



ONTWERP WIND- EN DRIJVEND ZONNEPARK

Delta21

Auteur : Bryan van Elven
Studentnummer : 0950829
E-mail : 0950829@hr.nl; bryan01842@gmail.com
Afstudeerscriptie (Definitief)

Naam: Bryan van Elven
Student aan: Hogeschool Rotterdam
Studentnummer: 0950829
Opleiding: Civiele Techniek
Specialisatie: Waterbouw

Hogeschool Rotterdam
G.J. de Jonghweg 4
63015 GG, Rotterdam

Afstuderen

Den Haag, 2021

Versie: Definitief
Datum: 24-5-2021

Begeleider Delta21:

Naam begeleider: Dhr. Huub Lavooij
Functie: Initiatiefnemer Delta21
E-mailadres: h.lavooij@delta21.nl

Stagebegeleider Hogeschool Rotterdam:

Naam begeleider: Dhr. Wim Leeuwenstein
E-mailadres: w.leeuwenstein@hr.nl

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie die betrekking heeft op het ontwerp van een drijvend zonnepark en een windmolenpark die past in het project Delta21. De scriptie is opgesteld al onderdeel van het afstuderen aan de opleiding Civiele Techniek aan de Hogeschool Rotterdam. Deze scriptie is geschreven in opdracht van Delta21 en deze afstudeer opdracht valt onder de Community of Practice (CoP). Het onderzoek voor Delta21 is uitgevoerd in de periode van februari tot juli 2021.

Ik ben erg geïnteresseerd geraakt in het plan van Delta21 toen de twee initiatiefnemers een hoorcollege gaven op de Hogeschool Rotterdam. Ik wil daarom dhr. H. Lavooij en dhr. L. Berke bedanken voor de mogelijkheid om meer inzicht te krijgen in het plan en het maken van een afstudeeropdracht voor Delta21. Daarnaast wil ik de begeleider vanuit de opleiding, W. Leeuwestein en de begeleider vanuit de CoP L. van Gelder bedanken voor de goede begeleiding tijdens het afstudeeronderzoek.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Bryan van Elven, Den Haag, 13-6-2021

Samenvatting

Nederland wordt bedreigt door het water. De kans op overstromingen wordt steeds groter door de klimaatverandering. De klimaatverandering heeft als gevolg dat de zeespiegel blijft stijgen, wat grote gevolgen kan hebben voor Nederland. Hierdoor wordt niet alleen de kust van Nederland bedreigt, maar stijgen de waterpeilen in de rivierdelta's ook. Het is van belang dat de waterveiligheid ten alle tijden gewaarborgd blijft, wat een steeds groter uitdaging wordt door deze veranderingen. De huidige oplossingen die worden gebruikt zijn het bouwen van nieuwe waterkeringen, het versterken en verhogen van de dijken en het verminderen van de CO₂-emissies. De laatste tijd worden er steeds meer projecten bedacht die in één keer meerdere problemen aanpakken, om zo Nederland watervrij te houden.

Delta21 is zo'n project. Delta 21 heeft één oplossing bedacht die drie problemen aanpakt. Het primaire doel van Delta21 is om de waterveiligheid te garanderen, en daarbij een energieopslag te maken. Daarnaast heeft Delta 21 hierbij een plan voor het herstel van het plangebied gemaakt. Het plan is ontstaan door twee initiatiefnemers die de discussie aangingen met partijen die betrokken zijn bij de waterveiligheid van Nederland. Hieruit is een ontwerp voor een Energieopslagmeer naar voren gekomen. Dit meer kan dan gebruikt worden om de wateroverlast tegen te gaan en om elektrische energie in op te slaan. Door gebruikt te maken van een groot pompcomplex en een overlaat kunnen enorme debieten aan water worden weggepompt naar de zee. Het opslagmeer is ten zuiden van de Tweede Maasvlakte gerealiseerd, waar het Haringvliet uitmondt in de Noordzee. In het laatste ontwerp is naar voren gekomen dat dit meer een totale oppervlakte van ± 42 km² heeft. Dit meer biedt mogelijkheden om multidisciplinair gebruikt te worden.

In deze scriptie is er onderzoek verricht naar het opwekken van groene energie in het plangebied van Delta21. Hierbij luidt de hoofdvraag: 'Welk systematisch en constructief ontwerp van een wind- en zonnepark is het beste om toe te passen voor het idee van Delta21, om er zo voor te zorgen dat het hele projectgebied is voorzien van duurzame energie?' Om deze vraag te beantwoorden moet eerst onderzocht worden wat de energievraag van het projectgebied is. Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat de maatgevende energievraag voor het pompcomplex van Delta21 een vermogen van 1,4 gigawatt (GW) nodig heeft in de normale situatie. Voor een calamiteitenscenario is er een vermogen van 1,8 GW nodig.

Voordat er een ontwerp gemaakt kan worden om deze energievraag aan te kunnen moeten de eisen, randvoorwaarden en uitgangspunten worden onderzocht voor het Programma van Eisen (PVE). Hierin is onder andere de energievraag berekend, maar ook onderzocht hoe het plangebied eruit komt te zien nadat het volledig gerealiseerd is. Hierin zijn bijvoorbeeld de zon-, wind-, golf- en bodemgegevens berekend en aangenomen.

Nadat het PVE uitgewerkt is kunnen de ontwerpen van een windmolen- en zonnepark worden gemaakt. Voor het windmolenpark heeft Delta21 voorgesteld dat er gebruikt wordt gemaakt van het innovatieve windmolen ontwerp ontwikkeld door het bedrijf Dutch Wind Design (DWD). Voor het zonnepark is voorgesteld om het ontwerp van het bedrijf GroenLeven te gebruiken. De windmolens van DWD zitten momenteel nog in de prototype fase, wat betekent dat er nog niet veel gegevens vrijgegeven mogen worden voor deze windmolens. Hierdoor is er in dit rapport gekozen om het ontwerp van een windmolenpark buiten beschouwing te laten en dit te vervangen door een idee. Het ontwerp van een drijvend zonnepark is wel uitgewerkt en ingedeeld op het Energieopslagmeer.

Nadat de indeling van het drijvende zonnepark afgerond was, is er een keuze gemaakt in het type verankering van het zonnepark. De verankering die GroenLeven gebruikte in al gerealiseerde projecten kon niet gebruikt worden in het ontwerp door het grote verschil in waterstanden in het meer. Hiervoor moest dus gekozen worden voor een alternatieve verankering. In deze scriptie is er een Multi Criteria Analyse (MCA) om een keuze te maken tussen twee alternatieven voor de verankering. De beoordelingscriteria van de analyse zijn: Kwaliteit, kosten en risico. De weegfactoren zijn gegeven door Delta21 zelf. Uit de MCA is naar voren gekomen dat een paalverankering de beste oplossing is.

De volgende stap is berekenen wat de oplevering aan groene energie door het drijvende zonnepark is. En te onderzoeken of deze oplevering voldoet aan de energievraag van Delta21. Uit het onderzoek komt naar voren dat in de meest kritieke maand het zonnepark een verwachte energie oplevering van 613,45 TWh heeft. De benodigde energie in de meest kritieke maand ligt in geval van een normale situatie lager, namelijk 145,58 TWh. De benodigde energie voor een calamiteitenscenario is anders bepaald. Omdat de zwaarste stormen in de afgelopen jaren niet langer dan twee dagen hebben geduurd is er aangenomen dat een calamiteitenscenario maximaal twee dagen lang is. In deze twee dagen is een maximaal vermogen nodig van 1,8 GW. Dit betekent dat er een energieverbruik van 86,2 TWh is in twee dagen. In de meest kritieke maand wordt er gemiddeld 20 TWh per dag opgewekt, dus zal er in twee dagen 40 TWh opgewekt kunnen worden. Dit zal niet voldoende zijn, en dus moet er een back-up stroomvoorziening worden geïmplementeerd in het plan.

De laatste stap is het maken van een kostenraming en onderzoeken hoeveel CO₂-uitstoot er wordt bespaard met dit plan. In de kostenraming is alleen meegenomen wat de totale kosten is voor het gebruikte materiaal binnen het zonnepark, en zijn de realisatiekosten van het park en de verankering buiten beschouwing gelaten. De totale kosten in euro's van het drijvende zonnepark in het Energieopslagmeer wordt geschat op € 3.937.451.000,00. De verwachte oplevering aan groene energie in euro's wordt geschat op € 932.360.000,00 per jaar. De oplevering van deze hoeveelheid groene energie is goed voor een reductie van 2,75 megaton CO₂ per jaar.

Summary

The Netherlands is threatened by the water. The risk of flooding is increasing due to climate change. Climate change means that sea levels continue to rise, which could have major consequences for the Netherlands. This threatens not only the coast of the Netherlands, but the water levels in the river deltas are also rising. It is important that water safety is guaranteed at all times, which is becoming an increasing challenge due to these changes. The current solutions used are building new flood defences, strengthening and raising dikes and reducing CO₂ emissions. Recently, more and more projects have been devised that tackle several problems at once, in order to keep the Netherlands free of water.

Delta21 is that kind of a project. Delta 21 has come up with one solution that addresses three problems. The primary goal of Delta21 is to guarantee flood protection, and to create an energy storage. In addition, Delta 21 has drawn up a plan for the recovery of the plan area. The plan was created by two initiators who entered into a discussion with parties involved in flood risk management in the Netherlands. This resulted in a design for an Energy Storage Lake. This lake can then be used to prevent flooding and to store electrical energy. By using a large pumping complex and a spillway, enormous flows of water can be pumped out to the sea. The storage lake has been realized south of Maasvlakte 2, where the Haringvliet flows into the North Sea. In the last design it emerged that this lake has a total surface of ± 42 km². This lake offers possibilities for multidisciplinary use.

In this thesis, research has been conducted into the generation of green energy in the Delta21 planning area. The main question here is: 'Which systematic and constructive design of a wind and solar park is best to apply for the idea of Delta21, in order to ensure that the entire project area is supplied with sustainable energy?' In order to answer this question, it is first necessary to investigate the energy demand of the project area. This research has shown that the normative energy demand for the Delta21 pumping complex requires a capacity of 1.4 gigawatts (GW) in the normal situation. A power of 1.8 GW is required for a disaster scenario.

Before a design can be made to meet this energy demand, the requirements, preconditions and principles for the Program of Requirements must be examined. This includes calculating the energy demand, but also investigating what the plan area will look like after it has been fully constructed. For example, the sun, wind, wave and soil data are calculated and assumed here.

After the Program of Requirements has been worked out, the designs of a windmill and solar park can be made. Delta21 has proposed that the innovative windmill design developed by the company Dutch Wind Design (DWD) be used for the wind farm. It has been proposed to use the design of the company GroenLeven for the solar park. The DWD windmills are currently still in the prototype phase, which means that not much data may be released for these windmills yet. As a result, it has been decided in this report to disregard the design of a wind farm and to replace it with an idea. The design of a floating solar park has been worked out and classified on the Energy Storage Lake.

After the layout of the floating solar park was completed, a choice was made in the type of anchoring for the solar park. The anchoring that GroenLeven used in projects already completed could not be used in the design due to the large difference in water levels in the lake. For this, an alternative anchoring had to be chosen. In this thesis there is a Multi Criteria Analysis (MCA) to make a choice between two alternatives for anchoring. The assessment criteria of the analysis are: Quality, costs and risk. The weighting factors are given by Delta21 itself. The MCA has shown that a pile anchoring is the best solution.

The next step is to calculate the amount of green energy delivered by the floating solar park. And to investigate whether this delivery meets Delta21's energy demand. The research shows that in the most critical month the solar park has an expected energy delivery of 613.45 terrawatt hour (TWh). In a normal situation, the energy required in the most critical month is lower, namely 145.58 TWh. The energy required for a calamity scenario is determined differently. Because the heaviest storms in recent years have not lasted longer than two days, it has been assumed that a calamity scenario is a maximum of two days. In these two days, a maximum power of 1.8 GW is required. This means that there is an energy consumption of 86.2 TWh in two days. In the most critical month, an average of 20 TWh is generated per day, so 40 TWh can be generated in two days. This will not be enough, so a backup power supply must be implemented in the plan.

The last step is to make a cost estimate and investigate how much CO₂-emissions are saved with this plan. The cost estimate only includes the total costs for the material used within the solar park, and does not take into account the realization costs of the park and the anchoring. The total cost in euros of the floating solar park in the Energy Storage Lake is estimated at € 3,937,451,000.00. The expected delivery of green energy in euros is estimated at € 932,360,000.00 per year. The delivery of this amount of green energy is good for a reduction of 2.75 megatons of CO₂ per year.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting.....	3
Summary	5
Inleiding.....	10
Probleemstelling.....	10
Doelstelling.....	10
Hoofd en deelvragen	11
1. Ontwikkeling Delta21	12
1.1 Concept 2015.....	12
1.2 Delta21 anno 2018	13
1.3 Het Haringvliet.....	14
1.4 De Maeslantkering en Delta21	14
1.5 Vormgeving en Inrichting Energieopslagmeer	15
1.6 Update Delta21 2019	17
2. Energietransitie in Nederland	19
2.1 Situatie voor Klimaatwet 2019	19
2.2 Situatie na de Klimaatwet	19
2.3 Groene energie voorzieningen	20
3. Eisen windmolens op dijktraject	20
3.1 Wetten en voorschriften	20
3.2 Dijkkring Energieopslagmeer	21
3.3 Functionele eisen	21
3.4 Gebruikerswensen.....	21
4. Eisen drijvend zonnepanelen park	22
4.1 Wetten en voorschriften	22
4.2 Het energieopslagmeer	22
4.3 Functionele Eisen	23
4.4 Gebruikerswensen.....	23
5. Randvoorwaarden en uitgangspunten.....	23
5.1 Dijktraject	23
5.2 Waterstanden.....	24
5.3 Bodem niveau.....	24
5.4 Bodem	24

5.5	Wind	25
5.5.1	Jaarlijkse windgegevens	25
5.5.2	Maandelijke windgegevens	25
5.5.3	Verwachte windgegevens	26
5.6	Zonlicht.....	26
5.6.1	Jaarlijkse zongegevens.....	26
5.6.2	Maandelijke zongegevens.....	26
5.7	Golven.....	27
5.7.1	Effectieve strijklengte.....	27
5.7.2	Golfgroei.....	28
5.8	Energievraag.....	30
5.8.1	Pompcomplex.....	30
5.8.2	Werkzaamheid.....	30
5.8.3	Calamiteitenscenario.....	31
6	Vooronderzoek drijvende zonnepanelen van GroenLeven.....	32
7	Ontwerp drijvend zonnepark energieopslagmeer Delta21.....	33
7.1	Ontwerpeisen.....	33
7.2	Dimensionering zonnebootje	35
7.2.1	Zonnepanelen.....	35
7.2.2	Aluminium frame.....	35
7.2.3	Drijvers/pontons.....	35
7.2.4	Volledig ontwerp zonnebootje.....	35
7.3	Indeling drijvend zonnepark.....	36
8	Berekening drijvend zonnepark energieopslagmeer Delta21.....	37
8.1	Belastingen	37
8.2	Belastingcombinaties	39
8.3	Varianten onderzoek.....	40
8.4	Belasting schematisering.....	43
8.5	Berekening paalverankering.....	45
8.6	Vermogen zonne-energie.....	45
8.6.1	Verwacht oplevering per jaar	46
8.6.2	Verwacht oplevering per maand	46
9	Kostenraming Drijvend Zonnepark.....	46
10	Alternatief/toevoeging windmolenpark Delta21	47
10.1	Vooronderzoek innovatieve windmolen	47
10.2	Ontwerpidee windmolens.....	48

10.3 Verwachte energie oplevering	48
Conclusie	49
Aanbevelingen.....	52
Bibliografie	54
Figurenlijst.....	57

Inleiding

Probleemstelling

Nederland moet worden beschermd tegen water. Dit is al heel lang zo, en we willen daarom in de toekomst droge voeten houden. Het is belangrijk dat er nooit meer een ramp voor komt zoals in 1953, dus is het van belang dat er continue wordt gewerkt aan de waterveiligheid van Nederland. Naast de stijging van een zeespiegel verandert het klimaat hevig. De opwarming van de aarde heeft niet alleen invloed op de zeespiegelstijging, maar ook invloed op rivierafvoer. Door grotere piekbuien en meer smeltwater vanuit de berggebieden stijgt de rivierstand in Nederland. Als de rivierwaterstand te hoog wordt zal dit leiden tot een overstroming in het binnenland. De rivieren kunnen het water gelukkig nog snel genoeg afvoeren naar zee, maar hoe moet dit als de waterkeringen dichtgaan. Als de hoeveelheid rivierwater toeneemt in een korte tijd, en de waterkering zit dicht vanwege een storm zal dit leiden tot een extreme snelle verhoging van de waterstand in rivieren.

Doelstelling

Het doel van dit rapport is om een wind- en zonnepark ontwerp te ontwikkelen. Dit ontwerp zal dan worden gebruikt om energie op te wekken voor de pompen van het opslagmeer. De energie die wordt opgewekt door de wind- en zonneparken gebruiken de pompen dan om de waterstand in het opslagmeer te kunnen regelen. Het primaire doel van Delta21 is om voor waterveiligheid te zorgen in het Haringvliet. Door het overtollige rivierwater weg te pompen hoeven de rivierdijken niet te worden verhoogd. Maar om deze pompen te laten werken is energie nodig en is het dus van essentieel belang dat er een goed ontwerp komt voor de wind- en zonneparken voor Delta21. Daarbij wil Delta21 een energieopslag vormen en werken aan het natuurherstel in het locatiegebied.

Hoofd en deelvragen

Hoofdvraag:

Welk systematisch en constructief ontwerp van een wind- en zonnepark is het beste om toe te passen voor het idee van Delta21, om er zo voor te zorgen dat het hele projectgebied is voorzien van duurzame energie?

