

# Dynamic Tidal Power

Stroomopwekking in zee met getijdedammen



## **STICHTING DTP NETHERLANDS**

Zernikelaan 17, 9747 AA Groningen  
KvK 020 65 525, Tel.+31(6) 53 122 571  
<https://www.dynamictidalpower.eu>

May 2, 2021

Opgesteld door: Walther L. Walraven & Fred Hendriks

# Dynamic Tidal Power

---

## Stroomopwekking in zee met getijdedammen

### Inhoudsopgave

<b>Inleiding</b>	<b>2</b>
<i>Onze supporters en partners</i>	2
<b>Powerdam</b>	<b>3</b>
<i>Hoge opbrengst</i>	3
<i>Goedkoop</i>	3
<i>Schoon en duurzaam</i>	3
<i>Koppelkansen</i>	4
<b>Planning</b>	<b>4</b>
<b>Prijsvergelijking van opwekkingsmethodes</b>	<b>5</b>
<b>Dam aan de kust of in open zee</b>	<b>7</b>
<b>Het opslag probleem</b>	<b>9</b>
<i>DTP-dam: eigen opslag met biodegradable batterijen</i>	9
<i>Opslag DTP (geregistreerd Intellectual property)</i>	10
<b>Opbrengsten DTP als functie van damlengte en stroomsnelheid</b>	<b>11</b>
<i>DTP dammen aan de kust</i>	11
<i>DTP dammen in open zee</i>	12
<b>Maatschappelijk draagvlak</b>	<b>13</b>
<b>Investering met meervoudig rendement</b>	<b>13</b>
<b>Spectaculaire toename visstand</b>	<b>13</b>
<b>Uitdaging voor de industrie</b>	<b>13</b>
<b>Aansluitkosten powerdam 10 -20 keer lager dan windpark</b>	<b>14</b>
<b>Goedkope waterstofproductie</b>	<b>14</b>
<b>Samenvattend</b>	<b>14</b>
<b>Projectinformatie</b>	<b>15</b>

## Inleiding

Stroomopwekking met getijdedammen in zee biedt een **veelbelovend, betaalbaar, haalbaar en duurzaam alternatief** voor zon-, wind- en kernenergie:

- Het is **volledig CO2-vrij**;
- Er is **geen bijstook nodig** om productiegaten op te vullen;
- Er is **geen opslagprobleem**, een getijdedam heeft eigen energieopslag;
- Er is **geen transportprobleem**, het elektriciteitsnet hoeft niet verzwakt te worden;
- Er is **geen aansluitingsprobleem** van zee naar land, een dam levert een constant vermogen in plaats van een wisselend vermogen met hoge pieken;
- Er is **geen kernafvalprobleem** zoals bij kerncentrales.

-----

Aangenaam kennis te maken, wij zijn Stichting DTP Netherlands. DTP staat voor Dynamic Tidal Power. In dit rapport willen we ons doel helder overbrengen: Op weg naar duurzame, emissievrije energie.

Wij willen als Stichting investeerders en politici overtuigen van het nut van een snelle realisatie van de bouw van getijdedammen. Wij zoeken samenwerking met de overheid, industriële partners en energiebedrijven om in Nederland én daarbuiten getijdedammen te realiseren.

Wij houden van heldere taal. We hebben €12 miljoen financiering nodig voor het aanjagen van de benodigde industriële ontwikkeling. Daarmee worden de randvoorwaarden gerealiseerd om voor Nederland een CO2-vrije basislastproductie te bouwen van 30 tot 60 miljard kWh per jaar. Dit rapport beschrijft hoe.

Naast onze stichting bestaat er een landelijke stuurgroep die zich samen met ons inspant om het gedachtegoed van DTP politiek en bestuurlijk uit te dragen. In deze stuurgroep hebben onder anderen zitting:

- Tineke Huizinga (senator – eerste kamer) en voorzitter van de stuurgroep DTP
- Jan Hendrik Dronkers, directeur-generaal Luchtvaart en Maritieme Zaken
- Professor Bas Jonkman, TU-Delft
- Koen Overtoom, CEO havenbedrijf Amsterdam

## Onze supporters en partners

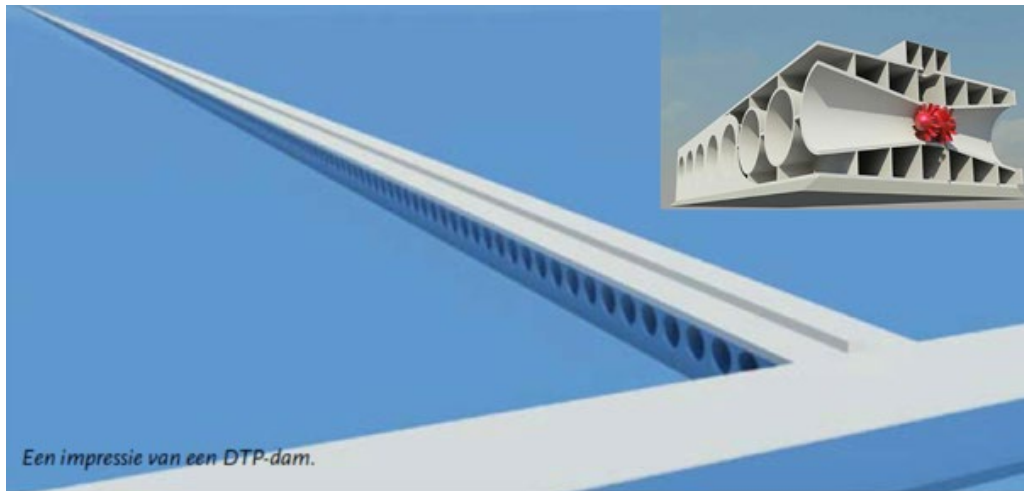
### Ambassadeurs

- Gertjan Lankhorst, voormalig directeur New Energy Coalition, voorzitter RvC NOM en voorzitter VEMW, voorzitter strategisch Board TNO
- Marjan Minnesma, Directeur Urgenda, lid strategisch Board TNO
- Harm Post, Directeur Haven Lauwersoog, Voorzitter De Commerciële Club Groningen

Bedrijven: Antea, Svašek, Tidal Bridge, Suwotec, Humsterland Energie

Hoogachtend, Ir. Walther Walraven, voorzitter Stichting DTP Netherlands

## Powerdam



Een dam is 30 m hoog, 70 m breed en 30 – 50 km lang. Hij ligt op de zeebodem op een gestabiliseerd bed en steekt 3 m boven het vloedniveau uit.

