

dem Wassermotor in 1 Sekunde zuströmt. Die mechanische Arbeitsmenge aus einer verfügbaren Wassermenge Q in Kubikmetern pro Sekunde und einer Gefällhöhe H in Metern beträgt $\frac{1000 \cdot Q \cdot H}{75}$ Pferdestärken oder $13,3 \cdot Q \cdot H$ Pferdestärken.

Dieser *absolute Nutzeffekt des fallenden Wassers* gilt in bezug auf die motorische Ausnutzung nur theoretisch, d. h. er muß noch mit dem Wirkungsgrad des Wassermotors multipliziert werden, um dessen effektive Leistung zu finden. Je nach der Art des Wassermotors schwankt der Wirkungsgrad zwischen 0,5 und 0,85.

Wo nicht das Gewicht des fallenden, sondern die lebendige Kraft des fließenden Wassers der Berechnung zugrunde zu legen ist, geht man von folgender Formel aus: Ist v die mittlere Geschwindigkeit eines Stromes, Q das Volumen der durch den Querschnitt fließenden Wassermenge und g die Beschleunigung durch die Schwerkraft, so berechnet sich der absolute Nutzeffekt (N) des fließenden Wassers zu $N = \frac{1000 \cdot Q}{75} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{6,67 \cdot Q \cdot v^2}{g}$.

II. Wasserräder.

Ein Wasserrad besteht aus einem Radkranz, der mit Schaufeln oder Zellen besetzt ist, und zwar erstrecken sich die Schaufeln oder Zellen in gleichen Abständen über den ganzen Umfang des Rades hin. Man unterscheidet hiernach *Schaufelräder* und *Zellenräder*;

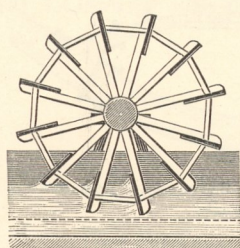


Fig. 24.
Schiffmühlenrad.

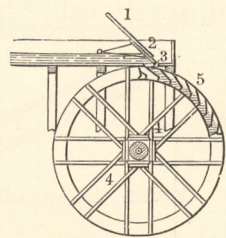


Fig. 25. Oberschlächtiges Wasserrad mit Spannschütze.

Bei den ersteren sind die Schaufeln am Radkranz befestigt, und es ist nur ein Boden vorhanden: *Wasserräder mit offenem Schaufelraum*. Bei den Zellenrädern, die auch *Kübelräder* genannt werden, sind die Schaufeln noch durch Seitenwände eingeschlossen so daß Zellen (Kübel) zur Aufnahme des Wassers entstehen: *Wasserräder mit geschlossenem Schaufelraum*. Dieser konstruktive Unterschied zeigt, daß in den Schaufelrädern das Wasser

nur durch seine lebendige Kraft wirken kann, indem es gegen die Schaufeln stößt, dagegen in den Zellenrädern durch sein Gewicht, indem es nach und nach die verschiedenen Zellen anfüllt und die so beschwerte Radseite niederdrückt.

Das einfachste Wasserrad ist die *Schiffmühle*, ein uralter Wassermotor. Die Schiffmühlenräder (Fig. 24) hängen frei im Strome, und zwar lagern sie auf zwei durch Balken verbundenen, im Flußlauf verankerten Kähnen. Da diese sich mit dem Wasserspiegel heben und senken, bedarf es einer Stauanlage nicht. Dafür hat die Schiffmühle aber auch nur einen geringen Wirkungsgrad, weil sehr viel Wasser seitlich den Schaufeln ausweicht. Deshalb werden Schiffmühlenräder nur noch wenig benutzt.

Die üblichste Einteilung der Wasserräder ist die nach der Stelle (Höhe) des Wassereintrittes in das Rad. Man erhält so *oberschlächlige*, *rückenschlächlige*, *mittelschlächlige* und *unterschlächlige Wasserräder*. Von diesen baut man die oberschlächligen und rückenschlächligen Räder als Zellenräder, dagegen die mittelschlächtigen und unterschlächtigen als Schaufelräder.

Die Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers muß größer sein als die Umlaufgeschwindigkeit des Rades; daher läßt man es erst eine kleine Höhe, das *Stoßgefälle*, durchfallen, ehe es in das Rad eintritt. Der Einlauf des Wassers geschieht mittels einer am Ende der Zuleitung, des *Gerrinnes*, eingebauten Vorrichtung, nämlich einer Quervorlage (*Schütze*), über die das Wasser entweder hinwegfließt: *Überfallschütze*, oder unter der es hindurchfließt: *Spannschütze*, oder die es durch besondere Einlaufkanäle passiert: *Kulisseneinlauf*. Durch Hoch- oder Niederstellen der Schütze läßt sich die Wasserzufuhr regulieren.

