



Vortragsreihe Naturwissenschaften: Das Energieproblem

Meeresenergie

- **Wellen**
- **Gezeiten**
- **Strömungen**

Dipl.-Phys. Jochen Bard

Leiter Energiewandlungsverfahren

Institut für Solare Energieversorgungstechnik

Verein an der Universität Kassel

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Europäische Kommission, DG Research

Department for Trade and Industry, GB



**Systemtechnik für die Nutzung Erneuerbarer Energien
und die Rationelle Energieverwendung**

Anwendungsnahe Forschung und Entwicklung

- **Windenergie, Wasserkraft, Meeresenergie**
- **Biomassenutzung, Photovoltaik**
- **Energiewandlung und Speicher**
- **Hybridsysteme**
- **Energiewirtschaft**
- **Information und Weiterbildung**



Vorstand: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmid
Prof. Dr.-Ing. Peter Zacharias
Dr. rer. nat. Oliver Führer

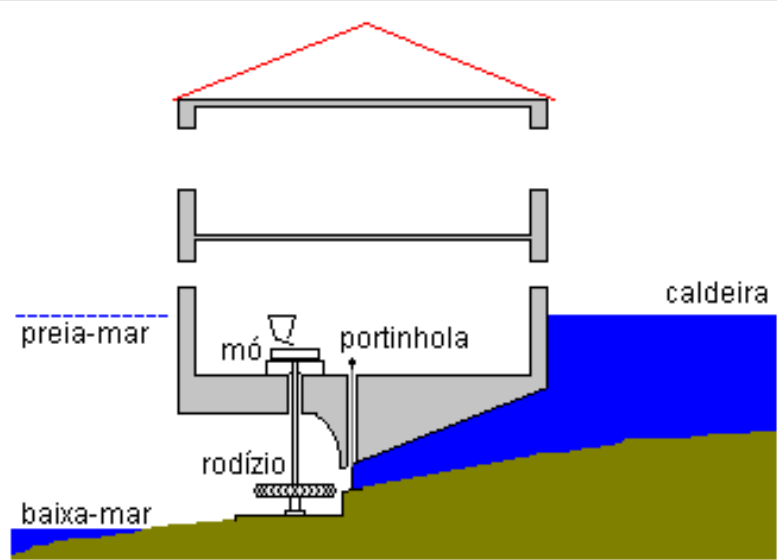
Personal: ca. 100 Beschäftigte

Jahreshaushalt: ca. 9 Mio. Euro

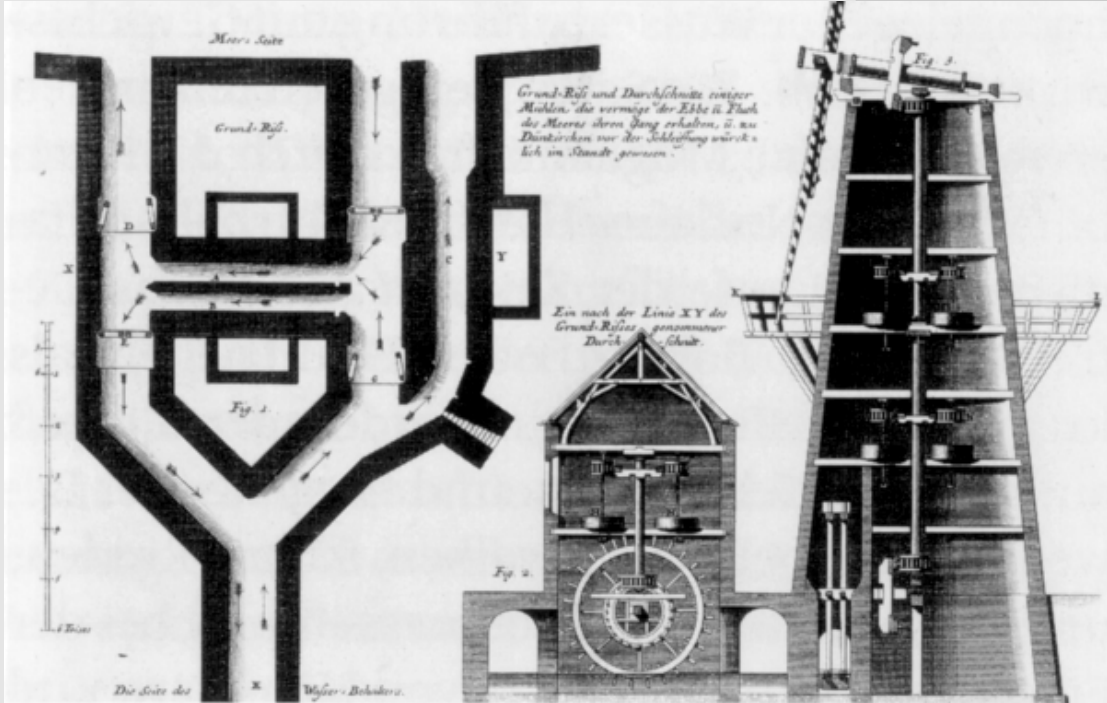
Information: www.iset.uni-kassel.de



Historische Technik zur Nutzung der Gezeiten: Flutmühlen



Portu Errota Flutmühle, Portugal



Flutmühle des Zimmermeisters Perse zur Nutzung der Ebbe und Flutströmung, 18. Jhr.

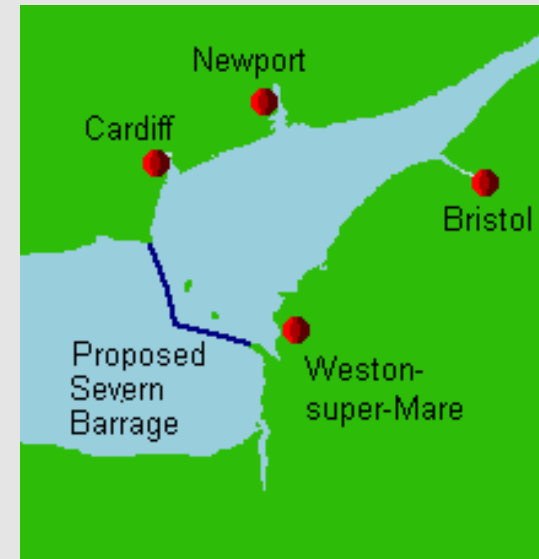
Älteste belegte Gezeitenmühle von 787!



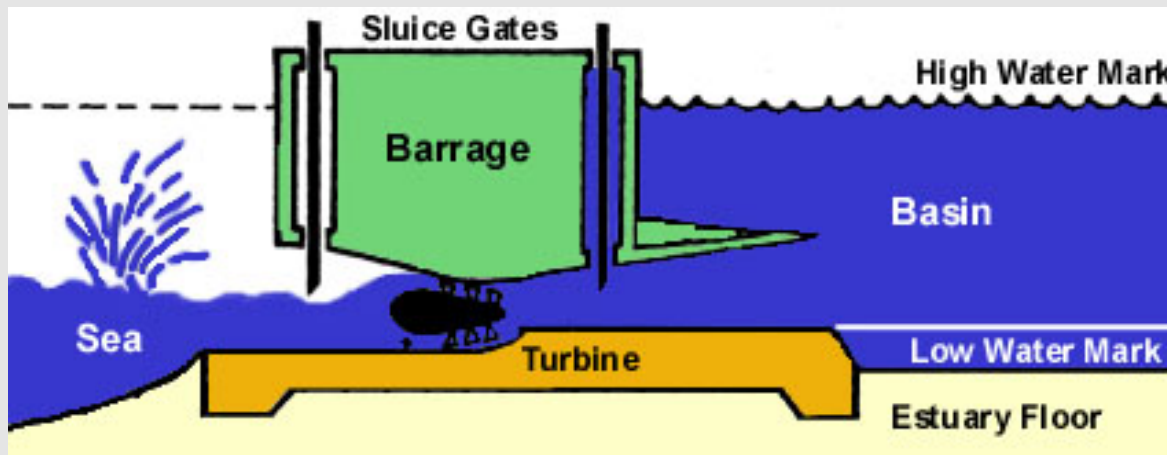
Gezeitenkraftwerke: Tidenhub als Fallhöhe



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



**Severn barrage:
8460 MW**



- 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

Neue Gezeitenkraftwerke in (Süd-)Korea



Gezeitenkraftwerk Sihwa

- 12,7 km Staudamm fertig gestellt in 1994 als Trinkwasserreservoir und Landgewinnung
- Starke Verschmutzung durch Abwässer, Aufgabe des Sees in 2001, alternative Nutzung als Staubecken
- Mittlerer Tidenhub: 5,6 m, 43 km²,
- 250 MW, 553 GWh, 1300 \$/kW
- Fertigstellung in 2009



Gezeitenkraftwerk Garolim: 480 MW, 880 GWh bis 2012
Gezeitenkraftwerk Incheon: 1000 MW, 1800 GWh bis 2015



Energie aus dem Meer: Übersicht

Energiequelle	Wandlungsprinzip	Nachhaltiges Potenzial
Gradient der Salzkonzentration	Osmotischer Druck und Wasserturbine	2000 TWh/a
Temperaturgradient	Niedertemperatur-dampfkreislauf	10000 TWh/a ⁺
Potentielle Energie aus Tidenhub	vgl. konventionelle Wasserturbine	400 TWh/a ^{**}
Kinetische Energie der Wellen	<ul style="list-style-type: none"> • Körperbewegung- bzw. Verformung • Wasserstauerzeugung • Luftstauerzeugung 	1.700 TWh/a
Kinetische Energie der Meeresströmungen	Auftriebsläufer	800 TWh/a (120 TWh/a [*])

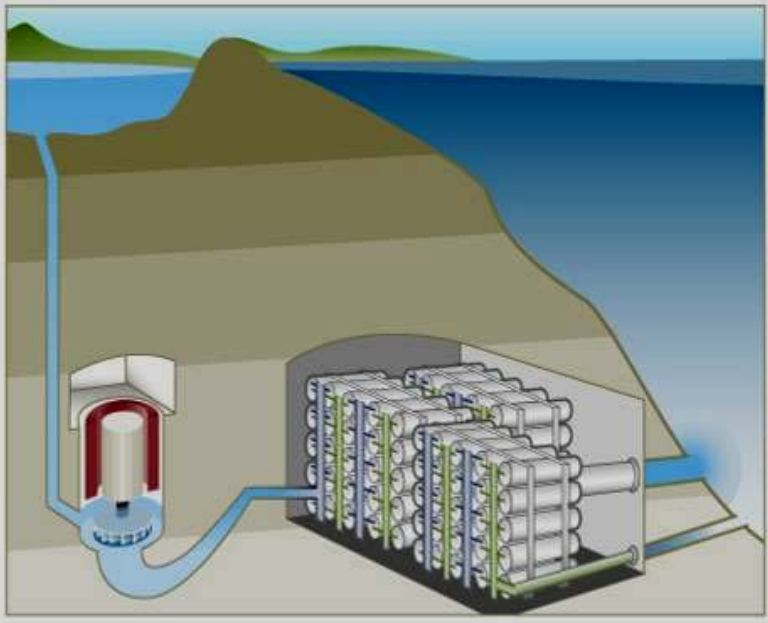
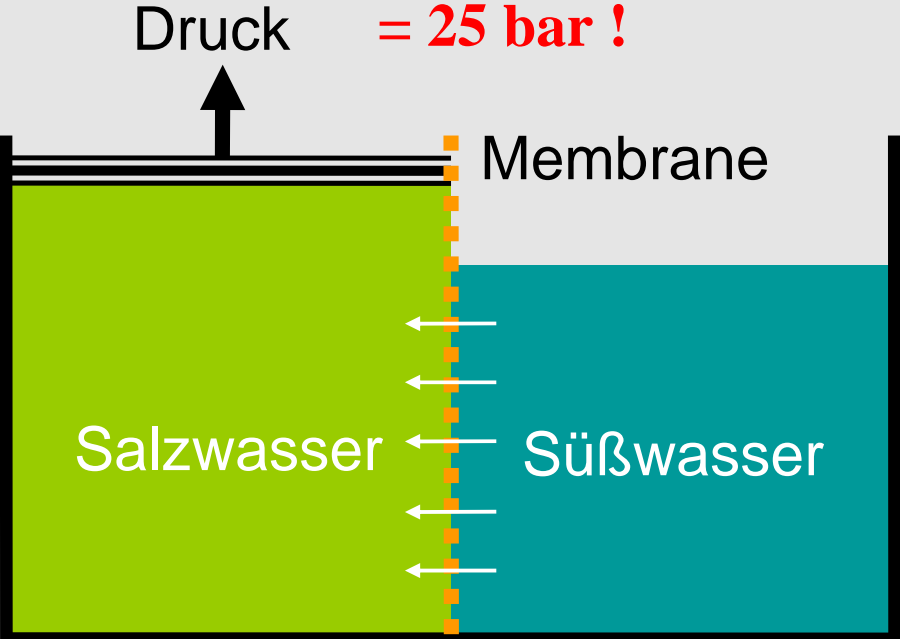
* heute bekannt + Nachhaltigkeit fragwürdig

insgesamt etwa 5000 TWh_{el} (ohne OTEC und offshore Wind)
 Entspricht etwa 1/3 des heutigen Weltstrombedarfs