### Hoge opbrengst

DTP is een technologie waarbij dammen in zee loodrecht op de getijstrooming worden geplaatst. In de dammen bevinden zich turbines. Het getij stroomt tegen de dam waardoor er tussen voorkant en achterkant van de dam een waterhoogteverschil van 1 tot 4 meter ontstaat, afhankelijk van de getijde strooming en de lengte van de dam.. Dit hoogteverschil leidt tot hoge stroomsnelheden die krachtig door de turbines vloeien. Hierdoor worden er per turbine **grote hoeveelheden elektriciteit** opgewekt.

Het principe van DTP is wetenschappelijk gevalideerd door de Technische Universiteit Delft en door het Massachusetts Institute of Technology, kortweg MIT, een van de meest prestigieuze technische universiteiten ter wereld. Momenteel wordt er nog een extra validatieslag gemaakt in een werkseminar samen met wetenschappelijke topexperts met als doel om ook instituten als Deltares en het TNO te overtuigen van de grote potentie van DTP dammen.

### Goedkoop

Getijdedammen produceren goedkoop en CO2-vrij stroom als basislast inclusief opslag. De opslag voor basislast met gebruik van DTP is een **factor 500 goedkoper** dan bij het gebruik van wind op zee als energiebron.

Een dam van 50 kilometer uitgevoerd met vangarmen aan de uiteinden (walvisstaarten) kan ruim 50 miljard kWh als basislast produceren voor een op de APX-beurs concurrerende prijs en **zonder subsidie**.

### Schoon en duurzaam

Momenteel wordt de bijstook van biomassa in Nederland met miljarden euro's gesubsidieerd. Hiertegen is veel oppositie vanuit de wetenschap en milieu-organisaties. DTP biedt onze beleidsmakers een nieuwe oplossing. Wij pleiten ervoor het gesubsidieerde biomassa traject te verlaten en te investeren in 2 DTP dammen. Dan produceren we 40 tot 60 miljard kWh **echt**

**groene CO2-vrije basisstroom** . Zo kan de 2030 doelstelling gehaald worden zonder de ontbossings-effecten van de gesubsidieerde bijstook. En de kolencentrales, die 31 miljard kWh als basislast produceren kunnen dan gesloten worden.

## Koppelkansen

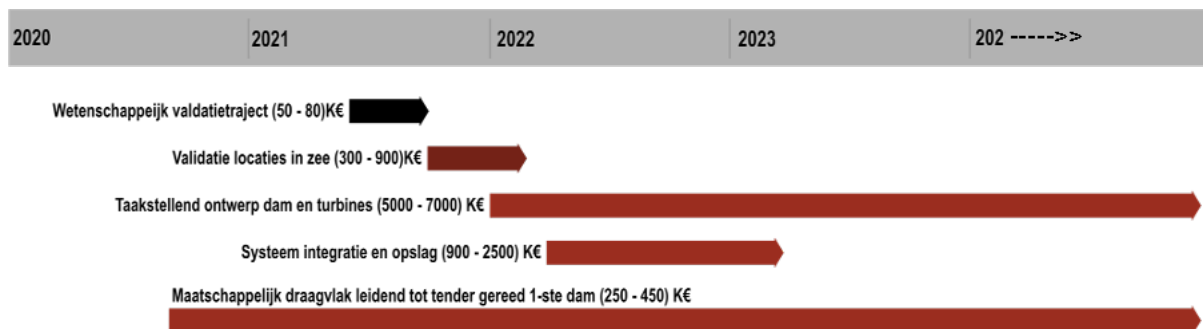
Op de vangarmen van een dam kunnen **mossels en oesters** gekweekt worden. In een studie van de WUR, Wageningen University & Research is in september 2019 becijferd, dat hiermee jaarlijks meer dan 45 miljoen omzet behaald kan worden, waardoor deze branche sterk zou kunnen groeien.

De “gewonde visstand” kan geleidelijk aan sterk verbeteren omdat een dam als harde structuur een kraamkamer voor vissen kan worden. Het ontwerp van de bekleding van de walvisstaarten of T-shapes zal in overleg met de WUR tot stand komen.

## Planning

We willen de ontwikkeling en bouw van getijdedammen in 4 jaar in 4 fases **tenderrijp** maken:

- I. Wetenschappelijke en praktische validatie van het DTP principe
- II. Validatie met proof of principle (\*), inclusief evaluatie van locatiekeuzes, morfologie en effecten van stromingsmutaties in zee, optimale plaatsing in relatie tot scheepvaart. Hierbij worden de betreffende stakeholders en NGO's betrokken
- III. Design en taakstellende prijsrationalisatie van dammen en turbines in samenwerking met het bedrijfsleven via inzet van benchmark exercities.
- IV. Ontwerp van systeemintegratie in samenwerking met TenneT, inclusief de ontwikkeling van 6 uren opslag voor dammen
- V. Draagvlak bij alle relevante stakeholders en overheden inclusief de uitwerking van koppelkansen



AFBEELDING 1 PROFORMA BEGROTING IN DE TIJD

(\* ) Proof of principle: In praktijkopstelling aantonen dat het opstuwefect strookt met de wenschappelijke basis. Bewijs daarvan kan reeds aangetoond worden met de opstuwing tegen de kusten van Engeland en Normandië, die dwars op de getijdestroom staan.

## Prijsvergelijking van opwekkingsmethodes

We hebben voor de verschillende opwekmethodes uitgerekend wat de BV Nederland zou moeten betalen om de gehele stroomvoorziening met zo'n methode te realiseren. (zie tabel 1) Voor technieken die geen basislast kunnen leveren, zoals zon en wind, hebben we waterstof en brandstofcellen als tussenmedium gekozen. We zijn uitgegaan van een gewenst en verwacht prijsscenario voor de technieken in 2030 - 2035. De **congestie-kosten** voor zon en wind voor net-aanpassing - zoals verzwaring van het hoog- en laagspanningsnet (€ 100 miljard volgens de laatste ramingen van de netwerkbedrijven) - zijn hierin nog **niet meegenomen**. Voor DTP zijn de congestiekosten nihil, omdat deze techniek een basislast levert.

