

**Delta21. Een concept als voorbeeld van integraal ontwerp en interdisciplinaire samenwerking**

**Recente Delta21-afstudeerwerken uit het Delta Futures Lab gebundeld**

Voorendt, Mark; Timmermans, Jos

**Publication date**

2020

**Document Version**

Final published version

**Published in**

TU Delft DeltaLinks

**Citation (APA)**

Voorendt, M., & Timmermans, J. (2020). Delta21. Een concept als voorbeeld van integraal ontwerp en interdisciplinaire samenwerking: Recente Delta21-afstudeerwerken uit het Delta Futures Lab gebundeld. *TU Delft DeltaLinks*.

**Important note**

To cite this publication, please use the final published version (if applicable). Please check the document version above.

**Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

**Takedown policy**

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights. We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

## Delta21

### Een concept als voorbeeld van integraal ontwerp en interdisciplinaire samenwerking

*Recente Delta21-afstudeerwerken uit*

*het Delta Futures Lab gebundeld*

#### **Aanleiding voor het Delta21-concept**

Deltagebieden als typische getijdegebieden vertegenwoordigen doorgaans een grote natuurwaarde. De grond is er vruchtbaar en als internationaal kruispunt van trekroutes leeft er een grote verscheidenheid aan vissen en vogels. Delta's zijn daarnaast door hun vruchtbare grond en de natuurlijke waterinfrastructuur aantrekkelijk voor mensen. De antropogene functies zullen een steeds grotere invloed krijgen op de inrichting van deltagebieden, gezien de groei van de bevolking en het toenemende ruimtebeslag. De Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OESO) schat in dat er wereldwijd in 2070 alleen al in grote havensteden 140 miljoen mensen zullen leven en er 30 000 miljard euro aan economische bezittingen zullen zijn ondergebracht. De lage ligging van deltagebieden maakt ze echter kwetsbaar voor overstromingen.

De overstromingsrisico's behoeven in toenemende mate de aandacht van landinrichters, bestuurders en ingenieurs. Niet alleen de toenemende waarden van de tegen overstromingen beschermde gebieden nopen hiertoe, ook de risicoacceptatie lijkt te dalen. Daarbij komt dat de effecten van klimaatverandering de risico's zullen vergroten, indien niet wordt ingegrepen. De onzekerheden in de voorspellingen van deze effecten maken het echter niet eenvoudig om op een verantwoorde manier te anticiperen op de toenemende overstromingsrisico's. Langs de Nederlandse Noordzeekust is de gemeten trend in zeespiegelstijging sinds ca. een eeuw tot op heden ca. 0,20 m/eeuw, maar computermodellen voorspellen tot meer dan anderhalve meter stijging tot aan het jaar 2100. Cees Oerlemans, afstudeerder aan de TU Delft, maakte een grafiek met voorspellingen van de gemiddelde mondiale zeespiegelstijging in 2100 sinds 1983 (afbeelding 1). Opvallend is dat enkele van de eerdere studies op veel hogere waarden uitkwamen dan meer recente studies.

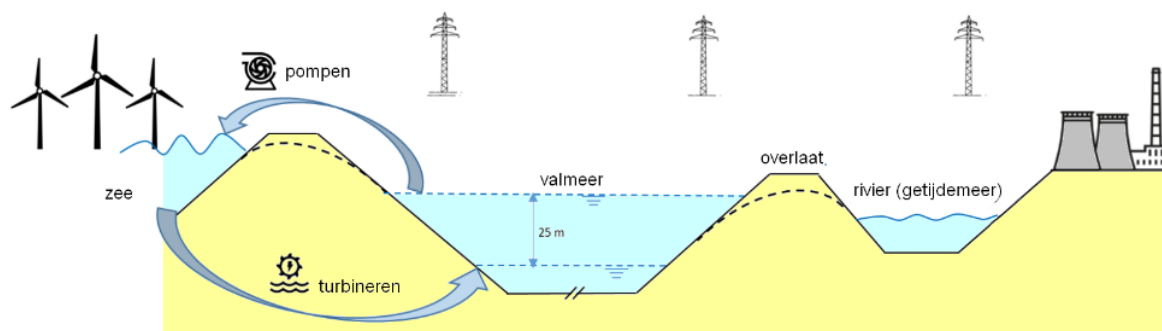




Afbeelding 2. Overzicht met de hoofdcomponenten van het Delta21-concept (Berke en Lavooij, 2020)

