

sind die mittelschlächtigen Wasserräder ziemlich teuer, sie besitzen aber einen guten Wirkungsgrad von 75 bis 78 $\frac{1}{10}$. Für kleinere Gefälle von 0,4 bis 1,5 m eignen sich besonders die tiefschlächtigen Wasserräder, deren Einlauf unter Radmittel liegt.

Während bei den bisher aufgeführten Wasserrädern das Gewicht des Wassers wirkte, kommt bei den unterschlächtigen Rädern der Stoß des Wassers gegen die Schaufeln zur Geltung. Das Rad wird entweder in das freifließende Wasser eingetaucht oder es wird eine Spannschütze verwendet. Da der Wirkungsgrad nur etwa 30 bis 35 $\frac{1}{10}$ ist, ist seine Anwendung selten und schwer zu rechtfertigen.

Der Wirkungsgrad der einzelnen Bauarten ist verschieden, den höchsten Wirkungsgrad ergeben langsam laufende Räder. Die Wirkungsgrade der einzelnen Systeme sind aus der folgenden Tabelle ersichtlich:

Radkonstruktion	Wirkungsgrad
1. Oberschlächtiges Wasserrad:	
a. bei kleinen Gefällen	0,65—0,75
b. „ mittleren „	0,75—0,80
c. „ großen „	0,80—0,85
2. Rückenschlächtiges Wasserrad	
	0,60—0,70
3. Mittelschlächtiges Wasserrad:	
a. Schaufelrad mit Kulisseneinlauf	0,75—0,78
b. mit Überlauf (System Zuppinger)	0,72—0,80
c. Sagebienenrad	0,75—0,85
4. Unterschlächtiges Wasserrad:	
a. gewöhnliches Kropfrad	0,30—0,40
b. Kropfrad mit schräger Spannschütze	0,60—0,70
c. Ponceletrad	0,50—0,75

Im Vergleich zu den Turbinen ergeben sich folgende Punkte:

1. Während die Turbinen für alle Gefälle und fast alle Wassermengen ausführbar sind, eignen sich die Wasserräder nur für Gefälle bis allerhöchstens 12 m und kleine Wassermengen.

2. Auch bei bestens konstruierten Wasserrädern wird niemals ein so hoher Wirkungsgrad erreicht, wie bei gut gebauten Turbinen; während andererseits der Wirkungsgrad der Turbinen bei geringer Beaufschlagung ganz bedeutend sinkt.

3. Eine direkte Kupplung von Arbeitsmaschinen oder Transmissionen ist bei den Wasserrädern trotz stets liegender Welle infolge der niedrigen Umdrehungszahlen nicht möglich, es macht sich vielmehr die Zwischenschaltung von Zahnradvorgelegen nötig, die einen schlechten Wirkungsgrad haben. Bei den Turbinen ergeben sich hingegen durch die höheren Umdrehungszahlen wesentlich günstigere Übertragungsverhältnisse, bei den Turbinen mit liegender Welle ist eine direkte Kupplung leicht möglich.

4. Die Regelung der Wasserräder muß durch Spannschütze erfolgen, sie ist infolgedessen schwerfällig und unvollkommen. Die Regelung der Turbinen hingegen, für die mehrere Wege offen stehen, ist für die praktischen Verhältnisse ausreichend und als genügend vollkommen zu bezeichnen.

5. Die Lebensdauer der Wasserräder und der Turbinen ist als vollkommen gleich anzusehen. Die Reinigung und Reparatur der Wasserräder ist infolge der leichteren Zugänglichkeit leichter als bei den Turbinen. Die Turbinenkanäle sind im allgemeinen leichter der Verstopfung durch Schlamm und Geschwemmel ausgesetzt als die Wasserkammern der Wasserräder. Der Frost hingegen hat bei Wasserrädern eher eine schädigende Wirkung, die sogar zu Stillständen führen kann, als bei den Turbinen mit ihren großen Wassergeschwindigkeiten.

6. Starke Schwankungen sind namentlich bei den Franzisturbinen gänzlich ohne Einfluß auf den Wirkungsgrad, während die Wasserräder durch schwankenden Wasserspiegel äußerst ungünstig beeinflusst werden. Immerhin gibt es eine Reihe von Fällen, in denen das Wasserrad der Turbine vorzuziehen ist, z. B.:

Bei sehr langsam und unregelmäßigem Gang der Arbeitsmaschinen (Hämmer, Pochwerk, Ölmühlen, Walken usw.) und für die Ausnutzung kleiner Kräfte;

bei Anlagen mit sehr unreinem Wasser und starker Eisbildung;
bei geringen Gefällen unter 1,5 m und stark schwankenden Wassermengen;
bei Gefällen unter 10 m und geringem Wasserzulauf.

Eine größere Verbreitung als die Wasserräder haben die

Turbinen

gefunden, bei denen das Wasser hauptsächlich dadurch wirkt, daß es in den Schaufeln der feststehenden Leiträder eine bestimmte Schnelligkeit und Richtung erhält, aus der es dann durch die Schaufeln des sich drehenden Laufrades wieder abgelenkt wird.

