Der Maschinenbau

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1863

Wasserverluste

urn:nbn:de:bsz:31-270981

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 oberschlächtige 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 $^1/_{10}$ oder $^1/_5$ 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 Gerinn 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 gewähren den Vortheil, dass der Halbmesser des Rades kleiner und die Schaufeltheilung grösser genommen werden kann, als bei einem geradlinigen Schnurgerinne. Was so eben von den unterschlächtigen Rädern gesagt wurde, findet auch seine Anwendung auf das Poncelet-Rad. Auch bei diesem können die Wasserverluste vermieden werden, wenn das Gerinne ausgehöhlt wird.

Bei den Rädern mit Kreisgerinnen haben die Schaufeln oder Zellen ebenfalls einen Spielraum, durch welchen aus allen denjenigen Zellen, wo der Wasserspiegel über der äusseren Zellenkante steht, Wasser entweicht und in die vorausgehende Zelle hineinfliesst, ohne während dieser Zeit auf das Rad wirken zu können. Bei den Schaufelrädern entweicht in der Regel das Wasser schon von da an, wo die Füllung geschieht. Bei den Kübelrädern dagegen beginnt das Entweichen gewöhnlich erst in bedeutender Tiefe unter dem Orte, wo die Füllung statt findet. Die Wassermengen, welche aus den verschiedenen Zellen in einem bestimmten Zeittheilchen entweichen, sind nicht gleich gross. Diese Wassermenge ist gewöhnlich in einiger Tiefe unter dem Punkte, in welchem das Entweichen beginnt, am grössten, und nimmt immer mehr und mehr ab, je mehr eine Zelle nach aufwärts oder nach abwärts von diesem Punkte entfernt ist. Der Unterschied dieser Wassermengen ist aber nicht sehr bedeutend, so dass wir sie für eine ungefähre Schätzung des Effektverlustes als gleich gross annehmen dürfen. Unter dieser Voraussetung ist aber klar, dass sich die Wassermenge in den einzelnen Zellen gar nicht ändert, während dieselben niedergehen, denn jede Zelle empfängt in jedem Augenblicke so viel Wasser, als sie verliert. Es ist also dann gerade so, als ob auf das Rad um so viel weniger Wasser wirkte, als durch den Spielraum einer Schaufel entweicht; der daraus entstehende Effektverlust ist daher gleich dem Produkte aus dem Gewicht der aus einer Zelle in einer Sekunde entweichenden Wassermenge in die Höhe des Punktes, in dem das Entweichen beginnt, über dem Spiegel des Unterwassers. Nennen wir zur Abkürzung der Sprache die so eben genannte Wassermenge q und die Höhe h, so ist $1000\, q\, h$ der Effektverlust. Nennen wir ferner die in einer Sekunde auf das Rad wirkende Wassermenge Q und das totale Gefälle H, so ist:

$$\frac{q\,h}{Q\,H}$$

das Verhältniss zwischen dem Effektverlust und dem absoluten Effekt der Wasserkraft.

Bei den Schaufelrädern ist gewöhnlich h, Tafel VI., Fig. 6, nicht viel kleiner als H, daher $\frac{h}{H}$ nahe gleich der Einheit, und das obige Verhältniss wird dann $\frac{q}{Q}$. Bei den Kübelrädern ist jederzeit h bedeutend kleiner als H, daher hier $\frac{h}{H}$ bedeutend kleiner als Eins ausfällt. Schaufelräder sind also hinsichtlich des Wasserverlustes nachtheiliger als Kübelräder. Die Wassermenge q ist gleich dem Produkte aus dem Flächeninhalt des Spielraumes in die mittlere Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser entweicht. Nennen wir b die Breite des Rades, ε den Spielraum der Schaufel im Gerinne und z die Höhe, welche der Geschwindigkeit entspricht, mit welcher das Wasser entweicht, so ist:

$$q = \varepsilon \, b \sqrt{2 \, g \, z}$$

und der Werth von $\frac{q}{Q}\frac{h}{H}$ wird dann:

$$\varepsilon \, b \, \frac{h}{H} \, \frac{\sqrt{2 \, g \, z}}{Q} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

Wenn die Schaufelkante, an welcher das Entweichen stattfindet, über dem Wasserspiegel der Zelle steht, nach welcher das Wasser entweicht, so ist z, Fig. 6, gleich der Höhe des Wasserspiegels in der Zelle, aus welcher das Wasser entweicht über der Kante, an welcher dies geschieht. Wenn dagegen die Kante, an welcher das Entweichen stattfindet, in das Wasser der voraus gehenden Zellen eintaucht, ist der Werth von z gleich dem Vertikalabstand der Wasserspiegel in den beiden Zellen. Annäherungsweise dürfen wir annehmen, dass in dem einen wie in dem andern Fall die Höhe z um so grösser ist, je mehr Wasser eine Zelle enthält.

