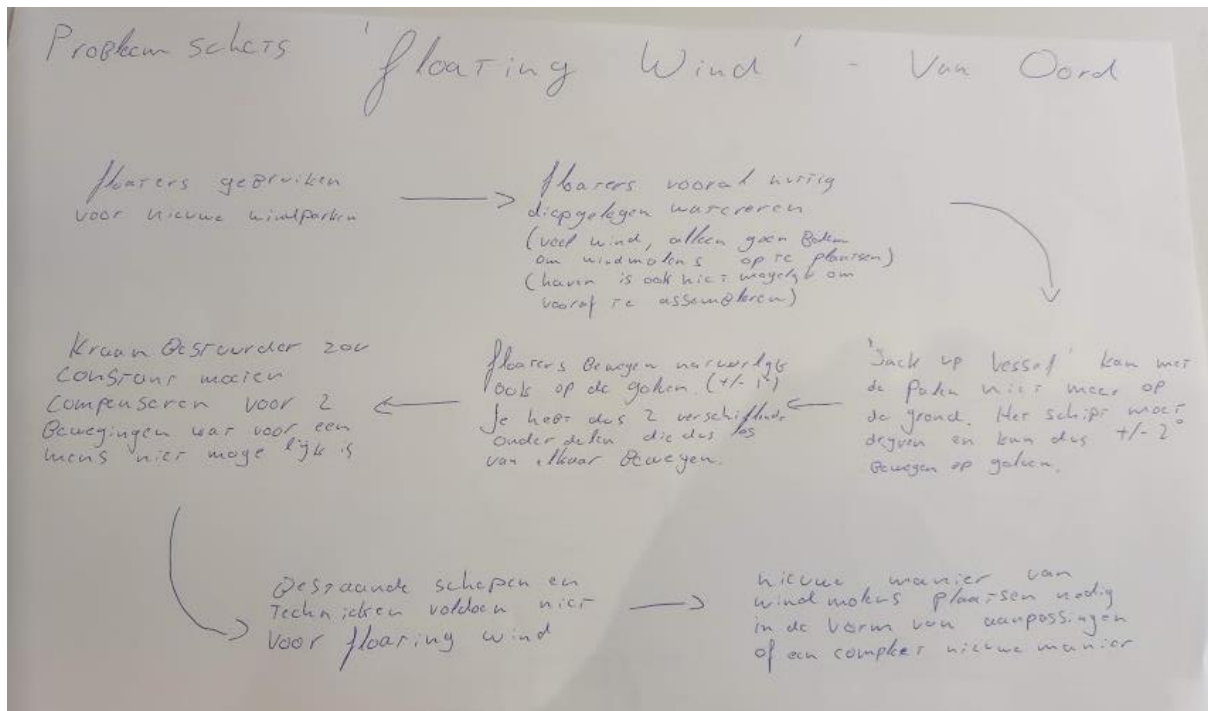


Figuur (7)



Figuur (8)

Probleemschets



4. Ontwerpfase

Inleiding

Centraal bij het ontwerpen staan de huidige schepen die Van Oord nu gebruikt. Dit komt doordat de schepen natuurlijk al speciaal zijn gemaakt voor het plaatsen van windmolens en ze die schepen bij Van Oord natuurlijk ook al hebben. Daarnaast mochten wij een aanpassing aan de floater of windmolen zelf bedenken. De opdracht was er niet op gericht om een heel nieuw schip te bedenken aangezien daar hoge kosten aan zijn verbonden. Wel kunnen we op hele andere manieren kijken dan alleen de bestaande schepen als dat volgens ons een veel betere oplossing zou zijn. Denk daarbij aan een soort drone die de windmolens op zijn plaats zouden zetten. Ook hoefden wij niet aan het model te reken, omdat dit met dure en ingewikkelde modellen en programma's moet en dit ons weghoudt van het creatieve denken wat hier het zwaartepunt was. Het ontwerp is dan iets waar Van Oord mee aan de gang kan om dit veder uit te werken en te realiseren.

Programma van eisen

Eisen van de opdrachtgever:

- Technisch mogelijk om te maken voor verschillende typen platformen
- Robuust
- Kosteneffectief
- Optimaal gebruik van het schip
- Hoeft geen verbouwing van het schip te zijn, mag ook een nieuwe innovatieve oplossing voor het plaatsen van windmolens zijn

Eisen van ons zelf stellen wij aan ons product:

- Het moet in de praktijk werken
- We willen graag een fysiek model dat we kunnen laten zien aan de opdrachtgever en de klas

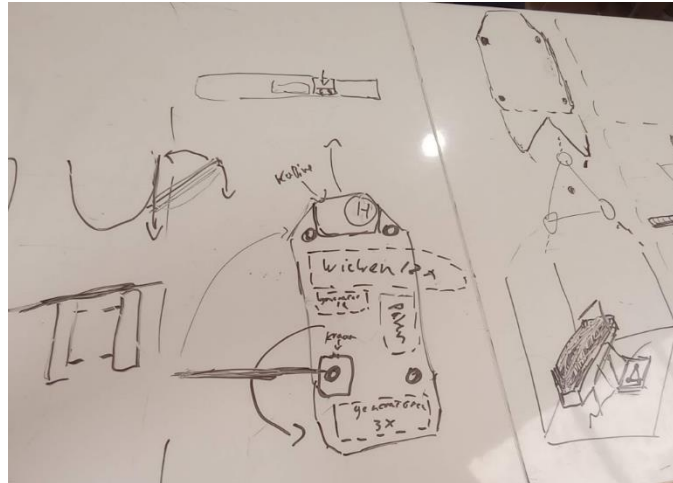
Plan van aanpak

Ons plan voor het verdere verloop van het project is als volgt:

- Verschillende oplossingen bedenken en uitwerken.
- Een testopstelling bouwen
- De bedachte oplossingen testen op de testopstelling
- Vanuit de resultaten de beste oplossingen pakken en die samenvoegen tot een eindontwerp

Onze ideeën

Aangezien we vanaf dat we de opdracht kregen al ideeën voor oplossingen in ons hoofd hadden wilden we deze eerst vlug met elkaar delen. Dit hebben we gedaan door de ideeën te tekenen en ze zo aan elkaar uit te leggen. Terwijl we hier mee bezig waren merkte we dat er nog veel vragen waren. Deze hebben we in een lijst gezet en hebben vervolgens een onlineteams gesprek ingepland met de expert/opdrachtgever Ferdie Hengeveld.



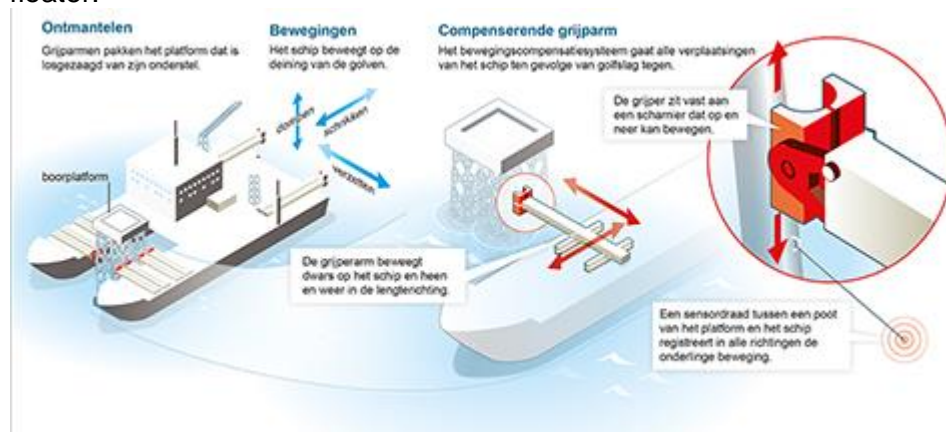
Plattegrond 'Jack up Vessel' en eerste ideeën

Tijdens dit gesprek hebben we het over de opdracht en O&O gehad. We zijn achter heel veel nieuwe nuttige informatie gekomen. Ook zijn al onze vragen beantwoordt en kwamen we achter factoren die we eerst nog niet hadden bedacht. Deze factoren leken achterhand cruciaal te zijn voor een goede oplossing. Met deze nieuwe informatie zijn we onze oplossingen gaan uitwerken.

Onze mogelijke oplossingen:

- **Klem aan schip**

Een van onze eerste ideeën voor een oplossing was een grote klem die aan het schip zou hangen. Deze klem zou zich vast kunnen klemmen aan de floater, waardoor het schip en de floater aan elkaar vastzitten. Hierdoor zouden we het verschil in rotatie die wordt veroorzaakt door de golven kunnen weghalen, waardoor het een stuk gemakkelijker zou zijn om een windmolen te verplaatsen van het schip naar de floater.



We zochten op het internet of er al eerder van deze soort 'schipklemmen' waren gemaakt en vonden het schip de 'Pieter Schelte'. Dit schip is speciaal gemaakt om boorplatformen op te pakken en te verplaatsen. Dit bereikt het schip met een achttal 65 meter lange armen die het boorplatform vastgrijpen. Met sensoren en een compensatiesysteem kan het schip het platform veilig verplaatsen zonder dat het platform te veel tegen beweegt.

Wij denken dat wij voor ons probleem ook gebruik zouden kunnen maken van deze technologie.

- **Stabiliserend platform voor kraan**

Een ander idee waar we vroeg mee kwamen was het stabiliseren van de kraan. Aangezien het schip een klein, maar zeker probleem wekend, beetje kantelt beweegt de hijskraan ook mee. Boven in de kraan wordt het effect van deze schommelingen sterker gevoelt. De bovenkant van de windmolen hangt ook op dit hoge punt vast aan de bovenkant van de kraan. Hierdoor begint de windmolen te zwaaien. Dit is iets wat je wilt tegengaan aangezien het zo alleen nog maar moeilijker wordt om een windmolen te plaatsen op een floater die ook nog eens op een andere draaihoek staat. Als we nou op een manier de kraan zouden kunnen stabiliseren waarbij de kraan los van het schip roteert en zo ook de rotatie van de windmolen tegengaan. Wat de installatie een stuk makkelijker maakt.

- **Kabels die connectiepunt windmolen en floater naar elkaar brengen**

Om de windmolen en floater aan elkaar te maken hebben beide onderdelen een connectiepunt. Wij hebben geen plannen om deze punten aan te passen, maar hebben wel ideeën om het proces van connectie makkelijker te maken. Omdat de hele installatie waaronder we het schip, de windmolen en de floater zien beweegt is het een uitdaging om de connectiepunten van de windmolen recht te laten lopen met de die van de floater. Door de eerder benoemde schommelingen van de kraan die de windmolen laten bewegen en de golven die de floater laten bewegen hangt het allemaal niet recht boven elkaar. Ons idee als oplossing voor dit probleem is een systeem van meerdere kabels die tussen de windmolen en de floater hangen. Deze kunnen volgens ons strak getrokken worden en langzaam ingetrokken worden. Dit zou de windmolen en de floater langzaam dicht bij elkaar brengen. Aangezien de hangende windmolen nu minder beweegt denken wij dat het hele proces van installatie nu rustiger kan gaan. Wanneer de windmolen en floater dicht genoeg bij elkaar zijn kunnen de connectiepunten aan elkaar gemaakt worden.