De compressie- en opslagcomponenten van waterstof zijn kostbaar. Voor de opslag is uitgegaan van de goedkope oplossingen, zoals het gebruik van het gasnet en zout cavernes. Voor steenkool is de verplichte CO2-heffing ingecalculeerd in de OPEX. Er zijn **geen subsidies en belastingen** meegenomen. Dus puur de kale kosten voor de BV Nederland.

Omdat een getijdendam een eigen energieopslag heeft zijn de af te voeren piekvermogens naar het land 2/3 lager dan voor windenergie.

Voor een getijdendam aan de kust, bedraagt de jaarlijkse vergoeding voor aansluitkosten van TenneT aan het hoogspanningsnet 0,0075 cent per kWh.

Voor wind op zee zijn die kosten afhankelijk van de afstand tot de kust. Vattenfall heeft voor de aansluitkosten voor de nieuwe windpark locaties aan de Hollandse kust III en IV een overeenkomst met TenneT voor 1,4 cent per kWh.

Electricity production with H2 storage	Price raw material		Conversion	Conversion price	OPEX & CAPEX	Transport to grid	Hydrogen prod/ storage/ fuelcells to grid (*)	Total cost excl. taxes/ levy	Annual cost Netherlands for 120 TWh per technology		
				€/kWh	€/kWh	€/kWh	€/kWh	€/kWh	€		
● Nat. gas	0,19	€/m3	56%	0,0386	0,0100			0,0486	5.826.623.377	Fossil CO2 emission	
● Coal	65	€/ton	46%	0,0177	0,0400			0,0577	6.926.950.462		
● Crude Oil	70	€/barrel	47%	0,0790	0,0120			0,0910	10.916.739.212		
● Bio mass	0,0310	€/kWh <sub>th</sub>	40%	0,0775	0,0804			0,1579	18.943.252.629		
Nuclear	As baselaod: at least 8000 full load hours per year								0,0500	6.000.000.000	No CO2 emission
Dynamic tidal power	DTP production (price/ kWh) depends on dam length, tidal flow speed and depth						min	0,0380	4.560.000.000		
● Offshore wind	35 %	year production needed for storage			0,0440	0,0140	0,1994	0,2134	25.603.919.308		
● Solar plants	62 %	year production needed for storage			0,0400	0,0100	0,2480	0,2580	30.961.904.762		
● Onshore wind	38 %	year production needed for storage			0,0500	0,0100	0,2435	0,2535	30.421.839.289		

TABEL 1 LEVELIZED COST OF ELECTRICITY - OPTIONS IN THE NETHERLANDS

- De uitkomsten van de tabel zijn gevalideerd met de uitkomsten van een analoge studie gedaan door het Fraunhofer instituut in 2018.

[EN2018 Fraunhofer-ISE LCOE Renewable Energy Technologies.pdf](#)

- Nederland verbruikt per jaar 120 miljard kWh elektriciteit
- De kosten van de energie (LCOE, Levelized Cost of Electricity) van wind en zon zijn berekend op de totale beschikbare stroom in het net, na opslag. Te weten:

$$LCOE_{incl. \text{ opslag}} = \frac{\text{Totale productiekosten} + \text{kosten opslag} + \text{kosten invoeding in net met brandstofcellen}}{\text{netto kWh ingevoerd in het net}}$$

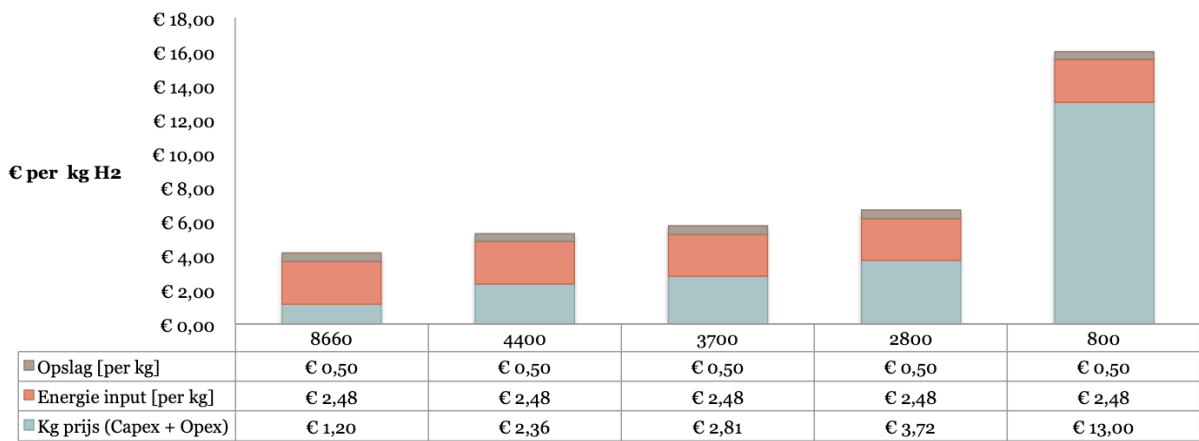
- Waterstof kentallen: conversie: 50 kWh/ kg waterstof. Druk 30 bar. Rendement van de brandstofcellen: 60%. Voor de OPEX en CAPEX van het totale productie en opslagproces is uitgegaan van 3 Euro gemiddeld per kilo waterstof.
- De stroomproductie in Nederland zal ook in de toekomst een mix zijn van diverse technologieën, waarbij DTP een basislast kan leveren.

#### Opmerking:

In de praktijk is de opslag via het waterstoftraject en invoer van stroom uit zon en wind via brandstofcellen zo kostbaar, dat het goedkoper is om bij te stoken met aardgas, waarbij de CO2 wordt afgevangen en de piekstromen worden weggegooid. Dat weggooien noemen we curtailment. De extra kosten die dan overblijven zijn 4,7 tot 9,3 cent per kWh en zijn gespecificeerd als volgt:

- Grid uitbreiding voor de piekstromen 1,5 – 2,5 cent per kWh
- Aansluiting wind op zee 1,4 – 2,8 cent per kWh
- Bijstook in periodes met weinig wind en zon 1 - 2 cent per kWh
- Weggooien van de piekstroom die niet door de vraag kan worden opgenomen. Bij 70% aandeel zon en wind is dat 29% van de productie en leidt gemiddeld tot 40% extra LOCE zijnde 1,8 – 2 cent per kWh van de marktprijs.
- De kans dat onze buurlanden de piekstroom kunnen opnemen is gering, omdat deze met dezelfde piekstromen opgescheept zitten.
- De productie van waterstof met piekstromen is kostbaar, omdat de electrolyzers dan in deellast moeten opereren en de hardware kost dan gemiddeld per kg een factor 3 meer.