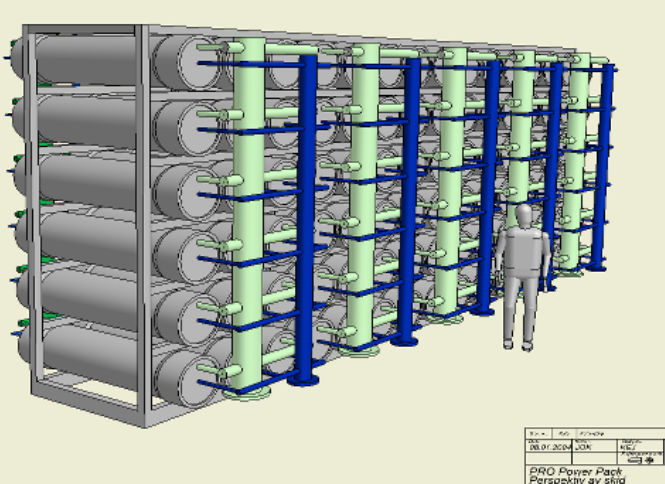




EU-Project Salinity Power, Koordinator Statkraft, Norwegen



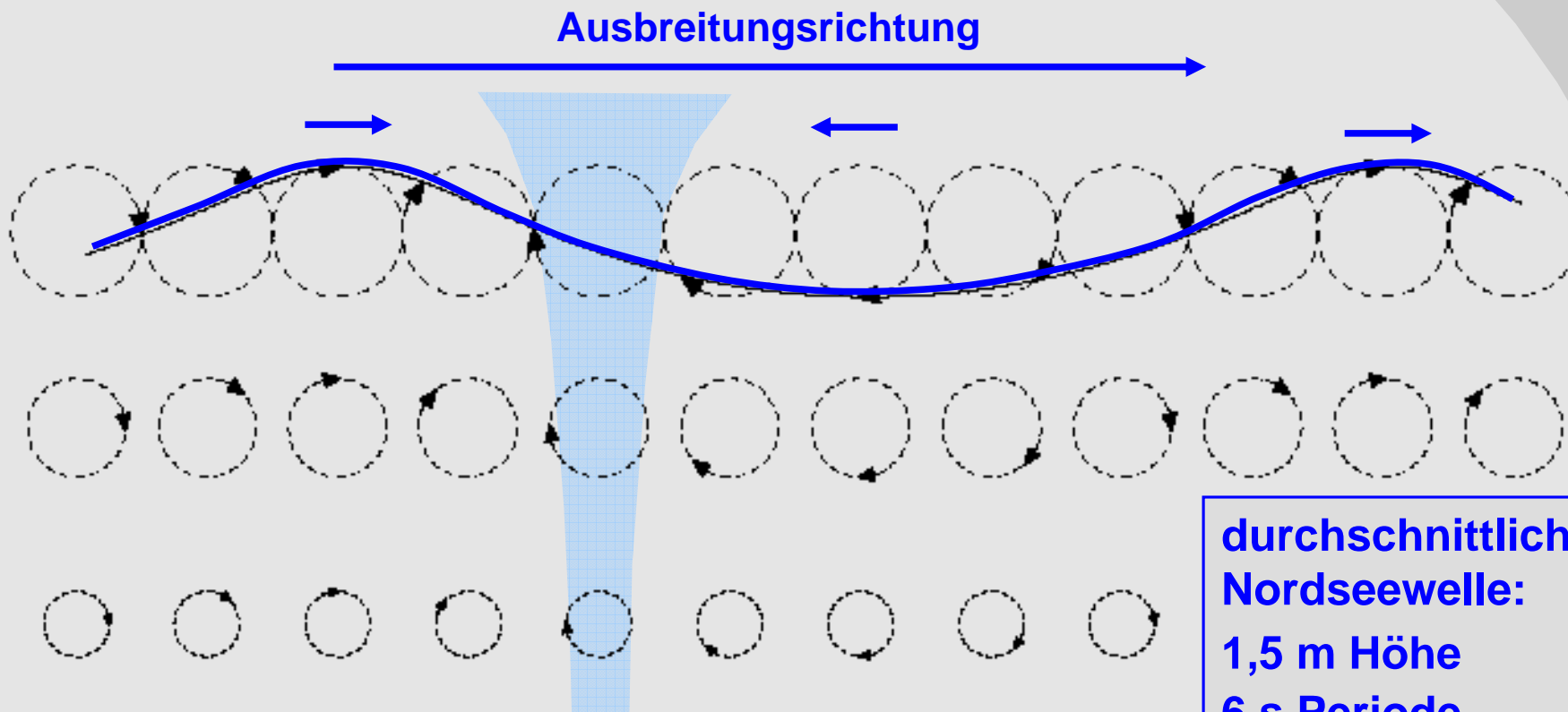
Design 100 kW
Membranmodule
Membranentwicklung
durch GKKS,
Geesthacht



Konzept für ein Osmosekraftwerk (Quelle: Statkraft)



Wellen



durchschnittliche
Nordseewelle:
1,5 m Höhe
6 s Periode
14,4 kW/m

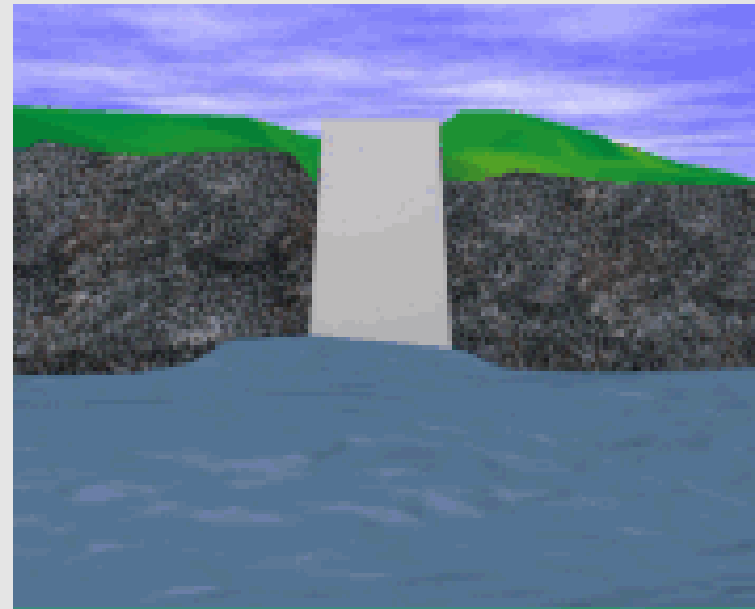
Potenziale

D: 250 km Nordseeküste 3600 MW, 32 TWh

EU15: bis 320 GW, 250-800 TWh

Welt: ca. 2000 TWh

Wellenenergiewandler: oszillierende Wassersäule (OWC)



**2 MW OWC-Anlage,
60 x 40 m², 750 t Stahl
1995 durch Hurricane Felix
versenkt**

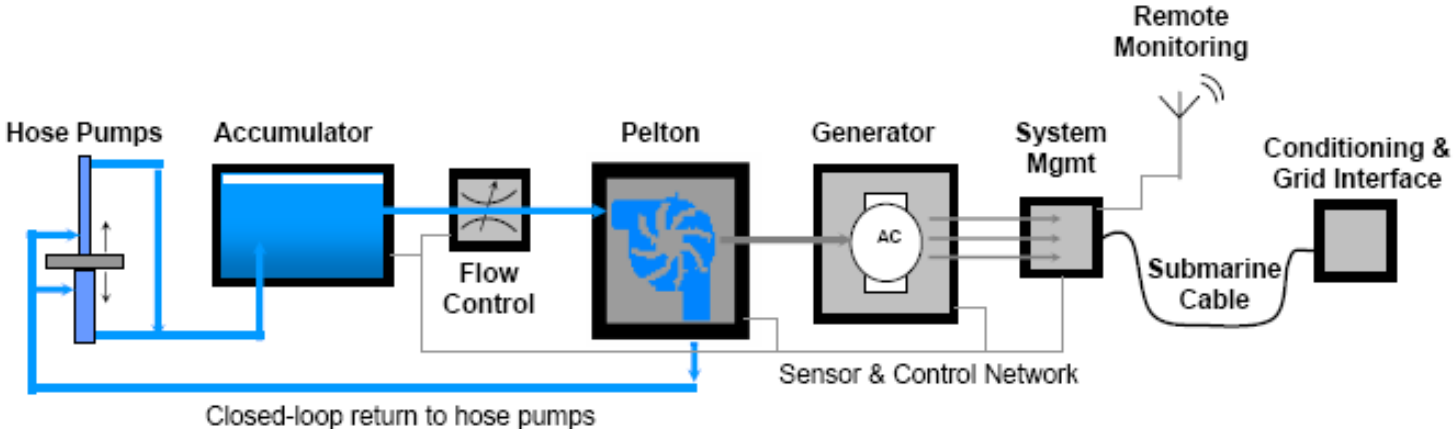


www.wavegen.co.uk

**500 kW Demoanlage seit Beginn 2001
in Schottland in Betrieb**

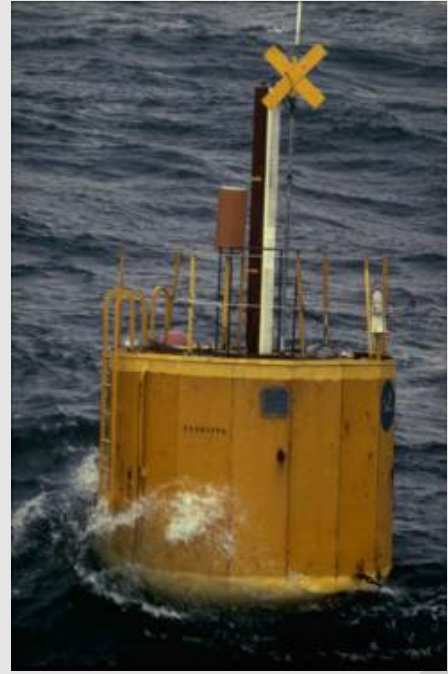


AquaBuoy der Aqua Energy Group



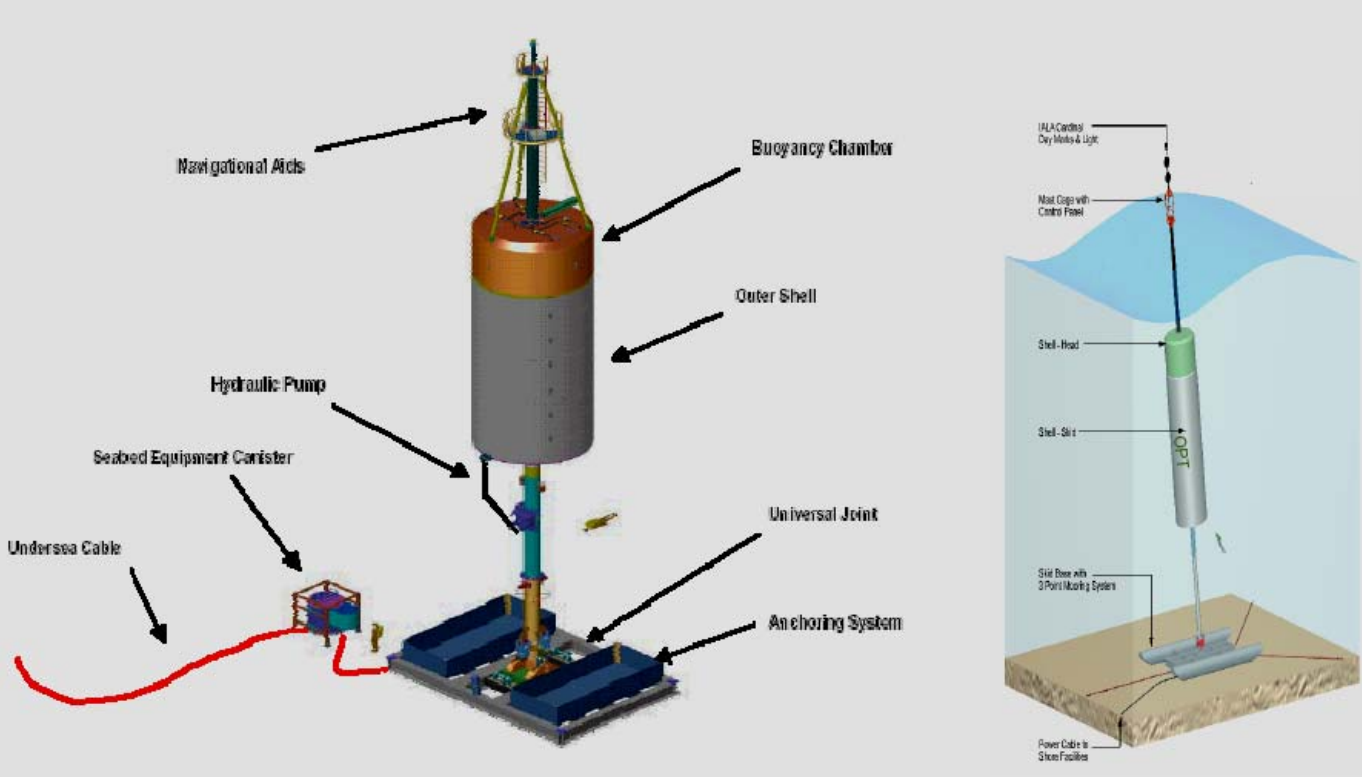
arrows = water flow
 - = open valve
 - = closed valve
 (drawing not to scale)

**konkrete
 Pläne zur Installation
 in Nordamerika
 und Europa**





Ocean Power Technologies (OPT)



125 kW System



Sea trials
off coast of
New Jersey
1997 - 2002



Projekt mit 1,25 MW
an der Spanischen
Küste durch
Iberdrola u.a.



Archimedes Wave Swing (OWC)

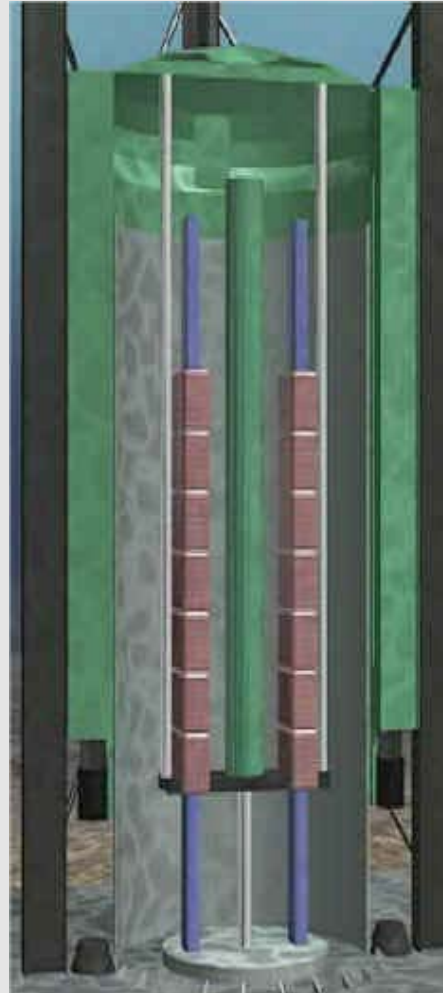
www.waveswing.com



2 MW Demo-Anlage



5 MW kommerzielle Anlage



Lineargenerator



erfolgreicher
'Tauchgang'
29.04.04

Beginn der Entwicklung 1994, gescheiterter Tauchversuch der 7000 t Anlage im November 2001, Testläufe seit Sommer 2004



