

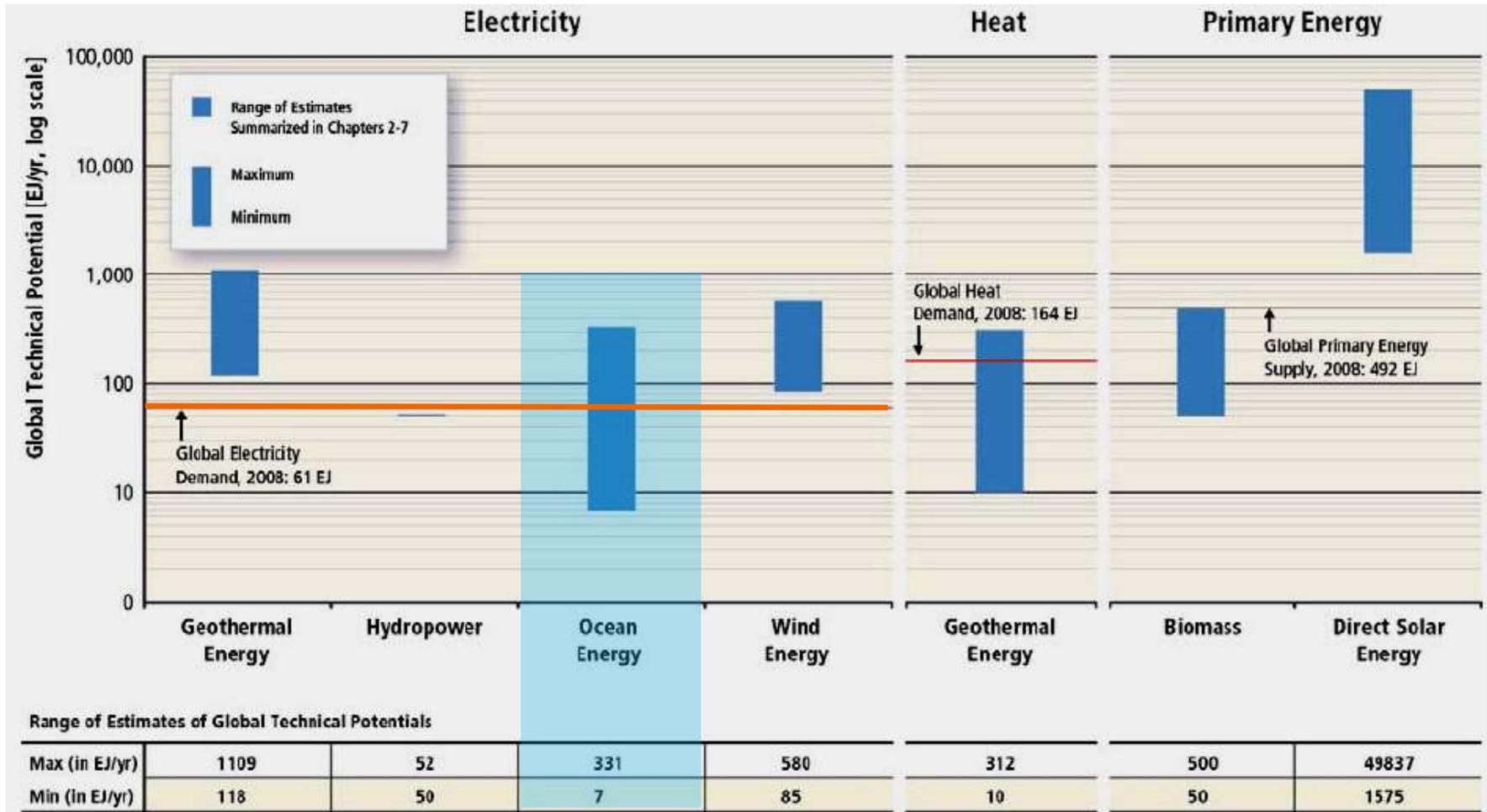
# Meeresenergie

Jochen Bard  
Leiter Energiewandlung und Energiespeicherung  
Fraunhofer IWES

- Weltweite Meeresenergieressourcen
- Stand der Technologien
- Internationale Roadmaps

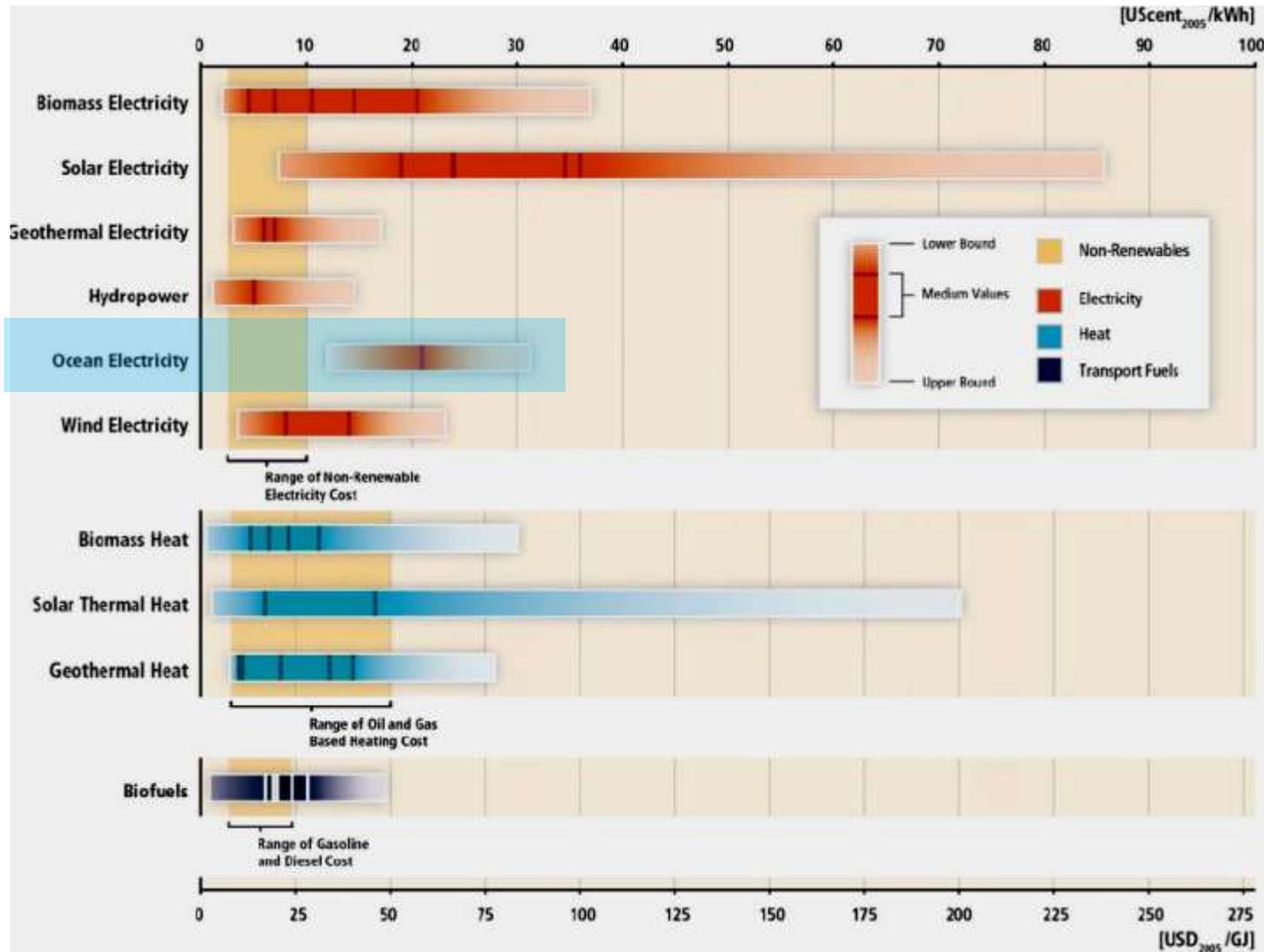


# Weltweite Potenziale Erneuerbarer Energien



Quelle: IPCC- SRREN

# Kosten (LCOE) ausgewählter Technologien

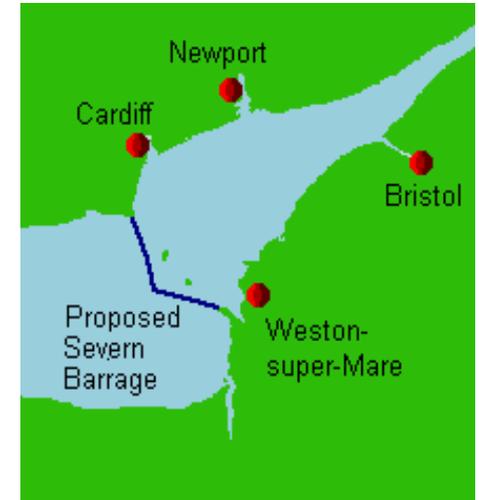


Quelle: IPCC- SRREN

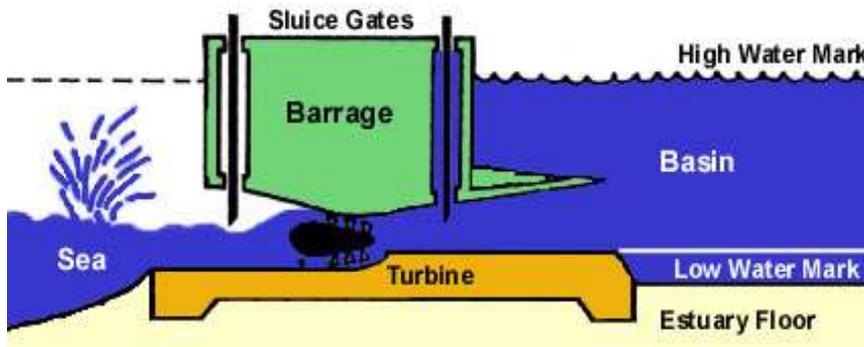
# Gezeitenkraftwerke: Tidenhub als Fallhöhe



**St. Malo, 240 MW  
erbaut 1966**

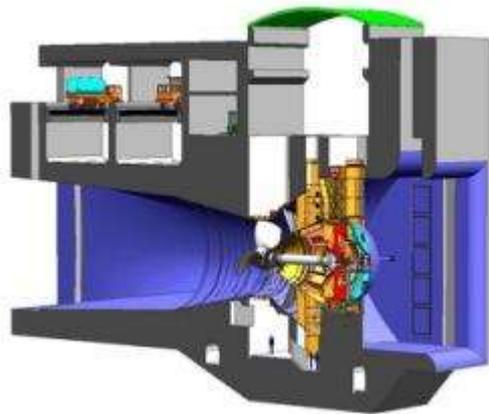


**Severn barrage: 8460 MW  
Pläne aufgegeben**



- 20 MW Anlage auf Nova Scotia Halbinsel**
- 1 Anlage in Russland (400kW ), viele kleine in China (ca. 5 MW)**
- 3 Anlagen in Korea (1800 MW bis 2015), Brasilien**

# Neues Gezeitenkraftwerk in (Süd-)Korea: Sihwa



Potenzielle weitere Standorte:  
Gezeitenkraftwerk Garolim: 480 MW, 880 GWh  
Gezeitenkraftwerk Incheon: 1000 MW, 1800 GWh

- 12,7 km Sihwa Seawall fertig gestellt in 1994  
Trinkwasserreservoir und Landgewinnung
- Starke Verschmutzung durch Abwässer,  
Aufgabe des Sees in 2001, alternative  
Nutzung als Staubecken
- Mittlerer Tidenhub: 5,6 m, 43 km<sup>2</sup>
- 250 MW, 553 GWh, 1300 \$/kW
- **Inbetriebnahme August 2011**

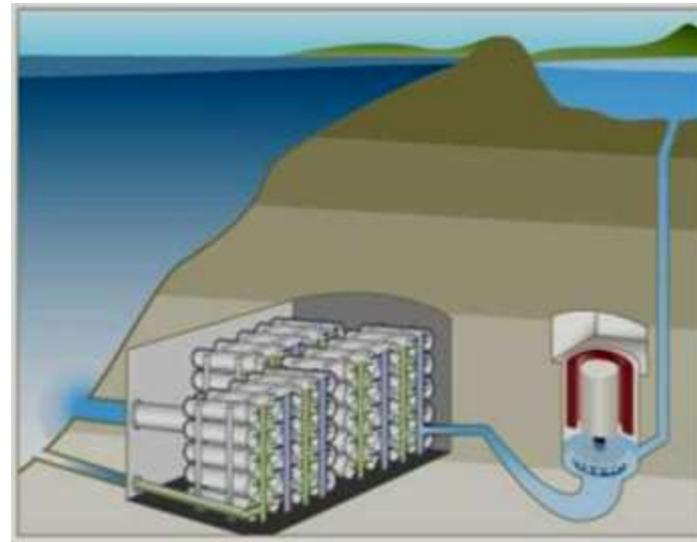
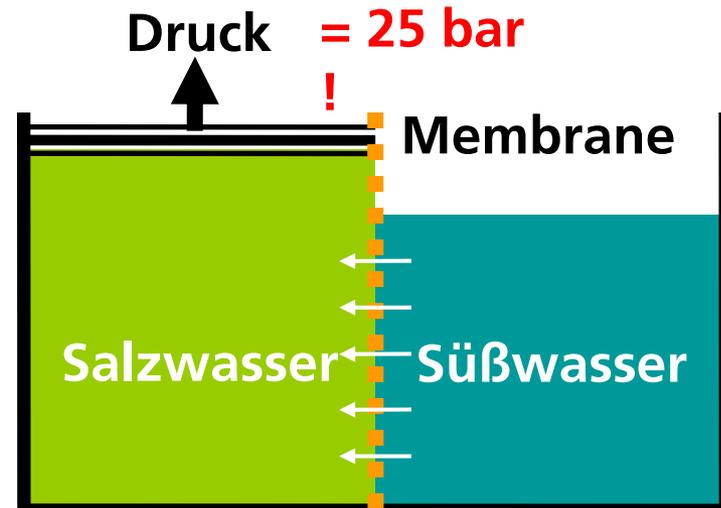
# Energie aus dem Meer: Übersicht

