

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Hecht, Veronika; Schneider, Silke; Bozhinova, Snezhana; Saenger, Nicole; Müller, Gerald

Einfluss der Zuströmung auf die Effizienz einer Kleinwasserkraftanlage

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103613>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Hecht, Veronika; Schneider, Silke; Bozhinova, Snezhana; Saenger, Nicole; Müller, Gerald (2011): Einfluss der Zuströmung auf die Effizienz einer Kleinwasserkraftanlage. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Wasserkraft mehr Wirkungsgrad + mehr Ökologie = mehr Zukunft. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 45. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 265-272.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Einfluss der Zuströmung auf die Effizienz einer Kleinwasserkraftanlage

Veronika Hecht, Silke Schneider, Snezhana Bozhinova, Nicole Saenger,
Gerald Müller

Um Kleinwasserkraftanlagen an Standorten mit niedrigen Fallhöhen (bis zu 2,5 m) wirtschaftlich und ökologisch nutzen zu können, ist es dringend erforderlich die Effizienz dieser Anlagen zu erhöhen. Maßgebend ist zum einen der Wirkungsgrad des Energiewandlers, zum anderen aber auch der Einfluss der Zuströmung. In diesem Beitrag wird die Effizienz der Wasserdruckmaschine im Hinblick auf verschiedene Zuströmverhältnisse vorgestellt. Aus der Optimierung des Einlaufbauwerks resultierte eine Leistungssteigerung um 8 %.

In order to utilise low head differences (up to 2.5 m) for small hydropower plants in an economically and ecologically way an improvement of efficiency is needed. For this case the performance of the hydropower converter is determinant. Nevertheless the design of the inflow structure can have a positive impact on the efficiency of the hydropower plant. In this paper the performance of the hydrostatic pressure machine, particularly with regard to different inflow situations, is presented. The result from the optimization was an increased power output of about 8 %.

1 Einführung

Das EU-Projekt HYLOW (Hydropower converters for very low head differences) setzt sich das Ziel geringe Fallhöhen bis zu 2,5 m zur Energieproduktion mit einer Wasserdruckmaschine wirtschaftlich und ökologisch nutzbar zu machen. Im Rahmen dieses Projektes wird unter anderem die Effizienz der Wasserdruckmaschine für den Einsatz in Laufwasserkraftwerken untersucht. Wasserdruckmaschinen nutzen das Prinzip der hydrostatischen Druckdifferenz (s. Abb. 1).

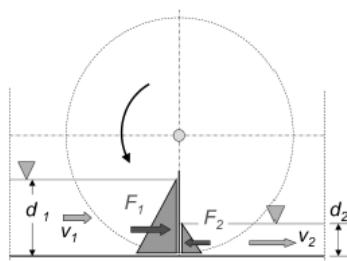


Abbildung 1 Wirkprinzip der Wasserdruckmaschine

An einem bestehenden Wehr am Fluss Iskar in Bulgarien (s. Abb. 2) soll eine Pilotanlage errichtet werden. Zu diesem Zweck wurde ein physikalisches Modell in der Versuchsanstalt für Wasserbau der TU Darmstadt gebaut. Das dreiecksförmige Wehr weist eine Breite von 30 m und eine Fallhöhe von 0,5 m auf. Mit der Erhöhung der Fallhöhe auf bis zu 1,3 m und einem Gesamtdurchfluss von $5 \text{ m}^3/\text{s}$, wovon der hydraulischen Maschine $2 \text{ m}^3/\text{s}$ zufließen, wird die Pilotanlage nicht die maximale Energieausbeute nutzen können. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass so die Anzahl Betriebstage erhöht werden kann, was wiederum eine größere Bandbreite an Messergebnissen liefern sollte.



a)



b)