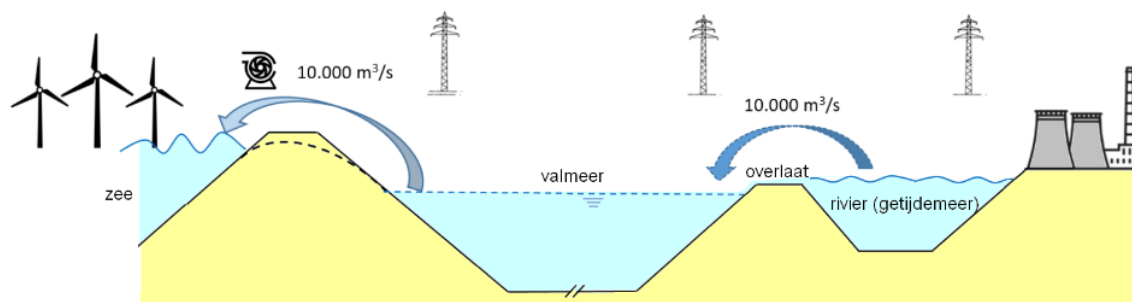
Om onder normale omstandigheden het rivierwater via de Haringvliet te kunnen blijven lozen op zee, wordt de duinenrij onderbroken door een spuisluis die in geval van een stormvloed op zee kan worden afgesloten met schuiven om het achterland te beschermen tegen overstromingen. Omdat het rivierwater in het geval van een gesloten spuisluis niet zou kunnen wegstromen naar zee, zou dat in uitzonderlijke situaties toch tot overstromingen kunnen leiden, reden waarom Delta21 voorziet in een serie gemalen met ruim voldoende capaciteit (10 000 m<sup>3</sup>/s) om bij de allerhoogste rivierafvoeren het overtollige water naar zee te pompen. Delta21 zou zo de versterking en vooral de verhoging van 800 km aan rivierdijken overbodig maken (Lavooij, 2018).

Als bijdrage aan de oplossing voor het probleem van de discrepantie van aanbod en vraag bij zonne- en windenergie, wordt achter de duinenrij een valmeer gecreëerd met een oppervlak van 20 km<sup>2</sup> en een bodemniveau van NAP - 25 m (plaatselijk maximaal NAP - 27 m). Dit valmeer is bedoeld als energiebuffer: bij een overschot aan zon- of windenergie wordt het water uit het meer gepompt en bij een tekort aan energie stroomt het water weer terug door de pompen die dan als turbines werken om elektriciteit op te wekken (zie afbeelding 3).



Afbeelding 3. Schematische weergave van de werking van het valmeer tijdens normale operationele omstandigheden (naar Timmermans, 2019)

Dit heeft als voordeel dat er geen twee systemen hoeven te worden gebouwd en onderhouden, maar ook dat het systeem regelmatig in bedrijf is en niet alleen in het zeldzame geval dat een stormvloed samengaat met een hoge rivierwaterafvoer. Hiervoor is het wel nodig dat de piekrivierafvoer via een overlaat of een sifon in het valmeer kan stromen. Afbeelding 4 toont de werking van het valmeer ten tijde van een gesloten spuisluis gecombineerd met een hoge rivierwaterafvoer. In aanvulling zouden nog drijvende zonnepanelen in het valmeer kunnen worden gebouwd en kunnen een warmwaterbassin en een windmolenpark worden toegevoegd.



Afbeelding 4. Schematische weergave van de werking van het valmeer tijdens een stormvloed op zee, gecombineerd met een piekafvoer vanuit het Haringvliet (naar Timmermans, 2019)

Het project zou financieel ook aantrekkelijk zijn, aangezien het volgens voorzichtige aannames voor 2030 een opbrengst € 110 miljoen/jaar zou leveren, terwijl de besparing aan dijkversterkingen tot 2050 zou bedragen € 2 miljard (en ruim € 6 miljard tot 2100). De geschatte jaarlijkse CO<sub>2</sub>-besparing is 4 Mton, wat overeenkomt met 200 miljoen euro (bij een prijsniveau van € 50/ton CO<sub>2</sub>). Hierbij is nog geen rekening gehouden met zeespiegelrijzing en de waarde van het herstel van de natuur en de terugkeer van de vismigratie.

### Integrale studies naar de haalbaarheid van het concept

Hoewel bij het bedenken van het concept de haalbaarheid grofweg is ingeschat, bleven er vele vragen open staan over de werking van het concept. Het betreft een omvangrijk project dat nog niet

eerder is uitgevoerd en er zijn nog veel onzekerheden - niet in het minste als het gaat om het inschatten van de effecten van klimaatverandering. Ook de opbarstbestendigheid van de bodem van een leeg valmeer en de impact van het project op de omgeving (kooldioxide- en stikstofuitstoot) vragen om verdere studie. Er is een lijst opgesteld met ca. 50 vragen die zich goed lenen als afstudeerwerk voor studenten van hogescholen en (technische) universiteiten. Het betreft voornamelijk voorstudies op het gebied van de civiele techniek, morfologie, bestuurskunde & management, ecosystemen, landschapsinrichting, duurzame energieopwekking en economie, die evt. knelpunten aan het licht moeten brengen en oplossingsrichtingen dienen te verkennen.

Het concept van Delta21 leent zich uitstekend voor een integrale aanpak waar verschillende disciplines samenkomen. Een interdisciplinair platform waar studenten, onderzoekers en bedrijfsleven elkaar ontmoeten is het Delta Futures lab. Het verrijkt en ondersteunt masterstudenten om de missie-georiënteerde ingenieurs te worden die de maatschappij nodig heeft om de problemen in deltagebieden op te lossen. De gemeenschap van Delta21-studenten is een belangrijk onderdeel geworden van het Delta Futures lab. Hieronder volgt een aantal voorbeelden van studentenprojecten gerelateerd aan Delta21. De komende maanden zullen meer studies worden voltooid en worden gepubliceerd.