Deelvragen:

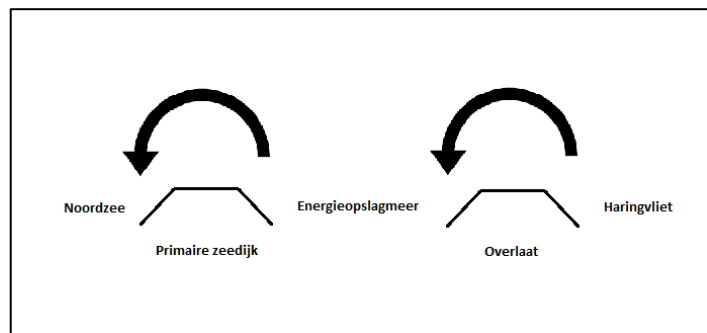
- Wat is het doel en de stand van zaken bij het plan Delta21?
 - Waterveiligheid, energie opwekking/opslag en natuurherstel.
- Wat zijn de uitgangspunten en randvoorwaarden voor het wind- en zonnepark ontwerp?
 - Energievraag.
 - Wind, zon, golven
 - Ondergrond, omgeving
- Welk scenario is het beste voor Delta21, kijkend naar het wind- en drijvend zonnepark?
 - Hoeveel windmolens en zonnepanelen zijn er nodig?
 - Welke locatie voor de windmolens en zonnepanelen is het meest geschikt?
- Welk ontwerp voor een windmolen is het meest voordelig op toe te passen? En welk ontwerp voor een zonnepark is het meest voordelig?
 - Hoe groot moeten/kan een windmolen- en drijvend zonnepark worden?
 - Welke verankering moet worden toegepast op het drijvend zonnepark?
- Kan het ontwerp van het wind- en zonnepark Delta21 voorzien van genoeg stroom in zowel een normale situatie als een calamiteitenscenario?
 - Wat is de juiste verdeling van de energie in het plangebied van Delta21?
 - Is er een alternatief nodig om aan de energievraag te voldoen?

1. Ontwikkeling Delta21

1.1 Concept 2015

De gedachte achter Delta21 is ontstaan in 2015. Inmiddels is het een officieel idee dat wordt gesponsord door groep sympathisanten. De kerngedachte achter dit plan was dat het waterpeil in het benedenstroomse gebied, tijdens hoge rivierafvoeren op een acceptabel niveau gehouden zou moeten worden. Hierdoor wordt het mogelijk om rivierdijk verhoging niet meer te gebruiken voor het Deltaprogramma. Het Deltaprogramma waarbij de er nieuwe rivierdijken worden toegepast of worden uitgebreid door verhoging tast de rivierlandschappen erg aan en is dus niet acceptabel. Het motto van Delta21 is en blijft om de rivierwaterstanden laag te houden bij een hoogwaterstand in de zee in plaats van de rivierdijken te verhogen of te versterken.

Het plan is om een nieuwe primaire waterkering te plaatsen onder de Tweede Maasvlakte. Deze kering is een zeedijk en zal worden gebruikt om een meer te vormen bij het uiteinde van het Haringvliet. Het Haringvliet zal hierdoor afgesloten worden, wat dus betekent dat er een alternatief moet komen op het afvoeren van het rivierwater. Door pompen te plaatsen aan de rivier en



Figuur 1 Schema afvoer overtollig rivierwater

zeekant kan het overtollige rivierwater afgevoerd worden naar zee (figuur 1 en 2). Dit idee heeft een enorme hoge pompcapaciteit nodig om zo te voldoen aan de uitgangspunten. Delta21 heeft het voorkeur om het waterpeil bij Dordrecht niet boven de +2,5 m NAP te laten komen. Maar het uitgangspunt is slechts 1 keer in de 10.000 jaar een waterpeil van +3 m NAP. De meest kritische situatie die toen werd aangenomen is als de Maeslantkering enkele dagen dicht staat vanwege een storm en dat de rivierafvoer hoger is dan 5.000 m³/s. Dit omdat de waterstand stijging het in benedenstroomse gebied bij een lagere afvoer gering zal zijn.



Figuur 2 Overzicht waterafvoer

Het Haringvliet moet volgens Delta21 de hoofdafvoer van de Rijn en Maas worden. Dit om het zoute getij terug te brengen in het Haringvliet. Hiermee kan de vismigratie worden gestimuleerd waar natuurorganisaties erg blij mee zijn.

De pompen in het plan van Delta21 moeten een hoge betrouwbaarheid hebben, omdat er tijdens een hoge rivierafvoer in combinatie met een storm de pompcapaciteit hoog genoeg moet zijn. Als dit niet het geval is zal de rivierwaterstand stijgen en uiteindelijk overstromen. Om deze capaciteit te garanderen worden de pompen regelmatig op vol vermogen gebruikt. Omdat de kosten van het gebruik van de pompen hoog ligt moeten deze een alternatieve functie hebben tijdens dit regelmatig gebruik. Dus Delta21 heeft gekozen om de pompen te gebruiken voor energieopslag, in de vorm van waterkracht. Om deze energie op te slaan is er een bassin nodig om de pompkracht over te zetten in waterkracht. Een bassin die ervoor zorgt dat er een hoogteverschil ontstaat tussen de het omliggende water en het waterpeil in het bassin. Hiervoor is een 'Valmeer' (Energieopslagmeer) ontworpen, dit zal worden gerealiseerd naast de Tweede Maasvlakte.

1.2 Delta21 anno 2018

In 2018 is het concept van Delta 21 omgezet in een plan. De aanpassingen aan het plan zijn vooral gericht op het ontwerp van het Energieopslagmeer en het Getijdenmeer. Het verschil tussen deze twee meren is de functie en de locatie. Het Energieopslagmeer wordt gebruikt om vol en leeg te pompen met water om zo stroom op te slaan. Het Getijdenmeer zorgt voor de vismigratie en de overgang van zoet naar zout water. Ook waren er verbeterpunten op de compartimentering in het Haringvliet bij Tiengemeten (figuur 3), de versterking van de natuur en de mogelijkheden voor toerisme. Dit heeft uiteindelijk geleid tot een update van het plan halverwege 2019. Maar de doelstellingen van Delta21 blijven overeind, met bijna geen verschillen t.o.v. 2015.

In de versie van het plan van 2018 is er in het ontwerp een Energieopslagmeer opgenomen. Dit meer is ten zuiden van Maasvlakte 2 gelokaliseerd (figuur 7). Hiernaast is ook een Getijmeer in het ontwerp toegevoegd, die grenst aan het Energieopslagmeer ten westen van de Haringvlietsluizen. Het laatste punt is dat er een compartimentering komt voor de scheiding van zout en zoet water bij Tiengemeten in het Haringvliet.

“Trekvissen als zalm en zeeforel hebben sinds de aanleg van de Haringvlietsluizen veel moeite om hun paaigebieden te bereiken. Daarom heeft de regering in 2011 besloten de sluisen op een kier te zetten als de waterstand op het Haringvliet lager is dan op zee. Dat Kierbesluit is in 2013 bekrachtigd.”(Deltawerken.com)

Dit Kierbesluit (figuur 3) in het Haringvliet heeft niet alleen positieve effecten gehad op de natuur. Het heeft er voor gezorgd dat het zoute getij in het Haringvliet verdwenen is het dus van belang dat dit wordt meegenomen in Delta21. Daarom is ervoor gekozen dat het herstel van het Haringvliet, m.b.v. Kierbesluit, het belangrijkste estuarium voor de rivierafvoer is. Hierdoor kan het zoute getij terugkeren en de vismigratie herstellen.



Figuur 3 Kierbesluit Haringvliet. Bron: Delta21.nl

1.3 Het Haringvliet

Vanuit verschillende stakeholders (overzicht stakeholders te zien in Bijlage 13) is verzocht om een alternatief te bedenken voor de compartimentering. Dit alternatief moet wel voldoen aan de zoetwater-eis die is gesteld. De stakeholders zijn de natuurorganisaties, de vissers, de scheepvaartbelangen, het toerisme en belanghebbenden voor de Europese Kader Richtlijn Water binnen Rijkswaterstaat (RWS). De bijkomende wens was dat de zoutgrens verder oostwaarts wordt opgeschoven, waardoor de oostelijker is dan de Tiengemetengrens waar de compartimentering plaats had gevonden. Het gevaar kan zijn dat de zouttong bij een te lage rivierafvoer te ver landinwaarts verschuift, wat bedreigend is voor de Land- en Tuinbouw.

1.4 De Maeslantkering en Delta21

Door een aantal deskundige met kennis van waterveiligheid en de Maeslantkering (figuur 4) zijn er suggesties gedaan om Delta21 beter te integreren met de Maeslantkering. Door deze integraties zal de faalkans van de Maeslantkering verlagen en dus ook de kans op effecten van falen verkleinen.



Figuur 4 Gesloten Maeslantkering. Bron: <https://www.interlandtechniek.nl/projecten/de-maeslantkering>

In 1997 werd de Maeslantkering gerealiseerd en aangestuurd door een besturingssysteem genaamd BOS. Na een paar jaar bleek al snel dat dit systeem niet meer geschikt was en dat er veel menselijke fouten in zaten. Dit gelde voor zowel de hardware als software. Ook bleek dat de faalkans van de Maeslantkering onder de beoogde 1/1000 sluitingen zat. Bij de Maeslantkering was een faalkans van 1/100 sluitingen het geval, maar omdat de kering gemiddeld 1 keer per 10 jaar gesloten wordt komt dit uit op een faalkans van 1/1000 jaar.

Delta21 is daarom met een suggestie gekomen die ervoor zorgt dat (zelfs tijdens het falen van de Maeslantkering) het rivierwater in het benedenstroomse gebied op een voldoende laag peil blijft. Dit is dan mogelijk door de hoge pompcapaciteit in het plangebied van Delta21.

Om de veiligheid in het benedenstroomse gebied te versterken of het water beter op peil te houden, kan het plan van Delta 21 worden toegepast. En zelfs met een falende Maeslantkering kan dit worden gegarandeerd. Hiervoor zijn de volgende suggesties opgesteld:

Als een zware storm dreigt, begin dan eerder (zo mogelijk bij LW, 6 uur voorafgaand aan de sluiting van de Maeslantkering) met het afsluiten van het Getijmeer en het wegpompen van rivierwater naar zee via het Energieopslagmeer. Daarbij zou het Getijmeer zo lang mogelijk op een waterpeil beneden NAP gehouden moeten worden.

1.5 Vormgeving en Inrichting Energieopslagmeer.

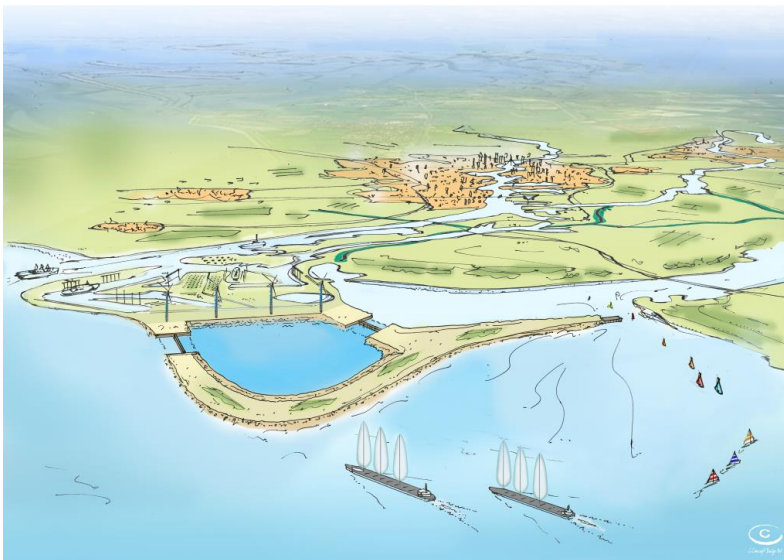
Lokale partijen, natuurorganisaties, civiele bouwers en baggeraars hebben geadviseerd om de vormgeving van zowel het Energieopslagmeer als het Getijmeer op een aantal punten aan te passen. Dit omdat er zowel op Goeree als in Oostvoorne een zorg is over de negatieve gevolgen op de natuurwaarden, de stranden en dus ook het toerisme. Andere partijen vinden dat Delta21 juist positieve gevolgen heeft op de natuurwaarden door de natuurvriendelijke inrichting van het plan. Een voorbeeld van een positief gevolg is nieuwe ruimte voor kwekerijen.



Figuur 5 Overzichtskartaal Zuidwestelijke Delta. Bron: <https://www.onswater.com/tag/zuidwestelijke-delta/>.

De eisen en doelstellingen van het Energieopslagmeer zijn:

- Via het Energieopslagmeer moet, tijdens zware stormen en/of hoge rivierafvoeren, 10.000 m³/s overtollig rivierwater naar zee afgevoerd worden.
- Het meer kan energie in waterkracht omzetten en opslaan elke ca. 12 uur. Zo wordt het maximale vermogen van de pompen gebruikt en zorgt dit voor verversing van het water in het meer. Daar hoort een watervolume bij van ca. 800 miljoen m³. Dit omdat het meer een oppervlakte van 42 km² heeft en een gemiddelde diepte van rond de 25 m als hij vol ligt. Omdat het meer geen stijl aflopende taluds heeft is het aantal kubieke meters lager. De geïnstalleerde pompen moeten ook als turbines kunnen functioneren.
- De minimale opvoerhoogte van de pompen/turbines bedraagt 5 m, wat is vastgesteld uit het rapport met het ontwerp van de pompen van delta21. Daarom is het maximale waterniveau in het Energieopslag ca. NAP - 5 m.
- Onder de huidige zeebodem ter plaatse van het geplande energieopslagmeer wordt een kleilaag aangenomen met een dikte van 10 tussen NAP -50 m en NAP -60 m. Daarom wordt in het meer de bodemdpte op NAP -22,5 m aangehouden.



Figuur 6 Plangebied inrichting Delta21. Bron: Delta21.nl

Natura-2000 Provincie Zuid-Holland



Figuur 7 Natura 2000 gebied Zuid-Holland. Bron: <https://www.zuid-holland.nl/onderwerpen/landschap/natuurrijk-zuid/natura-2000/>

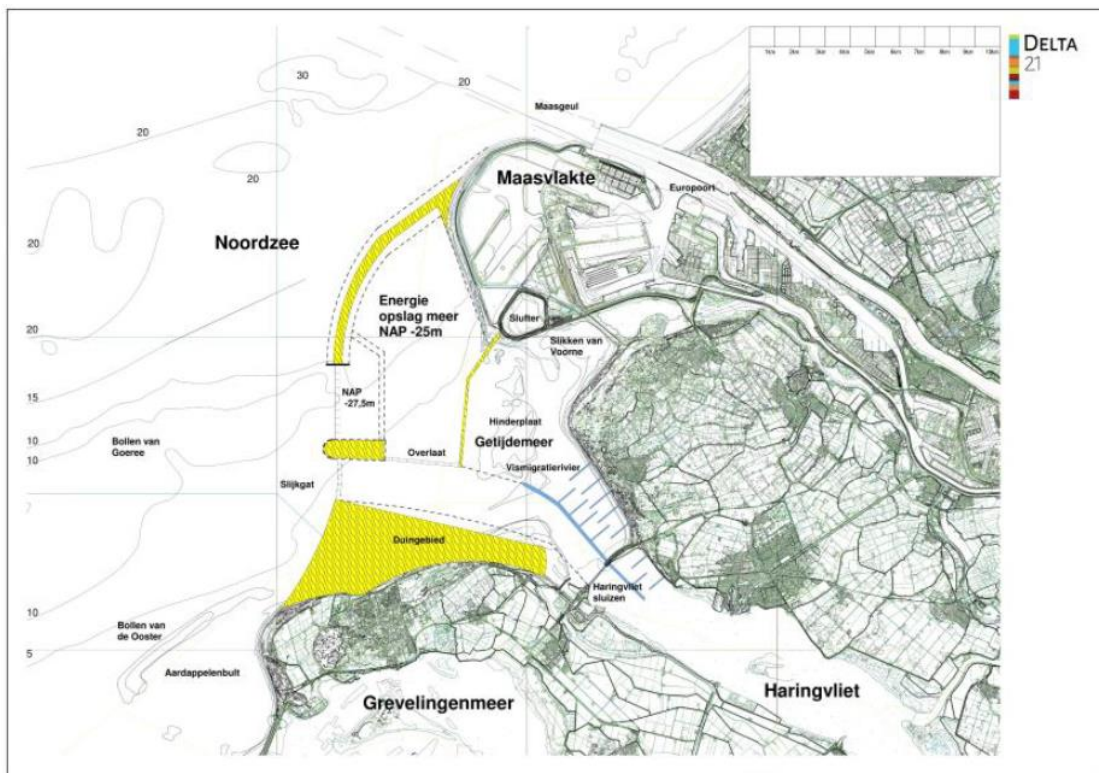
1.6 Update Delta21 2019

Het ontwerp van Delta21 is in 2019 aangepast, op basis van suggestie van stakeholders en marktpartijen. Deze verbetermaatregelen zijn toegepast op het ontwerp dat in 2018 is opgesteld.

- De in- en uitlaat van het gehele plan moet visvriendelijk zijn, dus er moet een mogelijkheid zijn dat de vissen naar het Energieopslagmeer kunnen zwemmen zonder dat ze door de pompen heen moeten.
- Ook moet er worden gezorgd voor minder strakke vormgeving van het dijkentraject, waardoor er een groter strandoppervlak kan ontstaan.
- De in- en uitlaat van het water vanuit het Energieopslagmeer moet worden verplaatst naar de locatie direct aan Maasvlakte 2 grenst.
- De overlaat tussen het Getijmeer en het Energieopslagmeer moet worden verplaatst naar de zuidoostzijde, waar deze direct aan Maasvlakte 2 grenst.
- De nieuwe vormgeving moet ervoor zorgen dat stranden van Goeree buiten het Getijmeer komen te liggen.
- Er moet worden onderzocht of de glijturbines uit de afsluitbare verbinding tussen de Noordzee en het Getijmeer kunnen weggelaten worden.
- In de bestaande scheepvaartgeul moet een sluis komen ten behoeve van visserij en recreatievaart.
- De scheepvaartgeul naar Stellendam moet worden verbreed, zowel in het Getijmeer als buitengaats tot een diepte van 8 meter en een breedte van 200 meter.

- Bij het Oostvoornse meer moet vanaf de dam een diepe geul worden aangelegd voor herstel van de strandfunctie. Dit zand kan worden benut voor de aanleg van de duinen rondom het Energieopslag meer.
- De mogelijkheden voor aquacultuur moeten worden onderzocht voor het Energieopslagmeer in combinatie met een (drijvend) zonnepark.

De update van het ontwerp is niet de laatste versie van dit plan, want er zijn nog veel aanpassingen die komen volgen. Het huidige ontwerp (anno 2021) is alweer anders dan die van 2019. Deze versie van het ontwerp is te zien in figuur 8. Dit ontwerp zal in de loop van de jaren ook nog wel anders worden. Voor nu wordt er met dit ontwerp gewerkt en zullen hiermee de uitgangspunten en randvoorwaarden worden bepaald voor het afstudeerverslag.



Figuur 8 Lay-out Delta21 versie 4 2021. Bron: Delta21.nl

2. Energietransitie in Nederland

“De energietransitie in Nederland is een door de overheid geïnitieerd proces waarbij beoogd wordt te komen tot een nieuw energiesysteem gebaseerd op duurzame energiebronnen, zuiniger energiegebruik en andere, vaak decentrale vormen van organisatie” (Energietransitie in Nederland, Wikipedia).