Oberschlächtiges Wasserrad. Bei diesem (Fig. 25) tritt das Wasser unter einer Spannschütze 1, 2 hindurch in einem breiten, aber dünnen Strahle bei 3 in der unmittelbaren Nähe des Scheitels des Rades 4 ein, wobei der Strahl so weit über den Scheitel hinweg reicht, daß

die Drehungsrichtung des Rades dadurch gegeben ist. Die mit Wasser gefüllten Zellen 5 senken sich durch ihr Gewicht und steigen leer wieder auf. Je später das Wasser ausfließt, desto günstiger ist der Wirkungsgrad; daher müssen die Schaufeln entsprechend weit übereinander greifen, wie es Fig. 25 erkennen läßt. Die Vereinigung von zwei überschlächtigen Wasserrädern mit entgegengesetzt gerichteten Schaufeln auf derselben Welle nebeneinander, um eine Umkehr der Drehungsrichtung nach Belieben zuzulassen, heißt *Kehrrad*. Überschlächtige Räder dürfen auf keinen Fall ins Unterwasser eintauchen. Die Räder eignen sich für Gefälle von 4—10 m bei Wassermengen bis 0,7 cbm in der Sekunde und haben einen Wirkungsgrad von 0,7—0,8. Die Ansicht eines überschlächtigen Wasserrades zeigt Fig. 26; an der einen Seite des Rades ist um den Umfang ein Zahnkranz gelegt, in den ein kleineres Getriebe eingreift, um die Energie in Form einer schnelleren Rotation zu übertragen.

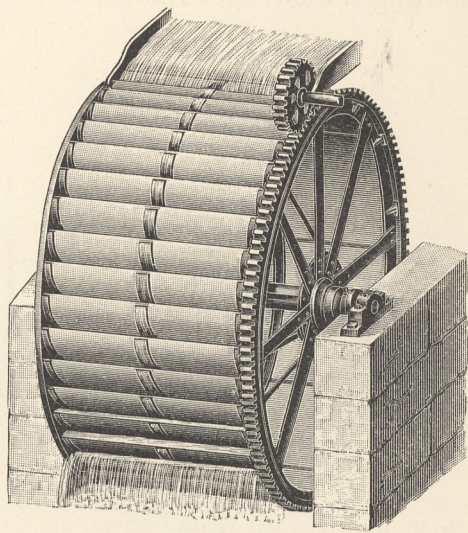


Fig. 26. Überschlächtiges Wasserrad (Ansicht).

Rückenschlächtige Wasserräder. Ein solches mit Kulisseneinlauf ist in Fig. 27 dargestellt. An die Stelle des Kulisseneinlaufs 1 tritt zuweilen eine Überfallschütze. Das Rad 2 ist stets größer als die Gefällhöhe, und der Wassereintritt geschieht unterhalb des Scheitels auf der oberen Hälfte des Radumfanges. Meist sind diese Räder als Schaufelräder gebaut, also mit Schaufeln 3 ohne seitlich geschlossene Zellen; dafür muß dann das Mauerwerk 4 des Gerinnes die Seiten und den Umfang des Rades eng umschließen. Wird ein derartiges Rad jedoch als Zellenrad gebaut, so ist eine kreisförmige Ausmauerung des Gerinnes nicht nötig. Die Wasserzufuhr durch den Kulisseneinlauf kann mittels eines Schiebers 5, 6 und des Rades geregelt werden. Die rückenschlächtigen Wasserräder eignen sich für Gefälle zwischen 3 und 5 m und für Wassermengen von 0,4—1,3 cbm in der Sekunde; sie besitzen einen Wirkungsgrad von 0,65—0,75 und finden vorzugsweise Verwendung für einen veränderlichen Wasserstand im Ober- und Untergraben.

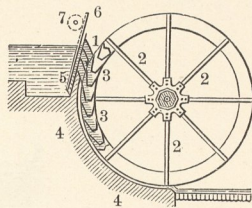


Fig. 27.

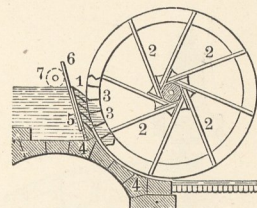


Fig. 28.

Fig. 27. Rückenschlächtiges, Fig. 28. Mittelschlächtiges Wasserrad mit Kulisseneinlauf.