### **Invloed van Delta21 op de overstromingsrisico's**

Voor de beoordeling van de haalbaarheid van Delta21 is een van de belangrijkste vragen hoe het watersysteem zich gaat gedragen onder de verschillende operationele condities. De te bouwen constructies zullen immers de afvoer door de verschillende riviertakken beïnvloeden en daarmee ook de waterstanden en de overstromingsrisico's beïnvloeden.

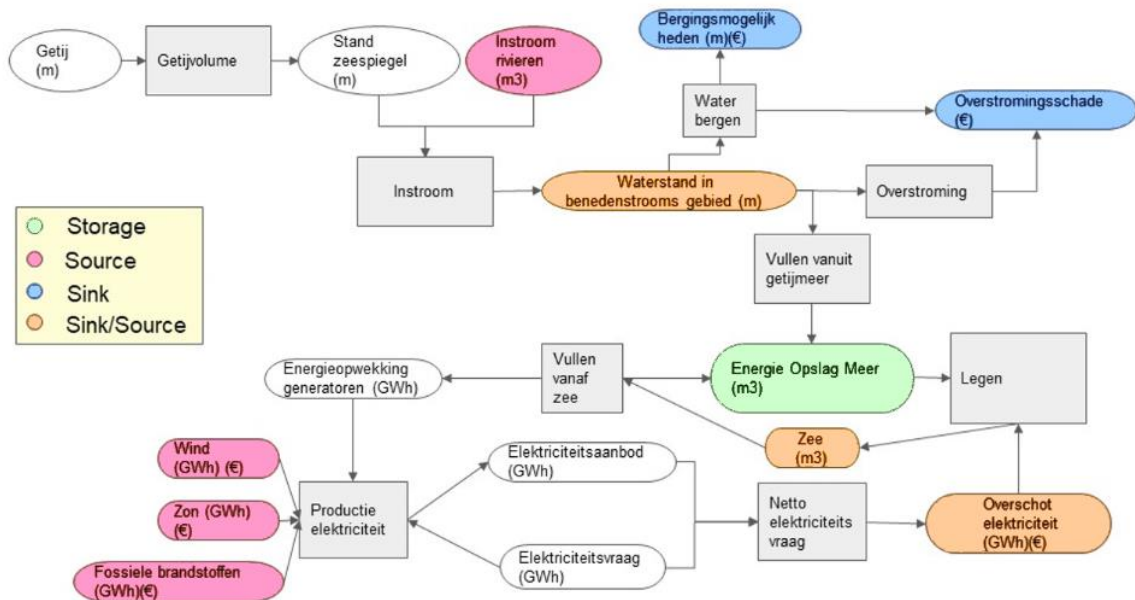
Cees Oerlemans, student Civiele Techniek en Wetenschapscommunicatie aan de TU Delft, heeft hier een initiële studie naar gedaan. Zijn werk is op dit moment nog niet definitief, maar als voorlopige resultaat van door hem uitgevoerde stromingssimulaties kan wel genoemd worden dat Delta21 het hoogste waterpeil bij Maassluis en Rotterdam met ruim een meter zou reduceren in het geval van een gesloten spuisluis (storm op zee en piekrivierafvoer). Verder landwaarts wordt die reductie minder, maar bij Dordrecht is er toch nog sprake van 0,60 m waterstandsverlaging. Oerlemans heeft ook nagegaan dat Delta21 het onverhoopt falen van een sluiting van de Maeslantkering niet zou kunnen opvangen (wat echter ook niet de bedoeling van het plan is geweest).

Delta21 richt met het project en het opslagmeer op een maximale overstromingskans van eens in de 20.000 jaar (Delta21, 2018). Met deze terugkeertijden heeft student Guus van de Bosch de toegevoegde maatschappelijke baten van het opslagmeer berekend. Hij concludeerde dat, als voor de totale schade van een overstroming een conservatieve 50 miljard euro wordt aangenomen, het overstromingsrisico zonder het opslagmeer in een willekeurig jaar ongeveer 5 miljard euro zou zijn. Met Delta21 is dit slechts 2,5 miljoen euro. De schattingen van de terugkeertijd en mogelijke schade zijn ruw, maar geven desondanks duidelijk aan dat de aanleg van het opslagmeer significante maatschappelijke baten heeft wat betreft de waterveiligheid.

### **Het beheer en maatschappelijk belang van Delta21**

Vijf bachelor-studenten Technische Bestuurskunde & Management begeleid door Pieter Bots hebben het beheer van Delta21 als onderdeel van het Nederlandse elektriciteitsnetwerk en waterveiligheidssysteem bestudeerd. Zij ontwikkelden gezamenlijk een optimalisatiemodel voor de

evaluatie van de bedrijfsvoering en het beheer van de elektriciteitsopwekking en de waterveiligheid van het Delta21-concept. Het model werd geïmplementeerd in Linny-R, een programmeeromgeving voor industriële procesoptimalisatie (afbeelding 7).