Energiequelle	Wandlungsprinzip	Nachhaltiges Potenzial
Gradient der Salzkonzentration	Osmotischer Druck und Wasserturbine	<< 2000TWh/a (!)
Temperaturgradient (OTEC)	Dampfkreislauf	10000 TWh/a <sup>+</sup>
Potentielle Energie aus Tidenhub	vgl. konventionelle Wasserturbine	400 TWh/a <sup>**</sup>
Wellenenergie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Körperbewegung- bzw. Verformung</li> <li>• Wasserstauerzeugung</li> <li>• Luftstauerzeugung</li> </ul>	2000 bis 8000 TWh/a <sup>+</sup>
Kinetische Energie der Meeresströmungen	Auftriebsläufer	> 800 TWh/a

\* heute bekannt + Nachhaltigkeit fragwürdig

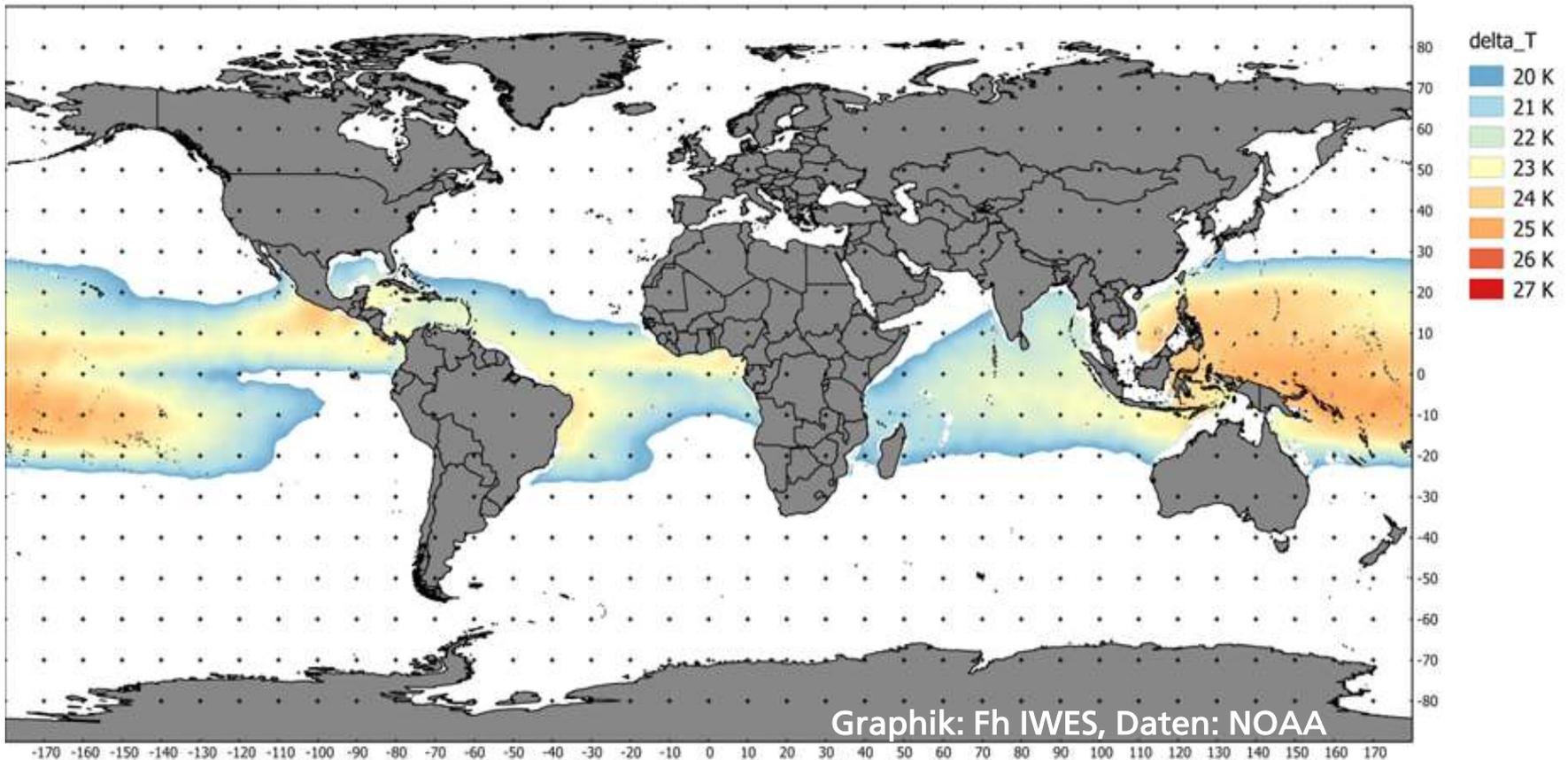
insgesamt > 5000 TWh<sub>el</sub> (ohne OTEC und offshore Wind)  
entspricht etwa 1/4 des heutigen Weltstrombedarfs

# Salzgradient: EU-Projekt „Salinity Power“, Statkraft



vgl. nutzbare Fallhöhe von ca. 120 m  
an jeder Flussmündung zum Meer!

# Weltweite OTEC Ressourcen



Randbedingung:  $> 20$  K Temperaturdifferenz bei max. 1000 m Wassertiefe

# OTEC Konzepte

- Offener vs. geschlossener Kreislauf
- Wirkungsgrade 3% (praktisch) - 6% (Carnot)
- Landbasiert; fest oder schwimmend im Meer
- Anwendungen:
  - Stromerzeugung, rein thermische Nutzung, Aquakultur und Landwirtschaft („chilled soil“)



- Kommerzielle Aktivitäten:
  - USA: Lockheed Martin
  - Europa: DCNS – 10 MW Pilotanlage in 2016

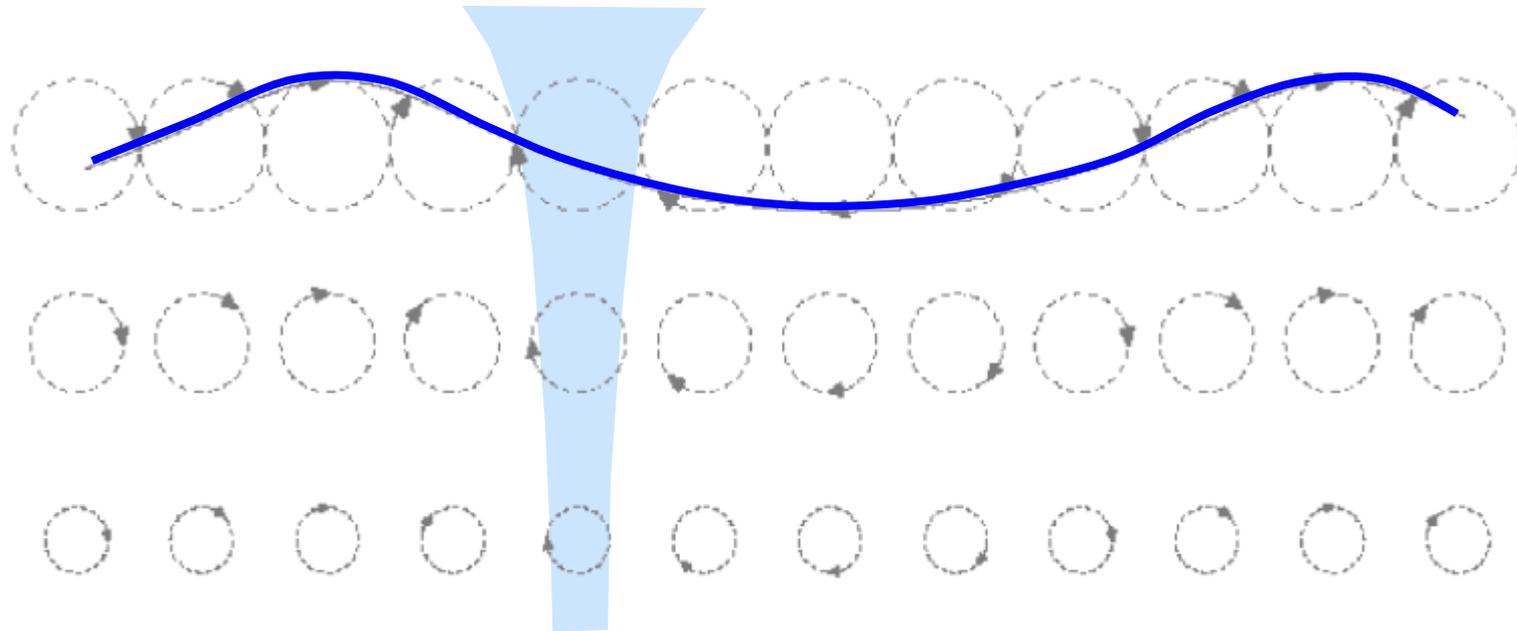


Quelle: Lockheed Martin  
Kaltwasserrohrherstellung



Quelle: DCNS  
Onshore Prototyp, La Reunion

# Wellen



$$\text{Leistung} \sim h_s^{2..3}$$

**Nordseewelle:**

- 1,5 m Höhe
- 6 s Periode
- > 14,4 kW/m

## Potenziale

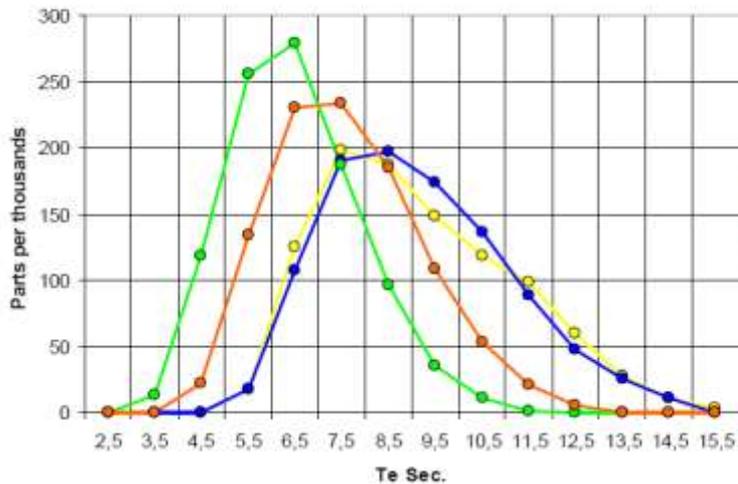
**EU: 1000 TWh (50 m Kontur-Potenzial)**

**Welt: bis zu 8000 TWh**

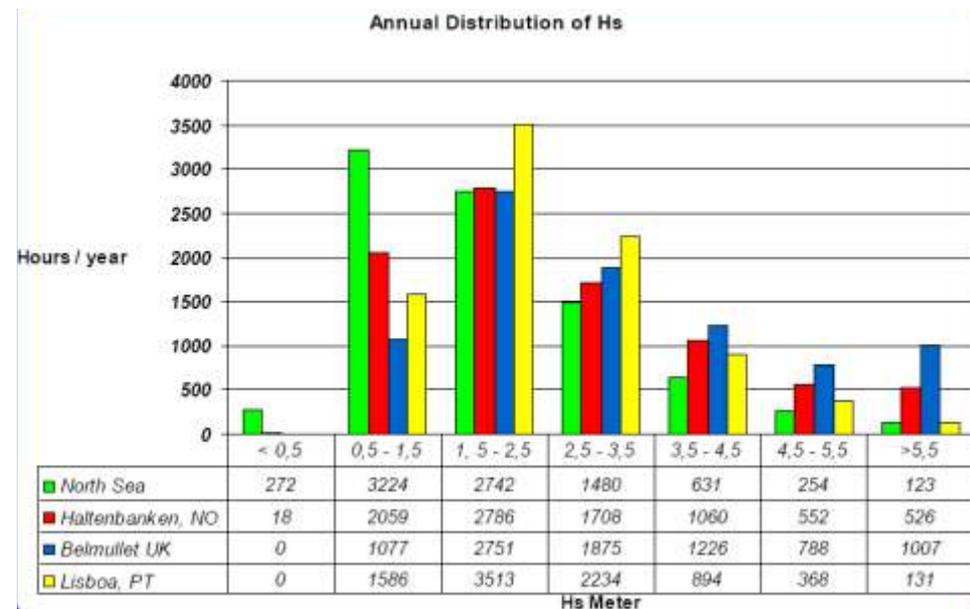
# Wellenentstehung durch Wind

Wind speed (m/s)	5	7,5	10	12,5	15
Minimum duration [hours]	2,4	6	10	15	20
Min Fetch [km]	19	62	138	269	458
$H_s$ (m)	0,5	1,2	2,1	3,3	4,8
$T_z$ (s)	2,6	3,9	5,2	6,5	7,8
$T_e$ (s)	3,1	4,7	6,3	7,9	9,4
$T_p$ (s)	3,6	5,5	7,3	9,1	10,9
$P_w$ (kW/m)	0,4	3,2	13,1	41,2	103,2