- **Golven blokkeren doormiddel van andere schepen**

Onze volgende ideeën waren manieren om de bron van het probleem aan te pakken, de golven. Een van de meest simpele ideeën zou zijn om een ander schip dwars op de golven te zetten om deze te blokkeren. Wat een gebied met relatief minder heftige golven zou maken. Dit wordt tegenwoordig ook wel eens gedaan bij het zetten van een windmolen op een vaste paal als het weer spontaan erg omslaat. Deze oplossing is misschien alleen niet heel realistisch, omdat de kosten van een extra schip hoog kan zijn. Ook is het niet duidelijk of dit genoeg zou zijn aangezien je nog steeds het probleem houdt van het moeilijk uitlijnen van de windmolen met de floater.

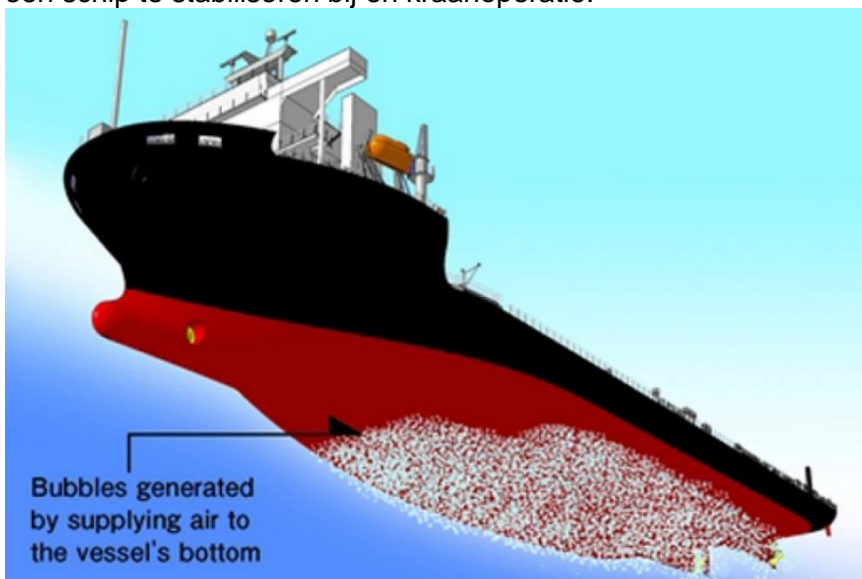
- **Bak in zee, waardoor je geen golven hebt**

Tijdens ons onderzoek kwamen op een artikel dat een situatie behandelde waarin een vliegtuig uit een meer werd getakeld. Om het water tegen te houden werd er gebruik gemaakt van een grote bak in het water waarin het werk gedaan werd. Verder onderzoek gaf ons nog meer voorbeelden waarin deze manier toegepast werd. Misschien kunnen wij dit ook wel toepassen op ons project. Eén of meerdere grote drijvende wanden zouden in de zee geplaatst kunnen worden om de golven tegen te houden. Deze zouden dan met ankers vastzitten aan de grond. We zijn alleen niet zeker over de effectiviteit van dit idee en de logistiek om dit realistisch neer te zetten.



- **Bubbels voor schipstabilisatie**

Tijdens de duur van het project werden wij verwezen naar een studie die is gedaan aan de University of Twente. In een studie verricht door de groep '*Physics of Fluids*' onderzoeken ze het gebruik van bubbels in de stabilisatie van schepen. Ze concluderen dat grote bubbels zeer effectief zijn voor dit doel. Ze bewijzen dat het een goeie technologie zou kunnen zijn die vooral brandstofverbruik van schepen zou kunnen verminderen. Wij zijn benieuwd of deze technologie ook handig zou zijn om een schip te stabiliseren bij en kraanoperatie.



Ontwerp testopstelling

Tijdens onze pitch over ons onderzoek naar opdrachtgevers en opdrachten gaven de leraren als advies om een golf bak te maken. Dit is ook een advies van de opdrachtgever die we kregen tijdens ons online gesprek. Ons leek het hierdoor ook een zeer goed idee. Ons werd verteld dat wij op school hier wel een opstelling voor hadden. Wij hebben het positron gecontacteerd en zo een golfbad gemaakt doormiddel van een tril machine in een bak water te zetten.

Ook hebben wij voor deze opstelling een boot en floater duo gemaakt die ons gaat helpen om onze oplossingen te testen.

Als eerste moesten wij bepalen van welke materialen wij het test duo gingen maken. Onze eisen voor deze materialen waren:

- Drijf baar
- Makkelijk mee te werken
- Stevig
- Waterbestendig

We hebben meerdere materialen getest waaronder:

- **Isolatiemateriaal:** Bij dit schuimachtige materiaal merkte we snel dat het makkelijk te bewerken was. Met een mes kon het makkelijk in allerlei vormen gemaakt worden. Om dit materiaal te testen op de andere eisen hebben we een floater design gemaakt. Het was makkelijk om de drie pillaren uit te snijden, alleen bleek het uithollen ervan een moeilijke klus. De drie pillaren hebben we verder aan elkaar gemaakt met houten stokjes. Het hout heeft de eigenschap om te drijven in het water, perfect voor dit model. Het model was klaar om in de waterbak getest te worden.

Het eerste wat opviel is dat het materiaal dreef op water. En dit hield het model ook lang vol. Maar waar het materiaal eerst stevig buiten het water was, begon het steeds zwakker te worden in het water. Het materiaal werkte als een spons en nam continu een beetje water op. Hierdoor werd het materiaal zacht en brak uiteindelijk af. Na een flink uur wachten waren er allemaal kleine stukjes afgebroken die nu in de waterbak rondreven. Het materiaal was niet goed waterbestendig, iets wat je misschien wel verwacht van isolatiemateriaal.

De verzwakking van het materiaal zou waarschijnlijk verholpen kunnen worden met een laag tape of een waterafstotende coating, maar het feit dat met dit materiaal de pillaren moeilijk hol gemaakt kunnen worden is een groot afkeerpunt voor ons.

+ Drijf baar

+/- Makkelijk in simpele vormen te bewerken, maar moeilijk te bewerken voor gedetailleerde modellen

+/- Stevig buiten water, maar zwak in water

- Slecht waterafstotend



- **PLA:** PLA (PolyLactic Acid) is het meest bekende en gebruikte printmateriaal voor 3D printers. Het is een plastic met een smeltgebied tussen de 170 en 230°C. Wanneer het gebruikt wordt als printmateriaal voor een 3D printer wordt het als vast materiaal naar de printkop vervoert. In de printkop zit een spuitstuk die voor onze situatie tot 220°C wordt gebracht. Wanneer het vaste printmateriaal in contact komt met het spuitstuk smelt het tot een licht vloeibare vorm. De printer drukt het vloeibare plastic op de goede plek uit het spuitstuk waar het snel afkoelt en terug verandert naar zijn vaste vorm. Met behulp van verschillende computerprogramma's kunnen digitale 3D modellen omgezet worden in instructies voor de 3D printer, zodat deze weet waar het gesmolten plastic moet neerleggen. Wij wilden dit materiaal graag uitproberen omdat het volgens ons een zeer goede kandidaat is als bouw materiaal voor de testopstelling.

Het eerste wat wij ons afvroegen was de waterdichtheid van PLA. Aangezien het geprinte voorwerp is opgebouwd uit allemaal dunne laagjes met minuscule gaatjes ertussen, waar misschien na een lange tijd een behoorlijke hoeveelheid water kan binnendringen.

Na een kort online onderzoek kwamen we tot de conclusie dat een 3D geprint voorwerp vrijwel waterdicht is wanneer het geprint wordt met een dubbele wand.

We keken de video 'Are 3D prints water tight?' van '3D Printer Academy'. Hierin onderzoekt het YouTube kanaal hoe dik de wand van een 3D print moet zijn om water dicht te zijn. Als eerste proberen ze een dikte van één laag. Deze dikte blijkt niet genoeg te zijn aangezien er na een korte tijd waterdruppels ontstaan aan de buitenkant van de uitgeprinte gieter.

Bij de tweede test heeft de gieter een wanddikte van 2 lagen. Zelfs na 20 minuten zijn er geen waterdruppels te bekennen. De print lijkt waterdicht.



Dikte: 1 laag. Aan de buitenkant van de print ontstaan waterdruppels.

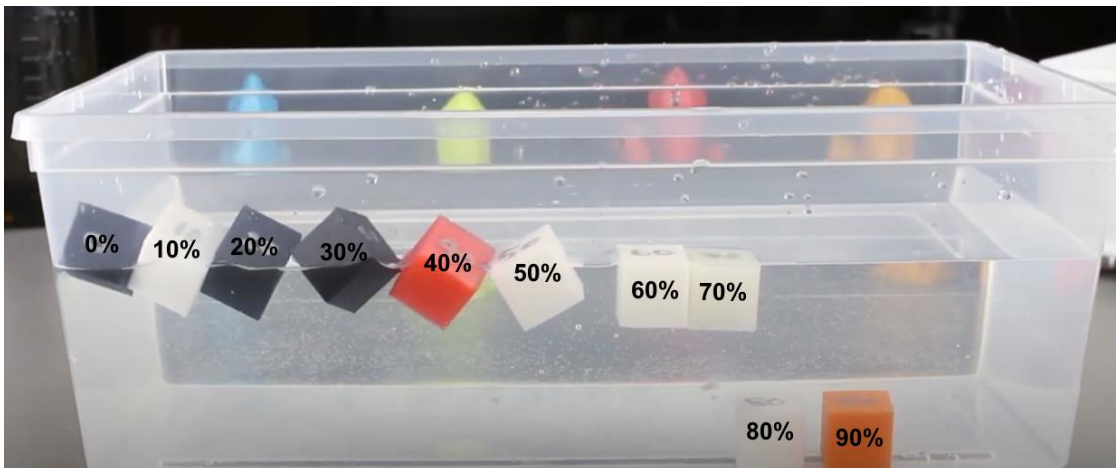


Dikte: 2 lagen. Na 20 minuten zijn er nog geen waterdruppels te bekennen.

Are 3D prints watertight? - 3D Printer Academy

De tweede kwestie was de vraag of PLA kon drijven. Wij gingen ervan uit dat een 3D geprint voorwerp van PLA de eigenschap had om te drijven, aangezien een voorwerp vaak niet volledig wordt gevuld. De 3D printer print met bepaalde patronen om te besparen op: kosten, printtijd en gewicht. Wij willen dat de print kan drijven, maar niet te zwak is. Daarom moeten we het goede percentage opvulling zoeken voor ons model.

We keken de video 'Testing the Buoyancy of PLA' van 'Tinkerine'. Hierin test het YouTube kanaal hoeveel procent invulling er nodig is om te drijven. Zoals er in bovenstaande afbeelding gezien kan worden zit er een duidelijk verschil in drijfvermogen tussen 50 en 60 procent. De kubussen met een opvulling van 60 en 70 procent hangen net onder het wateroppervlak en 80 en 90 zinken volledig naar de bodem. Wij concludeerde hieruit dat we wel ver onder de 50 procent wilden zitten, aangezien er veel met water gewerkt ging worden. Na het kijken op andere forums over dit onderwerp kwamen we tot de conclusie dat 15 en 20 procent perfect voor ons doeleinde waren.



