Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 105 (2014)
Heft: 11

Artikel: Bessere Nutzung der Flusskraft
Autor: Urbani, Claude / Casartelli, Ernesto
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856319

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: 09.07.2025

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

Bessere Nutzung der Flusskraft

Forschungsprojekt erhöht Wirkungsgrad von Vortex Power Plants

Der Bedarf an erneuerbaren Energien hat weltweit stark an Bedeutung gewonnen. Es werden effiziente, einfache, günstige und ökologisch verträgliche Lösungen für die dezentrale Energieversorgung gesucht. Das Energiepotenzial in Gewässern mit geringen Fallhöhen von 1–2 m und Wassermengen von 0,5 bis über 20 m³/s ist gross und kann mit einer in einem Forschungsprojekt weiterentwickelten Wasserwirbel-Technologie optimal genutzt werden.

Claude Urbani, Ernesto Casartelli

Bereits vor fünf Jahren haben sich die Projektpartner mit der Vision beschäftigt, das Fliessgewässerpotenzial an geringen Staustufen für die erneuerbare Energieproduktion nutzbar zu machen, ohne dabei ökologische und ökonomische Anforderungen zu vernachlässigen. Die Idee war der Bau von kleinen, für Fische durchgängigen Vortex Power Plants (Bild 1) an bestehenden Querverbauungen. Aus einer anfänglich eher ökologischen Forschungsrichtung entstand in den letzten Jahren ein einfaches, robustes Hightech-Produkt der Kleinwasserkraft mit gutem Wirkungsgrad und weltweitem Potenzial.

Aktuell hat die Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrates die Beratung des ersten Massnahmenpakets der Energiestrategie 2050 fortgesetzt, und dabei die Förderung der Grosswasserkraft beschlossen. Im Gegenzug beantragt die Kommission, die Untergrenze zur Förderung von Kleinwasserkraftwerken von 300 kW auf 1 MW anzuheben. Die unternehmerische Ausgangslage im Bereich der Kleinwasserkraft hat sich somit trotz erheblichem geografischen Potenzial in der Schweiz aufgrund der Energiestrategie 2050 stark verschlechtert, auch bedingt durch den Überschuss an erneuerbarer Energie aus dem Ausland mit staatlich geförderten Anreizsystemen. Für die Erstellung von Kleinwasserkraftanlagen in der Schweiz bedeutet das konkret, dass neue Anlagen fast nicht mehr realisiert werden können, ausser an beeinträchtigten Wasserstrecken, wo es technisch, ökologisch und ökonomisch mit den hohen Anforderungen noch sinnvoll ist.

Ein verstärktes Engagement im Ausland und eine zunehmende Optimierung der Anlagekomponenten (Produktreifegrad, Langlebigkeit, Standardisierung und Modularisierung) werden zukünftig Erfolgsfaktoren für Kleinwasserkraftanlagen darstellen. Gestehungskosten müssen gesenkt und der Wirkungsgrad der Anlagen muss erhöht werden.

Der Regierungsrat des Kantons Aargau hat die Einrichtung eines Instruments zur Forschungsförderung (Forschungsfonds) beschlossen. Es werden interessante Entwicklungsprojekte von Hochschulen mit aargauischen Firmen gefördert. In einem solchen Forschungsprojekt wurden von der Firma Vorteco AG zusammen mit der Hochschule Luzern (HSLU) ein neuartiger Plattendiffusor und ein Rotor entwickelt, welche den Wirkungsgrad und somit auch die Wirtschaftlichkeit von Vortex Power Plants entscheidend verbessern. Zudem wurde die Vortex-Technologie erstmals wissenschaftlich dokumentiert und auditiert.