Distribution of Energy Periods

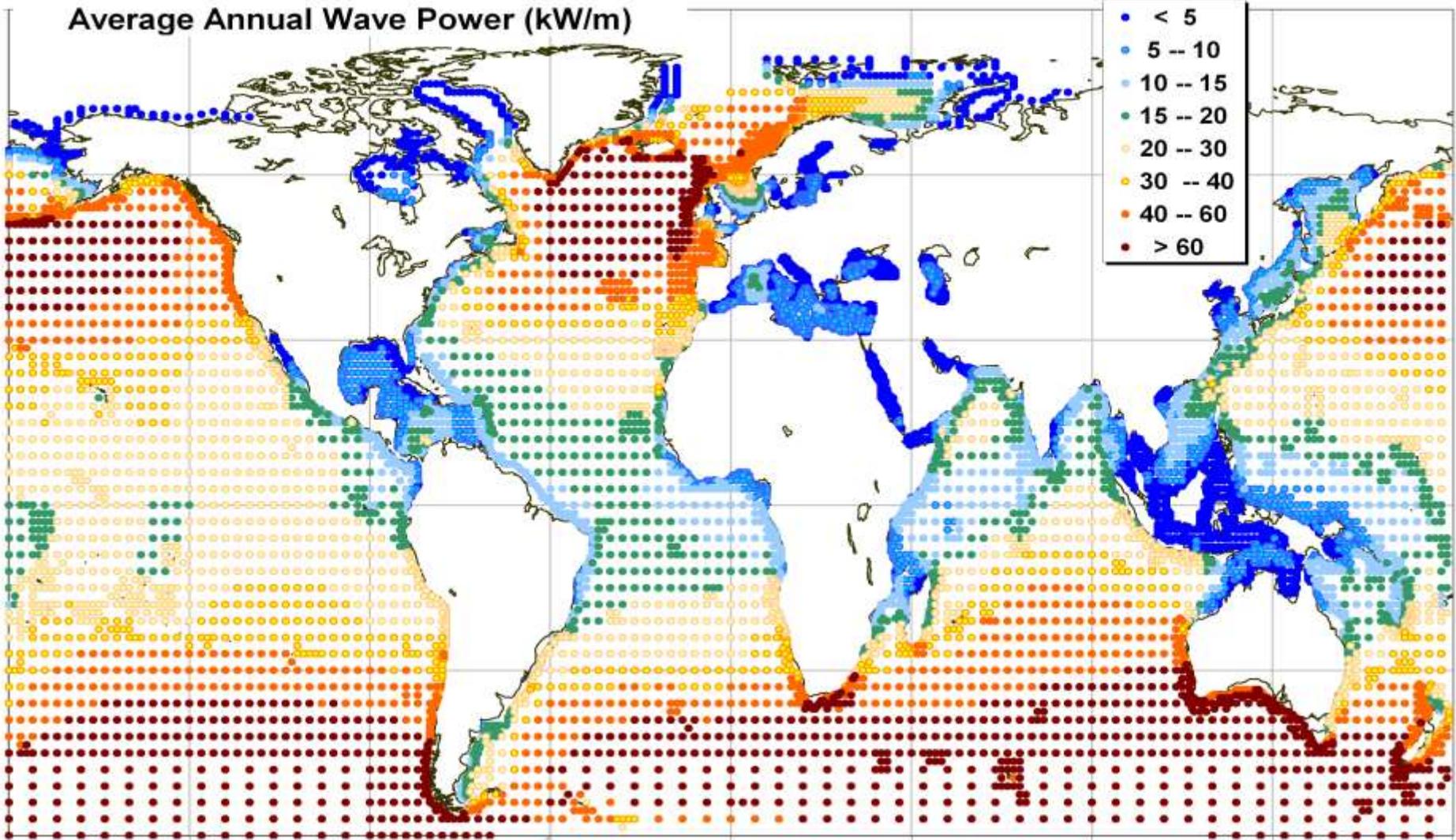


Annual Distribution of  $H_s$



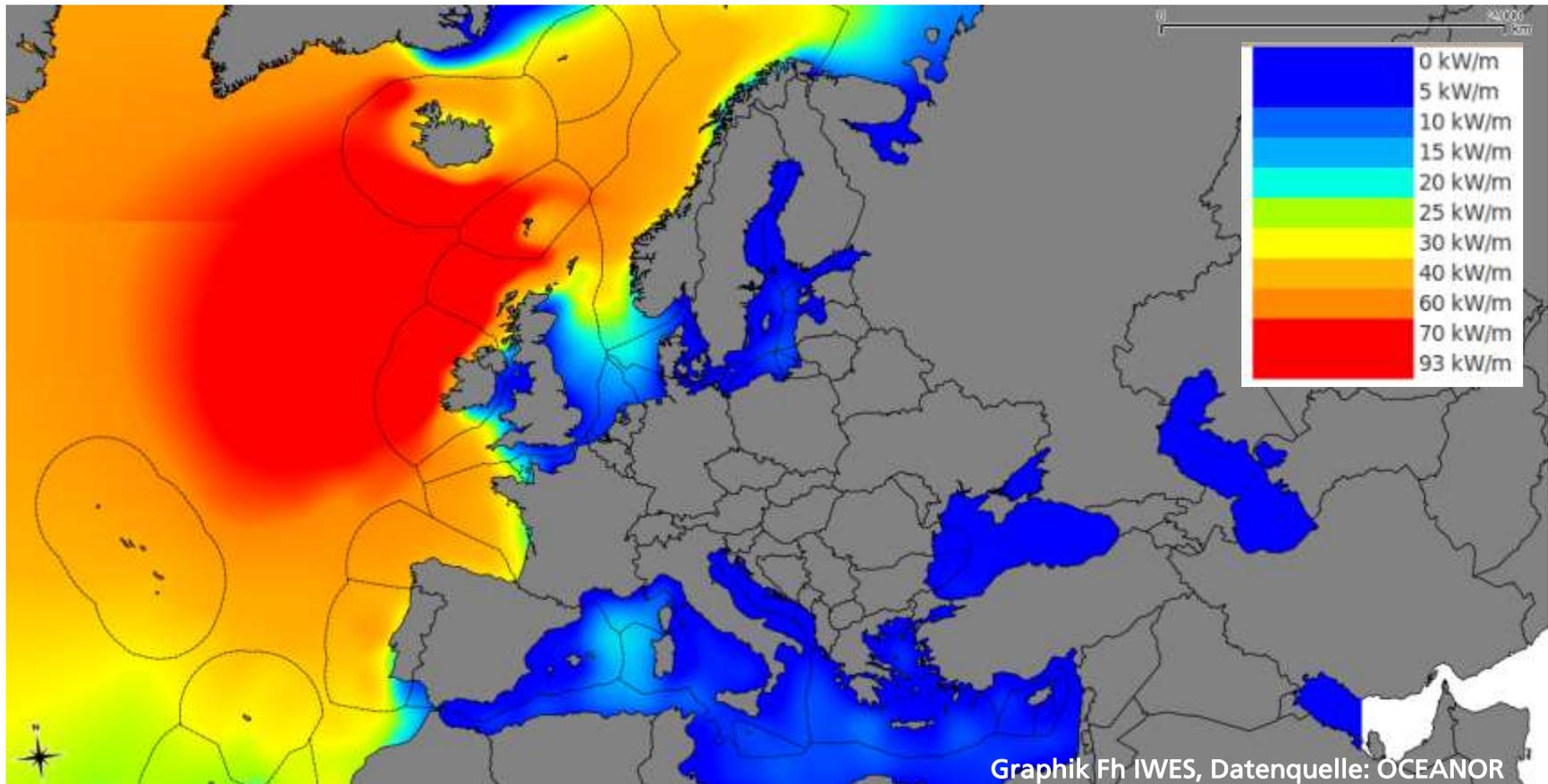
Quelle: [www.ocean-energy-systems.org](http://www.ocean-energy-systems.org)

# Average Annual Wave Power (kW/m)



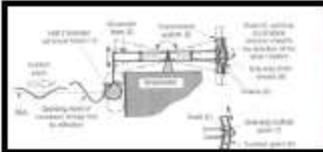
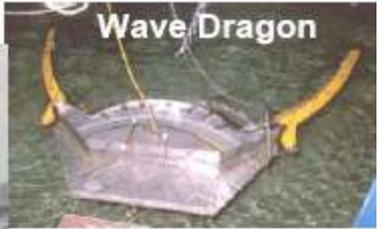
Graphik: OCEANOR

# Europäische Wellenenergiekarte



Wellenenergiepotenzial entlang der 50 m Konturlinie: ca. 1000 TWh

# Technologische Vielfalt der Wellenenergiewandler

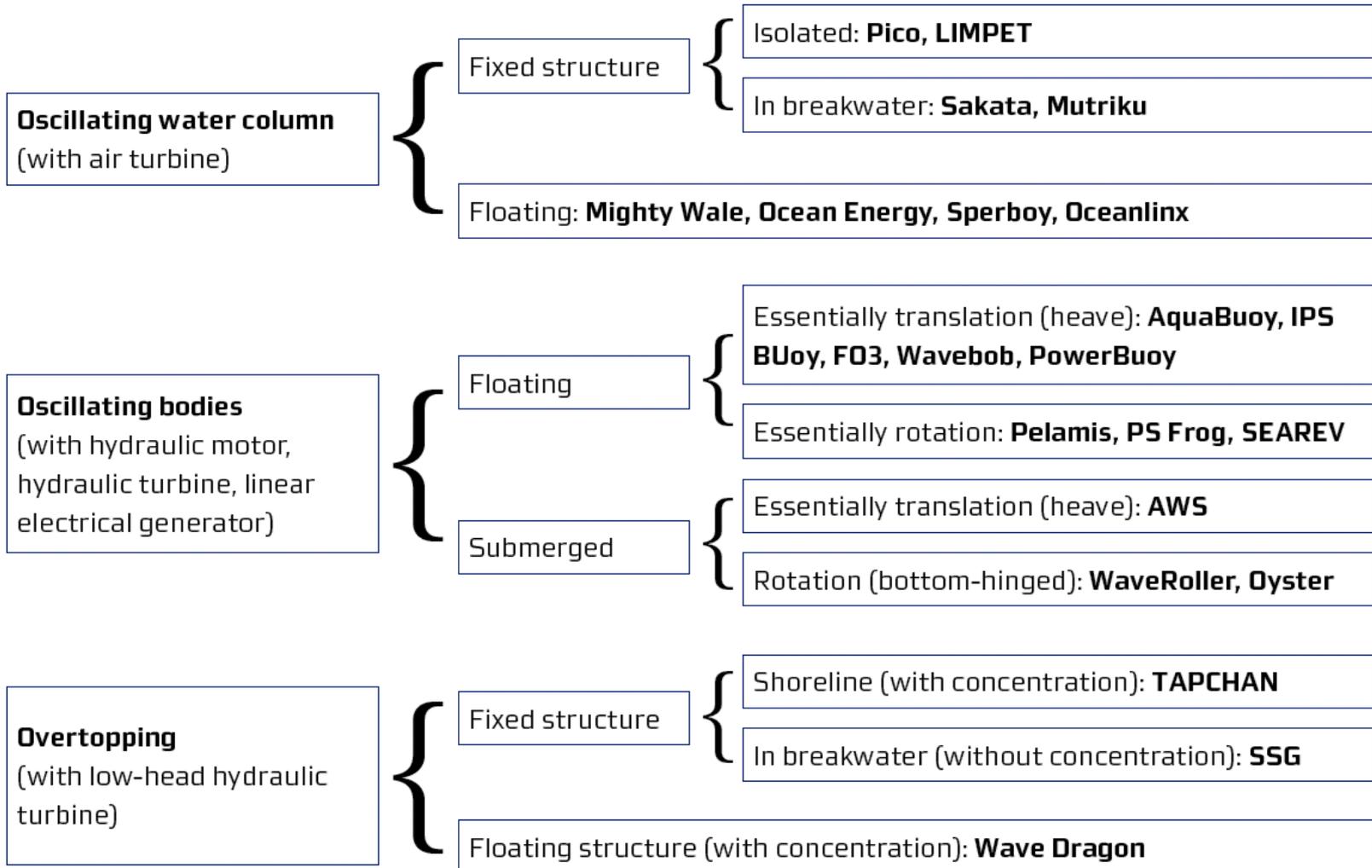


EcoBuoy



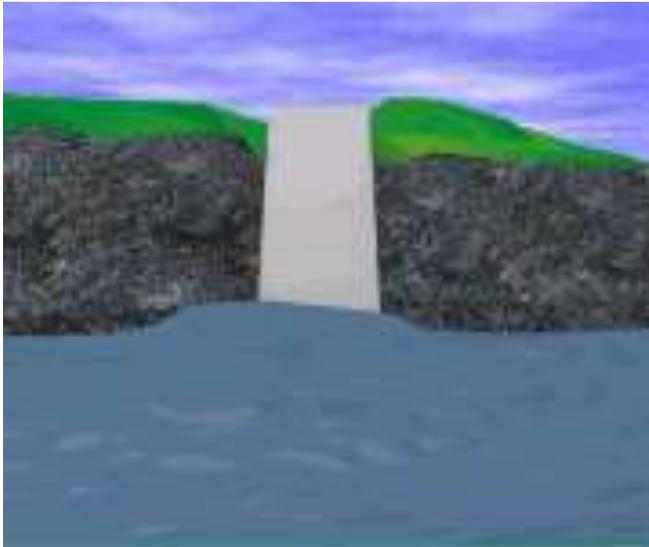
Quelle: T. Lewis, HMRC

# Kategorien von Wellenenergiewandlern



Quelle: [www.ocean-energy-systems.org](http://www.ocean-energy-systems.org)

