

INGENIEURWISSENSCHAFTEN

ENTWICKLUNG VON AXIALTURBINEN FÜR DIE FLUSSENERGIENUTZUNG

Development of axial turbines for the use of river energy

Christoph Thiericke* & Dominik Surek

Hochschule Merseburg (FH), Geusaer Str., 06217 Merseburg

Eingegangen am 21.12.2010; Überarbeitet eingereicht am 09.05.2011; nicht peer-reviewed

Korrektorat: Holger Lange

Zusammenfassung

Bisher gehören Kaplan turbinen zu den schnellläufigen Wasserturbinen, die für geringe Gefällehöhen von $H = 2\text{ m}$ bis $H = 25\text{ m}$ und für große Volumenströme eingesetzt werden. Flüsse und Kanäle verfügen aber auch über das Energiepotential der Strömung, das ebenfalls genutzt werden kann. Dafür gibt es bisher keine geeigneten Wasserturbinen. Deshalb werden axiale Wasserturbinen berechnet und entwickelt, die mobil ohne Staustufe und ohne Wehr im Fluss installiert werden können und die Strömungsenergie im Fluss zur Elektroenergieerzeugung nutzen.

Schlüsselwörter: Wasserturbine | Axialturbine | Flussenergienutzung

Abstract

Up to now Kaplan turbines belong to the high-speed water turbines used for low slope heights from $H = 2\text{ m}$ to $H = 25\text{ m}$ and for large volume flows. However, rivers and canals also bear another energy potential, their stream. Up to now there are no suitable water turbines for a specific use of stream energy. Therefore, axial water turbines are calculated and developed. These turbines can be installed mobile without barrage or weir in the river and can then use the energy in the river for the production of electric energy.

keywords: water turbine | axial turbine | stream water turbine

Die Triebkraft von Flüssen ist das Gefälle i als Verhältnis der Neigung Δh zur Längeneinheit L des Flusses oder der Neigungswinkel der Flusssohle α in Strömungsrichtung. Der Sinus dieses Neigungswinkels stellt das Gefälle dar mit $i = \sin(\alpha) = \Delta h/L$. Dieses Gefälle ist in Gebirgsgegenden mit $i = 3 \cdot 10^{-3}$ bis $9 \cdot 10^{-3}$ groß und es nimmt im flachen Land, wenn der Fluss zum Strom wird, bis auf Werte von $i = 0,3 \cdot 10^{-3}$ bis $i = 1,4 \cdot 10^{-3}$ ab. Hier erhält der Fluss eine größere Tiefe und Breite mit größeren Volumenströmen von $V = 80\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ bis $2300\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ und er wird für die energetische Nutzung interessant. In diesem Bereich des ruhigen Fließens sinkt jedoch auch die mittlere Strömungsgeschwindigkeit auf Werte von $c = 1,0\text{ m s}^{-1}$ bis $2,5\text{ m s}^{-1}$, die im Jahresverlauf

noch Schwankungen unterworfen ist. Für diese Strömungsgeschwindigkeiten bei Flusstiefen von $h = 1,6\text{ m}$ bis $9,5\text{ m}$ sind mobile Wasserturbinen zu entwickeln und mit geeigneten Elektrogeneratoren zu koppeln.

Die Schnellaufzahlen und spezifischen Drehzahlen dieser Wasserturbinen liegen weit über denen der bisher bekannten axialen Kaplan turbinen. Damit werden in Abhängigkeit der Flussgröße und des Turbinendurchmessers Turbinenleistungen von $P = 3,0\text{ kW}$ bis 140 kW erreicht.

PARAMETER VON FLUSSWASSERTURBINEN OHNE STATISCHEM GEFÄLLE

Nach Betz (1926) kann dem strömenden Wasser in Flüssen nur ein Teil der kinetischen Energie von einer frei fahrenden Wasserturbine der Größe von $c_p = 16/27 = 0,59$ entzogen werden, so dass sich das in Abb. 1a dargestellte Abströmprofil c_3 einstellt (Betz, 1926). Der übrige Anteil der kinetischen Flussenergie von 41 % wird zur Abströmung benötigt. Damit kann die Turbinenleistung aus der Tiefe und Breite des Flusslaufs ermittelt werden. Folgende Bedingungen sind dabei zu beachten:

- (i) Die Wasserturbine soll vollständig in den Fluss eintauchen.
- (ii) Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Flusswassers von $c = 1,0\text{ ms}$ bis $2,5\text{ m s}^{-1}$ ist abhängig vom Fluss und von der Jahreszeit.
- (iii) Die Flusstiefe begrenzt den Turbinenaußendurchmesser. Für eine Flusstiefe von $h = 2,0\text{ m}$ kann der größte Turbinendurchmesser mit $d = 1,8\text{ m}$ ausgeführt werden.
- (iv) Die spezifische Drehzahl von Flusswasserturbinen nimmt Werte von $n_q = 500\text{ min}^{-1}$ bis 2500 min^{-1} an, die weit über den spezifischen Drehzahlen von Kaplan turbinen liegen.
- (v) Bei Flusswasserturbinen ist die Druckzahl gleich dem Quadrat der Lieferzahl $\Psi = c^2/u^2 = \varphi^2$, die Schnellaufzahl beträgt $\sigma = 1/\varphi$ und die interessante Bedingung, dass die Durchmesserzahl δ für alle Flusswasserturbinen den Wert $\delta = 1,0$ annimmt (Surek & Stempin, 2011).

*christoph.thiericke@hs-merseburg.de; 0049/3461/46/2923

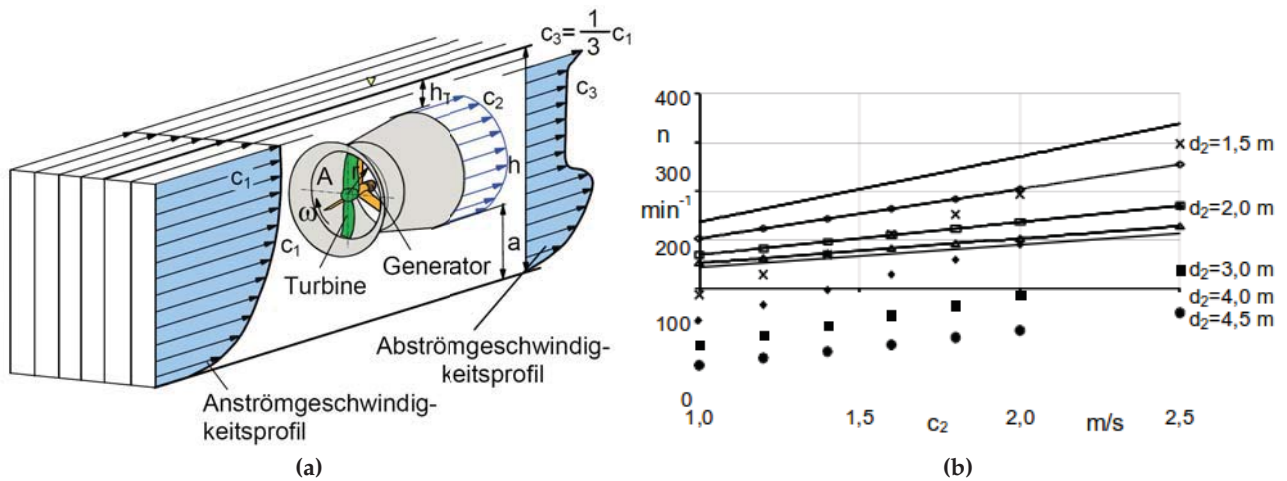


Abb. 1: (a) Austrittsgeschwindigkeitsprofil aus der Flusswasserturbine durch Entzug der Strömungsenergie. (b) Drehzahl von Flusswasserturbinen in Abhängigkeit der Anströmgeschwindigkeit c_2 für die Laufraddurchmesser $d_2 = 1,5\text{ m}$ bis $4,5\text{ m}$ bei der Schnelllaufzahl von $\sigma = 10$ und dem Nebenverhältnis $\nu = d_N/d_2 = 0,32$

Damit können die Abmessungen und die Drehzahl von Flusswasserturbinen bestimmt werden. Aus der Druckzahl Ψ für Flusswasserturbinen folgt mit der spezifischen Nutzarbeit $\Psi = c_2^2/2$:

$$\Psi = \frac{2Y}{u_2^2} = \frac{2c_2^2}{2u_2^2} = \frac{c_2^2}{u_2^2} = \frac{c_2^2}{\pi^2 n^2 d_2^2} = \Phi^2 \tag{I}$$

wobei die Laufraddrehzahl n über die Gl. II gegeben ist:

$$n = \frac{c_2^2}{\pi \sqrt{d_2 \Psi}} \tag{II}$$

Die Turbinendrehzahl ist also abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit c_2 , von der erreichbaren Druckzahl Ψ und von dem Laufradaußendurchmesser d_2 , der für die deutschen Flüsse im Bereich von $d_2 = 1,5\text{ m}$ bis $4,5\text{ m}$ liegt.