Testing the Buoyancy of PLA – Tinkerine
(Foto is bewerkt om overzichtelijker te maken)

Met deze informatie hebben we een materiaal test ontworpen. Het is een kleine Cilinder die niet volledig is opgevuld. Hierdoor kan er water in gegoten worden om te regelen hoe diep de cilinder in het water hangt. De wand van de cilinder is 2 printlagen dik, net zoals de gieter uit de test.

De resultaten van deze test zijn zeer goed. Er liep geen water in de cilinder en ook bleef het drijven.

- + Drijf baar
- + Waterdicht
- + Stevig
- + Makkelijk om mee te ontwerpen
- Lange printtijden



Uiteindelijk zijn we met PLA als bouw materiaal voor onze test boot en floater gegaan. Een groot voordeel van het werken met een 3D printer is dat je relatief makkelijk ideeën kan overzetten in fysieke voorwerpen als je vaardigheden hebt in 3D modelleer programma's, ook wel CAD (Computer-aided design) programma's genoemd. Wij hebben door eerdere O&O projecten veel ervaring opgebouwd met het programma Onshape. Onshape is een online CAD-programma waarmee je gemakkelijk ontwerpen kan maken en die exporteren voor gebruik voor een 3D printer.

Floater

Als eerste hebben we de test floater ontworpen. Aangezien er heel veel verschillende ontwerpen zijn voor floaters en op dit moment nog geen floater design vaststaat zijn wij voor het ontwerp gegaan die wij in ons onderzoek het meest zijn tegengekomen. Dat is de semisubmersible driepoot. Deze soort floater bestaat uit drie grote cilinders die met elkaar verbonden zijn. In de drie grote cilinders kan het waterpeil geregeld worden waardoor de floater gebalanceerd kan worden. Het opvallende aan dit ontwerp is dat de windmolen niet in het midden van de floater staat. Dit wordt gedaan omdat de windmolen veel wind vangt. Dit creëert een sterke kracht die duwt aan de windmolen, waardoor de drijvende windmolen naar een kant gaat hangen. Maar doordat de windmolen zeer zwaar is wordt de floater weer teruggeduwd in zijn plek. Een andere manier om deze kracht tegen te gaan is door het waterniveau in de reservoirs van de cilinders aan te passen. Zou kan de ene cilinder beter drijven dan de andere en kan de hele drijvende windmolen meer gebalanceerde staan.

Ons ontwerp lijkt veel op de echte ontwerpen. Het bestaat uit drie verbonden cilinders. De cilinders zijn in ons geval wel van boven open. Hierdoor kunnen wij handmatig het waterniveau regelen in de cilinders. We hebben ook een paar dopjes gemaakt die op de cilinders passen.

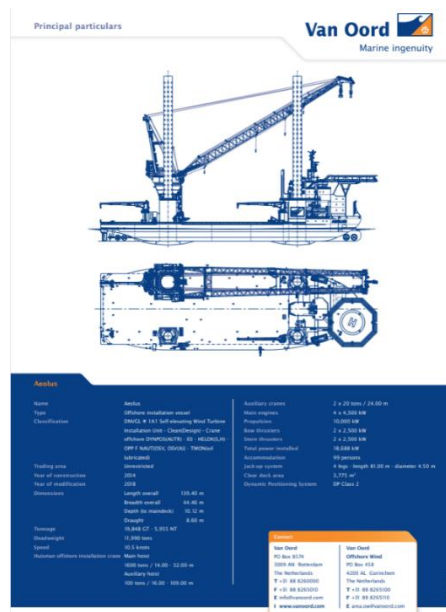
Uit verschillende tests kunnen we zien dat ook op deze schaal het balnceer mechanisme van dit ontwerp goed werkt. Hierdoor is dit ontwerp goedgekeurd voor gebruik in onze test opstelling.



Boot

Na de floater kwam een ingewikkelder object, de testboot. We waren begonnen met online zoeken naar eventuele 3D modellen van geschikte boten. We hebben ook de opdrachtgever gevraagd, maar ook hij had geen toegang tot deze modellen. Op de website van Van Oord konden we wel een leaflet vinden over de Aeolus, het grote 'jack-up-vessel' van Van Oord. In deze leaflet stonden afmetingen van het desbetreffende schip. Met deze afmetingen konden we zelf een 3D model maken die veel op de Aeolus leek.

Het eerste ontwerp leek niet heel erg op de Aeolus en is daarom vooral veel als test gebruikt. Het liet zien dat dit bouw materiaal goed werkte voor dit soort opstellingen. Ook konden we op deze eerste boot testen of schroeven geïnstalleerd konden worden in de testboot. Dit was nodig aangezien er meerdere toevoegingen aan de boot waren gepland die we van plan waren te monteren met schroeven. In deze test heeft de boot ook uitstekend gedaan. De plekken waar een schroef was ingeboord leken waterdicht te zijn en ook bleven de schroeven goed zitten doordat we een voldoende invulling hebben gebruikt voor de 3D print. De eerste boot had alleen een groot probleem. Hij was namelijk niet heel stabiel. Dit zou in de toekomst een probleem kunnen worden tijdens het testen van de oplossingen, aangezien het makkelijk zou kunnen omvallen, wat de tests niet heel goed zou maken.



De eerste testboot met schroeven en tekeningen voor toekomstige verbeteringen

En de Leaflet van de Aeolus, te vinden in de bijlage

Voor ons tweede ontwerp hebben we vooral gefocust op de balans en stabiliteit van het schip. Dit is waarom het tweede ontwerp een gestroomlijndere vorm en een fin aan de onderkant van het schip heeft. Deze zorgen er samen voor dat het schip een stuk stabielere in het water ligt. Ook hebben we zes vakken toegevoegd die net als bij de testfloater gevuld kunnen worden met water. Hierdoor kan de boot gebalanceerd worden als er bijvoorbeeld een kraan aan gemonteerd wordt.

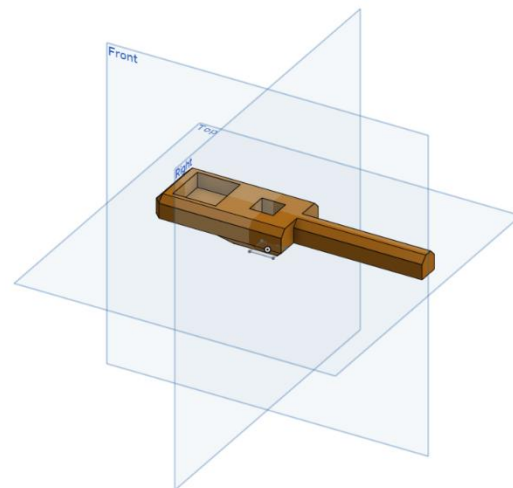
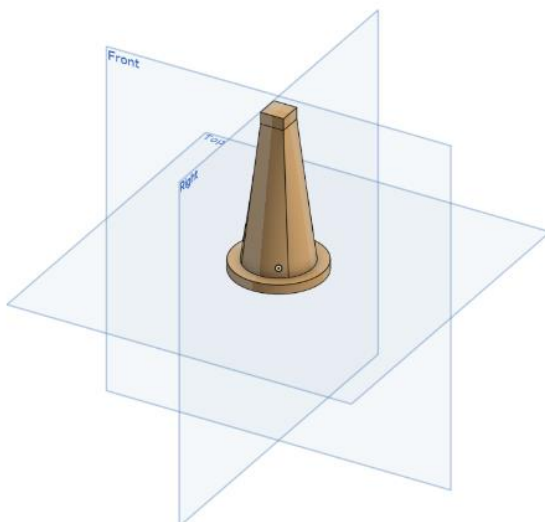
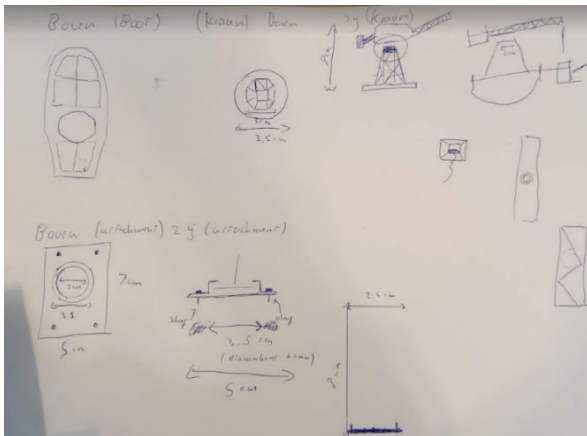


Kraan

Een kraan is iets wat we ook nog graag wilden toevoegen aan onze testboot. Aangezien we ook nog ideeën hadden voor oplossingen waarbij de kraan van de boot een belangrijk deel is.

De kraan bestaat uit drie losse delen: de toren, cabine en kap. De toren van de kraan staat los op de boot, maar wordt door de kap op zijn plek gehouden. Hierdoor kan de kraan niet horizontaal of verticaal bewegen, maar wel ronddraaien. Op de toren zit een cabine gemonteerd die een lange arm heeft waar een haak op gemonteerd kan worden. Ook zit er aan de andere kant van de cabine een platform waar een eventueel kontragewicht opgezet kan worden.

Samen zijn de kraan en boot goedgekeurd voor de testopstelling.



5. Praktijkfase

Inleiding

Bij de eerste pitch over de opdrachtgever die we hebben gedaan zijn we op de hoogte gesteld dat er een trilapparaat aanwezig is op school in het positron. Dit sloot heel mooi aan met het originele idee om alleen een bak water waar we zelf met de hand golven in zouden creëren. Op deze manier kan het makkelijker en met meer regelmaat in de golven, daardoor kan je de intensiteit en hoogte van de golven goed controleren. De juiste hoogte van de golven is ook weer belangrijk, omdat we een model op schaal hebben. In overleg met Mevrouw Navis hebben we het apparaat uitgetest in combinatie met een bak water. Daardoor konden we in de keren daarna zelf de opstelling gebruiken.

Test opstelling realiseren

De opstelling van het golfbad bestaat uit vier delen die ervoor zorgen dat we golven hebben voor onze testopstelling.

Waterbak

We hebben hiervoor een grote bak vanuit het positron gebruikt die groot genoeg was zodat het schip en de floater er comfortabel in pasten. De bak was 52cm * 38cm * 8cm. De modellen (schip + floater), zijn samen op zijn grootst 23 cm lang, 18 cm breed en lag op zijn diepst 4 cm in het water. Er is dus genoeg ruimte in het waterbad, zelfs als je het trilapparaat meerekent. Deze ruimte is zeer handig bij het draaien en bijstellen van de test opstelling.