2.1 Situatie voor Klimaatwet 2019

Dit proces is verbonden aan het Klimaatakkoord van Parijs. Het Klimaatakkoord van Parijs houdt in dat de toename van de wereldgemiddelde temperatuur gehouden moet worden tot ruim 2 graden Celsius boven het pre-industriële niveau.

Het duurzame aandeel steeg in Nederland tussen 2010 en 2015 enorm, van 12% naar 15%. Dit kwam toen der tijd vooral door de sterke toename van windstroom. Hierdoor is de CO₂-emissie afgenomen van 170 naar 156 megaton



Figuur 9 Duurzame Energie. Bron: atosborne.nl

per jaar (CBS, RIVM/ Emissieregistratie). Dit was nog niet het niveau wat in 1990 behaald werd, dit was namelijk 148 megaton. In 2016 is toen door de rijksoverheid aangekondigd dat in de periode tussen 2024 – 2030 voor 7000 megawatt (MW) aan windparken gerealiseerd moet worden. Deze windmolenparken zouden dan substantieel zijn en langs de Zuid-Hollandse kust geplaatst worden.

In 2018 is er besloten dat de winning van aardgas in Noordoost- Groningen moet afgebouwd worden tot 2030, om het dan vervolgens volledig te staken. Ook is er in 2018 een einde gekomen aan de twee oudste kolengestookte elektriciteitscentrales in Nederland.

2.2 Situatie na de Klimaatwet

De klimaat wet, opgesteld in mei 2019, bepaalt dat de uitstoot van broeikasgassen moeten verminderen ten opzichte van 1990. In 2030 moet er minstens 49% minder uitstoot zijn en in 2050 moet dit 95% minder zijn. Daarom is de ontwikkeling van windenergie van groot belang om deze wet te behalen. In 2023 moet er voor minimaal 4.450 MW vermogen aan windparken op zee staan.

Het nationaal Klimaatakkoord van juni 2019 pleit de regering dat er in Europa in 2030 55% minder broeikasgas wordt uitgestoten i.p.v. de eerdergenoemde 49%.

Er is veel weerstand tegen het ‘gasloos maken’ van Nederland De helft van de Nederlandse bevolking vindt de aanpak onverstandig, een ander probleem is dat de kosten hoog zijn van de duurzame oplossingen. Veel windmolenparken worden gesubsidieerd door de overheid, omdat het anders niet te realiseren is. Ook nieuwbouwwoningen met goede isolatie en efficiënt stroomverbruik hebben een hoge prijs.

In het verkeer is het streven dat in 2030 alle nieuwe auto’s emissie loos zijn. Dit betekent dat alle auto’s op elektriciteit of waterstof moeten rijden. De ambitie voor duurzame elektriciteitsopwekking bedraagt voor 2030 120 TWh, wat gelijk is aan het totale elektriciteitsgebruik in 2015. De CDA en VVD pleiten sinds september 2020 voor het gebruik van kernenergie, omdat dit ook helpt bij de CO₂-reductie.

2.3 Groene energie voorzieningen

In 2020 bedroeg de productie hernieuwbare elektriciteit in Nederland 31 miljard kilowattuur (CBS, productie hernieuwbare elektriciteit). Deze energie wordt opgewekt door vier bronnen: windenergie, biomassa, zonnestroom en waterkracht. De grootste leverancier van hernieuwbare elektriciteit was in 2020 de windenergie. Volgens het CBS leverde windenergie ongeveer 45% van de totale hernieuwbare energie op. Zonnepanelen leverde 26 procent op van het totaal.

Het totale vermogen van de windmolens in Nederland, zowel op water als op het land, hadden in 2020 een totaal vermogen van 6,58 duizend megawatt (CBS, capaciteit windmolens). Het totale vermogen aan zonnepanelen was in 2020 10,21 duizend megawatt.

In Nederland verbruikt één particulier huishouden per jaar gemiddeld 2.741 kilowattuur aan elektriciteit (miliecentraal.nl, gemiddeld energieverbruik). Dit betekent dat er in 2020 ongeveer 11,3 miljoen huishoudens volledig voorzien konden zijn van energie uit hernieuwbare bronnen. In de werkelijkheid gaat er ook veel energie naar andere verbruikers zoals de industrie. In Bijlage 13 zijn de gegevens van het CBS te zien.

3. Eisen windmolens op dijktraject

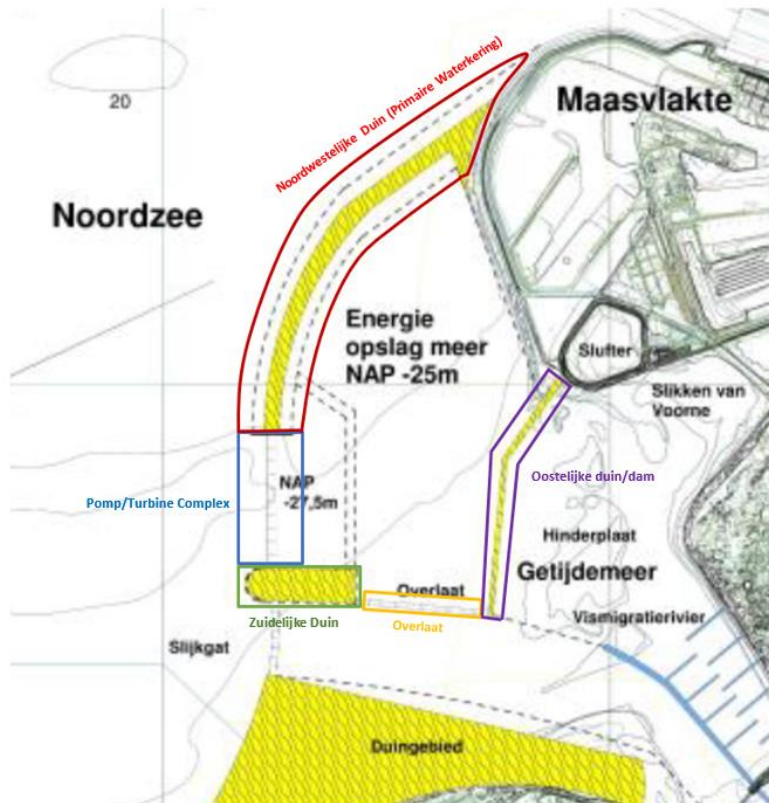
3.1 Wetten en voorschriften

Delta21 is voor een groot deel een civieltechnisch project. Dit project moet dus voldoen aan de Nederlandse wetten en voorschriften. Het ontwerpen en realiseren van de windmolens op een dijk moet ook voldoen aan deze wetten en voorschriften. Hieronder is een overzicht van alle wetten en voorschriften waaraan deze moeten voldoen:

- Rijkscoördinatie­regeling (Wet ruimtelijke ordening, 2006);
- Wet ruimtelijke ordening (Wet ruimtelijke ordening, 2006);
- Eurocode (Nederlandse Bouwbesluit, 2012);
- Wabo – Omgevingsvergunning (Wet algemene bepaling omgevingsrecht, 2008);
- Wet milieubeheer (Wet milieubeheer, 1979);
- Milieueffectenrapportage (Commissie voor de milieueffectenrapportage, ca. 2005);
- Elektriciteitswet (Elektriciteitswet, 1998);
- Natuur­bescherming (Wet natuur­bescherming, 2015);
- Waterwet (Waterwet, 2009);
- Planschade (Wet ruimtelijke ordening, 2006);
- Beleidsregel Windturbines op of nabij primaire waterkeringen, betrekking op windturbines waarvoor een watervergunning is vereist (Artikel 3.5 lid 2 van de Keur).

3.2 Dijkring Energieopslagmeer

Het Energieopslag meer in het plan van Delta21 is omringd door meerdere objecten. In figuur 10 is aangegeven uit welke delen de omheining van het meer bestaat.



Figuur 10 Verdeling omheining Energieopslagmeer die aansluit op Maasvlakte 2. Bron: Delta21.nl

De noordwestelijke duin is de scheiding tussen de Noordzee en het Energiemeer en moet overstromingen voorkomen. Dit betekent dat deze kering onder primaire waterkeringen valt. Het is dus van groot belang dat faalkans van deze dijk niet groter wordt door de toevoeging van windmolens op de dijk. De lengte van de noordwestelijke duin bedraagt 9,7 km en verbind het land met het pomp/turbine complex.

3.3 Functionele eisen

- De primaire functie van het windmolenpark is het omzetten van windenergie naar elektrische energie.
- Het opslagmeer dient zo effectief mogelijk te worden ingedeeld met windturbines.
- De windmolens van het windmolenpark dienen te voldoen aan de NEN-EN 61400-1 norm.
- De windmolens in het windmolenpark dienen genoeg afstand te hebben van kwetsbare objecten.
- Het windmolenpark dient volledig in werking te tot windsnelheden van 90 km/h (windkracht 10 op de schaal van Beaufort)
- De funderingen van alle windmolens op het meer moeten een maximale diepgang van 25 meter kunnen overbruggen.

3.4 Gebruikerswensen

- De windmolens op het dijktraject dien gebruikt te maken van het windmolenontwerp van Dutch Wind Design, die is voorgesteld vanuit Delta21.

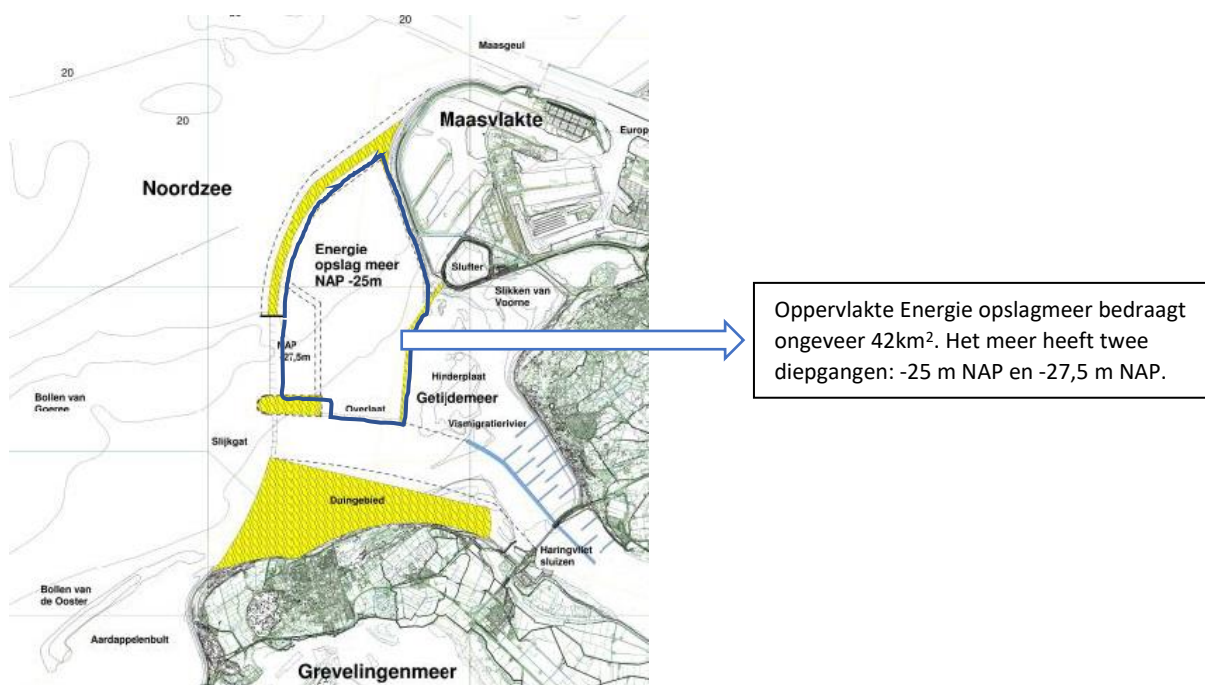
4. Eisen drijvend zonnepanelen park

4.1 Wetten en voorschriften

- Waterwet (Waterwet, 2009);
- Elektriciteitswet (Elektriciteitswet, 1998);
- Waterbesluit (Waterbesluit, 2009);
- Waterregeling (Waterbesluit, 2009);
- Besluit kwaliteitseisen en monitoring water (Waterbesluit, 2009);
- Eurocode (Nederlandse Bouwbesluit, 2012);
- Keur (Waterschapswet, 2008);
- Algemene Regels Waterschap (Waterschapswet, 2008);
- Wet ruimtelijke ordening (Wet ruimtelijke ordening, 2006);
- Bestemmingsplan (Wet ruimtelijke ordening, 2006);
- Natuurbescherming (Wet natuurbescherming, 2015);
- Bodembescherming (Wet bodembescherming, 1986);
- Wabo – Omgevingsvergunning (Wet algemene bepaling omgevingsrecht, 2008);
- Activiteitenbesluit (Activiteitenbesluit milieubeheer, 2007).

4.2 Het energieopslagmeer

Volgens het laatste ontwerp van Delta21 (versie 15 februari 2021) heeft het energieopslagmeer een totale oppervlakte van $\pm 42\text{km}^2$. Deze oppervlakte is bepaald door gebruik te maken van het programma Autocad. Het meer is verdeeld in twee dieptes: -25 NAP (83% van het meer oppervlak) en -27,5 NAP (17% van het meer oppervlak). Dit houdt in dat de gemiddelde waterdiepte in het meer -25,425 m NAP is.



Figuur 11 Ontwerp Delta21 versie 15 februari 2021. Bron: Delta21.nl

4.3 Functionele Eisen

- De primaire functie van het drijvende zonnepark dient het omzetten van zonne-energie in elektriciteit te zijn.
- Het drijvende zonnepark moet gelokaliseerd worden op het Energieopslagmeer.
- De verankering van het drijvende zonnepark mag geen invloed hebben op de kwaliteit en sterkte van ondergrond of omliggende waterkeringen.
- Het drijvende zonnepark dient volledig functioneel te zijn wanneer het energieopslagmeer vol en leeg is, rekening houdend met een waterstand tussen de -5 m NAP en -22,5 m NAP.
- De drijvende constructie moet voldoende licht doorlaten naar het wateroppervlak van het Energieopslagmeer voor de ecologie.

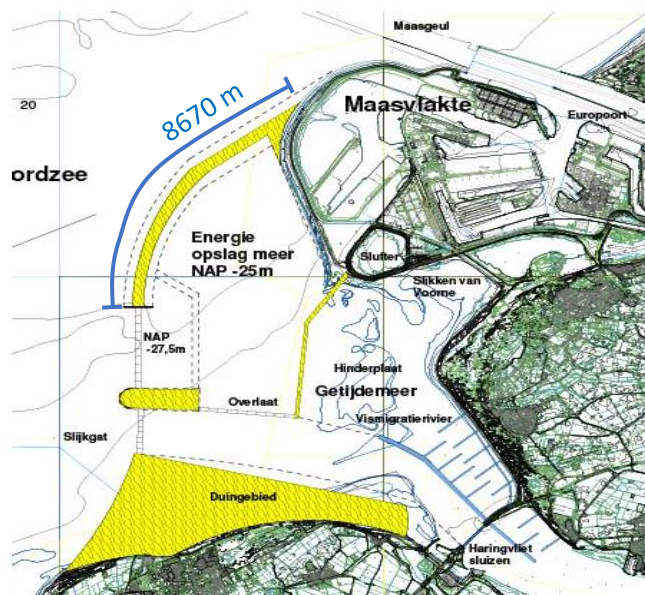
4.4 Gebruikerswensen

- Het drijvende zonnepark dient gebaseerd te zijn op van het drijvende zonnepark ontwerp van GroenLeven, voorgesteld vanuit Delta21.

5 Randvoorwaarden en uitgangspunten

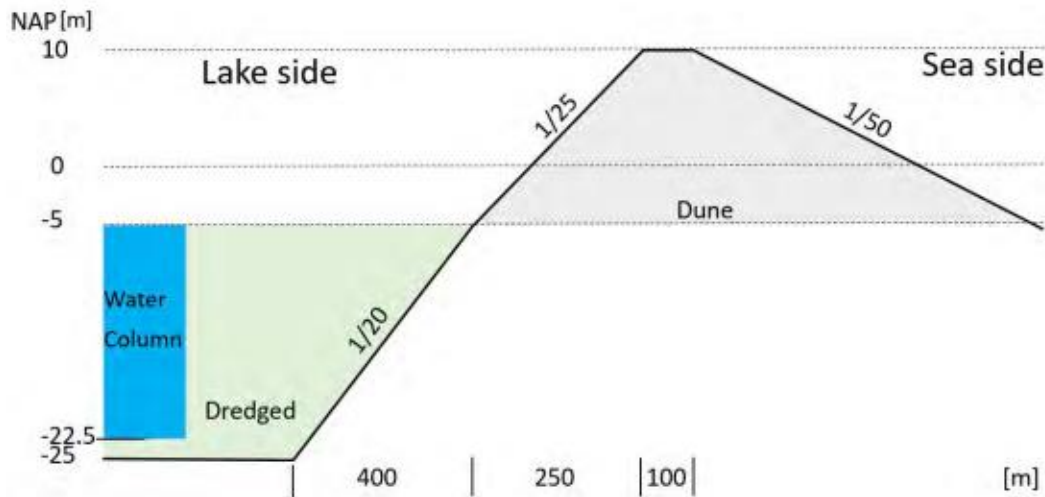
5.1 Dijktraject

De primaire waterkering van Delta21 is een duin/dijk die de Maasvlakte 2 en het pomp/turbine-complex met elkaar verbindt. De totale lengte van deze kering is 8670 m (figuur 12).

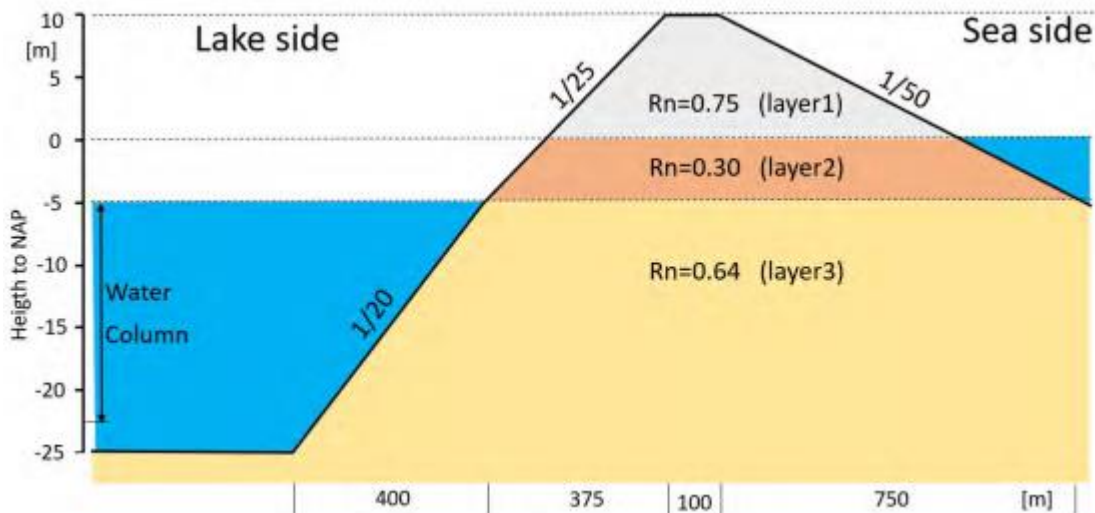


Figuur 12 Dijktraject met lengte. Bron: Delta21.nl.

