



Seaflow – Strom aus Meeresströmungen

Abb 1



- ▶ Energieertrag aus Meeresströmungen ist zuverlässig planbar
- ▶ In Europa bereits rund 100 geeignete Standorte identifiziert
- ▶ Auswirkungen auf die Umwelt vergleichsweise gering
- ▶ Stromgestehungskosten zwischen 5 und 10 Cent je kWh möglich

Meeresströmungs-Kraftwerk vor der Küste Englands. Zur Wartung wird der Rotor aus dem Wasser gehoben.

Die Gezeitenströmung des Meeres ist eine unerschöpfliche Energiequelle, die bisher noch kaum genutzt wird. Dabei hat sie im Vergleich zu Sonnen- und Windenergie einen unschätzbaren Vorteil: Sie ist ein verlässlicher Energielieferant. Ebbe und Flut wechseln kontinuierlich und berechenbar.

Bislang wurden vereinzelt Kraftwerke gebaut, die den Tidenhub mit einer Staumauer und konventionellen Turbinen zur Stromerzeugung nutzen. Es finden sich jedoch weltweit nur wenige Meeresbuchten und Flussmündungen, an denen man einen ausreichenden Tidenhub vorfindet. Zudem sind mit dem Stauwerk meist gravierende Eingriffe in die Umwelt verbunden.

Seit Sommer 2003 trotz ein neuartiges Kraftwerk den rauen Bedingungen der Nordsee. Die Pilotanlage vor der Küste Nord Devons ähnelt einer Windenergieanlage – doch der Rotor dreht unter Wasser, angetrieben von dem ständigen Wechsel der Gezeiten. Die neuartige Turbine überstand den Winter sowie einige Stürme unbeschadet. Als

Pilotanlage liefert sie wertvolle Daten für die Entwicklung künftiger Meeresströmungs-Kraftwerke.

Frei umströmte Turbinen, die die Bewegungsenergie von Meeresströmungen nutzen, können an zahlreichen Standorten eingesetzt werden. Sie beeinflussen die Umwelt nur in geringem Maße.

Die Technologie wurde von einem internationalen Konsortium unter Leitung des britischen Ingenieurbüros IT Power in dem Projekt „Seaflow“ entwickelt. Bei der Konstruktion zentraler Bauteile stand das Know-how deutscher Windenergieanlagen-Experten Pate. Rotor, elektrisches System, Steuerung und Regelung der Anlage wurden am Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) in Kassel in Zusammenarbeit mit Komponentenherstellern entwickelt und optimiert. Das britisch-deutsche Projekt wird von der Europäischen Kommission, vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und vom Britischen Department for Trade and Industry gefördert.

► Energie aus Meeresströmungen

Meeresströmungen haben mannigfaltige Ursachen. So treiben z.B. Temperaturdifferenzen den Golfstrom an und Verdunstungsverluste im Mittelmeer verursachen die starke Strömung in der Meerenge von Gibraltar. Auch unterschiedliche Salzkonzentrationen können zu Ausgleichsströmungen führen. Die für eine zukünftige Energiegewinnung wohl wichtigste Meeresströmung ist der Gezeitenwechsel. Nach dem gleichen Prinzip wie bei Windenergieanlagen können frei umströmte Tur-

binen ausreichend starke Wasserströmungen zur Stromerzeugung nutzen. Aufgrund der höheren Dichte von Wasser ist bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit die Leistung einer Wasserströmung rund 1.000-fach höher als die einer Luftströmung. Daher reichen die eher gemächlichen Gezeitenströmungen zur Stromerzeugung (Abb 2, Abb 3) und die Anlage ist dennoch vergleichsweise kompakt. Bei der Übertragung von Erfahrungen aus der Windtechnologie sind allerdings die Kraft- und Dichteverhältnisse

im Wasser zu beachten. Die Rotoren müssen enorme Biegemomente aufnehmen, zudem muss Kavitation durch die Auslegung der Rotorprofile vermieden werden. Andererseits hat das Gewicht der Komponenten unter Wasser eine geringere Bedeutung. Etlliche Konstruktionsmerkmale sind daher eher der Schiffsbauweise als dem Flugzeugbau entlehnt. Der theoretisch maximale Wirkungsgrad liegt wie bei Windenergieanlagen bei knapp 60%: Reale Anlagen dürften Wirkungsgrade über 40% erreichen.

