

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses

Band: 88 (1997)

Heft: 2

Artikel: Ebbe bei Meereskraftwerken? : Bisher nur wenig Strom aus Ebbe und Flut : kein Durchbruch bei Wellenkraftwerken

Autor: Müller, Ulrich

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-902172>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.10.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Auf den Meeren gibt es zweimal täglich Ebbe und Flut. Dieser Effekt ist auf die Anziehungskraft zwischen Erde und Mond sowie auf die Rotation der Erde zurückzuführen. Die Höhendifferenz zwischen Ebbe und Flut wird als Tidenhub bezeichnet. Dabei spielt die Form der Küstenlinie eine wesentliche Rolle. Ist der Tidenhub genügend gross, so lässt sich in einer mit einem Damm absperrbaren Bucht Wasserkraft gewinnen. Nur wenige Küstengebiete weltweit eignen sich jedoch für diese Form von erneuerbarer Energie. Positive Beispiele sind die bestehenden Anlagen an der Rance und in der Bay of Fundy.

Ebbe bei Meereskraftwerken?

**Bisher nur wenig Strom aus Ebbe und Flut
Kein Durchbruch bei Wellenkraftwerken**

■ Ulrich Müller

Gezeitenenergie ist schwer zu ernten

Die Hauptursache für Ebbe und Flut ist die Anziehungskraft zwischen Erde und Mond. Es gibt jedoch noch eine weitere physikalische Konstante. Eine riesige Trommelbremse hat die Erdkugel fest im Griff und bremst sie langsam ab. Bremsbacken sind die Flutberge der Gezeiten,

die um die Erde wandern und dabei Reibungskräfte ausüben. So nimmt ganz allmählich die Rotationsgeschwindigkeit der Erde ab – allerdings in Zeiträumen, von denen der Mensch nichts merkt: Alle 60 000 Jahre werden die Tage eine Sekunde länger.

Nicht nur in kosmischen Zeiträumen wird die Kraft der Gezeiten deutlich: Die strömenden Wassermassen können beim täglichen Wechsel von Ebbe und Flut Turbinen antreiben und Strom erzeugen. Doch das funktioniert nur unter günstigsten Bedingungen, die auf dem Globus selten anzutreffen sind. Nur wenn ausrei-



Bild 1 Gezeitenkraftwerk La Rance mit einer Dammlänge von 750 m (Bild EDF).

Zusammenstellung:

Ulrich Müller
Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Postfach 6140, 8023 Zürich

Quellen:

Electricité de France,
VDEW, Frankfurt, Sulzer Hydro, Zürich



Bild 2 Vierflügelige Kaplan-Rohrturbine mit 5,35 m Laufraddurchmesser (Meereseite, Bild EdF). «C'est impressionnant», sprach General de Gaulle anlässlich der Einweihung am 26. November 1966.

chender Tidenhub und eine günstige Küstenform zusammenkommen, kann ein Gezeitenkraftwerk wirtschaftlich sein.

Wirtschaftlichkeit meist fraglich

Nachteilig wirkt sich aus, dass sich Ebbe und Flut täglich um +50 Minuten «verspäten» und somit nicht dem Rhythmus des Strombedarfs folgen. Wegen der hohen Baukosten, sie betragen rund das zweieinhalbfache eines üblichen Flusskraftwerks, ist es fraglich, ob noch weitere Gezeitenkraftwerke gebaut werden. Solange fossile Brennstoffe billiger als Mineralwasser sind, kann auch die Wasserkraft im Meer kaum auf breiter Basis genutzt werden.

Das Interesse an der Nutzung der Gezeiten folgt dem gleichen Naturphänomen. Periodisch tauchen einige Projekte auf, vielfach aus der Schublade gezogen und erneut bewertet, dann ebbt das Interesse wieder ab, wegen schlechter Wirtschaftlichkeit.

Dass jedoch Gezeitenstrom durchaus wirtschaftlich sein kann, zeigen die bestehenden Anlagen an der Rance und in der Bay of Fundy. Beide arbeiten seit Betriebsbeginn mit einer Verfügbarkeit von über 96%.

