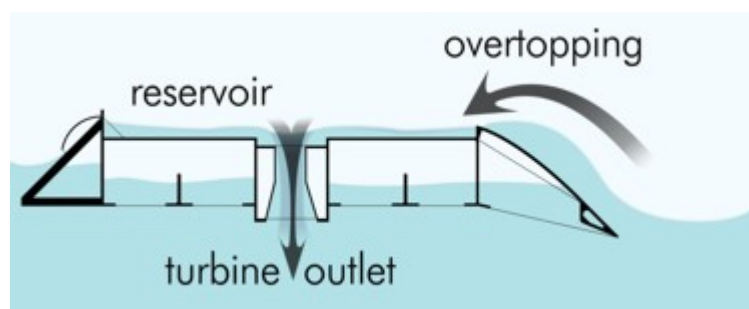


## Wave Dragon MW

Projektlaufzeit:	seit 4/2007
Projektleiter:	Dr.-Ing. W. Knapp
Projektbearbeiter:	Dipl.-Ing M. Faust, Dipl.-Ing. B. Mayr, T. Siewert, D.Dier

### Funktionsprinzip

Wave Dragon ist ein Offshore-Wellenkraftwerk. An den äußeren Enden seines Rumpfes sind zwei Wellenreflektoren befestigt, welche die ankommenden Wellen in Richtung des Rumpfes bündeln. Dort



strömen sie über eine Rampe in das über dem Meeresspiegel liegende Sammelbecken. Mittels der resultierenden Druckhöhe wird ein Satz voneinander unabhängig schaltbarer Wasserturbinen angetrieben.

### Projekthistorie

In einem ersten EU-Projekt wurden in den Jahren 1999-2002 Rumpf und Reflektorarme an einem kleinen Modell im Maßstab 1:50 entwickelt. Am FLM wurden währenddessen die Turbinen zur Energieumsetzung konzipiert, konstruiert und im Modellversuch getestet. In einem zweiten Projektabschnitt von 2002-2006 wurde ein Prototyp im Maßstab 1:4.5 gebaut. Dieser Prototyp, der seit 2003 im dänischen Fjord Nissum Bredning verankert ist, diente dem Nachweis der Seetauglichkeit und der kontinuierlichen Weiterentwicklung des Konzepts. Aufgaben des FLM waren hierbei die Fertigung der Turbinenlaufräder, Inbetriebnahme, Kalibrierung und Betrieb der Turbinen, sowie die Entwicklung von Simulationsmodellen für die Energieumsetzung.

### Aktuelle Projektphase

In einem neuen Projektabschnitt soll nun eine



Großausführung des Wave Dragon gebaut und vor der Küste von Wales verankert werden. Diese erste vor-kommerzielle Demonstratoranlage wird nach ersten Berechnungen mit 16 Kaplan-turbinen von jeweils 1.3m Laufraddurchmesser und ca. 385 kW Leistung ausgestattet werden. Die F&E-Kosten in Höhe von 2.4 Mio. € werden durch den Vertrag Nr. 019983 im 6. Rahmenprogramm der EU getragen; die Baukosten von ca. 15 Mio. € werden durch private Investoren finanziert.

**Eckdaten**

Maßstab	1:4.5	1:1
Gesamtbreite	58 m	260 m
Gewicht	237 t	22000 t
Projektierte Leistung	20 kW	7 MW

Aufgaben des FLM in diesem seit April 2006 laufenden Projekt sind

- Konzeptstudien zu Größe und Anzahl der Turbinen bei vorgegebener Leistung
- Konzeption des gesamten "Power Takeoff Systems", d.h. Turbine, evtl. Getriebe, Generator und Leistungselektronik
- Design und Konstruktion der Turbinen, Planung der Installation und Inbetriebnahme
- Entwicklung optimaler Regelungsstrategien

## Konzeption des Power Takeoff Systems

In Anbetracht des weiten Fallhöhenbereiches ist ein drehzahlvariabler Betrieb der Turbinen unerlässlich. In dem verkleinerten Prototypen im Maßstab 1:4.5 wurden kleine, direkt gekoppelte Permanentmagnet-Generatoren mit einem Frequenzumrichtersystem eingesetzt, die Übertragung an Land erfolgte über ein Mittelspannungs-Seekabel.