Wellenenergiewandler: schwimmender Körper



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

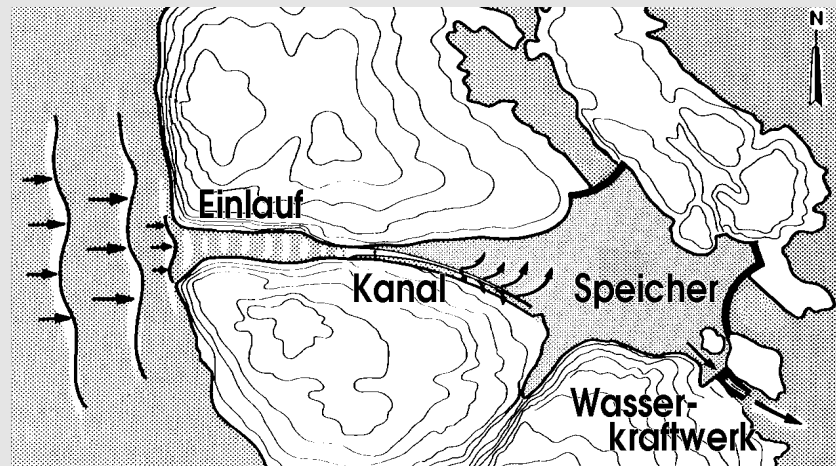
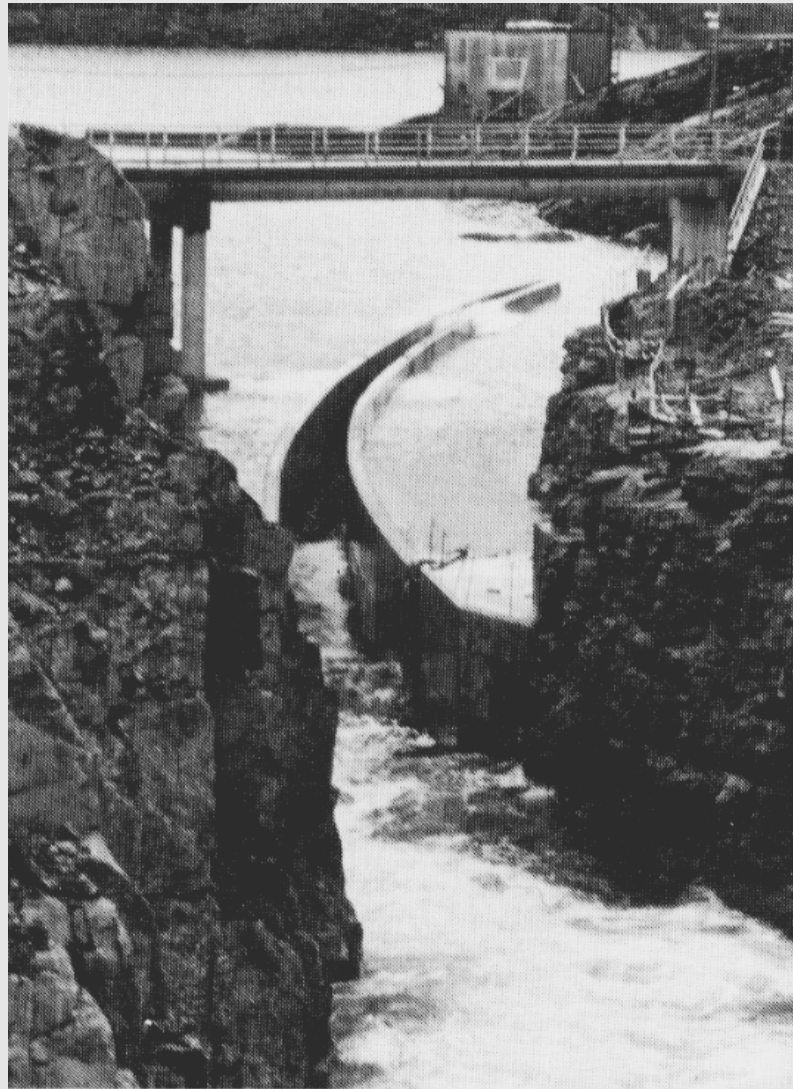
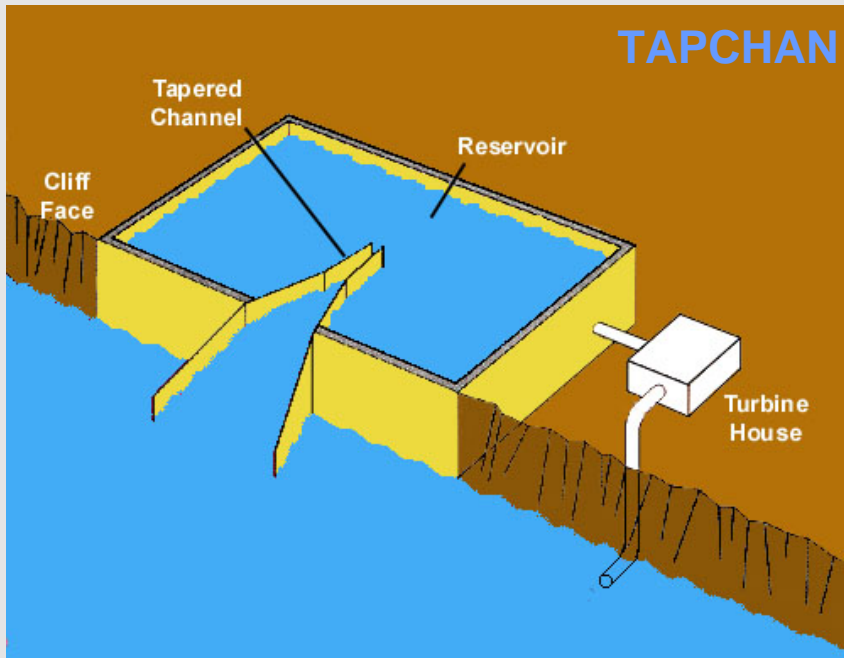
Pelamis, Ocean Power Delivery Ltd. (www.oceanpd.com)



erster Park mit 3 Pelamis P-750 Maschinen, 5 km vor Portugal
Inbetriebnahme 2006, 8 Mio. € 2,25MW ca. 8 GWh.
Konsortialführung Enersis



Wellenenergienutzung mit Wasserturbinen: Tapered Channel



Abbildungen: Vischer

norwegischer Prototyp auf Toftestallen, erbaut 1985
 $\Delta H = 3\text{m}$, Leistung 400 kW, 6000 Vollaststunden
weltweit zahlreiche Standorte für MW-Anlagen

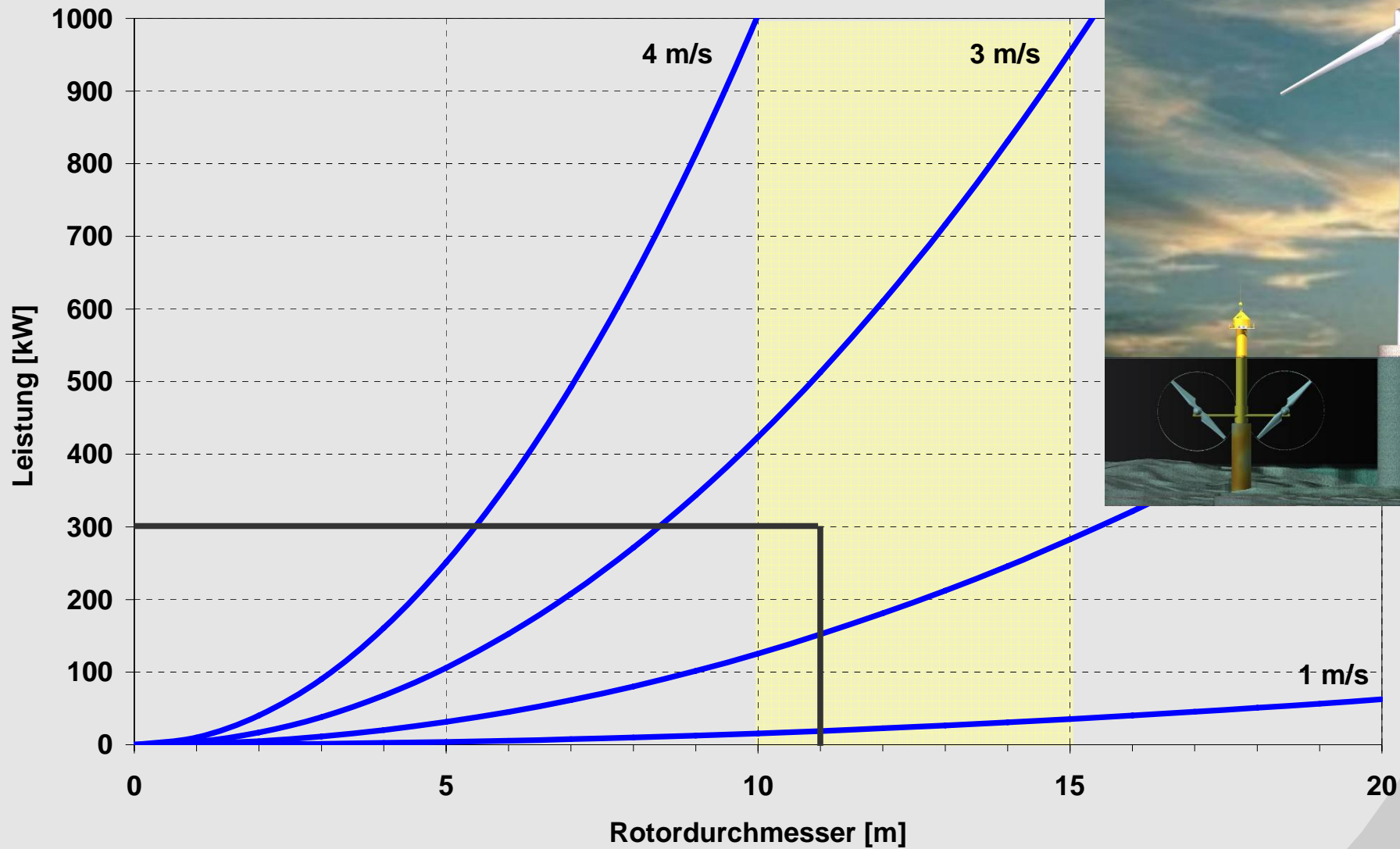


Wellenenergienutzung mit Wasserturbinen: Wavedragon



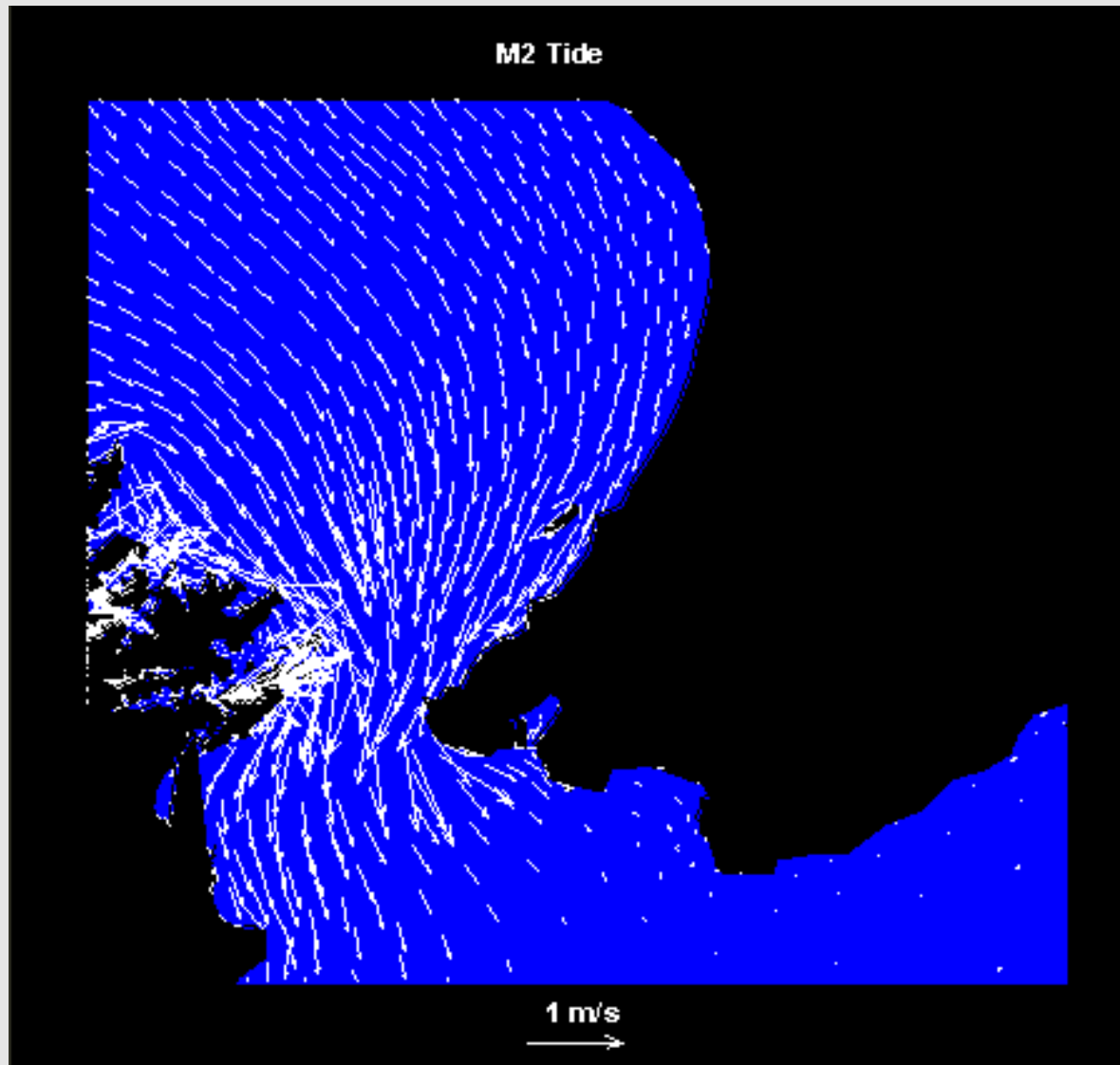
3×20 kW Demoanlage im Maßstab 1:4,5 mit 58 m Spannweite
Zielgröße kommerzielle Anlage: 4 MW, 300 m Spannweite