Afbeelding 7. Conceptueel optimaliseringsmodel (Van de Bosch, 2020)

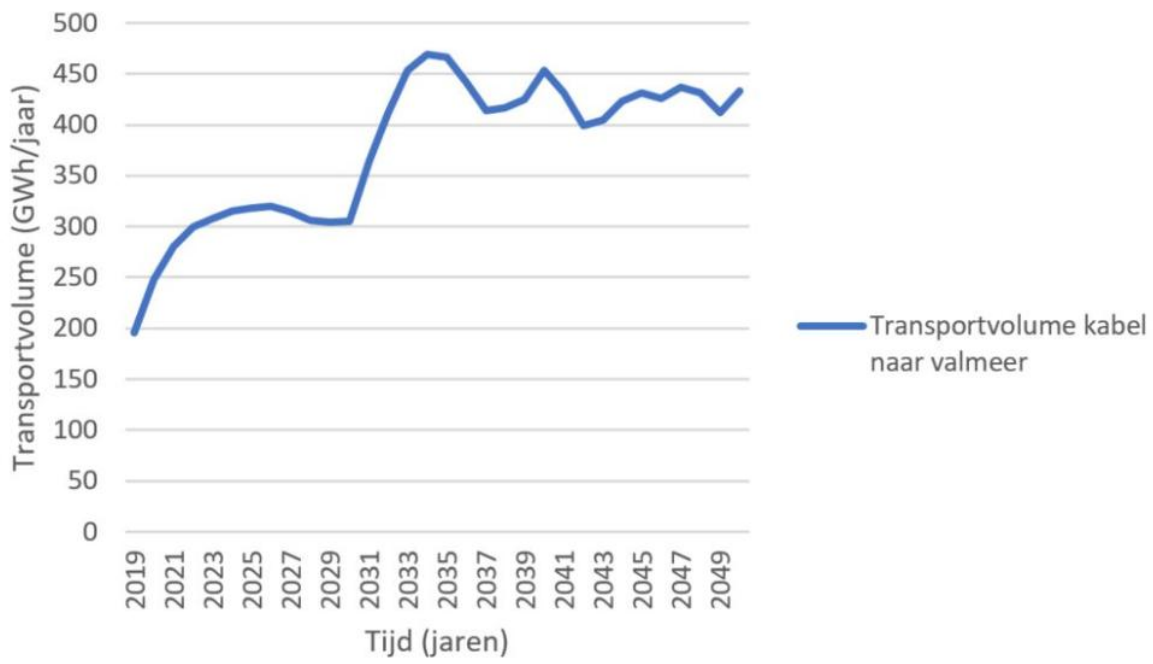
Bij de evaluatie werden meerdere perspectieven belicht. Daan Emmerich onderzocht de businesscase voor Tennet van de investering in een kabel om Delta21 aan het Nederlandse elektriciteitsnetwerk te koppelen. Guus van de Bosch beschouwde een breder perspectief en analyseerde de maatschappelijke kosten en baten van Delta21 in relatie tot de elektriciteitstoelevering en waterveiligheidsbeheer. Kerem Tunca bestudeerde het rendement en de terugverdienperiode voor de investeringen in elektriciteitsopwekking van Delta21. Marleen Vink concentreerde zich op institutionele integratie van Delta21 in het waterveiligheidssysteem en de energiemarkt, terwijl Pieter van Spaendonck analyseerde de gevoeligheid van de winst die met energieopslag in Delta21 kan worden gemaakt voor verschillende scenario's voor de verduurzaming van de Nederlandse energievoorziening.