Gezeiten: manchmal hoch, manchmal schnell

Die maximalen mittleren Springtidenhübe der halbtägigen Gezeiten betragen 11 cm in der Ostsee, 4 bis 6,5 m an den Nordseeküsten, 11,5 m im Ärmelkanal, 14 bis 15 m in der Bay of Fundy (höchste Werte im gesamten Weltmeer).

Die Gezeitenströme erfassen die ganze Wassersäule von der Meeresoberfläche bis zum Meeresboden. Sie haben im offenen Ozean eine Größenordnung von 5 bis 10 cm/s. In flacherem Wasser und in Meerengen können sie bedeutend stärker sein: Nordsee (Deutsche Bucht) über 1 m/s; im Skjerstadvjord bei Bodö (Norwegen) 8 m/s.

Stromerzeugung mit langen Pausen

Die Mündung der Rance an der französischen Atlantikküste bei Saint Malo (Bild 1) bietet ideale Verhältnisse: Der Unterschied zwischen Ebbe und Flut beträgt mehr als 13 Meter. Der günstig geformte Mündungstrichter des Flusses wird von dem Kraftwerk, das wie ein Damm von Ufer zu Ufer reicht, als Becken abgeriegelt. Bei Flut strömt Meerwasser durch die 24 Kaplan-Rohrturbinen (je 10 MW; Bild 2) in das Becken hinein und bei Ebbe wieder heraus.

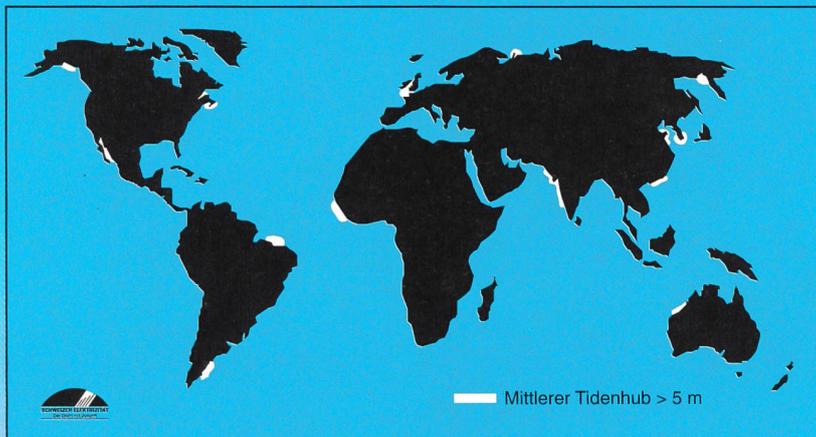
Mit 240 Megawatt erreicht die Leistung rund ein Viertel eines grossen Kernkraftwerks. Doch wegen der langen Stillstände zwischen den Gezeitenwechseln kann die Anlage nur während rund 2200 Stunden im Jahr Strom erzeugen. Zum Vergleich: Kernkraftwerke liefern



Bild 3 Kraftwerkgebäude Annapolis Royal in einem Seitenarm der Bay of Fundy: kompakt und weitgehend unter Wasser (Bild Sulzer Hydro).

Wo gibt es Gezeitenkraft?

Weltweit sind nur etwa 100 geeignete Standorte bekannt, das heisst solche mit mittleren Tidenhuben über 5 Metern. Das Potential dieser Anlagen wird auf insgesamt 160 000 MW geschätzt.



Mögliche Standorte von Gezeitenkraftwerken (Quelle HEA).