Meeresströmungen – eine neue Energiequelle



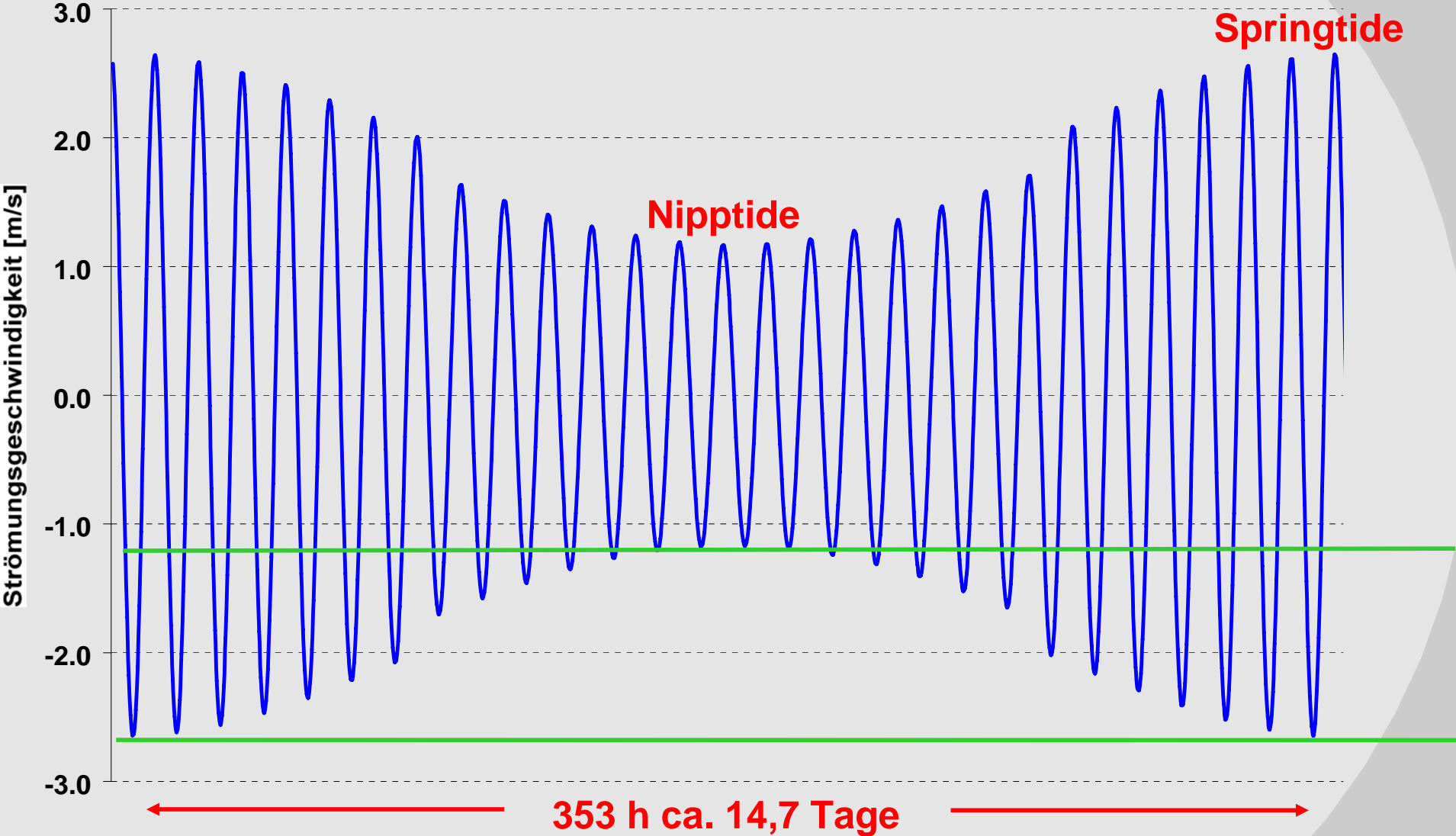
Annahme: 40 % Wirkungsgrad
maximaler Leistungsbeiwert nach Betz: 16/27 bzw. 60%

Gezeitenströmungen





Strömungsverlauf im halbmonatlichen Tidenzyklus



Strömungsmaschine: Prinzip Walflosse „Stingray“



150 kW Pilotanlage Titan 1
The Engineering Business Ltd., UK



Entwicklung eingestellt !

Kleine Strömungsturbinen mit Mantel



Tocardo Aqua75 free flow turbine
Teamwork Technology, NL



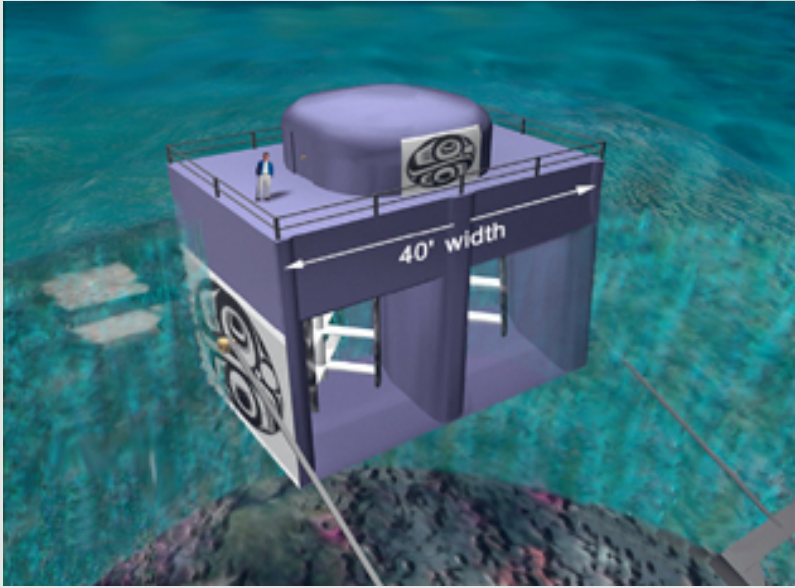
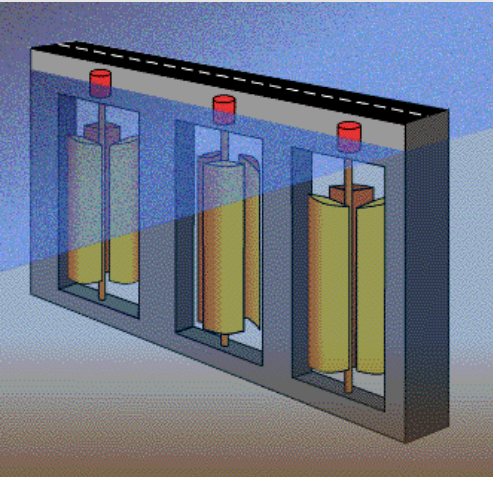
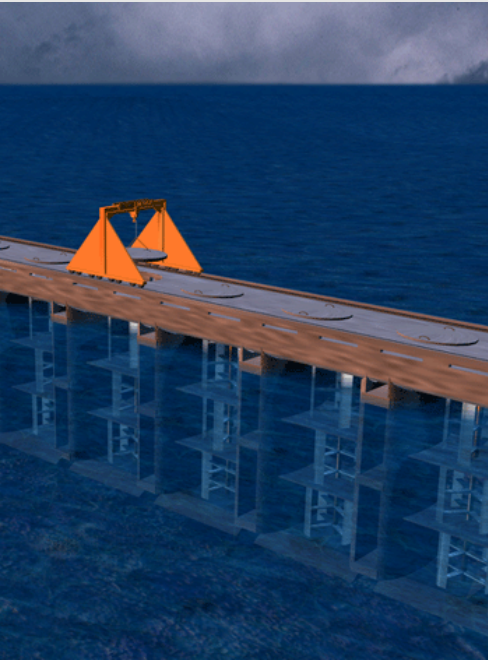
Aquacharger,
Amazonas



Underwater Electric Kite Corp.



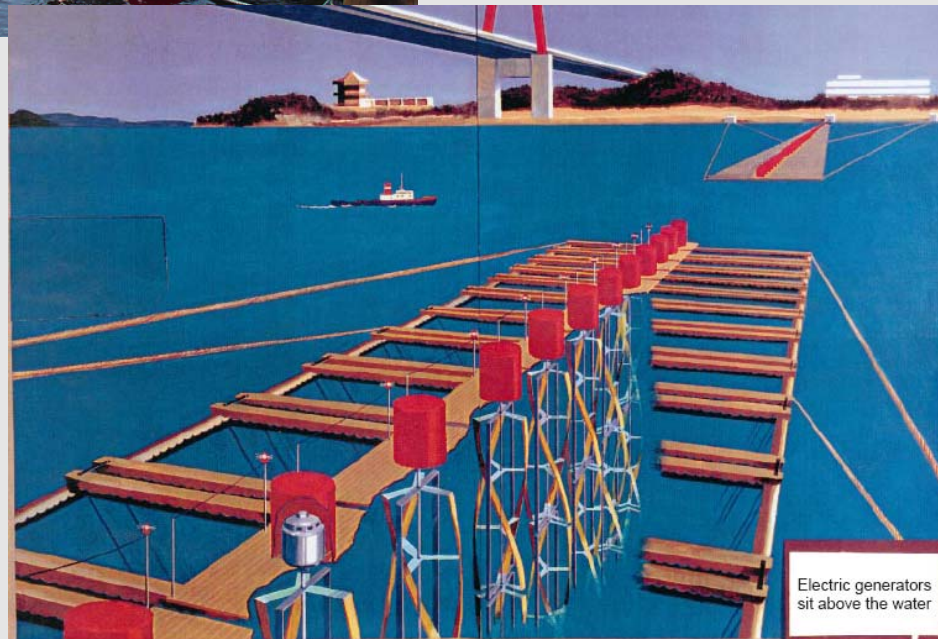
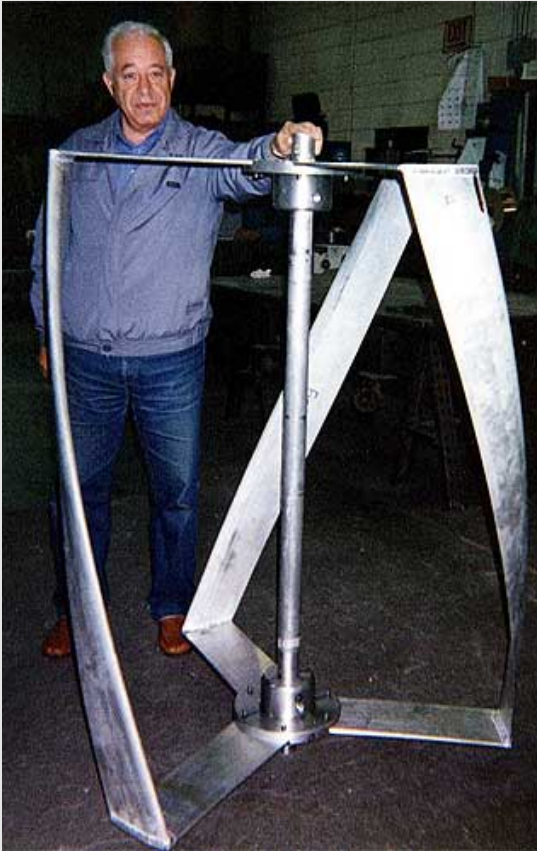
Strömungsbarriere: tidal barrage, tidal fence



Blue Energy Canada: 70 kW realisiert, 500 kW in Planung



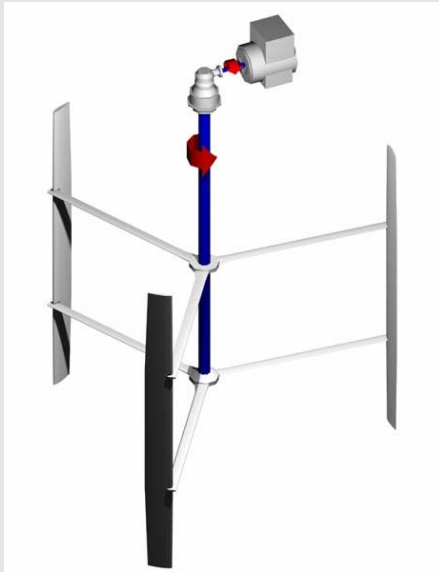
Helical Turbine, Prof. Gorlov, USA



- Vertikalachser
- spezielle Blattform
- Modellversuche
- Feldversuche

Meerenge von Uldolmok,
Südkorea

„Enermar“ Projekt, Straße von Messina, 2002



Konzept der „Kobold“ Anlage



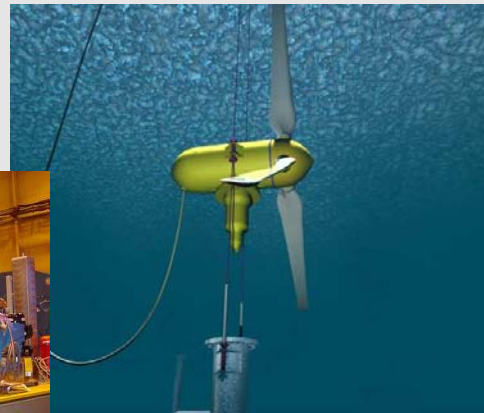
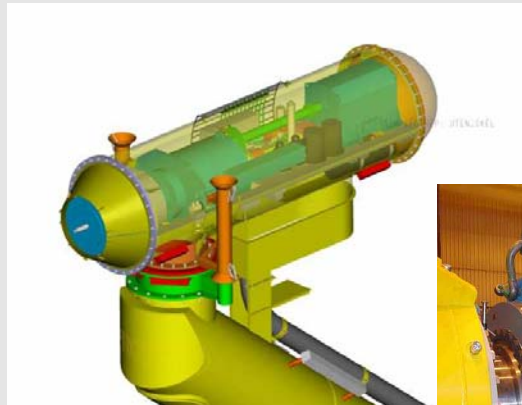
60 kW Pilot system
6 m Durchmesser, 5 m hoch