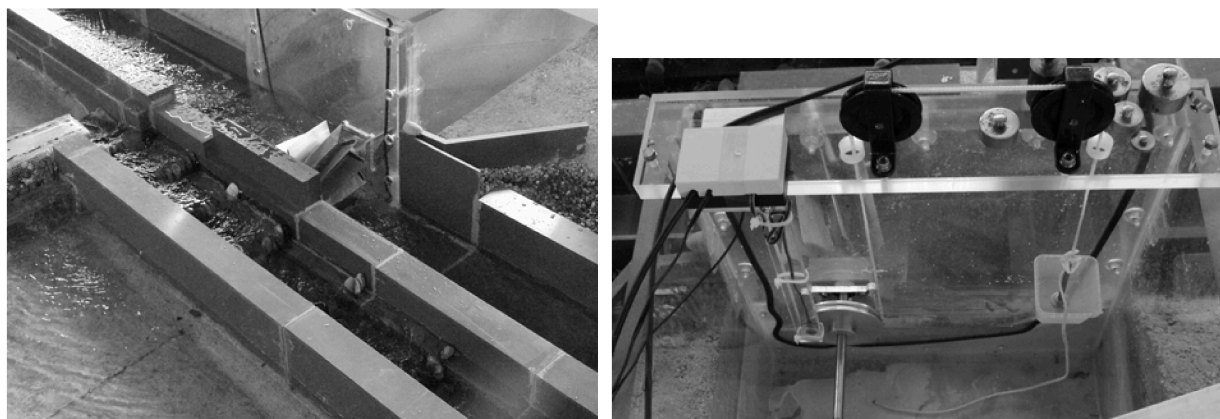
Abbildung 2 Standort für Pilotanlage mit vorhandenem Messwehr vor (a) und während des Baus (b)

Da sich die Vermeidung von hydraulischen Energieverlusten direkt auf die Energieproduktion auswirken und damit auch auf die Effizienz der Anlage, ist eine optimale Anströmung der hydraulischen Maschine nicht unerheblich. Am Modell wurden deshalb verschiedene Einlaufgeometrien getestet.

2 Aufbau des Modells

Am vorhandenen Wehr am Fluss Iskar, Bulgarien, soll eine Kleinwasserkraftanlage mit einer Wasserdruckmaschine installiert werden, die den örtlichen Gegebenheiten angepasst und mithilfe von hydraulischen Untersuchungen an einem physikalischen Modell konzipiert wird. Zur Erreichung des Stauziels muss das Wehr erhöht werden. Zudem wurde das Projekt nur mit der Auflage genehmigt, dass die Anlage vollständig rückgebaut wird. Daraus resultierte die Entscheidung einen Großteil der Anlage aus Gabionen zu errichten. Um den ökologischen Anforderungen zu genügen, ist die Durchgängigkeit durch den Bau einer Fischtreppe zu gewährleisten.

In der Versuchshalle der TU Darmstadt wurde mittels einer Geländeaufnahme des Flussabschnittes ein physikalisches Modell nach dem Froudeschen Modellgesetz im Maßstab 1:15 (Gesamtlänge ca. 15 m, -breite ca. 7 m) gebaut. Die Kalibrierung erfolgte über die Wasserspiegellagen und die Variation der Rauheit im Modell. Ein numerisches 1-D Modell (HEC-RAS) diente zur Validierung. Die Abweichung des physikalischen Modells liegt bei 3 %, die des numerischen Modells bei 4 %.



a)

b)

Abbildung 3 Versuchsaufbau; a) Übersicht, b) Prony-Bremse

Zur Leistungsmessung wurde ein Modellrad mit Prony-Bremse (s. Abb. 3) eingebaut. Mithilfe eines Drehzahlmessers konnte so die Leistung des Energiewandlers bestimmt werden. Der Referenzzustand wurde in Abhängigkeit von der Bremskraft ermittelt.

Abbildung 5 zeigt die untersuchten Einlaufgeometrien im Modell. Zunächst wurde aufgrund der gewählten Baumaterialien und der gewünschten Abweisung von Geschwemmsel am Einlaufrechen der Kopf des Trennpfeilers schräg zur

Hauptströmung ausgebildet und der Einlaufkanal auf eine Länge von bis zu 15 m ausgelegt, um eine ungestörte Zuströmung vor dem Energiewandler zu erreichen. Das optimierte Einlaufbauwerk ist in Abb. 5 unten dargestellt. Die Einlauflänge wurde auf 10 m gekürzt sowie der Trennpfeiler zur Flussmitte hin ausgerichtet.

