

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

## **Der Maschinenbau**

**Redtenbacher, Ferdinand**

**Mannheim, 1863**

Austritt des Wassers

[urn:nbn:de:bsz:31-270981](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-270981)

des Rades, so wie auch der Schaufelraum gross, so wird die Luft nur wenig comprimirt. Ist dagegen der Strahl dick und ist die Geschwindigkeit des Rades und der Schaufelraum klein, so wird die Luft stark comprimirt. Diese für den Eintritt des Wassers sehr hinderliche Compression der Luft kann bei den Rädern die ein Gerinne haben, fast ganz vermieden werden, wenn man für jeden Zellen- oder Schaufelraum nach der Breite des Rades hin eine Spalte *b c* Fig. 1, Tafel VI., von 2 bis 3 Centimeter Höhe anbringt und dadurch der Luft einen Ausweg verschafft. Man nennt dies: das Rad ventiliren.

Oberschlächlige Räder können nicht ventilirt werden, es muss also dafür gesorgt werden, dass die Luft durch die äusseren Zellenmündungen entweichen kann, während durch dieselben das Wasser eintritt. Dies verursacht viele Schwierigkeiten, die jedoch gehoben werden können, wenn die Dicke des Wasserstrahls bedeutend kleiner genommen wird, als die Schluckweite (Weite der Zellenmündung) und wenn das Wasser so in die Zelle geleitet wird, dass die relative Bahn der Wassertheilchen gegen das Rad mit der Krümmung der äusseren Zellenwand übereinstimmt. Sind diese Bedingungen erfüllt, so wird während der Füllung einer Zelle zuerst unterhalb des Strahles, sodann oberhalb und unterhalb desselben, und zuletzt oberhalb ein freier Raum für das Entweichen der Luft vorhanden sein.

Der Nachtheil, welcher entsteht, wenn durch die Luft der Eintritt des Wassers erschwert oder verhindert wird, ist bei den ober-schlächtigen Rädern noch bedeutender, als bei den übrigen, denn bei den letzteren kann zwar die Stosswirkung sehr geschwächt werden, es kann aber doch kein Wasserverlust eintreten. Bei den ober-schlächtigen Rädern dagegen kann das Wasser, nachdem es bis zu einer gewissen Tiefe eingetreten ist, durch die comprimirte Luft wieder zurückgetrieben und selbst aus dem Rad hinausgeschleudert werden, somit für die Wirkung auf das Rad ganz verloren gehen. Diese Erscheinung kann man bei der Mehrzahl von den bestehenden ober-schlächtigen Rädern beobachten.

**Austritt des Wassers.** Bei allen Rädern ohne Ausnahme soll das Wasser ohne Geschwindigkeit das Rad verlassen, und die Punkte, in welchen die einzelnen Theilchen austreten, sollen nicht über dem Spiegel des Unterwassers liegen. Die Wahrheit dieses Grundsatzes ist leicht zu begreifen. Hat nämlich das Wasser im Moment seines Austrittes eine gewisse Geschwindigkeit, so besitzt es noch eine gewisse lebendige Kraft, die für die Wirkung auf das Rad verloren

geht. Erfolgt ferner der Austritt über dem Spiegel des Unterwassers, so ist die Höhe des Austrittspunktes über dem letzteren ein Gefällsverlust, denn das Wasser fällt durch diese Höhe hinab, ohne auf das Rad zu wirken. Nach diesem Grundsatz können wir nun leicht die Effektverluste beurtheilen, welche beim Austritt entstehen. Bei dieser Beurtheilung abstrahiren wir aber von dem Verlust, der entsteht, wenn das Wasser theilweise oder vollständig das Rad verlässt, bevor es den tiefsten Punkt erreicht hat. Wir denken uns also, jedes in das Rad eingetretene Theilchen trete nicht eher aus, als bis es den tiefsten Punkt erreicht hat. Unter dieser Voraussetzung verhält sich die Sache wie folgt. Wenn durch den Stoss, welcher beim Eintritt entsteht, die relative Geschwindigkeit ganz vernichtet wird (was in der Wirklichkeit nie vollständig eintritt) nehmen die Wassertheilchen nach dem Stosse die Geschwindigkeit  $v$  des Rades an und folgen demselben, bis sie das Rad verlassen. Alle Theilchen besitzen daher im Momente des Austrittes eine Geschwindigkeit  $v$ , welche mit jener des Radumfangs übereinstimmt; die lebendige Kraft, welche dieser Geschwindigkeit entspricht, geht daher verloren. Es entsteht also zunächst beim Austritt des Wassers ein Effektverlust, welcher durch das Produkt aus der in 1 Sekunde auf das Rad wirkenden Wassermasse  $Q$  in die Gefällshöhe  $\frac{v^2}{2g}$ , welche der Umfangsgeschwindigkeit des Wassers entspricht, gemessen wird. Dieser Verlust wächst demnach im quadratischen Verhältniss mit der Umfangsgeschwindigkeit des Rades, und könnte nur bei unendlich langsamer Geschwindigkeit desselben aufgehoben werden. Die Verluste, welche sowohl beim Eintritt als beim Austritt wegen der Geschwindigkeit des Rades entstehen, könnten daher beide zugleich nur beseitigt werden, wenn man das Rad unendlich langsam gehen und das Wasser nach tangentialer Richtung mit unendlich kleiner Geschwindigkeit eintreten liesse. Dies ist aber praktisch nicht realisirbar, weil das Rad, um diesen Bedingungen zu entsprechen, unendlich breit gemacht werden müsste. Es entsteht daher bei allen älteren Wasserrädern (von welchen gegenwärtig nur allein die Rede ist), wegen der Geschwindigkeiten des Rades und des eintretenden Wassers ein Effektverlust:

$$1000 Q \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (8)$$

Bei den Rädern, die mit einem Gerinne versehen sind, entsteht beim Austritt ferner noch ein Effektverlust, wenn der Spiegel

des Unterwassers höher oder tiefer steht als der Spiegel in der untersten Zelle, und wenn die Soole des Abzugskanals tiefer liegt, als der unterste Punkt des Rades. Von der Richtigkeit dieser Behauptung wird man sich vermittelst Tafel VI., Fig. 2, 3, 4, leicht überzeugen. Bei dem Rade Fig. 2 stehen die Wasserspiegel in der untern Zelle und im Abflusskanal gleich hoch, und die Soole des letzteren ist tangirend an dem tiefsten Punkt des Rades. Das Wasser hat hier durch sein Gewicht möglichst tief herabgewirkt, und seine Geschwindigkeit stimmt (vorausgesetzt, dass es keine relative Bewegung gegen die Schaufeln hat) genau mit jener des Wassers im Abflusskanal überein. So wie die Schaufel *a* in die Höhe zu gehen beginnt, schliesst sich die Wassermasse *b*, ohne eine Geschwindigkeitsänderung zu erleiden, an den Wasserkörper *c* des Abflusskanals an, und beide gehen dann weiter mit einander und mit unveränderlicher Geschwindigkeit fort, wenn das Gefälle des Kanals so gross ist, dass dadurch die Reibung der Wasserkörper *b* und *c* an der Soole und an den Wänden des Kanals überwunden wird. Bei dieser Anordnung geht also, wie man sieht, nur allein die lebendige Kraft verloren, welche der Austrittsgeschwindigkeit des Wassers entspricht.

Anders verhält es sich bei den Anordnungen Fig. 3 und 4. Bei der ersteren steht der Wasserspiegel in der Zelle über dem Unterwasser und der Boden des Abflusskanals liegt tiefer als der unterste Punkt des Rades. So wie die Schaufel *a* in die Höhe zu gehen beginnt, fliesst das Wasser bei *a* aus, hört also von diesem Augenblicke an auf, durch sein Gewicht noch tiefer herab zu wirken. Nebst der lebendigen Kraft, die das Wasser *b* unmittelbar vor seinem Austritt besitzt, geht also hier auch noch das Gefälle verloren, welches der Höhe des Wasserstandes in dem untersten Schaufelraum über dem Spiegel des Unterwassers entspricht.

Bei der Anordnung Fig. 4 steht der Wasserspiegel in dem untersten Schaufelraum tiefer als im Abflusskanal, und die Soole des letzteren liegt unter dem tiefsten Punkt des Rades. Hier könnte man zunächst meinen, dass an Gefälle gewonnen werde; allein so ist es nicht, denn die Wirkung, welche das Gewicht von *b* entwickelt, während der Spiegel von *b* unter jenen von *c* herabsinkt, wird durch den Gegendruck des Hinterwassers *c* gegen die Schaufel aufgehoben. So wie die Schaufel *a* in die Höhe zu gehen anfängt, tritt das Hinterwasser in den Schaufelraum ein, mit einer Geschwindigkeit, welche der Höhe des Spiegels von *c* über jenen von *b* entspricht, und nach einer Richtung, die der, welche die Wassermasse *b* besitzt, entgegengesetzt ist. Dadurch entsteht in dem

Wasser  $b$  ein unregelmässiges Durcheinanderwirbeln, die fortschreitende Bewegung der Masse  $b$  wird vernichtet, sie folgt nicht mehr freiwillig der Schaufel, sondern muss durch die Schaufel  $c$  fortgeschoben werden, um aus dem Rade hinauszukommen. Während dies geschieht, muss die Schaufel  $a$  das Wasser  $c$  vor sich wegdrängen, da es wegen der grossen Wassertiefe im Abflusskanal eine geringere Geschwindigkeit hat, als die Schaufel, und wenn das Rad etwas schnell geht, mit radial gestellten Schaufeln versehen ist und keinen sehr grossen Halbmesser hat, hebt die Schaufel  $a$ , während sie aus dem Unterwasser austritt, auch noch Wasser in die Höhe. Man sieht also, dass bei dieser Anordnung aus vierlei Ursachen Effektverlust entsteht. 1) Geht die lebendige Kraft verloren, die das Wasser  $b$  unmittelbar vor dem Augenblick besitzt, in welchem die Schaufel  $a$  in die Höhe zu gehen beginnt. 2) Muss der Wassermasse  $b$  die lebendige Kraft wieder ersetzt werden, die sie durch die unregelmässige Bewegung verliert, welche durch den Eintritt des Hinterwassers verursacht wird. 3) Muss die Schaufel  $a$  das Hinterwasser  $c$  verdrängen, ihm also lebendige Kraft mittheilen. 4) Hebt die Schaufel  $a$  Wasser in die Höhe. Hieraus ersieht man, wie nachtheilig es ist, wenn der Spiegel des Unterwassers zu hoch steht, was in Flüssen mit veränderlichen Wasserständen nur durch kostspielige Bauten vermieden werden kann. Man muss nämlich in solchen Fällen die Einrichtung treffen, dass das Rad sammt Gerinne gehoben oder gesenkt werden kann, so dass man den ganzen Bau den Veränderungen des Wasserstandes im Abflusskanal folgen lassen kann. Ist der Wasserstand im unteren Kanale nicht veränderlich, so soll man bei einem neu zu erbauenden Rade jederzeit die Anordnung Fig. 2 wählen.

