

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Weber, Martin; Saenger, Nicole

Energetische Optimierung traditioneller Wasserräder mittels PIV Messtechnik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106542>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Weber, Martin; Saenger, Nicole (2019): Energetische Optimierung traditioneller Wasserräder mittels PIV Messtechnik. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): 21. Treffen junger WissenschaftlerInnen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 139-144.

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.



Energetische Optimierung traditioneller Wasserräder mittels PIV Messtechnik

Martin Weber, Fachbereich Bauingenieurwesen, Hochschule Darmstadt
Nicole Saenger, Fachbereich Bauingenieurwesen, Hochschule Darmstadt

Einführung

Wasserräder gewinnen im aktuellen Diskurs hinsichtlich der Energiewandlung zunehmend an Bedeutung, da sie, anders als andere erneuerbare Technologien, grundlastfähig sind. Auch gestaltet die Förderung der Wasserkraft nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (2017) die Modernisierung bzw. den Neu- und Ausbau von Wasserkraftstandorten attraktiv. Durch den Einsatz moderner Berechnungsverfahren und Werkstoffe wird es möglich sein, die Eigenschaften von Wasserrädern zu optimieren und den Wirkungsgrad im Vergleich zu anderen Erneuerbaren Energien weiter zu verbessern.

Um die Effizienz unterschiedlicher Technologien zu vergleichen, benötigt man Regelwerke die definieren, welche Parameter an welchen Stellen mit welcher Messtechnik bzw. Genauigkeit gemessen werden müssen, um Wirkungsgrade und Leistung zu ermitteln. Für die Bestimmung des hydraulischen Wirkungsgrades für Pumpen und Turbinen als Quotient der gelieferten mechanischen Leistung und der theoretisch vorhandenen hydraulischen Leistung existieren zwei Standards: die amerikanische ASME PTC 18 und die europäische IEC-601936. Für Wasserräder existieren solche standardisierten Regelwerke nicht. Vergleicht man die aktuelle einschlägige Fachliteratur, so findet man widersprüchliche Aussagen. Beispielsweise wird laut Nuernbergk (2013) die Fließgeschwindigkeit des Wassers bei der Ermittlung der Fallhöhe für die Berechnung der hydraulischen Leistung häufig vernachlässigt, während Müller (2010) den Anteil der kinetischen Energie des Wassers berücksichtigt. Wenn der geodätische Höhenunterschied eher gering und die Fließgeschwindigkeiten verhältnismäßig hoch sind, soll laut Müller der kinetische Anteil berücksichtigt werden. Eine konkrete Aussage, an welchen Stellen die Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten gemessen werden müssen, treffen beide Autoren nicht.

An der Hochschule Darmstadt wurden an einem Versuchsstand mit einem Zuppinger Wasserrad bei identischen Betriebspunkten des Wasserrads differierende Wirkungsgrade von mehreren 10 % ermittelt. Zurückzuführen ist dies auf unterschiedliche Messstellen des Wasserstands und der Fließgeschwindigkeit entlang des Versuchsstands. Bei bestimmten Messstellenkonstellationen wurde ein Wirkungsgrad deutlich größer als 100 % ermittelt.

Aus diesen widersprüchlichen Ergebnissen stellten sich die Fragen nach (1) der „richtigen“ Position für die Messung der Wasserstände und der Fließgeschwindigkeiten am Versuchsstand, (2) nach dem Einfluss des kinetischen Energieanteils des Wassers und (3) dem Einfluss der Strömung zwischen den Wasserradschaufeln auf Leistung und Wirkungsgrad. Während bei oberflächigen Wasserrädern, bei denen das Wasser deutlich oberhalb der Radachse auf das Rad trifft, überwiegend der potentielle Energieanteil genutzt wird, wird bei tiefschlächtigen Wasserrädern überwiegend der kinetische Energieanteil genutzt. Bei mittelschlächtigen Wasserrädern, wie dem Zuppinger Wasserrad, werden beide Anteile in Energie gewandelt. Dabei kommt es offensichtlich auf den Betriebspunkt an, wie sich das Verhältnis der beiden Energiekomponenten zusammensetzt.

Versuchsstände und Messverfahren

In der Wasserbauhalle der Hochschule Darmstadt werden unterschiedliche Wasserkraftwandler analysiert. Zwei dieser Rinnen enthalten Zuppinger Wasserräder. Diese Versuchsanlagen wie auch die verwendete Messtechnik werden nachfolgend kurz erläutert.