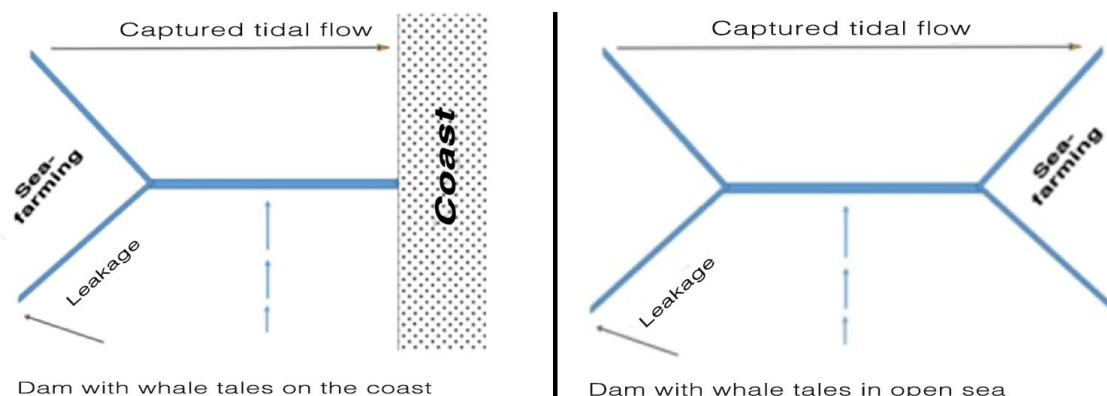
#### Waterstofprijs als functie van effectieve vollasturen DTP 8660, Wind op zee 4400 - 3800, wind op land 2800, zon 800



## Dam aan de kust of in open zee

Een dam bestaat uit een productiedeel loodrecht op de stroming, waarin de turbines zijn opgenomen en twee vangarmen (walvisstaarten). Dit zijn betonnen dammen, die extra water vangen en zo de opbrengst significant verhogen.

Er zijn twee opties voor de plaatsing van dammen in zee: aan 1 kant grenzend aan de kust of in open zee. Beide varianten hebben voor- en nadelen. Direct aan de kust zijn de opbrengsten hoger omdat er maar aan 1 kant lekverlies optreedt.



AFBEELDING 2 DAM AAN DE KOST EN DAM IN OPEN ZEE

Criterion	Dam in open sea	Dam connected to coast
Yield (the net yield is 25% less for dams in deeper open seawater)	Circa 50% lower, due to end-leaks. If delivered with whale tails, the LCOE will increase € 0,015 per kWh in relation to cost connected dams	Only leaks at sea side. From the coast into the sea, the water depth is less than for dams in open sea. Resulting in 17% lower yield per 5 m sea depth.
Location	No hindrance to shipping; preferably in planned windmill areas	No hindrance to shipping; preferably synergy with coastal protection
Morphology	Dunes and dikes are not affected	Dunes and dikes might be affected
Visibility	Not visible from the shore	Visible
Danger for public	To far from coast to be dangerous	Keep out area must be maintained
System integration to net	Approx. 0,15 €cent/ kWh (1,5 €cent/ kWh for windfarms)	No marine cost, directly to coast. Approx. 0,075 €cent/ kWh
Shipping	If placed in existing wind farms no extra hindrance	A few locations are possible in order to avoid hindrance
Fisheries	If placed in existing wind farms no extra hindrance. Whale tails are new breeding ground for fish	A few locations are possible in order to avoid hindrance. Whale tails are new breeding ground for fish
Coastal protection	Offers potential coastal protection against storm attacks	In some case extra threat, in other cases significant coastal protection
Tourism	No negative effect for tourism	In some cases negative effects
Synergy with wind industry	Turbine construction and power dissipation, maintenance of windmills.	Turbine construction and power dissipation, maintenance of windmills.
Whale tails	Two-sided, which means more yield and less construction costs	One-sided, so that yield can be increased less
Sea-farming	Possible at two sides	Only possible at one side

TABEL 2 VERGELIJKING DAM AAN DE KUST EN IN OPEN ZEE

In tabel 3 is een voorbeeld uitgewerkt van te verwachten opbrengsten van DTP dammen in een geïdealiseerde Noordzee. Daarbij is i.s.m. Antea de hoofddam, compleet met turbines en



elektrische infrastructuur, begroot op € 400 miljoen Euro per kilometer en een walvisstaart op 40 miljoen Euro per kilometer.

Specificatie van de dam	Aan de kust	In open zee
Uitvoering Y-shape (walvisstaarten) hoek t.o.v. hoofddam [graden] (*)	45°	45°
Lengte van benen staarten – Y shape [km]	20	20
Lengte functionele hoofddam [km]	40	40
Turbine diameter [m]	8	8
Waterdiepte gemiddeld [m]	20	35
Maximaal vermogen bij max. getijdesnelheid [GW]	10	7
Maximale getijde snelheid [m/s]	0,9	0,9
Uitvoering met eigen opslag	ja	ja
LCOE [Euro per kWh]	0,038	0,051

TABEL 3 PRESTATIEVERGELIJKING DAMMEN IN ZEE VERSUS DAMMEN AAN DE KUST  
BEIDE UITGEVOERD MET BIO-DEGRADABLE OPSLAG SYSTEEM EN WALVISSTAARTEN.

[\(\\*\) Quinlin \(2014\) et al hebben bepaald dat 40 graden de beste opbrengst leveren](#)

- De vermelde kWh prijzen gelden voor een te produceren basislast **inclusief opslag**. Daardoor zijn de congestiekosten voor TenneT nihil en zijn bovendien de aansluitkosten een stuk lager, omdat slechts 1/3 van het piekvermogen naar de wal hoeft te worden getransporteerd.
- De LCOE in de tabel is berekend door alle jaarkosten te delen door de kWh productie gedurende de levensduur. Deze kan voor dammen gesteld worden op 60 jaar.
- De uitkomsten zijn inclusief een annuïteit financiering tegen 4,5% rente. Dit maakt investering in dammen aantrekkelijk voor pensioenfondsen - zoals het Philips pensioenfonds - omdat zo hun dekkingsgraad stabiel blijft.
- Variabele kengetallen als inflatie en energieprijsstijging zijn niet meegenomen.
- De berekeningen zijn verricht door deskundigen van Antea met een analytisch model dat met [FINEL \(Computer Fluid Dynamics\)](#) numeriek is gevalideerd door het bedrijf Svasek. In het validatietraject worden potentieel gunstige locaties op zee met gegevens over de feitelijke dieptes en samenstelling van de zeebodem doorgerekend, zowel met betrekking tot de opbrengsten, de morfologie en de effecten op de zeestroming.