Dies Alles vorausgesetzt, sind wir nun im Stande, uns eine ungefähre Vorstellung zu verschaffen, wie das Verhältniss zwischen dem Effektverlust, der durch das Entweichen des Wassers entsteht, und dem absoluten Effekt der Wasserkraft unter verschiedenen Umständen beschaffen ist. Dieses Verhältniss ist:

1. Bei Schaufelrädern grösser als bei Kübelrädern.

2. Es ist dem Spielraum proportional, daher bedeutend oder unbedeutend, je nachdem das Rad ungenau oder genau in das Gerinne eingepasst ist.

3. Es ist unter sonst gleichen Umständen bei einem eng geschaufelten Rade kleiner als bei einem weit geschaufelten, denn wenn bei zwei Rädern alles übereinstimmt bis auf die Schaufel-

theilung, wenn ferner beide gleiche Umfangsgeschwindigkeiten haben, endlich auf beide gleich grosse Wassermassen einwirken, so wird bei dem weitgeschaufelten Rade der Wasserstand z grösser sein, als bei dem enggeschaufelten. Der Wasserverlust ist also bei dem ersteren grösser als bei dem letzteren. Eine enge Schauflung ist also hinsichtlich des Wasserverlustes vortheilhaft.

4. Jenes Verhältniss ist unter sonst gleichen Umständen bei einem breiteren Rade grösser als bei einem schmäleren, denn nehmen wir z. B. zwei Räder an, von denen das eine viermal so breit ist als das andere, so wird bei dem viermal so breiten Rade die Ausflussöffnung viermal so gross, der Wasserstand z viermal so klein, die Ausflussgeschwindigkeit $\sqrt{2\,g\,z}$ aber nur zweimal so klein, die entweichende Wassermenge also zweimal so gross sein als bei dem schmäleren Rade. Für Räder, die nicht genau ausgeführt sind, ist demnach eine grosse Breite hinsichtlich des Wasserverlustes nachtheilig.

5. Jenes Verhältniss nimmt ab, wenn die radiale Tiefe des Rades zunimmt; denn offenbar ist der Wasserstand z und folglich auch die entweichende Wassermenge bei einem tieferen Rade kleiner als bei einem seichten. Ungenau gebaute Räder sollen daher hinsichtlich des Wasserverlustes tief gemacht werden, genau gebaute können jedoch seicht gemacht werden, weil dies für den Wassereintritt vortheilhaft ist.

6. Jenes Verhältniss ist unter sonst gleichen Umständen bei einem schnell gehenden Rade kleiner als bei einem langsam gehenden, denn so wie die Geschwindigkeit eines Rades wächst, nimmt der Wasserstand z, die Ausflussgeschwindigkeit $\sqrt{2\,g\,z}$ und die Wassermenge q ab. Ungenaue Räder sollen also hinsichtlich des Wasserverlustes schnell, genau gebaute Räder aber können langsamer gehen.

7. Endlich nimmt jenes Verhältniss ab, wenn der Wasserzufluss wächst. Wird der Wasserzufluss viermal so gross, so wird es auch der absolute Effekt der Wasserkraft, die entweichende Wassermenge wird aber dann nur zweimal so gross, weil bei vierfachem Wasserzufluss zwar die Höhe z auch viermal, die Ausflussgeschwindigkeit aber nur zweimal so gross ausfällt. Hinsichtlich des Wasserzuflusses ist es insbesondere bei ungenau gebauten Rädern gut, wenn eine grosse Wassermenge auf dieselben geleitet wird, oder mit anderen Worten, ungenaue Räder geben mit starkem Wasserzufluss einen günstigeren Effekt als mit schwachem.

Betrachten wir nun noch das oberschlächtige Rad hinsichtlich des Wasserverlustes, der durch das allmählige Entleeren der Zellen entsteht. Weil diese Räder keine Gerinne haben, entleert sich jede Zelle, bevor sie den tiefsten Punkt des Rades erreicht. Diese Entleerung beginnt, wenn eine Zelle die Stellung a, Fig. 7, erreicht hat, in der der Spiegel des in ihr befindlichen Wassers mit der äusseren Kante zusammentrifft, und dauert bis b fort, wo die Tangente an dem äussersten Punkt der Zelle eine horizontale Stellung erreicht. Halbirt man die Entfernung a b der Punkte des Radumfangs, die dem Beginne und dem Ende der Entleerung entsprechen, und misst die Höhe $mn = h$ dieses Punktes über dem Spiegel des Unterwassers, so hat man annähernd den Gefällverlust, der durch die allmählige Entleerung entsteht, und das Verhältniss zwischen dieser Höhe und dem totalen Gefälle ist gleich dem Verhältniss zwischen dem Effektverlust und dem absoluten Effekt der Wasserkraft.