3 Methoden der Strömungserfassung

Um die Geschwindigkeiten und die Strömungsverteilung im Einlaufbereich zu erfassen kamen Tracerversuche, Particle Image Velocimetry und Flügelmessungen zum Einsatz.

3.1 Tracerversuche

Zur Strömungsvisualisierung können Tracerversuche erste Erkenntnisse liefern. An geeigneter Stelle wird dazu ein Markierungsfarbstoff (Tracer) eingebracht. Im Rahmen der Versuche wurde Kaliumpermanganat als Tracer verwendet. Sowohl die Strömung an der Sohle, als auch an der Wasseroberfläche wurden aufgenommen. Deutlich zu erkennen war eine Wirbelablösung an der Einlaufkante (s. Abb. 4), die den effektiven Einlaufquerschnitt reduziert und somit eine Optimierung des Einlaufbauwerks erforderlich macht.

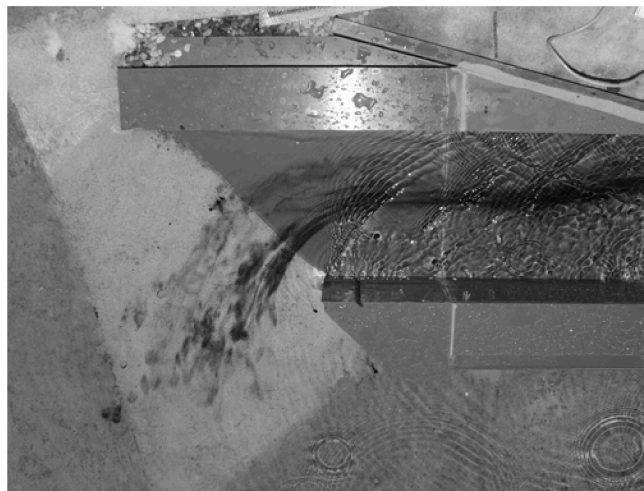


Abbildung 4 Tracerversuch

3.2 Particle Image Velocimetry

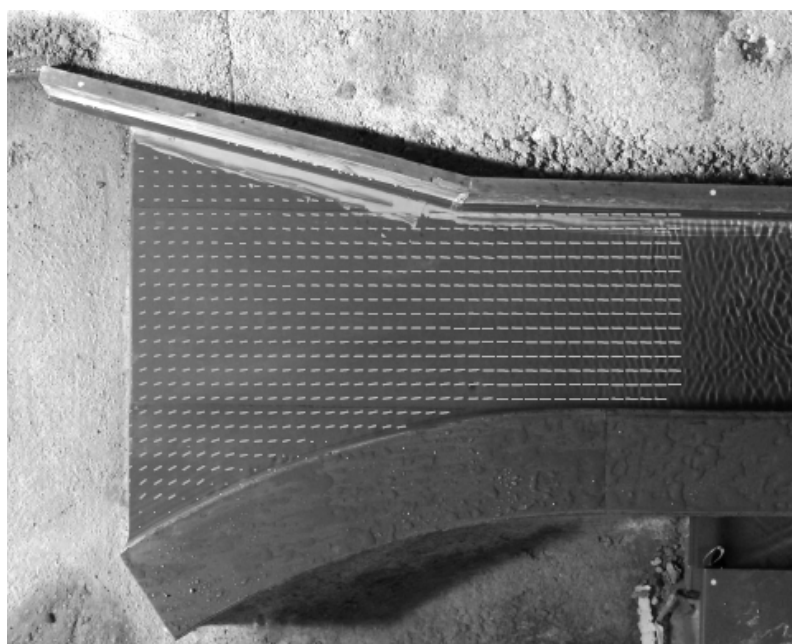
Das Verfahren der Particle Image Velocimetry (PIV) kommt zunehmend im Bereich der Strömungsvisualisierung zur Anwendung. Es gehört zu den bildgebenden Messverfahren. Dabei werden Tracer-Partikel auf die Wasseroberfläche aufgebracht und mithilfe einer Kamera deren zeitliche

Verschiebung aufgenommen. Mit einer geeigneten Software kann so das Geschwindigkeitsfeld in der Ebene (x,y) über die Korrelation zweier aufeinander folgender Bilder bestimmt werden.

