

## Energie uit water

Paul Lako, ECN Beleidsstudies

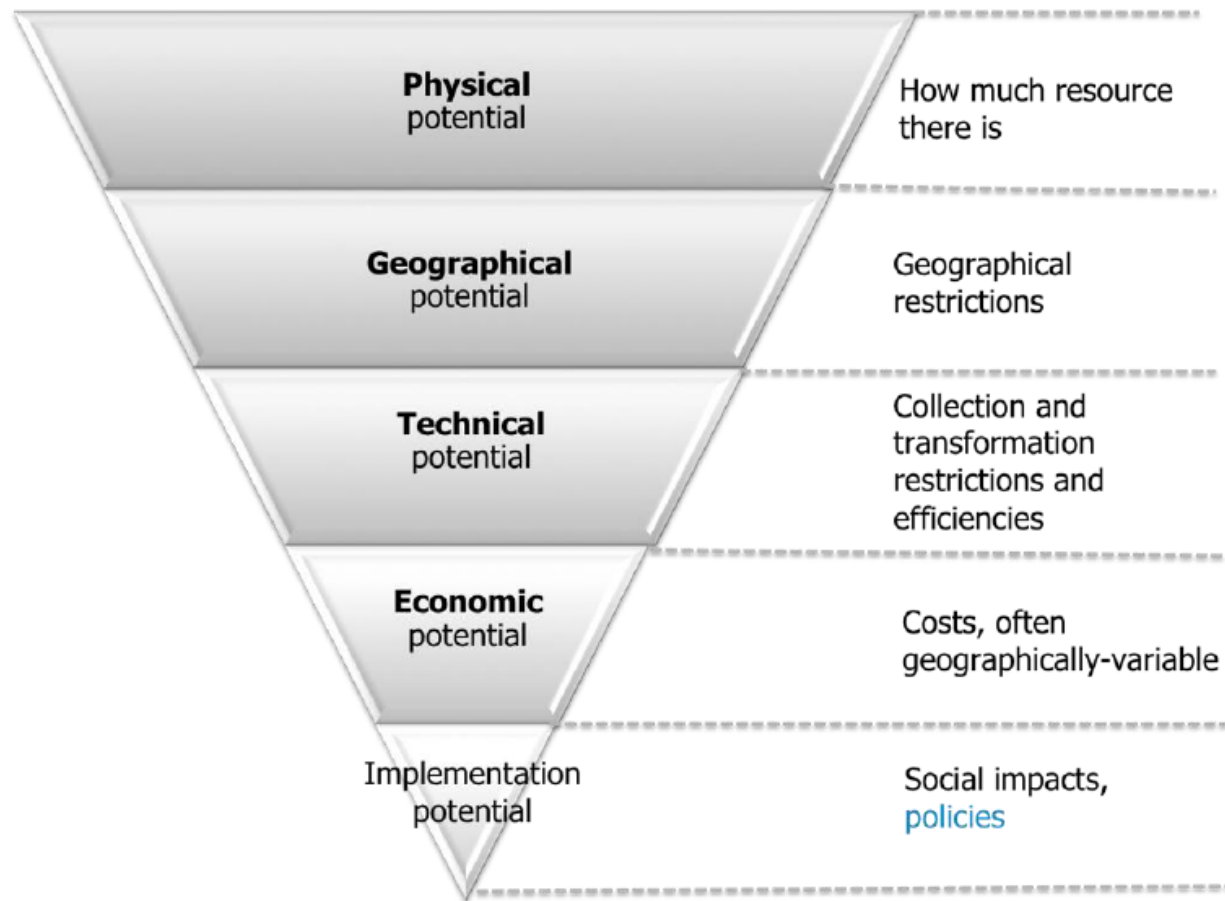
Workshop H<sub>2</sub>O for Energy, RUW, Wageningen, 21 februari 2012



## Inhoud

- Potentiëlen
- Conventionele waterkracht
- Getijdenstroming
- Getijdenbassin
- Golfenergie
- Osmose energie
- Aquatische biomassa
- Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC
- Conclusies

# Potentiëlen



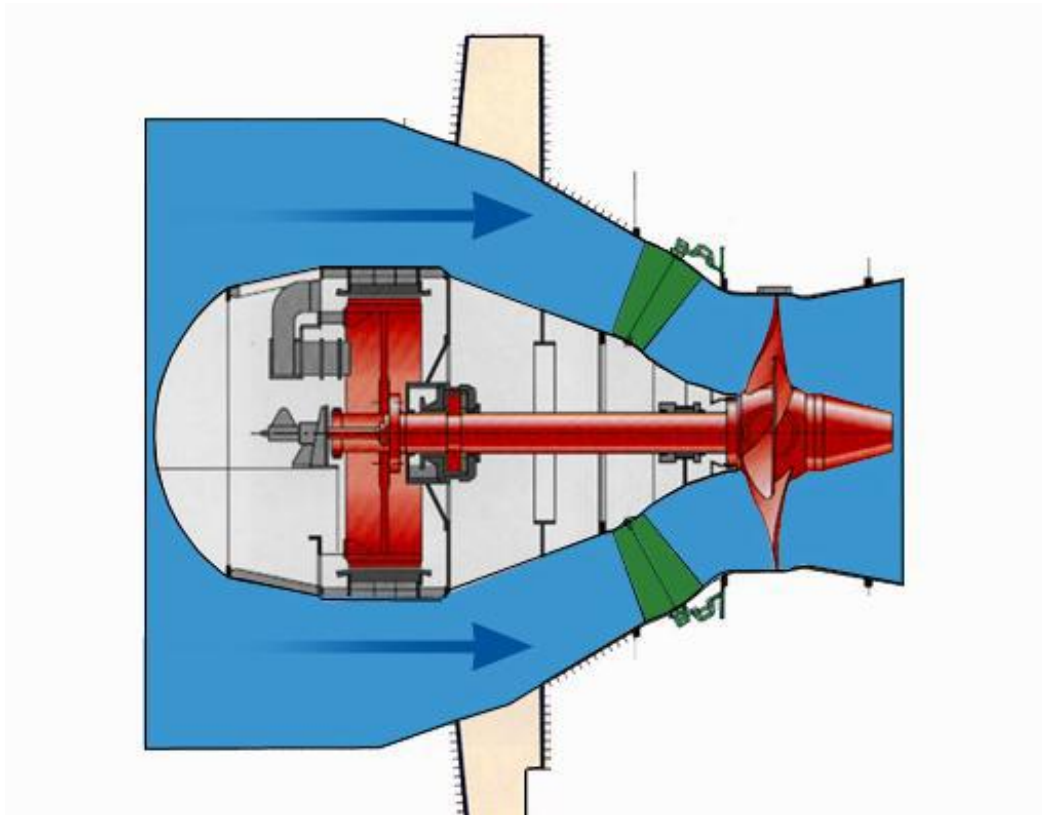
Bron: <http://www.climate-change-solutions.co.uk/pictures/content691/09 - norberto fueyo - 1103-aicpe-birmingham v1 for web.pdf>

## Conventionele waterkracht bij sluisen/stuwen



Bron: De Jong, R.J. (2009): *Potentie duurzame energie bij kunstwerken*. Deltares, 2009.