De opbrengst en kilowatt-uur prijs van energiedammen in zee is afhankelijk van vele factoren. Maximale getijdesnelheid, de waterdiepte, de plaatsing, de keuze en lengte van de zijarmen, de uitstroomopeningen naar de turbines en het rendement van de turbines, het eventueel aanbrengen van roosters voor grote zeedieren en schadelijke objecten als drijvende containers.

De ontwikkeling van de hardware (caissons en turbines) is een taakstellende industriële uitdaging, die bij succes grote exportkansen oplevert.

## Het opslag probleem

Het oplossen van de opslagproblematiek wordt wel de heilige graal genoemd in het streven om de energietransitie betaalbaar te houden. Het Nederlandse stroomverbruik zal groeien naar 180 miljard kWh. De bedoeling is op dit moment om 70% daarvan met zon en wind te produceren. Door de hoogspanningsnetten in Europa met elkaar te verbinden worden de pieken en gaten in de productie deels vereffend. Daarnaast zal de vraag de productie beter moeten gaan volgen (aanbodsturing). Toch zal van die productie in 2050 dan nog ruim 5% via opslag naar het net gebracht moeten worden. Die opslag zal volgens een prognose van CE-Delft een capaciteit moeten hebben van 10 miljard kWh,

Momenteel worden de productiegateen tussen stroomvraag en stroomaanbod opgevangen door snel bij- en afschakelen van gascentrales, hydropower uit Noorwegen, grote condensatoren en een geavanceerd handelssysteem. Dit systeem, met de naam Merrit Order System, is ontworpen in samenwerking met [Transmission System Operators \(TSO's\)](#) waaronder TenneT. Op grond van de korte termijn prognoses (1 tot 3 dagen) kunnen [producenten van flexibel vermogen forse bedragen vragen \(5 – 20 cent per kWh\)](#) voor het vullen van productiegateen.

Met de groei van zon- en windenergie worden de productiepieken en -gateen groter, is er meer (dure) opslag nodig en loopt de maatschappelijke kWh prijs op tot boven de 20 cent.

Waterstof wordt veelvuldig als beoogd opslagmedium genoemd, maar deze methode heeft een overall rendement van slechts 30 tot 50%. Er moet dan 2 tot 3 keer zoveel stroom geproduceerd moet worden door zon en wind om aan de vraag te voldoen.

Ook bijstook van biomassa als oplossing om productiegateen te vullen is geen geschikte oplossing: het veroorzaakt veel CO<sub>2</sub> uitstoot en gaat gepaard met het kappen van een enorme hoeveelheid bomen. De politieke en maatschappelijke steun voor biomassa als oplossing verdwijnt momenteel dan ook nog sneller dan de bossen die daar in Estland, en Amerika voor worden verwoest.

## DTP-dam: eigen opslag met biodegradable batterijen

*Voor DTP Netherlands is een grootschalig opslagsysteem van tussen de 12 tot 20 miljoen kWh per dam ontwikkeld door het Nederlands partner bedrijf SUWOTEC.*

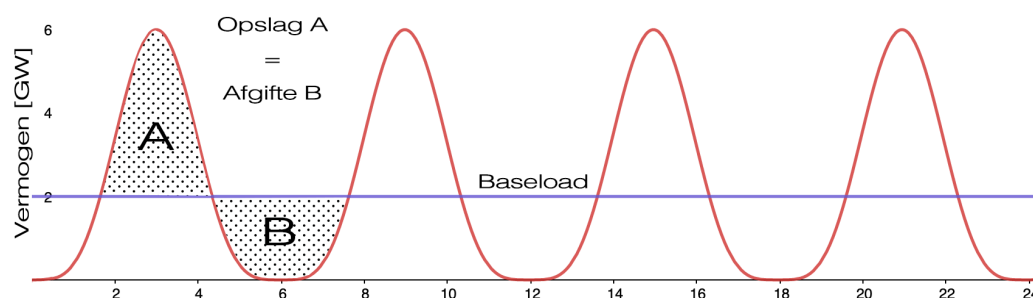
In tegenstelling tot Li-ion systemen leveren de beoogde biologisch afbreekbare systemen geen brand en explosiegevaar. Het cyclusrendement bedraagt 94% en is daarmee beter dan van Li-ion (88%). Verder kan dit type accu continue stroomvermogen leveren, ook terwijl deze opgeladen wordt.

De levensduur bedraagt meer dan 20.000 cycli. Daarmee is het systeem ook geschikt voor opslag van windenergie. Het accusysteem heeft wel meer volume dan Li-ion, maar voor een dam is dat geen probleem de accu's nemen in het inwendige van de dam 2% van de beschikbare ruimte in.

Een andere oplossing is ontwikkeld aan de [TU-Delft \(Lucas de Vilder\)](#). Door Y-shape zijarmen te sluiten ontstaat een valmeer van 500 km<sup>2</sup>, waarmee een accucapaciteit van 400 miljoen kWh kan worden gecreëerd. En bij dammen in open zee het dubbele: 800 miljoen kWh. Deze opslag kan tevens voor wind op zee worden gebruikt om pieken en dalen te vereffenen,

## Opslag DTP (geregistreerd Intellectual property)

Tussen eb en vloed heerst doortijd. Er is even geen getijdestroom en powerdammen leveren dan geen stroom. Om toch een basislast te kunnen leveren moet een deel van de productie via een opslagsysteem (accu) naar het net afgevoerd worden. Voor een powerdam moet hiervoor 1/8 van de dagproductie worden opgeslagen, dat wil zeggen 0,034% van de jaarproductie. Bij wind is de vereiste accucapaciteit 14% van de jaarproductie en bij zon maar liefst 33%. Voor powerdammen is dan per geïnstalleerde kW een accu vereist van 1,06 kWh à € 106 per geïnstalleerde kW. Voor wind- en zontechnologie kosten accusystemen tienduizenden euro's per KW geïnstalleerd vermogen. De bio-degradable DTP accusystemen kosten actueel ongeveer € 100/ kWh.