Abb 2: Gezeitenströmung an unterschiedlichen Standorten

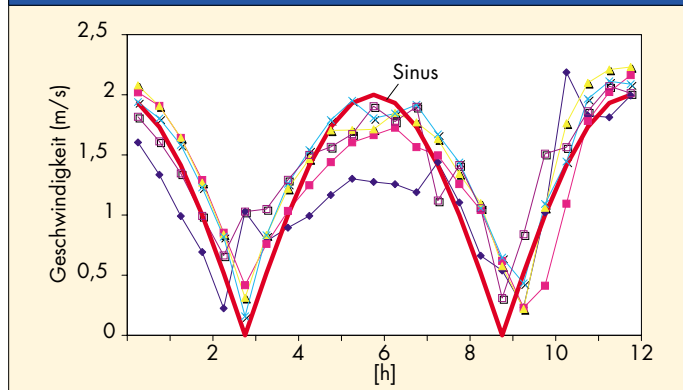
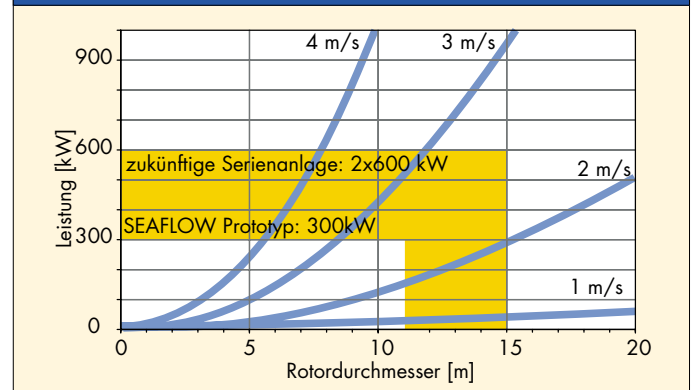


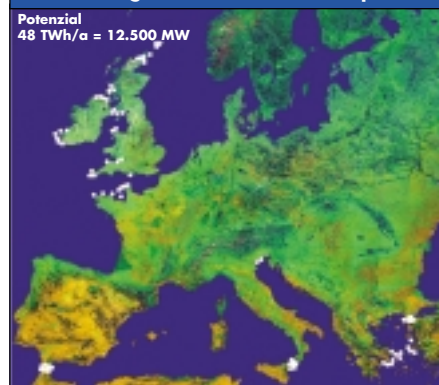
Abb 3: Erzielbare Leistung aus Wasserströmungen



► Potenziale

Verfügbare Quellen wie z. B. meeresbiologische Untersuchungen wurden in verschiedenen Studien ausgewertet, um geeignete Standorte zu ermitteln (Abb 4). Allein an den britischen Küstengewässern wird das realisierbare Potenzial auf 31-58 TWh/a geschätzt. Weitere europäische Standorte mit einem Potenzial von rund 17 TWh/a wurden identifiziert. Da für Europa kein flächendeckendes Datenmaterial existiert, ist mit einem weit größeren technischen Potenzial zu rechnen. Auch im asiatischen Raum konnten Potenziale von mehr als 100 TWh/a ermittelt werden.