Im allgemeinen sind folgende Anforderungen an die Turbinen zu stellen, wenn sie als wirtschaftlich und gut gelten sollen:

1. Sie müssen jede Gefällhöhe und jede Wassermenge wirtschaftlich ausnutzen können.

2. Der Wirkungsgrad muß unter allen Umständen und bei allen Beaufschlagungsgraden hoch sein;

3. die Welle muß mit gleichem Vorteil vertikal und horizontal angeordnet werden können;

4. zur Erzielung eines leichten Triebwerkes und zur Ermöglichung der direkten Kupplung soll die Umdrehungszahl möglichst hoch sein;

5. die Regelung muß leicht, einfach und möglichst vollkommen sein;

6. alle Teile müssen eine leichte Zugänglichkeit besitzen.

Die Einteilung der Turbinen kann nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen, so z. B. nach der Art der Beaufschlagung in Achsialturbinen und Radialturbinen.

Bei den Achsialturbinen erfolgt die Beaufschlagung in der Richtung der Achse; bei den Radialturbinen dagegen senkrecht zur Achse.

Man kann aber auch eine Einteilung nach der Wirkungsweise des Wassers treffen und zwar in:

Reaktions- oder Überdruckturbinen und Strahl-, Druck- oder Aktions-turbinen. Beide Arten können radial oder achsial beaufschlagt werden.

Für die Reaktionsturbinen ist kennzeichnend, daß das durch das Laufrad hindurchfließende Wasser unter einem gewissen Druck steht. Hierzu sind folgende Systeme zu rechnen: die Fourneyron-, Franzis- und Jonvalturbine.

Die Aktionsturbinen hingegen lassen das Wasser ohne jede Pressung durch das Laufrad fließen, es wirkt hier lediglich durch Druck infolge der Richtungsänderung des Wasserstrahles. Hierher gehören die Girard- und die Schwamkrugturbinen.

Die Erfindung der Turbinen liegt etwa 100 Jahre zurück, bis dahin war man bei der Ausnutzung der Wasserkräfte lediglich auf die Wasserräder angewiesen. Im Jahre 1820 führte Fourneyron die erste praktisch verwertbare Turbine aus, die radiale, obere Wasserzuführung und volle Beaufschlagung besaß. Die Turbine besaß ein Leitrad, das innerhalb des Laufrades lag. Die Wasserführung erfolgte dementsprechend von innen nach außen in radialer Richtung.

Gegen 1840 erschien der Amerikaner Franzis mit einer Turbine, die ein innenliegendes Laufrad und ein außenliegendes Leitrad hatte, in der Öffentlichkeit. Diese Anordnung hatte natürlich eine Wasserströmung von außen nach innen in radialer Richtung zur Folge; der Abfluß des Wassers erfolgte in achsialer Richtung.

Fast zu derselben Zeit führten Henschel und Jonval ihre Turbinen so aus, daß sie das Wasser in achsialer Richtung durch die Turbinen führten. Die Jonvalturbine war bis vor 20 Jahren das fast allein ausgeführte System.

Im Jahre 1851 kam Girard mit einer Turbine heraus, bei der sich das Laufrad unter dem Leitrad befindet. Um nun die freie Entwicklung des durch das Laufrad fließenden Wassers nicht zu behindern, erhielten die seitlichen Kränze Öffnungen, durch welche die atmosphärische Luft in die Schaufelräume treten kann, da das Wasser die Kammern nicht vollständig ausfüllt. Da sie Luft in den Schaufelräumen führt, kann die Girardturbine nicht im Rückstau arbeiten.

Um diesem Übelstande abzuhelfen, machte Hänel den Schaufelraum nur so groß, daß die freie Oberfläche des durch den Schaufelraum hindurchfließenden Wasserstrahles die nächste Schaufel gerade berührte, hierdurch wurden die Lufträume beseitigt, so daß die Turbine im Rückstau arbeiten konnte. Ein großer Vorteil der Girardturbine liegt darin, daß sie sich vorzüglich regulieren lassen, so daß sie für schwankende Wassermengen bestens geeignet sind. Die Regulierung erfolgt durch teilweise Beaufschlagung des Laufrades. Die Girardturbine werden auch als Partialturbinen bezeichnet, deren wichtigster Vertreter die Schwamkrugturbine ist.

Heute baut man jedoch die Turbinen fast ausschließlich nach dem Franzissystem, das eine Preßstrahlurbine mit außenschlächtem Eintritt und achsialen Austritt des Beaufschlagungswassers darstellt. Die Achse kann sowohl horizontal als auch vertikal sein. Die Franzisturbine läßt sich mit Vorteil für alle Gefälle zwischen 0,8 und 100 m, auch darüber, anwenden. Die Umlaufzahlen der Franzisturbinen sind im Verhältnis zum Gefälle die größten, diese Turbinen eignen sich daher zum direkten Antrieb schnellaufender Maschinen und erfordern leichte Triebwerke.

Durch Anwendung des Saugrohres ermöglicht die Franzisturbine eine volle Ausnutzung des Gefalles bei jedem Wasserstand. Sie eignet sich für alle Wasserverhältnisse, soweit nicht die weiter unten zu besprechenden Freistrahlturbinen zur Anwendung kommen. Die Franzisturbine läßt sich bis zu den größten Einheiten von 10000 PS. und darüber hinaus ausführen. Da alle Zellen mit Wasser gefüllt sind, so hat der Rückstau keinerlei schädigende Einwirkung.