Wird die Gl. 2 für die Druckzahl von $\Psi = \varphi^2 = 0,01$, die Strömungsgeschwindigkeit $c_2 = 1,0\text{ m s}^{-1}$ bis $2,5\text{ m s}^{-1}$, für Laufraddurchmesser von $d_2 = 1,5\text{ m}$ bis $4,5\text{ m}$ ausgewertet, so ergeben sich Turbinendrehzahlen von $n = 40\text{ min}^{-1}$ bis $n = 335\text{ min}^{-1}$. In Abbildung 1b ist das Drehzahlkennfeld $n = f(c_2, d_2)$ in Abhängigkeit der Meridiangeschwindigkeit im Laufrad und des Laufradaußendurchmessers dargestellt.

Als Generator für die Flusswasserturbinen können Unterwassergeneratoren als Naben- oder hochpolige Außenringläufergeneratoren eingesetzt werden.

DESIGN VON FLUSSWASSERTURBINEN

Mobile Flusswasserturbinen können unterschiedlich gestaltet werden. Sie können auf Pontons installiert oder direkt in den Fluss eingetaucht werden. Die direkt eintauchenden Flusswasserturbinen beruhen auf einer österreichischen Erfindung, die Stromboje genannt wird. In Abb. 2a ist eine Flusswasserturbine der Fa. KSB dargestellt.

Flusswasserturbinen können als freilaufende oder ummantelte Axialturbinen mit einem Vor- oder Nachleitrad ausgerüstet werden. Es ist auch zweckmäßig die Wasserturbinen mit einer Einlaufdüse und mit einem Austrittsdiffusor auszustatten, um eine höhere Energieausbeute zu erreichen.

Mit Rücksicht auf eine hohe Energieausbeute und einen hohen Gesamtwirkungsgrad ist die Flusswasserturbine nach Abb. 2b mit einer elliptischen Einlaufdüse mit Nasenumströmung, mit einem Vorleitrad, das eine große Umfangskomponente der Flussanströmung erzeugt, mit einem profilierten Turbinengehäuse als Diffusor und mit einem geringen Axialspalt zwischen Laufrad und Gehäuse ausgeführt.

DESIGN DES LAUFRADSCHAUFELGITTERS

Das Schaufelgitter des Laufrades mit zwei Laufschaufeln ist im Außenschnitt und im äußeren Bereich des Radienverhältnisses $r/r_2 \geq 0,40$ mit einem großen Teilungsverhältnis t/l mit Werten von $t/l = 3,33$ bis $11,11$ ausgeführt. Der Anstellwinkel im Außenschnitt ist mit $\beta_1 = 6,86^\circ$ sehr gering und auch die Schaufelprofilwölbung ist sehr klein. Erst im Innenschnitt besitzt die Schaufel infolge des Drallsatzes eine beträchtlich größere Schaufelanstellung β_1 . Die Profile sind innen auch stärker gewölbt. In Abb. 2c ist das Schaufelgitter mit zwei Schaufeln für den Mittelschnitt des Laufrades dargestellt. Die spätere Schaufelprofilauslegung der Laufschaufeln wird mindestens für 12 Schaufelschnitte von $r/r_2 = 0,12$ bis $r/r_2 = 1,0$ vorgenommen. Nach dem Vorentwurf der Leit- und Laufschaufeln erfolgt die dreidimensionale Nachrechnung der Schaufelgitter und der gesamten Flusswasserturbine mit einem CFD-Programm. Dafür wird vorteilhaft das ANSYS-Programm CFX benutzt. Die Vernetzung der Turbine erfolgt auf der Grundlage des Parametersatzes der CAD-Konstruktion.