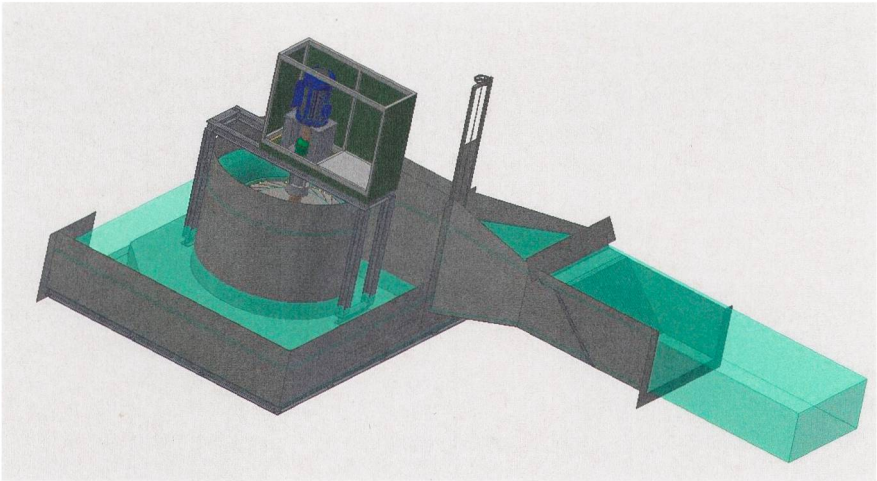


Bild 1 Übersicht eines Vortex Power Plant.

Einfaches Prinzip mit vielfältigem Einsatzbereich

Bei Vortex Power Plants wird für die Energieproduktion ein Fliessgewässer (Fluss) benötigt, das in einen künstlichen Einlaufkanal geleitet wird. Im Rotationsbecken entsteht durch die Abflussöffnung im Zentrum des Beckenbodens ein Wasserwirbel (Vortex). Im Zentrum des Wirbels befindet sich die Turbine, welche im Generatorbetrieb den Wirbel abbremst und dadurch Rotationsenergie aufnimmt. Die langsame Drehzahl der Turbine im Bereich von 15 bis 50 Umdrehungen pro Minute wird mittels Getriebe auf eine passende Generatordrehzahl gebracht. Der Generator wandelt dann die mechanische Energie in elektrische um.

Bild 2: Das Oberwasser (1) fliesst durch den Grobrechen (2) in den Einlaufkanal (3) und tangential in das Rotationsbecken (4), wo es einen Wasserwirbel bildet. Dieser strömt durch die zentrale Öffnung im Beckenboden in den Auslaufkanal (5) und in das Unterwasser (6) des Gewässers zurück. Der Drallstrom des Wasserwirbels wird durch die vertikalachsige Turbine unter Leistungsabgabe auf einen geringen Restwert reduziert. Das übertragene Drehmoment treibt den Generator (7) an. Die Mess-, Steuer- und Regeleinrichtung (8) speist die erneuerbare Energie in das öffentliche Stromnetz ein oder direkt bei den Endverbrauchern (Inselbetrieb).

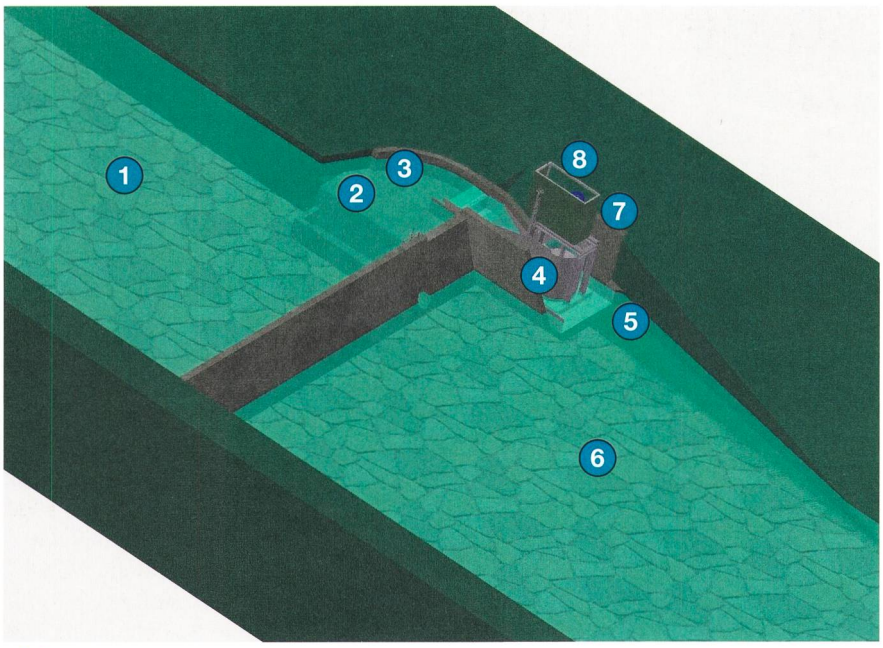


Bild 2 Einsatzbereich eines Vortex Power Plant.

