



Markus Schneeberger

## **Strom der Gezeiten**

14. Symposium Energieinnovation TU Graz 10.2.2016

# Gezeitenstrom – Strom aus Gezeiten

Ein Technologieüberblick

**Die Kraft der Ozeane**

Technologieüberblick Gezeitenströmung

Gezeitenströmungsturbinen – Projekt- und Technologieübersicht

Gezeitenkraftwerke – Projekt- und Technologieübersicht



# Die Kraft der Ozeane

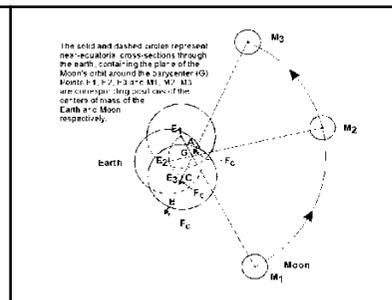
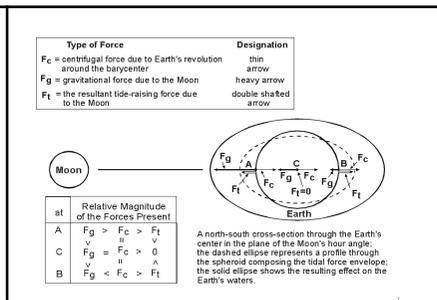
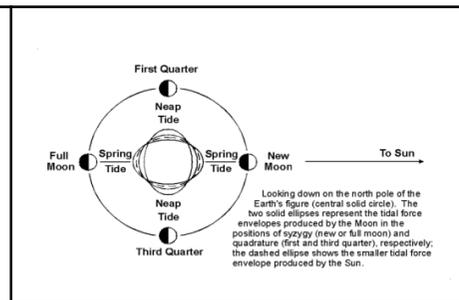
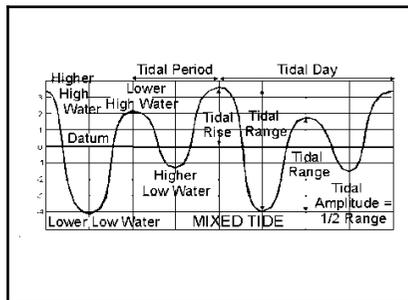
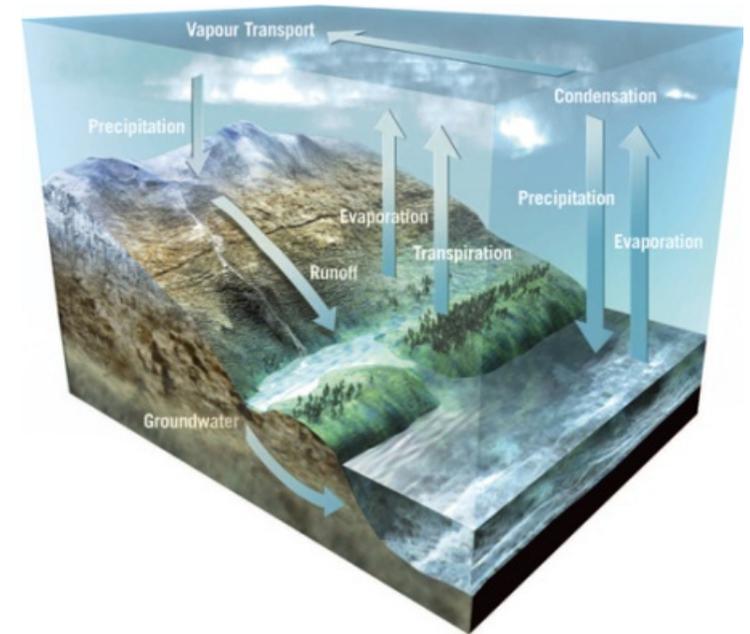
# Wasserkraft - Gezeitenkraft

## Funktionsprinzip

Wasserkraft = Sonnenenergie

Gezeitenkraft = Mondenergie

Meeresspiegelschwankungen auf der Erde durch veränderliche Mondanziehungskraft

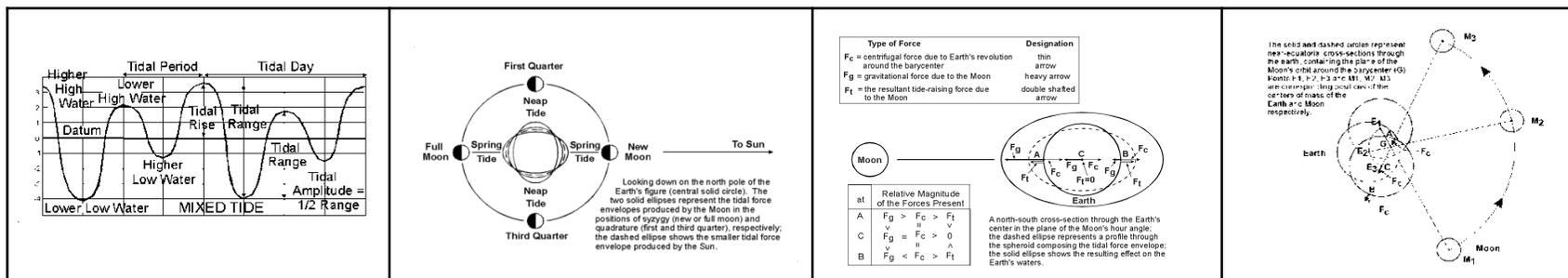


# Gezeiten

## Funktionsprinzip

### Wie entstehen Gezeiten?

- Erde und Mond haben einen gemeinsamen Drehpunkt
- Gravitationskraft = Fliehkraft
- Gravitation  $\approx 1/r^2$  und Fliehkraft  $\approx \omega^2 * r$  :  
zwei Erhöhungen (mondseitig und gegenüber)
- 2 x pro Tag + Erdumrundung des Mondes:  
1 "Gezeitentag" = 24 h 48,8 min
- Springflut und Nippflut  
(Vollmond/Neumond - Halbmond)
- Genau berechenbar:  
Gleichung mit > 36 Variablen, voller Zyklus: 18,6 Jahre



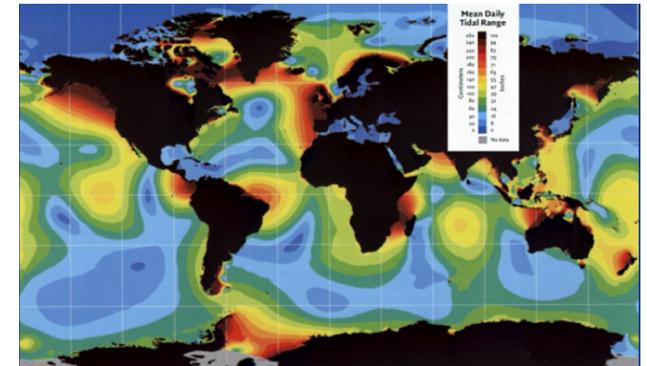
# Gezeitenkraft – Energiepotential

## Zwei Möglichkeiten der Nutzung

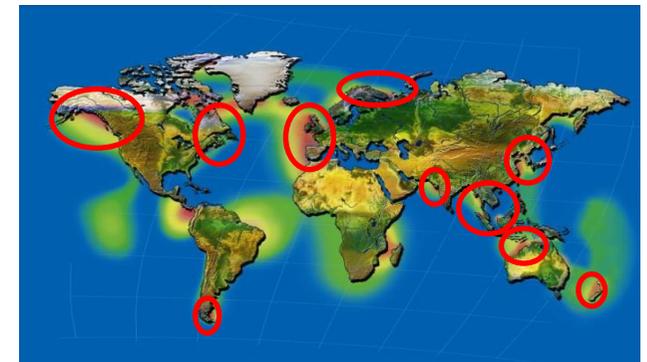
- Könnte eine weitere bedeutsame erneuerbare Energiequelle sein
- Mögliches Potential > 150 TWh
- Sauber, verlässlich, VORHERSAGBAR