Das Windrad unter Wasser: Meeresströmungsturbine



300 kW Pilotanlage
Marine Current Turbines Ltd., UK

The Blue Concept, Hammerfest Strom, Norwegen

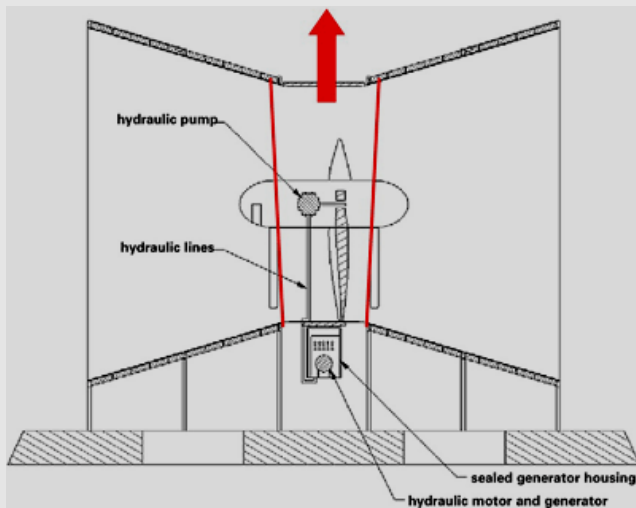
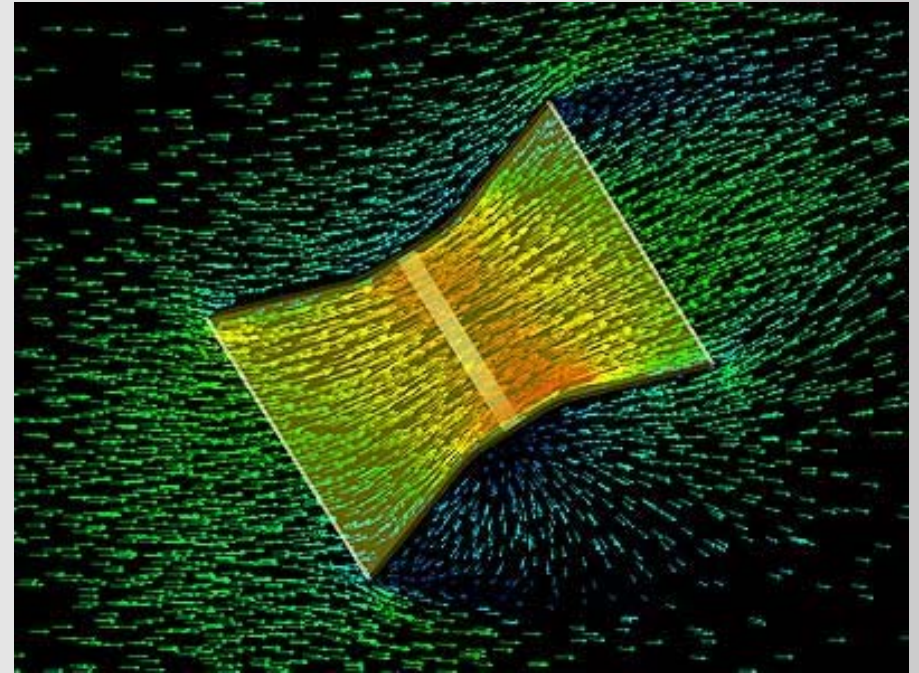
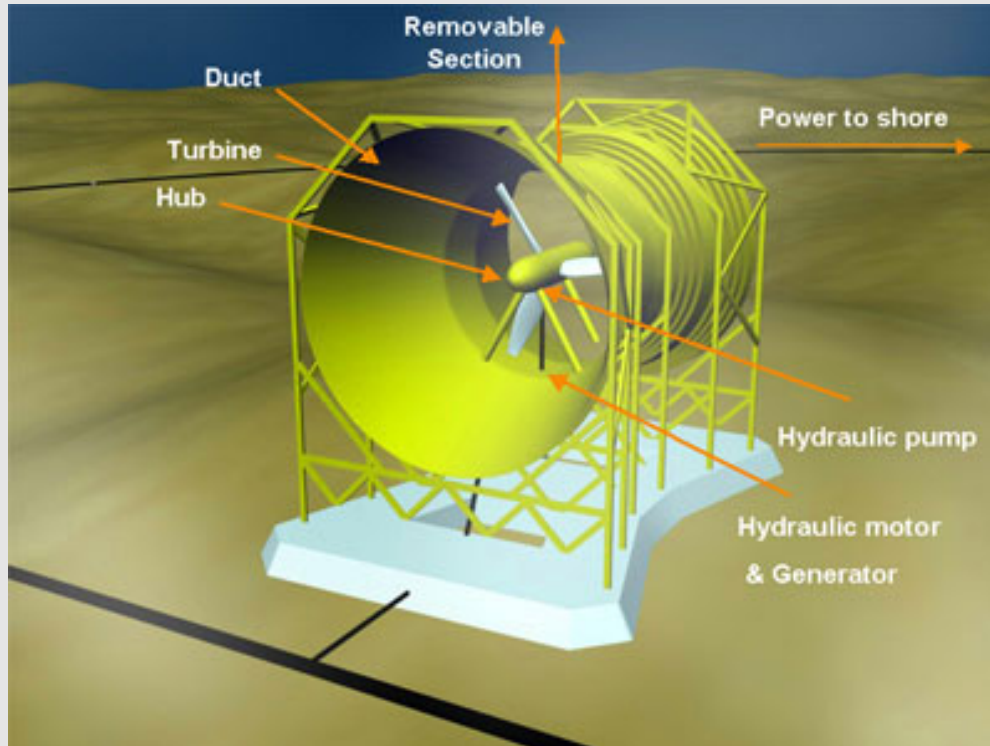


- 300 kW
- 20 m Rotor
- Blattverstellung
- trockene Gondel
- komplett getaucht

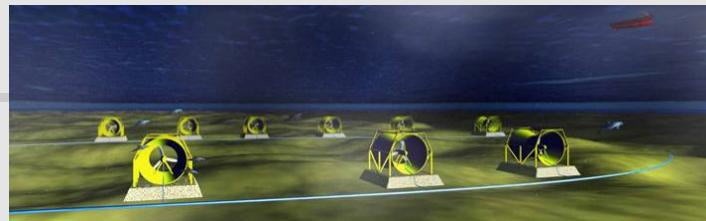
Inbetriebnahme 23.09.2003



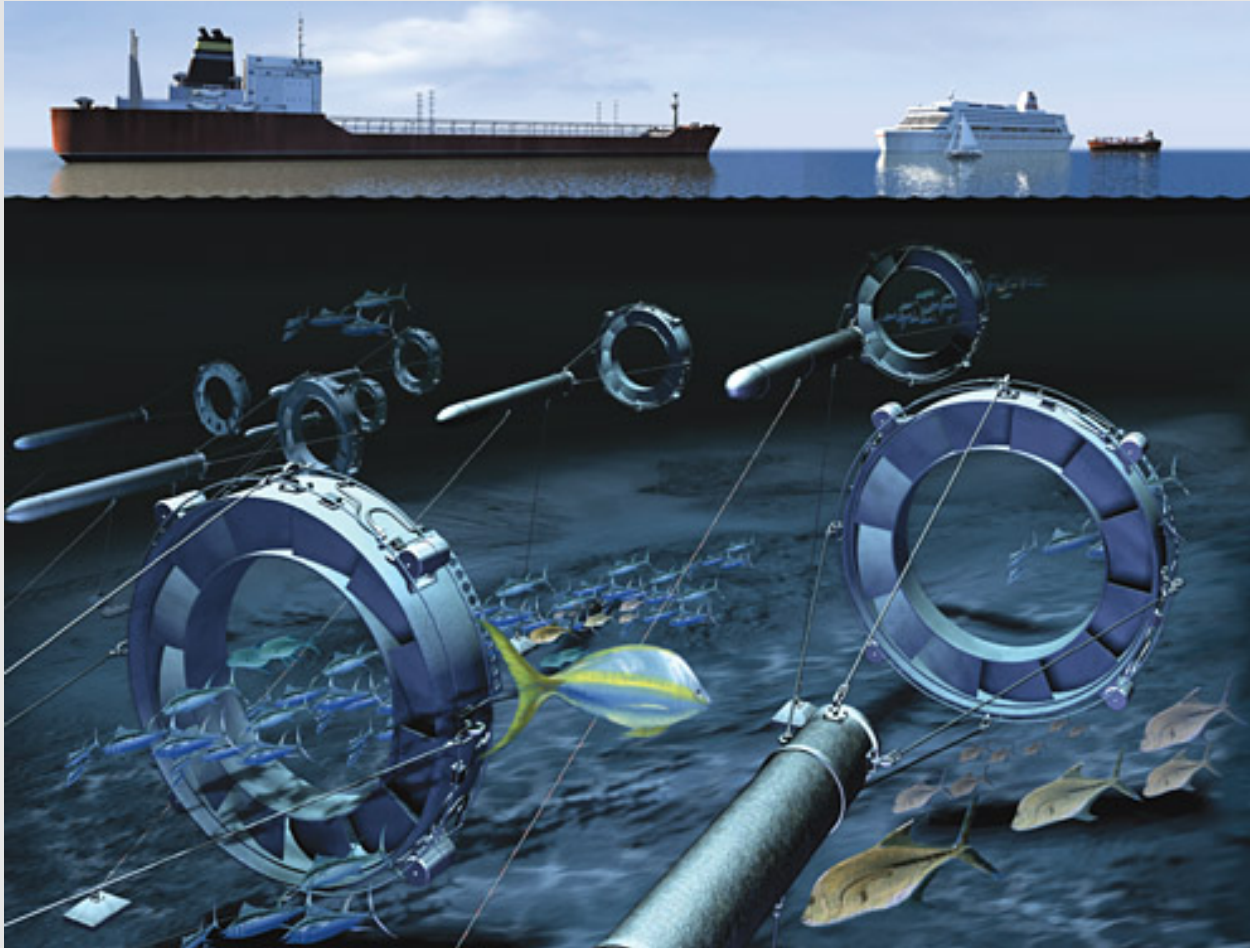
Lunar Energy, Großbritannien



- **Strömungsmantel**
- **hydrodynamischer Triebstrang**
- **1 MW-Anlage in Planung/Bau**



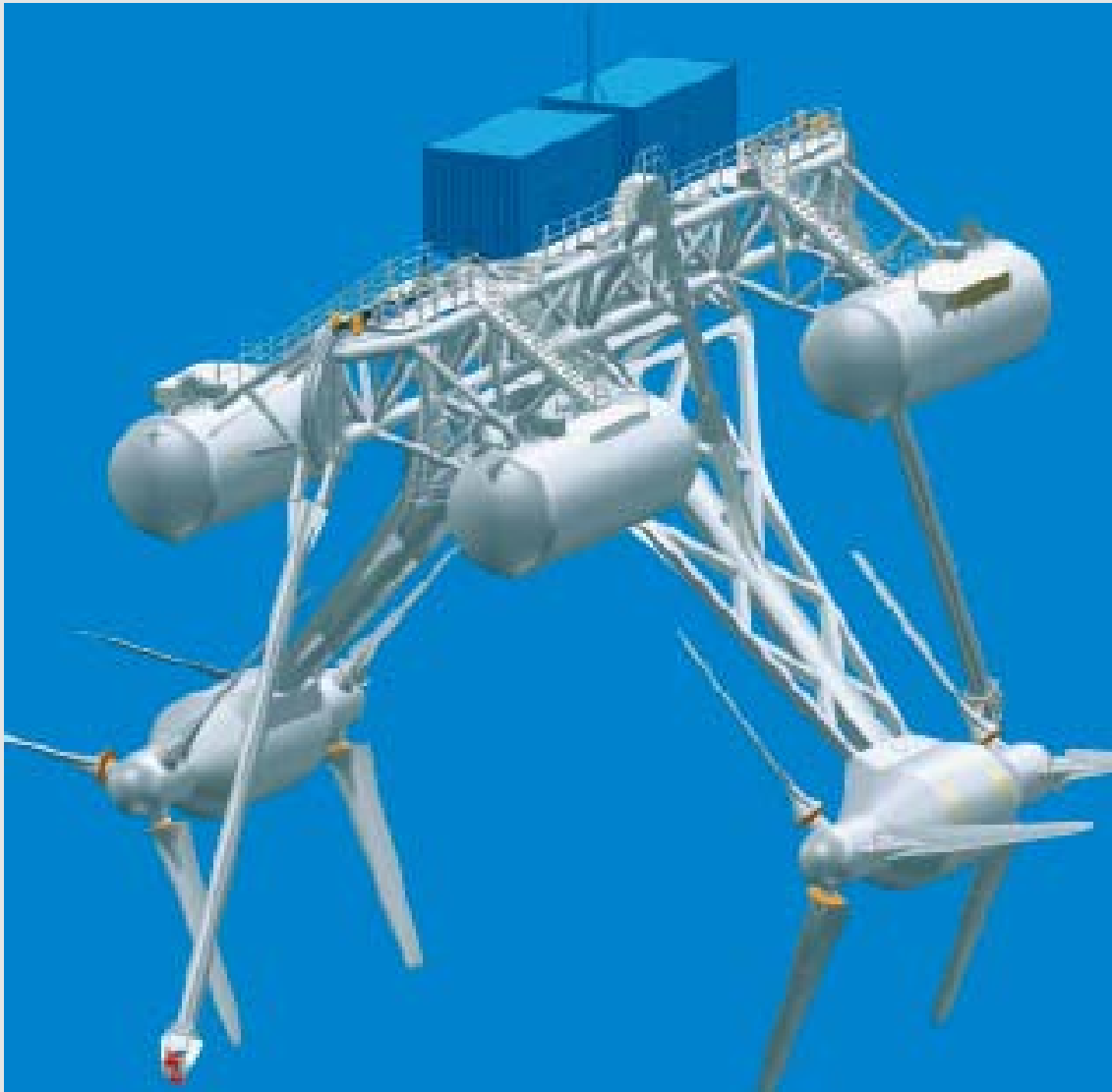
Florida Hydro



„Open Hydro“
Irland,
Test in 2007
im EMEC
geplant

22 kWel Prototyp in 2004

„Morild“ Statkraft, Norwegen



- schwimmende Anlage
- 2 × 2 gegenläufige Rotoren
- 2×500 kW
- Abmaße Ponton
38 × 15 m
- Gewicht 490 t
- 3 bis 5 GWh/a
- Lebensdauer 25 Jahre

SEAFLOW Vorgeschichte: 10kw Proof of Concept

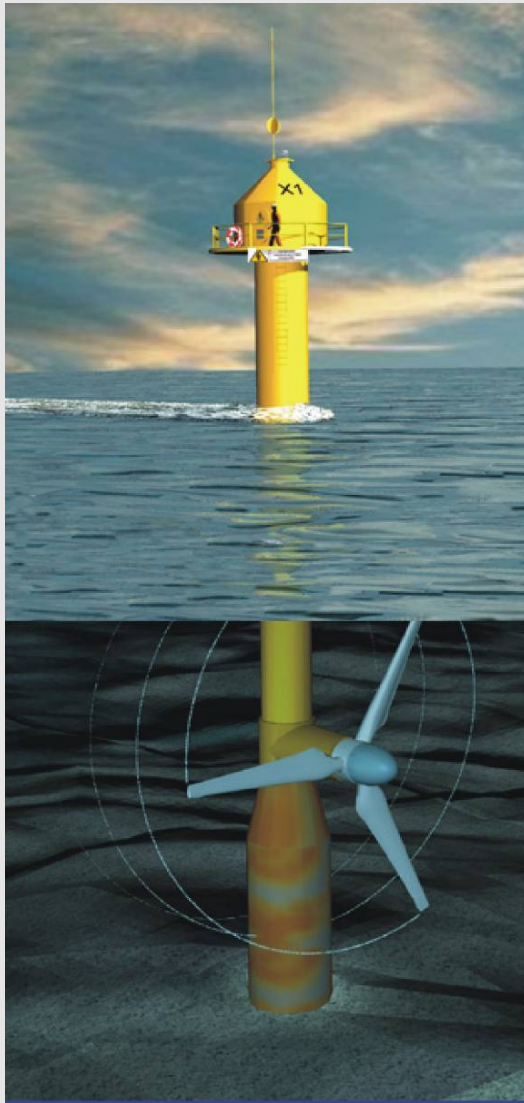
Partner: ITPower, Scottish Nuclear and NEL