Dieses Verhältniss wird klein:

1. Wenn die Zellen, nach dem Umfang des Rades gemessen, tief gebaut sind, und wenn die äussere Wand, welche die Bestimmung hat, das Wasser in dem Rade zu erhalten, den Umfang des Rades unter einem kleinen Winkel schneidet. Dies ist für sich klar und bedarf keiner Erläuterung.

2. Wenn die Zellen des Rades nur wenig gefüllt werden; die Füllung ist aber um so schwächer, je kleiner die Wassermenge ist, welche in einer Sekunde auf das Rad wirkt, und je grösser Breite, Tiefe und Geschwindigkeit des Rades sind.

3. Wenn die Schaufeltheilung klein ist. Um dies einzusehen, denke man sich zwei Räder, auf welche gleiche Wassermengen wirken, die gleiche Geschwindigkeiten haben, und die in ihrem Bau ganz congruent sind bis auf die Zahl der Zellen, und nehmen wir an, dass eine dieser Räder habe zweimal so viel Zellen als das andere, so ist klar, dass in einer Zelle von dem Rade mit zweimal so viel Zellen nur halb so viel Wasser enthalten sein wird, als in einer Zelle des anderen Rades, dass also bei dem ersteren die Entleerung viel später beginnen wird, als bei dem letzteren, woraus der Vortheil einer engen Zellentheilung erhellet.

Bei den oberschlächtigen Rädern kommt auch die Centrifugalkraft in Betracht. Diese strebt fortwährend, die Theilchen des in den Zellen enthaltenen Wassers nach radialer Richtung hinaus zu treiben. Die Oberfläche des Wassers in den Zellen erhält dadurch eine concave, gegen die äussere Kante ansteigende, cylindrische Fläche, Fig. 8, die Entleerung muss desshalb früher beginnen, als wenn diese Oberfläche eine horizontale Ebene ist. Der Einfluss der Centrifugalkraft ist daher nachtheilig, jedoch nur bei kleinen Rädern mit grosser Umfangsgeschwindigkeit, denn die Kraft, mit welcher jedes Theilchen nach radialer Richtung durch die Centrifugalkraft getrieben wird, ist dem Quadrat der Umfangsgeschwindigkeit direkt und dem Halbmesser des Rades verkehrt proportional. Der Einfluss der Centrifugalkraft ist daher bei grossen und langsamer gehenden Rädern ganz unmerklich, bei kleinen schnell gehenden dagegen beträchtlich.

Bewegungszustand des Rades. Die früher angegebene Berechnung des Effektverlustes, welcher durch den stossweisen Eintritt des Wassers und durch den Austritt entsteht, ist streng genommen nur dann richtig, wenn das Wasser durch den Stoss seine ganze relative Geschwindigkeit verliert; also nach dem Stosse ruhig den Schaufeln oder Zellen folgt, ohne gegen dieselben eine relative Bewegung zu haben, daher zuletzt mit einer Geschwindigkeit austritt, die mit der Umfangsgeschwindigkeit des Rades übereinstimmt. Diese Voraussetzung ist nicht ganz richtig, denn das Wasser besitzt nach dem Stosse immer noch eine gewisse relative, entweder regelmässig schwingende oder unregelmässig durch einander wirbelnde Bewegung gegen die Schaufel. Wie gross die Summe der Effektverluste ausfällt, welche beim Ein- und Austritt entstehen, wenn das Wasser, während es im Rade verweilt, einen regelmässig oscillirenden Bewegungszustand hat, hängt von sehr zusammengesetzten Verhältnissen ab und kann im Allgemeinen nicht angegeben werden. Nur so viel kann man sagen, dass jene Verluste nicht grösser ausfallen können als sie es dann sind, wenn das Wasser beim Eintritt die ganze relative Geschwindigkeit verliert, daher ruhig den Schaufeln oder Zellen folgt. Eine regelmässig oscillirende Bewegung des Wassers in den Zellen kann daher den Nutzeffekt nicht schwächen. Wohl aber ist es möglich, dass ein solcher Bewegungszustand der Gleichförmigkeit der Bewegung des Rades nachtheilig wird; wenn es sich z. B. trifft, dass gleichzeitig in einer Mehrzahl von Zellen die Richtungen, nach welchen die Wassermassen schwingen, übereinstimmen, so ist zwar der mittlere Druck, mit welchem das im Rade befindliche Wasser auf dasselbe einwirkt, eben so gross, als er ist, wenn das Wasser ruhig den Zellen folgt, allein dieser mittlere Druck ist dann nicht in jedem Augenblicke vorhanden, sondern der wirklich stattfindende Druck ist bald grösser, bald kleiner als der mittlere. Das erstere ist der Fall, während die Wassermassen abwärts, das letztere, während sie aufwärts schwingen. Man sieht also, dass in Folge dieser Schwingungen eine sehr ungleichförmige Einwirkung des Wassers auf das Rad, und folglich eine sehr ungleich-