## Bulb turbine voor valhoogte 1 – 15 m



Bron: De Jong, R.J. (2009): *Potentie duurzame energie bij kunstwerken*. Deltares, 2009.

Noot: Deze turbine wordt 'laag verval turbine' genoemd in tegenstelling tot hoog verval turbines.



	Locatie	Rivier	Jaar	Vermogen
1	Hagestein	Lek	1958	1,8 MW
2	Maurik	Nederrijn	1988	10 MW
3	Linne	Maas	1989	11,5 MW
4	Alphen	Maas	1990	14 MW

## Potentieel conventionele waterkracht NL

- Huidig vermogen: 37 MW (CBS, 2011)
- Resterend economisch potentieel: max. 50 MW
- Totaal economisch potentieel: max. 90 MW
- Huidige opwekking: 100 GWh (0,1% elektriciteitsvraag)
- Totaal potentieel: max. 250 GWh (0,25% elektriciteitsvraag)

Bronnen: De Jong, R.J. (2009): *Potentie duurzame energie bij kunstwerken*. Deltares, 2009.  
CBS (2011): *Hernieuwbare energie in Nederland 2010*. CBS, 2011.

Noot: Voornaamste te ontwikkelen waterkrachtcentrales:

Borgharen	11 MW
Roermond	6,5 MW
Belfeld	5 MW
Sambeek	8,5 MW
Grave	7,5 MW
Driel	2,3 MW

# Getijdenstroming



Bron: <http://www.tocardo.com/>

Noot: prototype Tocardo turbine

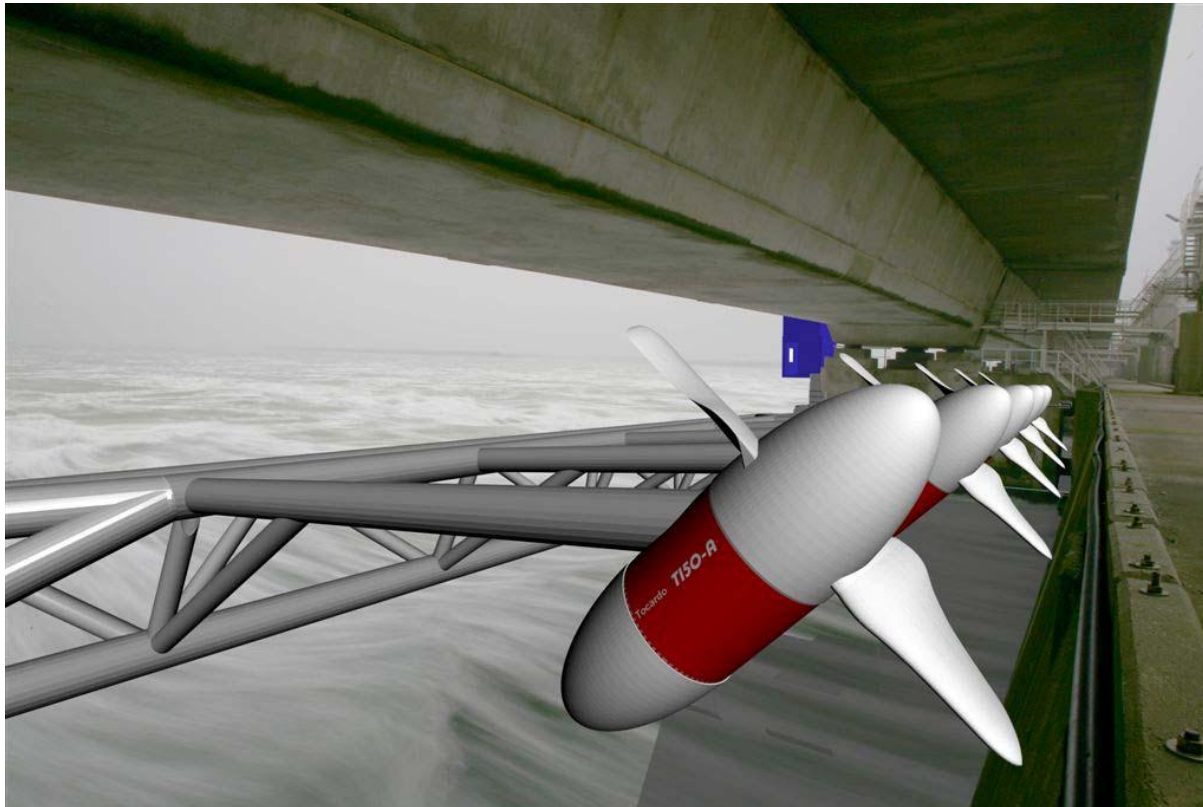


# Prototype Tocardo turbine Stevin sluizen



Bron: <http://www.tocardo.com/>

## Tocado turbines Oosterschelde (200 kW)



Bron: <http://www.tocado.com/>

## Open Hydro turbine Paimpol-Bréhat, Frankrijk (2 MW)



Bron: <http://wwc1cleantechnicacom.wpengine.netdna-cdn.com/files/2011/11/OpenHydro-2.jpg>

## Potentieel getijdenstroming Nederland

- Huidig vermogen: 0,035 MW (Stevin sluizen)
- Resterend potentieel: ca. 15 MW
- Totaal potentieel: ca. 15 MW
- Huidige opwekking: 0,05 GWh
- Totaal potentieel: ca. 40 GWh (0,04% elektriciteitsvraag)

Bronnen: De Jong, R.J. (2009): *Potentie duurzame energie bij kunstwerken*. Deltares, 2009.  
CBS (2011): *Hernieuwbare energie in Nederland 2010*. CBS, 2011.

Noot: Voornaamste opties getijdenstroming energie:

Afsluitdijk	5 MW (*)
Marsdiep	5 MW
Oosterschelde	2 MW
Heel (Maas)	1,2 MW

(\*) Combinatie van getijden stroming en getijdenbassin. Toegerekend aan getijden stroming.