### Business case Delta21-kabel

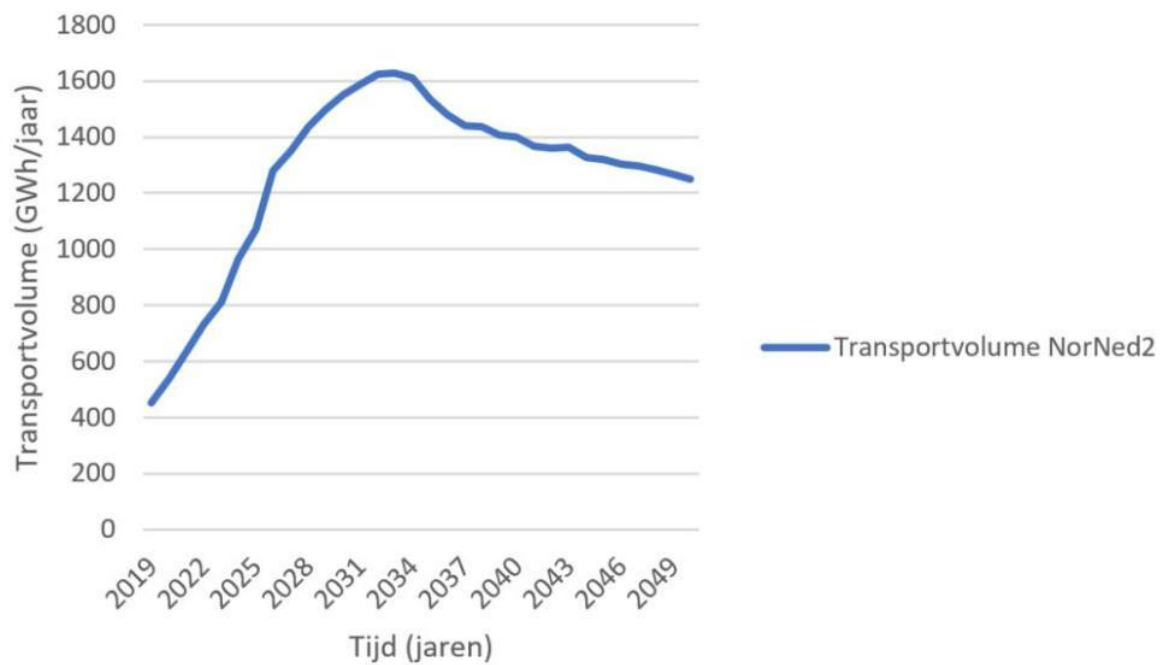
Om grip te krijgen op het rendement van potentiële investeringen door TenneT in een kabel die Delta21 verbindt met het Nederlandse elektriciteitsnetwerk te bepalen is het Nederlandse elektriciteitsstelsel met en zonder opslag gesimuleerd. De simulaties zijn gedaan voor de NorNet2 kabel en de Delta21 kabel en gebaseerd op voorspellingen voor de groei van het aandeel hernieuwbare energie en de toekomstige elektriciteitsvraag voor de periode 2019-2050. In afbeeldingen 8 en 9 staan de gesimuleerde transportvolumes over beide kabels weergegeven.

Bij het uitvoeren van de netto contante waarde berekening is de discontovoet voor beide systemen bepaald op 6%. Op basis van cumulatieve waarden van de kasstroom voor TenneT vanaf het jaar

2019 en een discontovoet van 6% is de terugverdiertijd voor een investering in de NorNed2 tweemaal zo lang als die voor een investering in een kabel naar het Delta21 Valmeer.



Afbeelding 8. Transportvolumes kabel naar valmeer voor periode 2019-2050 (Van de Bosch, 2020)

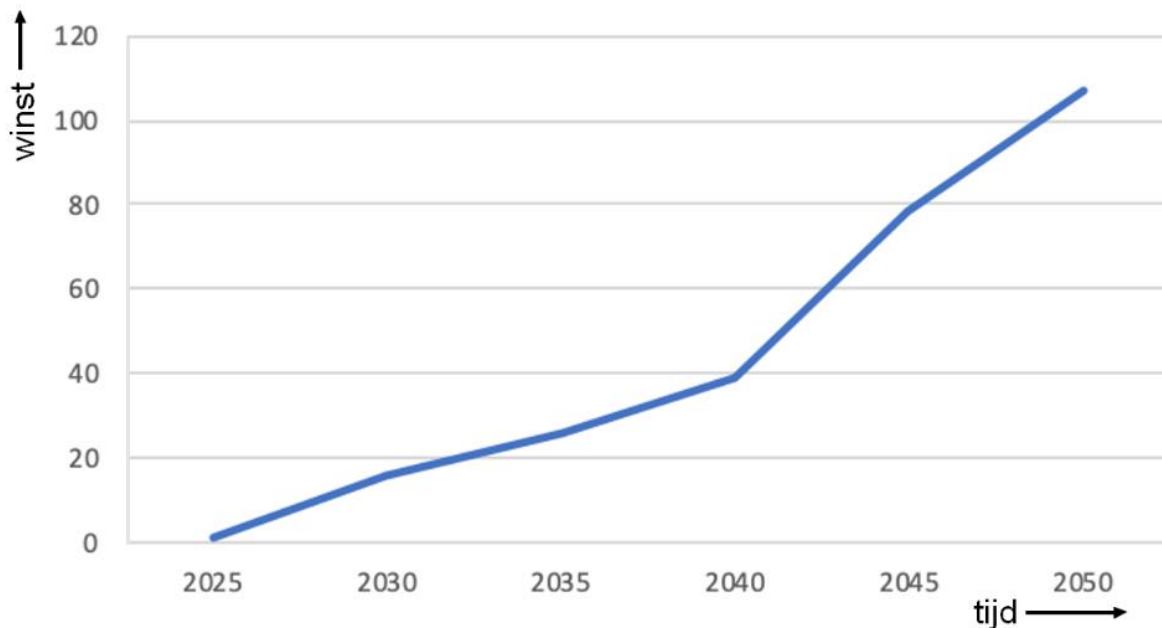


Afbeelding 9. Transportvolumes NorNed2 voor periode 2019-2050 (Van de Bosch, 2020)

**Rendement van investeringen in Delta21**



Door op de juiste momenten energie op te slaan in het energieopslagmeer, in de vorm van een leeg valmeer, kunnen er kosten worden bespaard op fossiele elektriciteitsproductie. Een private investeerder kan de investering in Delta21 terugverdienen door winst te maken uit het verschil tussen de inkoop- en verkoopprijs van elektriciteit. Op basis van een simulatie waarin de marginale kosten van de duurste centrale die op tijdstip  $t$  elektriciteit produceert de prijs bepalen, neemt de winst per jaar toe zoals weergegeven in afbeelding 10.