Voedingskast

Het trilapparaat vereist een constante spanning van 12 volt voor onze gewenste golven. We hebben nog met verschillende spanningen geëxperimenteerd en hebben dat ook bij de andere keren weer gedaan, om meer resultaten te krijgen. Als de spanning te hoog is trilt het apparaatje uit de statief en als de spanning te klein is zijn er bijna geen golven. De regelaar van het trilapparaat is zeer gevoelig en je moet dus heel voorzichtig de spanning aanpassen. Anders trilt het apparaat meteen veel te veel of staat het zo goed als uit.

Statief

Het statief was een standaard statief dat voor heel veel, vooral scheikundige, experimenten in het positron wordt gebruikt. Hierbij zijn er nog twee soort van verleng stukken waardoor we over twee assen konden draaien en het trilapparaat zo beter konden positioneren. Met de beste positie hebben we ook nog geëxperimenteerd, maar dat is niet zo bepalend. Wel is het belangrijk dat het plaatje van het trilapparaat recht op het water ligt.

Trilapparaat

Het trilapparaat zet een beweging vanuit zijn motor om tot een trilling. Dat vervolgens golven creëert.

Onderzoek uitvoeren

Voordat we konden beslissen welke oplossingen we als eindoplossing wilden gebruiken moesten we eerst goed alle oplossingen uitdenken.

Klem aan schip

Dit lijkt ons een zeer effectieve, prijsgunstige en redelijk simpele oplossing, want je hoeft alleen een extra klem mee te nemen voor het schip. Dit kost wel wat extra brandstof om mee te nemen, maar niet zoveel als wanneer je een extra schip moet laten meegaan. Ook kan je dit gewoon aan een bestaand schip bevestigen, waardoor dit in de kosten drukt. Deze klem zou je zo kunnen maken dat je hem eraf kunt halen en er een op kunt zetten die op een ander floater past. Hierdoor hoef je ook niet telkens een nieuw schip te ontwerpen voor een nieuwe floater. Wel denken wij dat de klem misschien de zijkant van het floater kan beschadigen door de knijpkracht die nodig is om voldoende kracht uit te oefenen, zodat de floater niet gaat schuiven. Hij kan dan misschien krassen achterlaten op de floater deze krassen zijn natuurlijk een plek waar makkelijk corrosie kan ontstaan door zoutwater. Voor de rest lijkt ons dit wel een hele goede oplossing.

Stabiliserend platform voor kraan

Dit lijkt ons ook een goede oplossing, maar wij denken dat het moeilijk is met de eisen die aan ons gesteld zijn. Je moet ruimte inleveren op je schip waar dat platform moet komen te staan. Deze ruimte zal nu waarschijnlijk gebruikt worden voor wat anders en dit moet dan ook weer opnieuw ontworpen worden. Ook zal je geavanceerde technieken moeten gebruiken, om te voorspellen hoe een golf beweegt en hoe de kraan hierbij moet anticiperen. Wel lijkt het ons deze oplossing voor later wel wat, omdat je als je de techniek goed hebt ontwikkeld, het redelijk windstil is en de ruimte op het schip ervoor hebt. Zou je de floater en de windmolen in principe echt goed op elkaar kunnen zetten.

Kabels die connectiepunt windmolen en floater naar elkaar brengen

In het begin lijkt dit 'de' oplossing, want hoe simpel kan het zijn met kabels het schip naar elkaar toe trekken. Echter denken wij dat hier veel haken en ogen aan zitten, want je hebt de kabels die je van de windmolen naar de floater moet leiden. Hierbij kom je weer tot het probleem dat je die kabels moeilijk recht naar beneden kan laten zaken, want de windmolen zou heen en weer gaan. Ook zal je de kabels moeten bevestigen dit lijkt ons ook erg moeilijk, omdat de kabels nog als zwaar moeten zijn vanwege de veiligheid. Deze zouden dus niet door een mens naar het bevestigingspunt gebracht kunnen worden. Dit zal doen moeten gebeuren met een machine.

Golven blokkeren doormiddel van andere schepen

Dat is een oplossing, waar niet zoveel probleem aan zitten. Alleen het grootse probleem is dat dit veel mankracht en brandstof kost, omdat je met meerdere er heen moet in plaats van één. Echter zou dit later wel een oplossing kunnen zijn als de schepen lopen op duurzame en schone energie als, kernenergie en windenergie. Ook zal je dan wellicht schepen hebben die minder mankracht nodig heeft. Alleen denken wij dat de andere techniek dan al dusdanig ver zijn ontwikkeld dat deze oplossing redelijk overbodig is.

Bak in zee, waardoor je geen golven hebt

Deze oplossing is een beetje hetzelfde als de hier boven genoemde oplossing, echter zal je de platen ook weer op floaters kunnen maken die half onder water liggen. Hierdoor heb je maar één schip nodig, of je zou de schotten in de grond kunnen plaatsen. In de grondplaatsen wordt hem sowieso niet, omdat je dan alleen in ondiepe gebieden windmolens kan plaatsen. En dit is niet het idee van de floaters. De schotten op zich zouden wel een goede oplossing kunnen zijn, alleen kost het veel ruimte om mee te nemen en veel tijd om te plaatsen. Wel denken we als het eenmaal staat dat je de golven er redelijk mee weghaalt.

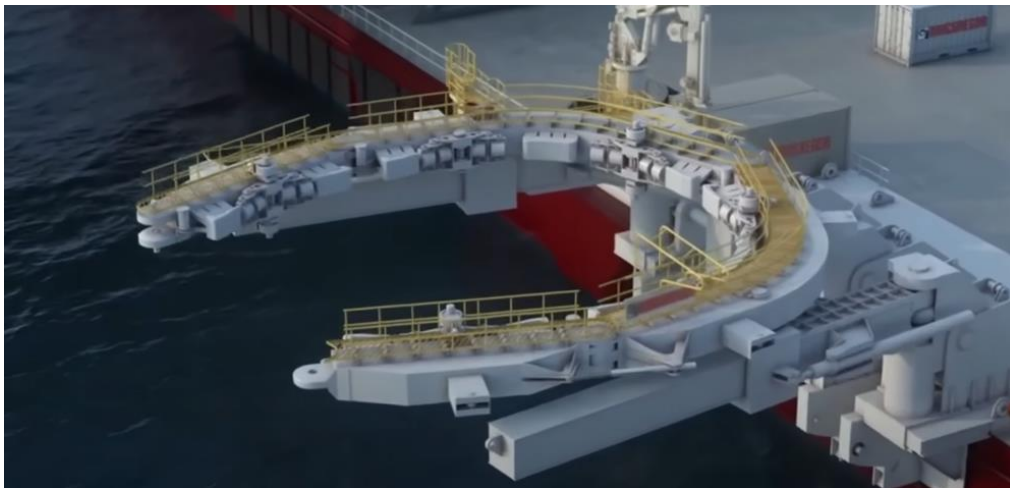
Bubbels voor schipstabilisatie

Dit is al een techniek die op sommige schepen gebruikt wordt voor het stabiliseren van een schip. In ons eerder onderzoek kwamen we erachter dat grote bubbels met veel lucht goed werken voor stabilisatie. Echter kwamen wij erachter dat deze bubbels nooit genoeg kracht zouden kunnen produceren voor ons doeleinde.

Uiteindelijk hebben wij ervoor gekozen om verder te gaan met de schipklem en het kabelsysteem.

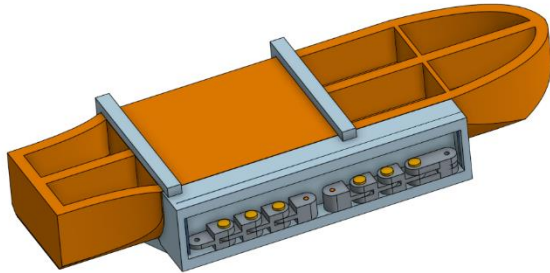
Om verder onderzoek te doen willen wij een model maken om te gebruiken in onze testbak.

In ons onderzoek kwamen wij meerdere bestaande klemmen tegen. De eerdergenoemde klem van het schip 'Pieter Schelte' en de Colibri van MacGregor. Het Colibri systeem is ook gemaakt voor jack up vessels en is gemaakt om zich om monopiles heen te klemmen en zo een veilige werkplek te geven voor monteurs. Doordat het platform wat nu gecreëerd is vrij te laten bewegen zit het niet volledig vast aan het schip. Het systeem op de 'Pieter Schelte' is dus gemaakt om iets stevig vast te pakken op een plek. En het Colibri systeem is juist gemaakt om iets niet volledig aan het schip vast te maken, maar wel helemaal rond het doelwit te klemmen. Deze twee systemen willen we eigenlijk samenvoegen om een floater sterk vast te pakken en als het ware één te maken met het schip.

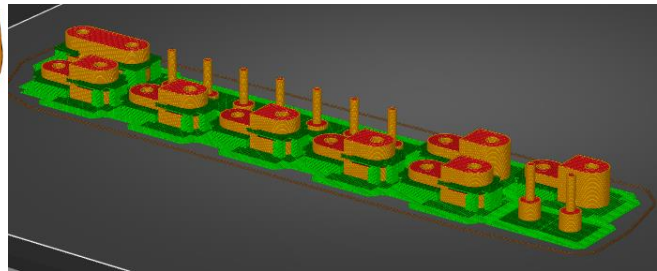


De MacGregor Colibri open en gesloten om een monopile

Voor het ontwerpen van de klem gingen wij weer terug naar Onshape om het daar te realiseren. Het moest uit meerdere draaibare stukken bestaan die zo om de floater heen konden klemmen. Hiervoor hebben we allemaal kleine ketting stukjes gemaakt die met pinnetjes aan elkaar vastgemaakt kunnen worden. De klem hangt aan de zijkant van het schip, aan de kant waar de windmolen normaal ook geplaatst wordt. Wij hebben gekozen om het aan de zijkant te hangen voor makkelijke verbinding met onze test floater.