## Getijdenbassin

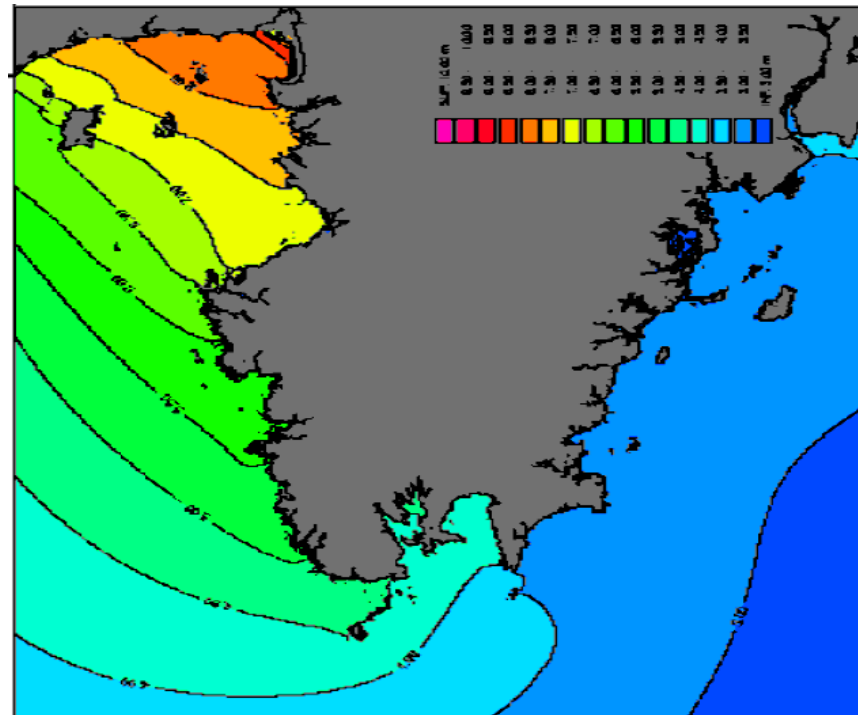


Bron: <http://www.wyretidalenergy.com/tidal-barrage/la-rance-barrage>

Noot: 240 MW getijdencentrale, La Rance, Frankrijk (in bedrijf november 1966)

# Getijdencentrale La Rance

- Tidal range average 8.2 m, max. 13.5 m
- 24 \* 10 MW = 240 MW
- Generation: 544 GWh



Bron: Laleu, V., de (2009): *La Rance tidal power plant*. EDF, 2009. <http://www.british-hydro.org/downloads/La%20Rance-BHA-Oct%202009.pdf>

## Potentieel getijdenbassin Nederland

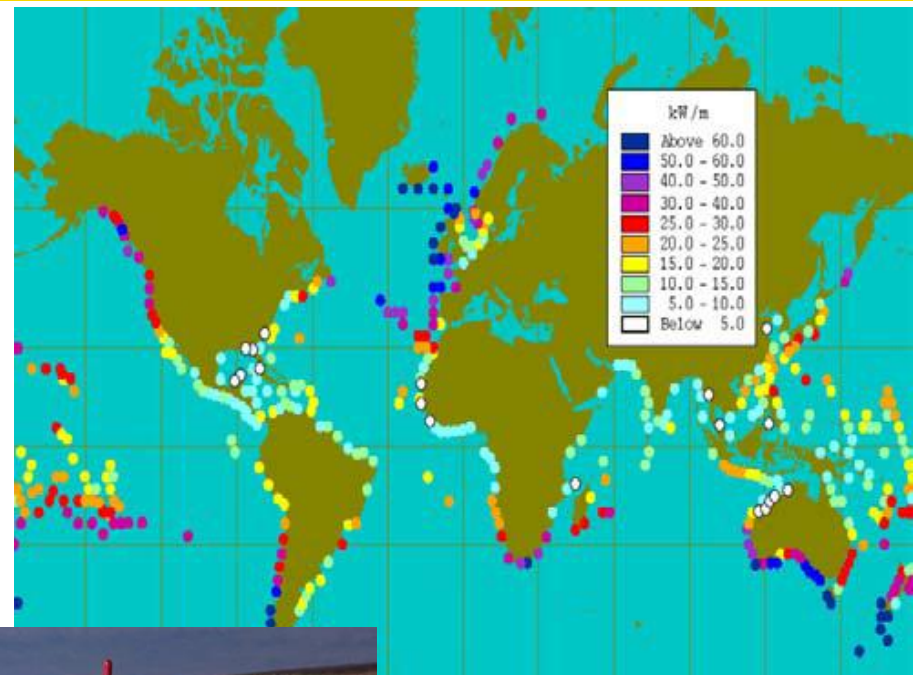
- Gepland project Brouwersdam: max. 60 MW (Bulb turbines)
- Opwekking: max. 190 GWh (0,18% elektriciteitsvraag)

Bronnen: SDC (2007): *Turning the Tide – Tidal Power in the UK*. Metoc on behalf of the UK Sustainable Development Commission (SDC), UK, October 2007.

<http://www.technischweekblad.nl/turbines-in-brouwersdam.179376.lynkx>

Noot: Een alternatief voor toepassing van Bulb turbines bij de Brouwersdam zou zijn het plaatsen van een turbine die aangedreven wordt door de lucht die het vallende water meezuigt. Voordeel is dat de oude caissons kunnen blijven liggen. Nadeel is een lagere opbrengst.

# Golfenergie



Bronnen: Hagerman, G. (2005): *Wave and Tidal Power: Projects and Prospects*. Northeast CZM Partners Workshop, Virginia Beach, Virginia, USA, 7 October 2005.

<http://www.deq.virginia.gov/coastal/documents/hagerman.pdf>

<http://www.pelamiswave.com/our-projects/project/2/ScottishPower-Renewables-at-EMEC>