Mittelschlächtige Wasserräder. Bei diesen (Fig. 28) erfolgt der Wassereintritt etwas unterhalb der Mitte des Rades 2 entweder durch einen Kulisseneinlauf 1 oder über eine Überfallschütze hinweg. Diese Räder haben Schaufeln 3 ohne Seitenwände; daher muß der untere Teil des gemauerten Gerinnes 4 an Umfang und Seiten des Rades eng anschließen. 5, 6 ist wieder der Zuflussschieber mit dem Rade 7. Die mittelschlächtigen Wasserräder eignen sich mit Kulisseneinlauf für Gefälle von 2,5—3,5 m und Wassermengen von 0,5—2 cbm in der Sekunde, bei einem Wirkungsgrade zwischen 0,65 und 0,7. Mit Überfallschütze sind sie geeignet für Gefälle von 1,5—2 m und Wassermengen von 0,5—2,5 cbm bei einem Wirkungsgrade von 0,6—0,65.

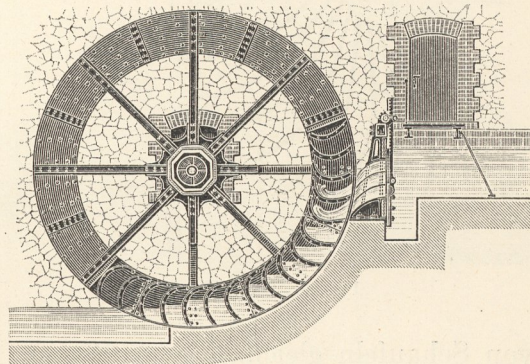


Fig. 29. Mittelschlächtiges Wasserrad der Merseburger Maschinenfabrik Herrich & Co. im Schnitt dargestellt.

In Fig. 29 ist ein mittelschlächtiges Rad der Merseburger Maschinenfabrik Herrich & Co. im Schnitt dargestellt (die Schaufeln sind nur zum Teil hineingezeichnet). Meistens besteht dieses Rad ganz aus Eisen; es wird in das Mauerwerk eingebaut. Das Wasser wird durch drei übereinanderliegende Kulissen zugeführt.

Ist das verfügbare Gefälle noch geringer als etwa 1,5 m, so läßt sich kaum noch eine

Gewichtswirkung des Wassers erzielen, und der Wirkungsgrad wird sehr klein. Das in Fig. 30 wiedergegebene *Kropfrad mit Spannschütze*, das man auch *halbmittelschlächtiges* Wasserrad nennt, ist für Gefälle von 0,5—1,5 m und Wassermengen von 0,6—4 cbm bestimmt; der Wirkungsgrad schwankt zwischen 0,5 und 0,6. Wesentlich höher ist der Wirkungsgrad bei den neueren Ausführungen derartiger Räder; so beträgt er z. B. beim *Sagebienrad* (Fig. 31) etwa 0,70—0,75. Die

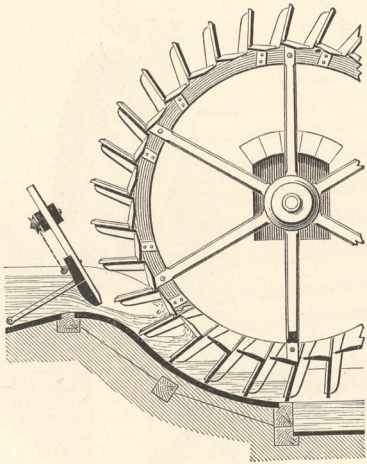


Fig. 30. Kropfrad mit Spannschütze.

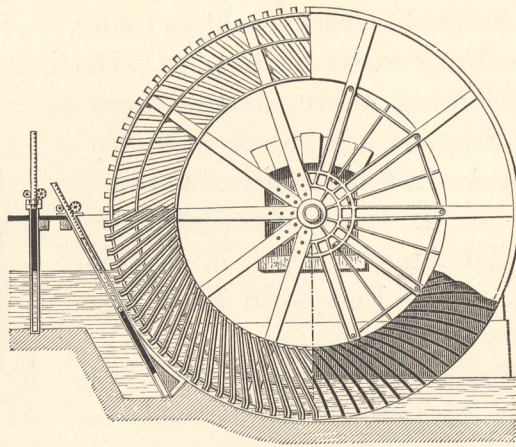


Fig. 31. Sagebienrad mit Überfallschütze.