# Wellenenergiewandler: oszillierende Wassersäule (OWC)



500 kW Demoanlage seit Beginn 2001  
in Schottland in Betrieb



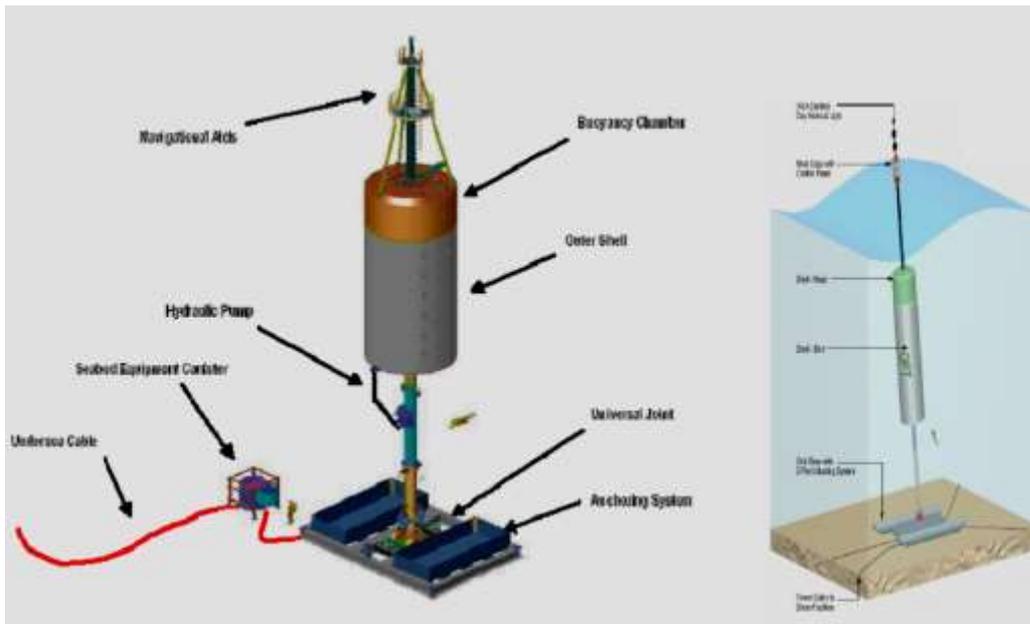
Wavegen (Voith) -Anlage auf Islay



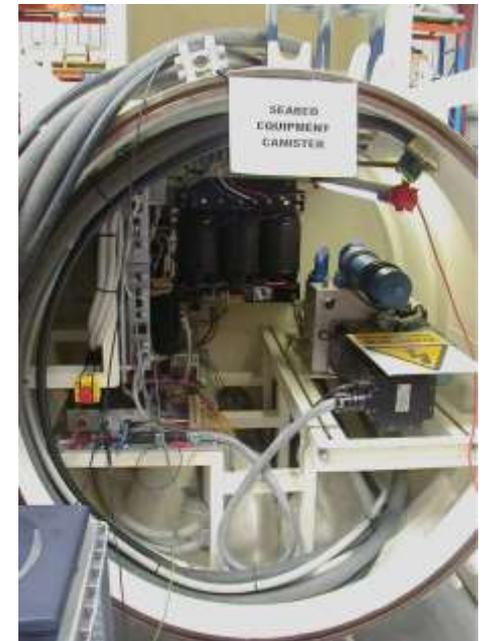
Npower renewables

**Mutriku-Projekt an der Baskischen Küste: 16\*18,5 kW Inbetriebnahme**  
**Siadar Wellenenergie-Projekt (SWEP): 40\*100 kW - aufgegeben!**

# Ocean Power Technologies (OPT) : Point Absorber Buoy



125 kW System



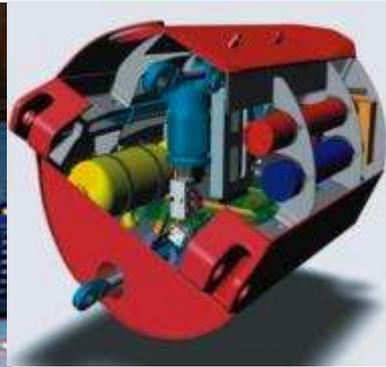
Projekt mit 1,25 MW  
an der Spanischen Küste  
durch Iberdrola u.a.  
wg. technischer Probleme aufgegeben

# Wellenenergiewandler: schwimmender Körper



**Prototyp**  
750 kW  
bei 55 kW/m  
120 m lang  
Ø 3,5m  
2,7 GWh  
bzw. 3600 h

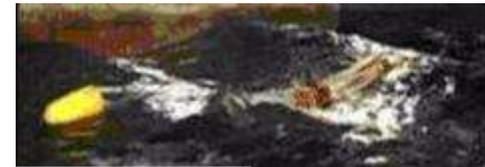
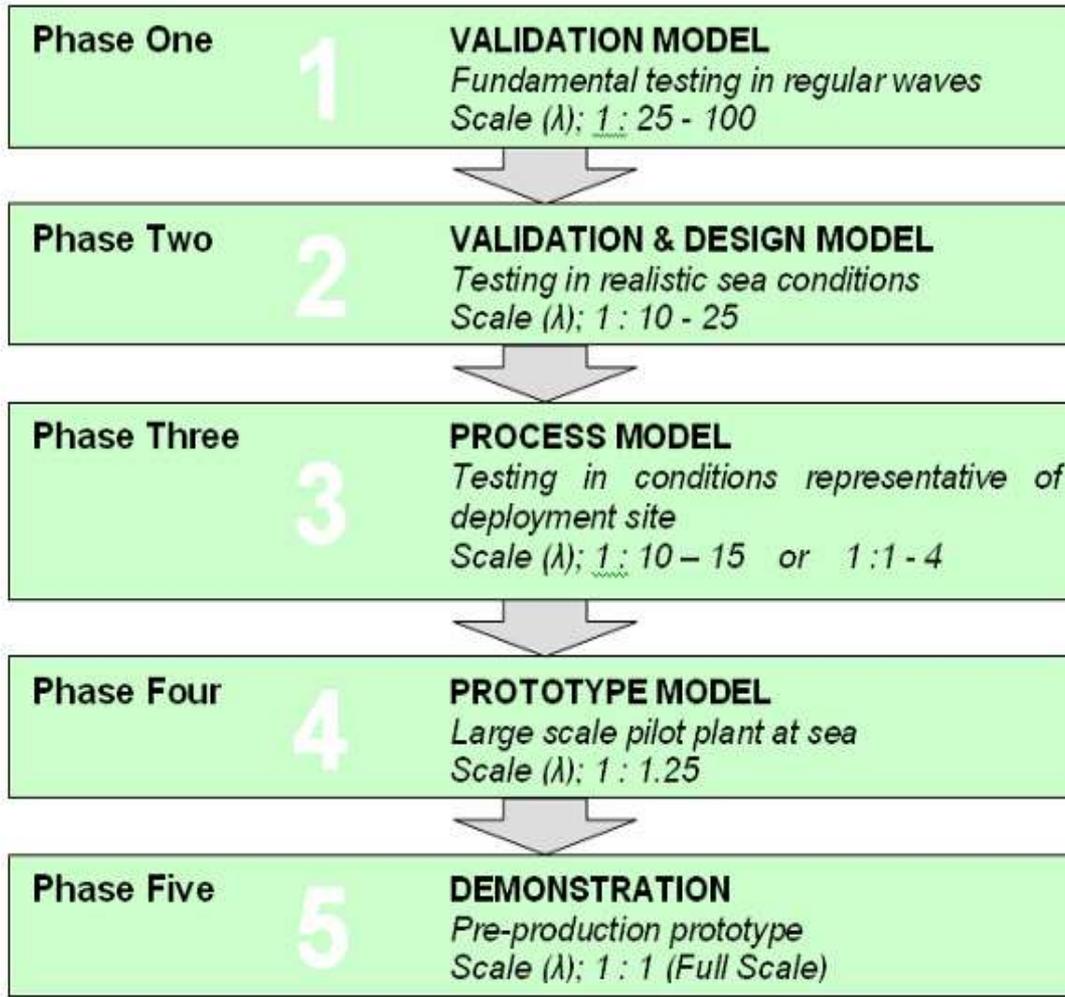
**Pelamis Wave Power (früher OPD)**



erster Park mit 3 Pelamis P-750 Maschinen, 5 km vor Portugal  
8 Mio. € 2,25MW ca. 8 GWh/a; vorläufige Inbetriebnahme September 2008,  
aber wg. technischer Probleme abgebrochen

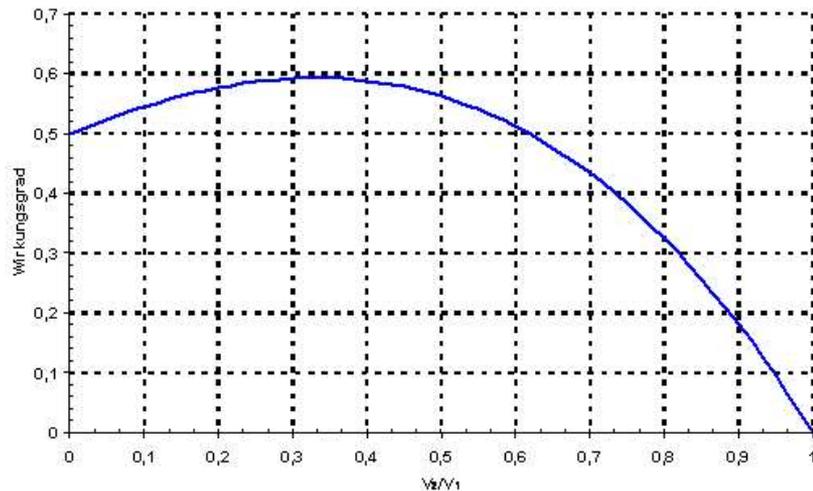
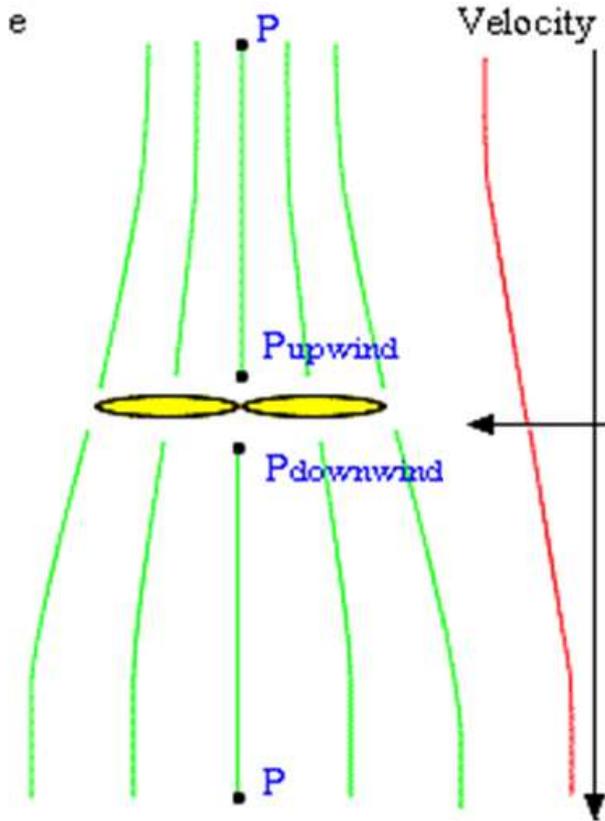
# Entwicklungsprozess für Wellenenergieanlagen