# Aguçadoura (Portugal) en European Marine Energy Centre, EMEC (Orkney)

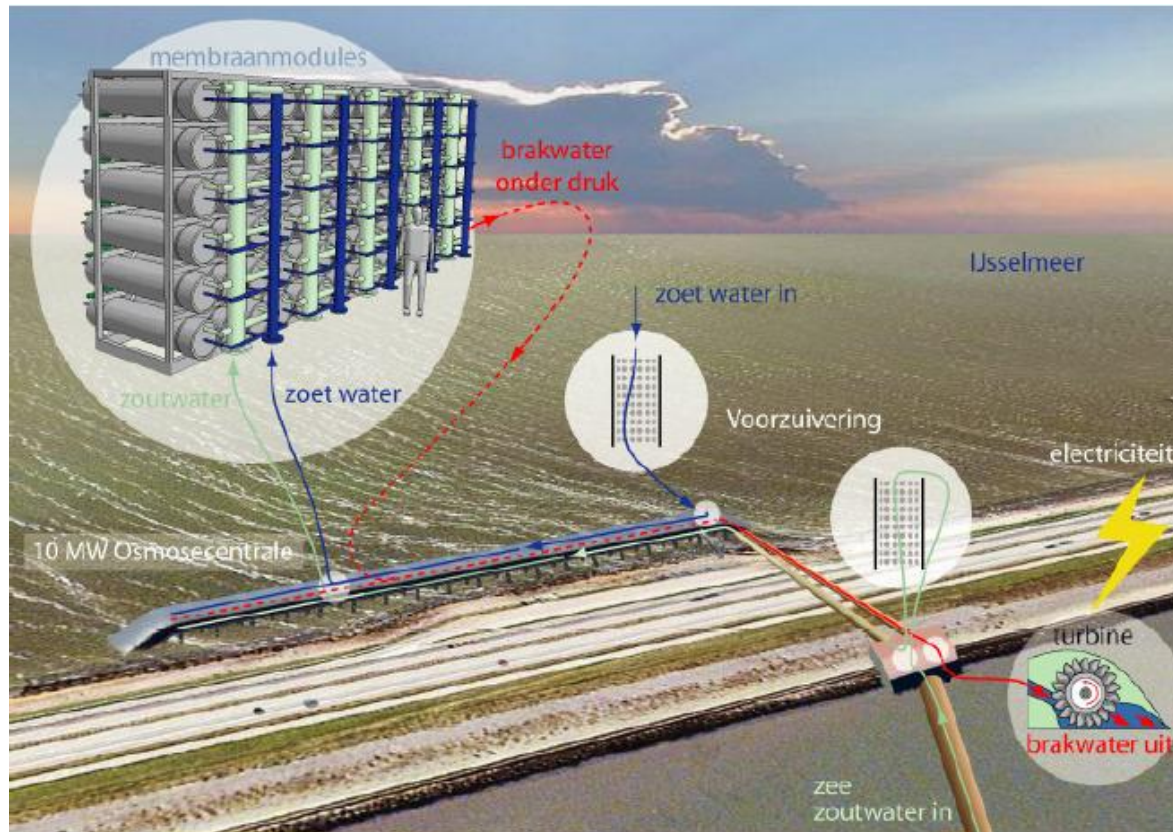


Bron: . <http://www.pelamiswave.com/content.php?id=159>

## Potentieel golfenergie Nederland

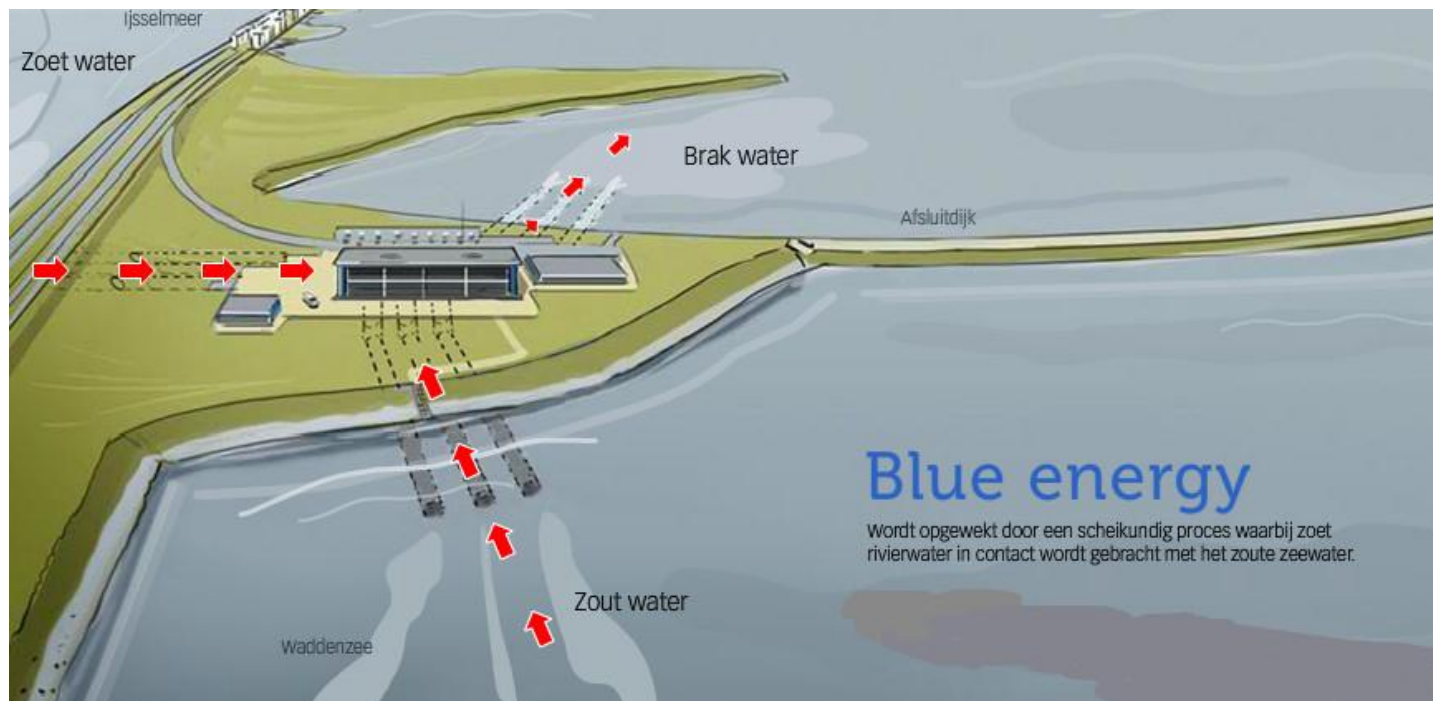
- Technisch potentieel ('Milieu Centraal'): 2,9 TWh (~ 2,5% elektriciteitsvraag)
- Komt overeen met 60 km kustlengte
- Geschatte kosten: 50 ct/kWh of meer
- Vooralsnog oneconomisch (kosten overschrijden 'bovengrens')

# Osmose energie



Bron: Molenbroek, E.C. (2007): *Energie uit zout en zoet water met osmose*. Ecofys Netherlands B.V., Utrecht, 17 oktober 2007. <http://www.energieuitwater.nl/mediatheek>

## Toepassing bij Afsluitdijk – ‘PRO’ of ‘R.E.D.’



Bron: Molenbroek, E.C. (2007): *Energie uit zout en zoet water met osmose*. Ecofys Netherlands B.V., Utrecht, 17 oktober 2007. <http://www.energieuitwater.nl/mediatheek>

Noot: PRO = Pressure-Retarded Osmosis (Statkraft, Noorwegen)  
R.E.D. = Reverse Electro Dialysis (REDstack, Nederland)

## Van laboratorium naar pilot naar demo

- Huidig vermogen prototype PRO Statkraft: 2-4 kW (lab schaal)
- Beoogde pilot op basis van 'R.E.D.': ca. 50 kW
- Schaal demonstratieproject: ca. 10 MW → 80 GWh (> 2015)



Prototype PRO-centrale Statkraft bij Tofte, Oslo fjord

Bron: [http://www.statkraft.com/Images/Osmotic%2009%20ENG\\_tcm9-4591.pdf](http://www.statkraft.com/Images/Osmotic%2009%20ENG_tcm9-4591.pdf)

# Potentieel osmose energie in Nederland

- Huidig vermogen: P.M. (lab schaal)
- Eerstvolgende schaalgrootte: 50 kW (pilot Afsluitdijk)
- Daaropvolgende schaalgrootte: 10 MW (demonstratie)
- Economisch potentieel: ca. 500 MW? (Afsluitdijk 200 MW)
- Kosten ~ 50 ct/kWh bij 1 MW, afnemend tot 10-12 ct/kWh in 2025?
- Maximale opwekking: 4000 GWh (4% elektriciteitsvraag)

Bronnen: Molenbroek, E.C. (2007): Energie uit zout en zoet water met osmose. Ecofys Netherlands B.V., Utrecht, 17 oktober 2007. <http://www.energieuitwater.nl/mediatheek>