Abb 4: Mögliche Standorte in Europa



Weitere Energiequellen der Meere

Nicht nur Meeresströmungen, auch andere Energiereservoirs der Meere können in Zukunft genutzt werden. Ein großes Potenzial wird der Wellenkraft beigemessen. Bis zu 30% des Strombedarfes in Irland und Großbritannien könnten küstennahe Wellenkraftwerke decken, besagt eine Studie. Verschiedene Prototypen, sowohl auf See als auch an der Küste, wurden bereits mit Mitteln der Europäischen Union gebaut. Nachteil dieser Anlagen ist, dass die Stromerzeugung witterungsabhängig und damit weniger planbar ist als bei Strömungskraftwerken. Zudem müssen sie der rauen See standhalten.

Auch die Temperaturunterschiede zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser – sie können 25 Kelvin betragen – können zur Energieerzeugung mit sogenannten OTEC-Kraftwerken (Ocean Thermal Energy Conversion) genutzt werden. Kleinere Prototypen wurden bereits entwickelt.

► Standortwahl

Wichtigstes Kriterium für die Eignung des Standortes war die Strömungsgeschwindigkeit. Sie sollte mindestens 2-3 m/s im Strömungsmaximum betragen und möglichst gleichmäßig verlaufen. Solche Bedingungen finden sich bevorzugt an Landspitzen und Meeresbuchten, zwischen Inseln und in Meerengen. Oft liegen geeignete und ungeeignete Standorte dicht beieinander. Verworfen wurden Standorte mit sensibler Um-

welt und auch mögliche Konflikte mit anderen See-Nutzern (z. B. Fischerei und Seefahrt) mussten berücksichtigt werden.

Die maximale Meerestiefe bei Flut war auf 25 m begrenzt, damit die Anlage noch mit angemessenem Aufwand im Meeresboden verankert werden kann. Damit der Rotor immer getaucht bleibt, sollte die minimale Tiefe bei Ebbe rund 15 m betragen. Aus Kostengründen werden küstennahe Stand-

orte bevorzugt, insbesondere wenn die Anbindung an ein ausreichend starkes Netz ortsnah möglich ist.

Für die Pilotanlage konnte ein geeigneter Standort 2 Kilometer vor der britischen Küste in einer Meerenge südlich von Wales und 100 Kilometer westlich von Bristol gefunden werden.

► Umweltaspekte

Das Genehmigungsverfahren für die Installation der Anlage vor der englischen Küste umfasste weitgehende Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit. Bewertet wurden die Auswirkungen auf Wellen, Seeboden, Sedimente, Wasserqualität, Meereslebewe-

sen, Vögel, Fischerei, Schifffahrt und die Lärmemission. In allen Punkten wurden die Beeinträchtigungen als gering oder unbedeutend eingeschätzt.

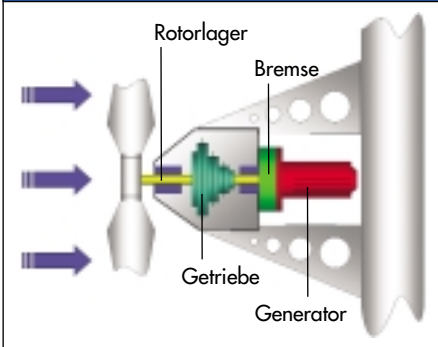
Die Anlage ist auch aus 4 km Entfernung noch sichtbar. Die Störung des Landschafts-

bildes ist aber gering, da sich die Plattform je nach Tidenstand nur 12-20 m über den Wasserspiegel erhebt. Zukünftige Serienmaschinen werden eine deutlich kleinere Plattform benötigen als der Prototyp mit umfangreicher experimenteller Ausstattung.

► Anlagenkonzept

Die wesentlichen Komponenten Rotor, Nabe, Getriebe, Generator und Turm entsprechen denen einer Windenergieanlage (Abb 5).