Zwei Möglichkeiten der Nutzung:

- 1) Potentielle Energie aus Tidenhuben
- 2) Kinetische Energie aus Ausgleichsströmungen des Meeres in Küstennähe



Tidenhübe



Gezeitenausgleichsströmungen

# Gezeitenkraft – Energiepotential

Zwei Möglichkeiten der Nutzung

## 1) Potentielle Energie:

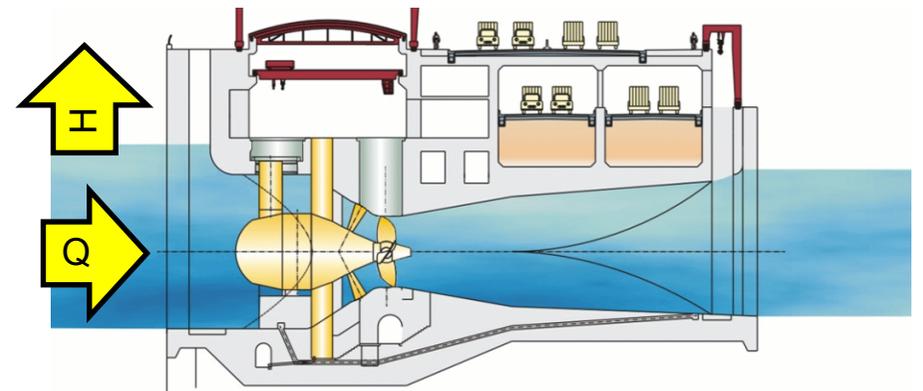
Tidenhub = Gefälle von 0,5 bis >10 m  
(Bay of Fundy, Resonanzfall):

### Gezeitenkraftwerk

Bauweise basierend auf  
Laufkraftwerkstechnologie



$$P(t) = \eta * Q * H * \rho * g$$



# Gezeitenkraft – Energiepotential

Zwei Möglichkeiten der Nutzung

## 2) Kinetische Energie:

Ausgleichsströmungen des Meeres in Küstennähe: bis zu 3,5 m/s

**Gezeitenströmungskraftwerk,**  
basierend auf Windkraft-Technologie

$$P(t) = \lambda * A * \rho / 2 * v^3$$



# Gezeitenstrom – Strom aus Gezeiten

Ein Technologieüberblick

**ANDRITZ HYDRO: Entscheidung in beide Technologien zu investieren**

**Mittlerweile Marktführer in beiden Technologien**



**Gezeitenströmungsturbinen  
„Tidal Kinetics“ / „Tidal Stream“**



**Gezeitenkraftwerk  
„Tidal Barrage“ / „Tidal Lagoon“**

# Gezeitenstrom – Strom aus Gezeiten

Ein Technologieüberblick

Die Kraft der Ozeane

**Technologieüberblick Gezeitenströmung**

Gezeitenströmungsturbinen – Projekt- und Technologieübersicht

Gezeitenkraftwerke – Projekt- und Technologieübersicht

# Energie aus Gezeitenströmung

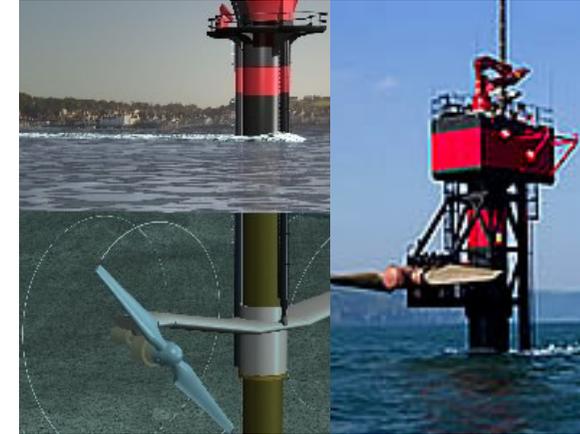
## Rotierende Maschinen



Open Centre Turbine (Ireland)



Tocado (Niederlande)



Seaflow (UK) & Seagen (UK)



Evopod (UK)



SRTT (UK)



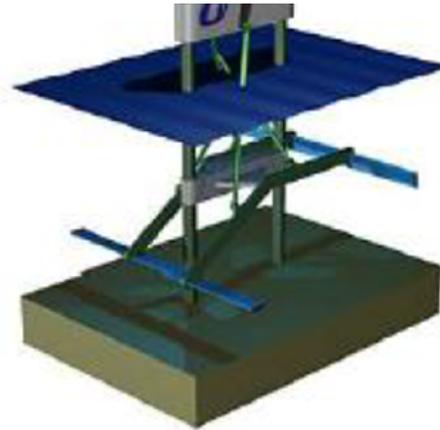
TidEL (UK)

# Energie aus Gezeitenströmung

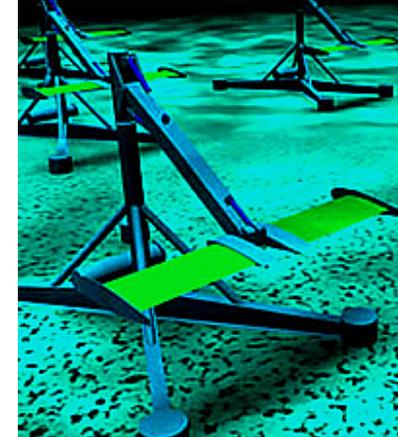
## Oszillierende Maschinen



BioStream (Australien)



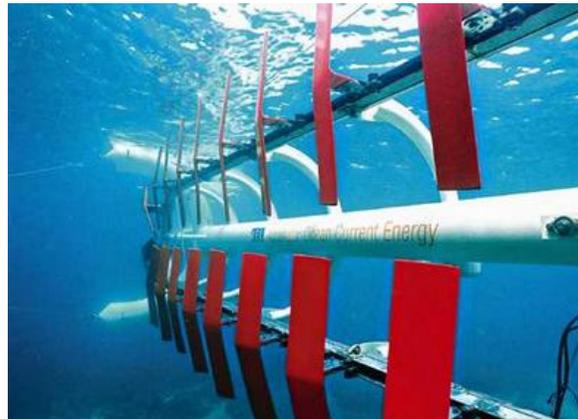
Pulse Generator (UK)



Stingray (UK)



Harmonica (Norwegen)