Im Rahmen des Modellversuchs wurde mit einer Casio EX-F1 Kamera eine Fläche von ca. 1,2 x 0,9 m in einer Höhe von 2 m mit einer Auflösung von 2816 x 2112 Pixel eine Bilderfolge von 60 Bilder/s aufgenommen. Die verwendeten Tracer-Partikel aus Polystyrol weisen eine Dichte von $0,014 \text{ g/cm}^3$ und einen Durchmesser von 0,5-1,0 mm auf. Die Partikel wurden händisch auf die zu untersuchende Fläche gestreut. Die Bildanalyse erfolgte mit der Software VidPIV von Optical Flow Systems.



a)



b)

Abbildung 5 Einlaufgeometrien: Ausgangszustand (a); geänderte Geometrie (b)

Abb. 5a zeigt deutlich die Wirbelablösung im Bereich des Trennpfeilerkopfes. Der Einfluss dieser Wirbelbildung ist bis hin zur hydraulischen Maschine messbar. Das hat eine asymmetrische Anströmung und folglich eine unausgewogene Lastverteilung an der Wasserdruckmaschine zufolge.

In Abb. 5b lässt sich die Vergleichmäßigung der Strömungsverhältnisse über den Querschnitt durch eine Annäherung an die Form einer Einlauftrumpete erkennen. Zudem wird die Geschwindigkeitsverteilung im Kanal gleichförmiger und die absolute Geschwindigkeit verringert sich.

3.3 Flügelmessung

Die Geschwindigkeitsmessungen mittels Messflügel (Schildknecht MiniWater20) diente zur Kontrolle der Ergebnisse aus der PIV-Aufnahme. Über ein Messraster wurden sowohl Geschwindigkeiten als auch die zugehörigen Höhen aufgenommen. Daraus konnte dann der Durchfluss bestimmt werden. Deutlich wurde der Höhenverlust durch die Wirbelablösung. Gute Übereinstimmung ergaben sich beim Vergleich der berechneten Geschwindigkeiten der PIV-Aufnahmen und der Flügelmessung.

4 Auswirkung auf den Wirkungsgrad

Da die Wasserdruckmaschine die hydrostatische Druckdifferenz nutzt, hat ein Höhenverlust – hier durch die Wirbelbildung verursacht – eine direkte Auswirkung auf die Effizienz der Anlage.

Die Leistungsberechnung des Modellrades erfolgt mithilfe der folgenden Gleichung:

$$P = \Delta F \cdot n \cdot 2 \cdot \Pi \cdot R \quad [\text{W}] \quad (1)$$

mit ΔF Kraftdifferenz zwischen Stillstand und Betrieb [N]

n Drehzahl [1/s]

R Radius der Bremsscheibe [m]

Das Modellrad (s. Abb. 6) weist einen Außendurchmesser von 160 mm, eine Breite von 133 mm, einen Nabendurchmesser von 68 mm, 10 Schaufeln mit einem Anstellwinkel von 20° und einen Bremsscheibendurchmesser von 100 mm auf. Die Aufnahmen erfolgten im Referenzzustand. Der Zufluss in das Modell wurde konstant gehalten und entspricht dem Ausbaudurchfluss.

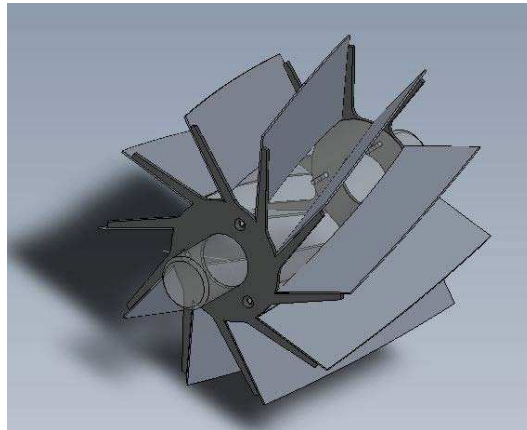


Abbildung 6 Ansicht des Modellrades

Für den Ausgangszustand ergab sich so eine gemessene Leistung von 0,71 W. Demgegenüber ist mit der optimierten Geometrie eine Leistung von 0,76 W zu erzielen. Die Energieausbeute der Anlage kann somit um 8 % gesteigert werden.