## PELAMIS-OPD



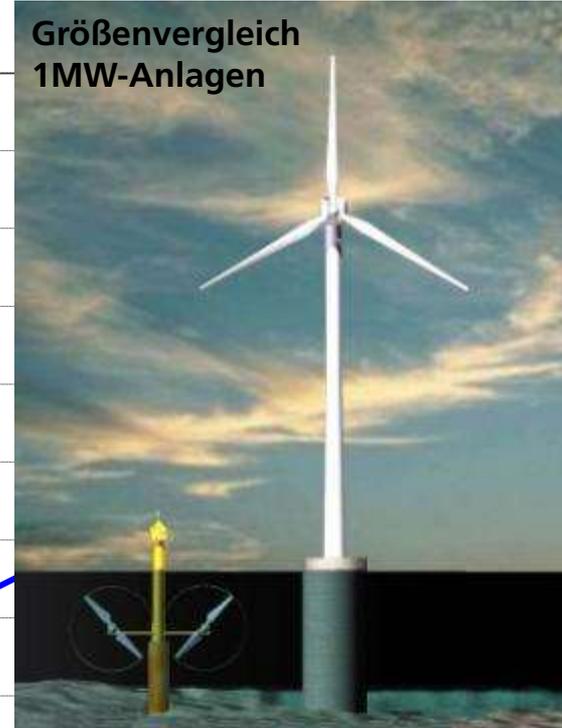
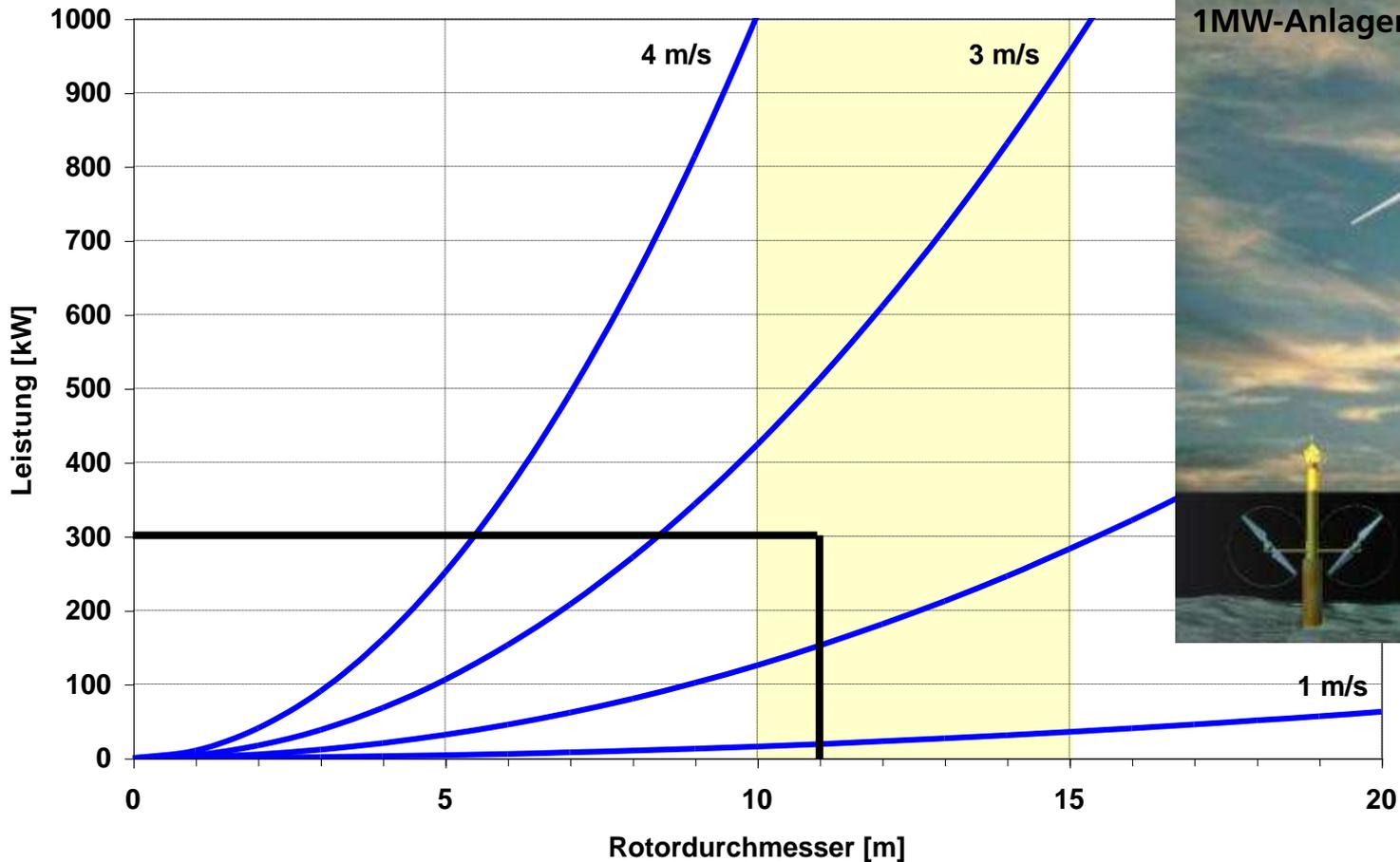
Quelle: Development and Evaluation Protocol; B. Holmes, T. Lewis

# Meeresströmungen – eine neue Energiequelle?!



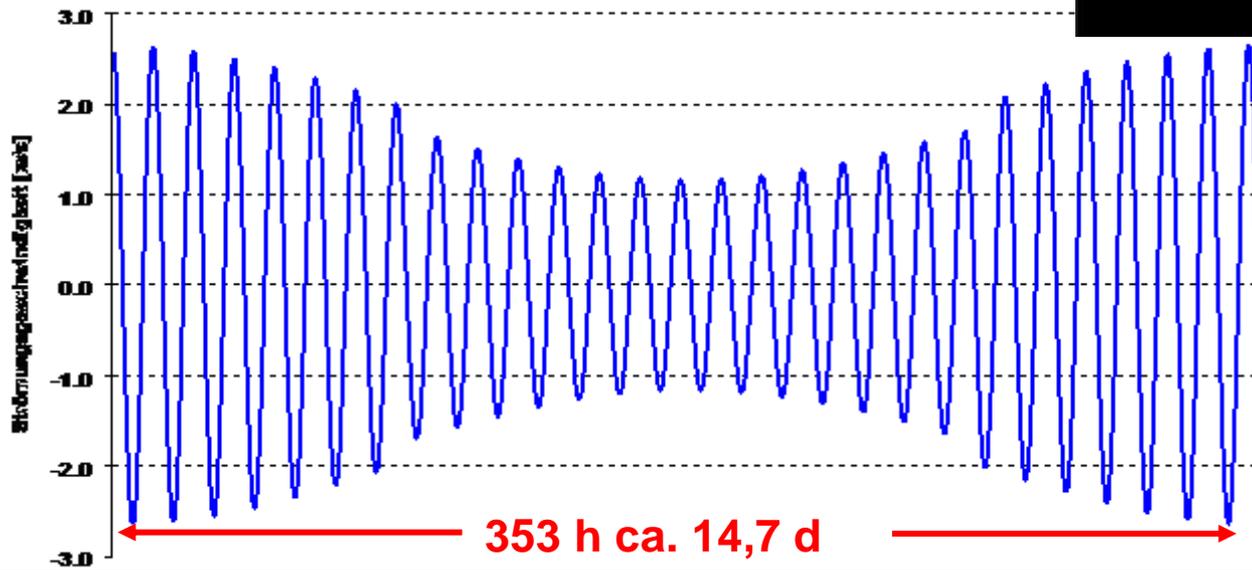
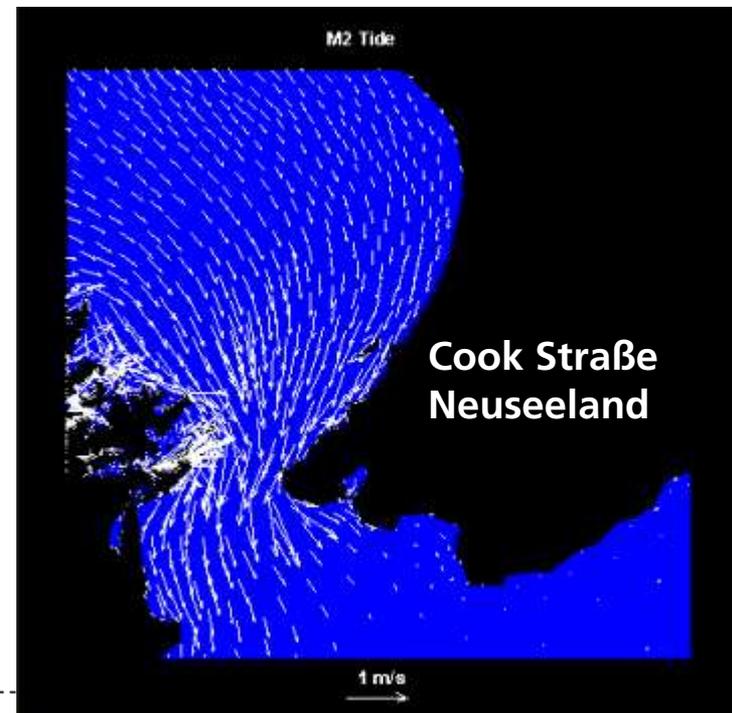
Theoretische Grenze: 16/27 (Betz)

# Meeresströmungen



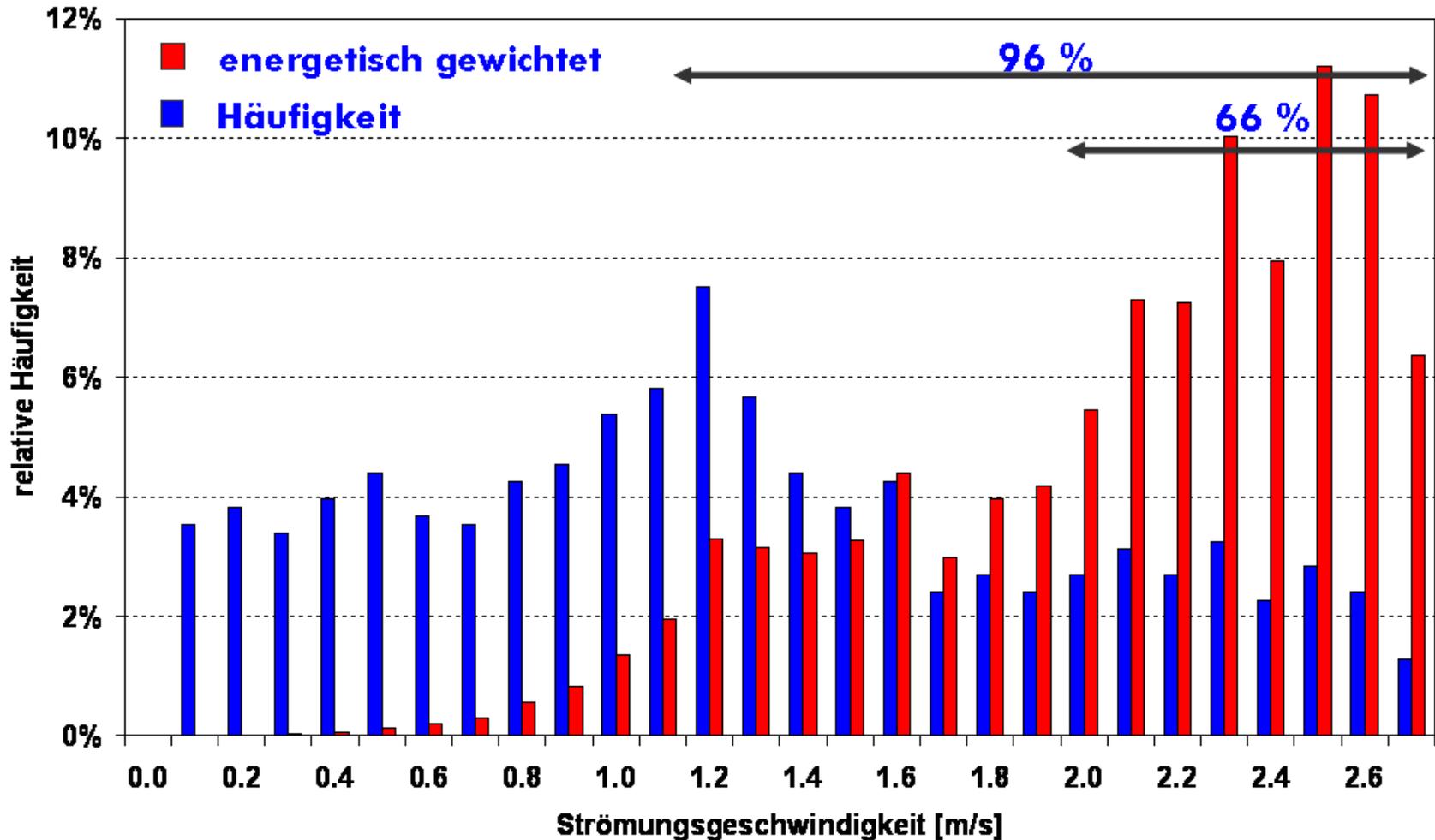
**Annahme: 40 % Wirkungsgrad**  
**maximaler Leistungsbeiwert nach Betz: 16/27 bzw. 60%**

