

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Der Maschinenbau

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1863

Resultate einer vollständigeren Theorie und Erfahrungen

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

zukommende schwache Seite wird wohl niemals beseitigt werden können.

Was die Aufstellung und Bedienung anbelangt, so ist die Turbine von *Jouval* vortrefflich, dagegen die Turbine von *Fourneyron* (die umgekehrte Aufstellung ausgenommen) äusserst ungünstig, und hierin liegt der Hauptgrund, weshalb die Turbine von *Jouval* gesiegt und die andere Anordnung fast gänzlich verdrängt hat, denn die im Vorhergehenden angedeuteten Differenzen in dem Verhalten der beiden Anordnungen sind so unbedeutend, dass es nach demselben ganz unmöglich ist, der einen oder der anderen Anordnung den Vorzug zu geben, und die zahlreichen Versuche, welche mit älteren und neueren Turbinen angestellt wurden, haben gleichfalls einen erheblichen Unterschied nicht nachzuweisen vermocht.

Resultate einer vollständigeren Theorie und Erfahrungen.

Die Theorien, welche wir für die Turbinen entwickelt haben, sind nicht nur unvollkommen, sie sind auch unvollständig. Die Unvollkommenheit liegt in den Seite 191 aufgestellten Voraussetzungen, die in der Wirklichkeit immer nur annäherungsweise erfüllt sind, und ferner noch in der Vernachlässigung verschiedener Störungen und Bewegungshindernisse. Die Unvollständigkeit liegt in dem Umstande, dass wir nur allein die Bedingungen aufgesucht haben, bei deren Erfüllung, wenn sie möglich wäre, der wirkliche Nutzeffekt gleich dem absoluten Effekt werden müsste. Unsere Theorie kann uns also über sehr Vieles, was die Bewegung und Wirkungsweise irgend einer beliebigen gut oder schlecht konstruirten Turbine betrifft, keinen Aufschluss geben. Da die Grenzen, welche durch den Endzweck dieses Buches gesteckt sind, die Entwicklung einer vollständigen Theorie nicht gestatten, so müssen wir uns hier begnügen, die Ergebnisse der vollständigeren Theorie, welche mein grösseres Werk über die Turbinen enthält, referirend vorzutragen.

Diese vollständigere Theorie stellt sich die Aufgabe, die Bewegung des Wassers durch das Einlauf- und durch das Turbinenrad und den Nutzeffekt für jede richtig oder fehlerhaft konstruirte Turbine zu bestimmen, und zwar mit möglichst sorgfältiger Berücksichtigung aller Störungen, die in der Bewegung des Wassers vorkommen, und aller Bewegungshindernisse.

Die wesentlichsten Ergebnisse dieser vollständigen Theorie sind folgende:

Bezeichnet man durch v für eine *Fourneyron'sche* Turbine eine

beliebige Geschwindigkeit am inneren Umfang des Rades, für eine *Jonval'sche* Turbine eine beliebige Geschwindigkeit in der Entfernung $\frac{1}{2}(R_1 + R_2)$ von der Axe des Rades, durch $y = \frac{E_n}{E_n}$ das Güteverhältniss der Turbine, das bei jener Geschwindigkeit eintritt, durch $A B C D M$ gewisse komplizirte Ausdrücke, welche von den mannigfaltigen Abmessungen der Turbine abhängen, aber weder y noch v enthalten, und setzt endlich noch $x = \frac{v^2}{2gH}$, so findet man vermittelst der vollständigeren Theorie folgende, sowohl für *Fourneyron'sche* wie für *Jonval'sche* Turbinen geltende Ausdrücke:

$$y = -2Ax + 2B\sqrt{Cx^2 + x} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{U}{\sqrt{2gH}} = D\sqrt{x} + M\sqrt{Cx+1} \dots \dots \dots (2)$$

Die erste dieser Gleichungen zeigt, wie bei jeder Turbine das Güteverhältniss y von der Geschwindigkeit des Rades abhängt. Die zweite Gleichung gibt die Geschwindigkeit U , mit welcher das Wasser bei irgend einer Geschwindigkeit des Rades aus dem Einlauf rad ausströmt.

Betrachtet man x und y als die Coordinaten eines rechtwinkligen Coordinatensystems, so stellt die Gleichung (1) eine Ellipse dar, deren Peripherie durch den Anfangspunkt der Coordinaten geht. Tafel XII., Fig. 1. $\overline{Op} = x$, $\overline{mp} = y$.