Hölzernes Zuppinger Wasserrad

In einer 1 m breiten, 1 m hohen und 20 m langen Versuchsrinne mit einer elektronisch steuerbaren Wehrklappe am Ende der Rinne befindet sich ein 90 cm breites Zuppinger Wasserrad mit einem Durchmesser von 180 cm. Um ein seitliches Spaltmaß von jeweils 0,5 cm des Wasserrads zur Versuchsrinne zu realisieren, wurde die Versuchsrinne auf kompletter Länge auf eine lichte Breite von 91 cm verjüngt. Der Spalt über dem Bodensegment kann variabel angepasst werden. Das Wasserrad besteht aus einer Konstruktion von 10 Armen, welche die äußeren und inneren Kränze (jeweils 3 Stück) mit den drei Rosetten verbinden. An den Kränzen können bis zu 50 Schaufeln mittels Winkeleisen befestigt werden, über die Rosetten wird das gesamte Wasserrad mit der Welle verbunden. Bis auf die hölzernen Schaufeln ist die gesamte Konstruktion aus Stahl gefertigt (Harten 2018).

Das Wasserrad wurde von einem fränkischen Wasserradbauer im Maßstab 1:5 nach Vorlage eines existierenden Wasserrads gebaut und zu Testzwecken dem Wasserbaulabor zur Verfügung gestellt.

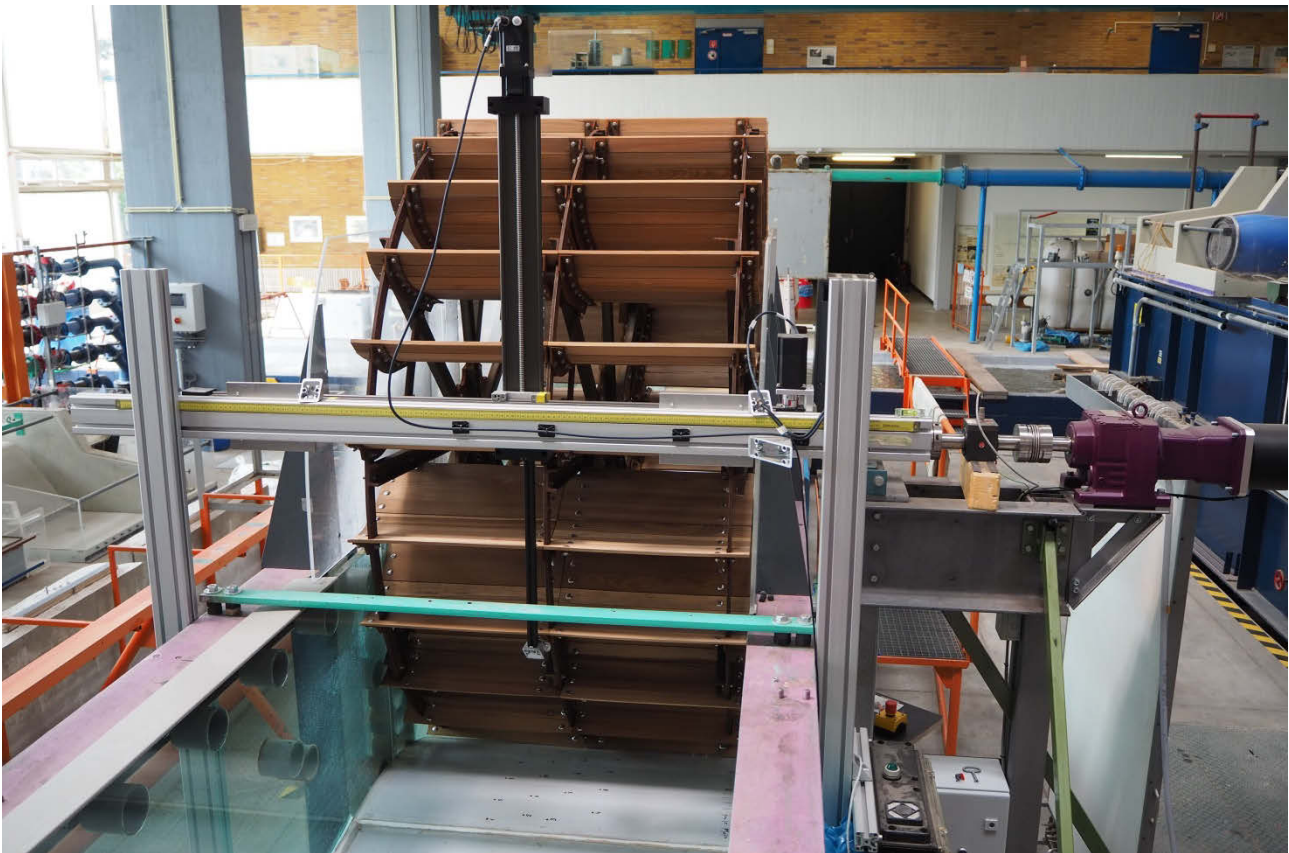


Bild 1: Modell Zuppinger Wasserrad

Bild 1 zeigt das Modell des Zuppinger Wasserrads frontal in Fließrichtung.