Aquanator

# Wellenenergie

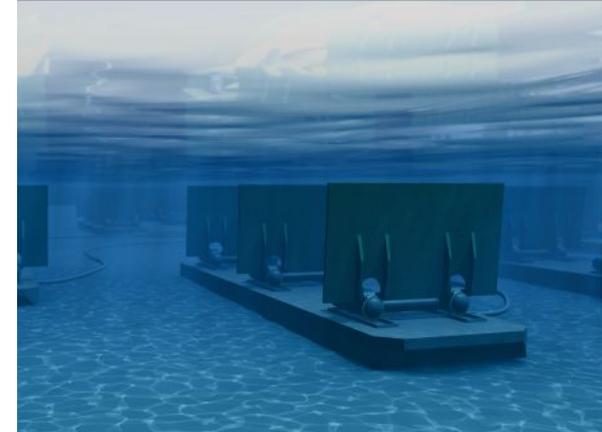
## Prototypen



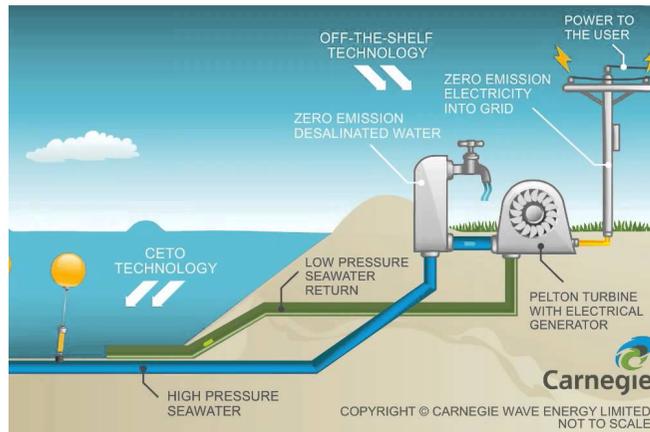
**Pelamis Wave Power Ltd.**



**Daily Motion (Brasilien)**



**AW-Energy's (Finnland)**



**Carnegie Wave Energy**

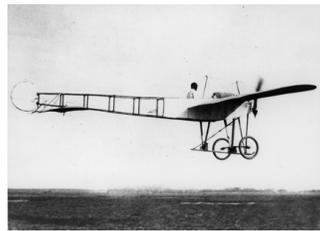


**Wave Dragon (Dänemark)**

# Technologie Quervergleich

## Flugzeugbau

Anfangsstadium: zahlreiche Varianten



100 Jahre später: Technische Reife, Optimum scheint gefunden



# Gezeitenstrom – Strom aus Gezeiten

Ein Technologieüberblick

Die Kraft der Ozeane

Technologieüberblick Gezeitenströmung

**Gezeitenströmungsturbinen – Projekt- und Technologieübersicht**

Gezeitenkraftwerke – Projekt- und Technologieübersicht

# Andritz Hydro Hammerfest

Ziel: Hydro-Alternative zu Offshore Wind

Technologiebasis: Windkraft

- 3-Flügler, Pitchsysteme (elektrisch/hydraulisch)
- Variable Drehzahl
- Getriebe & Asynchrongenerator
- Sicherheitssysteme Überdrehzahl

2010: Beteiligung an Hammerfest Strøm

- 1997 – gegründet in Hammerfest, Norwegen
- 2008 – Eröffnung Standort Glasgow
- 2010 – Einstieg von ANDRITZ HYDRO
- 2012 – ANDRITZ HYDRO Hammerfest



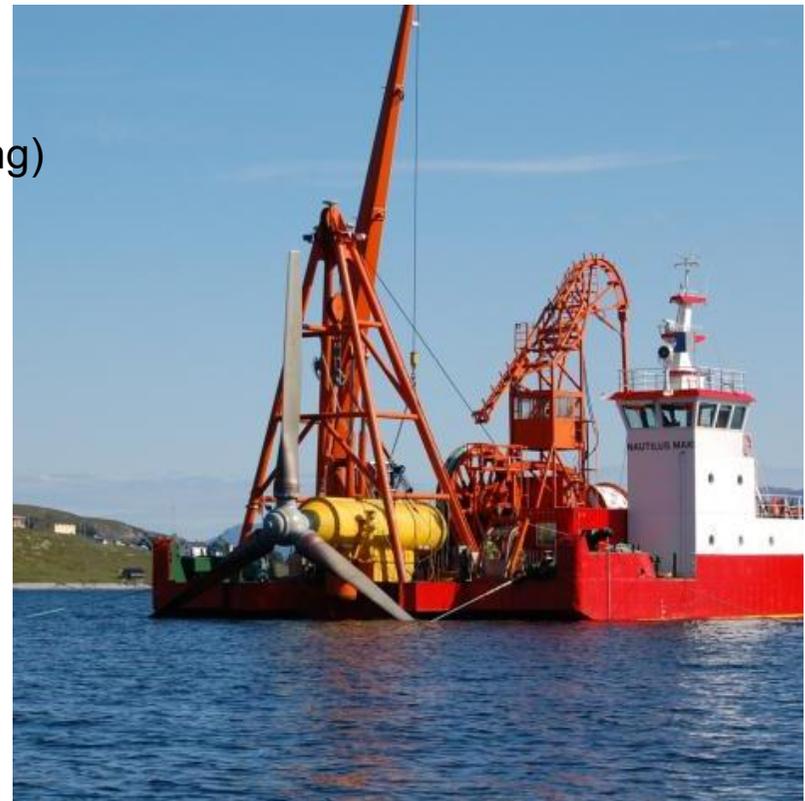
# Andritz Hydro Hammerfest

Kvalsund/Norwegen – 300kW Prototyp Strömungsturbine

## Weltweit erster Prototyp mit Netzanbindung

Typ:	HS300
Installation:	2003
Netzanbindung:	2004
Wiederinstallation:	2009 (nach Wartung und Überprüfung)
Ort:	Kvalsund, Hammerfest, Norwegen
Nennleistung:	300 kW
Jahresarbeit:	über 1.5 GWh pro Jahr
Verfügbarkeit:	98 % (nach Wiederinstallation)
Wassertiefe:	50 m
Turbinenhöhe:	31 m
Rotordurchmesser:	20 m
Nennzahl:	7 rpm

Mehr als 16,000 Betriebsstunden, davon mehr als 9,500 Stunden autonomer Dauerbetrieb



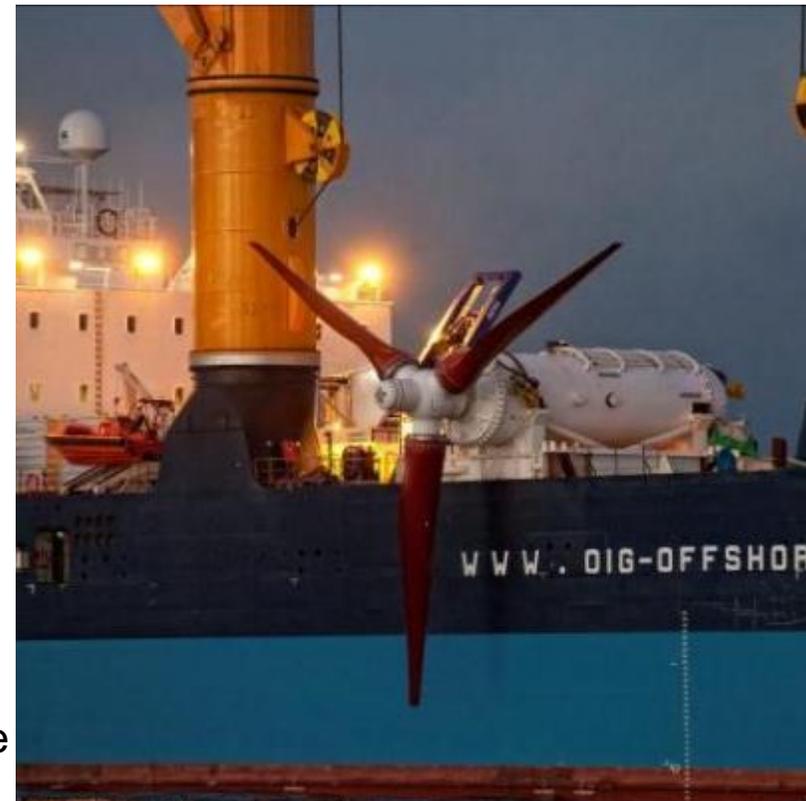
# Andritz Hydro Hammerfest

EMEC/Schottland – 1 MW marktreife Gezeitenströmungsturbine

## Installation der ersten marktreifen Gezeitenströmungsturbine bei EMEC

Typ:	HS1000
Installation:	Dezember 2011
Netzanbindung :	Februar 2012
Ort:	Fall of Warness, Schottland
Nennleistung:	1,000 kW
Jahresarbeit:	über 3.5 GWh pro Jahr
Verfügbarkeit:	98 % (nach Wiederinstallation)
Wassertiefe:	50 m
Turbinenhöhe:	32,5 m
Rotordurchmesser:	21 m
Nenndrehzahl:	10,2 rpm

Die HS1000 Gezeitenturbine wurde am European Marine Energy Centre (EMEC) auf den Orkney Inseln installiert und getestet, die in einer der rauesten Gewässerzonen Europas liegen.



