Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 86 (1994)
Heft: 11-12

Artikel: Wellennutzung mit einer oszillierenden Wassersäule
Autor: Aemmer, Martin
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940820

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

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

Wellennutzung mit einer oszillierenden Wassersäule

Grundlagen und Betriebserfahrungen mit dem ersten britischen Wellenkraftwerk auf der Insel Islay

Martin Aemmer

1. Einleitung

Seit Anfang 1991 ist das erste Wellenkraftwerk Grossbritanniens auf der Insel Islay an der schottischen Westküste in Betrieb. Die Anlage wurde im Auftrag des britischen Department of Energy von einem Forschungsteam der Queen's University of Belfast (Nordirland) entwickelt und zusammen mit privaten Unternehmen gebaut. Das Funktionsprinzip der Anlage, die direkt an der Küste steht (Bild 1), beruht auf einer oszillierenden Wassersäule, mit deren Hilfe die Energie der auflaufenden Wellen in elektrische Energie umgewandelt wird.

Mit dem Bau und Betrieb dieser Forschungsanlage werden verschiedene Ziele verfolgt. Einerseits soll sie die technische und wirtschaftliche Machbarkeit von kleinen, an der Küste gelegenen Anlagen aufzeigen, und andererseits sollen mit dieser Pilotanlage wertvolle Bau- und Betriebserfahrungen gewonnen werden, die für die zukünftige Entwicklung von grösseren Einheiten von Bedeutung sind. Zusätzlich soll sie als Versuchsstand dienen, auf dem in der Wellenenergietechnik neu entwickelte Bauteile zukünftig unter natürlichen Bedingungen geprüft werden können.

2. Wahl des Standortes

Wellenenergieanlagen, die an der Küste stehen, sind wesentlich wirtschaftlicher als jene, die vor der Küste im Meer (offshore) gebaut sind. Dies wird zur Hauptsache durch den einfacheren Zugang und den witterungsunabhängigen Betrieb und Unterhalt von an der Küste liegenden Anlagen bestimmt, obwohl das Dargebot der Wellenenergie mit abnehmender Wassertiefe sinkt. Somit ist die mittlere nutzbare Wellenleistung an der Küstenlinie kleiner als im vorgelagerten Meer. An der Westküste von Schottland wird eine mittlere Wellenleistung von 70 kW/m' bei einer Wassertiefe von 100 m gemessen. Beim Auflaufen der Wellen auf seichte, der Küste vorgelagerte Wasserzonen wird infolge der Reibung am Grund die mittlere Wellenleistung massiv gedämpft. Im untersuchten Gebiet beträgt sie bei einer Wassertiefe von 10 m nur noch maximal 10 kW/m'.

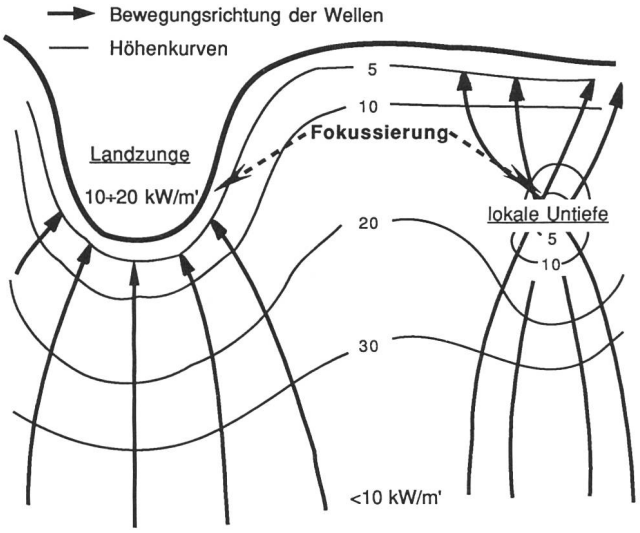

Bild 2a. Konzentration der Wellenenergie an Landzungen (links) und hinter lokalen Untiefen (rechts).

Diese Reduktion der Wellenenergie in Flachwasserzonen wird zusätzlich vom horizontalen Verlauf der Küstenlinie und von der Oberflächenform des Seegrundes stark beeinflusst. Bei günstigen topographischen Verhältnissen kann sich in bestimmten Küstenabschnitten die mittlere Wellenleistung durch Fokussiereffekte erhöhen.

Diese Erhöhungseffekte können mit den physikalischen Phänomenen des Lichtes verglichen werden. Prinzipiell treten bei den im folgenden beschriebenen drei Küstenmorphologien Brennpunkte auf, in denen sich die Energie der auflaufenden Wellen konzentriert.