Abb 5: Triebstrangkonzzept der Seafloor-Anlage



Gründungsbauwerk

Das Gründungsbauwerk muss enormen dynamischen Lasten beim Betrieb der Anlage standhalten, die Last aller Komponenten tragen und darf nicht von der Strömung unterspült werden. Zudem soll es schnell und kostengünstig von einer Bohrplattform aus zu installieren sein - Anforderungen, die von einem sogenannten Monopile erfüllt werden (Abb 6). Der Stahlurm mit einem Durchmesser von 2,1 m, einer Länge von 42,5 m und einem Gewicht von 80 Tonnen wurde in ein Bohrloch im Meeresgrund eingelassen und mit Beton vergossen. An der

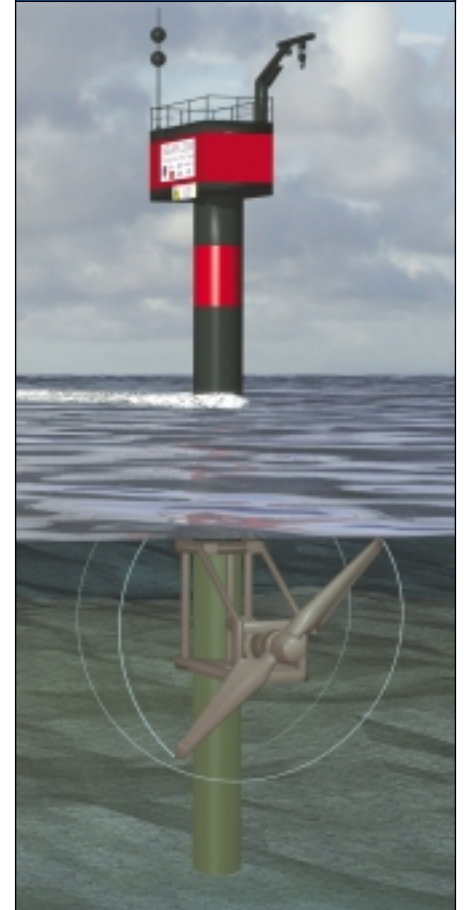
Turmspitze befindet sich eine Plattform. Dort sind alle Kontrolleinrichtungen und elektronischen Komponenten untergebracht. Zusätzlich wurde ein Kran auf der Plattform installiert. Dieser erwies sich als wertvoll bei der Wartung des Getriebes und anderer Komponenten des Antriebsstranges.

Triebstrang

Für den Triebstrang wurden in dem Pilotprojekt ausschließlich wasserdichte Komponenten verwendet.

Der 2-Blatt-Rotor ist zusammen mit dem Getriebe und dem Generator in einem Rahmen befestigt, der zur Inspektion und Wartung des Triebstranges über eine Liftvorrichtung über die Wasseroberfläche gehoben werden kann. Der Rotordurchmesser von 11 m ergab sich als Kompromiss zwischen möglichst großer Leistung und der größten Tiefe, in der der Monopile eingebracht werden konnte. Der Rotor hat eine feste Orientierung entsprechend der Strömungsrichtung, jedoch erlaubt die Pitchregelung eine Blattverstellung um 180°, so dass die Anlage sowohl bei Ebbe als auch bei Flut arbeitet und der Blattwinkel auf die Strömungsverhältnisse optimiert werden kann. Die Blattverstellung wird auch zur Leistungsbegrenzung und zur Abbremsung der Anlage genutzt.

Abb 6: Monopile mit Plattform und Triebstrang-Gondel



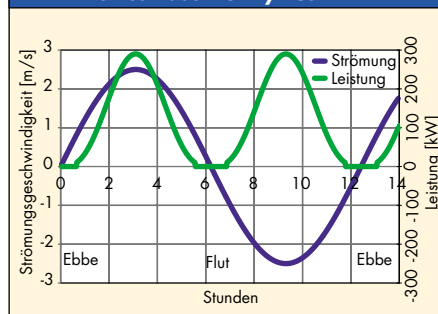
► Betriebserfahrungen

Wie bei den meisten Prototypen mussten zahlreiche kleinere Probleme gelöst werden, bis die Anlage in Betrieb gehen konnte. Der Probetrieb verlief dann aber weitgehend problemfrei. Lediglich eine Getrieberevision führte zu einer längeren Betriebsunterbrechung. Teile des Getriebes wurden ausgetauscht. Bei den Wartungsarbeiten zeigten sich die Vorteile der Hebeeinrichtung sowie des bordeigenen Krans.