Lensink, S.M. et al (2011): *Basisbedragen in de SDE+ 2012*. ECN/KEMA, Petten/Arnhem, ECN-E--11-054, 2011. <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/e11054.pdf>

Lako, P., Luxembourg, S.L., Beurskens, L.W.M. (2010): Karakteristieken van duurzame energie in relatie tot de Afsluitdijk. ECN-E--10-044. <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2010/e10044.pdf>

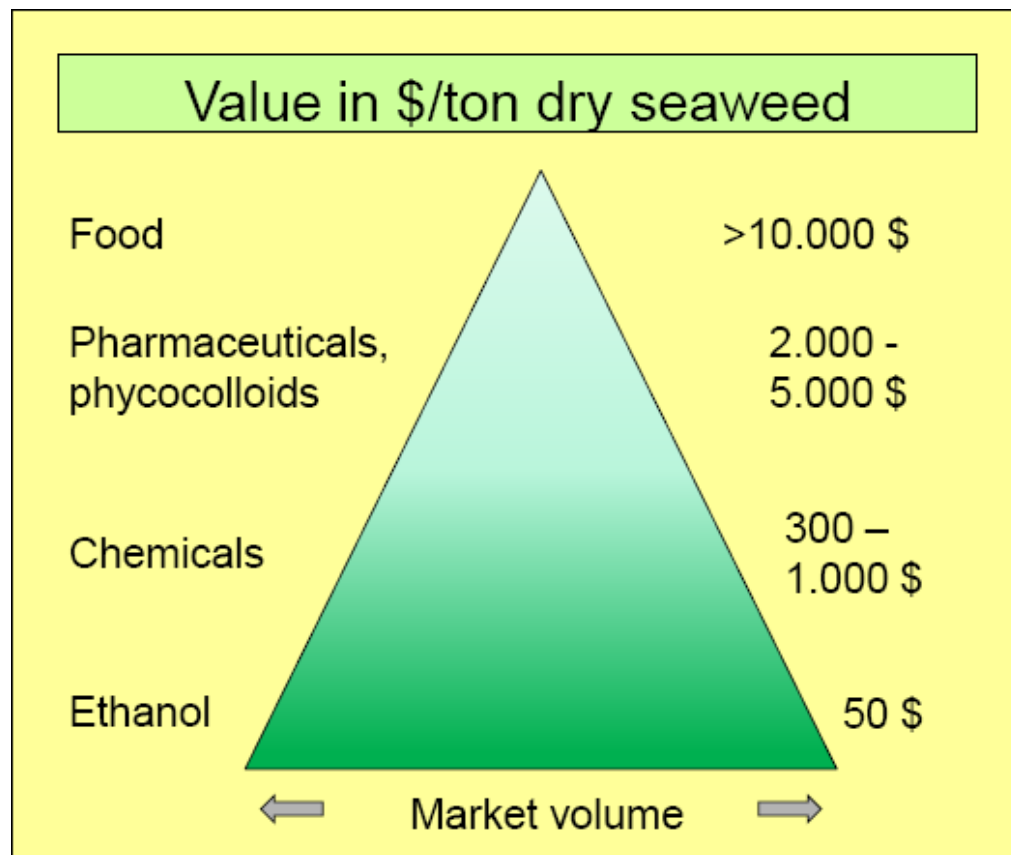
Noot: De 'hydrocratic generator', (Wader LLC) voor zeewater ontzilting kan ook worden toegepast voor of in combinatie met 'salinity gradient power' (Jones en Finley, 2003).

## Aquatische biomassa



Bron: Lenstra, W.J., Hal, J.W. van, Reith, J.H. (2011): *Ocean Seaweed Biomass – For large-scale biofuel production*. ECN, 2011. <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/m11089.pdf>

# Toepassingen zeewier / algen



Bron: Lenstra, W.J., Hal, J.W. van, Reith, J.H. (2011): *Ocean Seaweed Biomass – For large-scale biofuel production*. ECN, 2011. <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/m11089.pdf>



# Rol aquatische biomassa in energiesysteem

- Theoretische potentieel bij teelt zeewier op 5000 km<sup>2</sup> Noordzee: 350 PJ th (Reith, 2005)
- Echter, teelt zeewier op Noordzee is relatief duur (weinig licht)
- Grote schaal: hoogwaardige toepassingen, zoals:
  - Inzet gehele biomassa (of reststromen na extractie of fermentatie) in voeding, diervoeders of als meststof
  - Extractie van producten, waaronder vetzuren, kleurstoffen, alginaten, carragenen, agars, mannitol, anorganische producten
  - Fermentatieve conversie van biomassa (of biomassafracties) voor productie van energiedragers (methaan, ethanol, H<sub>2</sub>) of CO<sub>2</sub>-neutrale “platform chemicaliën”
  - Fysisch/chemische conversie van (rest)biomassa tot energiedragers

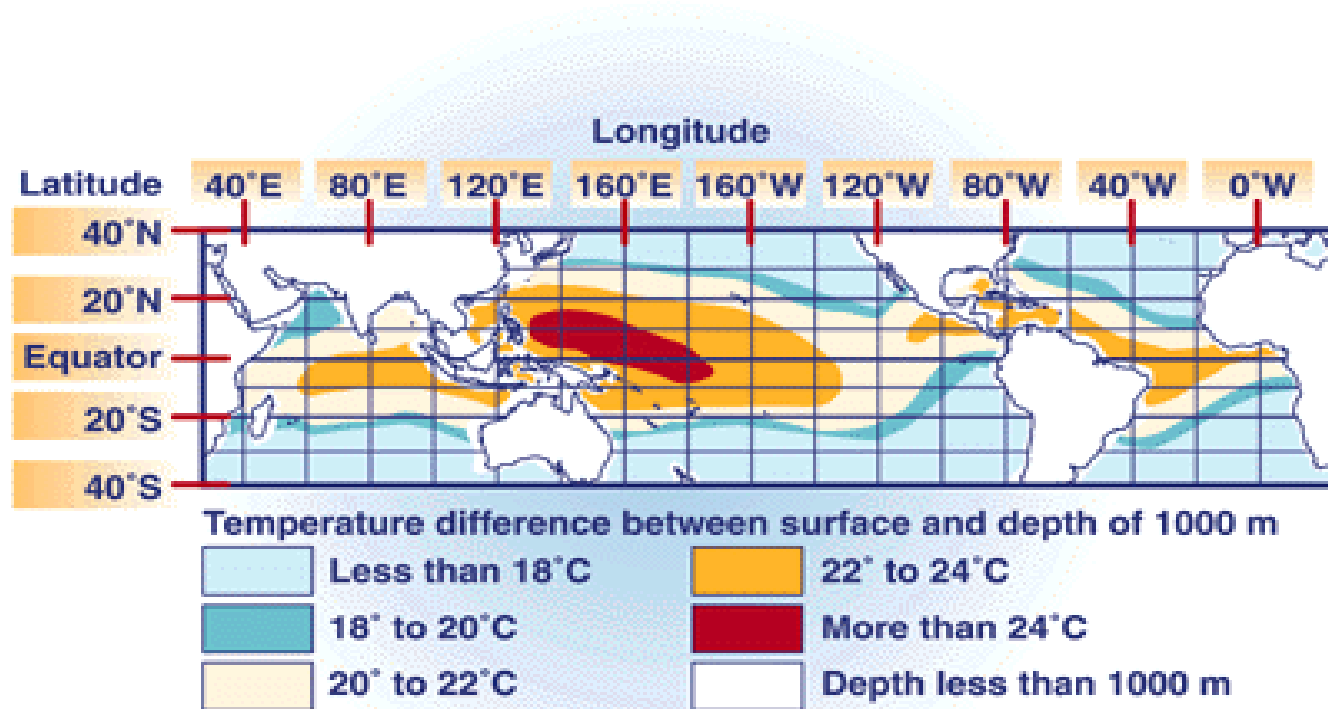
Bronnen: J.H. Reith, E.P. Deurwaarder, K. Hemmes, A.P.W.M. Curvers, P. Kamermans, W. Brandenburg, G. Zeeman *et al* (2005): *BIO-OFFSHORE – Grootschalige teelt van zeewieren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee*. ECN-C--05-008.