1 Het digitale model in Onshape



2 Het digitale model in SuperSlicer, waar het wordt omgezet in instructies voor de 3D printer



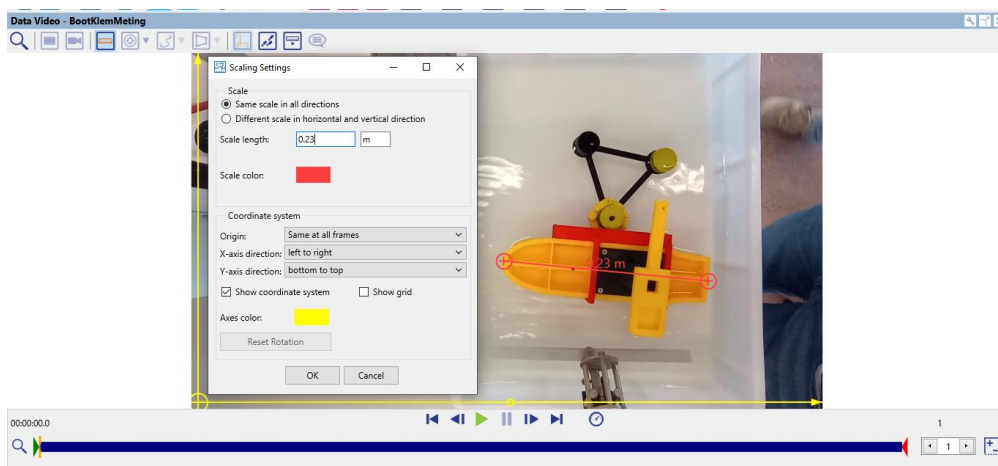
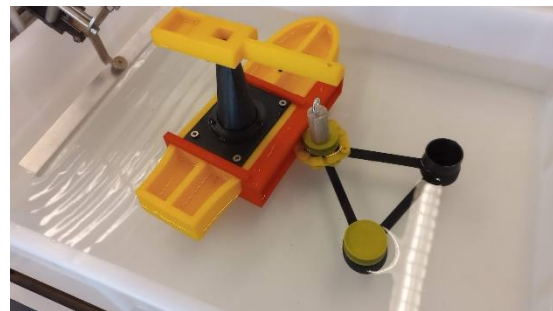
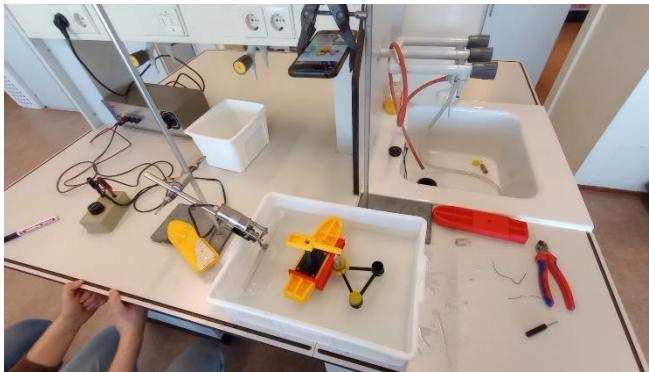
3 Het digitale model wordt uitgeprint op de 3D printer



4 Het fysieke model wordt gemonteerd op de testboot

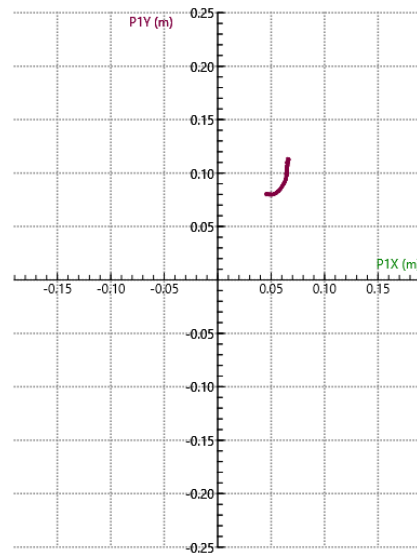
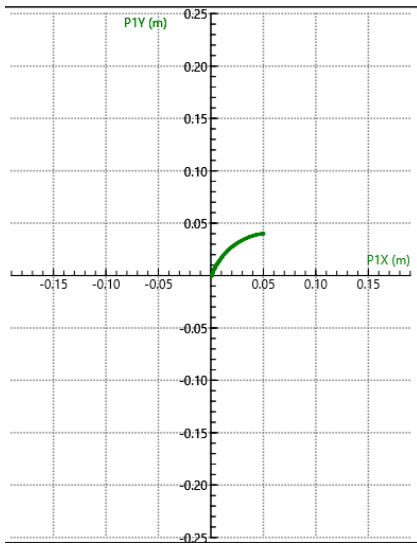
Om de klem te testen hebben wij gebruik gemaakt van ons golfbad. Door een videometing te maken van de boot en de floater met en zonder klem kunnen we het verschil en dus de effectiviteit van de klem bepalen.

Om de videometing te maken hebben wij een telefoon boven onze testopstelling geplaatst die de bewegingen van de boot en floater opneemt. Door deze opname in een programma zoals Coach7 te zetten kan er een meting van gemaakt worden. Om een meting te maken moet een schaal aangegeven worden. Dat hebben we hier gedaan door de boot te meten en deze lengte aan te geven in Coach7. De lengte van onze boot is 23 centimeter oftewel 0,23 meter. Hierna moet een punt geselecteerd worden die gevolgd gaat worden. Wij hebben hiervoor een zwart punt op de boot en floater gezet. Deze stippen zijn duidelijk en goed te volgen voor het programma. Er moet nog één ding gedaan worden voordat we de meting kunnen maken en dat is aangeven waar het nulpunt zit. Wij hebben hiervoor het zwarte puntje op de boot gekozen, hierdoor zijn bewegingen straks makkelijk in de grafieken te volgen. De meting kan gestart worden en omgezet worden in een y/x grafiek waar y voor de lengte van de bak en x voor de breedte van de bak staat.

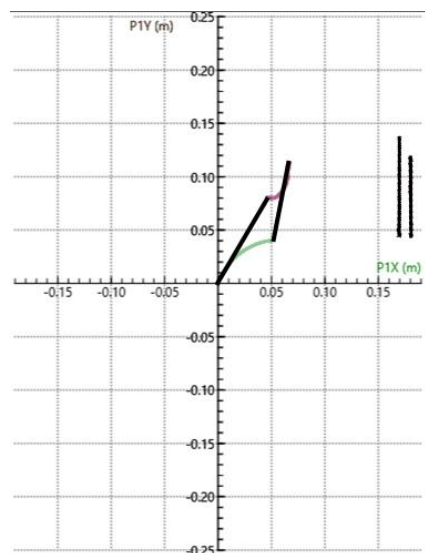
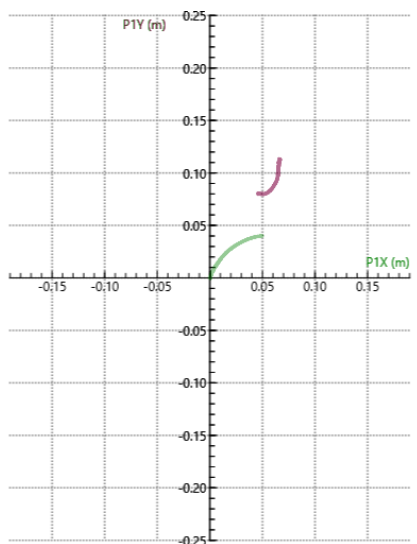


Als eerste de meting van de boot en floater los van elkaar. De meting duurde 20 seconden.

In de groene grafiek is de beweging van de boot weergegeven. Je kan zien dat de boot van zijn startpunt wordt weggeduwd door de golven. In de paarse grafiek is de beweging van de floater te zien.

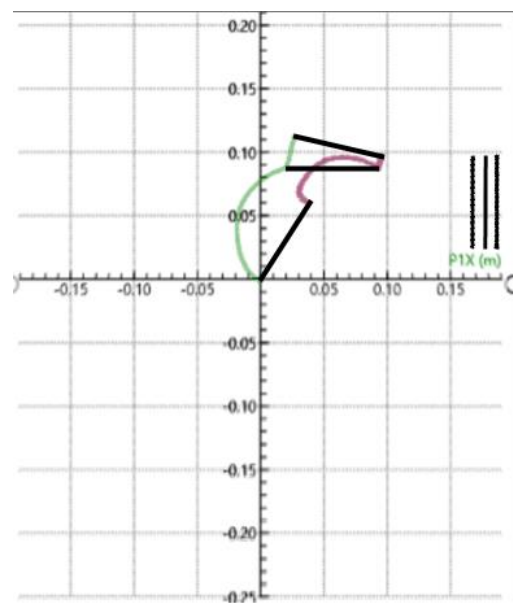
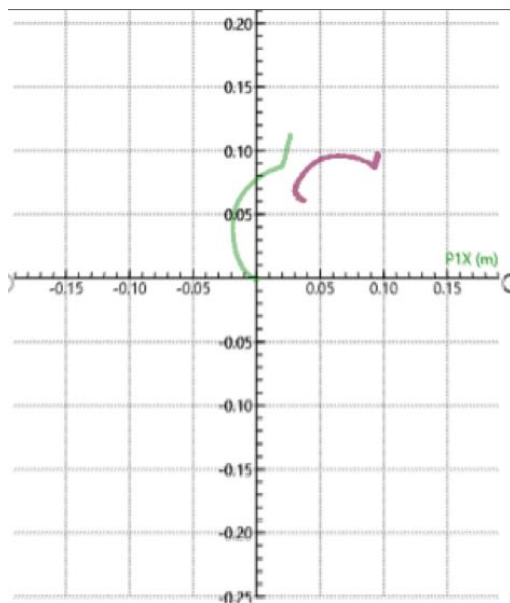
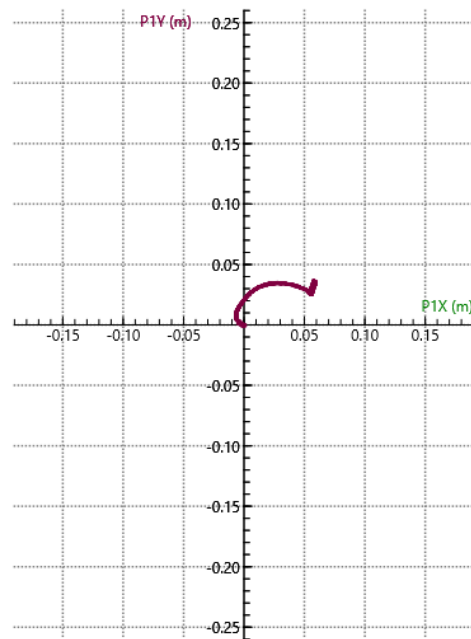
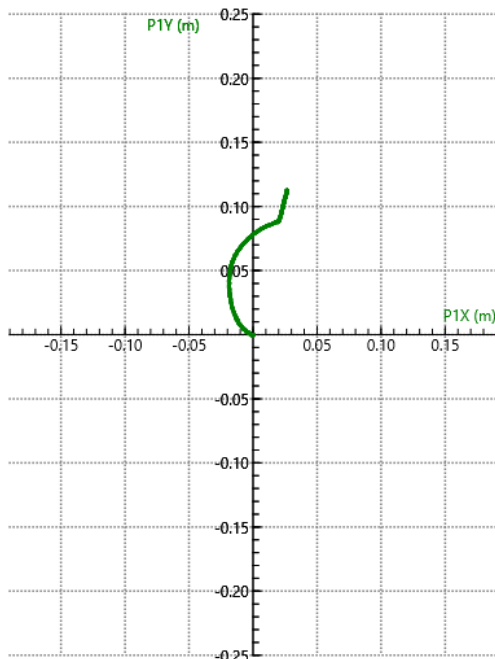


Wanneer we deze grafiek over elkaar heen zetten kunnen we het beter analyseren. De bewegingen van de twee objecten zien er anders uit. Het uit elkaar bewegen van de objecten is ook te bewijzen door twee lijnen te trekken tussen de begin- en eindpunten van de boot en floater. Het is duidelijk te zien dat de lijnen niet dezelfde lengte hebben. Dit bewijst dat de afstand tussen de floater en boot veranderd is in de 20 seconden. Dit wil je natuurlijk niet hebben.