Laufzeit: 1992-1994, Standort: Loch Linnhe, Scotland



- 3.5 m Rotordurchmesser
- Aufhängung an Ponton
- Leistung 15kW bei 2.25m/s

Anlagenkonzept einer Meeresströmungsturbine

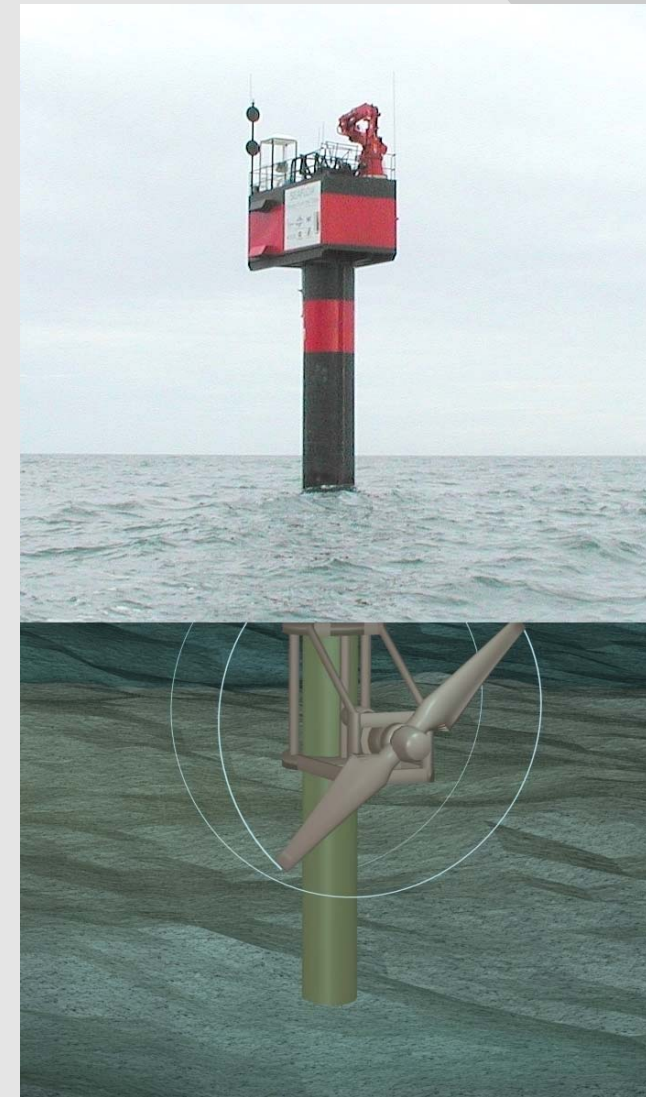


Rotordurchmesser 11 m
Nabentiefe ca. 15 m

Nennleistung 300 kW
bei 2,7 m/s

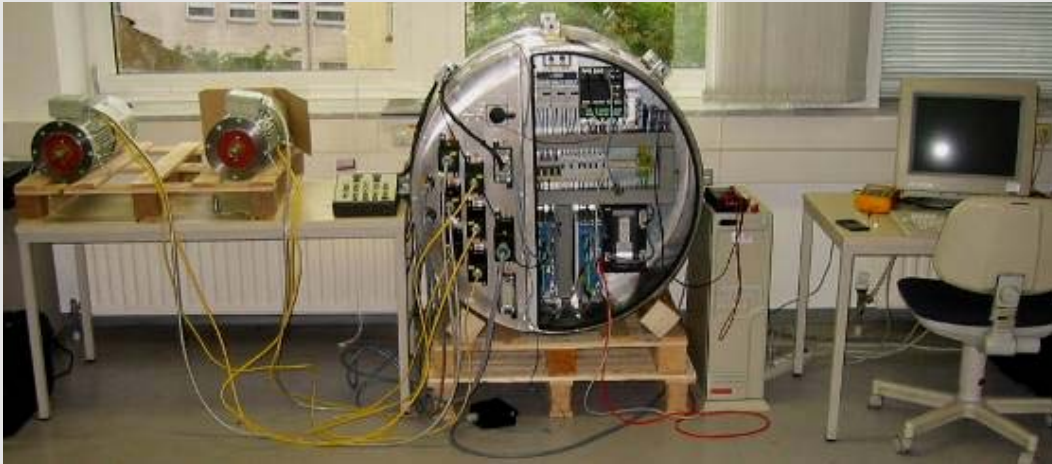
Drehzahl ca. 15 U/min

Blattverstellung
drehzahlvariabel
Rotorlift





Test des Blattverstellantriebs und Installation



Labortest und
Software-Entwicklung



Nächster Entwicklungsschritt

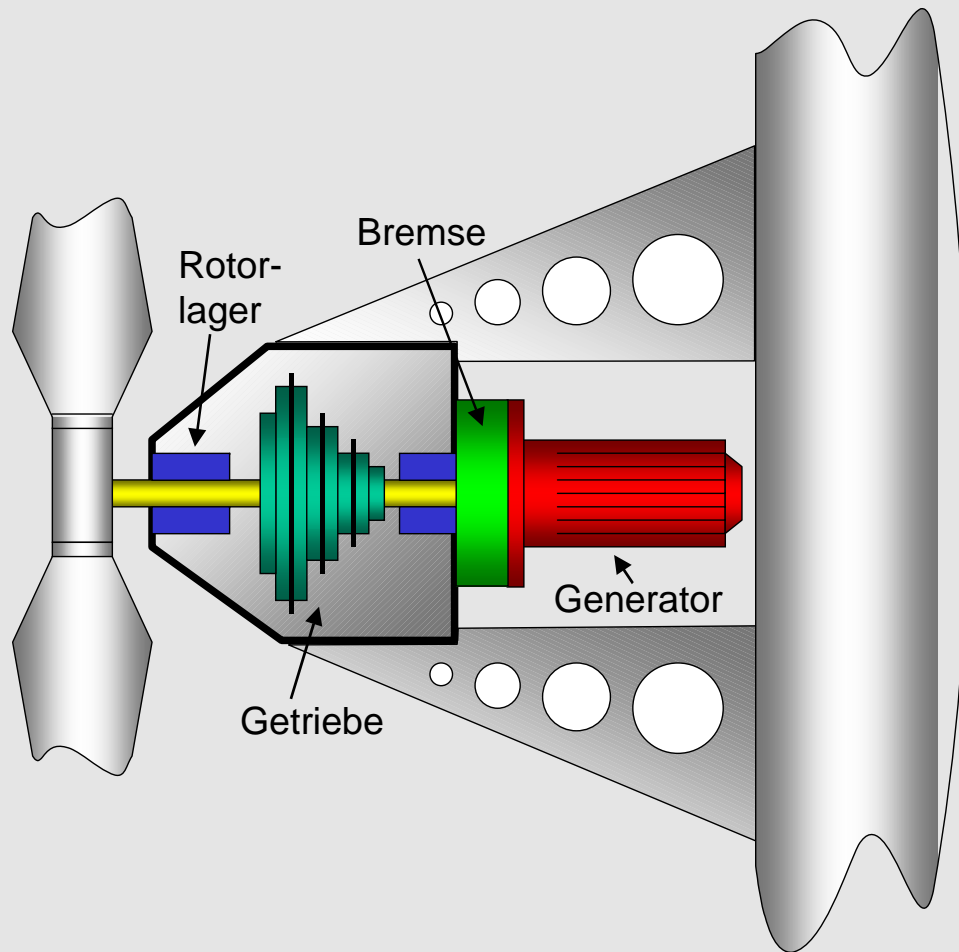
„dynamisches Pitchen“

In Entwicklung für große Windkraftanlagen

- Reduktion dynamischer Lasten
- aktive Schwingungsdämpfung

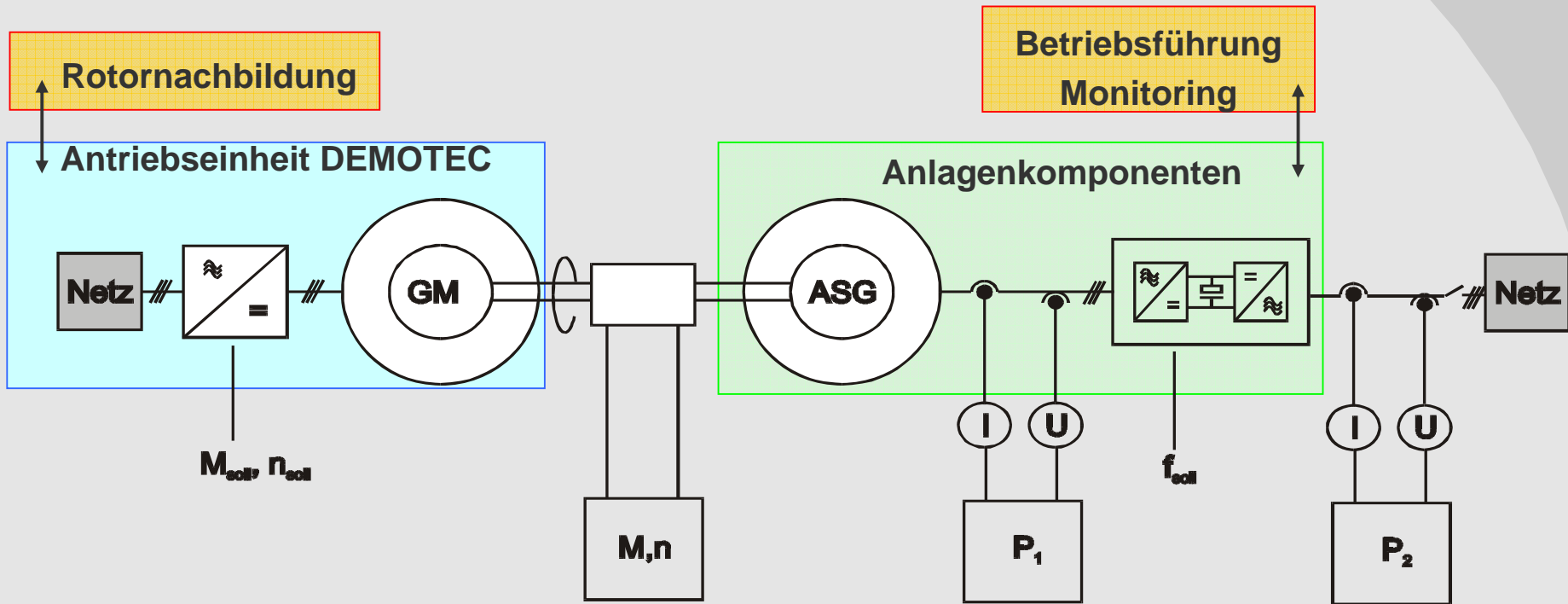
⇒ Verbesserte Regelung des Doppelrotors

Integrierter Triebstrang: 3-Stufiges Getriebe, Käfigläufer



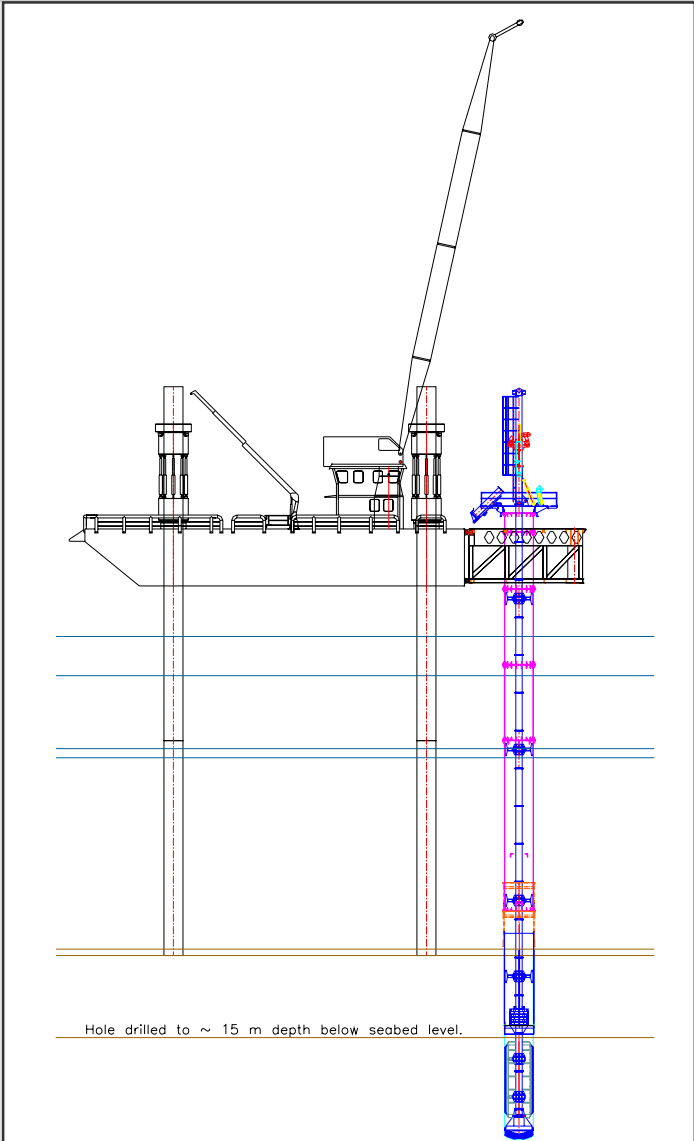


Testaufbau am ISET





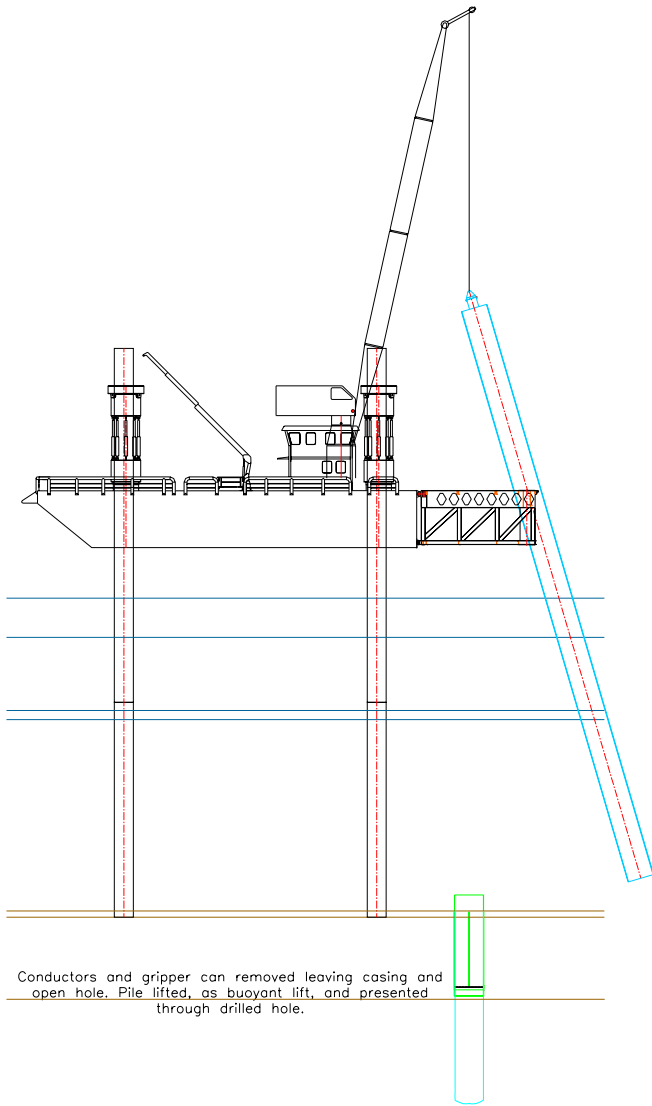
Beginn der Installation der Anlage durch SEACORE, Mai 2003