**ANDRITZ**  
Hydro

# Andritz Hydro Hammerfest

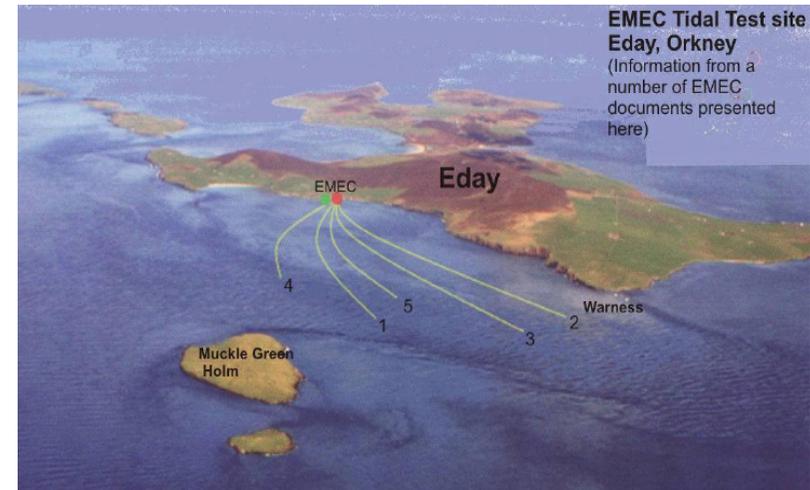
EMEC/Schottland – 1 MW marktreife Gezeitenströmungsturbine

Installation bei EMEC/Orkneys im  
Dezember 2011

Erfolgreiche zwölfmonatige Abnahme-  
und Testphase im vollautonomen  
Betrieb

1 MW Turbine: Als erster Hersteller  
mehr als 1GWh elektr. Energie ins  
Netz geliefert

HS1000 zertifiziert durch DNV (Det Norske  
Veritas), Erhalt eines “Prototyp Zertifikats” im  
Juni 2013 nach Bestehen zahlreicher Tests und  
Inspektionen



# Andritz Hydro Hammerfest

## HS1000 Impressionen



Transport der Nacelle



Vormontage am Kai



Offshore Installation



Auf "OIG Giant" vor Installation



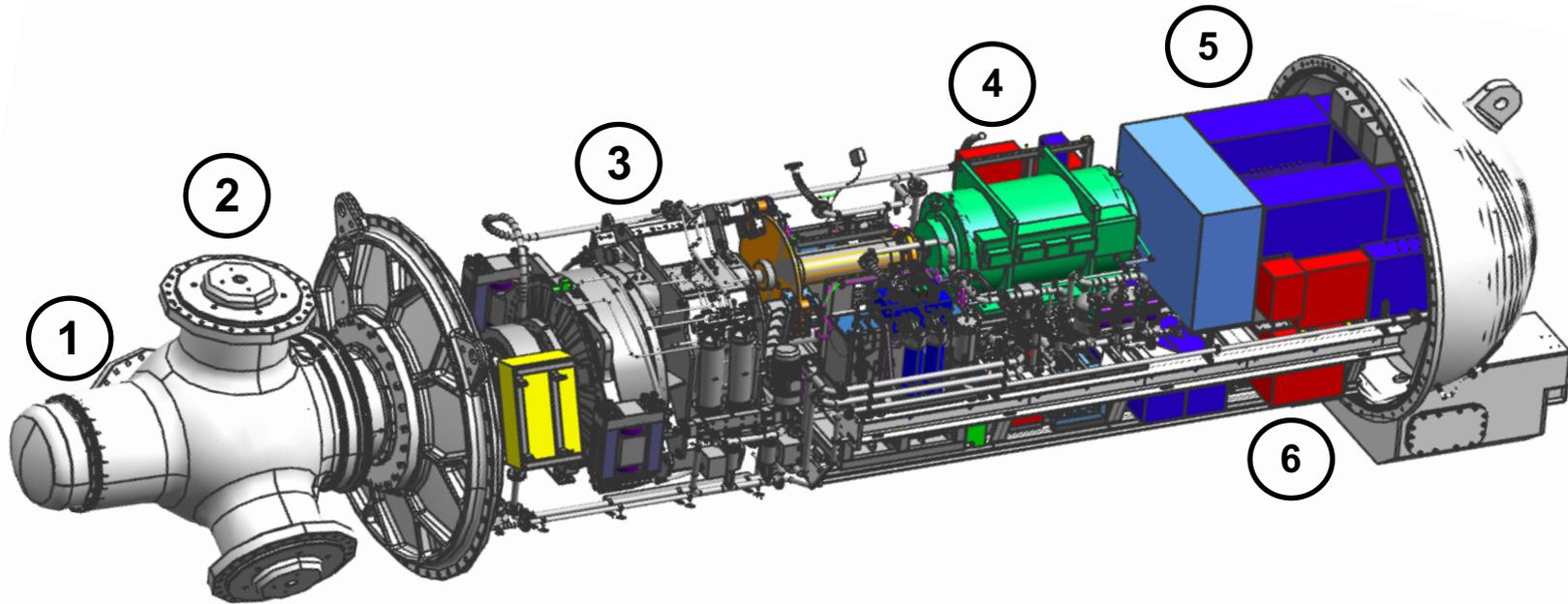
Einheben ins Wasser



Offshore Kabelverlegung (DP Vessels)