Der Vorteil dieses Funktionsprinzips ist, dass nur kleine Fallhöhen benötigt werden. Daher können Vortex Power Plants grundsätzlich bei jeder grösseren Schwelle oder zwischen bestimmten Höhendifferenzen in Flussläufen oder Restwasserausläufen eingesetzt werden.

Bisheriger Stand der Entwicklung

Heute gibt es in der Schweiz nur ein Wasserwirbelkraftwerk in Schöftland. Studenten ermittelten direkt am Kraftwerk einen Gesamtwirkungsgrad von 35 %.[1] In Österreich gibt es weitere Wasserwirbelkraftwerke. Auch die Pilotanlage in Obergrafendorf wurde von der Fachhochschule Nordwestschweiz auf ihren Gesamtwirkungsgrad untersucht. Die Untersuchung ergab einen Gesamtwirkungsgrad von knapp 40 %. In Indonesien und in Deutschland sind weitere Kraftwerke von diversen Anbietern zu finden, über die jedoch keine oder nur unbefriedigende Aussagen über den Wirkungsgrad vorhanden sind.[2]

Im Hydromechanik-Labor der Technischen Universität München wurden Messungen an Modellen eines Wasserwirbelkraftwerks im Massstab 1:9 durchgeführt, die hydraulische Wirkungsgrade von nur 50 % ergaben.[3]

Diese ernüchternden Wirkungsgrade verliehen dem Wasserwirbelkraftwerk ein schlechtes Image. Dies motivierte die Forschungspartner Vorteco AG und die HSLU, ihre Forschungsarbeit in den letzten Jahren zu intensivieren, um das Vortex Power Plant zu entwickeln.

Projektziele in schwierigem Umfeld

Das Forschungsprojekt befasste sich mit der Überprüfung der numerischen Strömungsmechanik-Simulationen (CFD, computational fluid dynamics) durch Validierungsmessungen an der Modellanlage im Strömungslabor und an einer realitätsnahen 2-kW-Anlage. Diese sollte nach Möglichkeit an einem frei fliessenden Gewässer installiert werden, um das Produkt der Öffentlichkeit bestmöglich zu zeigen – nicht unter Laborbedingungen, sondern realitätsnah. Aus verschiedenen, vor allem behördlichen und juristischen Gründen, war das Umsetzen dieses Vorhabens während der Projektzeit jedoch nicht realisierbar. Um die vollumfängliche Durchführung des Forschungsprojekts zu ermöglichen, stellte die HSLU ihr Strömungslabor für den Einbau der 2-kW-Prototypanlage zur Verfügung **(Bild 3)**.

Heute gibt es für Wasserwirbelkraftwerke keine Aufwertungskorrelationen, d.h. Umrechnungsfaktoren, mit denen Modellversuchsmessungen des hydraulischen Turbinenwirkungsgrades auf die Realität umgerechnet werden können. Diese Korrelation ist nötig, da bei grösseren Abmessungen die relativen Verluste in einem Wasserwirbelkraftwerk kleiner werden. Verfügbar sind lediglich Aufwertungskorrelationen für bekannte Systeme der Wasserkraft wie Francis-, Kaplan- und Peltonturbinen. Nur mit Wirkungsgradmessungen an Modell- und Prototypanlagen kann eine Aufwertungskorrelation für den hydraulischen Wirkungsgrad eines Wasserwirbelkraftwerks erstellt werden. Mit dieser Aufwertungskorrelation können die gemessenen Wirkungsgrade der in Zukunft durchgeführten Modellversuche dem Modellmassstab entsprechend aufgewertet werden.

Dem Forschungsprojekt wurden weitere wissenschaftliche und unternehmerische Ziele gesteckt.