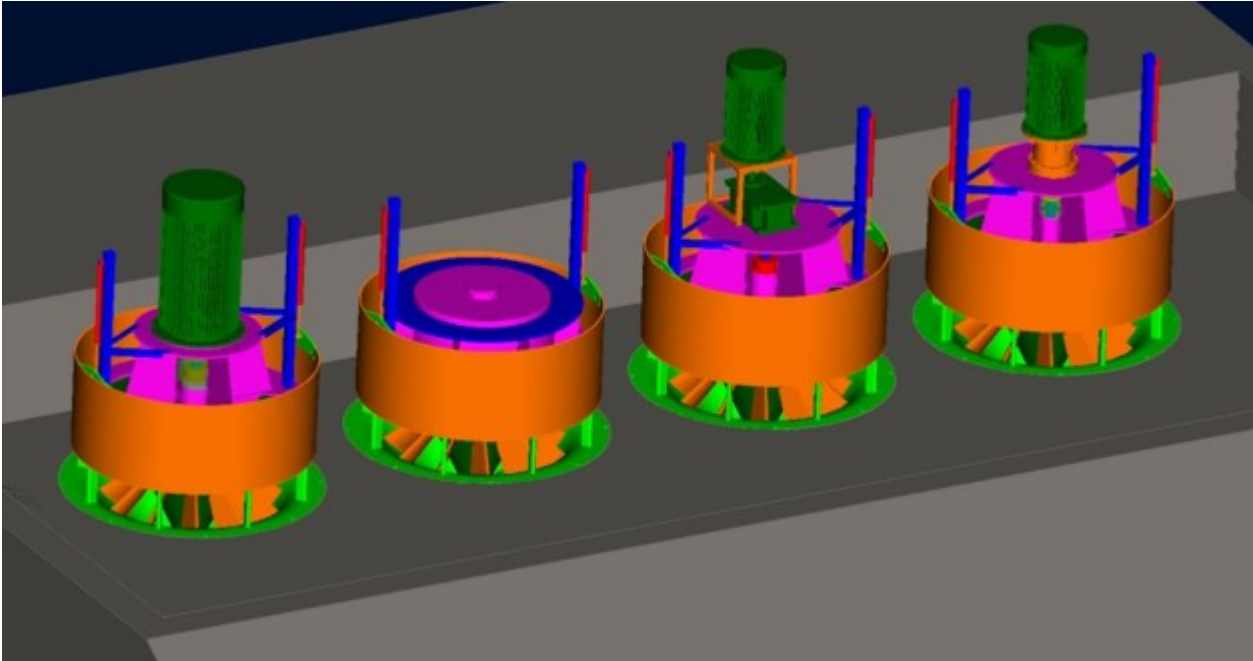
Der Übergang zum Maßstab 1:1 bedeutet für die Turbinen nicht nur eine entsprechende Vergrößerung des Laufraddurchmessers, sondern eine erhebliche Zunahme der Leistung sowie eine Verringerung der Drehzahl:

Maßstab	1:4.5	1:1
Laufraddurchmesser [m]	0.34	1.32
max. Fallhöhe $H_{\max}$ [m]	1.00	4.30
Drehzahl bei $H_{\max}$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	500	267
Leistung bei $H_{\max}$ [kW]	2.5	384

Eine maßstäbliche Vergrößerung des erprobten Aufbaus führt deshalb nicht zu sinnvollen Ergebnissen. Im Sinne einer Konzeptstudie wurden folgende Varianten sowie deren Kombinationen untersucht:

- Generator: elektrisch erregte Synchronmaschine, permanentmagnetisch erregte Synchronmaschine, läufergespeiste Asynchronmaschine, Asynchronmaschine mit Kurzschlussläufer.
- direkter Antrieb des Generators, indirekter Antrieb über Stirnrad-, Planeten- und Zahnriemengetriebe
- drehzahlvariabler Betrieb über Vollbrückenumrichter (full back-to-back) mit gemeinsamem und getrennten Gleichspannungszwischenkreisen, generatorseitige Gleichrichterbrücke mit einzelnen oder einem gemeinsamem Wechselrichter
- Seekabel mit Wechsel- oder Gleichspannung im Spannungsbereich von 16 bis 63 kV

