

Funktionsweise der Wasserturbinen

Die Erfindung des Turbo-Wasserrads

Die heutigen Turbinen der Wasserkraftwerke verbinden, wie bereits die Wasserräder, meistens das Aktions- und Reaktionsprinzip (mit Ausnahme der Pelton- oder Freistrahlturbine). Ihren Namen haben sie von dem französischen Ingenieur Claude Burdin, der diesen Begriff erstmals für sein 1824 entwickeltes Wasserrad verwandte (von lat. "turbo", was soviel wie Kreisel oder Wirbel bedeutet). Burdin wollte damit den Preis von 6 000 Francs erringen, der für die Konstruktion eines industriell verwertbaren Wasserrads ausgesetzt worden war.

Zum Laufrad das Leitwerk

Den Preis gewann allerdings nicht Burdin, sondern sein Schüler Benoît Fourneyron, der die praktische Nutzbarmachung des Reaktionsprinzips mit einer zweiteiligen Konstruktion verwirklichte: Das Wasser strömt innerhalb eines geschlossenen Systems zunächst durch die gekrümmten Schaufeln eines Leitwerks, bevor es auf die Schaufeln des Laufrads trifft und diese in Bewegung setzt. Fourneyrons Maschine hatte den erstaunlich hohen Wirkungsgrad von 80 bis 85 %. Im Prinzip funktionieren so bis heute alle "Überdruckturbinen" (Francis-, Kaplan- und Pelton-Turbinen). Mit dem Unterschied, daß Fourneyron das Leitwerk im Innern des Laufrads anbrachte und das Wasser radial abfließen ließ, während heute das Leitwerk außen sitzt und das Wasser nach innen durch das Laufrad fließt.

Die Francis-Turbine

Ein Nachteil von Fourneyrons Reaktions-Turbine war, daß sich beim Übergang des Wassers aus dem innen angebrachten Leitwerk in die Schaufeln des Laufrads Turbulenzen ergaben, die bremsende Wirkung hatten. 1837 kam der Deutsche Karl Anton Henschel auf die Idee, dies zu vermeiden, indem er die Leitschaufeln oberhalb des Laufrads statt in dessen Zentrum anordnete. Weitere Verbesserungen ersannen der Amerikaner Samuel B. Howd, der 1838 das Laufrad ins Innere des Leitwerks verlegte, sowie der Engländer James Thomson, der verstellbare Leitschaufeln und gekrümmte Laufradschaufeln einführte. 1849 konstruierte der anglo-amerikanische Ingenieur James B. Francis auf diesen physikalischen Grundlagen eine auch technisch verbesserte Turbine, die einen Wirkungsgrad von rund 90 % erreichte. Von ihm hat die Francis-Turbine ihren Namen, die heute die verbreitetste und am universellsten verwendbare Turbinenart ist. Die größten Francis-Laufräder erreichen ein Gußgewicht von ca. 150 t und Leistungen von über 700 MW.

Die Francis-Turbine kann auch als Pumpe arbeiten. Dies macht man sich in den Pumpspeicherkraftwerken zunutze, wo eine Francis-Turbine und der Generator häufig zur sog. Pump-Turbine vereinigt sind, die sich wahlweise auf (stromverbrauchenden) Pumpbetrieb oder (stromerzeugenden) Generatorbetrieb umstellen läßt.

Die Kaplan-Turbine

Speziell für geringe Wasserdrücke entwickelte zu Beginn der zwanziger Jahre der österreichische Ingenieur Viktor Kaplan die nach ihm benannte Kaplan-Turbine. Ihr Laufrad gleicht einem Schiffspropeller, durch dessen verstellbare Schaufeln die Wassermassen strömen und - umgekehrt wie beim Schiffsantrieb - den Propeller antreiben. Das Leitwerk der Kaplan-Turbine lenkt die einströmenden Wassermassen so, daß sie parallel zur Welle der Turbine auf die drei bis sechs Schaufeln des Laufrads treffen. Sowohl die Laufradschaufeln als auch das Leitwerk sind verstellbar. Dies ermöglicht das Anpassen an Schwankungen der Wasserführung und des Gefälles. Große Kaplan-Turbinen werden vor allem vertikal eingebaut, so daß das Wasser von oben nach unten durchströmt. Die äußerst schnellaufende Turbine weist in einem weiten Belastungsbereich einen Wirkungsgrad von 80 bis 95 % auf.

Rohr-Turbinen

Für niedrige Fallhöhen wurde aus der Kaplan-Turbine die Rohr-Turbine entwickelt, die in Laufwasser-Kraftwerken Leistungen bis 75 MW erzielt. Die Rohr-Turbinen werden horizontal, in der Richtung des strömenden Wassers, eingebaut, so daß Umlenkverluste weitgehend vermieden werden. Der Generator befindet sich in Verlängerung der Turbinenwelle in einem vom Wasser umströmten, was-

serdichten Gehäuse. Rohr-Turbinen sind platzsparend und ermöglichen deshalb hervorragend die landschaftliche Einpassung von Wasserkraftwerken.