# Andritz Hydro Hammerfest

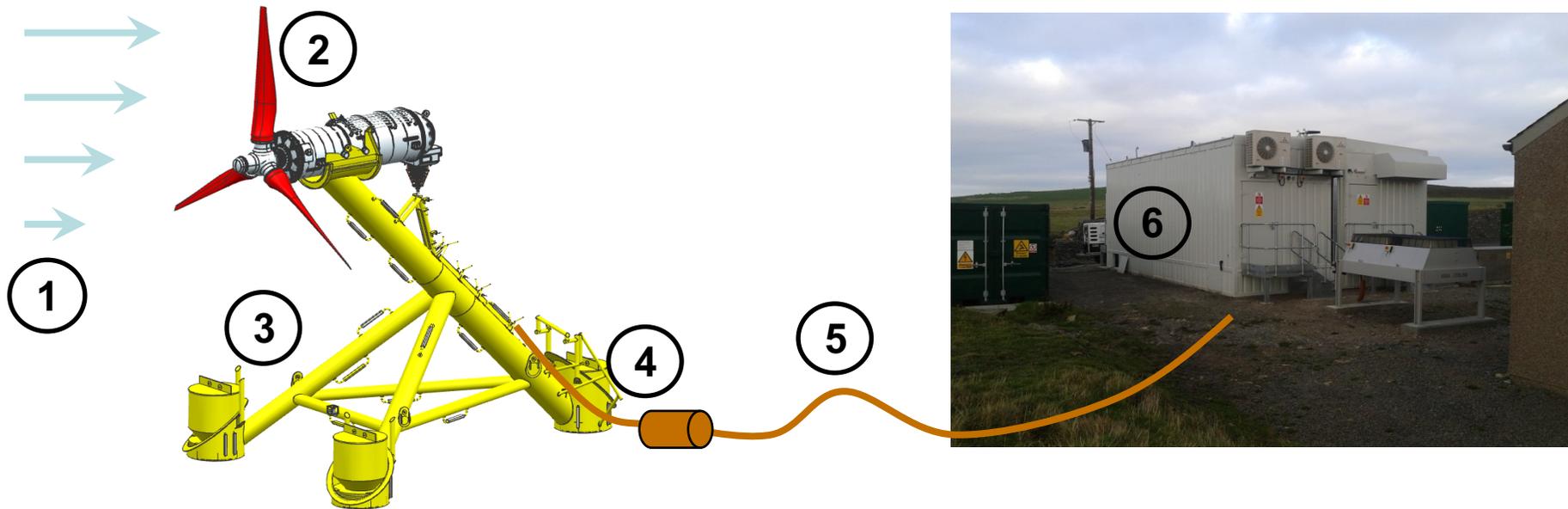
## HS1000 Hauptkomponenten



1. Nabe und Welle
2. Pitch System und Flügelaufnahme
3. Getriebe, Bremse und Welle
4. Generator
5. Elektrische Hilfsbetriebe (offshore)
6. Offshore-Automatisierungssystem

# Andritz Hydro Hammerfest

## HS1000 Hauptkomponenten



1. Erfassung der variablen Wasseranströmung
2. Rotorblätter
3. Substructure & Ballast
4. Unterwasser-Kabelanbindung/Unterwasser-Steckverbindung
5. Unterwasserkabel
6. Onshore-Umrichterstation und Automatisierungssystem

# Pentland Firth – Inner Sound, Schottland

## Projektübersicht

Erstes kommerzielles Projekt weltweit

Developer:

- MeyGen Ltd.

Co-technology Provider:

- ANDRITZ HYDRO Hammerfest

Phasen:

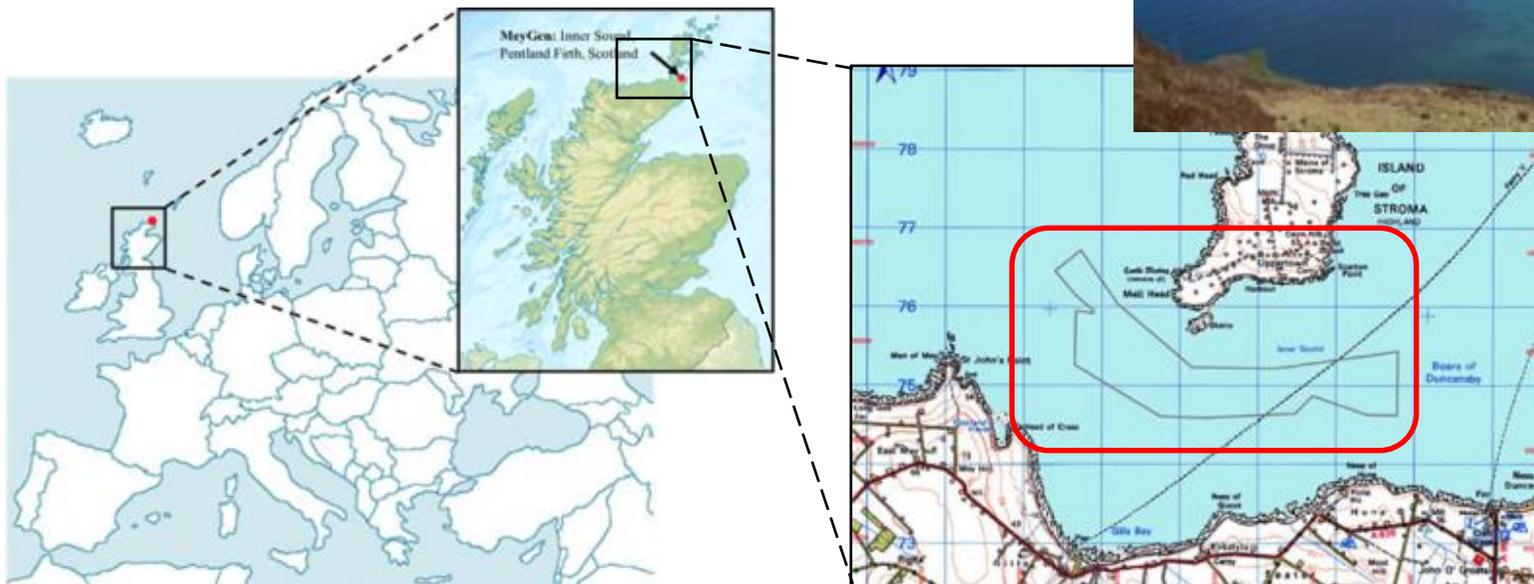
- MeyGen wird das erste kommerzielle Gezeitenströmungskraftwerk errichten
- Anfang 2020er Jahre – Vollbetrieb
  
- 2016: Zunächst Demonstrationsanlage mit 4 Einheiten
- Phase 1: Installierte Leistung von 86 MW
- Phase 2: Insgesamt 269 Turbinen mit einer Gesamtkapazität von 398 MW



# Pentland Firth – Inner Sound, Schottland

## Projektübersicht

Der Inner Sound gilt als eine der schwierigsten und anspruchsvollsten Gewässerzonen aufgrund starker Meeresströmungen und hoher Wellen.



# Pentland Firth – Inner Sound, Schottland

## Technische Daten

Nennleistung: 1200 – 1500 kW (je nach Aufstellungsort)

Leistungsregelung: Variable Pitch, variable Drehzahl

Aufstellungstiefe: 35 – 100 m

Rotor:

Type: 3 Flügler

Anströmfläche: 250– 400 m<sup>2</sup>

Nenn Drehzahl: ca. 10 U/min

Generator:

Nennspannung: 6,6kV

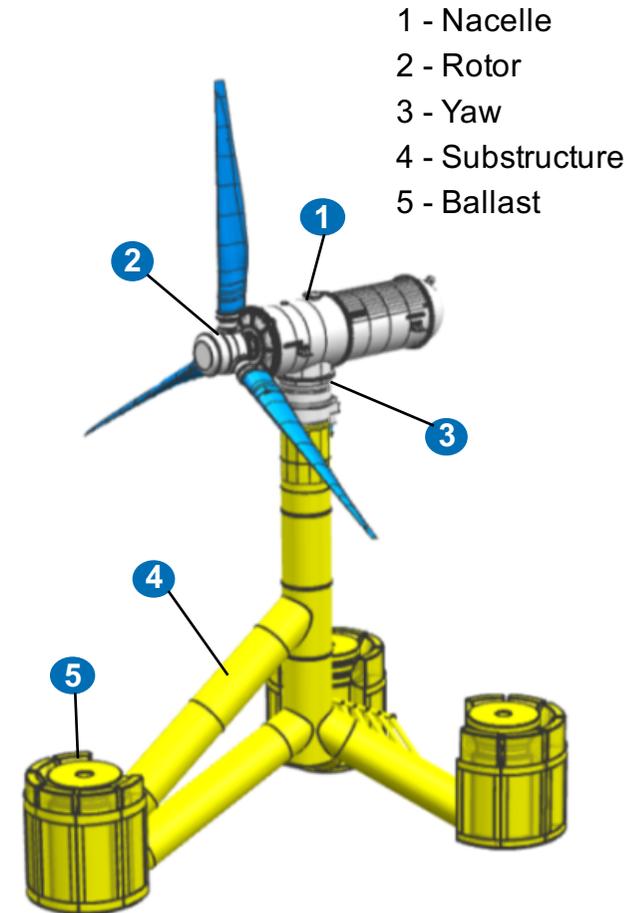
Gewicht:

Turbine: ca. 195 t (mit Rotorblättern)

Substruktur: ca. 110 t (ohne Ballast)

Lebensdauer: 25 Jahre

Serviceintervall: 5 Jahre



# Gezeitenstrom – Strom aus Gezeiten

Ein Technologieüberblick

Die Kraft der Ozeane

Technologieüberblick Gezeitenströmung

Gezeitenströmungsturbinen – Projekt- und Technologieübersicht

**Gezeitenkraftwerke – Projekt- und Technologieübersicht**

# La Rance, Frankreich

## Technische Daten

24 x 10 MW

Laufraddurchmesser 5,35 m

Bauzeit 1961 - 1967

Pumpturbinen für beide Strömungsrichtungen

Erfolgreicher Betrieb seit über 40 Jahren

Bassinfläche 22 km<sup>2</sup>



# Annapolis, Canada

## Technische Daten

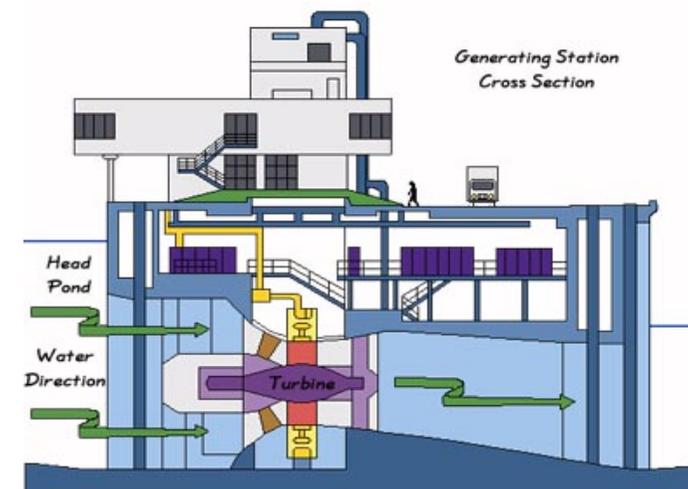
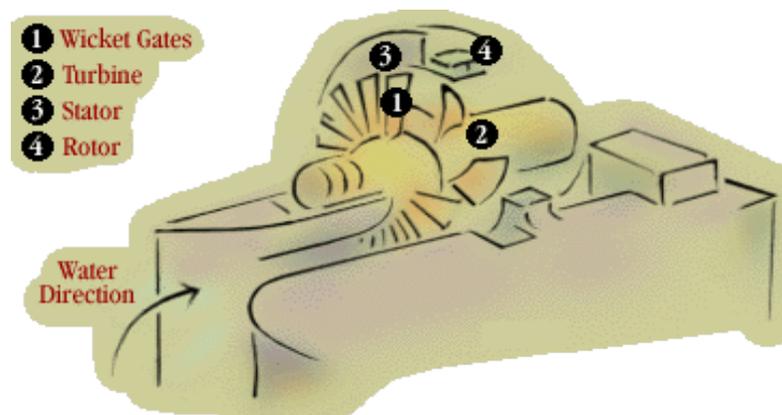
1 x 18 MW

Laufraddurchmesser 7,8 m

Inbetriebnahme 1984

Nur Turbinen-, kein Pumpbetrieb

Typ: Straflo



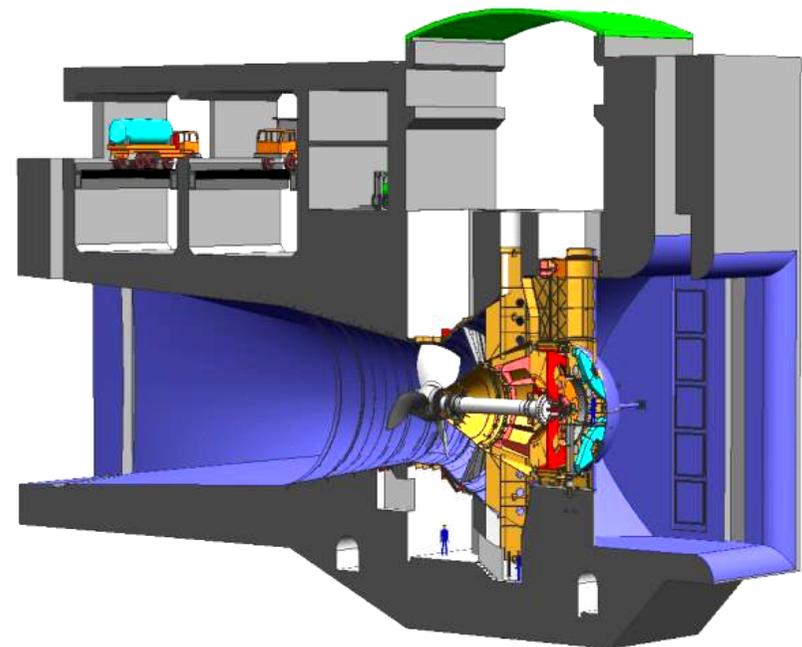
# Sihwa Tidal, Korea

## Technische Daten

### Lieferumfang: Turbinen, Generatoren, komplette Sekundärtechnik und Elektrik

10 Turbine / Generator Einheiten

- Laufraddurchmesser 7.5 m
- Turbinenleistung 26 MW
- Generatorleistung 26.8 MVA
- Nenndrehzahl (fix) 64.3 U/min
- Nennfallhöhe 5.82 m
- Nenndurchfluss 482 m<sup>3</sup>/s
- Nennspannung 10.2 kV



# Sihwa Tidal, Korea

## Projektgrundlagen

Größtes Gezeitenkraftwerk der Welt: 260 MW

Existierender Damm aus dem Jahr 1994  
(Landwirtschaft, Landgewinnung)

Industrielle und biologische Verschmutzung  
→ Rückkehr zu natürlichem Wasseraustausch

Korea investiert in erneuerbare Energien  
(Kyoto-Mechanismus), Reduktion von Ölimport



# Sihwa Tidal, Korea

Errichtung Krafthaus und Wehranlage



# Sihwa Tidal, Korea

Luftansicht Richtung Süden



## Sihwa Tidal, Korea

Luftansicht: gleichzeitige Arbeit an 10 Einheiten



# Sihwa Tidal, Korea

Erfolgreich in Betrieb seit August 2011



# Tidal Lagoon Swansea Bay

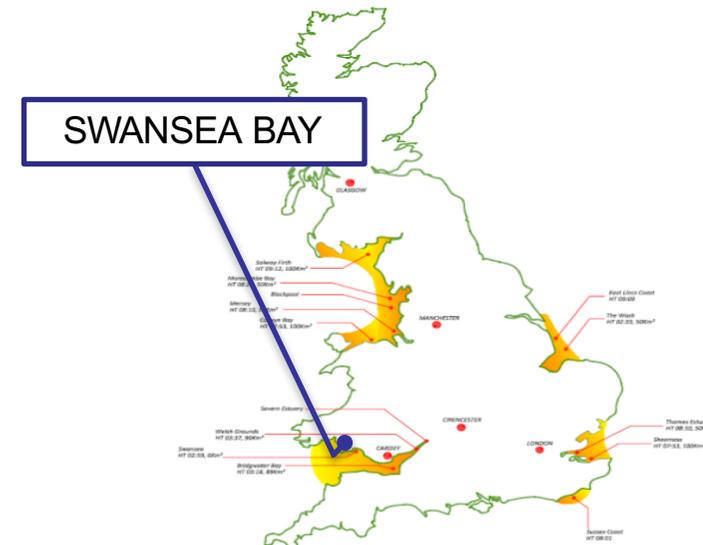
## Standort

### Großer Tidenhub

- Max. Tidenhub von 10.5 m
- Durchschnittlicher Tidenhub während Springfluten von 8.5 m