- Beim Auflaufen von Wellen auf eine vorgelagerte Landzunge konzentrieren sich die Wellen am exponierten Küstenstreifen, und die mittlere Wellenleistung wird somit erhöht (Bild 2a).
- Passieren die Wellen eine lokal begrenzte Untiefe vor der Küste, so werden sie hinter dieser Flachwasserzone fokussiert, und die mittlere Wellenleistung wird erhöht (Bild 2a).
- Laufen die Wellen in eine enge, sich verjüngende Bucht ein (Bild 2b), so erhöht sich die Wellenleistung kontinuierlich mit der Abnahme der Kanalbreite. Am Ende einer solchen Felsenrinne kann die erhöhte Wellenleistung in den für die Anlage untersuchten Küstengebieten 20 bis 30 kW/m' betragen.

Diese bei geeigneter Küstenform auftretende Erhöhung der mittleren Wellenleistung war ein wichtiges Kriterium für die Standortwahl der britischen Versuchsanlage. Insbesondere sollte die für die Wellennutzung notwendige oszillierende Wassersäule durch natürliche Fokussierung und günstige Form der Felsenküste eine möglichst hohe und konstante Leistung aufweisen. Aufgrund von umfangreichen topographischen Untersuchungen unter Berücksichtigung der spezifischen Daten zum Wellengang wurde dann für den Bau der Anlage eine Felsenbucht in der Nähe von Portnahaven auf der Insel Islay ausgewählt. Der Standort zeichnet sich insbesondere durch eine gute Fokussierwirkung für die auflaufenden Wellen aus und liegt in der Nähe von zwei Dörfern, die einen einfachen Zugang zur Anlage ermöglichen.

Der den Standort umgebende Küstenabschnitt, an der Spitze einer Landzunge gelegen, wurde zusammen mit

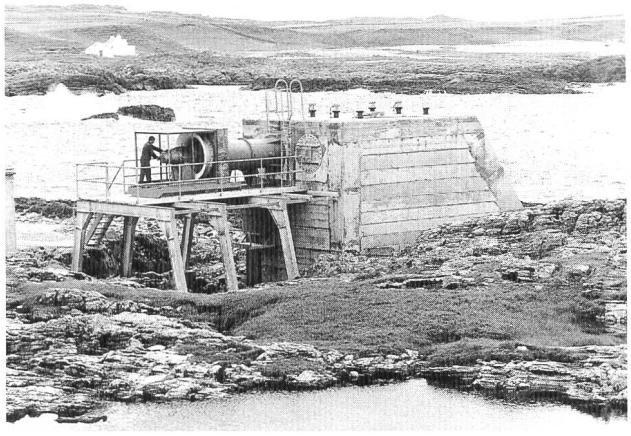

Bild 1. Wellenkraftwerk auf der Insel Islay.

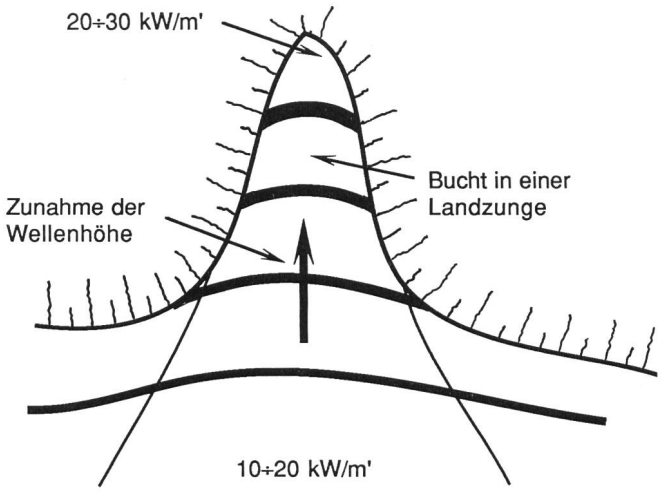

Bild 2b. Erhöhung der Wellenenergie in einer sich verjüngenden Bucht.

dem Meeresgrund vermessen und in einem hydraulischen Modell im Massstab 1 : 50 nachgebaut. Während mehreren Wochen wurde der Wellengang in der Bucht genau untersucht und mittels einer Modellrechnung der Langzeitverlauf abgeschätzt.