Umfangsgeschwindigkeit dieses Rades ist sehr klein, ebenso auch die Umlaufzahl; daher erhalten diese Räder einen großen Durchmesser, eine große Kranzbreite und Schaufelzahl. Das Wasser tritt langsam in dickem Strahle ohne bedeutende Stoßwirkung ein, so daß das Gefälle als Druckgefälle günstig zur Wirkung kommt. Die Schaufeln sind entweder durchweg gekrümmt oder nur am äußeren Ende umgebogen; beide Formen sind in Fig. 31 gezeigt. Eine noch größere Kranzbreite besitzt das *Zuppingerrad* (Fig. 32), dessen Schaufeln so gekrümmt sind, daß sie senkrecht aus dem Unterwasser aufsteigen.

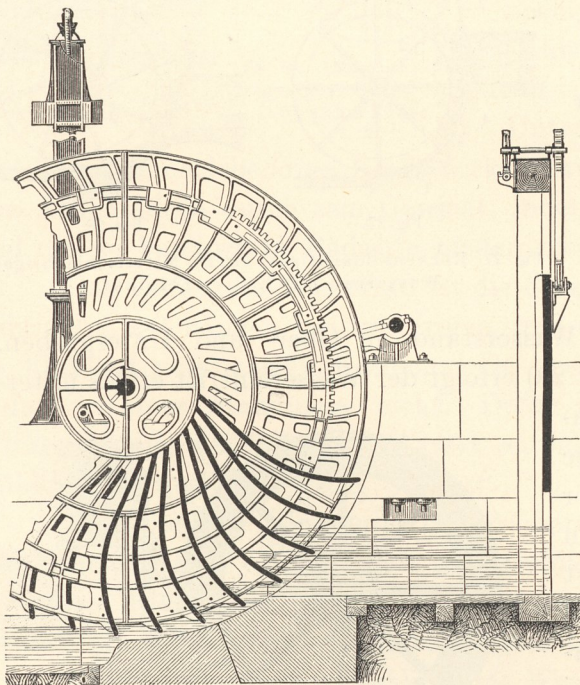


Fig. 32. Zuppingerrad.

Unterschlächlige Wasserräder. Hierher gehört bereits das alte, in Fig. 24 abgebildete Schiffmühlerrad, das einen sehr geringen Wirkungsgrad hat. Ihrer ganzen Natur nach, da das Wasser nur die jeweils untersten Schaufeln trifft, können die unterschlächtigen Räder nicht mehr das Gewicht des Wassers ausnutzen, sondern ausschließlich dessen lebendige Kraft, und dies erklärt den geringen Wirkungsgrad ohne weiteres. Etwas größer als bei den einfachen Schiffmühlen ist er immerhin bei den unterschlächtigen Rädern im sogenannten *geraden* oder *Schnurgerinne* (Fig. 33), bei denen das Wasser lediglich durch den Stoß wirkt und sehr viel Wasser unbenutzt vorbeifließt. Solche Räder eignen sich für Gefälle von 0,2—0,7 m und Wassermengen bis 5 cbm in der Sekunde und zeigen einen Wirkungsgrad bis zu 0,35. Der Wirkungsgrad steigt etwas, wenn das Gerinne kropfförmig hergestellt ist (*Kropfgerinne*), wie bei der Anordnung in Fig. 34, denn durch das Kropfgerinne befindet sich stets eine größere Zahl

von Schaufeln gleichzeitig im Wasser. Zuweilen findet sich an diesen Rädern eine Vorrichtung (*Pansterung, Pansterwerk*), um sie mit ihren Lagern heben und senken zu können, wie es der Stand des Unterwassers gerade erfordert.

Eine besondere Art der unterschlächtigen Räder verkörpert das *Ponceletrad* (Fig. 34); infolge der eigenartigen Schaufelkonstruktion hat es einen verhältnismäßig hohen Wirkungsgrad (etwa 0,7). Die Schaufeln sind so gekrümmt, daß das Wasser genau in der Richtung der Schaufelkrümmung eintritt, an den Schaufeln eine gewisse Strecke in die Höhe steigt und dann wieder zurückfällt. Der Stoß beim Wassereintritt wird dadurch ganz

vermieden, und das Wasser wirkt nur durch seine lebendige Kraft. Das Ponceletrad eignet sich für Gefälle von 0,5—1,5 m.

Bauart der Wasserräder. Die gewöhnlichen Wasserräder werden mit steifen Armen ausgeführt, jedoch findet man bei modernen Konstruktionen häufig das *Suspensionsprinzip* durchgeführt, wobei der Radkranz mit der Nabe durch dünne, nur auf Zug beanspruchte Rundeisenstangen verbunden ist, eine Konstruktion, wie sie beim Fahrrad üblich ist. Für Räder von nicht über 2,5 m Breite genügen zur Anbringung der Schaufeln zwei Systeme von Armen; noch breitere Räder erhalten drei Systeme von Armen. Zur Versteifung sind außerdem Diagonalstangen angeordnet, welche die seitlichen Beanspruchungen aufnehmen.