<http://www.ecn.nl/docs/library/report/2005/c05008.pdf>

J.H. Reith *et al* (2010): *Seaweed potential in the Netherlands*. ECN-L--09-080, 2009.

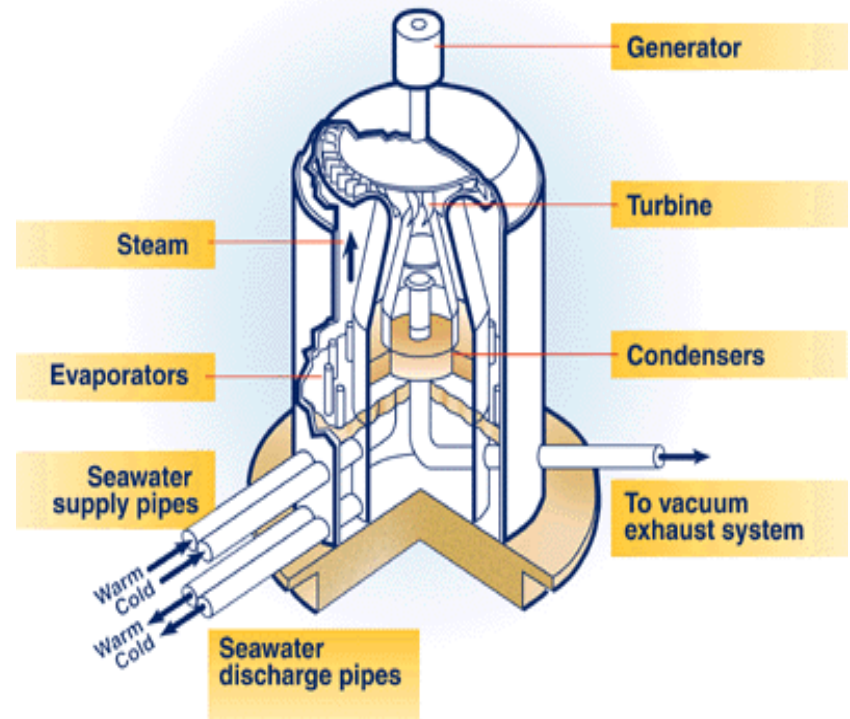
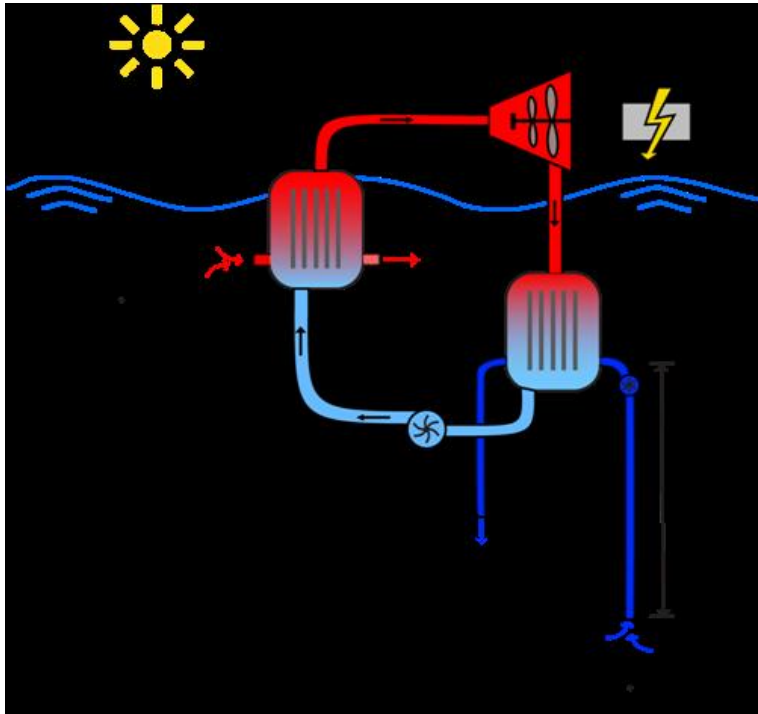
<http://publicaties/docs/2009/109080.pdf>

# Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)



Bron: [Http://www.nrel.gov/otec/achievements.html](http://www.nrel.gov/otec/achievements.html)

# Ontwikkeling OTEC



Bronnen: [Http://www.nrel.gov/otec/achievements.html](http://www.nrel.gov/otec/achievements.html)  
[Http://www.otec.tudelft.nl/fileadmin/UD/MenC/Support/Internet/TU\\_Website/TU\\_Delft\\_portal/Samenwerken/Samenwerkingsmogelijkheden/Contractonderzoek/Design\\_Challenge/X030\\_OTEC-wegX/doc/Design\\_Challenge\\_OTEC\\_Demo.pdf](http://www.otec.tudelft.nl/fileadmin/UD/MenC/Support/Internet/TU_Website/TU_Delft_portal/Samenwerken/Samenwerkingsmogelijkheden/Contractonderzoek/Design_Challenge/X030_OTEC-wegX/doc/Design_Challenge_OTEC_Demo.pdf)  
[Http://www.bluerise.nl/our-research/otec-demo/](http://www.bluerise.nl/our-research/otec-demo/)

Noot: In mei 1993 heeft een prototype OTEC installatie bij Keahole Point, Hawaii, 50 kW elektrisch geproduceerd. Dit was de tweede OTEC installatie van deze schaal in de geschiedenis.