Mit dem hydraulischen Modellversuch wurde im Labor die Struktur der Wassersäule, insbesondere die Grösse, Form und Position, ermittelt, die dann als Grundlage für die Dimensionierung des Wellenkraftwerkes diente. Aufgrund dieser Untersuchungen wurde eine mittlere jährliche Energieproduktion von rund 300000 kWh prognostiziert. Dies entspricht einer mittleren Leistung von 36 kW.

3. Konstruktive Ausbildung

Der bauliche Teil der Anlage besteht im wesentlichen aus einem Stahlbetonkasten, der in die schmale Felsenbucht eingelassen ist und diese überspannt (Bild 3). Der Kasten wird aus einer senkrechten Rückwand, die bis zum Seegrund reicht, aus zwei senkrechten Seitenwänden, die in den seitlichen Felswänden fundiert sind, sowie aus einer schrägen Frontwand gebildet. Die Wände sind mit einer Betondecke überspannt, so dass ein geschlossener Raum entsteht, in dem eine Wassersäule schwanken kann. Die Betondecke wurde so hoch gelegt, dass auch bei sehr extremer Witterung keine gefährlichen Schläge durch die im Kasten aufsteigende Wassersäule auf die Decke wirken können. Die ganze Betonkonstruktion musste so dimensioniert werden, dass sie eine maximale, auf die schräge Frontseite wirkende Belastung von 40 t /m^2 ohne Schaden aufnehmen kann. Weiter mussten die Seitenwände vorgespannt und im Fels rückverankert werden, um Zugspannungen infolge auftreibender Kräfte im Betonkasten zu verhindern. In der Rückwand ist eine Öffnung ausgespart, wo der Luftkanal, der zur Turbine führt, anschliesst.

Zum Schutz der Anlage vor dem Hinterströmen durch hohe Wellen wurden die Seitenwände des Betonkastens mit halber Höhe seitlich nach vorn verlängert, so dass sie einen trichterförmigen Zulauf zur Anlage bilden. Das eigentliche Einlaufbauwerk zur Anlage wird durch die Unterkante der schrägen Frontwand, die bis zum tiefstmöglichen Stand des Meeresspiegel reicht, und dem aufsteigenden Meeresgrund gebildet. Im Bereich dieses Einlaufes wird die Energie der auflaufenden Wellen in die Energie einer oszillierenden Wassersäule umgewandelt. In dem sich nach oben verjüngenden Betonkasten der Anlage wirkt diese oszillierende Wassersäule wie ein Kolben, der die darüberliegende Luft je nach Bewegungsrichtung ausstösst oder ansaugt. Somit wird die oszillierende Wassersäule in einen oszillierenden Luftstrom umgewandelt, der am Ende des horizontalen Luftkanals eine zweirotorige Wellsturbine beaufschlagt. Die Wellsturbine weist die besondere Eigenschaft auf, dass sie unabhängig von der Anströmrichtung den Drehsinn beibehält. Die Rotoren der Wellsturbine sind zusätzlich mit einem Schwungrad gekoppelt, welches eine Rotationsenergie von bis zu 2 MJ im rotierenden System speichern kann. Diese Vorrichtung ermöglicht einen ruhigen und ausgeglichenen Verlauf der Stromproduktion, insbesondere wenn sich der immer wieder umkehrende Luftstrom zyklisch verhält, angeregt durch regelmässig eintreffende Gruppen von Wellen.

Die Konstruktion des Wellenkraftwerkes unter den extremen klimatischen Bedingungen, die an der rauhen schottischen Westküste herrschen, war mit einigen Schwierigkeiten verbunden, die schon bei der Planung berücksichtigt werden mussten. Das grösste Problem war die Erstellung eines Kofferdammes eingangs der Bucht, der die Trockenlegung der Baustelle ermöglichen sollte. Aus wirtschaftlichen Gründen wurde auf diese Trockenlegung verzichtet und die Anlage aus Fertigelementen zusammengesetzt, die dann auf den an Ort unter Wasser erstellten Fundamenten zusammengebaut wurden. Insgesamt wurde die Anlage aus 54 in Nordirland zuvor gefertigten Teilen zusammengesetzt, die ein Gesamtgewicht von rund 300 Tonnen aufweisen. Die schwierigste Aufgabe bei dieser Fertigelementbauweise war jedoch immer noch die Erstellung eines durchlässigen Kofferdammes, der die Baustelle vor den auflaufenden Wellen schützen sollte. Selbst bei ruhiger See waren im Schutz dieser Sperre Wasserspiegelbewegungen vorhanden, die die Bauarbeiten, insbesondere jene unter Wasser, sehr erschwerten.