AFBEELDING 3 STROOMPRODUCTIE VAN EEN POWERDAM IN ZEE  
OPSLAG HOEVEELHEID A WORDT AFGEGEVEN IN DOORTIJDPERIODE. A= B.

In tabel 4 hebben we berekend welke kosten (excl. BTW) per kWh doorberekend moeten worden aan een gemiddeld huishouden met een verbruik van 3.600 kWh per jaar voor de opslag van resp. wind, zon en DTP met innovatieve (niet explosief/ niet brandbare) bio-degradable large scale accu technologie.

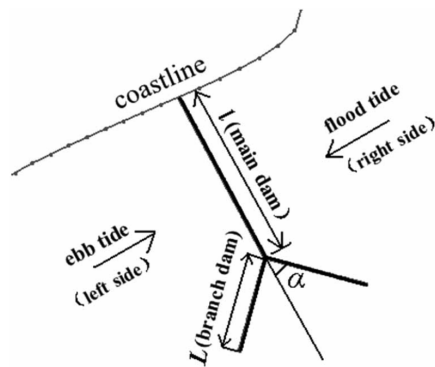
Opslagkosten per KW geïnstalleerd vermogen	Zon	Wind op zee	DTP
Jaarproductie per KW geïnstalleerd vermogen [kWh/jr]	950	3.800	3.100
Vereiste opslag [% van jaarproductie]	62%	38%	50%
Vereiste accucapaciteit [% van de jaarproductie]	33%	14%	0,034%
Accu capaciteit [kWh]	314	532	1,06
Kostprijs accu system [Euro]	31.350	53.200	106
Levensduur accu [jr]	15	15	15
Jaarkosten opslag annuïteit 4,5% [Euro]	2.919	4.953	10
Productieverlies cyclus , 6% [kWh]	35	87	93
Netto beschikbare productie [kWh]	915	3.713	3.007
Opslagkosten betrokken op jaarproductie [Euro/kWh]	3,19	1,33	0,0033
Kosten jaarverbruik per huishouden bij 3.600 kWh [Euro/jr]	11.484	4.788	12

TABEL 4: KOSTEN VERGELIJKING INCLUSIEF OPSLAG PER KW GEÏNSTALLEERD VERMOGEN TUSSEN ZON, WIND EN DTP.  
KOSTPRIJS BIO-DEGRADABLE ACCU SYSTEEM € 100 PER KWH

## Opbrengsten DTP als functie van damlengte en stroomsnelheid

In onderstaande tabellen de opbrengsten en het vermogen berekend van dammen in zee, uitgaande van een geïdealiseerde zee, met astronomisch getij.

### DTP dammen aan de kust



Dam aan één zijde tegen de kust

Diepgang	20 m
Vleugel	Y branche
Hoek $\alpha$	45 graden
Rotor turbine	8 m
Verlies coëfficiënt	1,85
Rendement turbine	85%

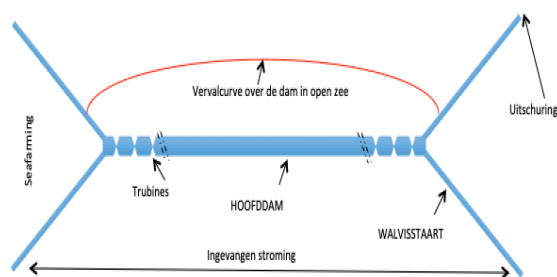
Vermogen in [GW]									
Vmax [m/s]	Lengte van de dam								
	20 [km]	30 [km]	40 [km]	50 [km]	60 [km]	70 [km]	80 [km]	90 [km]	100 [km]
0,4	0,761	1,206	1,710	2,258	2,840	3,448	4,079	4,726	5,388
0,6	1,771	2,917	4,264	5,776	7,424	9,183	11,036	12,968	14,968
0,8	3,118	5,264	7,859	10,838	14,148	17,740	21,578	25,628	29,864
1	4,752	8,164	12,374	17,294	22,841	28,942	35,534	42,561	49,975
1,2	6,637	11,552	17,712	25,008	33,333	42,588	52,682	63,533	75,068
1,4	8,748	15,379	23,792	33,866	45,475	58,493	72,802	88,295	104,870
1,6	11,063	19,606	30,551	43,776	59,138	76,492	95,694	116,610	139,112

TABEL 5 VERMAGEN VAN DAM AAN DE KUST ALS FUNCTIE VAN MAXIMALE GETIJDESTROOMSNELHEID EN DAMLENGTE.

Opbrengst in [TWh]									
Vmax [m/s]	Lengte van de dam								
	20 [km]	30 [km]	40 [km]	50 [km]	60 [km]	70 [km]	80 [km]	90 [km]	100 [km]
0,4	2,08	3,20	4,43	5,75	7,13	8,55	10,01	11,51	13,02
0,6	5,08	8,11	11,58	15,37	19,44	23,71	28,16	32,76	37,47
0,8	9,25	15,16	22,08	29,84	38,28	47,30	56,80	66,71	76,97
1	14,46	24,14	35,72	48,91	63,48	79,22	95,98	113,61	132,01
1,2	20,59	34,87	52,23	72,29	94,70	119,16	145,42	173,27	202,52
1,4	27,56	47,21	71,41	99,69	131,60	166,73	204,73	245,29	288,15
1,6	35,30	61,02	93,07	130,86	173,86	221,54	273,46	329,21	388,42

TABEL 6 OPBRENGST VAN DAM AAN DE KUST ALS FUNCTIE VAN MAXIMALE GETIJDESTROOMSNELHEID EN DAMLENGTE.