Straflo-Turbinen

Eine Weiterentwicklung der Rohrturbine ist die Straflo-Turbine (von engl. "straight flow"). Generator und Turbine bilden hier eine Einheit: Das Laufrad der Turbine trägt auf seinem äußeren Kranz zugleich die magnetischen Pole des Rotors, während der Stator, der äußere Teil des Generators, in das Turbinengehäuse integriert ist. Das Wasser fließt also durch den Rotor des Generators hindurch.

Durchström-Turbinen

Für kleinere Leistungen werden auch sog. Durchström-Turbinen eingesetzt, die sich durch einfachen, robusten Aufbau und kostengünstige Konstruktion auszeichnen. Sie verfügen über ein walzenförmiges Laufrad mit gekrümmten Schaufeln, denen das Wasser durch einen Leitapparat zugeführt wird. Eine solche Turbine mit einer Leistung von 30 kW ist z.B. im Wasserkraftwerk der Familie Reiffers in Lünebach (Südeifel) installiert.

Die Pelton-Turbine

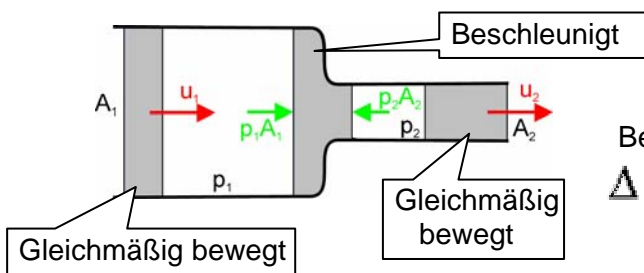
Aber auch das reine Aktionsprinzip, bei dem nur die Bewegungsenergie des Wassers genutzt wird, gelangte zu neuen Ehren: 1880 konstruierte der amerikanische Ingenieur Lester Pelton eine Freistrahl-turbine, die als Pelton-Turbine bekannt wurde. Sie erinnert vom Aussehen wie vom physikalischen Prinzip her am ehesten an das klassische Stoß-Wasserrad. Allerdings gliedert sich jedes der bis zu 40 Schaufelblätter in zwei Halbschalen (Becher). Das Wasser wird auch nicht einfach über die Schaufeln geleitet, sondern trifft die Mitte der Halbschalen tangential, mit hohem Druck aus einer oder mehreren Düsen, so daß der Wasserstrahl in den Schaufelmulden eine Ablenkung um fast 180 Grad erfährt und seine Energie fast vollständig an die Turbine abgibt.

Bei einer Fallhöhe von 1000 Metern schießt der Wasserstrahl mit einer Geschwindigkeit von etwa 500 km/h aus der Düse. Da die kinetische Energie des Wasserstrahls von der Fallhöhe abhängt, ist die Pelton-Turbine typisch für Kraftwerke im Hochgebirge. Die Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades muss, um das Maximum der Leistung zu erreichen, gleich der halben Austrittsgeschwindigkeit des Wasserstrahls sein. Der Wasserstrahl hat dann nach der Umlenkung in der Schaufel relativ zum Erdboden den Wert Null, so dass die gesamte kinetische Energie (abzüglich der Reibungsverluste) von dem Laufrad aufgenommen wurde.

Daraus ergibt sich für die Drehzahl n des Peltonrades:

$$n = \frac{v_{strahl}}{4 \cdot \pi \cdot r} \quad \text{mit:} \quad v_{Strahl} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Die Begrenzung der Durchflussmenge ist durch den Unterdruck am Einlaufwerk der Fallrohre durch das abfließende Wasser gegeben.



Änderung der kinetischen Energie:

$$\Delta W_{kin} = \frac{1}{2} \rho V u_2^2 - \frac{1}{2} \rho V u_1^2$$

Beim Übergang am Flüssigkeitselement geleistete Arbeit:
$$\Delta W_{pot} = p_1 A_1 x_1 - p_2 A_2 x_2 = (p_1 - p_2) V$$

Energieerhaltungssatz:

$$\frac{1}{2} \rho u_1^2 + p_1 = \frac{1}{2} \rho u_2^2 + p_2$$

Gesamtdruck: p_0

Staudruck: $p_s = p_0 - p$

Statischer Druck: $p = p_0 - p_s$

Die Summe aus kinetischer und potentieller Energie ist konstant, (Bernoulli-Gleichung):

$$\frac{1}{2} \rho u^2 + p = p_0 \quad \text{Voraussetzung: inkompressibel: } \frac{u_1}{u_2} = \frac{A_2}{A_1}, \text{ keine Reibung.}$$