De doorsnede van de dijk is te zien in figuur 13. Omdat zand geen cohesie heeft moeten de hellingen van de dijken tussen de 1/20 tot 1/25 zijn. Dit ontwerp is gebaseerd op de duinen langs de Nederlandse kust. In figuur 14 is te zien wat voor lagen er in de dijk komen met de lengtes en relatieve dichtheden. Hierbij is ook te zien wat het verschil in waterstand wordt door te kijken naar de 'Water Column'. De kritische situatie in de dijk ontstaat bij een waterdruk verschil van 22.5 meter aan moet kunnen. Dit omdat het water in het meer leeggepompt kan worden tot -22.5 meter NAP. Het ontwerp van de dijk kan verder buiten beschouwing gelaten worden.



Figuur 13 Doorsnede primaire dijk Delta21. Bron: Master thesis, Influence of rapid draw down on dike stability.



Figuur 14 Doorsnede dijk Delta21 met relatieve dichtheid. Bron: Master thesis, Influence of rapid draw down on dike stability.

5.2 Waterstanden

Maatgevende waterstanden:	NAP -13,8 m	(gemiddeld)
	NAP -22,5 m	(LLW)
	NAP -5,0 m	(HHW)

5.3 Bodem niveau

Bodem niveau:	NAP -25,43 m	(gemiddeld)
	NAP -27,50 m	(LLG)
	NAP -25,00 m	(HHG)

5.4 Bodem

Bodemprofiel:

Op basis van grondonderzoek van Dinoloket (bijlage 1, boring 9) in combinatie met tabel 2.b. van Eurocode 7. Van alle metingen uit dinoloket was deze het meest maatgevend, omdat deze precies op de projectlocatie was.

Niveau t.o.v. NAP	Grondsoort	Y/Y_{sat} kN/m ³	sterkte	
			c' (kpa)	ϕ
-35,70	Zand, zwak grindig	18/20	-	27
-36,40	Klei, matig humeus	-/17	10	17,5
-53,20	zand	17/19	-	30
-62,70	Klei, zwak humeus	-/15	0	17,5
-69,80	zand	17/19	-	30

Tabel 1 Bodemprofiel energieopslagmeer Delta21.

5.5 Wind

De invloed van wind is erg belangrijk in het gebied van Delta21. Het verschil in windenergie kan veel verandering brengen in de oplevering van groene energie. Ook heeft de wind invloed op de golfvorming in het Energieopslagmeer. In deze paragraaf zal er worden gekeken naar de windgegevens in het plangebied van Delta 21.

5.5.1 Jaarlijkse windgegevens

Om te bepalen hoe effectief de windmolens per jaar zullen worden is het van belang om de jaarlijkse gemiddelde windsnelheid te hebben in het plangebied.

Vanuit het KNMI is het mogelijk op gemeten gegevens van een weerstation op te vragen van de afgelopen 30 tot 40 jaar. Deze gegevens zullen maatgevend zijn voor het plangebied van Delta21. Het weerstation op Lichteiland Goeree (Bijlage 2) wordt gebruikt als meetpunt voor het plangebied. De gegevens van dit gebied zijn vrijgegeven door het KNMI en bevatten de (vector) windrichting en de (vector) windkracht.

In bijlage 3 zijn de gemiddelde gegevens van de periode 1983 tot 2020 te zien. Uit de gegevens blijkt dat:

- De gemiddelde windrichting in Nederland 192 graden is t.o.v. de noordelijke windrichting. Dus de maatgevende windrichting tussen zuid(Z) en zuidzuidwest (ZZW) ligt.
- De gemiddelde windsnelheid bij weerstation Lichteiland Goeree bedraagt 6,9 m/s op 10 meter hoogte. Dus de windsnelheid op het energiemeer zal gemiddeld ook 6,9 m/s bedragen.

5.5.2 Maandelijksse windgegevens

Met de gemiddelde windgegevens per jaar is goed te bepalen wat de verwachte oplevering van het windmolenpark per jaar zal zijn. Dit is niet nauwkeurig genoeg om te bepalen of het windmolenpark genoeg energie zal opleveren om het pompcomplex het hele jaar door te voorzien van stroom. Het kan voorkomen dat er in het voorjaar te weinig stroom wordt opgewekt, wat vervolgens gemiddeld weer goed wordt gemaakt in het najaar, om het pompcomplex te voorzien van stroom. Het is dus van belang om de gemiddelde gegevens per maand op papier te zetten. Hierbij moeten ook de kansen op de verwachte opbrengst worden berekend.

In bijlage 3 is ook te zien wat de gemiddelde windgegevens per maand en per seizoen zijn over de periode van 1983 tot 2020. Hieruit komen de volgende gegevens naar voren:

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

Tabel 2 Gemiddelde windrichting per maand Lichteiland Goeree.

Gemiddelde per maand (1983-2020)	januari	februari	maart	april	mei	juni
	8,4	7,9	7,1	6,2	6,1	6,0
Windsnelheid in m/s	juli	augustus	september	oktober	november	december
	5,8	6,0	6,7	7,6	7,8	8,2

Tabel 3 Gemiddelde windsnelheid per maand Lichteiland Goeree.

5.5.3 Verwachte windgegevens

In bijlage 4 staat de windroos van het weerstation Lichteiland Goeree van periode 1979 -2013. In deze windroos is af te lezen wat de percentages windrichtingen en windsnelheden zijn op een hoogte van 20 meter boven NAP. Dit is het meest maatgevend voor de windmolens die worden gebruikt in Delta21, omdat de rotor van de windmolens (van Dutch Wind Design) ongeveer op 20 meter hoogte zit. Er zijn geen windrozen per maand op Lichteiland Goeree, dus dit zal de maatgevende windverwachting zijn.

De opbrengst van de windmolens kan in de toekomst onder het gemiddelde komen te liggen, wat inhoudt dat de opbrengst van energie een stuk lager komt te liggen. Het is dus van belang dat er wordt bepaald wat de verwachte opbrengst zal worden. Met de windroos is weergegeven welk percentage, van een windrichting, een bepaalde windsnelheid heeft. Hiermee kan worden berekend wat de verwachte opbrengst per windrichting is. Dit wordt verder toegelicht in hoofdstuk 10.

5.6 Zonlicht

Om de opbrengst van het drijvende zonnepark te berekenen moet er gekeken worden naar het zonlicht in het plangebied. Het KNMI heeft verschillende metingen verricht die te maken hebben met zonlicht in Nederland. In de klimaatviewer van het KNMI zijn de volgende punten gemeten in de periode 1991-2020: Gemiddelde globale straling, gemiddelde duur van zonschijn, aantal dagen somber, aantal dagen af en toe zon, aantal dagen zonnig, aantal zeer zonnig. De straling en de gemiddelde duur van de zonschijn zijn voor het zonnepark de belangrijkste metingen.

5.6.1 Jaarlijkse zongegevens

In bijlage 5 is te zien dat Nederland verdeeld is in stroken die aangeven hoeveel uur zonschijn er op jaarbasis is in die strook. Het plangebied van Delta21 ligt op de scheiding tussen de donkerode strook en lichtrode strook. Uit deze afbeelding kan worden geconcludeerd dat er jaarlijks gemiddeld 1850 uur zonschijn in het plangebied is.

5.6.2 Maandelijks zongegevens

In bijlage 6 een overzicht gemaakt van het aantal uren zon per maand bij het weerstation op Lichteiland Goeree. Deze bijlage laat zien hoeveel uur per maand, over de periode 1991 tot 2020, de zon gemiddeld heeft geschinen. Dit eiland ligt het dichtst bij het plangebied en worden deze gegevens dus gebruikt als maatgevend.

Uit deze gegevens komt het volgende naar voren:

Gemiddelde zonneshijns per maand in uren (1991-2020)	januari	februari	maart	april	mei	juni
	70	95	152	210	237	227
	juli	augustus	september	oktober	november	december
	232	214	162	121	72	58

Tabel 4 Gemiddelde zonneshijns per maand plangebied Delta21.

5.7 Golven

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

Het energieopslagmeer is omringd door dijken en land die ervoor zorgen dat er geen golven van de Noordzee in dit meer terechtkomen. De golven worden volledig gebroken voordat deze het meer kunnen bereiken. Het meer staat niet in directe verbinding met de zee, dus zal er ook nauwelijks een verschil in getij door aantrekking van de zon en maan te merken zijn. Tenzij de duin voldoende doorlatend is dan beweegt het meer gedempt mee. Zware aardbevingen komen in Nederland nauwelijks tot niet voor, dus golven die ontstaan door een bevingen mogen ook verwaarloosd worden. Zwaartekracht golven mogen ook verwaarloosd worden.

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

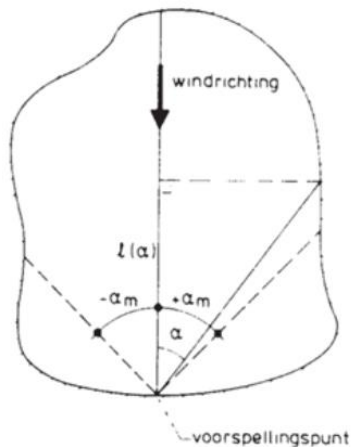
De berekening van de significante golfhoogte (H_s) en golfperiode (T_s) worden berekend met de methode van Bretschneider. De berekening is volledig uitgewerkt en toegevoegd in bijlage 7. De belangrijkste gegevens uit deze berekening zullen in deze paragraaf worden beschreven.

5.7.1 Effectieve strijklengte

Om de golfhoogte te berekenen moet de effectieve strijklengte bepaald worden in het Energieopslagmeer. In de berekening is de effectieve strijklengte per maand berekend en heeft als uitkomst het volgende:

Effectieve strijklengte in meters per maand. Afhankelijk van de windrichting.	januari	februari	maart	april	mei	juni
	6142	6368	6356	6335	6374	6082
	juli	augustus	september	oktober	november	december
	6143	6149	6128	6387	6128	6089

Tabel 5 Effectieve strijklengte van het gehele energieopslagmeer per maand, afhankelijk van de windrichting.



Figuur 15 Schema rekenvoorbeeld effectieve strijklengte. Bron: Helpdenskwater.nl

5.7.2 Golfgroei

In figuur 15 is te zien hoe de windrichting op het meer wordt gezet waaruit de effectieve strijklengtes bepaald kunnen worden. In bijlage 7 is te zien hoe er voor elke windrichting per maand deze lengtes zijn getekend. Door deze effectieve strijklengtes te gebruiken in de formules van Bretschneider (cf. [CERC, 1973]) kunnen de significante golfhoogte en golfperiode worden berekend. Hieronder staan de formules van Bretschneider:

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

en

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

Waarbij:

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

Waarin:

g = versnelling van de zwaartekracht [m/s²]

U = windsnelheid op 10 meter hoogte [m/s]

d = waterdiepte [m]

F = (effectieve) strijklengte [m]

H_s = significante golfhoogte [m]

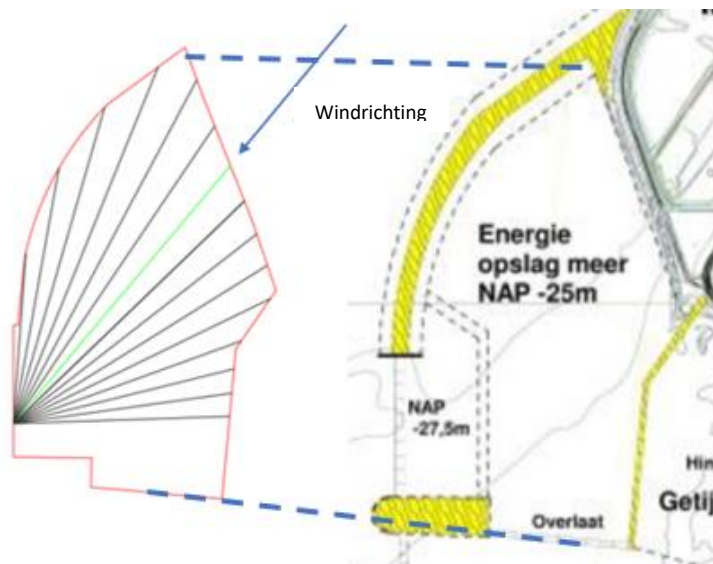
T_s = significante golfperiode [s]

De significante golfhoogte en periode worden per maand bepaald. Hiervoor worden de windgegevens van het KNMI gebruikt van de periode 1981 tot 2021. In bijlage 3 is te zien hoe de gemiddelde gegevens per maand zijn bepaald. Door deze gegevens te gebruiken in de berekening van de effectieve strijklengte kan zo bepaald worden met welke golfhoogte en periode. In tabel 2 en 3 zijn de gemiddelde windgegevens per maand genoteerd. In bijlage 7 zal ook de berekening van alle effectieve strijklengtes met hierbij de H_s en T_s te zien zijn. In figuur 16 is een voorbeeld te zien van hoe de lijnen voor de berekening van de effectieve strijklengte zijn getekend op het Energieopslagmeer.

Het invullen van de formules van Bretschneider met de gegevens per maand geeft het volgende:

maand	januari	februari	maart	april	mei	juni
H_s [m]	0,43	0,40	0,35	0,30	0,30	0,28
T_s [s]	2,71	2,63	2,49	2,30	2,29	2,24
maand	juli	augustus	september	oktober	november	december
H_s [m]	0,27	0,28	0,32	0,39	0,39	0,41
T_s [s]	2,20	2,24	2,38	2,58	2,60	2,66

Tabel 6 Significante golfhoogte en – periode per maand in het energieopslagmeer.



Figuur 16 Strijklengtes en de maatgevende windrichting, voor de bepaling van de effectieve strijklengte.

5.8 Energievraag

De energievraag van Delta21 wordt bepaald door de energie nodig voor het pompcomplex. Hierbij is van belang dat het totale vermogen van de pompen kan worden opgewekt met groene energie zover dit mogelijk is. Al de overige groene energie kan worden gebruikt in de rest van Nederland of opgeslagen worden in het Energieopslagmeer van Delta21.

5.8.1 Pompcomplex

In het plan van Delta21 zijn er een totaal van 360 pomp/turbine combinaties aanwezig. Deze pompen bevinden zich aan de rand van het Energieopslag in de waterkering. Elke pomp/turbine combinatie heeft een maximaal vermogen van 5 megawatt (MW). Het totale maximale vermogen van alle pompen bedraagt:

$$360 \text{ pompen/turbines} * 5 \text{ MW} = 1800 \text{ MW ofwel } 1,8 \text{ GW (gigawatt)}$$

Van Delta 21 mag de beschikbaarheid van het systeem niet op 100 % worden gesteld. Dit betekent dat de pomp/turbine combinaties niet 100 procent van de tijd gedurende een tijdvak van bijvoorbeeld één jaar in werking zullen zijn. De benodigde energie wordt dan op 1,4 GW, dus op 78 %, gesteld. Delta21 zegt dat de pompen een rendement van 85 % zullen hebben. Dus dan wordt de 1,4 GW elektrisch vermogen omgezet in $1,4 * 0,85 = 1,19 \text{ GW}$ waterkracht vermogen.

Moderne waterkrachtcentrales hebben sinds de negentiende eeuw een rendement van 85 %. Dit percentage wordt aangenomen voor het rendement van de turbines die worden gebruikt in het pompcomplex van Delta21. Dit betekent dat de turbines een opleverend vermogen hebben van $1,19 * 0,85 = 1,00115 \text{ GW}$.

5.8.2 Werkzaamheid

Door delta21 wordt er aangenomen dat het systeem, in het geval van normale weersomstandigheden, dagelijks 12 uur pompt en 12 uur als turbine functioneren. Dit betekend dat het pompverbruik per jaar is:

$$12 \text{ uur} * 3600 \text{ seconde} * 365 \text{ dagen} * 1,4 \text{ GW} = 2,2 * 10^{16} \text{ joule (J)}.$$

Dit omgerekend is:

$$2,2 * 10^{16} \text{ J} / 3,6 * 10^6 \text{ J (ofwel } 1 \text{ kWh)} = 6,132 * 10^9 \text{ kWh per jaar. Dit is } 6132 \text{ TWh per jaar aan pompverbruik. Hieraan wordt door de turbines wel terugverdiend.}$$

De turbines leveren in één jaar dan:

$$12 \text{ uur} * 3600 \text{ seconden} * 365 \text{ dagen} * 1,00115 \text{ GW} = 1,58 * 10^{16} \text{ joule (J)}.$$

Dit omgerekend is:

$$1,58 * 10^{16} \text{ J} / 3,6 * 10^6 \text{ J} = 4,385 * 10^9 \text{ kWh per jaar. Dit is } 4385 \text{ TWh opgeleverde energie per jaar door de turbines.}$$

Het verlies van stroom in dit systeem is dan te berekenen door de energieoplevering van de turbines van de het pompverbruik af te halen.

- Vermogen:

$$1,4 \text{ GW} - 1,0015 \text{ GW} = 0,3985 \text{ GW ofwel } 0,40 \text{ GW}$$

- Benodigde energie per jaar:

6132 TWh - 4385 TWh = 1747 TWh

Dus het uitgangspunt voor benodigde vermogen of energie, als er geen calamiteitenscenario aanwezig is, is 0,3985 GW of 1747 TWh per jaar.