## Potentieel OTEC

- Toepassing: tropische gebieden met voldoende diep zeewater: >1 km
- Ontwikkelingsstadium: onderzoek, ontwikkeling, prototype
- Technisch-economische obstakel: gering temperatuurverschil

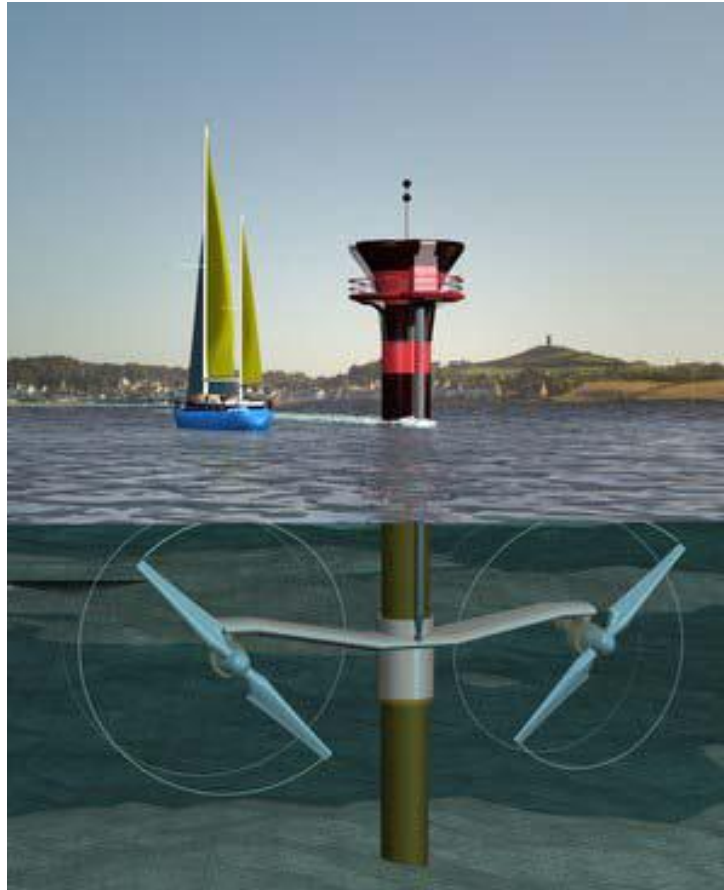
## Conclusies

- Conventionele waterkracht: klein potentieel in NL: ~90 MW, 250 GWh/jaar
- Getijdenstroming: klein potentieel in NL: ~15 MW, 40 GWh/jaar
- Getijdenbassin: klein potentieel in NL: Brouwersdam, ~60 MW, 190 GWh/jaar
- Golfenergie: vooralsnog oneconomisch (kosten overschrijden 'bovengrens')
- Osmose energie: groter lange termijn potentieel: ~500 MW (Afsluitdijk 200 MW), overeenkomend met 4000 GWh/jaar
- Aquatische biomassa:  
Theoretische potentieel teelt zeewier op 5000 km<sup>2</sup> Noordzee: 350 PJ thermisch. Echter: weinig licht op Noordzee. Daarom hoogwaardige producten, zoals ofwel voeding, diervoeders, meststof, ofwel vetzuren, kleurstoffen, alginaten, carragenen, agars, mannitol, anorganische producten, bio-chemicaliën, etc
- OTEC: toepassing in tropische gebieden (bijvoorbeeld eilanden) met voldoende diep water (> 1 km); beperking: gering temperatuurverschil