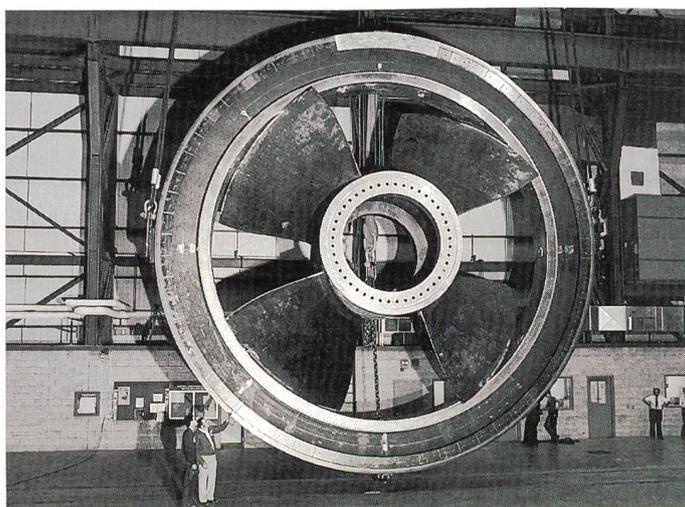
Wichtigste Anlagen und Projekte:

- Gezeitenkraftwerk in der Mündungsbucht der Rance bei St. Malo an der französischen Atlantikküste (erstes und grösstes Gezeitenkraftwerk der Welt).
- Prototypanlage bei Annapolis Royal in der Bay of Fundy in Ost-Kanada.
- Versuchsanlage Kislaya Guba bei Murmansk an der Barentssee, Russland.
- Pläne in der Bay of Fundy (Tidenhub über 15 Meter) in Grossbritannien (21 Orte, z. B. Severn-Mündung im Bristol-Kanal), China (Kianghsia) und Südkorea. Weitere zum Teil riesige Projekte liegen in Russland für die Golfe von Mezensk, Tugursk und Pezhinsk sowie in der Okhotsk-See auf.

	La Rance	Annapolis Royal	Kislaya
Tidenhub (m)	13,5	6,5	3
Maximale Fallhöhe (m)	11	7,1	3
Max. Wasserstrom je Turbine (m ³ /s)	260	378	
Anzahl Turbinen	24	1	2
Gesamtleistung (MW)	240	19,9	0,8
Inbetriebnahme (Jahr)	1967	1984	1968

Tabelle 1 Daten der Anlagen La Rance, Annapolis Royal und Kislaya Guba.

Bild 4 Straflo-Turbine: vierflügeliges Laufrad (Durchmesser 7,6 m) mit Generatorpolen nach Werkmontage (Bild Sulzer Hydro).



im Idealfall ein ganzes Jahr lang ununterbrochen Strom – das sind 8760 Stunden. Das Gezeitenkraftwerk bei St. Malo produzierte seit seiner Inbetriebnahme vor 30 Jahren durchschnittlich 520 Mio. Kilowattstunden jährlich, bei relativ niedrigen Kosten von rund 5 Rappen/kWh.

Prototyp-Gezeitenkraftwerk

Das Gezeitenkraftwerk Annapolis Royal (Bay of Fundy, Kanada) wurde 1984 ans Netz geschaltet (Bild 3). Es ist das erste Gezeitenkraftwerk in Nordamerika und das welterste mit einer grossen Straflo-Turbine (Bild 4).

Die Bay of Fundy soll den grössten Gezeitenunterschied der Welt haben (bis zu 15,8 m); das Annapolis-Becken liegt jedoch weiter draussen in der Bucht, wo die Gezeitenunterschiede etwa halb so gross sind wie an den stromaufwärts gelegenen Stellen (im Mittel rund 6,5 m). Das Kraftwerk soll dazu dienen, eine Straflo-Turbine mit grossem Durchmesser für den späteren Einsatz an exponierten Stellen zu erproben.

Bei der Straflo-Turbine bilden Turbine und Generator ein direkt gekoppeltes Aggregat ohne Antriebswelle. Der Generator liegt in der gleichen vertikalen Ebene und der gleichen Achse um das Laufrad herum angeordnet, jedoch ausserhalb des durchströmten Rohrs. Diese Konzeption erlaubt eine sehr kompakte Bauweise.