De maandelijkse benodigde energie is $1747 \text{ TWh} / 12 = 145,58 \text{ TWh}$. De combinatie van een drijvend zonnepark en een windmolenpark op de primaire waterdijk moet dit opleveren. Het totale overzicht is te zien in tabel 7:

	Vermogen in [GW]	Jaarlijkse energie in [TWh]	Maandelijkse energie in [TWh]
Pompcomplex	1,40 (verbruik)	6.132 (verbruik)	511 (verbruik)
Turbines	1,00 (oplevering)	4.385 (oplevering)	365 (oplevering)
Energievraag	0,40 (benodigd)	1.747 (benodigd)	146 (benodigd)

Tabel 7 Overzicht energie balans pompcomplex in de normale situatie

5.8.3 Calamiteitenscenario

In een geval van een calamiteitenscenario dienen alle pompen op het complex volledig te kunnen draaien om zo waterveiligheid te garanderen. Delta21 wil de waterstand in het Haringvliet constant houden als de waterkeringen dicht zijn. Om dit te garanderen moeten de pompen van het complex een debiet kunnen pompen die net zo hoog is als de afvoer van het Haringvliet. In het ergste scenario moeten de pompen volledig worden gebruikt om zo een afvoerdebiet van $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ te bereiken.

Omdat elke pomp een maximaal pompvermogen van rond de $30 \text{ m}^3/\text{s}$ heeft is in dit scenario een pompvermogen van de eerdergenoemde 1,8 GW nodig. Dit vermogen moet, voor zover mogelijk, opgewekt worden door de groene energievoorzieningen van Delta21 zelf. Als dit niet kan worden behaald met de voorzieningen van Delta21 zelf moet er een back-up energievoorziening worden toegevoegd aan de het plan van Delta21.

Voor het calamiteitenscenario wordt er gekeken naar de duur van een zware storm. In het geval van een zware storm is de maximale capaciteit van het pompcomplex nodig om overtollig rivierwater weg te pompen. In Nederland zijn er sinds 1910 veel zware stormen geweest, wat een windsnelheid van boven de 100 km/h betekent. De langst durende zware storm had toen een duur van maximaal 2 dagen (Bijlage 12). Als het pompcomplex in dit geval op maximaal vermogen 2 dagen lang moet pompen betekent dit een verbruik van:

$$1,8 * 10^9 \text{ J} * (3600 \text{ seconde} * 48 \text{ uur}) / 3,6 * 10^6 \text{ J/s} = 8,64 * 10^7 \text{ kWh ofwel } 86,2 \text{ TWh in 2 dagen.}$$

Dit is de maatgevende energievraag in geval van een calamiteitenscenario.

6 Vooronderzoek drijvende zonnepanelen van GroenLeven

Zonnepaneel leverancier GroenLeven is gefocust op het ontwikkelen van zonneparken en zonnepanelen voor consumenten. In Nederland heeft het bedrijf al 854 zonneparken/zonnebronnen opgeleverd en daarmee 161.562 huishoudens voorzien van groene stroom. GroenLeven biedt vier mogelijkheden aan waar zonneparken gerealiseerd kunnen worden: op boerderijen, op bedrijfshallen, bij parkeergelegenheden en op het water. In dit vooronderzoek wordt gekeken naar het zonnepark op het water, oftewel een drijvend zonnepark.

GroenLeven heeft op de Bomhofspas (figuur 17) in Zwolle het grootste drijvende zonnepark van Europa en buiten China gerealiseerd. Het park bestaat uit 72.000 zonnepanelen die stroom opwekken voor 7.000 huishoudens.

De Bomhofspas heeft een dubbele functie gekregen door het aanbrengen van een zonnepark. Omdat deze plas ook een zandwinplas is voor Dekker Groep. Daarbij is het zonnepark ook heel lokaal. Het Energiefonds Overijssel en Blauwvinger Energie hebben een handtekening gezet onder de aandelenoverdracht, waarmee het zonnepark in lokaal eigendom is gekomen.

Bij het zonnepark wordt ook rekening gehouden met de ecologie en biodiversiteit. Een drijvend zonnepark neemt namelijk veel ruimte in en houdt veel licht tegen op een plas. Om de biodiversiteit te compenseren en zelfs te stimuleren wordt er gebruik gemaakt van biohutten. Deze hutten worden aan het zonnepark gehangen om zo de voortplanting van lokale vissen te stimuleren. Ook worden de oevers van de plas niet belast, doordat de verankering van het park in de bodem zit. En om nog genoeg licht door te laten gaan worden er genoeg ruimtes tussen de panelen vrijgehouden.

Het zonnepark op de Bomhofspas heeft een vermogen van 27,3 megawatt en zorgt hiermee dat er ruim 13.660 ton CO₂-uitstoot wordt gereduceerd.



Figuur 17 Realisatie Drijvend Zonnepark Bomhofspas. Bron: Groenleven.nl



Figuur 18 De 'zonnebootjes' worden op het water gebracht. Bron: Foto gemaakt door Willem Biesheuvel van GroenLeven.

Zoals in figuur 18 te zien is maakt GroenLeven gebruik van een dak formatie. Deze panelen zitten vastgeklemd in een stalen frame, die wordt gedragen door vier drijflichamen. Het stalen frame zit om de drijflichamen vastgeklemd. In dit zonnepark worden er negen 'zonnebootjes' aan elkaar vastgemaakt voordat ze het water op gaan. Als de boten op het water zijn dan wordt het park samengesteld.

7 Ontwerp drijvend zonnepark energieopslagmeer Delta21

In dit hoofdstuk wordt het ontwerp voor een drijvend zonnepark beschreven, die gebruikt gaat worden in het Energieopslagmeer van Delta21. Hierin worden de volgende onderwerpen toegelicht: de ontwerpeisen, de dimensionering van het zonnebootje en de indeling van het zonnepark.

7.1 Ontwerpeisen

Voor het drijvende zonnepark zal gebruikt gemaakt worden van het ontwerp van zonne-energie leverancier Groenleven. Groenleven is een sponsor van het plan Delta21, die gespecialiseerd is in het realiseren van zonneparken. Hieronder vallen ook drijvende zonneparken. In figuur 18 is een 'zonnebootje' zien. In bijlage 8 is zijn de gedetailleerde tekeningen te zien van het ontwerp. Een 'zonnebootje' bestaat uit:

- Twaalf zonnepanelen;
- Stalen frame, liggers die aan elkaar bevestigd zijn;
- Vier drijvers;
- Stroomkabels.

Een drijvende zonnepark bestaat uit:

- Per zonneblok, een oppervlakte van ongeveer 1,5 hectare, een transformator;
- Paalverankeringen van de bodem tot het drijvende zonnepark;
- Omvormers, toegepast per rij van een x-aantal zonnebootjes, die zich op het loopplatform bevinden;
- Loopplatform (alleen voorkomend na een x-aantal zonnebootjes zonder loopplatform).

De eisen per onderdeel van het drijvende zonnepark zijn hieronder genoteerd:

Zonnepanelen

- De zonnepanelen als primaire taak zonlicht om te zetten in elektriciteit.
- De zonnepanelen dienen bestendig te zijn tegen contact en indringen van zout water en zoet water.
- De zonnepanelen dienen bestendig te zijn tegen een langdurige windsnelheden van 7 m/s en bestendig tegen stormwinden van 25 m/s.
- De zonnepanelen dienen bestendig te zijn tegen zware hagel-, regen- en sneeuwbuien. Hierbij moet ook vorst meegenomen worden.
- De zonnepanelen moet bevestigd kunnen worden aan de drijvende constructie. De bevestiging moet een klemsysteem zijn, wat belangrijk is voor de vervanging van kapotte panelen.
- De zonnepanelen dienen bestendig tegen de zout- en zandspray die kan ontstaan door de wind in het gebied.
- De zonnepanelen dienen bestendig te zijn tegen het gedrag en de gevolgen van de ecologie in het plangebied.

Ponton Frame

- De stalen constructie dient te functioneren als verbinding tussen de zonnepanelen en de drijflichamen.
- Het gebruikte materiaal dient bestendig te zijn tegen contact en indringing van zout en zoet water.
- De constructie mag niet bezwijken onder de maatgevende belastingen.

Drijflichamen

- De drijflichamen dienen mogen de maximale diepgang van 400 mm niet overschrijden in zowel zout als zoet water.

Kabels, omvormers en transformatoren

- Alle vormen van elektriciteitsvoorzieningen dienen bestendig te zijn tegen de maatgevende weersomstandigheden op het Energieopslagmeer.
- Alle vormen van elektriciteitsvoorzieningen dienen resistent te zijn tegen zowel zout als zoet water.
- Alle vormen van elektriciteitsvoorzieningen dienen gezekeerd te zitten aan het zonnepark of zonnebootje.
- De stroomkabels die naar de oever van het Energieopslagmeer lopen dienen op het oppervlaktewater te drijven.

Drijvend zonnepark (geheel)

- Het zonnepark dient geheel drijvend te zijn.
- Het drijvende zonnepark dient mee te kunnen bewegen met de verandering in waterstand binnen het Energieopslagmeer.
- Het zonnepark dient in het horizontaal vlak (x- en y- vlak) gefixeerd te zijn.
- Het drijvend zonnepark moet voorzien zijn van loopplatformen.
- De drijvende zonnebootjes dienen alleen met de drijflichamen in het water te liggen, zowel belast als onbelast.

- Er moet tussen het drijvende zonnepark vrij oppervlaktewater zijn, die als doorgang voor boten dienen.
- Het park moet voorzien zijn van een aanmeerplek voor boten i.v.m. onderhoud van het park en vervanging van de zonnepanelen.
- De technische levensduur van het zonnepark dient minimaal 50 jaar te zijn.

7.2 Dimensionering zonnebootje

In dit hoofdstuk zullen de onderdelen van het ontwerp beschreven worden. De onderdelen van het zonnebootje worden beschreven. Hierbij zit ook de visualisatie van het gehele zonnebootje in figuur 19. Alle details en aanzichten zijn toegevoegd in Bijlage 8.

7.2.1 Zonnepanelen

De zonnepanelen die worden gebruikt beschikken over 6 banen met 12 zonnecellen. Elk zonnebootje zal beschikken over 12 zonnepanelen, waarbij er 6 in de oost-richting en 6 in de west-richting zijn gekanteld. De zonnepanelen die worden gebruikt in het zonnepark zullen de volgende afmetingen hebben: $l * b * h = 2002 \text{ mm} * 1004 \text{ mm} * 40 \text{ mm}$. In Bijlage 8 is de tekening van het zonnepaneel te zien.

7.2.2 Aluminium frame

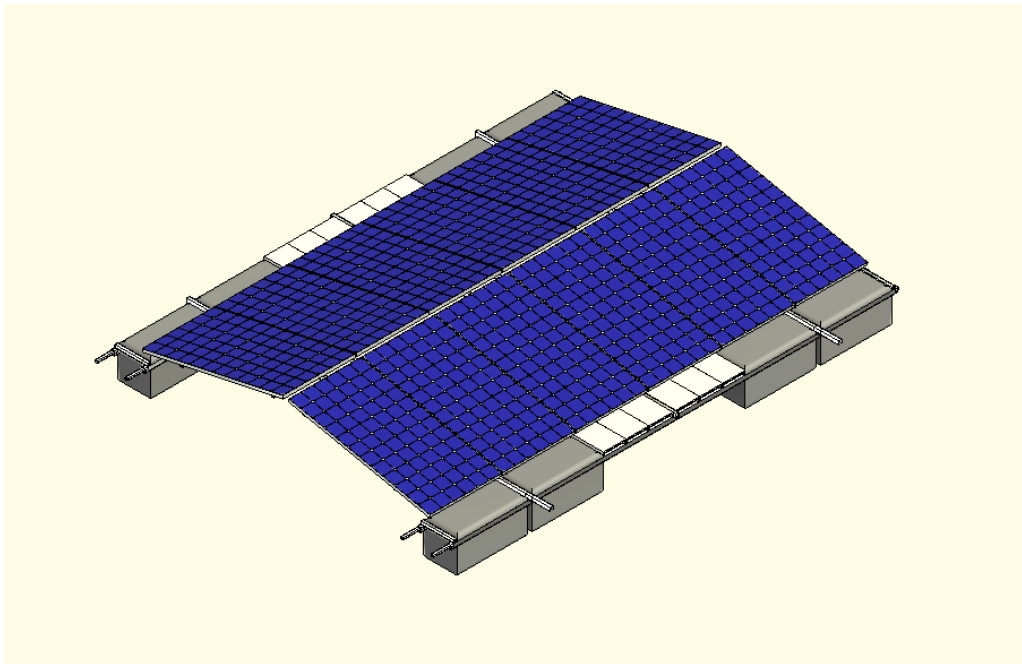
Op een zonnebootje liggen 12 panelen over het frame. Deze zijn vastgeklemd en hebben in de oost en west richting 6 panelen. De panelen liggen op een helling van 12 graden. Het frame is gemaakt meerdere liggers van geanodiseerd aluminium. Op de liggers zijn ook kleine loopplankjes gemaakt op twee punten tussen de locatie waar de drijflichamen komen. In bijlage 8 zijn alle aanzichten van het ontwerp van het zonnebootjes te zien met hierbij aangegeven welke onderdelen dit zijn.

7.2.3 Drijvers/pontons

Elk zonnebootjes wordt boven water gehouden met vier drijflichamen. Deze drijflichamen zijn op maat gemaakt en worden op de hoeken van elke bootje vastgeklemd aan het frame. Deze drijflichamen zijn gemaakt van plastic (Hoge Dichtheid Polyetheen) gevuld met lucht. In Bijlage 8 is het ontwerp van een individueel drijflichaam te zien.

7.2.4 Volledig ontwerp zonnebootje

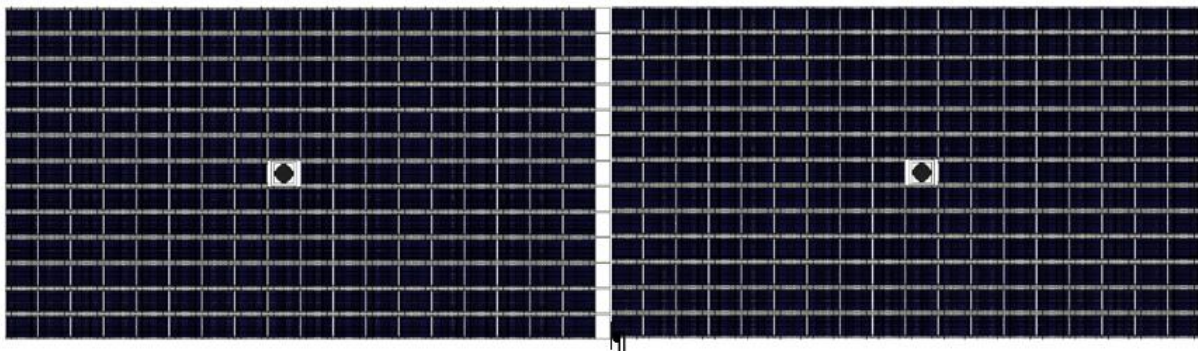
Een zonnebootje bestaat uit alle onderdelen die in de vorige sub paragrafen zijn opgenoemd. De oppervlakte van één zonnebootje: $6,1 \text{ m} * 4,7 \text{ m} = 28,67 \text{ m}^2$. De afmetingen van het ontwerp is te zien in bijlage 8. In figuur 19 is het 3D model van het zonnebootje te zien.



Figuur 19 Overzicht volledig ontwerp zonnebootje.

7.3 Indeling drijvend zonnepark

Het drijvende zonnepark bestaat uit rijen zonnebootjes die eerder zijn opgenoemd. De zonnebootjes worden opgesteld zodat de panelen gekanteld zijn naar het oosten en het westen. Op het meer zijn er voor de indeling van de zonnebootjes groepen van 468 zonnebootjes gemaakt. Deze groepen bestaan in de breedte uit 13 zonnebootjes en in de lengte uit 36 zonnebootjes. In één groep zonnebootjes bevindt zich ook een looppad in het midden van de oppervlakte. In figuur 20 is het bovenaanzicht van één groep te zien.



Figuur 20 Boven-aanzicht van één groep van 468 zonnebootjes.

In het zonnepark zijn er meerdere rijen gemaakt van de groepen die bestaan uit 468 zonnebootjes. Deze rijen zijn zo opgesteld dat de looppaden van elke groep op elkaar aansluiten. In het park zijn er 3 varianten van de hoeveelheid rijen. In Bijlage 9 zijn alle rijen van het drijvende zonnepark te zien.

- Een rij van 15 op één liggende groepen zonnebootjes;
- Een rij van 10 op één liggende groepen zonnebootjes;
- Een rij van 5 op één liggende groepen zonnebootjes.

Er zit variatie in deze rijen om er zo voor te zorgen dat het Energieopslagmeer zo optimaal mogelijk gevuld is met zonnebootjes. Er is gekozen voor maar 3 varianten om zo het type verankering zo gelijk mogelijk te houden voor het hele park. Meerdere varianten leiden tot meer verschil in belasting en dus meer variatie in de fundering. Dit is ook voordelig voor de realisatie van het park, omdat dit ervoor kan zorgen dat er veel gebruik gemaakt kan worden van hetzelfde materiaal en materieel. De indeling van het zonnepark is te zien in bijlage 9. Hier is duidelijk te zien wat de variatie in rijen zal zijn.

De indeling van het zonnepark zorgt ervoor dat er genoeg ruimte is voor de overlaat en het pompcomplex. Deze maatregel zorgt ervoor dat er genoeg ruimte is voor de zonnebootjes om geen last te hebben van de enorme debieten aan water die het Energieopslagmeer in- en uitgaan. Ook biedt dit ruimte voor onderhoud aan het pompcomplex en de overlaat.

Daarnaast zijn er geen zonnebootjes boven de helling van de primaire waterkering geplaatst in het ontwerp. De zonnebootjes zijn niet gemaakt om op een helling te komen liggen als het Energieopslagmeer 'leeg' komt te liggen, omdat de opstelling dan niet meer optimaal zonlicht opvangt. Als het meer 'leeg' is blijft er altijd een kleine laag water van 2,5 meter of meer liggen. Dit is diep genoeg om alle zonnebootjes drijvend te houden.

Het ontwerp van het drijvende zonnepark bestaat uit:

- 81 rijen van 15 groepen met zonnebootjes;
- 9 rijen van 10 groepen met zonnebootjes;
- 25 rijen van 5 groepen met zonnebootjes.

Dit betekent dat er in totaal 1430 groepen zijn van 468 zonnebootjes. Dit brengt het totaal zonnebootjes op 669.240 zonnebootjes op het energieopslagmeer. Het zonnepark zal een totale oppervlakte van 21,7 km² hebben.

8 Berekening drijvend zonnepark energieopslagmeer Delta21

In dit hoofdstuk zullen de hoofdlijnen van het berekeningsrapport van Bijlage 10 naar voren komen. Hierin zijn de volgende onderwerpen uitgerekend en bepaald: alle belastingen van het drijvende zonnepark, de belasting combinaties, het alternatieven onderzoek (Multi Criteria Analyse), de schematisering van de belasting op de gekozen verankering en de berekening van de gekozen verankering.