4. Erste Betriebserfahrungen und Folgerungen

Nach Abschluss der Bauphase wurde ein umfassendes Messnetz installiert, das die Daten über den Wellengang in der Bucht, die Bewegungen der Wassersäule sowie die Druck-, Temperaturverhältnisse und den pneumatischen Energieausstoss erfasst und laufend auswertet. Somit konnten die meisten Betriebsphasen von ruhiger See bis zu stürmischen Verhältnissen mit Daten belegt werden.

Die Betriebscharakteristik der Anlage kann als beeindruckend bezeichnet werden. So treten regelmässig kurze Phasen mit einer maximalen Leistung von über 400 kW zusammen mit längeren Perioden, die eine mittlere Leistung

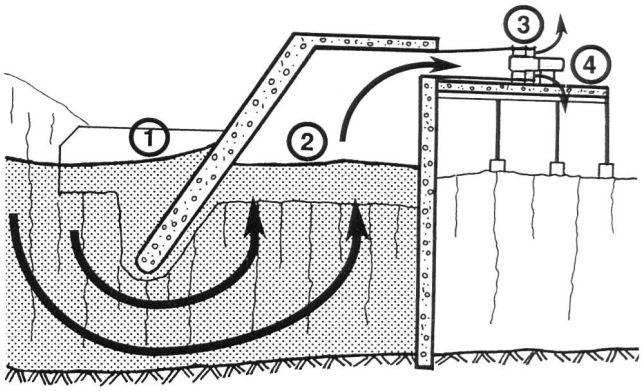

Bild 3. Schnitt durch die Anlage: (1) Fassungsbauwerk, (2) Oszillationskammer, (3) Wellsturbine, (4) Generator.

von 100 kW aufweisen, auf. Selbst bei sehr ruhiger See beträgt die minimale Leistung einige kW.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass die Energieproduktion des Wellenkraftwerkes mit den im Modellversuch vorhergesagten Werten korreliert, obwohl bei der Leistungscharakteristik einige Unterschiede festgestellt werden mussten. Insbesondere fallen bei längeren Wellenperioden niedrigere Leistungen an, als der Projektierung zugrunde gelegt wurden. Diese Abminderung gegenüber den im Modellversuch ermittelten Daten ist auf die Oberflächenbeschaffenheit der Bucht zurückzuführen, die als sehr rauh bezeichnet werden kann und somit hohe Turbulenzen hervorruft, die die Wellenenergie reduzieren. Bei der Anlage auf der Insel Islay könnte die Energieproduktion in Zukunft noch gesteigert werden, indem mit baulichen Massnahmen die Zulaufbedingungen verbessert werden. Dabei müssten die Felswände geglättet und Felsblöcke vom Grund entfernt werden.

Im weiteren wurde festgestellt, dass der Einfluss des Tidenhubs auf die Anlage wesentlich komplizierter ist als ursprünglich angenommen. Die Gezeiten wirken sich nicht nur auf den Wasserstand in der Bucht aus, sondern bringen noch eine starke Strömung mit sich. Diese gezeitenabhängige Strömung weist im Bereich der Versuchsanlage eine ungünstige Richtung auf und bewirkt, dass sich während gewissen Gezeitenphasen die Wellen vor der Küste überschlagen. Dabei wird ein grosser Teil der vorhandenen Wellenenergie dissipiert.

Die geschilderten Erfahrungen zeigen, dass bei der Planung von zukünftigen Anlagen die Gezeitenströmung und die Oberflächenbeschaffenheit im Zulauf besonders beachtet werden müssen. Insbesondere könnte man eine sich verjüngende Bucht mit einer optimalen Einlaufgeometrie künstlich aus der Felsenküste ausbrechen. Dies hätte zusätzlich den Vorteil, dass die eigentliche Anlage im Trockenen vor dem Ausbruch des Zulaufes erstellt werden könnte. Mit diesem Konzept würde auch die Zahl der möglichen Standorte für solche Wellenkraftwerke wesentlich erhöht.

Die Energiegestehungskosten des Wellenkraftwerkes auf der Insel Islay sind mit sieben Pence pro Kilowattstunde im Vergleich zu konventionellen Anlagen gleicher Grösse hoch. Mit einer zunehmenden Entwicklung der Wellenenergienutzung, die eine Erhöhung des Wirkungsgrades und eine Reduktion der Baukosten bewirken würde, könnten die Produktionskosten bedeutend gesenkt werden. Die anfallenden Kosten eines an der Küste gelegenen Wellenkraftwerkes wären dann mit jenen einer Wasserkraftanlage vergleichbar. Die Investitionskosten einer solchen Anlage wären analog zu einer Wasserkraftanlage hoch, die Betriebskosten im Vergleich zur Lebensdauer jedoch auch sehr niedrig. Die Energiegestehungskosten eines Wellenkraftwerkes des vorgestellten Typs werden dann im Bereiche von 2 p/kWh geschätzt.