- Der hydraulische Wirkungsgrad für den Prototyp liegt bei mindestens 80 %.
- Die Simulation der Gesamtanlage inkl. Validierung von mindestens einer CFD-Simulation **(Bild 4)** durch Messungen an der Modellanlage liegt vor.

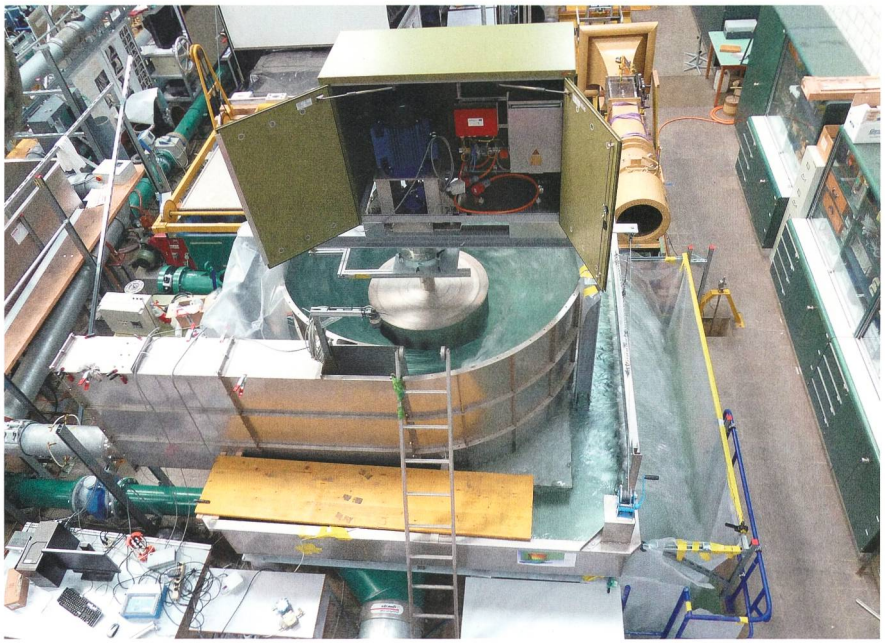


Bild 3 Prototypenanlage im Labor der HSLU.

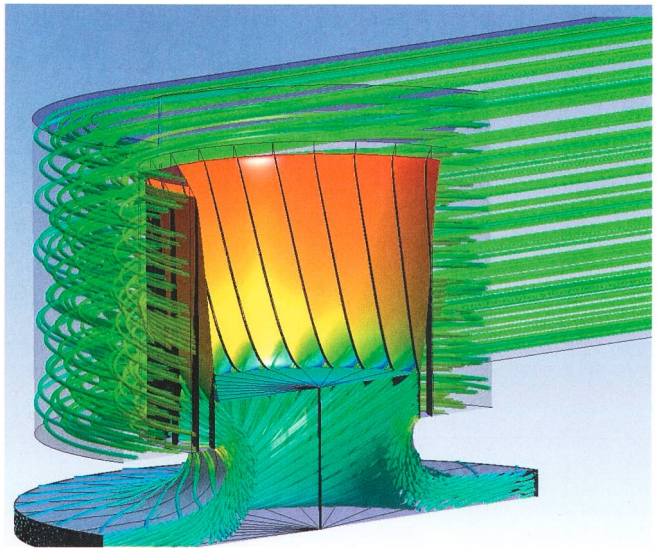


Bild 4 CFD-Simulation des Rotors mit einem Plattendiffusor der HSLU.

- Ein standardisiertes Verfahren mit klar definierten Einzelschritten zur Auslegung des Plattendiffusors liegt vor, um zukünftig zur exakten Auslegung keine aufwendigen CFD-Simulationen mehr durchführen zu müssen.
- Die Ergebnisse der CFD-Strömungssimulationen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse sind in einem Auslegungstool für Anlagen mit Plattendiffusor eingepflegt.
- Sowohl ein Attest für die Ergebnisse aus den CFD-Simulationen als auch ein Attest für die Ergebnisse aus einem Modellversuch des verbesserten hydraulischen Wirkungsgrades liegen vor.
- Für das System des Vortex Power Plant ist eine Verlustanalyse und somit eine Aufwertungskorrelation für den hydraulischen Wirkungsgrad vorhanden.