Der Laufraddurchmesser der Turbine wurde auf 7,6 m festgesetzt. Die Anlage arbeitet als einfach wirkendes Gezeitenkraftwerk mit einem einzigen Becken. Das Staubecken wird bei Flut über die Schleusen und die in Schleusenstellung stehende Turbine gefüllt. Wenn die Ebbe so tief ist, dass sich eine optimale Startfallhöhe ergibt, läuft das Wasser durch die Turbine ins Meer zurück. Somit kommt es bei jeder Flut zu einem Stromerzeugungszyklus von 6 bis 6,5 h Dauer. Die jährliche Produktion beträgt etwa 45 Millionen kWh und hängt vom maximalen Wasserstand im Staubecken ab, den die Umweltschutzbehörde von Nova Scotia zulässt.

Gezeitenkraftwerk am Eismeer

Kislaya Guba liegt im Golf von Kisla, rund 100 km nördlich von Murmansk. Das Gefälle beträgt nur 1 bis 3 m für zwei Rohrumpenturbinen mit je 400 kW Nennleistung. Die Maschinen entsprechen dem Konzept derjenigen von La Rance. Die Anlage arbeitet unter äusserst erschwerten Bedingungen: grosse saisonale Temperaturschwankungen, Verei-

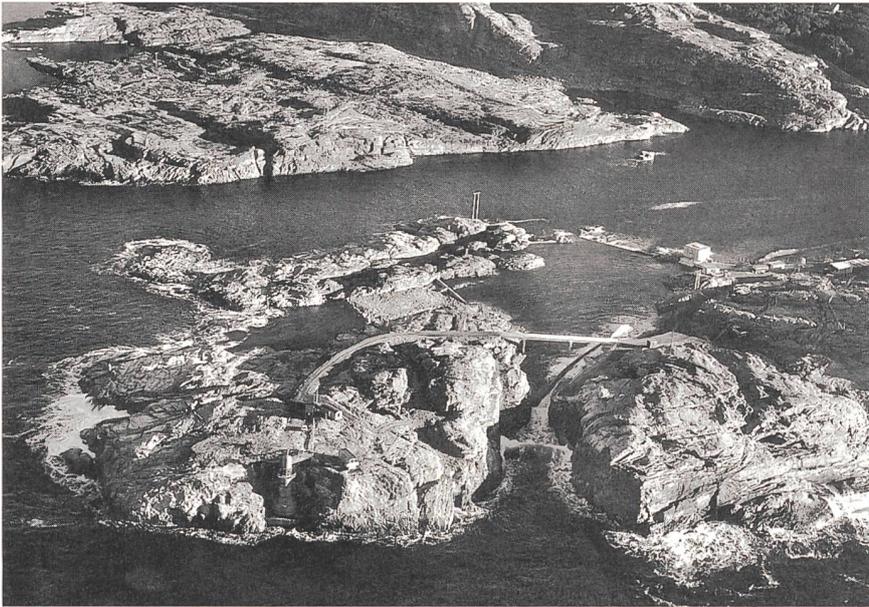


Bild 5 Erfolgreicher Betrieb: Wellenkraftwerk Tofstallen (350 kW) in einer Meerenge bei Bergen (Norwegen; Bild VDEW).

sung und Eisschollen gehören zum Alltag dieses Versuchskraftwerks, von dem sonst kaum Betriebserfahrungen bekannt sind.

Strom vom Grund des Meeres?

Eine spektakuläre Art der Stromerzeugung aus dem Meer planen die Italiener auf dem Grund des Meeres in der Strasse von Messina. Durch diese Meerenge zwischen dem Festland und Sizilien strömen am Meeresboden pro Sekunde eine Million Kubikmeter Wasser im Fahrradtempo hindurch. Daraus liesse sich in einem «Grundwasser»-Kraftwerk genug Energie gewinnen, um die Küstenstädte auf beiden Seiten mit Strom zu versorgen. Ähnliche Pläne bestehen schon seit einigen Jahren für eine Anlage in der Floridastrasse, an der Stelle, wo der Golfstrom am stärksten ist.