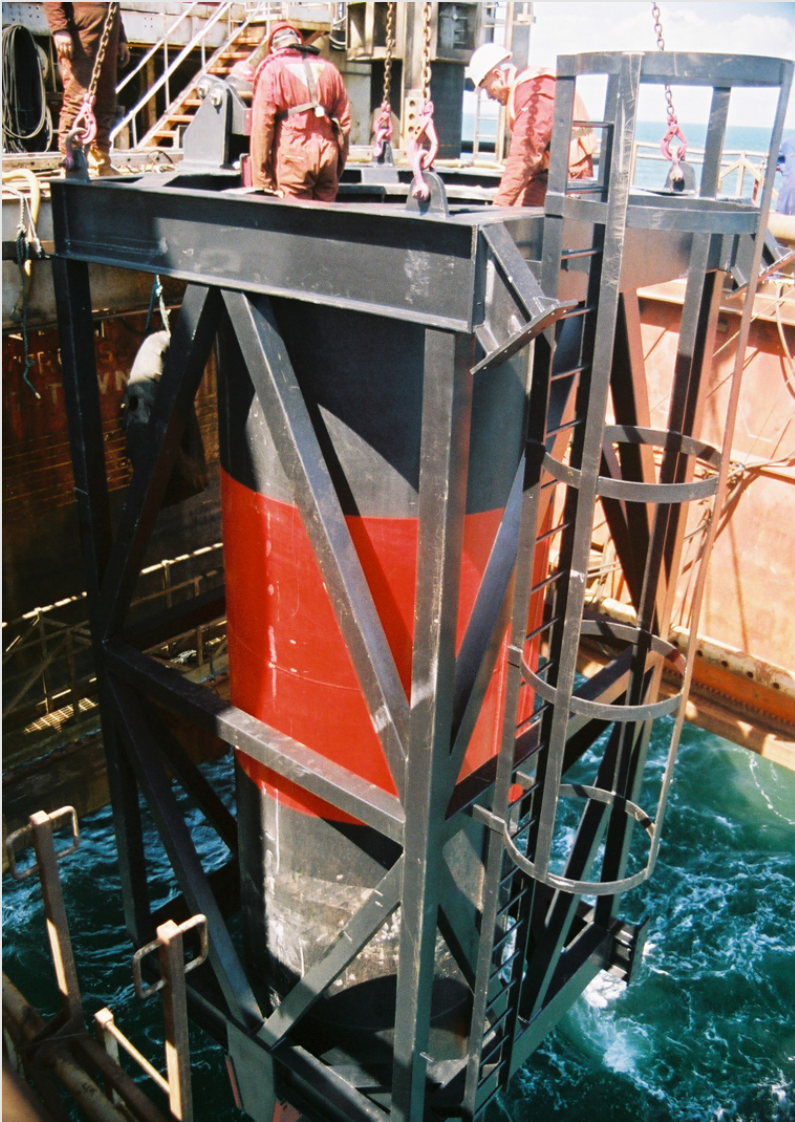
Bohrung für die Fundamentierung des Turmes



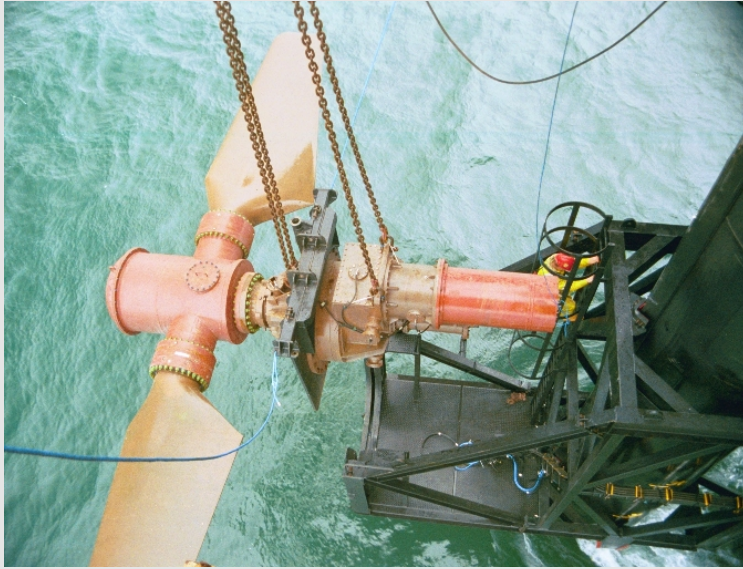
Montage des Turmes



Montage von Rotorlift und Betriebsraum



Montage des Triebstrangs



Funktionstest mit „geparkter“ Bohrplattform

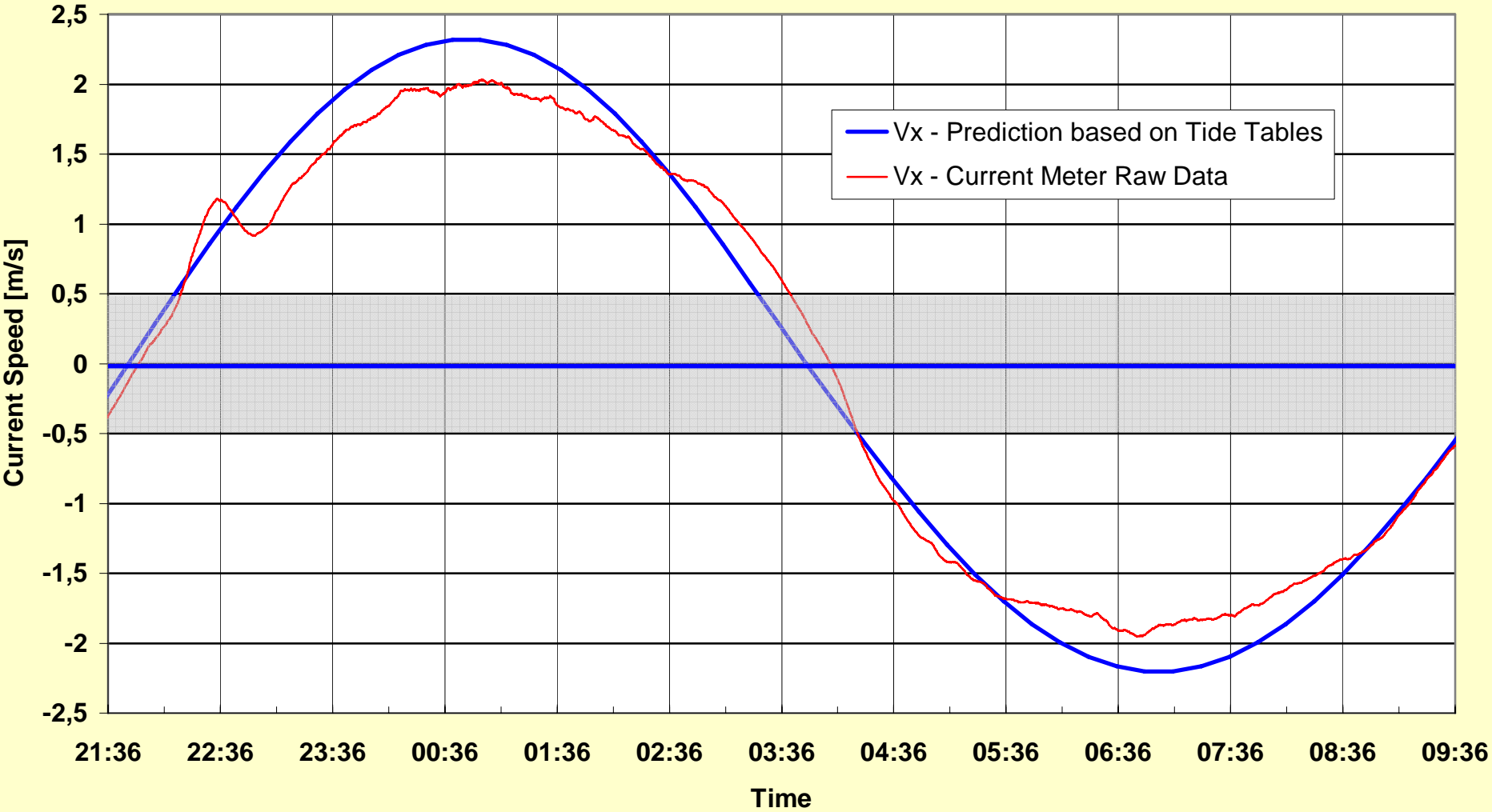
Fertigstellung und Inbetriebnahme, Juni 2003