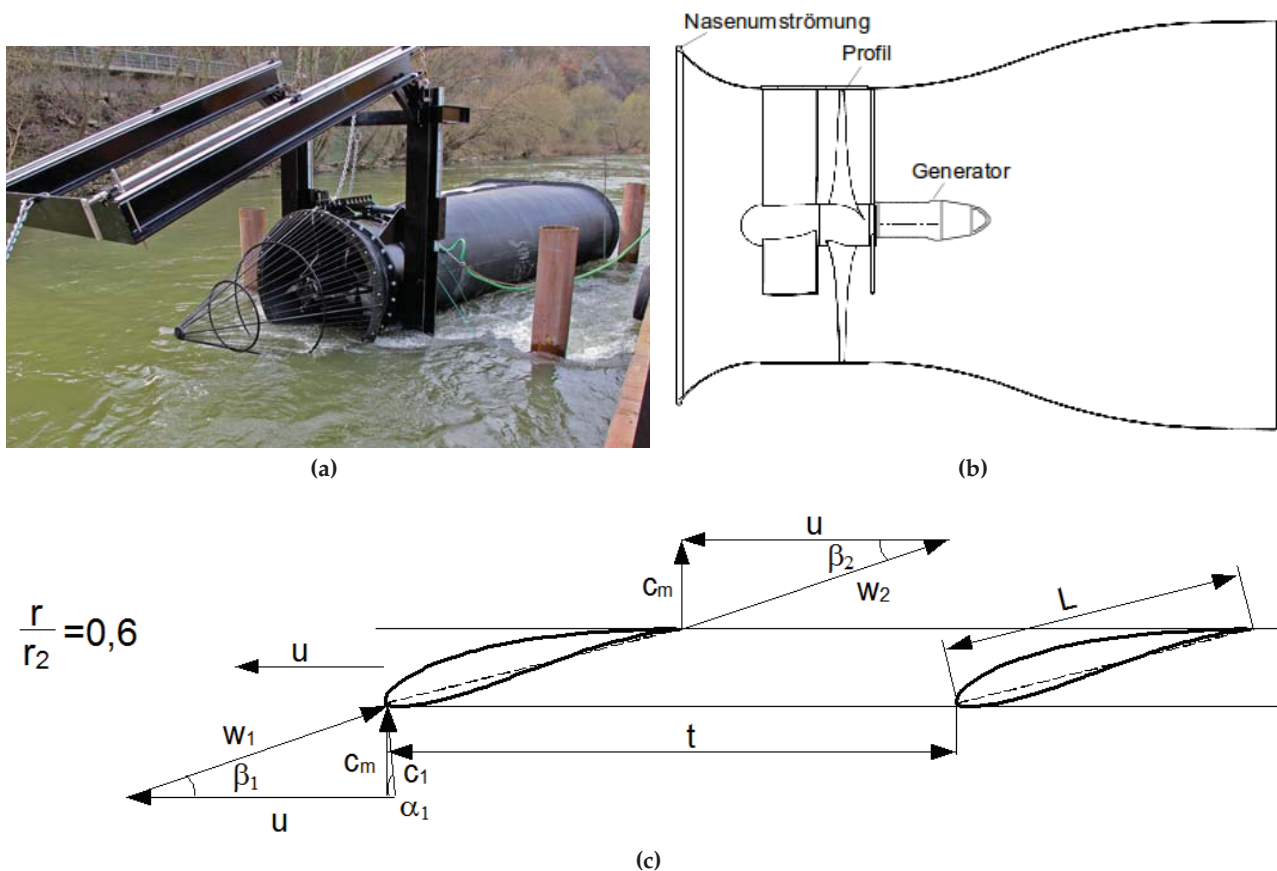


Abb. 2: (a) Axiale Flusswasserturbine mit Schutzrechen, Einlaufdüse und Austrittsdiffusor während der Installation im Fluss (KSB 2010). (b) Meridianschnitt einer ummantelten Flusswasserturbine für den Laufraddurchmesser von $d_2 = 2,0$ m und die Anströmgeschwindigkeit von $c_1 = 1,50$ m s⁻¹. (c) Schaufelgitter des Turbinenlaufrades mit Geschwindigkeitsdreiecken für den Mittelschnitt mit $t/L = 4,34$

BEZEICHNUNGEN

Kürzel	Einheit	Bedeutung
c	m s ⁻¹	Strömungsgeschwindigkeit
d	m	Laufraddurchmesser
H	m	Gefällehöhe
h	m	Flusspiegelhöhe
i	-	Gefälle
L	m	Profillänge
n	min ⁻¹	Drehzahl
n_q	min ⁻¹	spez.ifische Drehzahl
Y	J kg ⁻¹	spezifische Nutzarbeit
β	°	Schaufelwinkel
δ	-	Durchmesserzahl
φ	-	Durchflusszahl
ψ	-	Druckzahl
σ	-	Schnelllaufzahl

REFERENZEN

Betz A (1926): Windenergie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.

Surek D & Stempin S (2011): *Dimensionslose Kennzahlen und CordierDiagramm für mobile Flusswasserturbinen.* *Wasserkraft & Energie* 2: -.

Zu zitieren als: **Thiericke C & Surek D (2011):** Entwicklung von Axialturbinen für die Flussenergienutzung. *Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler* 2011/3(2): S. 21 – 23

Please cite as: **Thiericke C & Surek D (2011):** Development of axial turbines for the river energy use. *German Journal for Young Researchers* 2011/3(2): pp. 21 – 23