Afbeelding 10. Verloop winst bij optimaal beheer energieopslagmeer (Tunca, 2020)

Uitgaande van investeringen in de aanleg van Delta21 van 3700 miljoen euro, is de maximale terugverdientijd circa 70 jaar. De terugverdientijd wordt aanzienlijk korter als ook de baten uit bescherming tegen overstroming in de berekening worden betrokken. De berekende 70 jaar terugverdientijd wijkt wel erg veel af van de door Lavooij en Berke berekende 3 jaar, dit mede gelet op de eerder vermelde jaarinkomsten, dus hier dient nog verder zoekwerk te worden verricht. Mogelijk is het verschil te verklaren doordat in de studie van de bachelor-student is aangenomen dat de winst uit het verschil tussen in- en verkoopprijs in de toekomst zal toenemen, terwijl vrij algemeen wordt aangenomen dat die juist, over de in de grafiek getoonde periode, zal gaan afnemen. Een ander verschil is het al dan niet toerekenen van het overgrote deel van de investeringen aan waterveiligheid en niet aan de elektriciteitsproductie, aangezien het een multifunctioneel project betreft.

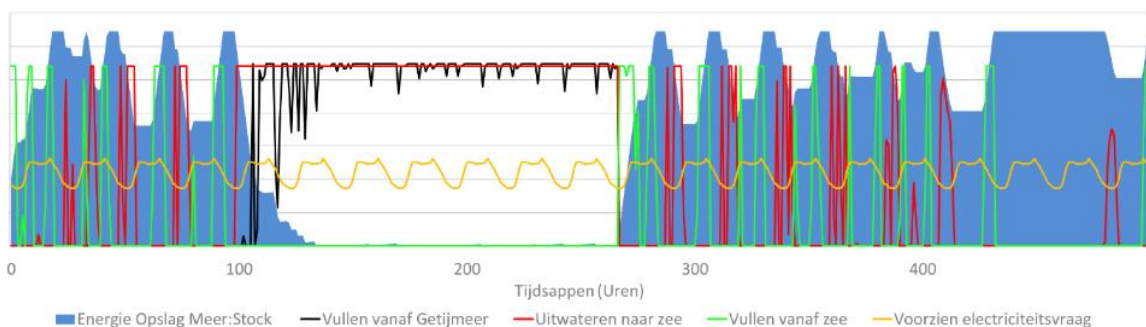
### Institutionele integratie

Gekeken is naar de invloed van Delta21 op het watersysteem en de energiemarkt in 2030. Een duidelijke visie op de ontwikkeling van grootschalige energieopslag ontbreekt vooralsnog. Momenteel wordt er bij het opslaan van elektriciteit dubbel belasting betaald: door de producent bij het inkopen van de elektriciteit en nogmaals bij de afname. Beheerders van opslag kunnen daardoor niet eerlijk concurreren met de conventionele energieproductie.

Voor Delta21 is het van belang dat wordt vastgelegd dat waterveiligheid altijd vóór elektriciteitsopslag gaat. Het Watermanagement Centrum Nederland zal voortaan ook de, private?, beheerder van Delta21 moeten inlichten wanneer er hoge waterstanden worden verwacht. Daarnaast zullen Rijkswaterstaat, de Waterschappen en de gemeenten de maatregelen met de beheerder van Delta21 moeten afstemmen. In deze studie is er trouwens van uitgegaan dat de energie die wordt opgeslagen steeds van eigenaar verandert, wat waarschijnlijk niet het geval zal zijn.

### Gevoeligheid voor de verduurzaming van de energievoorziening

De winst die met energieopslag in het Delta21 valmeer kan worden gemaakt hangt sterk af van de scenario's voor de verduurzaming van de energievoorziening. Aangenomen is dat de gemiddelde winst in het scenario waarin de verduurzaming snel verloopt, aanmerkelijk lager zal zijn. Dit komt doordat het energieopslagmeer de meeste winst maakt, wanneer het verschil in energieprijzen tussen het moment dat er gepompt en geturbineerd wordt het grootst is (zie afbeelding 12 voor een voorbeeld). In scenario's waarin het duurzaam geïnstalleerd vermogen het snelst toeneemt en die van fossiel geïnstalleerd vermogen het snelst afneemt, zit het kleinste prijsverschil tussen de marginale kosten van de opwekking van energie uit de verschillende bronnen. Hierdoor wordt daalt de winst die behaald wordt uit het energieopslagmeer bij duurzamere scenario's. Overigens zijn er meerdere factoren die de hoogte van de winst bepalen.