Die Kraftübertragung von dem Wasserrade nach den angeschlossenen Maschinen geschieht durch einen Zahnkranz, der entweder als besonderes Zahnrad ausgebildet und für sich auf der Nabe befestigt ist, oder aber direkt den Radkranz umschließt, wie dies schon Fig. 26 zeigte.

Das Material der Welle ist Schmiedeeisen oder Stahl. Steife Arme werden aus Schmiedeeisen, Gußeisen oder Holz hergestellt und an der Nabe durch Rosetten befestigt.

Der Radkranz besteht aus Holz, Schmiedeeisen oder Gußeisen; die Schaufeln werden aus Holz oder Eisen fabriziert. Der Radboden (Zellenboden) besteht immer aus Holz, selbst bei eisernen Schaufeln.

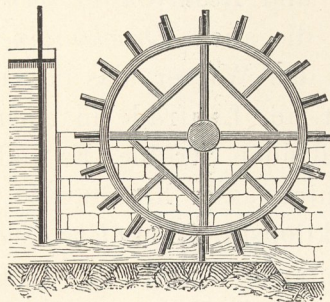


Fig. 33. Unterschlächtiges Wasserrad im Schnurgerinne.

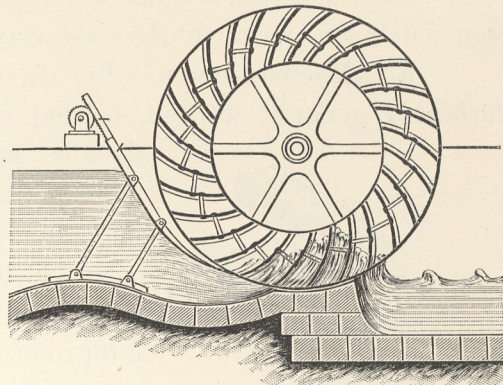


Fig. 34. Ponceletrad.

III. Turbinen.

Früher unterschied man *vertikale Wasserräder* (mit horizontaler Welle), wie sie im voranstehenden Abschnitt besprochen sind, von den *Turbinen*, die als *horizontale Wasserräder* (mit vertikaler Welle) bezeichnet wurden. Aber seitdem auch vertikale Turbinen nicht nur gebaut werden, sondern sogar sehr verbreitet sind, kann dieser Unterschied nicht mehr als bezeichnend gelten. Dagegen liegt der grundlegende Unterschied in der Art, wie das Wasser zur Wirkung gelangt.

In den Turbinen wirkt das Wasser weder durch sein Gewicht noch durch Stoß auf die Schaufeln, sondern *durch allmähliche Abgabe seines Arbeitsvermögens durch Geschwindigkeits- und Richtungsänderung*.

Ein wesentliches Merkmal ist ferner, daß das Wasser den Turbinen durch einen besonderen Leitapparat zwangläufig zugeführt wird. Auch tritt das Wasser nicht an der gleichen Stelle in die Schaufeln ein und wieder aus, wie bei den gewöhnlichen Wasserrädern, sondern durchfließt die Schaufeln in ununterbrochenem Strahl und verläßt sie derart, daß Einströmung und Ausfluß getrennt sind. Die Schaufeln des Turbinenlaufes sind eigenartig geformt, und der feststehende Leitapparat ist ebenfalls mit Schaufeln ausgestattet. Bei vielen Turbinen bildet der Leitapparat ein vollständiges Rad und verteilt das Wasser durch seine Schaufeln so, daß gleichzeitig sämtliche Schaufeln des Laufrades vom Wasser getroffen werden. Auch dies ist ein grundsätzlicher Unterschied von den Wasserrädern, bei denen ja immer nur ein kleiner Teil des Radumfangs und der Schaufeln unter den Einfluß des Wassers gelangt.

Die Grenzen zwischen den Wasserrädern und den Turbinen lassen sich nicht scharf ziehen. Rein äußerlich versteht man unter „Turbine“ die schnell laufende, in weiten Grenzen regulierbare oder aber sich automatisch regulierende Wasserkraftmaschine, während als Wasserrad das schwere, sich langsam drehende Schaufelrad bezeichnet wird.

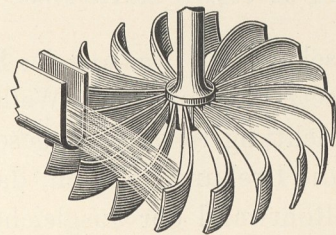


Fig. 35. Stoßrad.