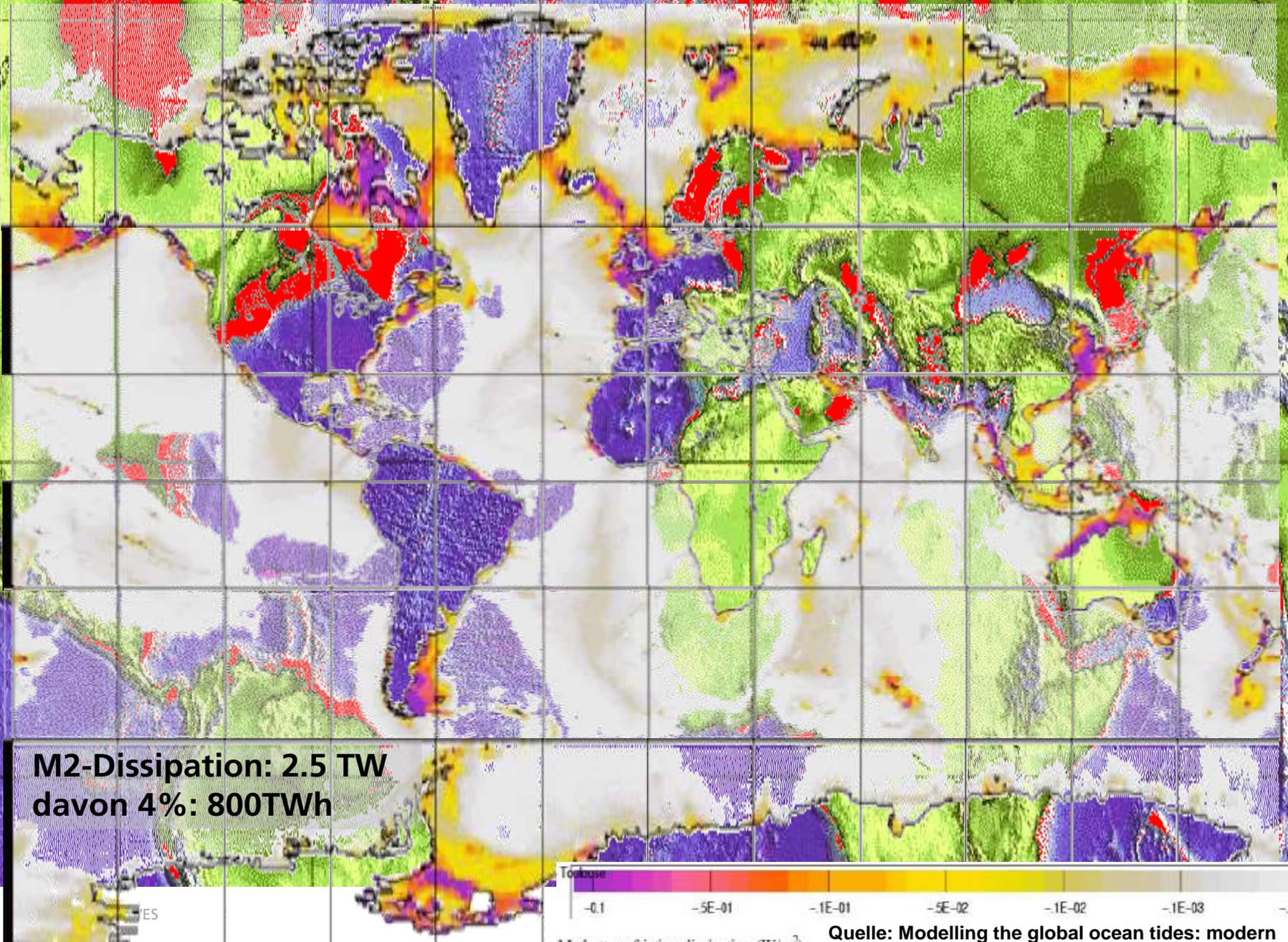
# Gezeitenströmungen



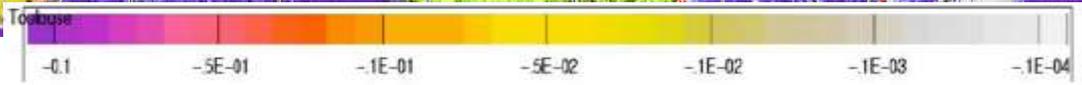
Beispiel aus der  
Irishen See

# Häufigkeitsverteilung der Strömungsgeschwindigkeiten





**M2-Dissipation: 2.5 TW  
davon 4%: 800TWh**

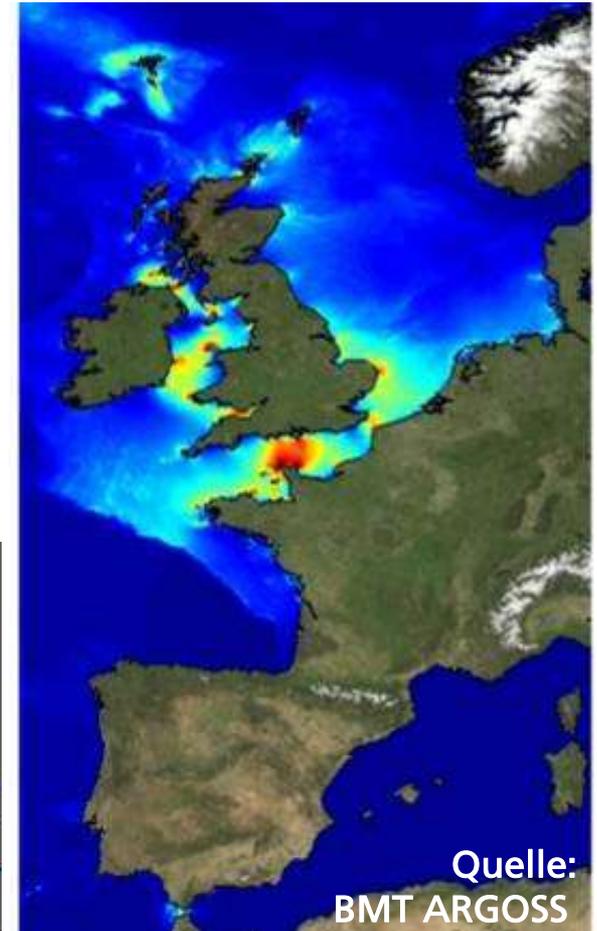
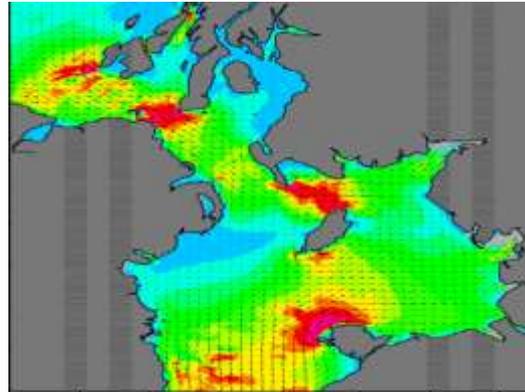
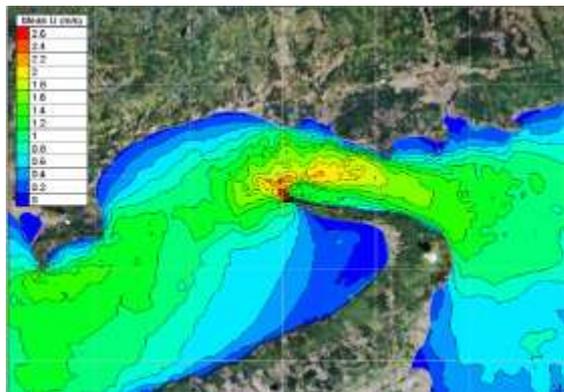


M<sub>2</sub> bottom friction dissipation (W/m<sup>2</sup>)

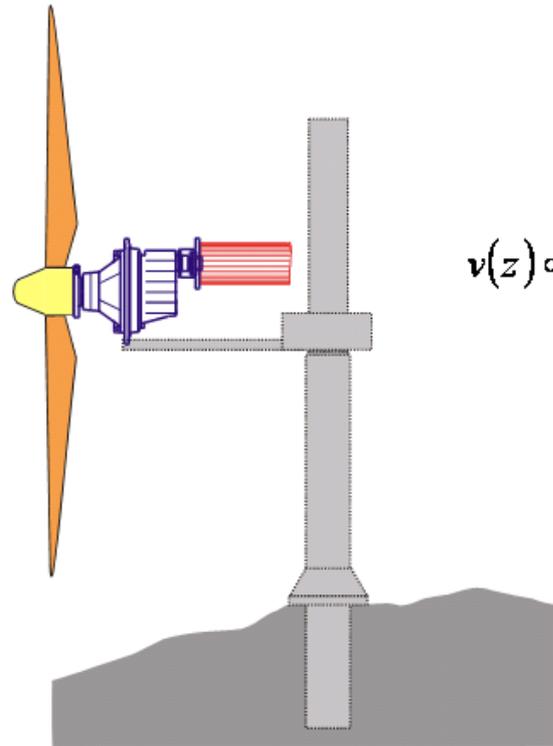
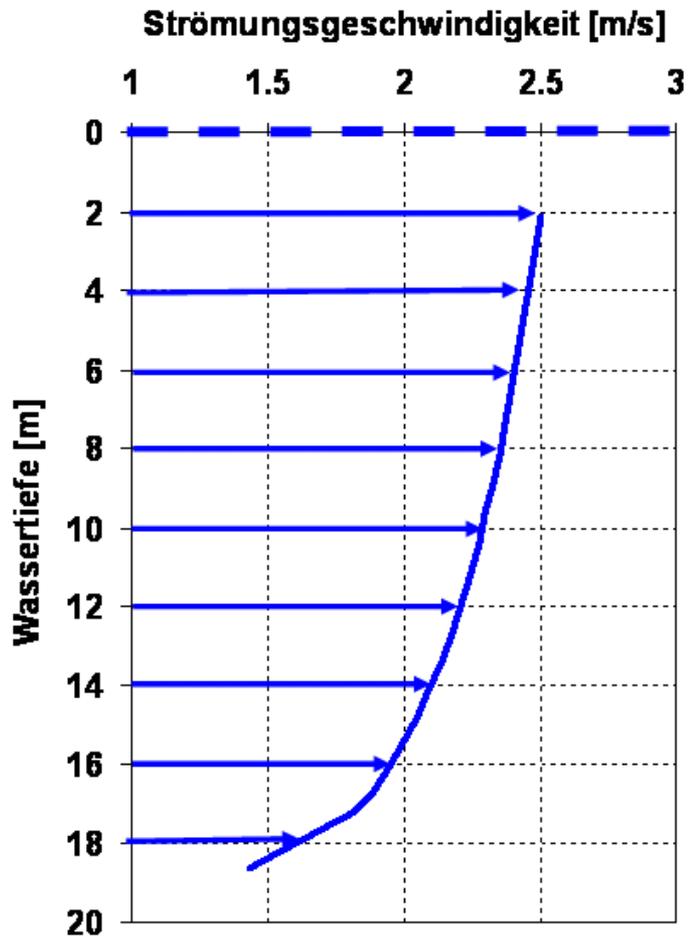
Quelle: Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004, Lyard et al, OcDyn 2006

# Zahlenbeispiele aus Potenzialstudien zur Meeresströmung

- China: 50 TWh
- Süd Korea: 100 GW („erwarted“)
- Irland: 230 TWh/a (theor.) 10 TWh/a (tech.)
- Großbritannien: 31 TWh
- Frankreich: 10 TWh
- Norwegen: 3 TWh
- USA: 115 TWh
- Kanada: >140 TWh