Stromerzeugung

Der Rotor erzeugte durch Randeffekte im Strömungsfeld im Mittel rund 25% mehr Energie, als in Computermodellen ohne Be-

Abb 7: Typische Leistungsabgabe während eines Ebbe-Flut-Zyklus



rücksichtigung dieser Effekte vorhergesagt. Die Tidenströmung war hingegen etwas ge-

ringer als erwartet, so dass die Spitzenleistung mit 290 kW knapp unter der geplanten Leistung von 300 kW lag (Abb 7).

Bewuchs und Korrosion

Die Rotorblätter und die Nabe weisen bisher keinerlei Bewuchs auf. Sie sind durch spezielle Anstriche geschützt. Auf dem unbehandelten Heberahmen haben sich kleine Muscheln angesiedelt und der Stahlurm ist unterhalb der niedrigsten Wasserlinie mit Algen bedeckt. Insgesamt ist die Anlage jedoch überraschend gering bewachsen. Die Struktur wird durch Opferanoden wirkungsvoll vor Korrosion geschützt.

► Entwicklungsziele

In der nächsten Projektphase (SeaGen) soll bis 2006 der Prototyp einer kommerziellen Doppelrotoranlage mit 1,2 MW Nennleistung entwickelt werden. Hierfür wurden bereits 3 Mio. Pfund private Mittel eingeworben und es gibt eine offizielle Förderzusage der Britischen Regierung (DTI). Der wahrscheinlichste Standort ist in Nordirland.

Mit der Fortentwicklung der Anlagentechnik und der Serienfertigung dürften die Stromgestehungskosten deutlich sinken (Abb 8). Demzufolge würden für einen ersten Seaflo-Park mit 20 Anlagen zu je etwa 1 MW werden Investitionskosten von etwa 1.750 €/kW erwartet. Die Projektpartner gehen bei ihrer Kalkulation von rund 3.500 Volllaststunden im Jahr aus. Die Kosten sind damit vergleichbar mit denen des ersten großen Offshore-Windparks Hornsrev von knapp 1.700 €/kW bei geschätzten Voll-

laststunden von 3.750 h. Die Stromgestehungskosten des Windparks sollen bei 6 Cent/kWh liegen. Auch der Aufwand für Wartung dürfte vergleichbar sein. Die Lebensdauer der ersten Anlagen wird aber vermutlich nicht ganz die von Windkraftanlagen erreichen, da dort schon mehr Langzeiterfahrungen vorliegen.

Abb 8: Entwicklungsziele und erwartete Stromgestehungskosten

| Jahr | Stromgestehungskosten in Cent/kWh |
|------|---|
| 2004 | 33 Seaflo (300 kW) |
| 2006 | 21 SeaGen (2*600 kW) |
| 2007 | 12 SeaGen Array (3-5 MW Anlagenpark) |
| 2009 | 9 1. Kommerzieller Anlagen-Park (ca. 20 MW) |
| 2011 | 8 2. Kommerzieller Anlagen-Park |
| 2013 | 6 Insgesamt 100 MW installierte Leistung |
| 2017 | 4 Insgesamt 1.000 MW installierte Leistung |

► Fazit

Die Weltmeere bieten mit ihren Strömungen, Wellen und Temperaturunterschieden ein gewaltiges Energiepotenzial. In zahlreichen Ländern könnte Meeresenergie eine wichtige Säule der Energieversorgung werden. Wie das Seaflo-Projekt zeigt, haben Meeresströmungs-Kraftwerke besonderen Charme. Die Unterwasseranlagen verursachen nur geringe Konflikte bei der Standortwahl. Die Turbinen arbeiten lautlos und stören das Landschaftsbild kaum. Zudem sind sie zuverlässige Energielieferanten. Anders als bei Wind- oder Wellenkraftwerken wird der Ertrag nur unwesentlich von der Wetterlage beeinflusst. Bewährt hat sich auch die Gründung auf einem Monopile und der Hebemechanismus, der eine Wartung oberhalb der Wasseroberfläche erlaubt.