Afbeelding 12. Voorbeeld run energieopslagmeer met geforceerd pompen/leeg houden op 't' = 100 tot 267 uur (1 week) (Van Spaendonck, 2020)

### Het ontwerp van de pompturbinehuizen

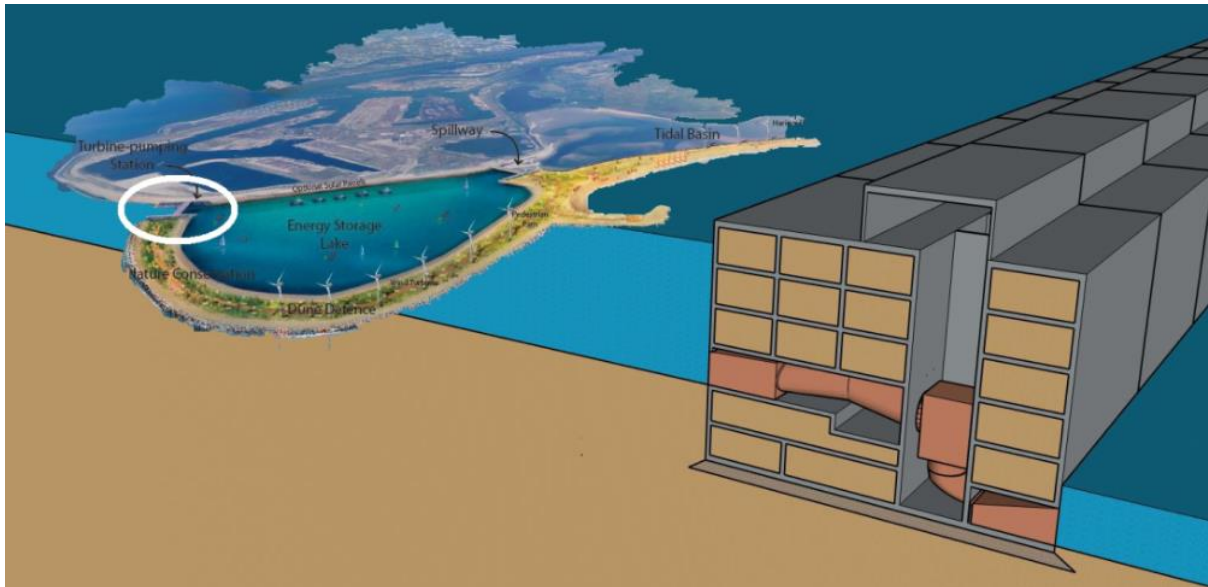
Een van de hoofdonderdelen van Delta21 bestaat uit de pompturbines van het valmeer. Voor de afvoer van 10 000 m<sup>3</sup> rivierwater per seconde is een aanzienlijke pompcapaciteit nodig. Ter vergelijking: het grootste gemaal ter wereld, dat van IJmuiden, heeft momenteel een pompcapaciteit van 700 m<sup>3</sup>/s. Twee afstudeerders aan de TU Delft hebben zich gewaagd aan een initieel ontwerp van de pompturbinehuizen. Rubén Ansorena Ruiz heeft gekozen voor een capaciteit van 60 m<sup>3</sup>/s per pomp, waarvoor 167 pompturbines nodig zijn, een rij van bijna 1400 m naast elkaar. Caissons van ca. 88 m breed en 48 m hoog zouden plaats bieden aan negen pompturbines, zie afbeelding 6.



Afbeelding 13. Een van de caissons die fungeren als huis voor de pompturbines (Ansorena Ruiz, 2020)

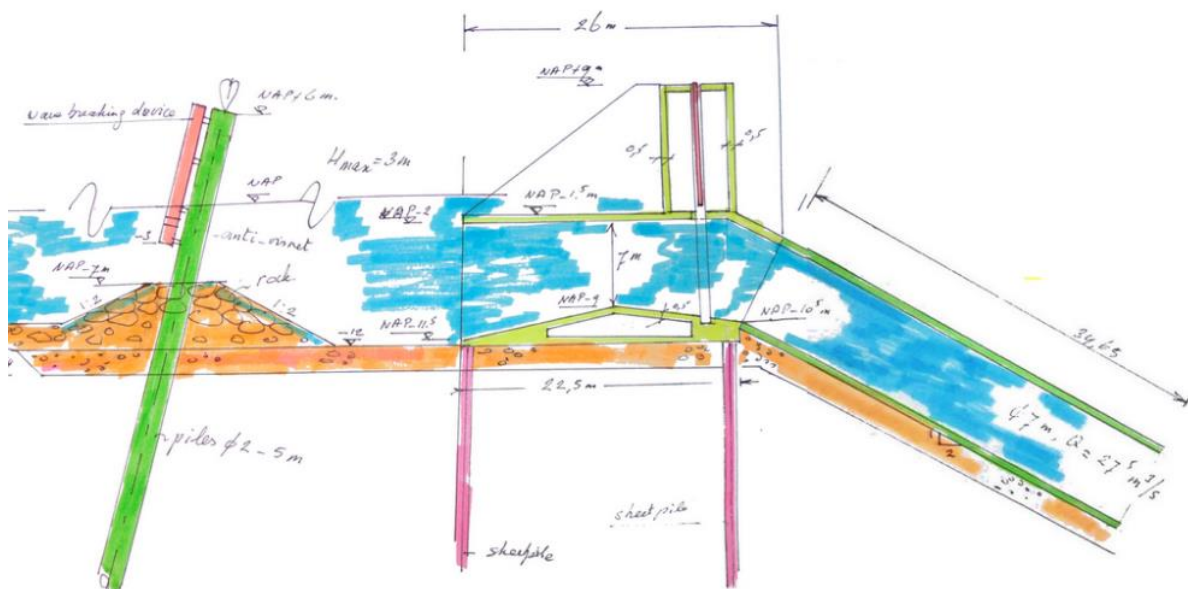
Speciale aandacht ging bij zijn ontwerp uit naar de bescherming tegen zanduitspoeling onder de caissons. 32 meter lange kwelschermen zouden volstaan om een diepe kleilaag te bereiken, maar dit is erg lastig te realiseren. Een alternatief zou zijn om drie rijen van 20 m diepe kwelschermen aan te brengen, wat kwel niet helemaal tegengaat, maar wel voldoende zou beschermen tegen zanduitspoeling. Een nader onderzoek naar de grondwaterstroming en de eventuele kans op opbarsten van de bodem van het valmeer is nog wel aanbevolen. Rubén Ansorena Ruiz heeft ook een levensduurcyclusanalyse uitgevoerd, waaruit bleek dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot tijdens de bouw in dezelfde orde van grootte ligt als tijdens de gebruiksfase.