8.1 Belastingen

De belastingen van het drijvende zonnepark zijn opgedeeld in permanente belastingen, variabele belastingen en de nuttige belastingen.

Permanente belasting

Zonnepanelen:

$$12 \text{ zonnepanelen per zonnebootje} \Rightarrow 40 \text{ kg} * 12 = 480 \text{ kg}$$

Drijflichamen:

$$4 \text{ drijflichamen per zonnebootje} \Rightarrow 181 \text{ kg} * 4 = 720 \text{ kg}$$

Loopplankjes:

$$12 \text{ loopplankjes per zonnebootje} \Rightarrow 3 \text{ kg} * 12 = 36 \text{ kg}$$

Overige onderdelen:

Overige onderdelen, zoals bouten en moeren, worden verwaarloosd.

Totale gewicht zonnebootje:

Het totale gewicht van één zonnebootje bedraagt: 1250 kg ofwel 12,50 kN.

Totale gewicht groep zonnebootjes:

Het drijvende zonnepark bestaat uit een enorm grote hoeveelheid zonnebootjes. Het zonnepark is dan ook verdeeld in allemaal groepen. Er is een overzicht van deze groepen te zien in Bijlage 9. Onder één groep vallen 468 zonnebootjes. Deze groep wordt beschouwd als één drijvend platform die moet worden verankerd.

Het totale gewicht van één groep van het zonnepark bedraagt: $468 * 1250 \text{ kg} = 585.000 \text{ kg}$

Veranderlijke belasting

Windbelasting

In de berekening van de windbelasting wordt ervan uitgegaan dat bij één zonnebootje er alleen windbelasting wordt ondervonden op de **zijkant van de drijflichamen** van het bootje. Dit komt omdat de wind door de bootjes heen kan waaien. De windbelasting op elk punt berekenen waar hij het bootje aangrijpt, zowel aan de binnenkant als de buitenkant zal leiden tot een te grote berekening.

In deze situatie wordt de meest ongunstige windrichting gekozen voor de bepaling van de maatgevende windbelasting. In werkelijkheid zal de hoogste windsnelheid niet ontstaan met een loodrechte windrichting op het zonnepark, wat dus al een extra veiligheid oplevert. De berekening van de winddruk op de constructie is te zien in Bijlage 10 Paragraaf 3.1.

De maatgevende winddruk op de langste zijde van een groep zonnebootjes = $0,663 \text{ kN/m}^1$

Golfbelasting

Met de methode van Bretschneider (cf.[CERC, 1973]) is de golfhoogte en – periode te bepalen. De golfbelasting zal bij deze berekening ook worden uitgeoefend op de zijkant van de drijflichamen. Hiervoor zijn de volgende gegevens van belang:

	Waarde	Eenheid
Maatgevende waterdiepte (paragraaf 1.2)	25	m
Maatgevende windsnelheid (paragraaf 4.2)	25	m/s
Maatgevende effectieve Strijklengte (paragraaf 4.4.1)	550	m
Zwaartekrachtversnelling	9,81	m/s

Tabel 8 Maatgevende gegevens voor de methode van Bretschneider.

In Bijlage 10 paragraaf 3.2 is de volledige berekening te zien van de methode van Bretschneider en hoe de belasting door golfklap is berekend. De significante golfhoogte en -periode zijn:

$$H_s = 0,55 \text{ m}$$

$$T_p = 2,68 \text{ s}$$

Door belasting door golfklap op het zonnepark is:

$$P = 1,105 \text{ kN/m}^1$$

Nuttige belasting

In dit hoofdstuk wordt berekend wat het drijfvermogen van één zonnebootje is en wat de diepgang is als deze maximaal belast is.

Het drijfvermogen per zonnebootje wordt berekend door gebruik te maken van een aanname van het gewicht. In Bijlage 10 paragraaf 3.3 is deze aanname van het gewicht onderbouwd. Het totale gewicht van het zonnebootje is 1250 kN zijn. Het zonnebootje maakt gebruik van vier drijflichamen die ieder in stilstaand water maximaal 400 mm onder water mogen komen. In deze berekening zal een zoet watergetij worden gebruikt, omdat de diepgang van de zonnebootjes dan groter is dan in een zoutwater getij. In Bijlage 10 paragraaf 3.3 is de maximale diepgang van één zonnebootje berekend:

$$\text{Diepgang drijflichamen} = \frac{1250 \text{ kg} + 3396 \text{ kg} + 1998 \text{ kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} * (2,04 \text{ m} * 0,46 \text{ m} * 4)} = 0,18 \text{ m}$$

Dit betekent dat de maximale diepgang 180 mm bedraagt en deze dus voldoet.

8.2 Belastingcombinaties

Om de maatgevende belasting op de verankering te bepalen worden de berekende belastingen van de vorige paragrafen ingevuld in de formules voor de belastingcombinaties. Voor een drijvend zonnepark in het energieopslagmeer geldt gevolgklasse CC2/RC1. De volledige berekening van de belastingcombinaties is te zien in Bijlage 10 hoofdstuk 4.

Omdat het drijvende zonnepark geen blijvende belasting uitoefent op de verankering, maar op de drijflichamen, kan deze buiten beschouwing gelaten worden:

gevolgklasse CC2/RC1	UGT => K _{fi} = 0,9
6.10 a	UGT => (∑ 1,5 ψ ₀ Q _{k,i})
6.10 b	UGT => (1,5 Q _{k, overheersende belasting})

Op de verankering werken twee veranderlijke belastingen die tegelijkertijd kunnen optreden. Dit zijn de wind- en golfbelasting die zijn uitgerekend in paragrafen 3.1 en 3.2. Deze worden ingevuld in de belastingcombinatie formules:

$$6.10 \text{ a} \quad 1,5 * 0,4 * 0,663 + 1,5 * 0,4 * 1,105 \quad = 0,94 \text{ kN/m}^1 \quad (\text{niet maatgevend})$$

$$6.10 \text{ b} \quad 1,5 * 1,105 \quad = \underline{1,657 \text{ kN/m}^1} \quad (\text{maatgevend})$$

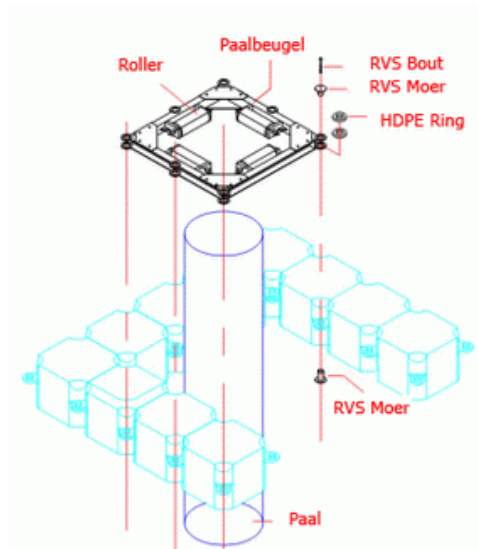
8.3 Varianten onderzoek

Varianten

Voor de verankering van het drijvende zonnepark moet er gekozen worden tussen twee varianten, om zo de beste keuze te maken voor dit plangebied. De varianten zullen in dit hoofdstuk beschreven worden en met elkaar worden vergeleken. De functie van de verankering is om het drijvende zonnepark ten alle tijden op zijn plaats te houden. De verankering moet ervoor zorgen dat het gehele drijvende zonnepark de mogelijkheid heeft om mee te kunnen bewegen met de verschillende waterstanden in het meer. De soorten verankering zijn:

- Een verankering van het zonnepark door gebruik te maken van palen die in de bodem staan. (niet mechanische verankering)

Dit is de eenvoudigere verankering van de twee varianten die kunnen worden toegepast bij dit project. Bij een x aantal zonnebootjes wordt een paalverankering gerealiseerd. In dit geval wordt de verankering alleen toegepast op de zonnebootgroepen die de maximale belasting ondervinden. Deze paal wordt in de grond getrild of geheid, waarna deze nog boven de waterlijn moet uitsteken. Om deze paal worden de zonnebootjes geplaatst, die dan met een ring om de paal heen vast zitten. Deze ring, ofwel paalbeugel, is aan de binnenkant voorzien van stootkussens die kunnen rollen om zo de schokken op te vangen. Tussen de stootkussens en de monopile zit een klein beetje ruimte voor beweging en uitzetting van het materiaal. Deze paal kan via de stootkussens de belasting die op het zonnepark werkt afdragen naar de grond waardoor het zonnepark niet wegdrijft. In figuur 21 is een schets gemaakt van monopile met de paalbeugel. Het voordeel van deze verankering is dat er geen gebruik gemaakt hoeft te worden een ingewikkeld mechanisch systeem.



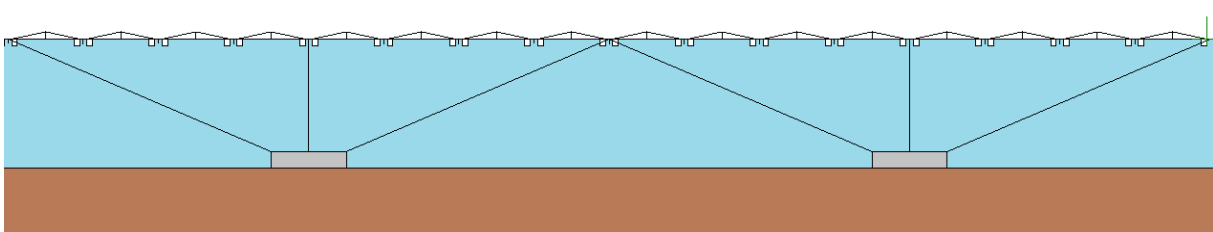
Figuur 21 Visualisatie paalverankering met pontons, alternatief 1.

- Een verankering van het zonnepark door betonnen blokken op de bodem te leggen. Daarna een kabelverbinding tussen het drijvende zonnepark en de betonnen blokken plaatsen. (mechanische verankering)

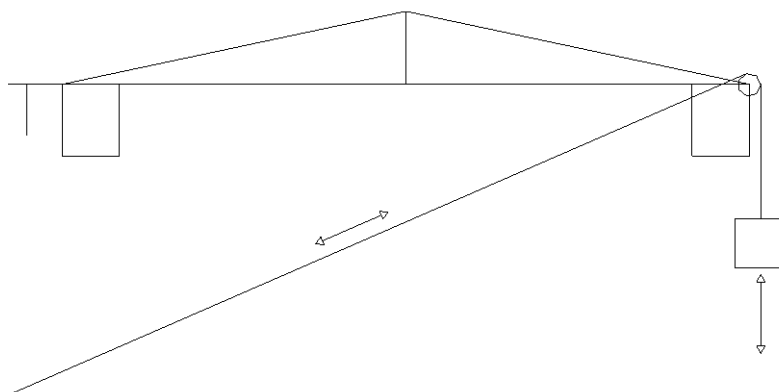
Bij dit type verankering wordt er gebruikt gemaakt van een mechanisch systeem. Dit betekent dat de verankering zich kan aanpassen aan de waterstand van het Energieopslagmeer. Door op de bodem zware betonblokken te plaatsen kunnen de krachten worden opgevangen door het eigen gewicht van de blokken. Deze blokken zijn in verbinding met het zonnepark doordat er een kabels tussen het blok en het zonnepark loopt. Deze kabels grijpen een groep zonnebootjes op meerdere plekken vast, om zo de belasting af te dragen naar het betonnen blok. Deze kabels zitten op één punt, dus op het betonnen blok of aan de zonnebootjes, om een katrol gewikkeld. Deze katrol kan de kabel langer en korter maken, wat het mogelijk maakt om met de waterstand mee te bewegen. Hiervoor moet dan een systeem worden ontworpen die de waterstand in het Energieopslagmeer opmeet en daarna de kabels daarop aanpast.

In figuur 23 is te zien dat de kabel van de verankering ook kan verlengen en verkorten door een gewicht aan het einde van de kabel te hangen. Doordat het drijfvermogen tegen dat gewicht in werkt blijft het zonnepark op zijn plek. Dit zou betekenen dat het park geen duur regelsysteem nodig zou hebben. Toch blijkt dat met deze waterstand verschillen deze oplossing niet mogelijk is om toe te passen, want het gewicht komt dan op de bodem te liggen voordat het water op zijn laagste punt is.

Het voordeel van deze verankering is dat de deze ten alle tijden onder water is en er geen regelsysteem hoeft ontworpen te worden. Dit voordelig is voor de horizonvervuiling en totale kosten. In figuur 22 is een zijaanzicht te zien van de verankering.



Figuur 22 Visualisatie blokverankering, alternatief 2.



Figuur 23 Schets gewicht constructie op alternatief 2.

Multi Criteria Analyse

Omdat beide alternatieven geschikt zijn om te gebruiken zal er gebruik gemaakt worden van een Multi Criteria Analyse (MCA) om een definitieve keuze te maken. Een MCA is een wetenschappelijke methode om tussen alternatieven een keuze te maken. Door criteria de bedenken en deze een bepaalde weegfactor te geven kunnen de alternatieven daarop vergeleken worden. Hoe hoger de weegfactor is, hoe belangrijker het criterium is voor het project. De weegfactoren zijn gegeven door Delta21. De volledige toelichting van de beoordelingscriteria en weegfactoren zijn te zien in bijlage 10 paragraaf 5.2.

De hoofdcriteria van deze MCA zijn:

- Kwaliteit van de verankering;
- Kosten van de verankering;
- Risico's die kunnen ontstaan bij de verankering.

In tabel 9 is te zien hoe de MCA is ingevuld en welke totaalscores er zijn ontstaan na de vermenigvuldiging met de weegfactoren.

Beoordelingscriteria		weegfactor	Paalverankering		Blokverankering	
1. Kwaliteit						
	Veiligheid	0,80	5	4	4	3,2
	Duurzaamheid	0,30	3	0,9	4	1,2
	Milieuvriendelijkheid	0,20	3	0,6	5	1
				5,5		5,4
2. Kosten						
	Stichtingskosten	0,80	4	3,2	2	1,6
	Onderhoudskosten	0,30	5	1,5	3	0,9
	Inspectiekosten	0,15	4	0,6	2	0,3
	Kosten aanpassingen	0,15	2	0,3	4	0,6
	Sloopkosten	0,05	2	0,1	4	0,2
	Hergebruik/recycling	0,05	2	0,1	4	0,2
				5,8		3,8
3. Risico's						
	Ontwerprisico's	0,20	5	1	3	0,6
	Bouwrnico's	0,30	4	1,2	4	1,2
	Gebruiksrisico's	0,30	4	1,2	3	0,9
				3,4		2,7
Totale score				14,7		11,9

Tabel 9 Multi Criteria Analyse voor alternatief 1 en 2.

Uit het MCA komt naar voren dat de paalverankering volgens deze beoordelingscriteria de beste keuze is om toe te passen bij het drijvende zonnepark. Op alle 3 de hoofd criteria scoort dit alternatief beter dan de blokverankering. De reden waarom de paalverankering vooral beter scoort is omdat het ontwerp een stuk minder complex is dan de blokverankering. Door een complexer model te ontwerpen komt er vaak een hogere kosten en meer risico bij. Dit heeft een nadelig effect op de totaalscore van de blokverankering.

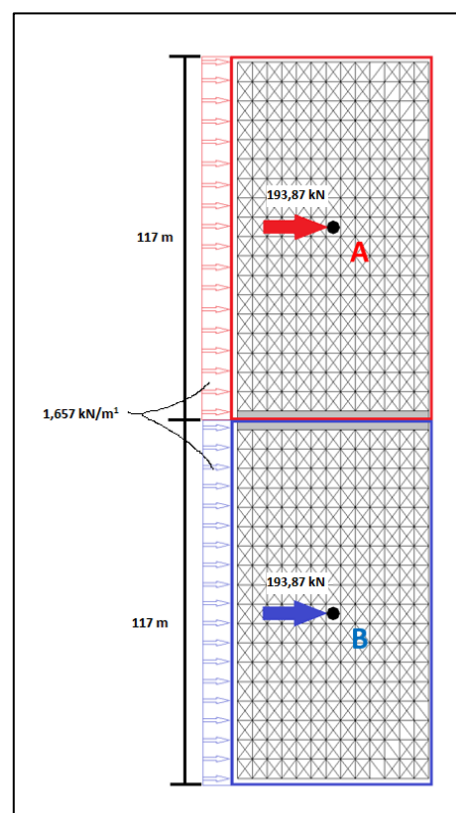
8.4 Belasting schematisering

De belastingen die op het drijvende zonnepark werken worden afgedragen naar de paalverankering. De drijvende zonnebootjes zijn met een stijve aansluiting aan elkaar verbonden. Dit betekent dat alle krachten door kunnen gegeven worden aan de monopiles in het midden van de zonnebootjes. Per groep van 468 zonnepanelen worden twee monopiles gebruikt om dit te verankeren. Alleen de groepen aan de maatgevende kant van het zonnepark (alle groepen aan de west- en zuidzijde) worden verankerd d.m.v. twee monopiles. De groepen van 468 zonnebootjes zijn niet aan elkaar bevestigd, dus de belastingen van andere groepen zonnebootjes worden niet doorgegeven. De toelichting van de gekozen groep zonnebootjes staat verwerkt in Bijlage 10 paragraaf 6.2. In Bijlage 14 is te zien welke groepen zijn verankerd met de monopiles en welke niet.

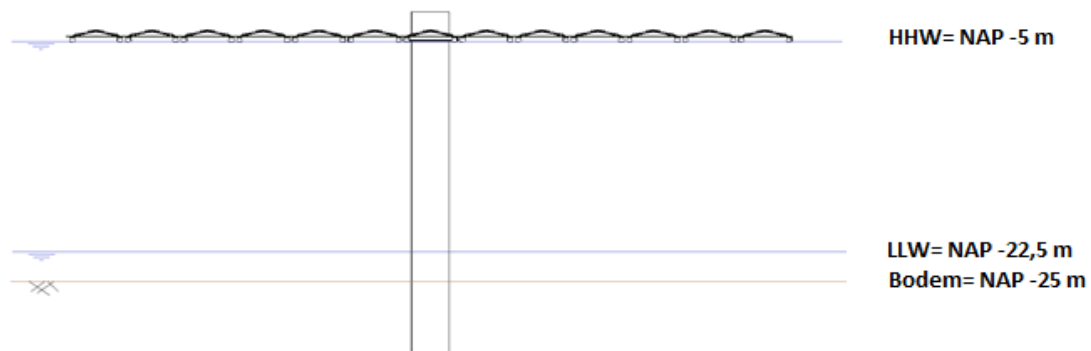
In figuur 24 is een bovenaanzicht van de een groep zonnebootjes te zien. Ook laat dit zien hoe de maatgevende belasting op de gemarkeerde groep zonnebootjes werkt. In de figuur is te zien dat de strekkende belasting zowel rood als blauw getekend is. Dit is om aan te geven dat de rode belasting wordt afgedragen naar monopile A en de blauwe belasting naar monopile B. Deze strekkende belasting zal worden omgezet in een puntlast op de monopile. Zowel de golfbelasting als de windbelasting werkt op de zijkant van de drijflichamen bij elk zonnebootjes.