Neuentwickelter Rotor mit Plattendiffusor

Der hydraulische Turbinenwirkungsgrad eines Vortex Power Plant konnte im Projekt mit computerunterstützten Simulationen und Messungen an einer Modellanlage und einer Prototypanlage von ursprünglich 70 % auf 80 % erhöht werden.

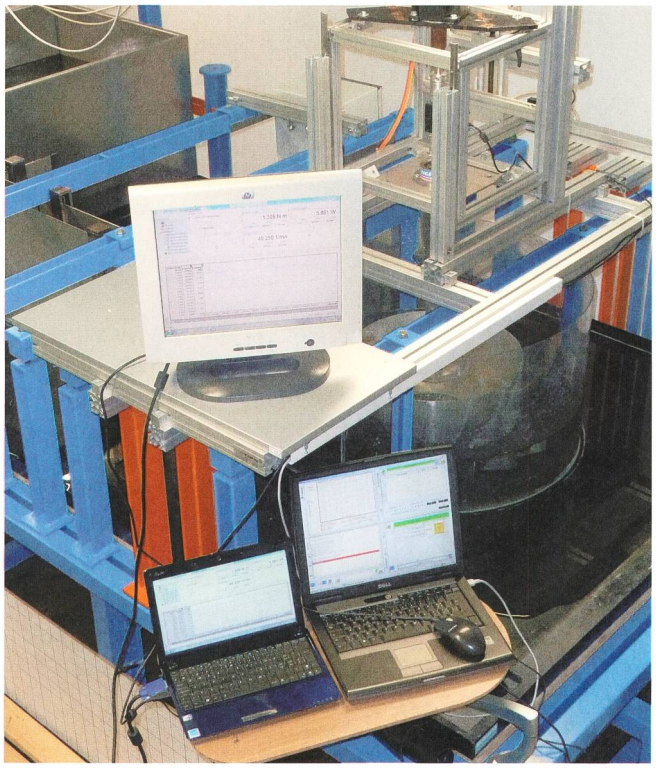
Das Auslegungstool für ein Vortex Power Plant mit Plattendiffusor konnte so weiterentwickelt werden, dass für die entsprechenden Randbedingungen eines gegebenen Standortes eine möglichst grosse Energieausbeute entsteht. Dabei kann in Zukunft für die Auslegung der Diffusorgeometrie auf aufwendige computerunterstützte Simulationen verzichtet werden, was vor dem Projektabschluss nicht möglich war.

Eine Prototypanlage des Vortex Power Plant konnte im Labor der HSLU aufgebaut und getestet werden. Zusätzlich wurden an einer Modellanlage am Vorteco-Standort **(Bild 5)** Modellversuche durchgeführt, die mit den Ergebnissen der Prototypanlage und der Strömungssimulationen verglichen werden konnten. Anhand aller durchgeführten Strömungssimulationen und Messungen konnten Daten gesammelt werden, mit welchen es nun möglich ist, eine Aufwertungskorrelation für den hydraulischen Wirkungsgrad speziell für Vortex Power Plants zu erstellen. Die Aufwertungskorrelation wurde entsprechend der IEC 60193-Normen durchgeführt und überprüft. Zudem hat die HSLU die Modellanlage im Vorteco-Strömungslabor überprüft und bestätigt, dass die Messungen an der Modellanlage richtig durchgeführt und ausgewertet wurden.

Vielfältiger Nutzen

Im Forschungsprojekt konnten Erfahrungen im Bereich der Simulation von freien Oberflächen (Zweiphasen-Simulationen) gemacht werden. Die Wirbeloberfläche konnte mit Strömungssimulationen dargestellt werden, und die CFD-Programme konnten auf ihre Genauigkeit bezüglich der Potenzialwirbelströmung überprüft werden.