Yordi Paasman maakte een alternatief ontwerp voor de pompturbinehuizen. Ook hij kwam tot indrukwekkende afmetingen: 138 caissons met in totaal iets meer dan 2 km aan lengte (afmetingen per caisson: 44,3 m lang, 53 m breed x 38,5 m hoog), zie afbeelding 8. De caissons worden per drie stuks onder voorspanning aan elkaar gekoppeld tijdens drijvend transport om navigatie van deze grote elementen enigszins mogelijk te maken.



Afbeelding 14. Alternatief ontwerp van caissons als pompturbinehuis (Paasman, 2020)

Deze twee conceptuele ontwerpen hebben tot het inzicht geleid dat ophanging van pompturbines in caissons wel tot aanzienlijk grote en dure constructies leidt. De ontwikkelaars van het concept hebben naar aanleiding hiervan het oorspronkelijke concept met caissons nader bezien en zijn gaan nadenken over een minder fors uitgevoerde pompturbine-ophanging. Hieruit is het idee ontstaan om gebruik te maken van onderwaterpomp-turbines met een verticale aandrijving. In plaats van prefabricatie zou dit in den droge gebouwd kunnen worden in een eilandvormige bouwput.



Afbeelding 15. Voorlopige schets van een verbeterde pompturbine-ophanging (Lavooij, 2020)

**Delta21 als geslaagd voorbeeld van samenwerking en kennisontwikkeling**

De hiervoor beschreven interactie tussen hoger onderwijs en praktijk illustreert heel goed hoe het werk van studenten nuttig is voor het ontwikkelen van plannen voor een duurzame toekomst. Het gaat daarbij immers om niet-bewezen oplossingen waarvan de haalbaarheid van tevoren niet zondermeer vaststaat. De complexiteit van de vraagstukken vraagt om uitwerking op academisch niveau, waarbij een interdisciplinaire aanpak wordt gevolgd om tot integrale oplossingen te komen.

Het vormgeven van de toekomstige deltagebieden is een complex vraagstuk, vanwege de veelheid aan betrokken disciplines (die overigens kunstmatige, door mensen aangebrachte begrenzingen betreffen), de onzekere ontwikkelingen die de toekomst met zich meebrengt (denk bijvoorbeeld aan maatschappelijke veranderingen en de te verwachten klimaatveranderingen), als ook de tekortschietende kennis van socio-economische systemen (bijvoorbeeld de vraag hoe een stad functioneert). Met alleen wetenschappelijk onderzoek kunnen deze problemen niet worden opgelost. Wetenschappelijk onderzoek leidt immers tot meer kennis van verschijnselen en beter begrip van systemen, maar verandert niets aan de werkelijkheid. Daarom is het van wezenlijk belang dat er ook op universitair niveau onderwijs blijft worden gegeven in ontwerpen. De maatschappij heeft behoefte aan ingenieurs die kunnen helpen de maatschappelijke vragen te formuleren en die, in samenspraak met de belanghebbenden, realistische en haalbare oplossingen kunnen aandragen.

**Met dank aan het Delft Deltas, Mobility and Infrastructures Initiative (DIMI), platform aan de TU Delft ter bevordering van onderzoek en onderwijs op het gebied van integraal ontwerpen. Vanuit dit samenwerkingsverband is enkele jaren geleden een minor 'Integraal Ontwerp van Infrastructuren' geïnitieerd, waar bachelor-studenten uit verschillende disciplines leren om tot integrale ontwerp oplossingen te komen voor bebouwde deltagebieden. Hierbij is intensief samengewerkt met gemeentes. Om ook op masterniveau een integraal ontwerpplatform te bieden aan studenten, is vorig jaar het Delta Futures lab opgericht, een multidisciplinair netwerk voor masterstudenten en medewerkers die vooraan willen staan als het gaat om het ruimtelijk en technisch ontwerp en bestuur en beheer van deltagebieden.**