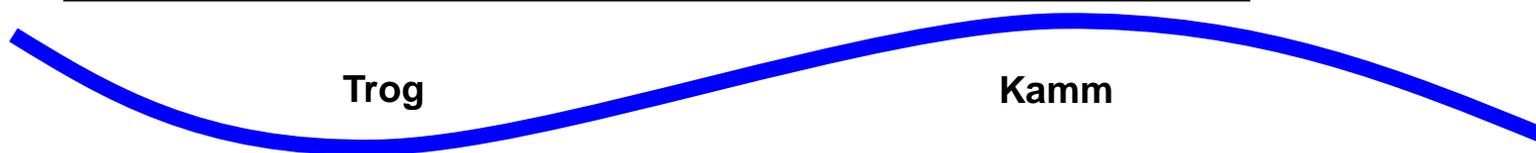
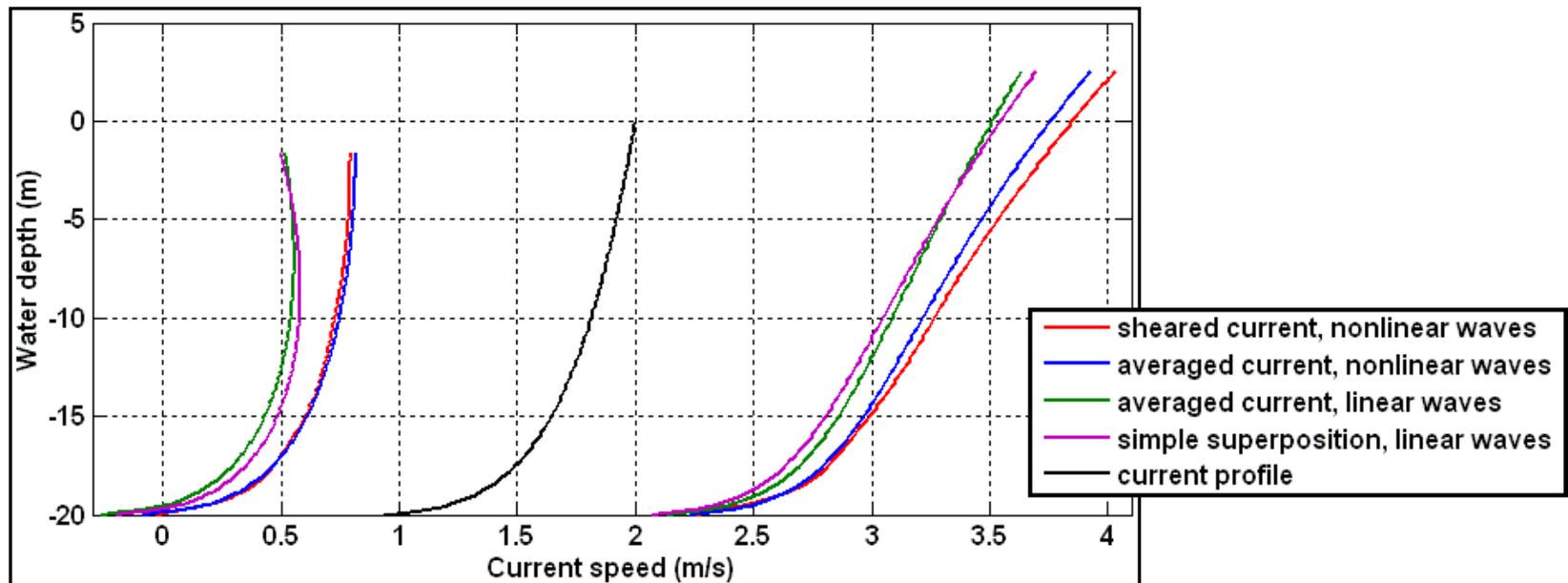
# Tiefenprofil von Meeresströmungen



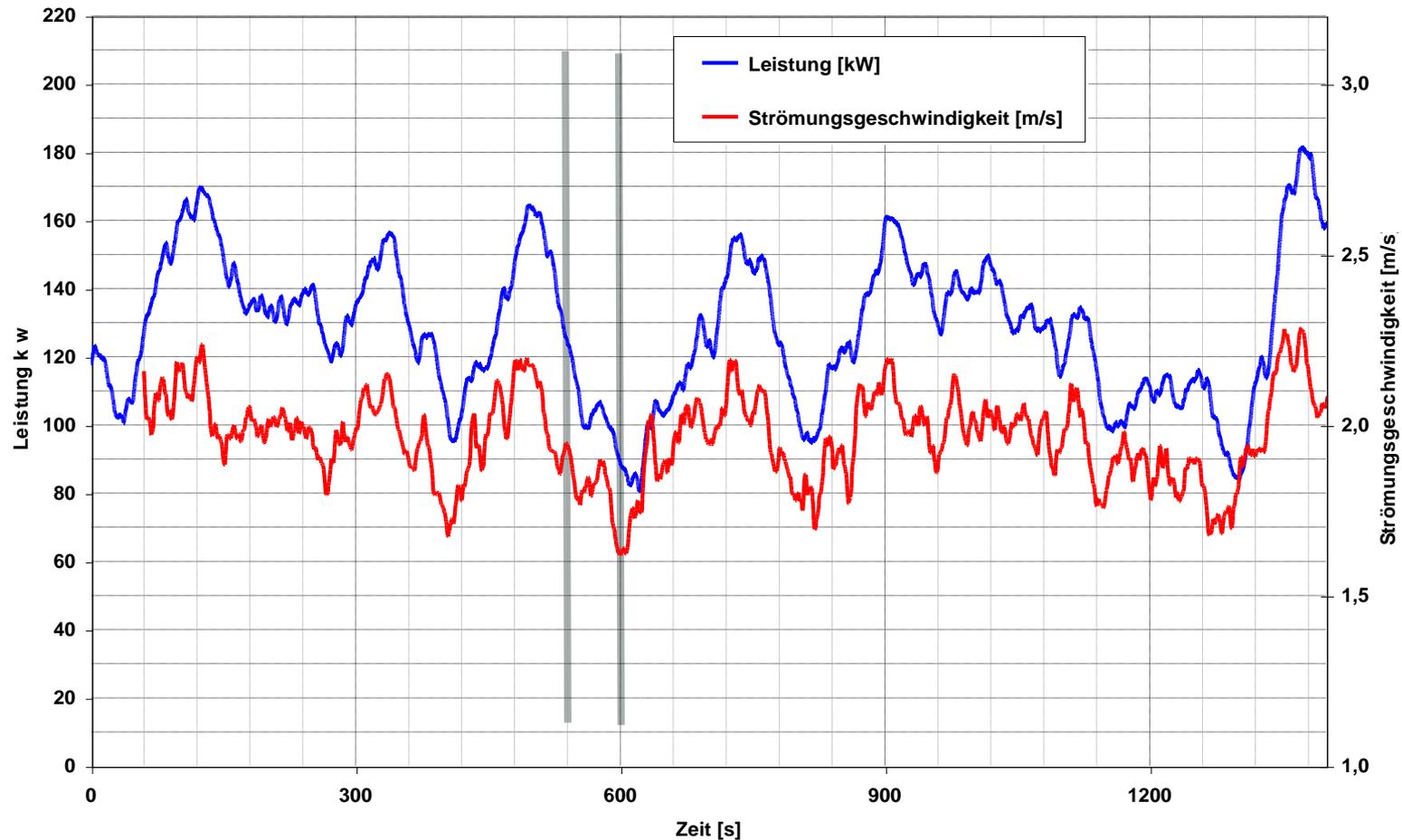
$$v(z) \propto \left( \frac{\text{Wassertiefe} - z}{\text{Wassertiefe}} \right)^{1/7}$$

# Strömungen und Wellen (WCI)

- große Unterschiede der Modelle in der Literatur
- Simulation unterschiedlicher Standortbedingungen
- Untersuchung der Bedeutung des Phänomens für die Technikentwicklung



# Betriebsergebnisse zeigen Turbulenz



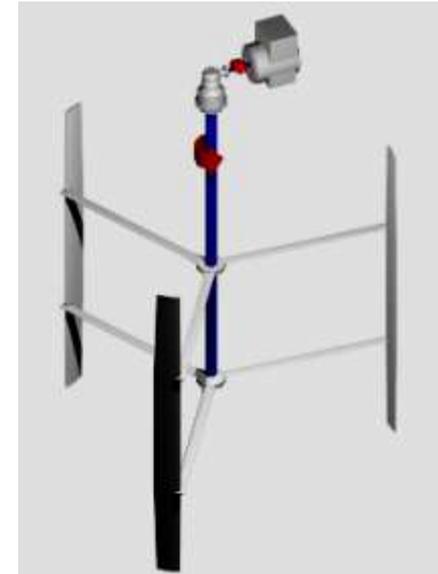
# Technologische Vielfalt der Strömungsenergiewandler



# Vertikalachser



„Kobold“  
Turbine  
Ponte di  
Archimede



Gorlov Turbine, KORDI



New Energy Corpr.

# Mantelturbinen



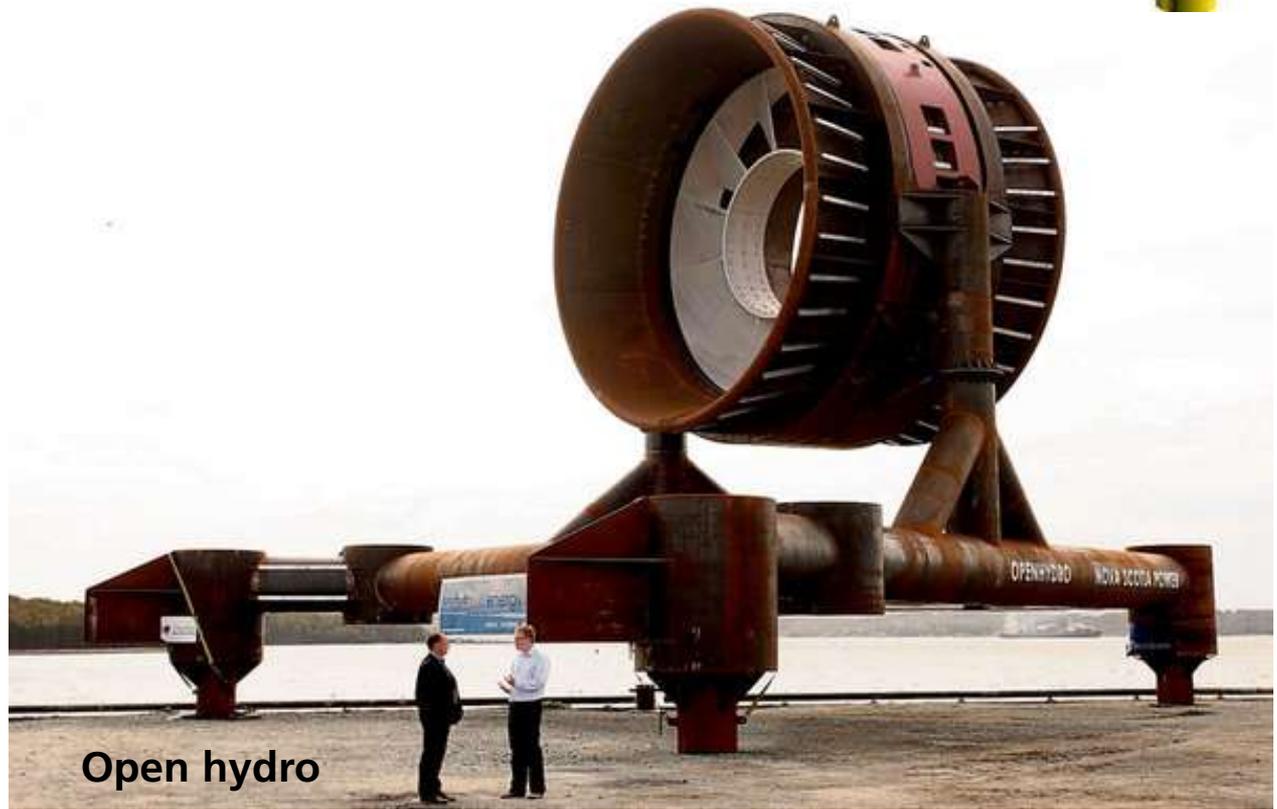
Clean Current  
Race rock project



UEK



Lunar  
Energy



Open hydro

# Horizontalachser, freie Umströmung



**Hammerfest  
Norwegen**



**Voith  
Hydro  
Turbine**

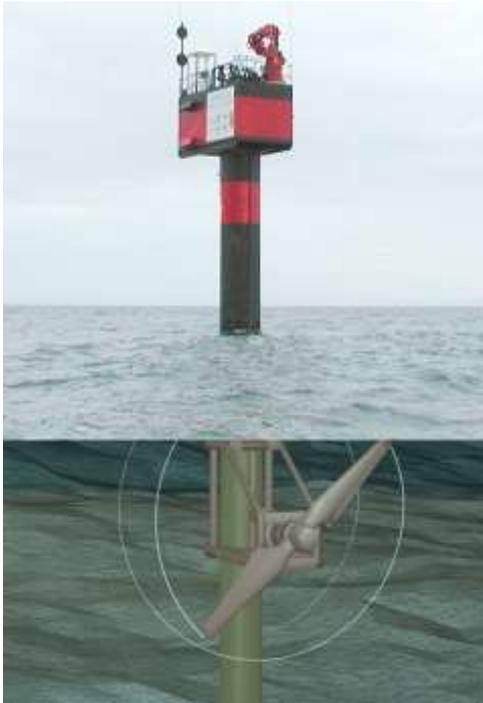


**Verdant  
Power,  
USA**



**Sabella  
Turbine**

# Marine Current Turbines-Siemens: SEAFLOW/SEAGEN



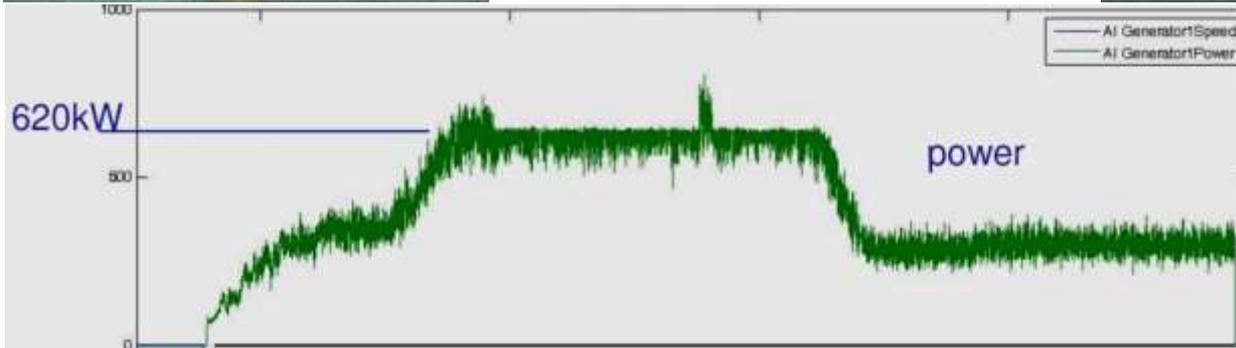
Rotordurchmesser 11 m  
Nabentiefe 15 m

Nennleistung 300 kW  
bei 2,7 m/s

Drehzahl 15 U/min

- Blattverstellung
- Drehzahlvariabel
- Rotorlift

Seagen  
1.2 MW  
Doppelrotor



# Internationale Roadmaps

- **Europa: Ocean Energy Strategic Energy Technology (SET) Plan**

**Table 1 - Economical and technical achievable power from of Ocean Energy**

Tidal Power/Energy	16 GW	2250 h/year	36,000 GWh/year
Wave Power/Energy	65 GW	2190 h/year	142,350 GWh/year
Osmotic Power/Energy	4 GW	7000 h/year	28,000 GWh/year
<b>Total Ocean Energy</b>	<b>85 GW</b>		<b>206,350 GWh/year</b>