**Thank you for your attention!**

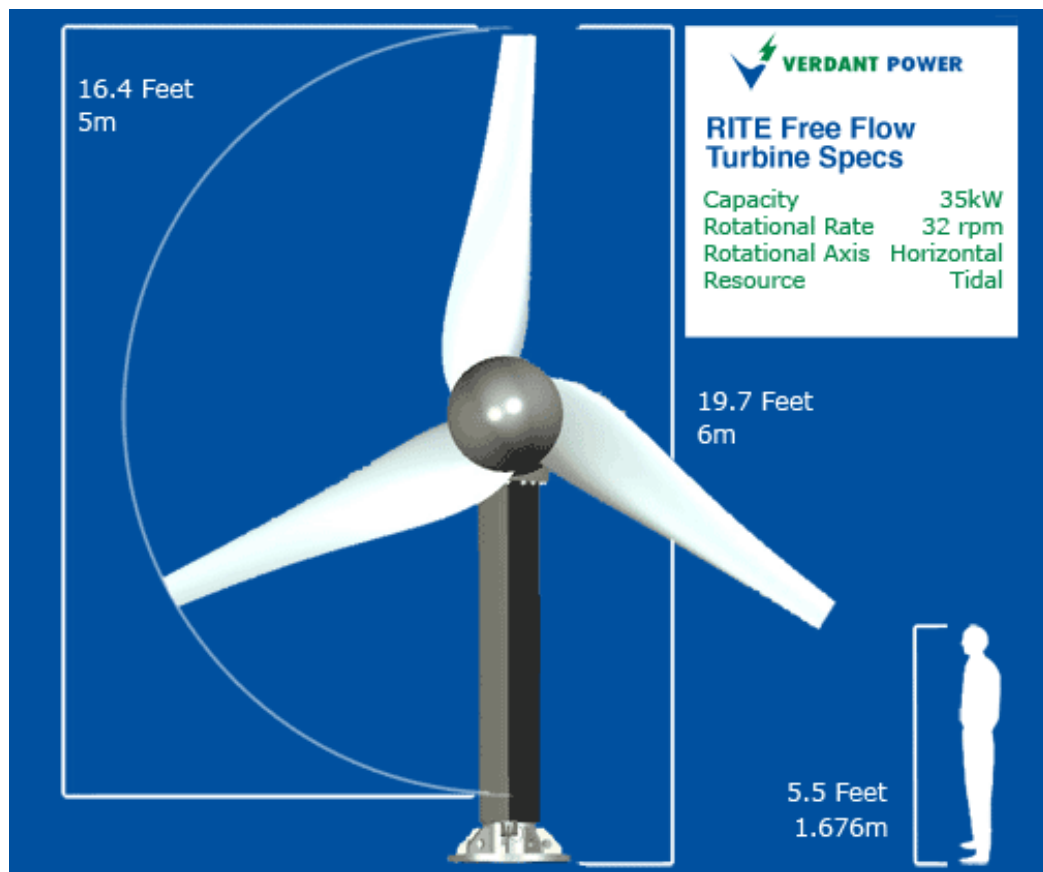
**[lako@ecn.nl](mailto:lako@ecn.nl)**

## OeanGen tidal power (artist impression), Marine Current Turbines Ltd



Bron: <http://www.iea-etsap.org/web/E-TechDS/PDF/E08-Ocean%20Energy-GS-gct.pdf>

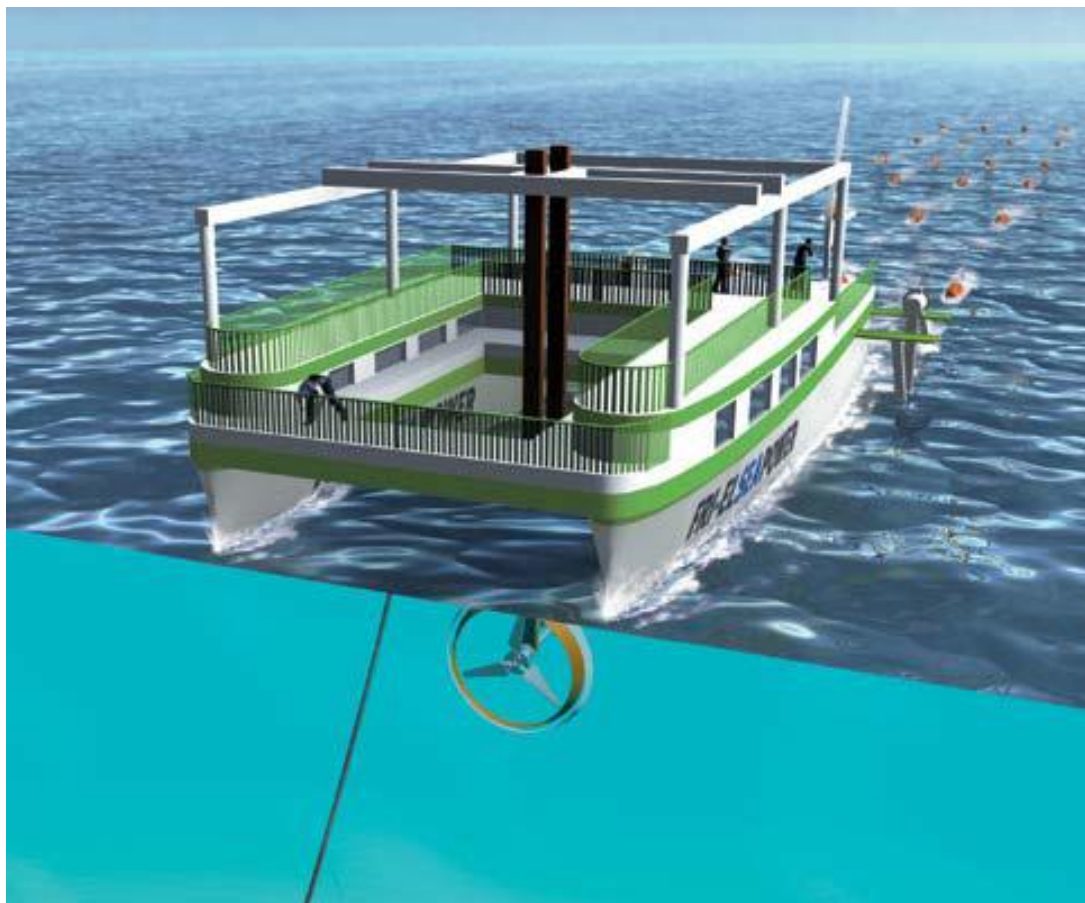
## Scheme of free-flow power unit of Verdant Power, USA/Canada



Bron: <http://www.iea-etsap.org/web/E-TechDS/PDF/E08-Ocean%20Energy-GS-gct.pdf>

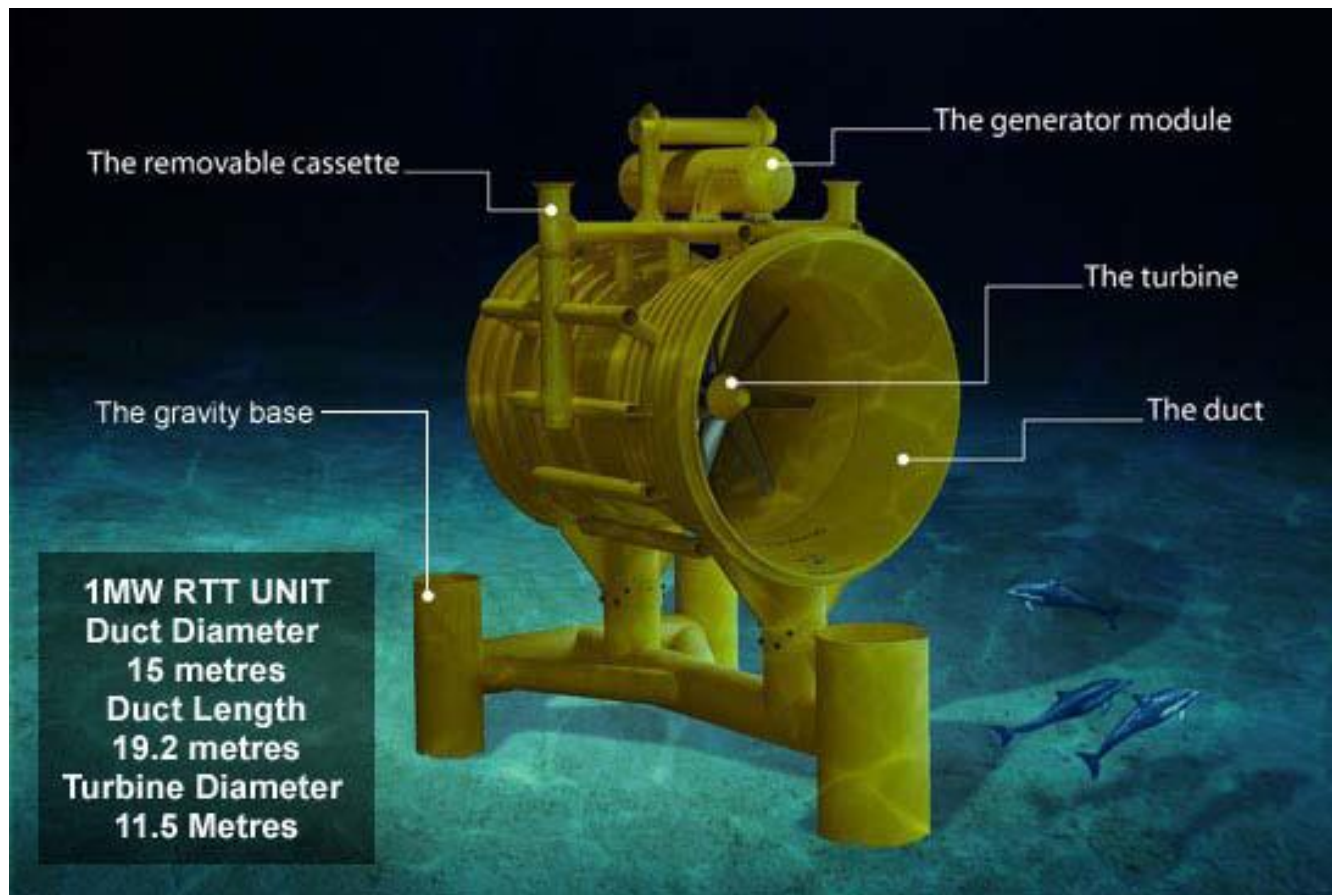


## Scheme of tidal stream converter Fri-EI Sea Power (Fri-EI Green Power)



Bron: <http://www.iea-etsap.org/web/E-TechDS/PDF/E08-Ocean%20Energy-GS-gct.pdf>

## Scheme of tidal stream power unit Lunar Energy, UK



Bron: <http://www.iea-etsap.org/web/E-TechDS/PDF/E08-Ocean%20Energy-GS-gct.pdf>