Der Rinnenboden wie auch das Kropfgerinne wurde aus Beton hergestellt. Um Wasserstände direkt vor, im und hinter dem Rad zu messen wurde das Kropfgerinne im Bereich des Wasserrads in Fließrichtung mit 76 Löchern mit einem Abstand von 1,5 cm versehen.

Die am Versuchsstand mittels LabView-Umgebung erfassten und dokumentierten Parameter sind die Wasserstände im Radbereich, sowie die Drehzahl und das Drehmoment des Wasserrads. Die LabView-Umgebung steuert eine Magnetpulverbremse mit der das Wasserrad auf eine konstante Drehzahl gebremst wird. Die Wasserstandsmessungen direkt vor, hinter und im Wasserrad erfolgen mit einer Druckharfe. Der Durchfluss wird über eine eigene Steuerung geregelt und erfasst.

PIV-Wasserrad

Um insbesondere die Strömungen zwischen den Wasserradschaufeln zu untersuchen und quantifizieren zu können wurde ein weiterer Versuchsstand mit der sogenannten *Particle Image Velocimetry*, kurz PIV, als Messmethode konzeptioniert und realisiert. Die Versuchsrinne ist 17,30 m lang, hat eine lichte Breite zwischen den Glasscheiben von 0,80 m und ist 0,70 m hoch. Am Ende der Rinne befindet sich eine elektrisch verstellbare Wehrklappe zum Einstellen unterschiedlicher Unterwasserstände. Weiter verfügt die Versuchsrinne über einen eigenen Wasserkreislauf um zu verhindern, dass die Seedingpartikel des PIV-Systems in den gesamten Wasserkreislauf gelangen.

Die PIV ist ein berührungsloses optisches Messverfahren, das folgende wesentliche Bestandteile hat: (1) dem Wasser werden sogenannte Seedingpartikel zugefügt, die komplett in diesem dissipieren; (2) es wird ein Lasersystem verwendet; (3) über eine spezielle Konstellation von Spiegeln und Linsen wird der Laserstrahl zu einer vertikal in Fließrichtung verlaufenden Lichtebene (Lasersheet) mit einer Dicke von einem Millimeter an der schmalsten Stelle aufgeweitet; (4) mit einer sCMOS-Kamera, die so außerhalb der Rinne angebracht ist, dass sich deren Bildebene parallel zum Lasersheet befindet (2D-PIV) werden in sehr kurzen aufeinanderfolgenden Zeitabständen Aufnahmen angefertigt.

Strömen die Seedingpartikel durch das Lasersheet, werden sie beleuchtet und sind auf den Aufnahmen als helle Punkte zu erkennen. Mit der Kamera werden zwei Aufnahmen in einem fest definierten zeitlichen Abstand erstellt, so dass durch die Positionsveränderung der einzelnen Seedingpartikel in den beiden Aufnahmen auf das Bewegungsmuster und die Geschwindigkeit der Strömung geschlossen werden kann (Raffel et al. 2018). Hierfür wird die Kreuzkorrelation als Berechnungsverfahren verwendet.

Um das Lasersheet in den Strömungskanal lenken zu können und Aufnahmen von der Seite zu ermöglichen, sind das Kropfgerinne und die Seitenwände aus Glas gefertigt. Da weder das Lasersheet über den kompletten Untersuchungsbereich des Wasserrads reicht, noch die Kamera diesen Bereich mit nur einer Aufnahme erfassen kann, sind Laser, Optiken und Kamera so aufgebaut, dass sie mit einer Traversierung unter dem Kropfgerinne in drei Achsen verfahren werden können, um an unterschiedlichen Stellen des Wasserrads PIV-Messungen durchzuführen. In Bild 2 sind die wesentlichen Bestandteile des PIV-Systems innerhalb der Laserschutzkabine abgebildet.