In Bijlage 10 paragraaf 6.2 is de berekening gemaakt die een uiteindelijke puntlast van 193,87 kN per paal geeft.

In figuur 25 is het zijaanzicht van de groep zonnebootjes te zien. Hierbij zijn de twee uiterste waterstanden te weergegeven in het Energieopslagmeer.



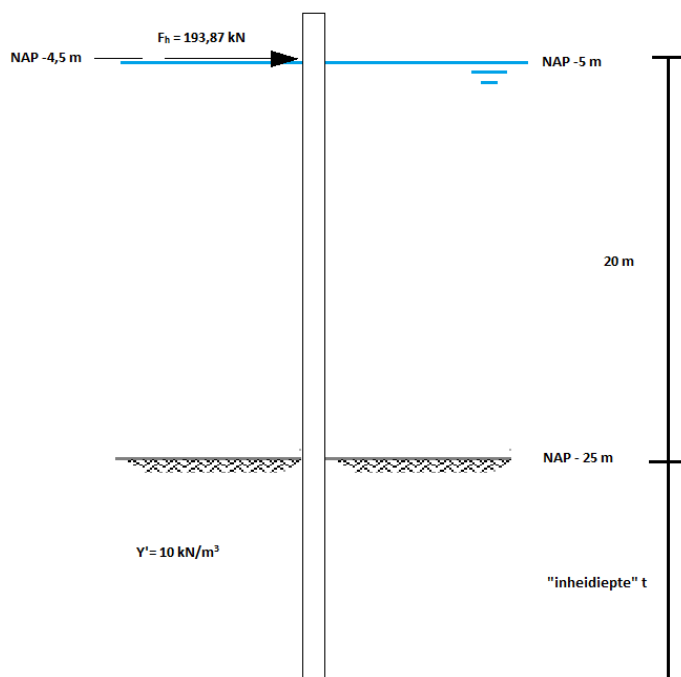
Figuur 24 Schema belastingverdeling drijvend zonnepark.



Figuur 25 Zijaanzicht paalverankering drijvend zonnepark.

Belastingschema

Om de inheidiepte van de monopile te bepalen moet eerst de maatgevende situatie worden geschematiseerd. Omdat de hoogste en laagste waterstand in het meer zo ver van elkaar afliggen leidt dit tot significante verschillen in krachten op de paal. De maatgevende situatie zal in dit geval de hoogste waterstand zijn, omdat in deze situatie het hoogste moment in de paal ontstaat. Het schema is te zien in figuur 26.



Figuur 26 Schema belasting op de paalverankering.

8.5 Berekening paalverankering

In Bijlage 10 paragraaf 6.3 is te zien hoe met de methode van Blum de inheidiepte en het maximale moment van de gekozen verankeringspaal wordt bepaald. In deze berekening zijn de volgende punten aangehouden:

- Omdat er in de maatgevende ondergrond gegevens twee kleine lagen klei voorkomen na een diepte van 10 meter wordt aangenomen dat de ondergrond bestaat uit dezelfde grond voor deze berekening.
- De belasting van het zonnepark is de enige horizontale kracht die wordt geplaatst op de monopile, omdat de belasting door golven en wind verwaarloosd kunnen worden. Deze aanname wordt gedaan, omdat de golven en wind worden afgezwakt door het drijvende zonnepark.
- De belasting van het drijvende zonnepark grijpt aan op een halve meter boven de hoogste waterstand, omdat dit de hoogste plek is waar de paalbeugel om de monopile zich kan bevinden.

Inheidiepte

Uit deze berekening komt naar voren dat de “inheidiepte t ” (figuur 26) minimaal 8,067 meter moet zijn.

Maximaal moment

Omdat er geen verticale kracht op de paal werkt, dit omdat er geen constructie wordt toegepast aan de bovenzijde van de paal, kan er alleen een maximaal moment van de eerste orde berekend worden. Het maximaal moment van de eerste orde in de monopile bedraagt 6,426 kNm.

8.6 Vermogen zonne-energie

In deze paragraaf zal het vermogen van het zonnepark worden bepaald en daarna de verwachte oplevering van stroom door het jaar heen en per maand. Voor deze berekening maken we gebruik van de volgende gegevens:

- Het drijvende zonnepark bestaat uit 669.240 zonnebootjes die een totaaloppervlakte hebben van 21,7 km² (paragraaf 8.3).
- Elke 1,5 hectare (ha) aan zonnebootjes is goed voor een piekvermogen van 2 megawatt (MW). Dit is naar aanleiding van het ontwerp van organisatie GroenLeven.
- In Bijlage 3 tabblad 2 is berekend wat de verwachte zonneshijn per maand zal worden, aan de hand van de gegevens van het KNMI. Deze gegevens worden gebruikt voor de verwachte oplevering per maand.
- Uit Bijlage 11 is aangenomen dat het rendement van de zonnepanelen van dit zonnepark 22 procent is. Dit betekent dat er 22 procent van het piekvermogen wordt omgezet in elektrische energie.

Het totale piekvermogen (Wp) van het drijvende zonnepark bedraagt:

$$1 \text{ ha} = 0,015 \text{ km}^2 = 2 \text{ megawattpiek (MWp)}$$

$$21,7 \text{ km}^2 / 0,015 \text{ km}^2 = 1446 * 2 \text{ MWp} = 2.893 \text{ MWp ofwel } 2,893 \text{ gigawattpiek (GWp)}.$$

8.6.1 Verwacht oplevering per jaar

Totale groene energieoplevering per jaar, gebaseerd op de zongegevens uit paragraaf 6.6.1 en Bijlage 3 en 6 bedraagt:

$$2,893 \text{ GWp} = 2,893 * 10^9 \text{ J/s} = 2,893 \text{ GJ/s} (1850 \text{ uur} * 3600 \text{ seconde}) = 19.267,38 \text{ TWh per jaar.}$$

Deze hoeveelheid moet dan nog vermenigvuldigd worden met het rendement van 22 procent:

$$19.267,38 \text{ TWh} * 0,22 = 4.238 \text{ TWh aan energie per jaar.}$$

Dit is de verwachte energie oplevering van het drijvende zonnepark per jaar.

8.6.2 Verwacht oplevering per maand

In tabel 10 hieronder is de verwachte oplevering per maand genoteerd. De zonuren per zijn gebaseerd op de gegevens van het KNMI.

Verwachte energie oplevering per maand in TWh gebaseerd op het aantal zonuren	januari	februari	maart	april	mei	juni
	740,38	1.004,796	1.607,6736	2.221,128	2.506,7016	2.400,93
	juli	augustus	september	oktober	november	december
	2.453,82	2.263,4352	1.713,44	1.279,7928	761,59	613,45

Tabel 10 Verwachte energie van het drijvende zonnepark per maand.

9 Kostenraming Drijvend Zonnepark

In dit hoofdstuk wordt een indicatie gegeven wat de kosten voor het drijvende zonnepark van Delta21 zal worden. Hierbij wordt ook de verwachte oplevering aan energie genoteerd.

De informatie over de realisatiekosten van een drijvend zonnepark en de monopile verankering zijn niet vrijgegeven. Dit komt of door een tekort aan informatie of concurrentiegevoeligheid, dus zijn deze kosten buiten beschouwing gelaten. De kosten van het materiaal in van het gehele drijvende zonnepark zijn niet buiten beschouwing gelaten. De totale kosten van het materiaal in het drijvende zonnepark is **€ 3.937.451.000,00**. De berekening van de kostenraming staat in Bijlage 15.

Dit is gebaseerd op een kosten van € 300,00 per zonnepaneel, € 100,00 per drijflichaam, € 1.000,00 per aluminium frame. Hierbij zijn ook de kosten van de omvormers, kabelnetwerk en aansluiting op het E-netwerk en pompcomplex meegenomen.

In totaal is zijn er 669.240 zonnebootjes op het park, die goed zijn voor een piekvermogen van 2,893 GWp. De verwachte jaarlijkse energie oplevering, met een rendement van 22%, is 4.238.000.000 kWh.

In de kostenraming is ook berekend wat de verwachte oplevering aan energie per jaar, uitgedrukt in euro, is voor het drijvend zonnepark. Met de weergegevens berekend in dit rapport wordt een oplevering van **€ 932.360.000,00** per jaar verwacht. Dit is gebaseerd op een gemiddelde prijs per kilowattuur van € 0,22.

10 Alternatief/toevoeging windmolenpark Delta21

Dit hoofdstuk is een algemene uitleg over een idee om een windmolenpark te plaatsen op de dijk van het Delta21 model. Dit hoofdstuk zal alleen aantonen wat de oplevering van dit idee zal zijn en hoe het ontwerp van de windmolen eruit komt te zien. Het berekenen van de krachten op de windmolen en op de dijk van het Energieopslagmeer zijn in dit verslag buiten beschouwing gelaten.

10.1 Vooronderzoek innovatieve windmolen

Vanuit Delta21 is voorgesteld om gebruik te maken van een innovatieve windmolen ontwerp. Dit innovatieve windmolen ontwerp is bedacht door Dutch Wind Design (voorheen Megawindforce). Dit model is nog in de fase van prototypes en is dus nog niet gebruikt op grote schaal. Dit zorgt ervoor dat er weinig gegevens beschikbaar zijn gesteld over dit model. Vanuit Delta21 is een vergadering geregeld die gevoerd kon worden tussen de afstudeerder en de oprichter van Dutch Wind Design (DWD). Omdat er nog veel concurrentie gevoeligheid ligt rond dit ontwerp mag er niet veel over het ontwerp worden laten zien. In figuur 27 is een visualisatie van het ontwerp te zien.



Figuur 27 Visualisatie innovatief windmolen ontwerp van Dutch Wind Design. Bron: deepresource.wordpress.com.

Het doel van het DWD-ontwerp is het verminderen van het wake-effect achter de windmolen. Hiermee wordt bedoeld dat de turbulentie achter de windmolen lager is en de wind dus sneller wordt hersteld. Hiermee is het mogelijk om de omliggende windmolens dichter op elkaar te zetten, met daarbij een optimaal gebruik van de windmolen.

Uit de vergaderingen zijn de volgende gegevens naar voren gekomen:

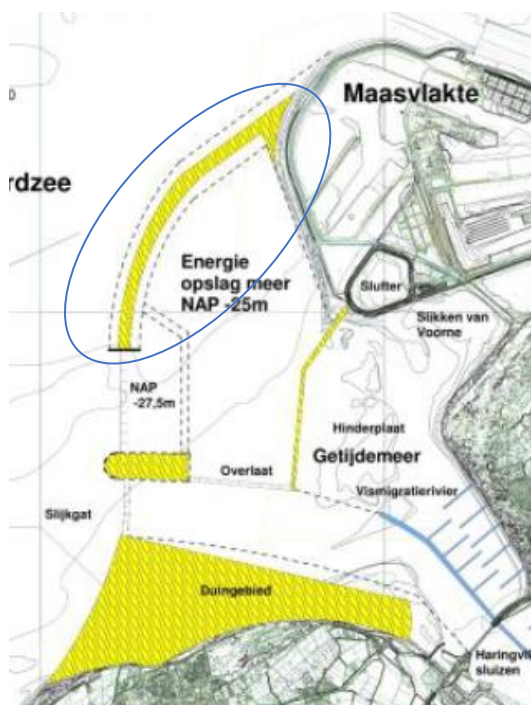
- Elke windmolen van DWD heeft een rotordiameter van 18 meter.
- Elke windmolen van DWD zal in dit ontwerp een rotor hoogte hebben van 20 meter.
- De benodigde ruimte per windmolen zal rond een diameter liggen van 4 keer de rotordiameter. Dit is dan $4 * 18 \text{ m} = 72 \text{ m}$.
- De jaarlijkse oplevering van één windmolen zal bij een gemiddelde windsnelheid van 7 m/s rond de 167 MWh zijn.

De jaarlijkse oplevering is erg afhankelijk van de windsnelheden, maar ook op welke windsnelheid de windmolen optimaal wordt gebruikt. DWD beschikt over een de gegevens die laten zien wat de jaarlijkse oplevering van één windmolen is per gemiddelde windsnelheid op een bepaalde hoogte. Deze informatie mocht niet worden vrijgegeven.

Omdat veel gegevens niet beschikbaar zijn gesteld vanwege concurrentiegevoeligheid van DWD is het niet mogelijk om nauwkeurig te bepalen wat de verwachte maandelijkse oplevering is aan stroom door windenergie. Omdat de gemiddelde windsnelheid per jaar wel is bepaald kan er een schatting gemaakt worden van de jaarlijkse stroom oplevering.

10.2 Ontwerpidee windmolens

Om een ontwerp te maken voor een windmolenpark moet een locatie worden gekozen. Het plan is om deze locatie te combineren met het plangebied van Delta21. In het laatste ontwerp van Delta21 (zie figuur 28x) is te zien dat er rondom het Energie opslagmeer voor een groot gedeelte dijken zijn ontworpen. De dijk aan de noordwestzijde (omringd in figuur 28) is het langste en is interessant voor het plaatsen van windmolens. Voor het ontwerpidee is er dan ook voor gekozen om deze dijk te gebruiken om windmolens op de plaatsen. Deze dijk heeft in de dwarsdoorsnede genoeg ruimte om een windmolen te plaatsen.



Figuur 28 Ontwerp Delta21, dijk aan de noordwestzijde.

In paragraaf 6.1 is genoteerd dat de dijk aan de noordwestzijde een lengte heeft van 8670 m. Omdat elke windmolen een diameter van 72 meter ruimte nodig heeft kan worden bepaald hoeveel windmolens er op de dijk gerealiseerd kunnen worden. Dit zijn in totaal:

$$8670 \text{ m} / 72 \text{ meter} = 120 \text{ windmolens van DWD.}$$

10.3 Verwachte energie oplevering

Nu het aantal windmolens bekend is kan de verwachte energie oplevering per jaar berekend worden. Elke windmolen levert jaarlijks gemiddeld 167 MWh op. De energie oplevering door de windmolens op de noordwestdijk is dan:

$$120 \text{ windmolens} * 167 \text{ MWh} = 20 \text{ TWh per jaar.}$$

Conclusie

Het doel van dit onderzoek was het antwoord vinden op de hoofdvraag: ‘Welk systematisch en constructief ontwerp van een wind- en zonnepark is het beste om toe te passen voor het idee van Delta21, om er zo voor te zorgen dat het hele projectgebied is voorzien van duurzame energie?’ Om op een antwoord te komen is het van belang dat eerst onderzocht wordt wat het antwoord is op de deelvragen.

Als eerste wordt er antwoord gegeven op deelvraag 1: ‘Wat is het doel en de stand van zaken bij het plan Delta21?’. Het primaire doel van Delta21 is voor waterveiligheid zorgen in de Nederlandse Delta. Bij dit primaire doel zijn er ook twee andere doelen vastgesteld die worden gecombineerd met het garanderen van waterveiligheid. Hiermee doelt Delta21 op de rivierwaterstand die zal stijgen in geval van een calamiteitenscenario. Door grote pompcomplexen te realiseren die een debiet van 10.000 m³/s kunnen pompen kan de rivierwaterstand gelijk blijven als de stormvloedkeringen gesloten zijn. De twee andere doelen van Delta21 zijn energieopslag en natuurherstel. Door elke dag de pompen van het plan te gebruiken kan er opgewekte elektrische energie omgezet worden in waterkracht. Dit kan vervolgens later gebruikt worden om weer om te zetten in elektrische energie. Delta21 wil ook een milieuvriendelijke verbinding tussen de Noordzee en het Haringvliet terugkrijgen. Dit zal leiden tot een terugkerend zout getij het Haringvliet. Ook zal dit helpen met de biodiversiteit en natuurherstel in de rivier. De hoofdlijnen van het ontwerp Delta21 bestaat momenteel uit de volgende onderdelen: waterkerende dijken met hierin een pompcomplex, een Energieopslagmeer (valmeer), een Getijdenmeer en een vismigratiemeer. Een groot gedeelte van deze onderdelen worden momenteel nog verder onderzocht en ontworpen.

Ten tweede is er antwoord gegeven op deelvraag 2: ‘Wat zijn de uitgangspunten en randvoorwaarden voor het wind- en zonnepark ontwerp?’. Om antwoord te geven op deze vraag zijn meerdere onderzoeken uitgevoerd naar het plangebied van Delta21. In het rapport zijn de volgende onderdelen verwerkt: de eisen voor een windmolen- en drijvend zonnepark, de randvoorwaarden en de uitgangspunten. De belangrijkste randvoorwaarde is de energievraag van het Delta21. Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat, als het pompcomplex elke dag 12 uur pompt en 12 uur als turbine wordt gebruikt, er elk jaar 1747 TWh nodig is om het systeem draaiende te houden. Hiernaast is het gebied onderzocht op: windgegevens, golven, zonintensiteit, bodemgegevens en waterstanden.

Ten derde is er antwoord gegeven op deelvraag 3: ‘Welk ontwerp voor de drijvende zonnepanelen en windmolens is het meest voordelig om toe te passen?’. Om antwoord te geven op deze vraag is een vooronderzoek verricht over zonnepanelen in het algemeen. Hierna is er gekeken naar bestaande ontwerpen van projecten met drijvende zonnepanelen. Vanuit Delta21 is voorgesteld dat er gebruikt wordt gemaakt van het ontwerp van sympathisant GroenLeven. Dit ontwerp is verder uitgewerkt en doorgerekend. Hiernaast is er ook een idee bijgekomen om nieuwe innovatieve windmolens van Dutch Wind Design in het plangebied te gebruiken. Omdat er over dit model nog weinig gegevens beschikbaar gesteld zijn is ervoor gekozen om het ontwerp van het windmolenpark als idee toe te voegen, maar is het uitgebreide ontwerp en berekening buiten beschouwing gebleven.

Vervolgens is deelvraag 4 behandeld: ‘Welk scenario is het beste voor Delta21, kijkend naar het wind- en drijvend zonnepark?’ Voor deze vraag is de indeling van het drijvende zonnepark ontworpen. Hierbij zijn de belastingen van het zonnepark berekend en de juiste verankering bepaald. Uiteindelijk zal het drijvende zonnepark bestaan uit 669.240 zonnebootjes, die een gezamenlijke oppervlakte van 21,7 km² hebben. Deze zonnebootjes zijn verdeeld in groepen van 468 zonnebootjes, die per groep worden verankerd. De gekozen verankering voor dit ontwerp is een buispaal (of monopile) geworden, waar het zonnepark omheen drijft. Per groep aan de buitenzijde van het park zal er gebruik gemaakt worden van twee palen die de belastingen van het zonnepark overdragen in de grond. De rest van de groepen is verbonden om zo deze belastingen over te dragen naar de monopiles.