## DTP dammen in open zee



### Dam in zee

Diepgang		35 m
Vleugel	Y branche	20 km
Hoek $\alpha$		45 graden
Rotor turbine		8 m
Verlies coëfficiënt		1,85
Rendement turbine		85%

Vermogen in [GW]									
Vmax [m/s]	Lengte van de dam								
	20 [km]	30 [km]	40 [km]	50 [km]	60 [km]	70 [km]	80 [km]	90 [km]	100 [km]
0,4	0,571	1,008	1,532	2,126	2,776	3,471	4,204	4,967	5,757
0,6	1,251	2,298	3,607	5,144	6,876	8,774	10,817	12,985	15,262
0,8	2,123	3,991	6,397	9,287	12,612	16,324	20,381	24,746	29,386
1	3,155	6,027	9,798	14,407	19,790	25,882	32,621	39,950	47,817
1,2	4,327	8,362	13,736	20,390	28,253	37,244	47,285	58,300	70,219
1,4	5,624	10,964	18,155	27,149	37,874	50,241	64,159	79,535	96,281
1,6	7,037	13,810	23,013	34,616	48,554	64,736	83,064	103,431	125,734

TABEL 7 VERMOGEN VAN DAM IN ZEE ALS FUNCTIE VAN MAXIMALE GETIJDESTROOMSNELHEID EN DAMLENGTE.

Opbrengst in [TWh]									
Vmax [m/s]	Lengte van de dam								
	20 [km]	30 [km]	40 [km]	50 [km]	60 [km]	70 [km]	80 [km]	90 [km]	100 [km]
0,4	1,64	2,80	4,15	5,64	7,23	8,91	10,66	12,47	14,32
0,6	3,78	6,71	10,25	14,30	18,76	23,57	28,66	34,00	39,54
0,8	6,61	12,05	18,82	26,73	35,63	45,38	55,85	66,97	78,64
1	10,04	18,64	29,57	42,58	57,43	73,90	91,83	111,03	131,38
1,2	13,99	26,33	42,28	61,52	83,75	108,68	136,06	165,63	197,20
1,4	18,42	35,03	56,77	83,30	114,25	149,27	188,01	230,17	275,46
1,6	23,28	44,65	72,91	107,70	148,63	195,27	247,22	304,08	365,51

TABEL 8 OPBRENGST VAN DAM IN ZEE ALS FUNCTIE VAN MAXIMALE GETIJDESTROOMSNELHEID EN DAMLENGTE.

Het Nederlands stroomverbruik in 2020 bedraagt 120 TWh (120 miljard kWh). Twee powerdammen in zee kunnen ruim 60 TWh opwekken. Ter vergelijking: anno 2019 bedraagt de som van alle stroom uit wind en zonenergie in Nederland 9 TWh. Daarnaast leveren de zon en wind geen basislast en zorgen daardoor voor congestie op het net. Voorts is opslag noodzakelijk om de pieken en productiegaten glad te strijken. Powerdammen, met goedkope eigen opslag, leveren een basislast, goedkopere aansluiting voor TenneT, geen congestie op het net en geen opslagkosten in het net.

Uit de tussenresultaten [van validatieonderzoek](#) is gebleken dat de getoonde opbrengsten in de tabellen als gevolg van conservatieve aannames eerder hoger dan lager zullen uitvallen..

## Maatschappelijk draagvlak

Hoewel dammen aan de kust een hogere opbrengst leveren, omdat er aan de kustzijde geen lekverlies optreedt, denken wij toch dat het plaatsen van dammen in de concessiegebieden van de windturbines grondig onderzocht moet worden, omdat dit naar verwachting maatschappelijk veel minder weerstand oplevert.

We lezen in de scenario's van het PBL dat wind op zee circa 25% zal innemen van het Nederlands continentale deel van de Noordzee. **Energiedammen met dezelfde energieopbrengst nemen slecht 0,13% van die oppervlakte in beslag.**

## Investing met meervoudig rendement

Het realiseren van energiedammen in zee is een mega-operatie die een enorme investering vereist. Daar staat een zeer hoog meervoudig rendement tegenover: financieel, ecologisch en maatschappelijk. Een investering in de toekomst dus. Letterlijk.

In september 2019 heeft een groep masterstudenten van de WUR o.l.v. Prof. Tinka Murk (voorzitter van de wetenschappelijke raad van de Stichting Noordzee) onderzoek gedaan naar de effecten van harde structuren zoals een getijdendam in zee. [De conclusie was dat de ecologische nadelige impact gering is en dat de ecologische kansen voor de natuur heel groot kunnen zijn.](#)

Dit onderzoek is door Humsterland Energie, partner van DTP Netherlands georganiseerd.

## Spectaculaire toename visstand

Een dam kan dienen als kraamkamer voor vissen die nu geen schuilplek kunnen vinden op de zeebodem. De onderzoekers verwachten daarmee een spectaculaire toename van de visstand, die kunnen paren en groeien in de luwte van de Y benen, die wij 'walvisstaarten' noemen.

Stichting DTP Netherlands voert gesprekken met de vertegenwoordigers van de visbranche, onder meer Visned, om mogelijkheden en wensen in de ontwerpcondities te incorporeren.

## Uitdaging voor de industrie

DTP-dammen zijn een nieuwe kans voor de wind- en turbine-industrie. Turbines zijn de kostbaarste onderdelen van de DTP dam. In elke dam worden duizenden turbines gemonteerd.

Windmolens op zee gaan op termijn circa € 1.700 per KW geïnstalleerd vermogen kosten. Uit de breakdown-analyse blijkt dat de mechanica in die windturbines, inclusief de elektrische regeling en stroomafvoer tot onderaan de mast, circa 25% van dat bedrag kost. De vermogens per turbine komen vrijwel overeen met die van de turbines in de dammen. Stichting DTP Netherlands verwacht daarom goede samenwerkingsmogelijkheden met de windindustrie en de turbine-industrie inzake de ontwikkeling en bouw van turbine onderdelen voor dammen.

De potentiële omzet voor de turbine-industrie bij de aanleg van 15 dammen wereldwijd bedraagt 150 miljard Euro. De spin-off zal voor andere Tidal-projecten wereldwijd eenzelfde orde grootte hebben, omdat juist de turbinekosten 75% van de capex uitmaken. Die kosten kunnen uiteindelijk halveren. Turbines onder water met een diameter van 8 meter zijn momenteel nog maatwerkprojecten, waardoor de kosten voor de productie nu geraamd zijn op € 1.200 per KWe. Aangezien er meer dan 2000 turbines zitten in een powerdam kunnen de productiekosten met minimaal 60 % dalen.