Literatur

Whittaker, T. J. T: Progress on Britain's First Onshore Wave Power Device, Euromechanics Colloquium 243, Energy from Ocean Waves, Bristol 1988.

Whittaker, T. J. T: Shorline Wave Power on the Isle of Islay. Mitteilung des London Pictures Service, 1991.

Adresse des Verfassers: *Martin Aemmer,* dipl. Bauing. ETH, SIA, Assistenz für Wasserbau, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich.

50 Jahre Durnagelbach-Verbauung

Was in einem Lexikon aus dem Jahre 1846 zu lesen ist: «Das Durnachtal, ein unbewohntes, schauerlich tief und eng eingeschnittenes Seitental des Linthtales», ist nur zum Teil richtig, denn über dem Wildbachtobel zieht sich ein breites und gemächlich ansteigendes Alpgelände hin, auf dem drei Sennten mit über dreihundert Stück Vieh und eine Schafherde Futter finden, von den Murmeli und Gemsen ganz zu schweigen.

Das Tal endet in einem von Hausstock und Ruchi umschlossenen Bergkessel, über dem sich in der Nacht des 24./25. August 1944 ein Hagelwetter entlud. Die Sturzbäche fegten den Sulzgletscher vom Schutt blank, und die

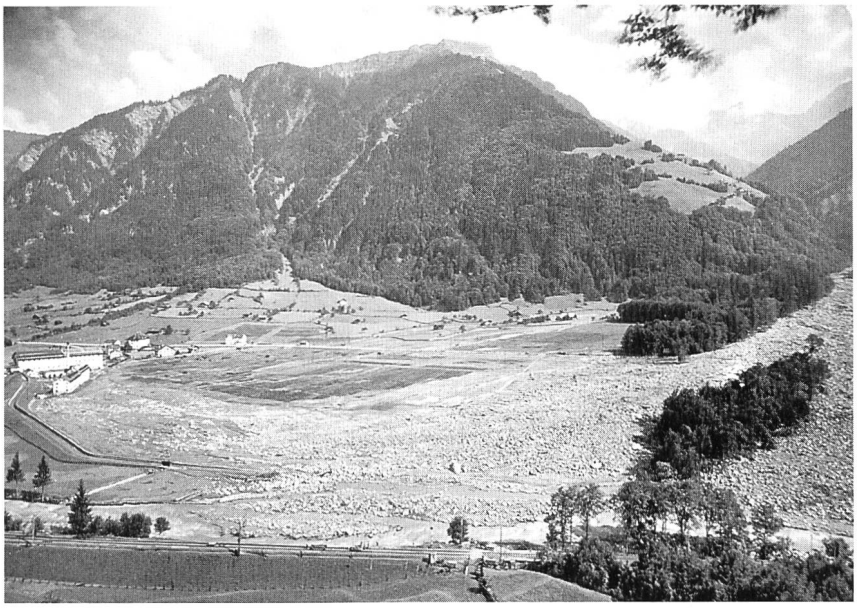

Bild 1. Der Bachausbruch hinterliess eine Schuttwüste und Schäden von einer zweistelligen Millionenzahl.

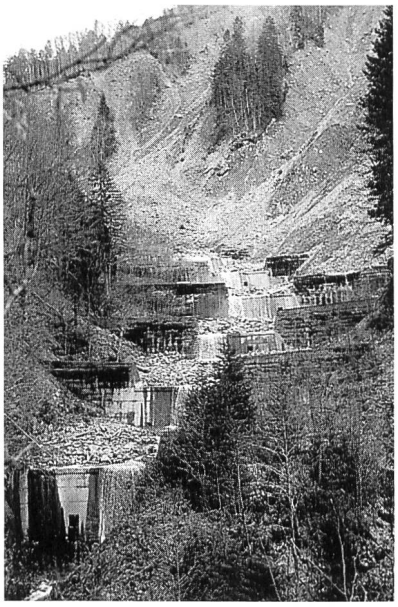

Bild 2. Die Sperren im Abstand von rund 40 m brechen die Wucht des Wassers, verhindern eine Vertiefung des Bachbettes und ein Nachrutschen der Berghänge.