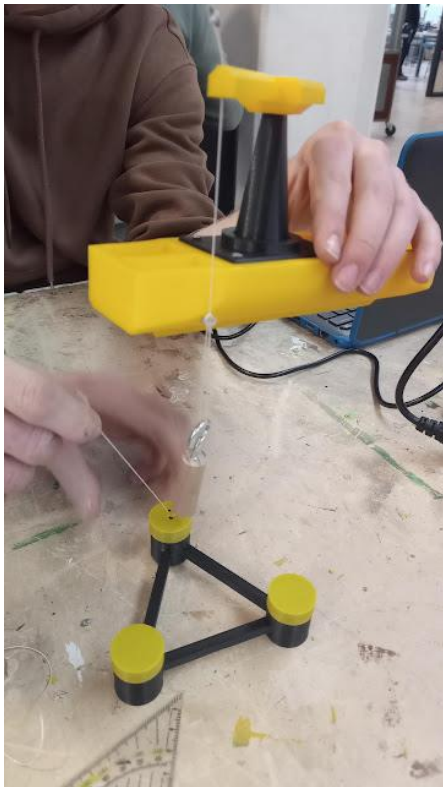
De videometing met de klem duurde 60 seconden.

Ook hier is de groene grafiek van de boot en de paarse van de floater. Als we ook hier weer lijnen beginnen te trekken zien we dat de getrokken lijnen allemaal even lang zijn. Dit geeft dus aan dat op het begin, eind en op een duidelijke plek er ergens tussenin de boot en floater even ver van elkaar afzaten. Dit was natuurlijk ook te zien tijdens het filmen van de meting. De verschillende vormen van de grafieken kan verklaard worden, omdat het schip en het niet geankerde floater gingen rondraaien waardoor het schip dat aan de buitenkant van de draai zit meer draait. De klem werkt, de floater blijft aan het schip vast zitten.



Na de klem was het de beurt aan het kabelsysteem om getest te worden.

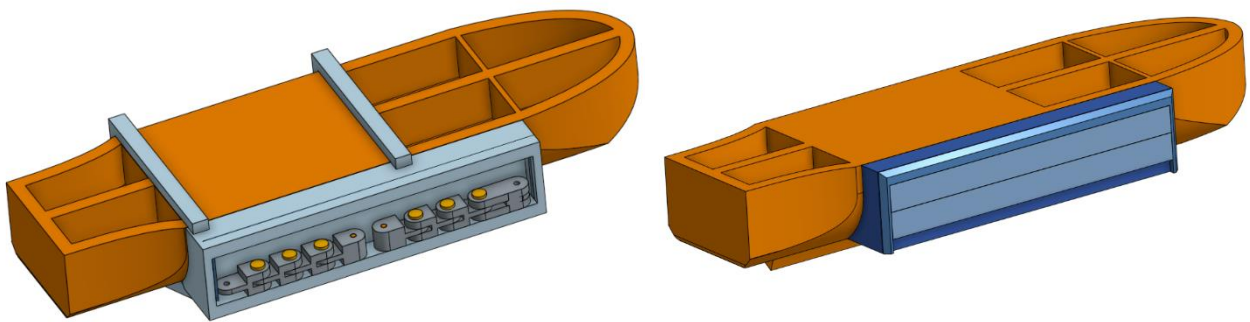
Om ons kabelsysteem te testen hebben wij eindelijk gebruik gemaakt van onze kraan. Door een gat te maken in de arm van de kraan kon er een touw door gehaald worden en kon er samen met een ringetje een knoop gemaakt worden om makkelijk de lengte van het touw te veranderen. Ook hadden we iets nodig wat zich kon voordoen als een windmolen. Wij hebben een paar houten cilinders gevonden en daar haakjes aan gemaakt. Door de haak door de lus van de kraan te halen konden wij de modelmolen optillen. De modelmolen had relatief gezien een grote massa, waardoor het de balans van onze boot en floater goed kon testen. Door twee gaatjes te maken in één van de dopjes op de floater konden we ook een touw aan de onderkant van de modelmolen maken en die door de twee gaatjes trekken. Door aan het touw te trekken komt het strak te staan en kan de modelmolen moeilijk naar de zijkanten bewegen. Dit effect zou versterkt zijn wanneer er meerdere kabels gebruikt zouden worden.



Oplossingen verder uitwerken

Na ons onderzoek naar verschillende oplossingen kwamen wij op twee oplossingen waarin wij een goede toekomst zagen. Dat was de klem en het kabelsysteem. Wij hebben daarom ook gekozen om deze twee systemen verder uit te werken en ze zo samen te voegen tot eindoplossing.

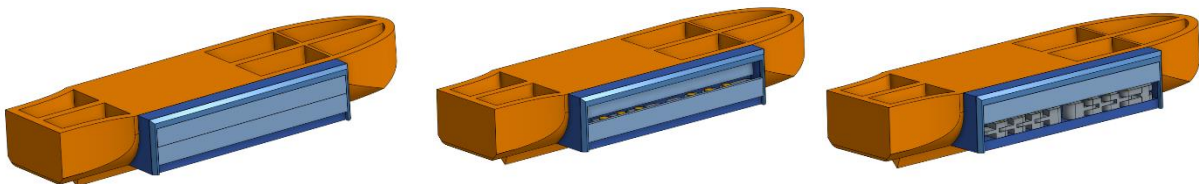
Wanneer ons klemsysteem in het echt gebouwd zou worden kan deze aan het schip gemonteerd worden op een andere manier dan hoe het aan onze testboot vastzit. De grote armen die je om het schip kan schuiven zijn niet nodig. Dus die kunnen we als eerste weghalen waardoor het ontwerp al een stuk kleiner wordt. Verder lijkt het ons ook verstandig om de armen van de klem af te scheiden van het schadelijke zeewater. Om ervoor te zorgen dat de armen niet de hele tijd in het zeewater liggen lijkt het ons handig om ze af te schermen doormiddel van een paar grote kleppen die als roldeur kunnen werken.



Voor

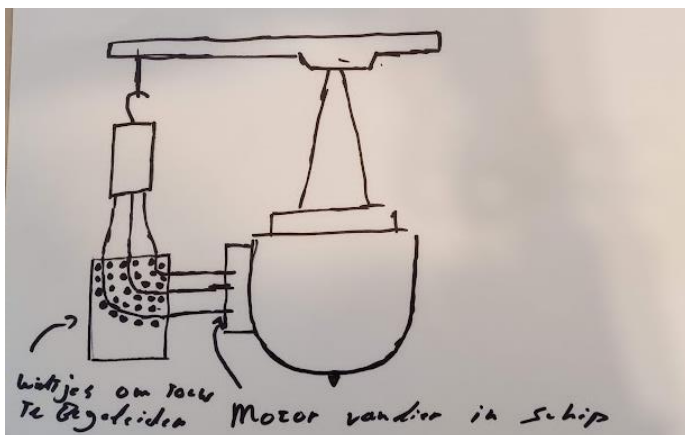
Na

Eerst schuift het bovenste paneel naar achteren waarna het andere paneel volgt door omhoog te gaan, de klem is nu zichtbaar en kan gebruikt worden.



Het kabelsysteem wilde wij graag samenvoegen met het klemsysteem. Om dit te doen moesten we wel eerst verder uitdenken hoe het in zijn werking zou gaan. Er was al bepaald dat we een aantal kabels aan de windmolen zouden doen en deze met motoren aantrekken. Er waren meerdere opties; De motoren op de floater plaatsen, De motoren in de floater plaatsen, De motoren in de boot plaatsen. Uiteindelijk zijn we met de laatste optie gegaan, omdat het ons verstandig leek om alles op het schip te hebben. Ook is dit de veiligste optie.

De kabels zouden aan de onderkant van de molen vastgemaakt worden. De andere kant van de kabel zou door een gat in de bovenkant van de floater gestopt worden. Vervolgens zou de kabel aan de zijkant van de floater er weer uitkomen waarna het doorgetrokken kan worden tot het schip. Hier kan het vastgemaakt worden aan de motoren. Er loopt nu dus een kabel van de onderkant van de molen, door de floater en weer terug het schip in. Na het zetten van de kabel kan de molen opgetild en boven de floater gehouden worden. Nu worden de kabels aangetrokken waardoor de molen niet meer door de wind beweegt. Vervolgens kan de molen langzaam verlaagd worden totdat het op de floater staat. Het kan nu vastgezet worden.



Een ander punt waar we nog goed naar moesten kijken was het typen kabel dat we wilden gebruiken. Op het eerste opzicht gingen we ervan uit dat we grote en sterke kabels nodig zouden hebben. Aangezien een metalen object van meer dan 1000 ton in gewicht toch zwaar zou zijn om in bedwang te houden. Hierdoor dachten wij eerst aan ankerkettingen. Deze zouden sterk genoeg zijn en worden toch al gebruikt in de sector. Maar deze kettingen bleken toch niet nodig. Aangezien het tillen van de windmolen door de kraan gedaan zou worden hoeven de begeleiding kabels alleen maar het bewegen van de windmolen in de wind tegen te gaan. Nadat we dit door hadden was bepaald dat we staalkabels zouden gebruiken. Totdat door gebeurtenissen in het nieuws de Dyneema kabel belicht werd. We kwamen erachter dat een Dyneema kabel zeer gepast is voor ons doeleinde. Na verder onderzoek bleek de Dyneema kabel ook al gebruikt te worden in de offshore wind sector.



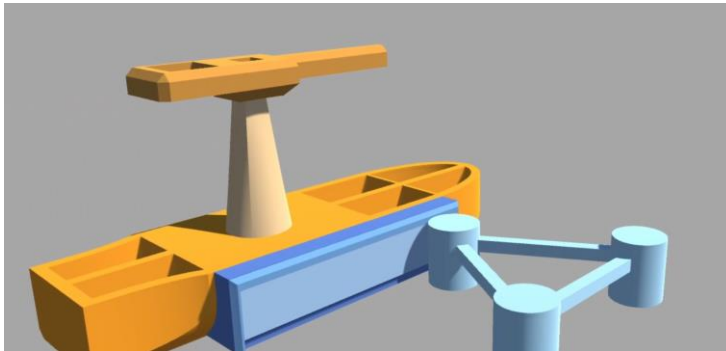
Dyneema kabels zijn gemaakt van gewoven kunststof. De kabels zijn 15 keer zo sterk als staal terwijl ze stukken lichter zijn. Ze zijn licht genoeg om op water te drijven waarin ze hun volledige sterkte behouden. Wanneer een staalkabel knapt schiet het uiteen. Dit kan gevaarlijk zijn voor mensen die in de buurt van deze kabels werken. Wanneer een Dyneema kabel knapt valt het rustig uiteen. Het schiet niet terug en is dus veilig voor omstaanders. De dikte die hiervoor nodig zal zijn is moeilijk te zeggen zonder eraan te rekenen. Maar een kabel van 35 millimeter dikte zou breken bij een kracht van ongeveer 90 ton. Dat staat gelijk aan iets meer dan 880 kilonewton aan kracht. Deze soort krachten zullen niet aan deze touwen gesteld worden. Dit alles maakt dat wij kiezen voor een Dyneema kabel in ons kabelsysteem.