Dieses Projekt zeigte erneut, wie wichtig ein Diffusor bei einer Strömungsmaschine ist. Im Einzelnen konnte auch die Wichtigkeit von Plattendiffusoren für Turbinen mit flacher Einbautiefe hervorgehoben werden. In den vorliegenden Anlagenkonfigurationen wird die Strömung nach dem Laufrad zuerst umgelenkt und danach verzögert. Solche Strömungen sind in der Regel schwierig zu simulieren, da sie latent ablösungsgefährdet sind. Die Validierung zeigt auf, dass die Strömungssimulationen den kritischen Ablösepunkt im Diffusor gut voraussagen können, und dass eine Optimierung der Anlage anhand von CFD-Simulationen möglich ist. Zukünftige Projekte können von dieser Erkenntnis profitieren, da auch die Glaubhaftigkeit solcher Strömungssimulationen gestiegen ist.



Bilder: Vorteco

Bild 5 Modellanlage im Vorteco-Strömungslabor.

Eine weitere Optimierung wurde am Laufrad der Wirbelturbine vorgenommen. Diese basiert auf neuen Erkenntnissen, die während des Projekts gemacht wurden, da solche Laufräder in der Literatur nur wenig erschlossen sind.

Zudem konnten die Messtechnik-Erfahrungen im Strömungslabor der HSLU angewandt und erweitert werden. Die Messungen zeigten die Vorteile, aber auch die Schwierigkeiten dieser neuartigen Wirbelturbine auf.

Mit der erfolgreichen Durchführung des Forschungsprojekts konnte die Standardisierung von Vortex Power Plants weiter vorangetrieben werden. So ist es heute möglich, für einen breiten Anwendungsbereich in den Leistungsklassen von 2 bis 200 kW standardisierte Kleinwasserkraftwerke anzubieten, die technisch und ökonomisch den Marktbedürfnissen entsprechen.

Vor allem im internationalen Geschäftsfeld erweist sich die Patentierung der Wirbelbecken-Plattendiffusor-Kombination durch Vorteco als wichtig. Dank dieser Anlagenkonfiguration konnte die Bautiefe (Eingriff in das bestehende Gelände oder in bestehende Infrastrukturen) für diese Kleinwasserkraftwerke wesentlich reduziert werden. Daraus ergeben sich neue Einsatzmöglichkeiten für diese Technologie, die vorher aus bautechnischen oder ökonomischen Gründen nicht realisierbar waren.

Weitere positive Effekte aus den Forschungsarbeiten sind die numerische Simulation von verschiedenen Betriebszuständen und die Überprüfung der Alltagstauglichkeit der Elektrotechnik im Netz- und Inselbetrieb. Dies stärkt das Vertrauen potenzieller Kunden bezüglich Kompetenzen des Anlageanbieters und ihrer Partner. Zudem ist es dank des Forschungsprojekts möglich geworden, aussagekräftige Anlageauslegungen, Stromertragsprognosen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu erstellen und zu verifizieren.

Es ist nun möglich, Anlagen rein rechnerisch überprüfbar auszulegen. Das Forschungsprojekt zeigte auch auf, dass bei Wasserkraftwerken im Ultra-Niederdruckbereich durchaus noch Entwicklungspotenzial besteht.

Wissenschaft und Praxis im Einklang

Im Vordergrund standen nicht nur wissenschaftliche Arbeiten, sondern auch die praktische Umsetzung von marktreifen Produkten für den Einsatz in der Schweiz und vor allem in dezentralen Gebieten (Schwellenländern). Durch das Forschungsprojekt wurden eine Technologie und ein Produkt entwickelt, mit welchen es möglich ist, bei sehr geringen Wasserfallhöhen rentabel erneuerbare Bandenergie zu erzeugen und gleichzeitig ökologische Aspekte zu verbessern.

In der Schweiz sind Anlagen für Energieversorger in Opfikon, Biel und Bremgarten geplant (in Konzession). International wird sich Vorteco verstärkt im asiatischen und südamerikanischen Raum engagieren. Dort sind mit standardisierten Anlagen bei niedrigen lokalen Baukosten sowie schnelleren Bewilligungsverfahren kostengünstige und wirtschaftliche Kleinwasserkraftwerke realisierbar.