### Geringe Wassertiefen

- Niedrige Mauerhöhe möglich
- Länge 9.5 km, Lagunenfläche 11.5 km<sup>2</sup>



# Tidal Lagoon Swansea Bay

## Projektübersicht

### Type

- Rohr-Pumpturbine, Bidirektional,

### Dreifach reguliert

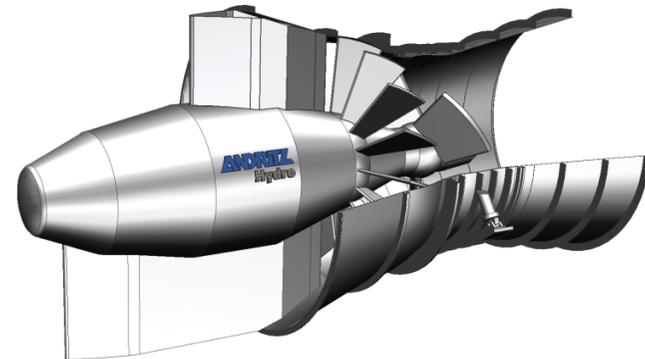
- Leitapparat, Laufrad und Drehzahl

### Energieerzeugung bei aus- und einlaufenden Gezeiten

- Niedrige Mauerhöhe möglich
- Länge 9.5 km, Lagunenfläche 11.5 km<sup>2</sup>
- Pumpbetrieb zur zusätzlichen Erhöhung der Jahresarbeit

### Maschinendaten

- |                      |               |
|----------------------|---------------|
| ▪ Anzahl             | 16            |
| ▪ Laufraddurchmesser | 7,35 m        |
| ▪ Pmax/unit          | 22 MW         |
| ▪ n                  | 10 – 80 U/min |



## Tidal Lagoon Swansea Bay

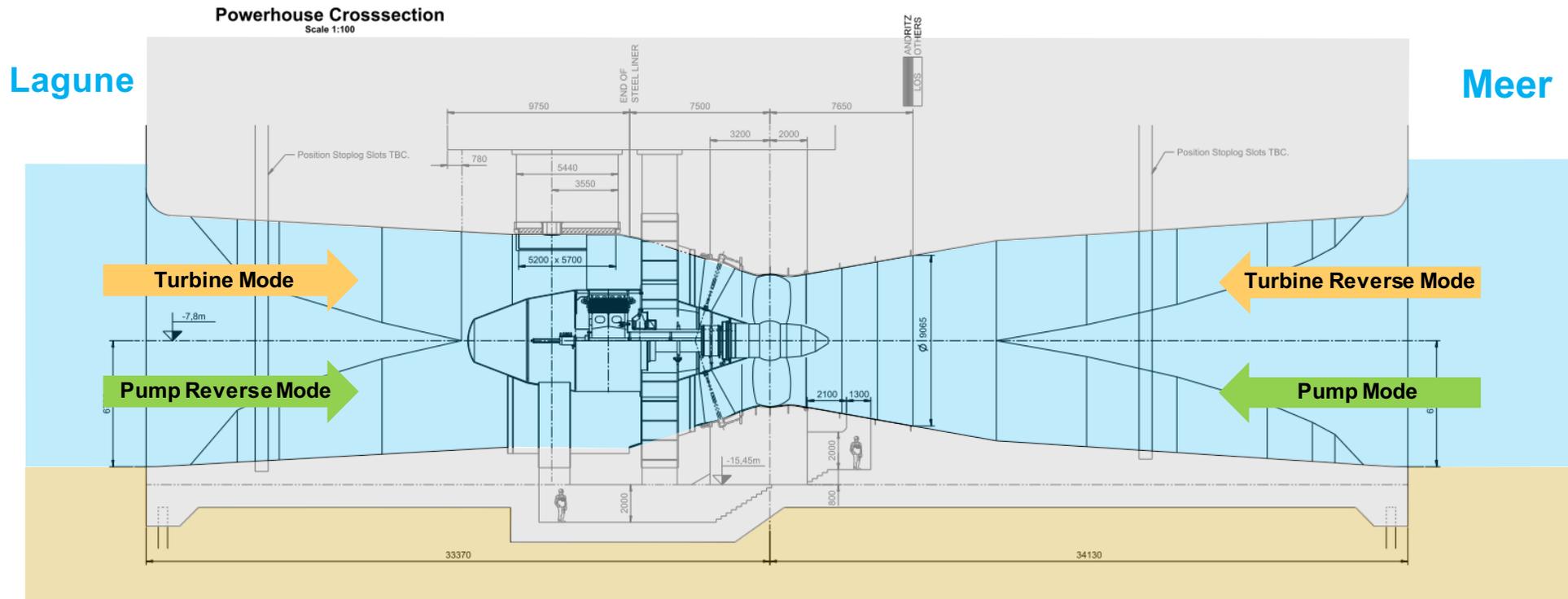
Pressemitteilung 10. Feb. 2015

### **ANDRITZ HYDRO liefert Ausrüstungen für das weltweit erste Gezeitenlagunen-Wasserkraftwerksprojekt in der Swansea-Bucht, Wales**

- Nach einem internationalen Ausschreibungsverfahren hat **Tidal Lagoon Swansea Bay plc. das Konsortium GE/ANDRITZ HYDRO als bevorzugten Anbieter** für die Lieferung der elektromechanischen Ausrüstung und des Control Systems für das weltweit erste Gezeitenlagunen-Wasserkraftwerksprojekt in der Swansea-Bucht, Wales, ausgewählt.
- Eine Vereinbarung über die Durchführung von Vorarbeiten wurde nun unterzeichnet. Das Ausschreibungsvolumen für das Konsortium beträgt rund 400 Millionen Euro. Der auf ANDRITZ HYDRO entfallende Anteil beläuft sich auf etwa 250 Millionen Euro – mit einem wesentlichen Anteil an britischer Wertschöpfung. Das Inkrafttreten des Hauptauftrags für die Lieferung der elektromechanischen Ausrüstung ist – nach Erfüllung aller Erfordernisse – im Laufe des heurigen Jahres geplant, der Start des kommerziellen Betriebs für 2019.