6. Resultaat

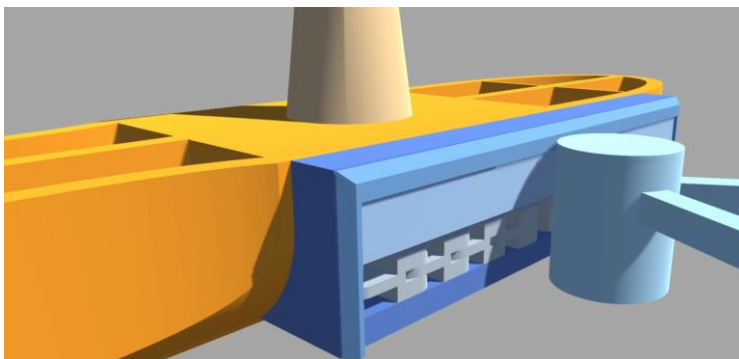
Eindmodel

Wij hebben een systeem ontworpen dat aan een schip toegevoegd kan worden om het de mogelijkheid te geven om windmolens op drijvende platformen, genaamd 'floaters' te plaatsen. Het systeem kan aan de zijkant van een schip gemonteerd worden, maar zou ook in het schip ingebouwd kunnen worden. Vanaf de buitenkant zijn er twee grote kleppen te zien. Deze kunnen wegschuiven zodat twee grote armen zichtbaar worden. Deze armen bestaan uit meerdere stukken die allemaal individueel horizontaal kunnen ronddraaien. Deze armen zijn groot genoeg om helemaal rond de floater heen te gaan en zich aan elkaar daar vast te maken. Op deze manier zijn het schip en de floater aan elkaar vastgemaakt en zijn ze als het ware één geworden, waardoor de installatie stabiel drijft. De volgende stap in het proces is het plaatsen van de windmolen. Door golven en wind kan dit moeilijk gaan. De paal van de windmolen is heel lang en begint daardoor te bewegen. Ons systeem kan deze bewegingen ook tegengaan. Door tijdens het installatie proces Dyneema kabels te hangen tussen de windmolen, de floater en het schip kan bij het plaatsen de windmolen gestabiliseerd worden.

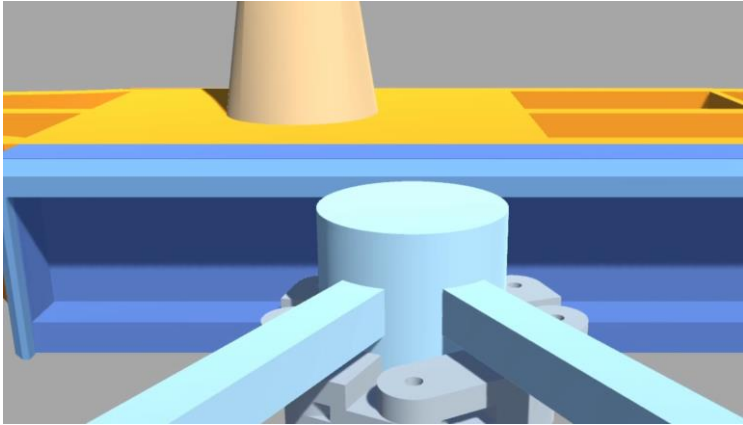
Een installatie met ons systeem zou als volgt gaan:



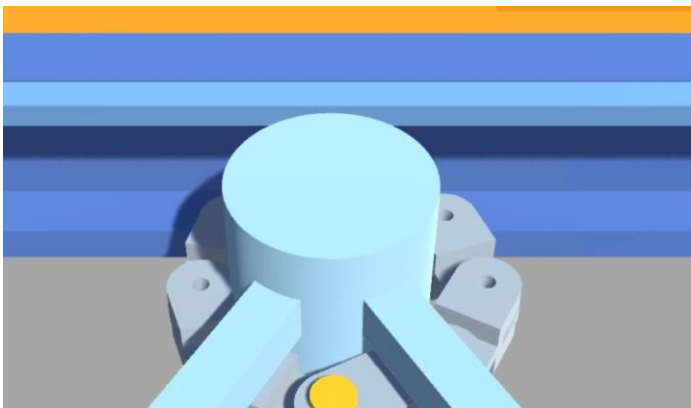
Een schip uitgerust met ons systeem komt aan bij een floater.



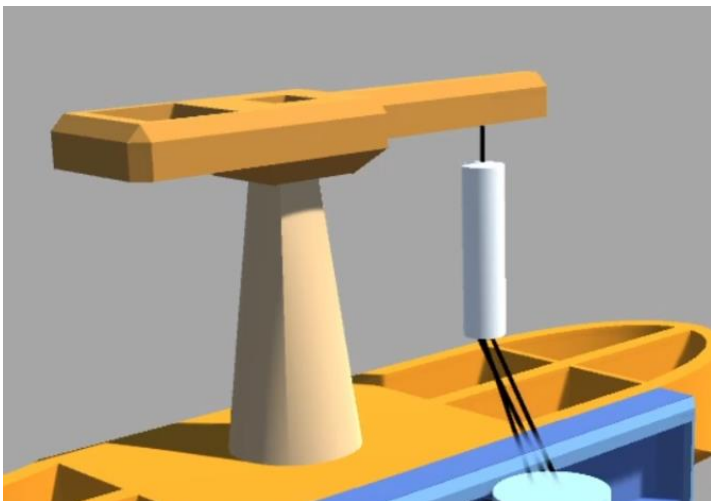
De deur van ons systeem schuift open en de klemarmen worden zichtbaar.



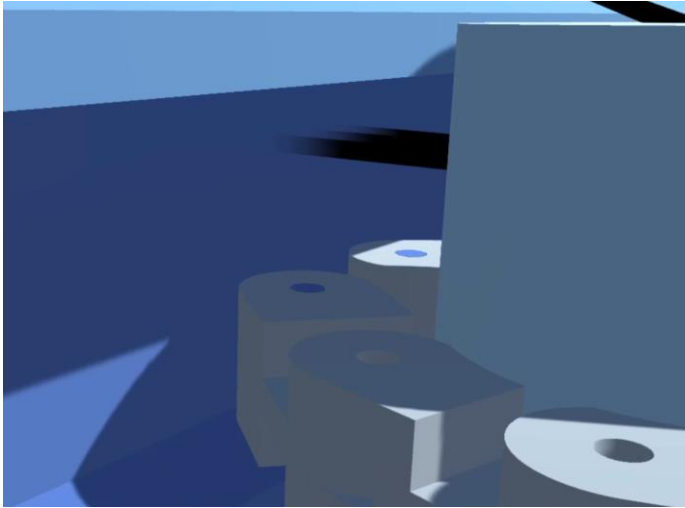
De armen klemmen zich om de floater heen en trekken het naar het schip toe.



De armen worden aan elkaar vastgemaakt door een pin tussen de twee uiteinden van de armen te plaatsen.



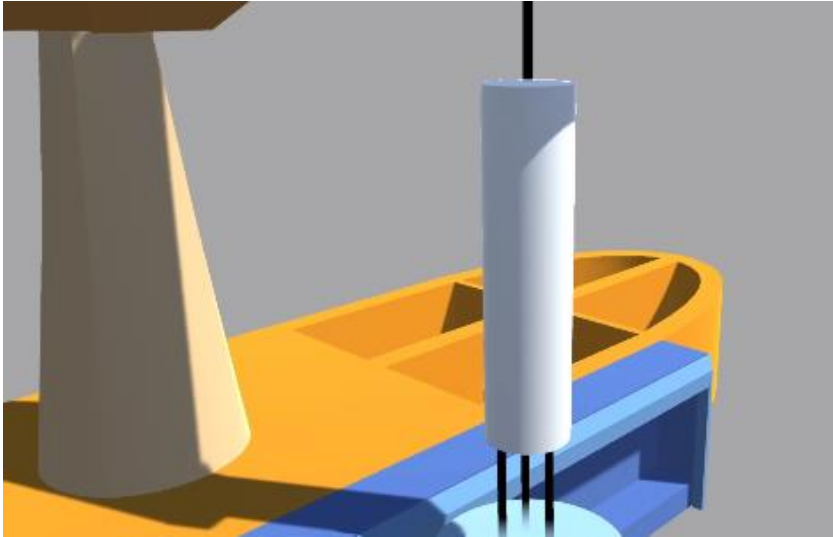
Er worden Dyneema kabels aan de onderkant van de paal van de windmolen bevestigd. Dit kan wanneer de paal ietsjes boven het dek hangt, maar het is veiliger wanneer dit al gebeurt wanneer de paal nog op de grond staat. Het andere uiteinde van de kabels wordt in een speciaal gat gestopt aan de bovenkant van de floater. Hier wordt het door de floater heen naar de kant van het schip gebracht. De kabels hangen tijdens dit proces slap voor de veiligheid.



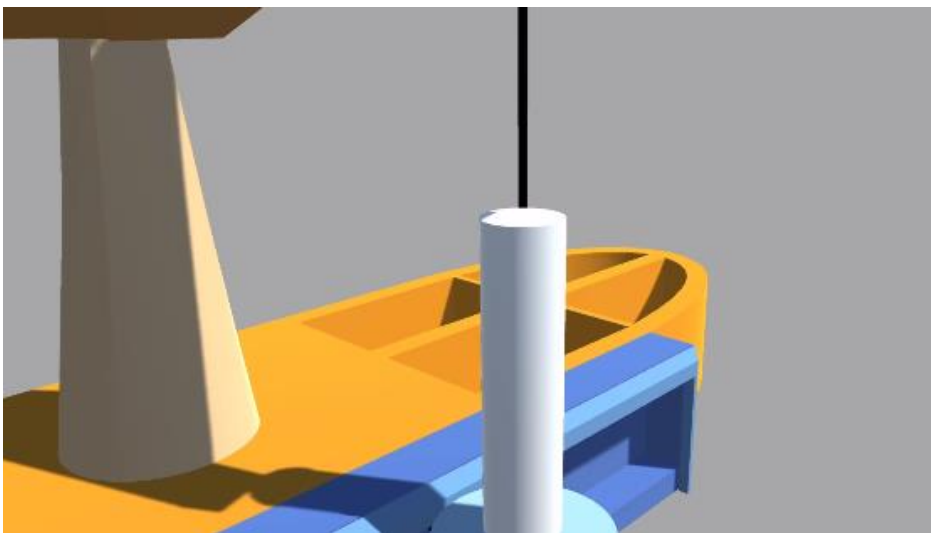
De kabels die uit de floater komen worden doorgeleid tot in het schip. Hier worden ze vastgemaakt aan motoren. Deze motoren kunnen in het schip of de armloods zitten.



De kraan vervoert de paal van de windmolen naar een plek boven de floater.



De kabels worden strakgetrokken door de motoren, waardoor de paal alleen nog maar omhoog en omlaag kan. De taak van de kraan is om de paal vervolgens langzaam naar beneden te laten bewegen. De kabels gelden als begeleiding kabels en zorgen ervoor dat de paal niet door de wind gaat bewegen.