## Aansluitkosten powerdam 10 -20 keer lager dan windpark

De congestiekosten op land voor de voorgenomen aanleg wind- en zonnestroom zijn door TenneT begroot op € 100 miljard. DTP-dammen hebben deze kosten niet. Ook zullen de aansluitingskosten beduidend lager zijn omdat er geen piekvermogens afgevoerd hoeven te worden: DTP levert een basislast. De kabels kunnen 2/3 minder zwaar zijn dan bij de vergelijkbare afvoer van het vermogen van wind op zee.

Het aansluiten op het net van 1.000 windturbines kost ruim 3 miljard Euro.

Het aansluiten van een dam aan de kust met dezelfde capaciteit kost 150 miljoen Euro (20 x goedkoper).

Het aansluiten van een dam op zee op het net kost circa 300 miljoen Euro (10 x goedkoper).

## Goedkope waterstofproductie

Met dammen kan eventueel [veel goedkoper waterstof worden geproduceerd](#) dan met zon of wind. De kosten bestaan uit drie onderdelen: investeringskosten, de energiekosten en het onderhoud. Daarnaast nemen bij deellast nemen de stilstand verliezen toe.

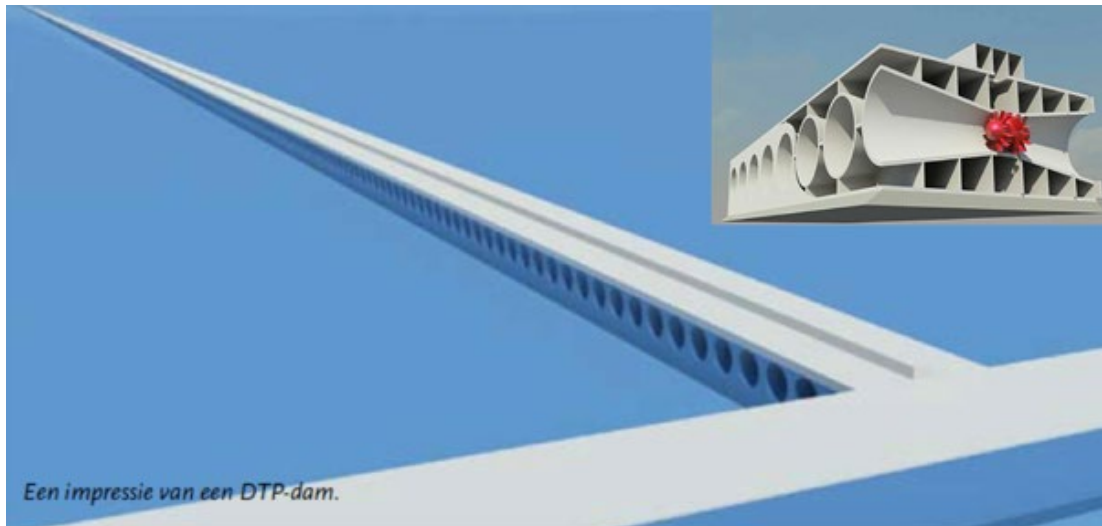
De jaarkosten van investeringen in de gehele installatie en compressoren wordt gedeeld door het aantal te produceren kilo's waterstof. In 2030 dammen zullen die kosten 1,17 €/kg bedragen met waterstof op 200 bar, omdat dammen 8760 vollasturen leveren. Wind op land produceert met 2900 vollasturen stroom, wind op zee met 4400 uur en zon met 900 uur. Daardoor zijn de kapitaalkosten per kg waterstof voor wind op land 3 x hoger, voor wind op zee 2 x hoger en voor zon 9,7 x hoger.

Deellastbelasting impliceert tevens opstart- en stilstandsverliezen, waardoor het energetisch rendement van waterstofproductie met zon ten opzichte van waterstofproductie met dammen circa 10% lager is. Bij wind is dat circa 5%.

Ook zal de wisselende belasting nadelig zijn voor de levensduur van de stacks, waardoor het onderhoud voor de waterstofproductie met dammen goedkoper zal zijn.

## Samenvattend

- Dammen kunnen ingezet worden als basislast.
- Dammen leveren desgewenst goedkoper waterstof dan zon en wind.
- Dammen kunnen flexibel CO2 vrij vermogen leveren. Die stroom heeft hoge marktwaarde.
- Het aansluiten van dammen op het net is 10 – 20 x goedkoper dan wind op zee. Dat scheelt miljarden.
- Dammen veroorzaken geen congestieproblemen op het net, waardoor tientallen miljarden Euro's maatschappelijk geld worden bespaard ten opzichte van zon en wind.
- Voor dammen is er geen kostbare opslag noodzakelijk in het net om pieken en dalen glad te strijken, waarmee eveneens maatschappelijk tientallen miljarden worden bespaard.
- Daar waar wind op zee 25% van het continentale vlak gaat innemen, nemen energiedammen voor een gelijke opbrengst 0,13% van het zeeoppervlak in.



Een dam biedt uiteindelijk de volgende functionaliteiten:

- Visvriendelijke hoog rendement turbines, bestand tegen storm geïnduceerde drukgolven
- Een overdekte high way voor electric driven service activiteiten
- Safe rooms en volledige verblijfsruimtes met catering voor personeel
- Ruimtes voor turbineonderhoud
- Onderdelen magazijnen voor windmolens
- Helikopter hangars
- Onderzoekslaboratoria voor WUR, RWS, Visserij en KNMI/.
- Zendmastfaciliteiten
- Equipment en voorzieningen voor mossel- en oesterkweek
- Mobile sluisdeuren voor het afsluiten van turbine openingen
- Waterstofproductie en bunkerfaciliteiten voor de scheepvaart
- Faciliteiten voor defensie
- Faciliteiten voor gecertificeerde duikers, watersport en sportvisserij
- Faciliteiten voor grootschalige waterstofproductie en opslag
- Buitengaatse bunker en supply faciliteiten voor de visbranche
- Geïntegreerde niet brandbare/ niet explosieve bio degradable large scale opslag faciliteiten voor stroom

## Projectinformatie

DTP Netherlands beschikt over [uitgebreide projectinformatie](#) voor potentiële partners en ingewijden. Bij vragen bent u vrij om contact op te nemen. Ik sta u bijzonder graag te woord.

Ir. Walther Walraven,

Voorzitter Stichting DTP Netherlands

walraveninnovation@mac.com

06 53 122 571

**Multifunctionele powerdammen**

**Investeren in de toekomst!**