**Table 2 - Scenarios Ocean Energy Implementation**

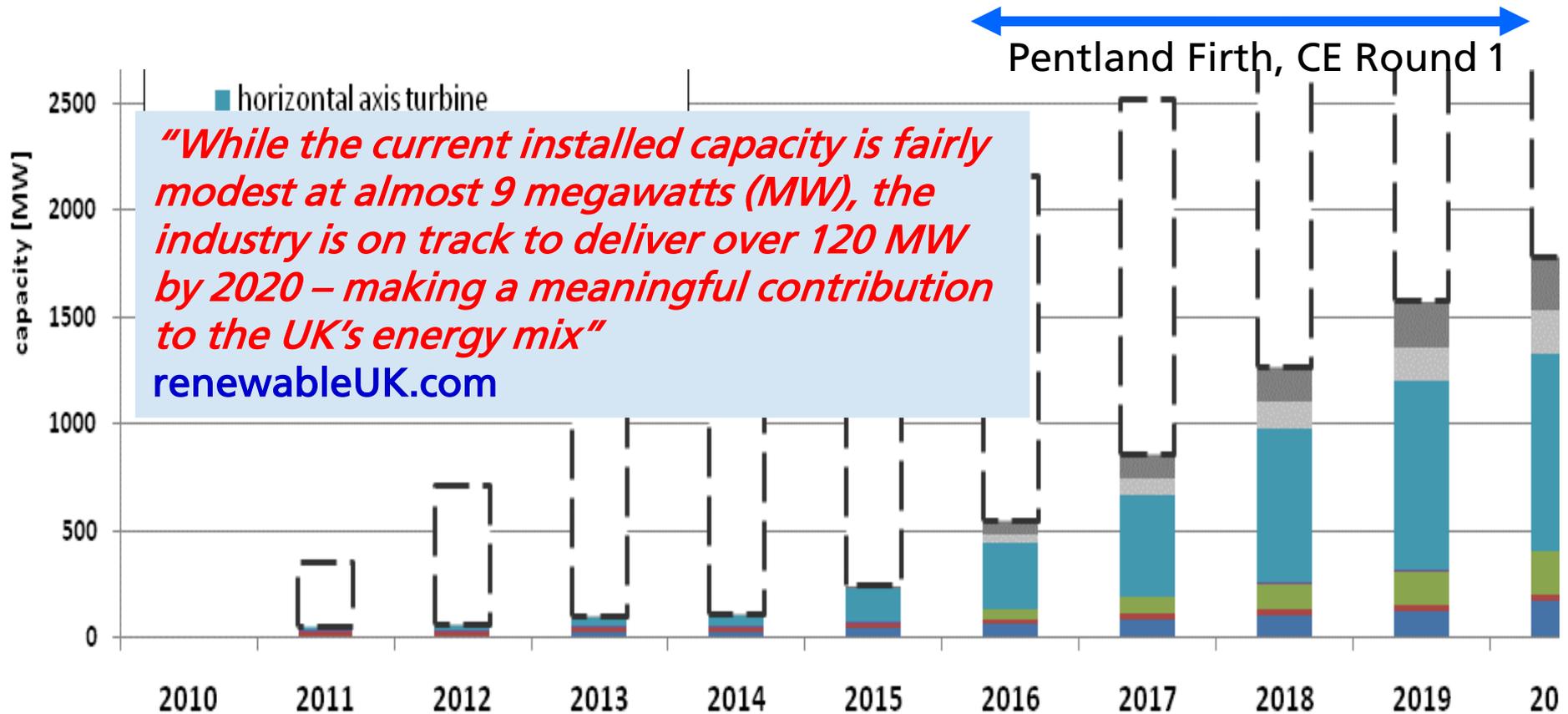
Year	2020	2025	2030	2040	2050
Scenario A [GW]	8	15	20	66	124
Scenario B [GW]		12	12	68	124

**Zahlen der EUOEA:**

- 1% in 2020, 6% in 2050
- ca. 700.000 Arbeitsplätze
- Europäische Industrie-Initiative geplant (EII)

- **Internationale Energieagentur (IEA):**  
**Implementing Agreement Ocean Energy Systems (IA OES)**  
**Entwicklung einer weltweiten Roadmap: „International Vision“**

# Meeresenergieprojekte "in der Pipeline" in EU in 2011



EU 27 NREAP targets for 2020: 1880 MW, 6 TWh

UK: 1300 MW, Pt: 250 MW, F:140 MW, ES: 100 MW, IRE: 75 MW, It: 3 MW

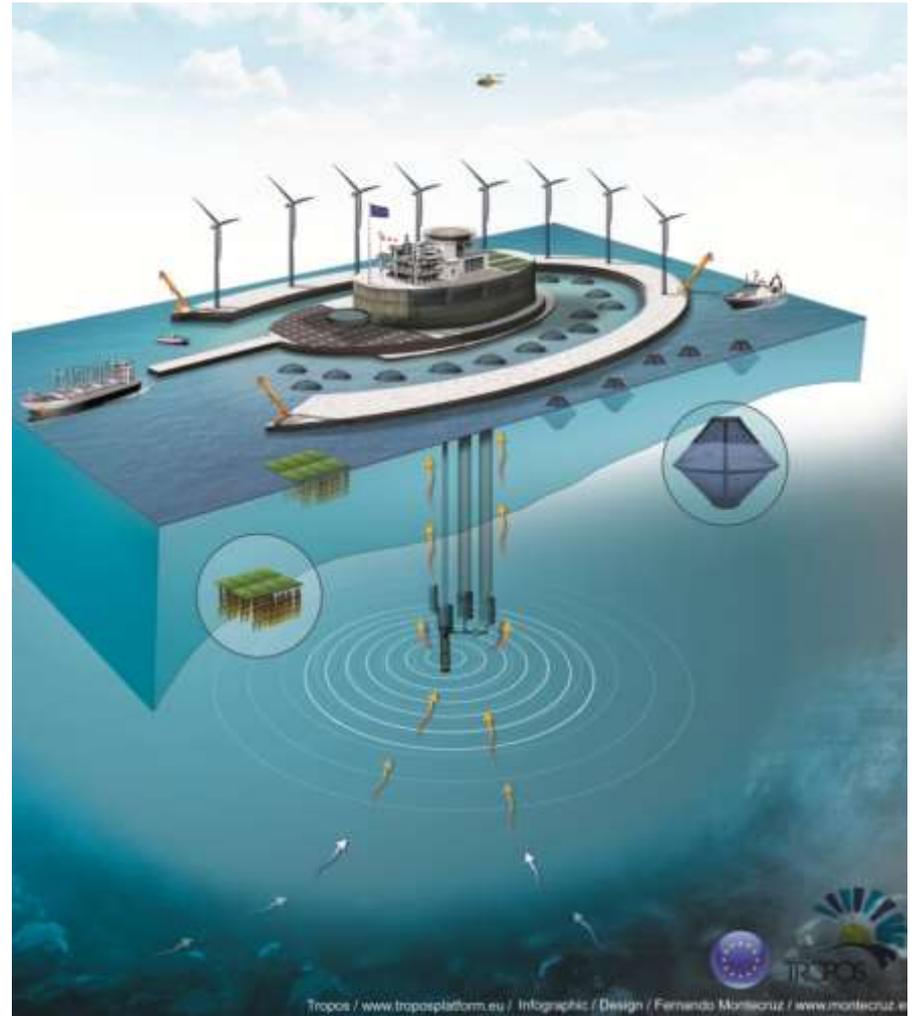
# Mehrfachnutzungskonzepte in der Entwicklung



[www.pelagicpower.no](http://www.pelagicpower.no)

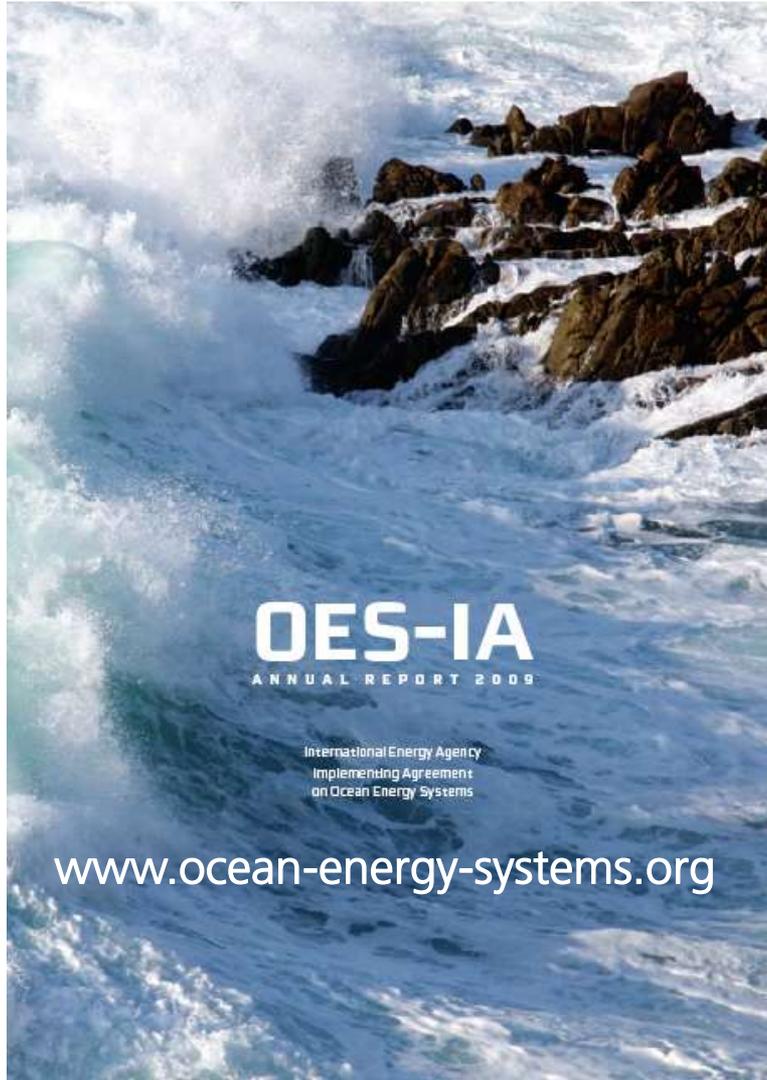


[www.floatingpowerplant.com](http://www.floatingpowerplant.com)

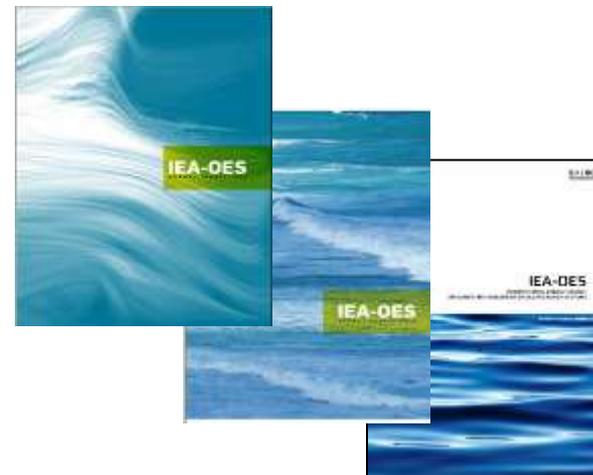


[www.troposplatform.eu](http://www.troposplatform.eu)

# Implementing Agreement zur Meeresenergie: 22 Mitgliedsländer



Fachberichte zu spezifischen Themen



Jahresberichte seit 2002