Wellen-Wasserkraft im Wellental

Unerschöpfliche Energie schlummert weltweit in den Wellen unserer Meere. Doch diese Energie zu nutzen, fällt ungleich schwerer, als es sich seit Jahrzehnten Wissenschaftler erträumt haben. Zahllose Forscher haben sich schon die Köpfe zerbrochen, wie man die brachliegende Energie des stetigen Auf und Ab der Wogen nutzen könnte. Es sind auch schon diverse Verfahren vorgeschlagen und teilweise sogar getestet worden. Besonders Engländer haben eine ganze Kollektion origineller, aber kaum entwicklungs-fähiger Mechanismen erdacht: gelenkige

Flosse, bewegliche Tauchwände, Gummibälge oder die «nickende Ente».

Wellenkraftwerk in Norwegen

Die Norweger beispielsweise bauten ein gut funktionierendes 350-kW-Wellenkraftwerk bei Tofstallen nahe Bergen (Bild 5). Dabei werden die Wellen gegen eine trichterförmige Öffnung in einer Felsbucht gedrückt. Dahinter beginnt ein 90 Meter langer Betonkanal, der immer enger wird und dessen Wände drei Meter höher sind als der Meeresspiegel. Dringt eine Welle durch diesen Kanal, steigt der Wasserspiegel: Da die Wände immer enger werden, muss das Wasser nach oben ausweichen, bis es überläuft und damit einen Stausee, dessen Niveau drei Meter über dem Meeresspiegel liegt, speist. Zur

Stromerzeugung wird dann das Wasser über eine Turbine ins Meer zurückgeleitet.

Wellenenergie durch Luftpumpen

Ein anderes Verfahren liefert auf der schottischen Insel Islay seit 1985 für etwa 50 Haushalte Strom. Dort wird an steilen Felsküsten die indirekte Wellenenergie durch eine Art Luftpumpe gewonnen. Die Brandung wälzt sich in eine Öffnung und drückt oder saugt dabei die Luft durch eine Röhre. Der so erzeugte Luftstrom treibt damit eine Turbine zur Stromerzeugung an. Auch bei Bergen in Norwegen existiert eine Anlage dieses Typs (Leistung 500 kW). Es gibt seit 1989 weitere solche Projekte für die Hebrideninseln.

Wellenkraftwerke in Schwierigkeiten

Das erste Projekt zur kommerziellen Nutzung der Wellenkraft für die Stromerzeugung ist gescheitert. Bei stürmischem Wetter und hohem Seegang sank im August 1995 «Osprey» (Ocean Swell Powered Renewable Energy) vor Dounreay an der Nordküste Schottlands. Die Leistung betrug 2 MW, ein über der Struktur montiertes Windrad besorgte weitere 1,5 MW. Über ein Unterwasserkabel versorgte «Osprey» 3500 Haushalte. Der Typ des Wellenkraftwerks war jenes mit Druckluftkammern, deren Druck jeweils mit steigender Welle stieg, und entsprechenden Expansionsturbinen. Die Kosten für das Kraftwerk betragen rund 6 Mio. sFr. Eine weitere Kleinanlage im offenen Meer ist schon 1988 vor der Küste Norwegens gesunken.

Probleme der Betriebssicherheit, des Energietransports, des Unterhalts und die Behinderung der Seefahrt lassen wenig Hoffnungen für küstenferne Ausführungen. Nur küstennahe Anlagen mit relativ kleiner Leistung werden wohl in naher Zukunft die Wellenenergie nutzen.

Marée basse pour les centrales marémotrices?