De paal van de molen staat en kan vastgemaakt worden. Hierna kunnen de turbine en wieken gemakkelijk naar boven getild worden.

De windmolen staat op de floater en teams kunnen vervolgens de windmolen aansluiten op het stroomnet.

Om dit allemaal gemakkelijker te laten zien hebben wij ook een animatie gemaakt. Deze is te vinden in de bijlage.

7. Discussie

Bij het ontwikkelen van een product, zoals hetgeen wij hebben gemaakt, zijn er onvermijdelijk aspecten die niet volledig overeenkomen met de realiteit. Een van deze aspecten betreft de testopstelling, met name de gebruikte testopstelling waarbij golven ook via de zijkanten kunnen terugkaatsen. Dit is niet representatief voor de werkelijke zee omstandigheden, waar golven niet op vergelijkbare wijze kunnen terugkaatsen. Naarmate ons idee verder zou worden ontwikkeld, is er een mogelijkheid om het te testen bij het Maritiem Research Instituut Nederland in Wageningen, dat een indrukwekkende lengte en breedte van ongeveer 100 meter heeft. Dit zou een meer realistisch beeld kunnen geven dan dat we nu hebben.

Een ander aspect dat we willen benadrukken, is de afwijking in de werking van het trilapparaat ten opzichte van de werkelijke omstandigheden op zee. In de realiteit komen golven van verschillende kanten, terwijl het trilapparaat constant dezelfde golven maakt. Bovendien ontstaan er op zee ook golven van onderaf, iets wat in onze testbak niet wordt gesimuleerd. Hoewel we het trilapparaat konden instellen op percentages, geven wij toe dat deze methode minder precies is dan het gebruik van bijvoorbeeld, een scherm waarbij de instellingen van voltage of hoeveelheid percentage tot meerdere decimalen kunnen worden aangepast.

Desondanks zijn we van mening dat deze testmethoden op ons ontwerpniveau zeker zinvol zijn geweest, omdat ze duidelijke waarden opleverden. Het verschil was goed zichtbaar bij het model, en zelfs het bedrijf Van Oord vond het waardevol, aangezien het nieuwe ideeën heeft gegenereerd voor toekomstige ontwerpen. Dit toont aan dat, ondanks de beperkingen in de testopstelling, de verkregen resultaten en inzichten nog steeds waardevolle input kunnen leveren voor verdere ontwikkeling en optimalisatie van de floaters en schepen.

8. Conclusie

Tijdens het proces van testen en ontwerpen hebben we verschillende inzichten opgedaan die belangrijk waren voor de uiteindelijke vormgeving van ons product. Een opvallende conclusie was dat golven het best kunnen worden geblokkeerd door een schip strategisch voor de golfslag te positioneren. De effectiviteit van deze aanpak werd nog verder geoptimaliseerd toen we ontdekten dat het toevoegen van een klem aan het schip aanzienlijk bijdroeg aan het bereiken van de beste resultaten.

Deze ontdekking heeft geleid tot de definitieve realisatie van ons eindproduct. Niet alleen overtrof deze aanpak onze verwachtingen op het gebied van effectiviteit, maar het bleek ook een kostenefficiënte oplossing te zijn die bovendien voldeed aan de specifieke eisen van onze opdrachtgever. Door een schip als natuurlijke barrière te benutten en daarbij een klem toe te voegen, hebben we niet alleen een oplossing gecreëerd die golven vermindert, maar ook een die financieel haalbaar is binnen het financiële plaatje.

Deze bevindingen benadrukken niet alleen de technische aspecten van het ontwerpproces, maar benadrukken ook het belang van het vinden van praktische, kosteneffectieve oplossingen die naadloos aansluiten bij de specifieke behoeften van onze opdrachtgever. Door dergelijke inzichten te verwerken in ons ontwerpproces, hebben we niet alleen de prestaties van ons product versterkt, maar ook gezorgd voor door ons gezegd een succesvolle afronding van het project.

9. Proces bespreken

Over het proces zijn diverse aspecten te benoemen, en het begin verliep positief. Het opstarten van het project verliep vlot, en dit kwam door het feit dat er weinig tijd werd verspild aan het zoeken van een opdrachtgever. Deze efficiëntie gaf ons het voordeel van extra tijd om aan de opdracht te werken, wat we naar eigen zeggen goed hebben benut.

Het contact met de opdrachtgever verliep over het algemeen positief. Echter, na het eerst gesprek met de opdrachtgever over de specifieke eisen en het project, viel op dat het contact met Ferdy Hengeveld minder werd. Dit aspect van de samenwerking had mogelijk beter gekund. Het zou bijvoorbeeld waardevol zijn geweest om te evalueren en feedback uit te wisselen. Op die manier hadden we wellicht tijdig aanpassingen kunnen maken om tot een nog beter eindproduct te komen.

Ondanks dat we intensief aan het project hebben gewerkt, zijn we van mening dat er mogelijk te weinig tijd was om het product nogmaals ingrijpend te veranderen, omdat er feedback opgegeven was. Niettemin zijn we trots op onze inspanningen en de resultaten die we hebben behaald

8. Nawoord

We vonden het een erg leuk en leerzaam project, want de scheepvaart en de bouw zijn zaken die je niet elke dag tegenkomt. Dit komt doordat je niet dagelijks op zee bent; bij de bouw van de plaatselijke Albert Heijn is dit natuurlijk wel het geval, omdat je dan bijvoorbeeld moet omfietsen. Hierdoor verdiep je je meer in hoe sommige dingen in elkaar zitten, vooral als het je interesseert. Daardoor hadden wij nog niet zoveel kennis van windmolens op zee. Dit project heeft bijgedragen aan het vergroten van deze kennis. Ook kijken wij nu anders tegen dingen aan die je tegenkomt; op zee moet je met bijvoorbeeld hele andere zaken rekening houden dan bij de bouw op het land. Denk maar eens aan eb en vloed, wind en het zeeleven. Doordat het weer totaal anders is dan bij een project op het land, hebben wij ook erg veel plezier gehad, omdat het weer een totaal andere dimensie toevoegt. Als laatste willen wij Van Oord, en in het bijzonder Ferdy Hengeveld, bedanken voor het aan ons toevertrouwen van deze leuke opdracht, dat ons de gelegenheid gaf onszelf verder te ontplooien, maar ook de windmolenindustrie beter te leren kennen. Kortom, een erg geslaagde opdracht en samenwerking.

10. Logboek

	Datum	Ide	Koen	Roy
O & O les	23-8-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
O & O les	30-8-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
O & O les	6-9-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
O & O les	13-9-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
O & O les	20-9-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
Bellen met opdrachtgever	25-9-2023	0:45:00	0:45:00	0:45:00
O & O les	27-9-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
O & O les	4-10-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
O & O les	11-10-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
O & O les	18-10-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
O & O les	25-10-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
O & O les	1-11-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
O & O les	8-11-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
O & O les	15-11-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
O & O les	22-11-2023	-	-	-
O & O les	29-11-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
O & O les	6-12-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
O & O les	13-12-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
O & O les	20-12-2023	2:25:00	2:25:00	2:25:00
Werken aan schipklem 3D model	27-12-2023	x	x	2:00:00
Werken aan schipklem 3D model	30-12-2023	x	x	1:45:00
Vorbereiden 3D prints	7-1-2024	x	x	0:30:00
Schipklem op 3D printers zeten	8-1-2024			0:05:00
Opschonen 3D print	9-1-2024	x	x	1:00:00
O & O les	10-1-2024	2:25:00	2:25:00	2:25:00
Videometing analyseren	21-1-2024	x	x	1:30:00
Begin animatie gemaakt	21-1-2024	x	x	1:00:00
Animatie maken	22-1-2024	x	x	1:30:00
Presentatie maken	22-1-2024	2:00:00	x	x
Werken aan verslag	22-1-2024	0:30:00	2:30:00	3:00:00
Animatie afmaken	23-1-2024	x	x	1:00:00

Presentatie maken	23-1-2024	4:00:00	x	x
Werken aan verslag	23-1-2024	0:30:00	1:30:00	4:00:00
Presentatie maken	24-1-2024	0:45:00	x	x
Presentatie geven	24-1-2024	0:45:00	0:45:00	0:45:00
Werken aan verslag en stenen goedmaken	28-1-2024	x	x	2:00:00
Werken aan verslag	30-1-2024	x	2:00:00	x
Werken aan verslag	3-2-2024	x	x	1:00:00
Werken aan verslag	4-2-2024	x	x	1:00:00

11. Bronnenlijst

- Wat is windenergie op zee? (z.d.). Wind op zee. <https://windopzee.nl/onderwerpen/wind-zee/landingspagina/#:~:text=windparken%20op%20zee-.Net%20op%20zee,uit%20wind%20op%20de%20Noordzee>
- Contributor, W. (2020, 17 december). Comparing offshore wind turbine foundations. Windpower Engineering & Development. <https://www.windpowerengineering.com/comparing-offshore-wind-turbine-foundations/>
- Siemens Gamesa. (2020, 10 juni). How it all comes together at sea: installing an offshore wind farm [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=mDvS7tizetg>
- Schuengel, L. (2021, 11 november). Hoe windmolens op zee nieuwe ecosystemen kunnen creëren. VPRO. <https://www.vpro.nl/programmas/tegenlicht/lees/artikelen/2021/hoe-windmolens-op-zee-nieuwe-ecosystemen-kunnen-creeren.html#:~:text=Om%20zo'n%20windturbine%20in,de%20windmolen%20in%20elkaar%20gezet>
- “World’s largest floating wind turbine” by 2022 off Norway as Iberdrola-led project launches. (2020, 30 september). Recharge | Latest renewable energy news. <https://www.rechargenews.com/technology/worlds-largest-floating-wind-turbine-by-2022-off-norway-as-iberdrola-led-project-launches/2-1-884798>
- Heilig, H. (2021, 6 juni). Iberdrola kick-starts 980MW floating offshore wind off Spain - Ocean energy Resources. Ocean Energy Resources. <https://ocean-energyresources.com/2021/06/06/iberdrola-kick-starts-980mw-floating-offshore-wind-off-spain/>
- Just Have a Think. (2021, 11 juli). Deep ocean floating wind turbines. How do they do that? [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=tfz5zcAcJNk>
- DW Planet A. (2023, 17 maart). Floating wind turbines: offshore energy’s secret weapon [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=El4kHkJ7ITs>
- *Megaschip Pieter Schelte in Rotterdam*. (2015, 7 januari). De Ingenieur. <https://www.deingenieur.nl/artikel/megaschip-pieter-schelte-in-rotterdam>

- University of Twente. (2016, 5 september). Alleen Gróte bubbels reduceren stromingsweerstand schepen. *Universiteit Twente*.
<https://www.utwente.nl/nieuws/2016/9/232552/alleen-grote-bubbels-reduceren-stromingsweerstand-schepen>
- Tinkerine. (2018, 18 april). *Testing the buoyancy of PLA* [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=t8YfbZC3n6s>
- 3D Printer Academy. (2023, 11 oktober). *Are 3D prints watertight?* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=J_dwsXqRONA