Ideale Wassertiefen liegen bei 15 bis 20 Metern mit Fließgeschwindigkeiten von 2 bis 3 Metern pro Sekunde – Bedingungen, die an deutschen Küsten kaum zu finden sind. Großbritannien könnte aber 10 bis 20 Prozent seines Strombedarfs mit der Energie von Meeresströmungen decken. Obwohl bisher noch keine systematische Standortuntersuchung vorliegt, sind in Europa über 100 geeignete Standorte mit einem Potenzial von 12 Gigawatt bekannt.

Bis zur kommerziellen Stromerzeugung mit Meeresströmungsturbinen ist jedoch noch ein weiter Weg. Zahlreiche Detaillösungen des Triebstranges, der Netzanbindung und der Gründung müssen noch optimiert werden. Während die Pilotanlage für eine Nennleistung von 300 kW ausgelegt wurde, sollen künftige Anlagen mit zwei Rotoren eine Gesamtleistung von 1,2 Megawatt erreichen. Ein Prototyp soll bis Ende 2006 in Betrieb gehen (SeaGen Projekt). Nach weiteren Zwischenschritten erhoffen sich die Projektpartner eine installierte Leistung von 100 MW bis zum Jahr 2013. Bei einer Serienfertigung werden Stromgestehungskosten zwischen 5 und 10 Cent je kWh erwartet. Durch die Kombination von Meeresenergieanlagen mit Offshore-Windparks könnten erhebliche Synergiepotenziale beispielsweise durch eine gemeinsame Netzanbindung ausgeschöpft werden.

► PROJEKTADRESSEN

- Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET)
Verein an der Universität Kassel e.V.
Jochen Bard
Königstor 59, 34119 Kassel
- Jahnel-Kestermann
GmbH und Co. KG
Hunscheidstr. 116, 44789 Bochum
- Lust DriveTronics GmbH
Hansastraße 120, 59425 Unna

► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

- www.marineturbines.com
- **Literatur**
Thake, J.R.: Seaflo. World's first pilot project for the Exploitation of Marine Currents at a Commercial Scale.
IT Power Ltd., Cineham (United Kingdom) (Hrsg.). June 2004. Contract No. JOR3-CT98-0202.
- **Service**
Ergänzende Informationen wie Literatur, Adressen und Internet-Links sind bei BINE erhältlich oder im Internet unter www.bine.info „Service/Infoplus“ abrufbar.

PROJEKTORGANISATION

■ Förderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
Postfach 12 06 29
53048 Bonn

Projektträger Jülich (PTJ) des BMWA und BMU
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Hermann Bastek
52425 Jülich

■ Förderkennzeichen

0329898

IMPRESSUM

■ ISSN

0937 – 8367

■ Herausgeber

Fachinformationszentrum Karlsruhe,
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische
Information mbH
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

■ Nachdruck

Nachdruck des Textes nur zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares; Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.

■ Autor

Dr. Franz Meyer

BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienztechnologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter www.bine.info und per Newsletter zeigt BINE, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit geförderter Informationsdienst.

Kontakt:

Fragen zu diesem **projektinfo**?
Wir helfen Ihnen weiter – wählen Sie die BINE Experten-Hotline:

Tel. 0228 / 9 23 79-44

Allgemeine Fragen?

Wünschen Sie allgemeine Informationen zum energie- und umweltgerechten Planen und Bauen? Dann wenden Sie sich bitte an die unten stehende Adresse.



BINE

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe
Büro Bonn
Mechenstraße 57, 53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0

Fax: 0228 / 9 23 79-29

E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de

Internet: www.bine.info