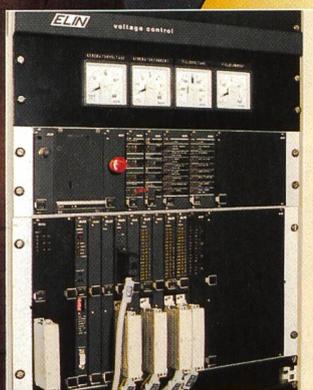
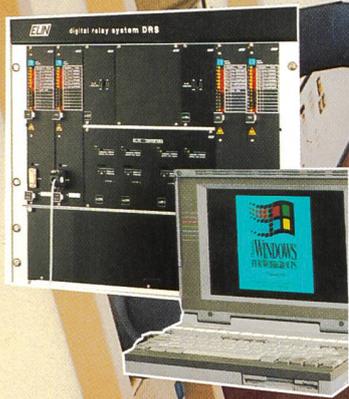
La marée est un mouvement journalier d'oscillation de la mer provoqué par l'attraction de la Lune et du Soleil, de même que la rotation de la Terre. La différence de hauteur entre la marée basse et la marée haute et qualifiée d'amplitude de la marée. La forme de la côte joue ici un rôle important. Si l'amplitude de la marée est suffisamment élevée, il est possible de retenir l'eau dans une baie en fermant celle-ci par un barrage. Seules quelques rares régions côtières dans le monde se prêtent toutefois à cette forme d'énergie renouvelable. Les installations qui se trouvent à la Rance et dans la Bay of Fundy peuvent être citées ici comme exemples positifs.

L'intérêt porté à l'utilisation des marées suit une évolution analogue au phénomène naturel. Certains projets, souvent sortis du placard, réapparaissent périodiquement. Ils sont alors évalués à nouveau, puis l'intérêt faiblit à cause de leur mauvaise rentabilité.

Une énergie inépuisable sommeille dans les vagues des mers. Néanmoins seules des installations d'une puissance relativement faible et situées près des côtes pourront dans un proche avenir utiliser l'énergie marémotrice.

WAS WIR ERREGEN,
DAS SCHÜTZEN WIR AUCH.

NOUS PROTÉGEONS
CE QUE NOUS EXCITONS.



Ein Unternehmen der **VATECH**

ELIN

Elin Energieversorgung
GmbH

KRAFTWERKSSYSTEMTECHNIK

AUTOMATISATION DE CENTRALES ELECTRIQUES

Schutz

Digitales Relais System DRS-MODULAR für Generator- und Transformatorschutz mit DRS-WIN Bediensoftware für Windows

Protection

Système de relais digital DRS-MODULAR pour la protection de transformateurs et générateurs, avec programme d'utilisation DRS-WIN compatible Windows

Erregung

Digitale Spannungsregler GMR 3 des Erregungssystems THYNE für Synchronmaschinen

Excitation

Régulation digitale de tension GMR 3 du système d'excitation THYNE pour générateurs synchrones

Synchronisierung

Digitales Synchronisiergerät SYN 3000 mit SYN-WIN Visualisierungs-Software für Windows

Synchronisation

Appareil de synchronisation digital SYN 3000 avec programme de visualisation SYN-WIN compatible Windows



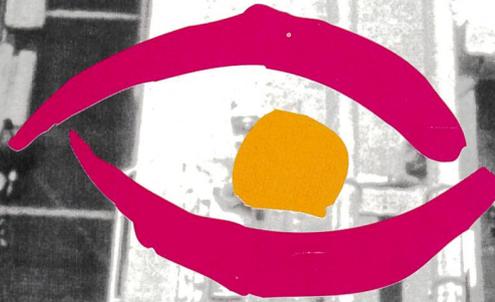
**ELIN Energieversorgung
ENERGIE FÜR DIE WELT.
FÜR EIN BESSERES LEBEN.**

Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an: / Pour de plus amples informations veuillez vous adresser à:

**Rauscher & Stoecklin AG, CH-4450 Sissach
Telefon +41 61 976 34 66, Fax +41 61 976 34 22**

**RAUSCHER
STOECKLIN**

Kraftwerksbau ist unser Business mit modernster Sicherheit



Nicht nur Sicherheit wird bei uns gross geschrieben. Wir verbinden den umweltgerechten Bau von Wasserkraftwerken mit modernster Technologie und Tradition. Dabei besteht unser Anliegen darin, die Wünsche und Bedürfnisse unserer Kunden in wirtschaftliche Lösungen umzusetzen. Ein Beispiel dafür sind die 10 Generatoren zu Straflo-Turbinen im Rheinkraftwerk Laufenburg. Jeder der Generatoren leistet 12'000 kVa bei 107 U/min. ABB Kraftwerke AG, Baden; Telefon 056/466 68 63, Fax 056/466 66 81.

ABB