# Tidal Lagoon Swansea Bay

## Betriebsweise

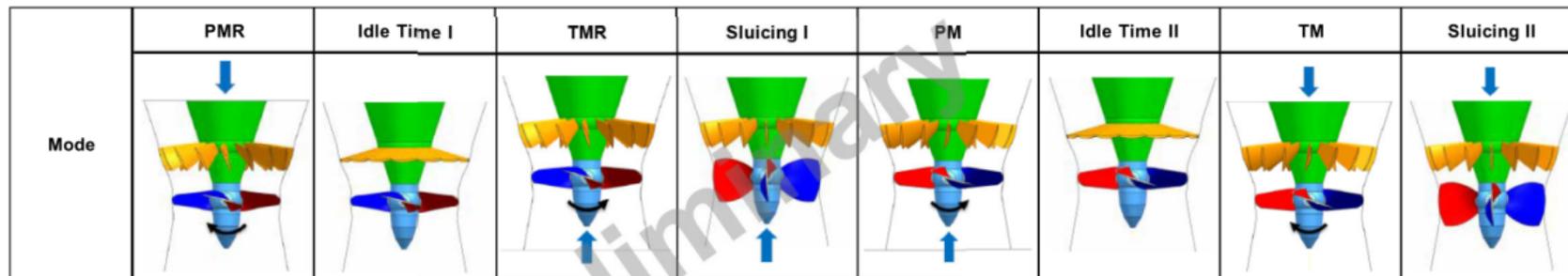
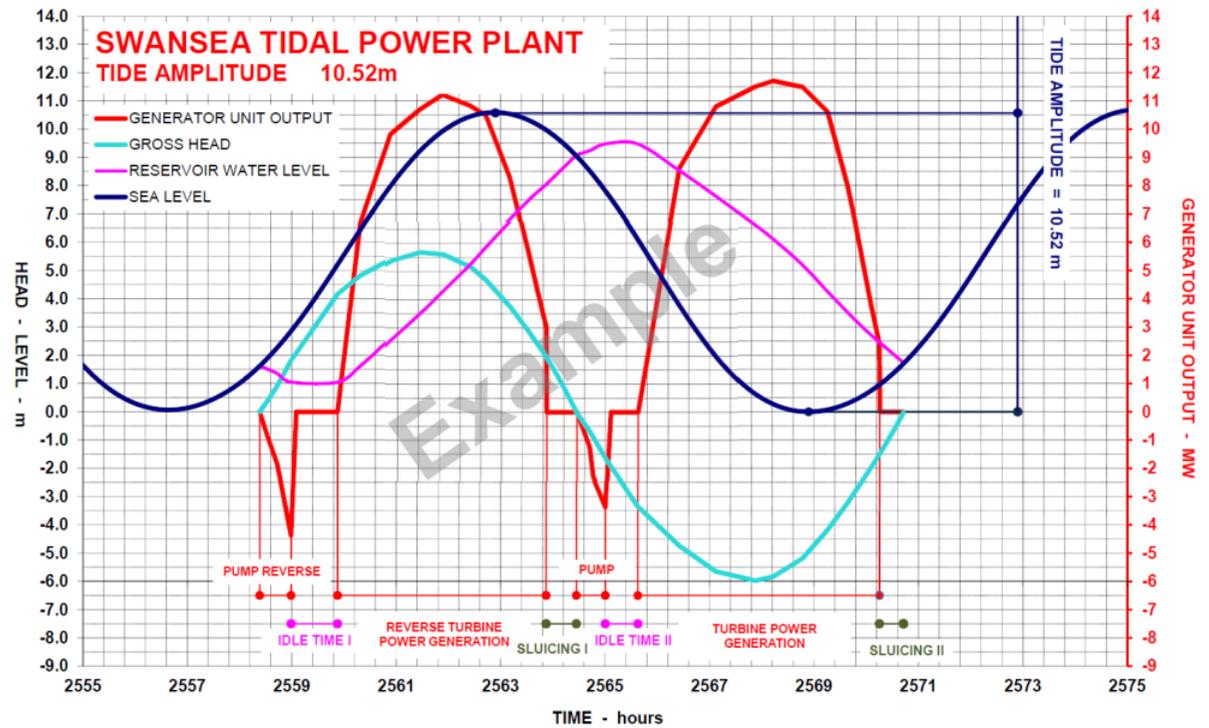


# Tidal Lagoon Swansea Bay

## Betriebsweise

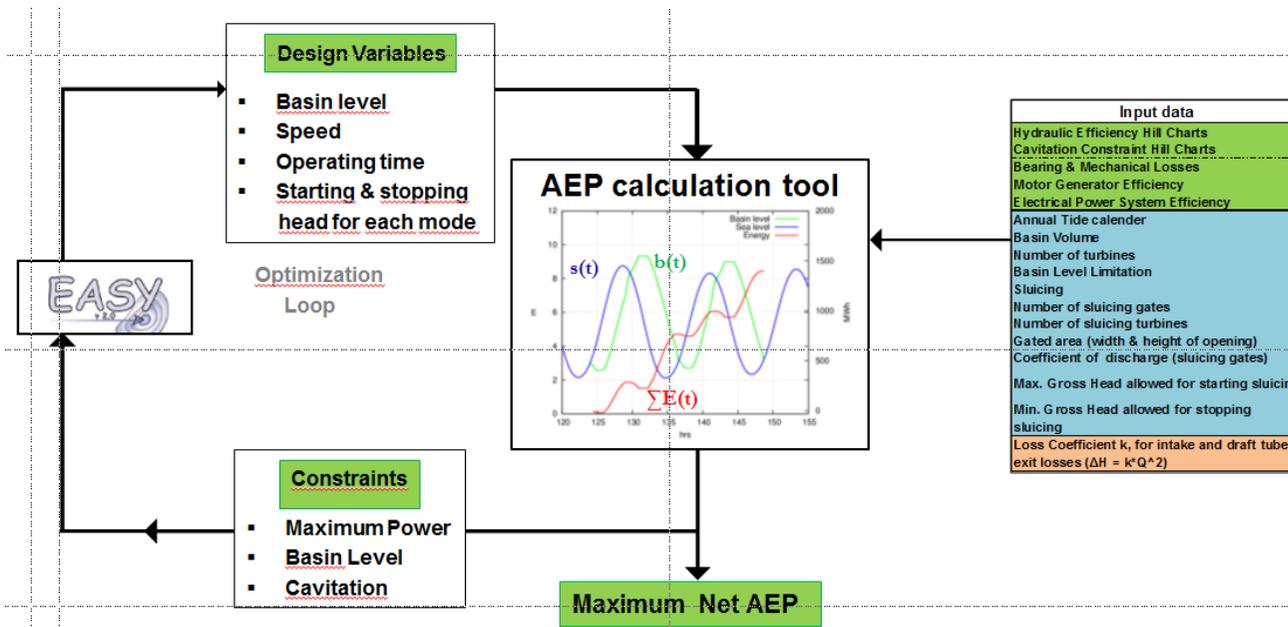
### ▪ Betriebsarten

- Turbinenbetrieb
- Pumpbetrieb
- Turbinenbetrieb rückwärts
- Pumpbetrieb rückwärts
- Schleusenbetrieb
- Schleusenbetrieb rückwärts



# Tidal Lagoon Swansea Bay

## Optimierung der Jahresarbeit (AEP Optimierung)\*



- Entwicklung eines speziellen Kalkulationstool zur AEP Optimierung von Gezeitenkraftwerken
- AEP von Swansea konnte um mehr als 50% gesteigert werden (von 360 auf 540 Gwh)

\* AEP: Annual Energy Production; Jahresarbeit

# ANDRITZ HYDRO

Strom aus Gezeiten

## Gezeitenströmungsturbinen:

- HS 1000 – erfolgreicher Prototypstest
- Erhalt des ersten kommerziellen Auftrags MeyGen

## Gezeitenkraftwerke:

- Referenzen Annapolis, Sihwa
- Bevorzugter Anbieter des ersten Gezeiten-Lagunen Kraftwerksprojekt Swansea Bay

**Führend in einem neuen innovativen Gebiet der Energieerzeugung!**