Die überschlächtigen Räder hängen gewöhnlich etwas über dem Spiegel des Unterwassers, was man „freihängen“ nennt, manchmal tauchen sie auch in das Unterwasser ein. Im ersteren Falle geht die Höhe des untersten Radpunktes über den Spiegel des Unterwassers verloren. Im zweiten Falle werden die Zellen, nachdem sie sich beim Niedergange allmählig entleert haben, während des Durchganges durch das Unterwasser wiederum theilweise gefüllt, und ziehen, wie man sich auszudrücken pflegt, Wasser mit in die Höhe, was mit Kraftverlust verbunden ist.

Bei dem *Poncelet-Rade* ist der Austritt des Wassers mit Effektverlust verbunden, wenn derselbe über dem Spiegel des Unterwassers und mit Geschwindigkeit erfolgt. Das erstere tritt ein, wenn der Halbmesser des Rades zu klein und die Krümmung der Schaufeln zu schwach ist, das letztere, wenn die Umfangsgeschwin-

digkeit des Rades merklich grösser oder kleiner ist als die Hälfte der Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser das Rad erreicht.

• **Wasserverluste.** Um diese Verluste genauer kennen zu lernen, ist es nothwendig, das unterschlächtige Rad, die Räder mit Kreisgerinnen und das überschlächtige Rad besonders zu betrachten.

Die unterschlächtigen Räder haben gewöhnlich ein geradlinig fortlaufendes Gerinne (Schnurgerinne), in welchem die Schaufeln 3 bis 4 Centimeter Spielraum haben. Indem nun das Wasser auf der Bahn des Gerinnes hinläuft, kommen die untern Schichten desselben schnurgerade in den Spielraum und entweichen in den Abflusskanal, ohne auf das Rad eine Wirkung hervorzubringen. Der Effektverlust, welcher dadurch entsteht, ist offenbar der entweichenden Wassermenge und dem totalen Gefälle proportional, und das Verhältniss zwischen diesem Effektverlust und dem absoluten Effekte der Wasserkraft ist gleich dem Verhältniss zwischen der entweichenden und der dem Rad zufließenden Wassermenge, oder auch gleich dem Verhältniss zwischen der Weite des Spielraums und der Dicke der Wasserschicht vor dem Rade; beträgt dieser Spielraum  $\frac{1}{10}$  oder  $\frac{1}{5}$  von der Dicke der Wasserschicht, so gehen 10 bis 20 % von der absoluten Kraft verloren. Dieser Verlust kann fast ganz beseitigt werden, wenn man das Gerinne unter dem Rade aushöhlt, Tafel VI, Fig. 5, und das Rad in diese Aushöhlung herabsenkt, denn dann werden die untern Schichten des dem Rade zufließenden Wassers nicht mehr direkt in den Spielraum, sondern in das Innere des Rades geleitet.

Bei dem unterschlächtigen Rade verursacht auch die Schaufeltheilung einen Wasserverlust, indem jederzeit eine gewisse Wassermenge zwischen den Schaufeln nach dem Abzugskanal gelangt, welche nur theilweise oder gar keine Geschwindigkeitsänderung erleidet. Dieser Wasserverlust wächst mit der Schaufeltheilung und mit der Geschwindigkeit des Rades, nimmt aber mit dem Halbmesser des Rades ab. Auch findet man, wenn man die Sache genau verfolgt, dass dieser Verlust bei radial stehenden Schaufeln kleiner ist als bei schief stehenden. Unterschlächtige Räder mit geradlinig fortlaufendem Gerinne sollen also wegen des Wasserverlustes, der durch die Schaufeltheilung verursacht wird, 1) einen grossen Halbmesser, 2) eine enge Schaufeltheilung, 3) radial gestellte Schaufeln, 4) einen langsamen Gang erhalten. Dieser Verlust kann aber wiederum fast ganz beseitigt werden, wenn man das Gerinne unter dem Rade aushöhlt, und in diese Aushöhlung das Rad einsenkt. Diese ausgehöhlten Gerinne schützen also gegen jeden Wasserverlust, und ge-