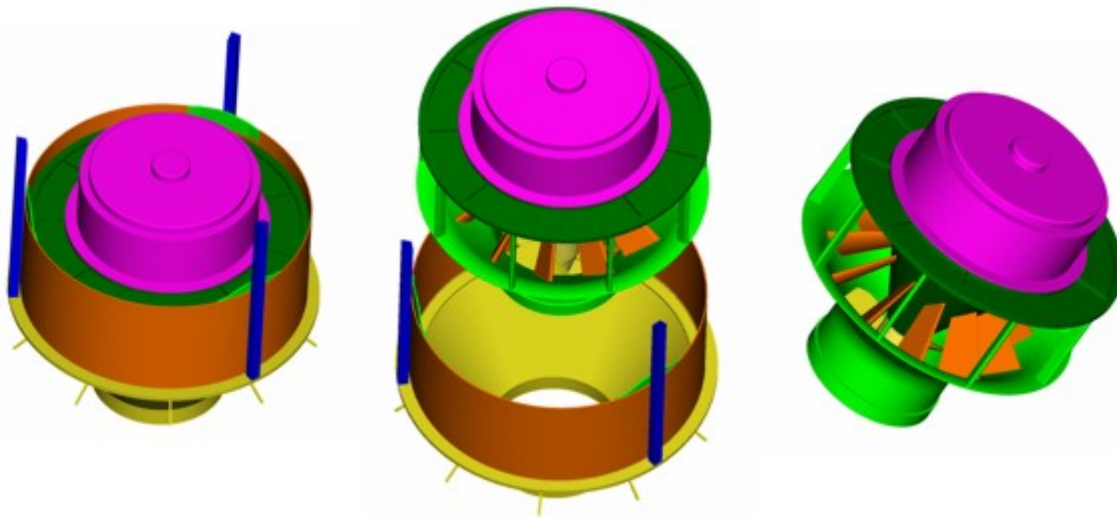
Der Einbau eines Übersetzungsgetriebes gestattet die Verwendung eines schnelllaufenden, kleinen Generators, möglicherweise sogar einer sehr kostengünstigen Standard-Asynchronmaschine. Konstruktive Detailstudien sowie eine gewichtete Bewertung aller Einzeleigenschaften zeigte jedoch, dass dieser Vorteil durch die resultierende Systemkomplexität zunichte gemacht wird. Die abgebildete Designstudie zeigt vier der untersuchten Bauformen:



- direkt gekoppelte Standard-Asynchronmaschine
- direkt gekuppelter Permanentmagnet-Generator
- Standard-Asynchronmaschine mit Stirnradgetriebe
- Standard-Asynchronmaschine mit Planetengetriebe

Die derzeit favorisierte Lösung sieht ein voll integriertes Design von Turbine und Generator vor: Generatorläufer und Turbinenlaufrad sind auf einer gemeinsamen Welle montiert, die nur von zwei Lagern im Generatorgehäuse geführt wird. Der Generator ist voll überflutbar ausgeführt und wird vom umgebenden Wasser gekühlt.

Da Wartungsarbeiten auf einer offshore-Plattform wetterbedingt nur sehr bedingt planbar sind, soll die Generator/Turbinen-Einheit im Bedarfsfall so leicht wie möglich auszubauen sein, so dass sie an Land transportiert und dort gewartet werden kann. Es ist vorgesehen, dass die gesamte Einheit nach Lösen weniger Befestigungselemente aus einem entsprechenden Fundamentring ausgehoben werden kann, so dass ein Austausch vor Ort sehr schnell bewerkstelligt werden kann.



Ausbau einer Turbinen-Generator-Einheit

## Hydraulisches Design der Turbinen

Das erprobte hydraulische Design der Turbine soll so weit wie möglich beibehalten werden. Es wurden jedoch die folgenden Anpassungen vorgenommen:

- Das Profil der Laufschaufeln wurde so weit aufgedickt, dass sich eine im Genauß abgießbare Geometrie ergab
- Es wurde ein kürzeres Saugrohr entworfen, das vollständig innerhalb des Rumpfes untergebracht werden kann.

Die Auswirkungen beider Modifikationen wurden in entsprechenden Modellversuchen untersucht. Die Aufdickung der Laufschaufeln führte erwartungsgemäß zu einer minimalen Verringerung des Turbinenwirkungsgrades, das verkürzte Saugrohr blieb ohne merklichen Einfluss auf das Betriebsverhalten.



Fertigung und Einbau der Laufradschaufeln mit modifiziertem Profil



Komponenten der Modellturbine vor der Montage



**originales und verkürztes Saugrohr**

Mehr Informationen zum aktuellen Stand des Projekts finden sich auf der offiziellen Projekthomepage [www.wavedragon.net](http://www.wavedragon.net).