Bild 2: Versuchsstand PIV-Wasserrad

Neben den strömungsmechanischen Daten aus der PIV-Messung sind auch die zugehörigen leistungstechnischen Betriebsparameter des Rades relevant. Daher werden der Durchfluss, die Wasserstände ober- und unterstrom des Wasserrades, die Drehzahl und das Drehmoment über eine LabView-Umgebung erfasst und ausgewertet. Das verwendete Wasserrad ist ein Modell eines Zuppinger Wasserrads mit einem Durchmesser von 122 cm und einer Breite von 78,2 cm. Dadurch entsteht auf beiden Seiten ein Spalt von 0,4 cm zu den Glasscheiben. Der Spalt über dem Bodensegment kann variabel verstellt werden. Das Wasserrad kann mit bis zu 24 Schaufeln aufgebaut werden.

Aktueller Stand des Forschungsvorhabens

Die aktuellsten Arbeiten am Versuchsstand hölzernes Zuppinger Wasserrad befassten sich mit der Aufnahme der Wasserstände entlang des Wasserrads bei bestimmten Betriebspunkten. Die Wasserstände wurden mit einer Wasserharfe visualisiert und ausgemessen. Durch die rechnerische Kombination unterschiedlicher Messlochkonstellationen konnten je Betriebspunkt unterschiedliche hydraulische Leistungen und somit auch Wirkungsgrade berechnet und verglichen werden. Dabei war auffällig, dass sich bei einer bestimmten Messlochkonstellation bezogen auf die hydraulischen Verhältnisse im Wasserrad durchweg realistische Wirkungsgrade im Bereich zwischen 70 % und 80 % ergaben. Dies allerdings nur, wenn auch der kinetische Energieanteil berücksichtigt wurde. Wurde nur

der hydrostatische Energieanteil bei gleicher Messlochkonstellation verwendet, wurden teilweise Wirkungsgrade größer 90 % berechnet. Die als nächstes anstehenden Arbeiten werden sich mit der Optimierung der Messwertaufnahme an den Messlöchern befassen.

Der PIV-Versuchsstand befindet sich in der Fertigstellung. Es wird sich zeigen, ob mit den verwendeten optischen Elementen die Anforderungen der PIV an eine geeignete Dicke des Lasersheets entlang des Messbereichs erreicht werden können oder ob der Strahlengang angepasst werden muss. Die Dicke des Lasersheets hat maßgeblichen Einfluss auf die Aussagekraft der PIV-Messungen. Weiter muss die Wiederholgenauigkeit der Verfahrung der Traversierung überprüft werden. Diese muss gegeben sein, um eine verlässliche Aussage über die tatsächliche Position der Bildaufnahmen zu treffen.

Zusammenfassung

An der Hochschule Darmstadt existieren zwei Versuchsstände mit Modellen von Zuppinger Wasserrädern. An dem Versuchsstand mit einem hölzernen Wasserrad wurde das aus Beton gefertigte Kropfgerinne so verändert, dass entlang des Wasserrads alle 1,5 cm ein Wasserstand mittels Messharfe gemessen werden kann. Dieser Versuchsaufbau soll dazu dienen, die gängigen Theorien zur Bestimmung der hydraulischen Leistung und somit auch des Wirkungsgrads zu hinterfragen. Aktuelle Arbeiten haben gezeigt, dass anders als häufig in der Fachliteratur beschrieben, die Berücksichtigung des kinetischen Energieanteils einen erheblichen Einfluss auf die Berechnung der hydraulischen Leistung hat.

Der zweite Versuchsstand mit der PIV als Messmethode befindet sich kurz vor der Fertigstellung. An diesem Versuchsstand werden zukünftig insbesondere die Strömungsverhältnisse des Wassers innerhalb des Wasserrads untersucht. Ziel ist es, Rückschlüsse auf hydraulische Verluste und Reibungsverluste zu ziehen, wie auch den Effekt unterschiedlicher Schaufelgeometrien zu untersuchen.

Literatur

- Harten, Matthias von (2018): Analyse des Zuppinger-Wasserrades. Hydraulische Optimierungen unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte. Dissertation. Universität Stuttgart, Stuttgart. Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung. Online verfügbar unter <https://elib.uni-stuttgart.de/handle/11682/10339>.
- Müller, Wilhelm (2010): Die Wasserräder. Berechnung, Konstruktion und Wirkungsgrad. 2., durchges. und erw. Aufl. von G. Trossbach, 4. reprint. d. 2. Aufl. [d. Ausg. 1939]. Detmold: Schäfer.
- Nuernbergk, Dirk (2013): Wasserräder mit Kropfgerinne. Berechnungsgrundlagen und neue Erkenntnisse. 2. Aufl. Detmold: Schäfer.
- Raffel, Markus; Willert, Christian E.; Scarano, Fulvio; Kähler, Christian J.; Wereley, Steven T.; Kompenhans, Jürgen (2018): Particle image velocimetry. A practical guide. Third edition. Cham: Springer.