Nach Senior (2009) kann eine Wasserdruckmaschine einen maximalen Wirkungsgrad von 82 % erreichen. Vernachlässigt man die Maßstabeffekte kann folglich für die Pilotanlage in Bulgarien eine maximale Leistung von 16,4 kW erzielt werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen am Einlaufbauwerk haben gezeigt, dass durch eine Optimierung der Zuströmung eine deutliche Effizienzsteigerung möglich ist. Zudem kann festgehalten werden, dass instationäre Strömungsverhältnisse sehr gut durch das Particle Image Velocimetry Verfahren abgebildet werden können. Eine Flügelmessung dagegen ist sehr zeitintensiv und ist aufgrund der geringen Wassertiefen in diesem Fall nicht durch eine ADV-Messung zu ersetzen. Hinzu kommt, dass zwar die Ablösung über die Flügelmessung erfassbar ist, eine genaue Darstellung des Strömungsverlaufes jedoch nicht möglich ist, da nur in Fließrichtung gemessen wird. Für die Durchflussmessung ist sie hier jedoch alternativlos.

Bedarf für weitere Optimierungen ergeben sich aus der Erkenntnis, dass der Durchfluss im Einlaufkanal um ca. 10 % geringer ist, als ursprünglich angenommen wurde. Mithilfe von Leiteinrichtungen kann versucht werden den Durchfluss zu erhöhen. Zudem werden Sedimentbeobachtungen zur Beurteilung der Sedimentdurchgängigkeit der Wasserdruckmaschine und der Sedimentbewegung im Fluss durchgeführt und Hochwasserszenarien durchgespielt.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung der Forschungstätigkeiten durch die Europäische Kommission im 7. Rahmenprogramm, Vertragsnummer 212423.

Literatur

Korbus, H. (Hrsg.): Wasserbauliches Versuchswesen. 2., revidierte Auflage. DVWK-Schriften 39, Hamburg, Berlin, Parey, 1984

Müller, G. Bruce, T. Kauppert, K.: Particle Image Velocimetry: a simple technique for complex surface flows. In: Proceedings of International Conference on River Hydraulics. Riverflow 2002 Conference Lisse, The Netherlands, Sweets & Zeitlinger, 1227-1234

Senior, J. Müller, G. Wiemann, P.: The Development Of The Rotary Hydraulic Pressure Machine. In: Proceedings 32. IAHR Conference Venedig, Paper 32, 2007

Senior, J.: Hydrostatic pressure converters for the exploitation of very low head hydropower, Ph.D. Thesis, Southampton, 2009

Autoren:

Dipl.-Ing. Veronika Hecht,
Dipl.-Ing. Silke Schneider
Technische Universität Darmstadt
Institut für Wasserbau und Wasser-
Wirtschaft, Fachgebiet Wasserbau
Petersenstraße 13
D-64287 Darmstadt
Tel.: +49 – 6151 – 167424
hecht@wb.tu-darmstadt.de
schneider@wb.tu-darmstadt.de

Dipl.-Ing. Snezhana Bozhinova,
Univeristy of Architecture,
Civil Engineering and Geodesy Sofia
1 Hr. Smirnenski Blvd
BG-1046 Sofia
Tel.: +359 – 2– 9635245
snejana_bojinowa@abv.bg

Prof. Dr.-Ing. Nicole Saenger,
Hochschule Darmstadt
Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Wasserbau
Schöffersstraße 3
D-64295 Darmstadt
Tel.: +49 – 6151 – 168169
nicole.saenger@h-da.de

Dr.-Ing. Gerald Müller,
University of Southampton
School of Civil Engineering and
Environment
Highfield
Southampton, SO17 1BJ, GB
Tel.: +44 – 2380 – 592442
g.muller@soton.ac.uk