Ansicht Richtung Süden, Lage ca. 2 km vor Foreland Point

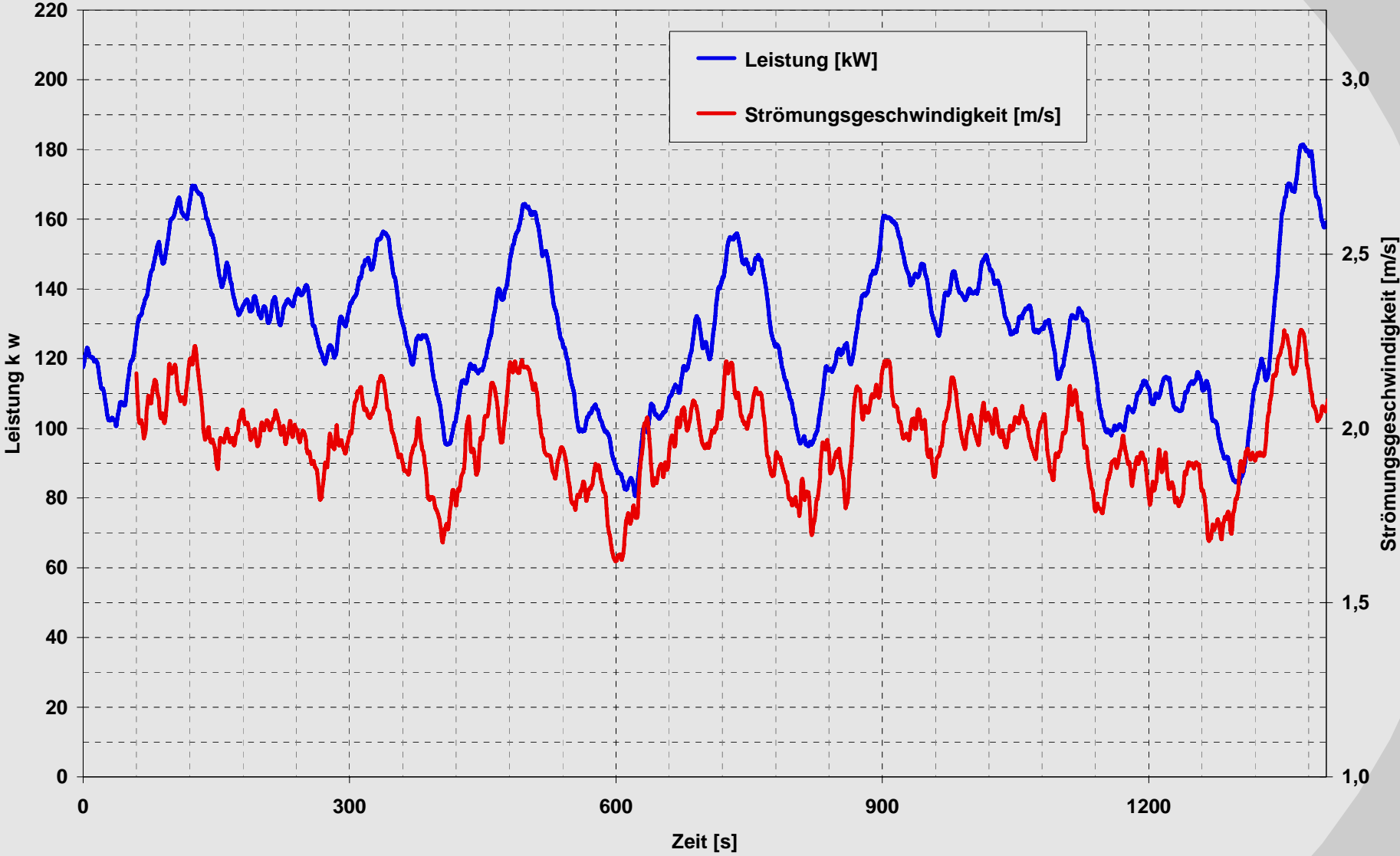


Messergebnisse aus dem Testbetrieb





Messergebnisse aus dem Testbetrieb





Nächste Generation: 1 MW Doppelrotoranlage

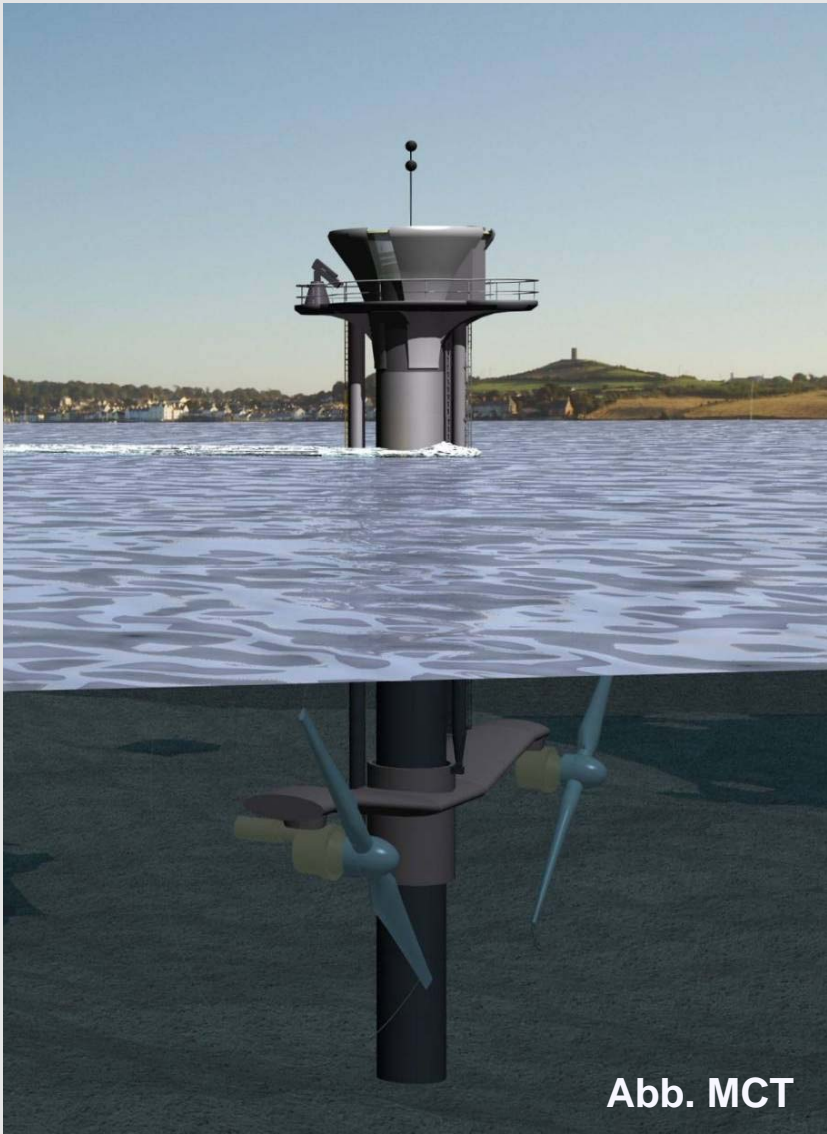


Abb. MCT

Prototyp für kommerzielle Anlagen
2 Rotoren mit je 500 kW

Netzeinspeisung ca. 3500 MWh/a
vgl. Offshore Windenergie

Erster Park mit bis zu 10 Anlagen
geplant ab 2008

Förderung durch das BMU

Photomontage am geplanten Standort
Strangford, Nordirland

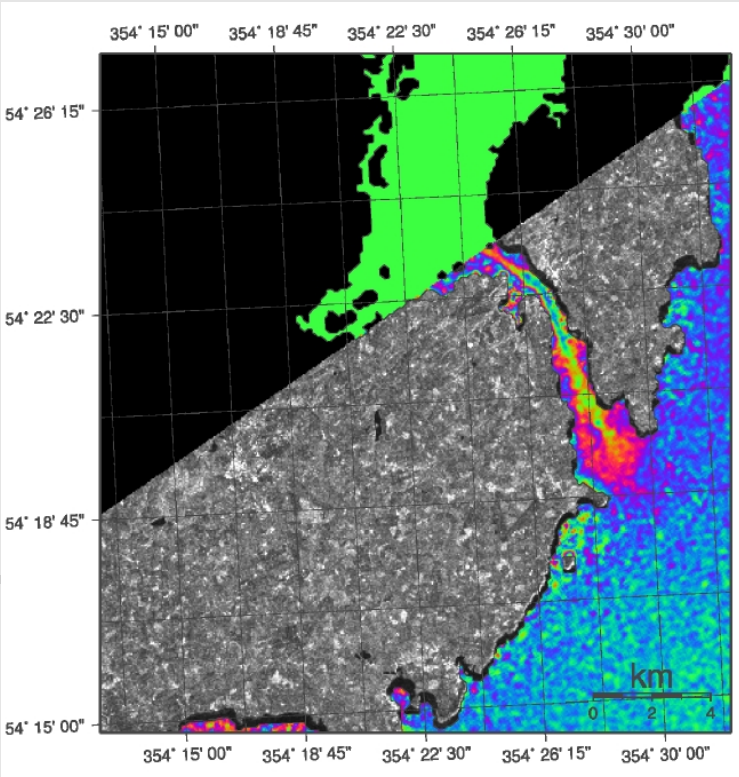


Abb.: DLR



Zukunftspläne: Kommerzialisierung durch MCT Ltd.



Route to commercial production

2002-3 Ph. 1 300kW Seaflow trial unit

2003-5 Ph. 2 1MW twin rotor prototype

2005-6 Ph. 3 commercial prototypes -
first small array

2006-7 Commercial production initiated

2007-8 installed capacity over 15 MW

2009-10 installed capacity over 100 MW

by 2012 – installed capacity over 300MW

ultimate potential -- 1000s of MW



Meeresenergiepotenziale in Deutschland



Tidenhub an der Deutschen Küste:
2,2m (Borkum) bis 3,7m (Wilhelmshaven)

Wellen

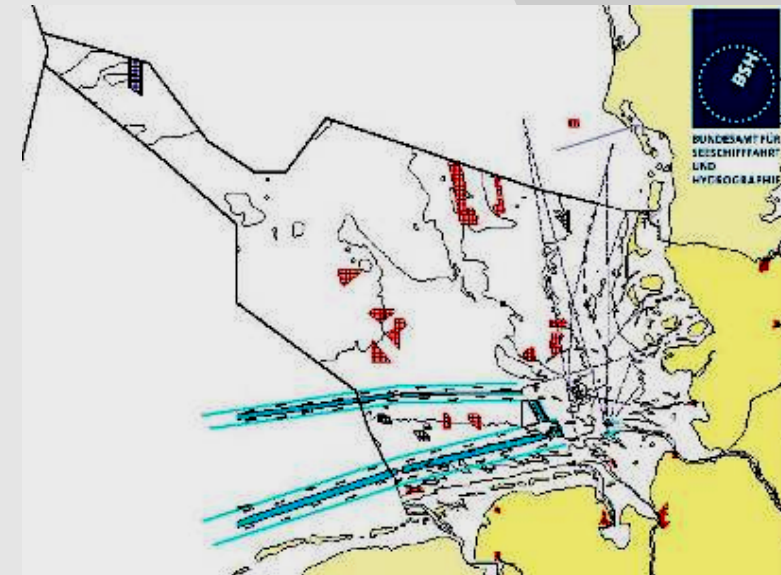
Nordsee 10-20 kW/m, Ostsee 5-10 kW/m
250 km Küstenlänge an der Nordsee
1-3,5-5 TWh

Strömungen

Fallbeispiel Sylt: 50 MW

Osmose

Mittlerer Süßwasserabfluß in die
Nordsee: 1331 m³/s
Ostsee: 117 m³/s
ergibt 13 TWh
(Rhein: 20 TWh, Oder 4,7 TWh)



zum Vergleich: Windenergie
onshore in 2005: 18500 MW

offshore wind in 2020:

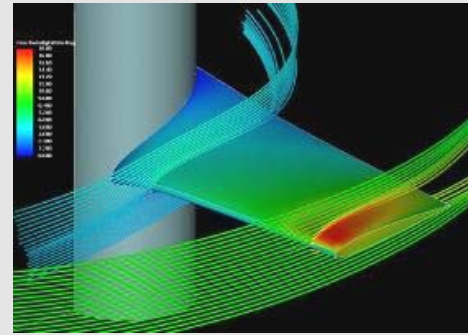
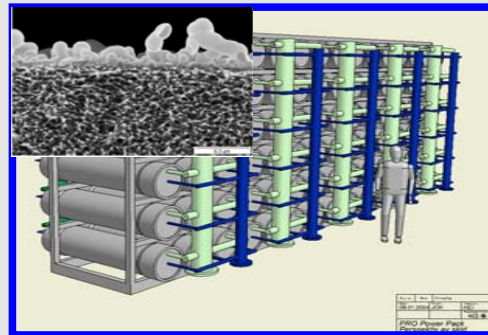
Nordsee (AWZ)	18.600 MW
Ostsee (AWZ)	1.700 MW

- Meeresenergiepotenziale bei 2% des Verbrauchs
- keine hohe Priorität für die Energiepolitik

Deutsche Mitwirkung an internationalen F&E Projekten



- 10 F&E Einrichtungen sind beteiligt an der Entwicklung von Wellen-, Strömungs- und Orosekraftwerken hauptsächlich im Rahmen von Europäischen Projekten
- ca. 20 Unternehmen sind beteiligt an der Entwicklung bzw. Herstellung von Komponenten und Systemen
- Beitritt zum IA OES der IEA wahrscheinlich



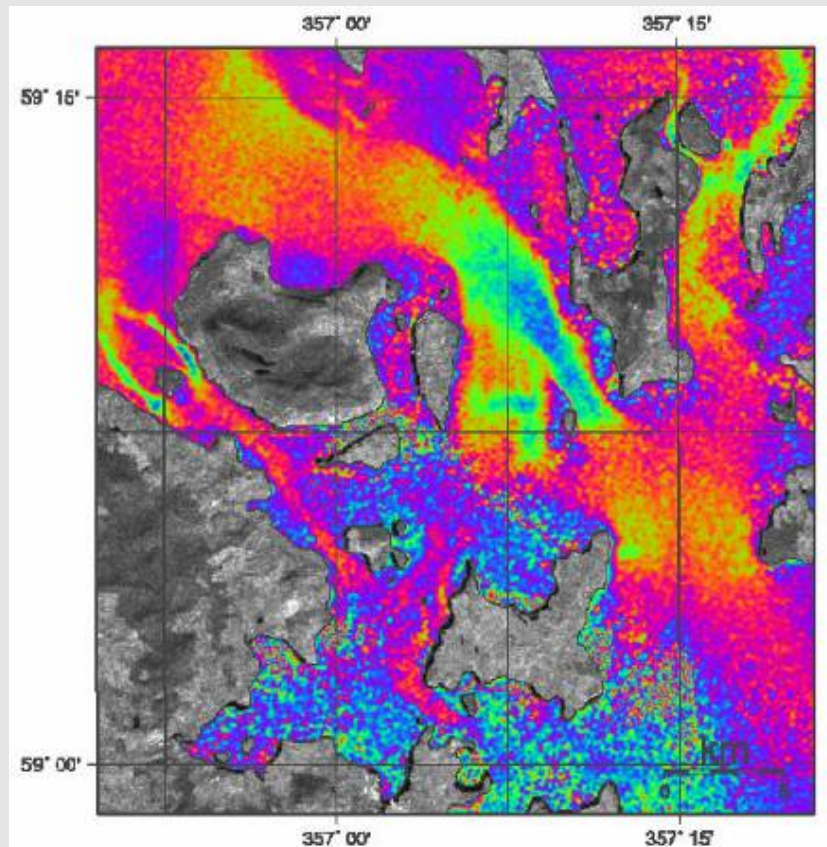
Ausblick: Ansätze für zukünftige F&E



• Netzintegration

- Leistungsprognose (Kombination Wind und Wellen)
- cluster management
- Transport Management
- Netz Management: Sicherheit, Frequenzregelung....

• Fernmessung Meeresoberfläche mittels SAR Along Track Interferometry

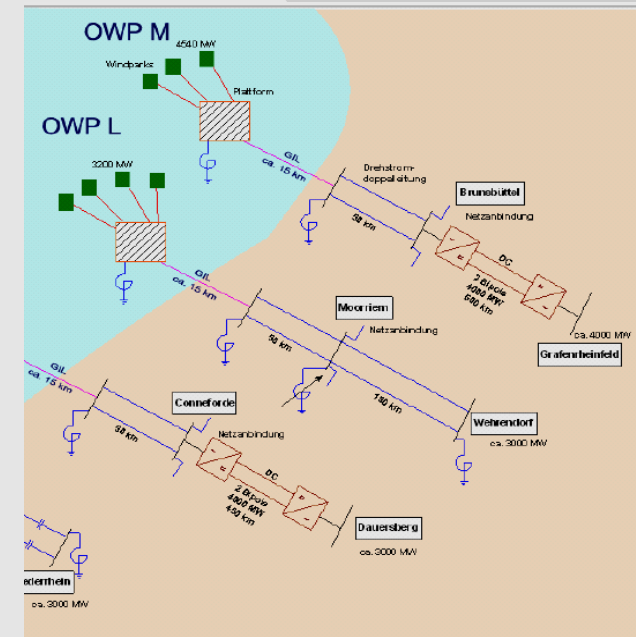


„Strömungskarten“
Errechnet mittels
InSAR „Ocean- Processor“

SRTM –data
Orkney islands
DLR, Oberpfaffenhofen

TerraSAR:
Möglichkeit der weltweiten
Messung von Oberflächenströmungen

DLR,
Oberpfaffenhofen





Veranstaltungen zum Thema Meeresenergie

1. Deutsches Meeresenergieforum, Jan 06
im Rahmen der Clean Energy Power (CEP)
International Congress Centre (ICC) Berlin,

2. Deutsches Meeresenergieforum
25. Januar 2007

24.- 25.01.07, ICC Berlin

CLEAN ENERGY POWER®

4. Innovations-Kongress und Ausstellung für
Erneuerbare Energien und
Energieeffizientes Bauen und Sanieren

4th Innovative Congress and Exhibition for
Renewable Energy and Energy Efficient
Construction and Renovation



INTERNATIONAL CONFERENCE OCEAN ENERGY

October 23rd/24th, 2006
Bremerhaven, Germany



120 Teilnehmer
aus 17 Ländern
und 3 Kontinenten



2nd International Conference Ocean Energy
- from Innovation to Industry -

Brest, France, Autumn 2008

Deadline for submission of abstracts:
February 14th 2008
Contact britta.haseneder@otti.de



Zusammenfassung



- **weltweite technische Potenziale aus Meeresenergie sind erheblich**
- **möglicher Beitrag**
 - **zum künftigen Ausbau erneuerbarer Energien**
 - **zum Klimaschutz durch Reduktion des Abbaus fossiler Ressourcen**
 - **zur nachhaltigen Energieversorgung in Europa und weltweit**
- **bisher noch keine Marktfähigkeit erreicht (Gezeitenkraftwerke?)**
- **große Kostenreduktionspotenziale bisheriger Projekte**
- **weitere technologische Entwicklung notwendig**
- **Exporttechnologie für den europäischen und weltweiten Markt**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