Résumé

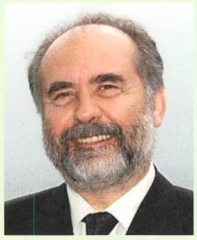
Meilleure exploitation de l'énergie des cours d'eau

Projet de recherche pour augmenter l'efficacité des Vortex Power Plants

Le potentiel énergétique des cours d'eau à faible hauteur de chute et de débit de 0,5 à plus de 20 m³/s est conséquent. Un projet de recherche a permis de perfectionner une centrale hydroélectrique à tourbillons (Vortex Power Plant) afin d'exploiter ce potentiel énergétique de manière optimale. Le perfectionnement réside dans un nouveau rotor avec un diffuseur à plaques permettant d'augmenter le taux de rendement des turbines hydrauliques de 70 à 80 %, selon les simulations et mesures effectuées sur une installation modèle.

Les résultats positifs de ce projet de recherche ont contribué à poursuivre le processus de standardisation des centrales hydroélectriques à tourbillons. Il est ainsi possible de proposer aujourd'hui des petites centrales hydroélectriques standardisées pour un large éventail d'applications dans les catégories de puissance de 2 à 200 kW qui répondent aux besoins du marché tant sur le plan technique qu'économique. No

Commentaire Electrosuisse / ETG



Pr **François Avellan,** Dr Ing., est professeur ordinaire à l'EPFL, directeur du Laboratoire de machines hydrauliques de l'EPFL, Institut de génie mécanique, Faculté des sciences et techniques de l'ingénieur.

R&D des turbines pour la petite hydraulique

L'exploitation de la ressource de la petite hydraulique attendue dans la stratégie énergétique 2050 du Conseil fédéral repose pour une grande part sur la recherche et le développement de technologies hydrauliques adaptées. En effet, il est impératif de concevoir des groupes hydroélectriques de petite puissance qui conjuguent à la fois efficacité, fiabilité et profitabilité avec un impact minimum sur la vie aquatique. Or ces exigences nécessitent des études et développements dont les coûts sont souvent incompatibles avec la rentabilité des projets de petite capacité, par définition inférieure à 10 MW. C'est pourquoi il est nécessaire de définir et étudier une méthode de conception, de réalisation et d'implantation des projets qui soit standard et s'appuie sur des recherches dont les résultats soient suffisamment généraux pour qu'ils puissent s'appliquer à une technologie type de turbines. Les méthodes rigoureuses d'investigation numérique et expérimentale mises en œuvre par les auteurs ont permis de concevoir et d'envisager la mise sur le marché d'une turbine de type vortex efficace d'une puissance unitaire dans la gamme de 2 kW à 200 kW afin qu'elle soit particulièrement adaptée aux très faibles chutes et s'intègre avec une empreinte minimum sur l'environnement.

Literatur

«Simulation of a vaneless radial diffuser for vortex turbines». Das Paper über die Optimierung eines Vortex Power Plant mit Hilfe von Plattendiffusoren wird vom 26. – 28. November 2014 am Internationalen Kongress für Wasserkraftanlagen in Wien (International Seminar on Hydropower Plants, www.viennahydro.com) einem breiten Publikum präsentiert.

Links

- www.vorteco.com
- www.hslu.ch

Referenzen

[1] «Evaluation von Ultra-Niederdruckkonzepten für Schweizer Flüsse», Bericht des BFE vom 13. Juli 2011.
[2] www.wasserwirbel-kraftwerk.de/technische-daten.html.
[3] www.wtert.eu/default.asp?Menue=1&ArtikelPPV=24498

Autoren

Claude Urbani, Ing. Wirt. MAS BA FH, ist Vorstandsmitglied der Fachgesellschaft ITG und Mitglied der ETG-Fachgruppe «Neue erneuerbare Energien» von Electrosuisse. Er leitet als CEO die Vorteco AG.
Vorteco AG, 5306 Tegerfelden, urbani@vorteco.com

Prof. Dr. **Ernesto Casartelli**, Dipl. Masch Ing ETHZ, Dr sc. tech. ETHZ, hauptamtlicher Dozent und Leiter des Competence Center Fluidmechanik & Hydromaschinen an der HSLU.
Hochschule Luzern – Technik & Architektur, 6048 Horw, ernesto.casartelli@hslu.ch