De laatste deelvraag luidt: ‘Kan het ontwerp van het wind- en zonnepark Delta21 voorzien van genoeg stroom in zowel een normale situatie als een calamiteitenscenario?’. De energievraag is uitgewerkt en het model voor het zonnepark en windmolen is gekozen. Hiermee is het mogelijk om te berekenen of de groene energievoorzieningen kunnen voldoen aan de energievraag van Delta21. De energievraag (in het geval dat er geen calamiteitenscenario aanwezig is) blijft elke maand constant. De verwachte opwekking van groene energie varieert elke maand door de verandering van de seizoenen. Het is dus van belang dat er wordt gekeken of er elke maand genoeg groene energie opgewekt wordt om aan de maandelijkse energievraag te voldoen voor zowel de normale situatie als het calamiteitenscenario. In tabel 11 is de energievraag voor beide situaties genoteerd.

	Normale situatie	Calamiteitenscenario
Energievraag	145,58 TWh per maand	86,2 TWh in 2 dagen

Tabel 11 Energievraag Delta21 in normale situatie en calamiteitenscenario.

De verwachte energieoplevering van het drijvende zonnepark per maand staat genoteerd in tabel 12.

Verwachte Energie oplevering per maand in TWh gebaseerd op het aantal zonuren	januari	februari	maart	april	mei	juni
	740,38	1.004,796	1.607,6736	2.221,128	2.506,7016	2.400,9336
	juli	augustus	september	oktober	november	december
2.453,82	2.263,4352	1.713,44	1.279,7928	761,59	613,45	

Tabel 12 Verwacht energie oplevering van het drijvende zonnepark per maand.

Uit de tabellen komt naar voren dat in december de minste hoeveelheid stroom zal opgewekt worden door zonlicht. Omdat deze maand ook valt onder de maanden waar een calamiteitenscenario kan voorkomen is dit de maatgevende energieopwekking. Uit de twee tabellen is te concluderen dat er in de normale situatie genoeg stroom beschikbaar is om het pompcomplex te laten werken, omdat de verwachte hoeveelheid opgewekte groene stroom (613,45 TWh) ruim boven de energievraag (145,58 TWh) in ligt.

Tijdens een calamiteitenscenario is er een enorm vermogen nodig over een korte periode. Omdat de energieopbrengst per maand is berekend, moet dit worden omgezet in oplevering per dag. Voor december zal dit de gemiddelde oplevering van 2 dagen bij elkaar zijn. Over een periode van 2 dagen in december zal er rond de 40 TWh opgewekt worden. Dit is niet voldoende om het vermogen van de pompen aan te kunnen. Dus moet er in het plan worden meegenomen dat er een back-up stroomvoorziening aanwezig is, voor het geval er in de toekomst een calamiteitenscenario voorkomt.

Tot slot zal de hoofdvraag worden beantwoord: 'Welk systematisch en constructief ontwerp van een wind- en zonnepark is het beste om toe te passen voor het idee van Delta21, om er zo voor te zorgen dat het hele projectgebied is voorzien van duurzame energie?'

Door gebruik te maken van een drijvend zonnepark in het Energieopslagmeer van Delta21 kan er genoeg stroom worden opgewekt om in de **normale** situatie, wat betekent dat er per dag 12 uur lang stroom wordt verbruikt door de pompen en 12 uur per dag stroom wordt opgewekt door gebruik te maken van turbines, genoeg stroom worden opgewekt het hele jaar door. In geval van een **calamiteitenscenario** zal er een back-up voorziening van stroom worden gebruikt om de energievraag te behalen. Een toevoeging op het ontwerp zou een windmolenpark kunnen zijn op de noordwestduin van Delta21, die de energieoplevering per maand zal vergroten.

Aanbevelingen

- *Alternatieve vormen:*

Vanuit Delta21 is voorgesteld om het ontwerp van partner GroenLeven te gebruiken in het ontwerp voor een drijvend zonnepark in het Energieopslagmeer. Dit model is gebruikt in het ontwerp, maar er is ook een mogelijkheid om andere vormen van zonne-energie op water te implementeren in dit project. Dit zal verder moeten worden onderzocht.

- *Schaal:*

Uit de kostenraming is gebleken dat de kosten van het drijvende zonnepark erg hoog liggen. Vanuit Delta21 is voorgesteld om het Energieopslagmeer zo vol mogelijk te zetten met drijvende zonnepanelen. In het ontwerp is gekozen om het meer dan ook zo vol mogelijk in te delen. In werkelijkheid is dit ontwerp niet realistisch, omdat de investeringskosten veel te hoog liggen. Omdat het drijvende zonnepark een toevoeging is op het gehele plan van Delta21 zal hier geen prioriteit liggen. Daarom wordt er voorgesteld om op een kleinere schaal te beginnen, en door de jaren heen het drijvende zonnepark uit te breiden tot het ontwerp wat in dit rapport is opgesteld.

- *Verankering:*

Het drijvende zonnepark hoeft niet gelijkmatig verdeeld te worden met paalverankeringen. De maatgevende belastingen die zijn berekend komen alleen voor aan de rand van het drijvende zonnepark. De belastingen door de invloed van wind en golven worden afgezwakt naarmate de zonnebootjes meer in het midden van het park komen te liggen. Hierdoor wordt er aanbevolen om alleen op de plekken waar de maatgevende belastingen kunnen ontstaan een paalverankering te plaatsen, en de groepen zonnebootjes aan de binnenzijde van het park aan te sluiten aan de groepen die wel verankerd zijn. Hierdoor kan het mogelijk zijn om een minder palen te gebruiken in het ontwerp.

Ook is er in de berekening van de verankering aangenomen dat de grond onder het meer gelijk zal zijn met de metingen van DINO-loket. Deze grondmetingen zijn gemaakt in de situatie dat er nog geen Energieopslagmeer is gebaggerd. Dit kan betekenen dat de grondopbouw kan afwijken van de metingen nadat het Energieopslagmeer is gerealiseerd. Er moeten dus nieuwe grondonderzoeken worden gedaan na de realisatie van het Energieopslagmeer.

- *Kostenraming*

Momenteel is alleen de kosten voor alle onderdelen van het drijvende zonnepark berekend. Hierbij zijn de realisatiekosten van het park niet in meegenomen. Daarbij is de kosten voor het plaatsen van de verankering van het park ook buiten beschouwing gelaten. Ook moeten de kosten voor de werkvoorbereiding en eindafwerking van het project worden berekend. Door een tekort aan informatie, onder andere door concurrentiegevoeligheid, was het niet mogelijk om de totale geschatte kosten te berekenen.

- *'Building with Nature'*
In het ontwerp van een nieuw drijvend zonnepark is het principe van 'Building with Nature' nauwelijks meegenomen. Het ontwerp van het zonnepark heeft wel rekening gehouden met de doorlatendheid van licht voor de ecologie onder het zonnepark. Er zou onderzoek kunnen verricht worden om bijvoorbeeld het idee van GroenLeven te implementeren in het project. Hiermee worden de biohutten bedoeld beschreven in Hoofdstuk 6.
- *Recreatie:*
Het plan van Delta21 kan na de realisatie een trekpleister worden voor toeristen die de Deltawerken komen bekijken. Het drijvende zonnepark zal dan gebruikt kunnen worden om te bezichtigen met boottochten over het meer.

Bibliografie

- Delta21. (z.d.). *Delta21*. Geraadpleegd op 23 januari 2021, van <https://www.delta21.nl/>
- van Dam, J. L. (2020, april). *Ontwerp Duinenrij Energie-opslagmeer* (Nr. 1). Joost van Dam. <https://www.delta21.nl/wp-content/uploads/2020/06/Duin-STRANDontwerp-DELTA21-Joost.pdf>
- Paasman, Y. (2020, februari). *Design for the in- and outlet structure of the Energy Storage Lake within the Delta21 plan* (Nr. 1). Yordi Paasman. https://www.delta21.nl/wp-content/uploads/2020/03/Master_thesis_Yordi_Paasman-1.pdf
- Deltawerken - Kierbesluit*. (z.d.). Deltawerken - Kierbesluit. Geraadpleegd op 5 februari 2021, van <http://www.deltawerken.com/Kierbesluit/1640.html>
- AutoDesk. (2021). AutoCad
- AutoDesk. (2021). Revit
- Bart van der Veer. (2013). Deltaprogramma Waterveiligheid: K van Kans naar Kans x Gevolg.
- Deltacommissaris. (2019). Waterveiligheid | Deltaprogramma | Deltacommissaris. Geraadpleegd 26 november 2019, van <https://www.deltacommissaris.nl/deltaprogramma/gebieden-engenerieke-themas/veiligheid>
- Wikipedia-bijdragers. (2020, 30 oktober). *Klimaatwet*. Wikipedia. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Klimaatwet>
- Solarfields. (2021, 6 mei). *Drijvend zonnepark | Zonnepanelen op een waterplas*. <https://www.solarfields.nl/zonnepanelen-op-het-water/drijvend-zonnepark/>
- Atlas actueel*. (z.d.). Noordzeeloket. Geraadpleegd op 10 februari 2021, van <https://www.noordzeeloket.nl/atlas-actueel/>
- Waterschapsblad 2018, 9128 | Overheid.nl > Officiële bekendmakingen*. (z.d.). Waterschapsblad. <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/wsb-2018-9128.html>
- Waterschap Hollandse Delta. (2018, juli). *BELEIDSREGEL WINDTURBINES OP OF NABIJ PRIMAIRE WATERKERINGEN* (Nr. 1). <https://repository.officiele-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2018-73385/1/bijlage/exb-2018-73385.pdf#:~:text=Deze%20beleidsregel%20heeft%20betrekking%20op%20artikel%203.5%20lid%202%20van%20de%20Keur.&text=Deze%20beleidsregel%20is%20van%20toepassing,w%20a%20arvoor%20een%20watervergunning%20is%20vereist.&text=Toetsingscriteria-1.,dat%20de%20waterveiligheid%20geborgd%20is.>

- Drijvend zonnepark: bespaar en verdien geld met eigen energie.* (z.d.). Groenleven. Geraadpleegd op 4 maart 2021, van https://groenleven.nl/drijvend-zonnepark?gclid=EAlaIqobChMI- ui3rPGL7wIVDah3Ch27DwS7EAAYASAAEgLnZvD_BwE
- Handgraaf, S. *Vergunnen zonneparken op water: Wet- en regelgeving* [Presentatieslides]. Colibri Advies. <https://edepot.wur.nl/486815>
- wetten.nl - Regeling - Wet ruimtelijke ordening - BWBR0020449.* (2018, 1 juli). Wet Ruimtelijke Ordening. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0020449/2018-07-01>
- Keur.* (z.d.). Kenniscentrum InfoMil. <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/wetgeving/waterschapswet-0/inhoud/keur/>
- KNMI - Klimaatviewer.* (z.d.). Klimaatviewer. <https://www.knmi.nl/klimaat-viewer/>
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (2019, 16 december). *Wind rose for wind speed at height 20m for different locations.* Image Library | KNMI Projects. <https://www.knmiprojects.nl/projects/knw-atlas/image-library/f020-windrose>
- KNMI - Daggegevens van het weer in Nederland.* (z.d.). Daggegevens van het weer in Nederland. Geraadpleegd op 15 maart 2021, van <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens>
- S. (2019, 15 september). *Hoe ontstaan golven?* BoardShortz.nl. [https://www.boardshortz.nl/hoe-ontstaan-golven/#:%7E:text=Golven%20ontstaan%20door%20gebeurtenissen,vaak%20een%20la gedruk%20gebied\)%20waait.&text=Op%20deze%20rimpels%20heeft%20de,het%20begin%20van%20een%20golf.](https://www.boardshortz.nl/hoe-ontstaan-golven/#:%7E:text=Golven%20ontstaan%20door%20gebeurtenissen,vaak%20een%20la gedruk%20gebied)%20waait.&text=Op%20deze%20rimpels%20heeft%20de,het%20begin%20van%20een%20golf.)
- Home.* (z.d.). Helpdesk water. <https://www.helpdeskwater.nl>
- Groot denken, goed doen - GroenLeven marktleider in zonne-energie.* (z.d.). Groenleven. https://groenleven.nl/?gclid=Cj0KCQjwna2FBhDPArisACAec_UhUDGGHQEwrRIZkVy-vqZwZySuW_I_KhxqwiffZW5-M3fagnJudB4aAuwREALw_wcB
- Wikipedia-bijdragers. (2021, 12 februari). *Storm (wind).* Wikipedia. [https://nl.wikipedia.org/wiki/Storm_\(wind\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Storm_(wind))
- Blok, R. (2018). *Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen* (10de ed.). ThiemeMeulenhoff bv.
- Caires, S. (2012, april). *Maximale significante golfhoogte bij ondiep water en maximale golfsteilheid* (Nr. 1). Deltaris. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:ebab6a4e-9f77-45fab34e-0ac0423060b1/datastream/OBJ>
- Decker, K. (2014, 25 januari). *Waterkrachtcentrales.* Down To Earth Magazine. <https://downtoearthmagazine.nl/waterkrachtcentrales/#:%7E:text=Waterturbines%2C%20die%20werden%20ontwikkeld%20in,rendement%20van%20tenminste%2085%20procent>
- HKV. (2015, januari). *Bureaustudie ter validatie van golfgroeiformules voor gelimiteerde strijklengte* (Nr. 1). <https://edepot.wur.nl/383507>

- Dekker, V. (2017, 22 februari). *Nederlandse megamolens mooi klein voor Hollandse kust*. Trouw. <https://www.trouw.nl/nieuws/nederlandse-megamolens-mooi-klein-voor-hollandse-kust~b9e12194/>
- Rendement zonnepanelen: Berekenen en prijs advies*. (2020, 12 oktober). Zonne-paneel.net. [https://www.zonne-paneel.net/rendement-zonnepanelen/#:%7E:text=Het%20zonnepanelen%20rendement%20\(effici%C3%ABntie%20zonnepanelen,een%20vermogen%20van%201300%20Wp.](https://www.zonne-paneel.net/rendement-zonnepanelen/#:%7E:text=Het%20zonnepanelen%20rendement%20(effici%C3%ABntie%20zonnepanelen,een%20vermogen%20van%201300%20Wp.)
- Anonymus, N. N. (1984, januari). *Leidraad voor de toepassing van asfalt in de waterbouw* (Nr. 1). Rijkswaterstaat, COW. <https://doi.org/10.4233/uuid:6f1d7383-921c-4cbe-9df2-f9d0174c68ff>
- Hoe werken zonnepanelen? | Essent*. (z.d.). www.essent.nl. <https://www.essent.nl/content/particulier/energie-besparen/zonnepanelen/hoe-werken-zonnepanelen.html#:~:text=Een%20zonnepaneel%20bestaat%20uit%20zonnecellen,Dat%20heet%20gelijkstroom.>
- Milieu Centraal. (z.d.). *Hoe werken zonnepanelen*. Geraadpleegd op 20 maart 2021, van <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/zonnepanelen/hoe-werken-zonnepanelen/>
- Zonnecellen*. (2021, 12 mei). Zonnepanelen-info.nl. <https://www.zonnepanelen-info.nl/zonnecellen/>
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2021, 24 februari). *Productie groene stroom met 40 procent gestegen*. <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/08/productie-groene-stroom-met-40-procent-gestegen>
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2021b, maart 22). *Huishoudens nu*. <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/dashboard-bevolking/woonsituatie/huishoudens-nu#:~:text=Gemiddeld%20wonen%20er%20%2C14,sneller%20gegroeid%20dan%20de%20bevolking.>

Figurenlijst

Figuur 29 Natura 2000-Voordelta. Bron: Delta21.nl

Figuur 30 Kierbesluit Haringvliet. Bron: Delta21.nl

Figuur 31 Zouttong en zout-zoet stratificatie. Bron: Delta21.nl

Figuur 32 Opties voor Haringvliet-zonder-met Kierbesluit en update 2019. Bron: Delta21.nl

Figuur 33 Gesloten Maeslantkering. Bron: <https://www.interlandtechniek.nl/projecten/de-maeslantkering>.

Figuur 34 Mosselkwekerij, kan worden toegepast in het Energieopslagmeer. Bron: <http://www.hollandluchtfoto.nl/>

Figuur 35 Plangebied inrichting Delta21. Bron: Delta21.nl

Figuur 36 Lay-out Delta21 versie 4 2021. Bron: Delta21.nl

Figuur 37 Duurzame Energie. Bron: atosborne.nl

Figuur 38 Verdeling omheining Energieopslagmeer die aansluit op Maasvlakte 2. Bron: Delta21.nl

Figuur 39 Ontwerp Delta21 versie 15 februari 2021. Bron: Delta21.nl

Figuur 40 Dijktraject met lengte. Bron: Delta21.nl.

Figuur 41 Doorsnede primaire dijk Delta21. Bron: Master thesis, Influence of rapid draw down on dike stability.

Figuur 42 Doorsnede dijk Delta21 met relatieve dichtheid. Bron: Master thesis, Influence of rapid draw down on dike stability.

Figuur 43 Schema rekenvoorbeeld effectieve strijklengte. Bron: Helpdenskwater.nl

Figuur 44 Strijklengtes en de maatgevende windrichting, voor de bepaling van de effectieve strijklengte.

Figuur 45 Realisatie Drijvend Zonnepark Bomhofspas. Bron: Groenleven.nl

Figuur 46 De 'zonnebootjes' worden op het water gebracht. Bron: Foto gemaakt door Willem Biesheuvel van GroenLeven.

Figuur 47 Overzicht volledig ontwerp zonnebootje.

Figuur 48 Bovenaanzicht van één groep van 468 zonnebootjes.

Figuur 49 Visualisatie paalverankering met pontons, alternatief 1.

Figuur 50 Visualisatie blokverankering, alternatief 2.

Figuur 51 Schets gewicht constructie op alternatief 2.

Figuur 52 Schema belastingverdeling drijvend zonnepark.

Figuur 53 Zijaanzicht paalverankering drijvend zonnepark.

Figuur 54 Schema belasting op de paalverankering.

Figuur 55 Visualisatie innovatief windmolen ontwerp van Dutch Wind Design. Bron: deepresource.wordpress.com.

Figuur 56 Ontwerp Delta21, dijk aan de noordwestzijde..