Die Ellipse schneidet die Abscissenlinie zwei mal, bei o und bei n . Das Güteverhältniss verschwindet also für $x=0$ und für $x=\overline{on}$, d. h. der Effekt wird gleich Null, wenn die Turbine ruht, d. h. wenn ihr ein Widerstand aufgebürdet wird, den sie nicht zu überwinden vermag und wenn sie eine Geschwindigkeit erlangt, für welche $x=\overline{on}$ wird. Dieser Werth von o_n ergibt sich aus (1), wenn man $y=0$ setzt und x nicht gleich Null nimmt. Man findet:

$$\overline{on} = \frac{1}{\left(\frac{A}{B}\right)^2 - C} \dots \dots \dots (3)$$

Diese Geschwindigkeit ist diejenige, welche eintritt, wenn die Turbine leer läuft, oder es ist die Geschwindigkeit, welche eintritt, wenn man die Verbindung zwischen der Turbine und der Arbeitsmaschine aufhebt und sie dann laufen lässt bis ein Beharrungszustand eintritt.

Zwischen $x=0$ und $x=\overline{on}$ liegt ein gewisser Werth von $x=\overline{op_1}$, für welchen y einen grössten Werth, $y=\overline{m_1 p_1}$, gibt.

Dies ist also die für die Turbine, wie sie auch konstruirt sein mag, vortheilhafteste Geschwindigkeit. Man findet diesen Werth von $x = \overline{0 p_1}$, wenn man aus (1) den Differenzialquotienten $\frac{dy}{dx}$ berechnet und denselben gleich Null setzt. Er ist

$$\overline{0 p_1} = \frac{1}{2C} \left[-1 + \frac{1}{\sqrt{1 - C \left(\frac{B}{A}\right)^2}} \right] \dots \dots \dots (4)$$

$$\overline{m_1 p_1} = \frac{A}{C} \left[-1 + \sqrt{1 - C \left(\frac{B}{A}\right)^2} \right] \dots \dots \dots (5)$$

Berechnet man für irgend eine Turbine den numerischen Werth von y , indem man für x Werthe annimmt, die von dem vortheilhaftesten Werth $x = \overline{0 p_1}$ nicht zu sehr abweichen, so erhält man für y stets Werthe, die von dem grössten Werth $\overline{m_1 p_1}$ nur wenig verschieden sind. Es folgt also aus dieser genaueren Theorie, was auch die vielfältigsten Versuche gezeigt haben, dass sich der Nutzeffekt der Turbine nicht viel ändert, wenn die Geschwindigkeit der Bewegung um ziemlich viel grösser oder kleiner ist, als die vortheilhafteste. Diese geringe Empfindlichkeit der Turbine hinsichtlich der Geschwindigkeit ihres Ganges ist also eine gute Eigenschaft der Maschine. Berechnet man für irgend eine spezielle Turbine die Werthe von $\overline{0 p_1}$ und von $\overline{0 n_1}$, so findet man stets, dass die Geschwindigkeit, welche dem Leerlauf entspricht, genau oder nahezu doppelt so gross ist, als die vortheilhafteste Geschwindigkeit.

Sucht man die Werthe der Grössen $x A B C$ so zu bestimmen, dass der Werth von y gleich der Einheit wird, so erhält man die Bedingungen, welche erfüllt werden müssten, damit der Nutzeffekt gleich dem absoluten Effekt würde. Auf diese Weise gelangt man wiederum zu dem System von Ausdrücken, welches wir in der früher entwickelten Theorie hergeleitet haben.

Berechnet man vermittelst der Gleichungen (4) und (5) den Werth von $\overline{0 p_1}$ und von $\overline{m_1 p_1}$, indem man annimmt, dass die Turbine mehr oder weniger vom Wasser erfüllt wird, so findet man stets, dass die Effekte sehr rasch abnehmen, so wie die Füllung der Turbine abnimmt. Dies ist eine höchst unvortheilhafte Eigenschaft der Turbine, die auch durch vielfältige Versuche an den Tag getreten ist. In dieser Hinsicht sind die Wasserräder den Turbinen ganz entschieden vorzuziehen, denn bei diesen nimmt sogar in den meisten Fällen das Güteverhältniss zu, wenn die Füllung abnimmt. Vermöge dieser Eigenschaft der Turbinen sind dieselben bei sehr

veränderlichem Wasserzufluss sehr fatale Maschinen, und man kann sich in solchen Fällen gewöhnlich nur dadurch helfen, indem man zwei oder noch mehr Turbinen von verschiedener Grösse aufstellt und je nach dem Wasserzufluss eine oder die andere oder mehrere zu gleicher Zeit in Gang setzt. Diese Eigenschaft der Turbinen wird nur dann nicht mehr erheblich nachtheilig, wenn Wasserkräfte mit sehr grossen, wenn auch veränderlichen Quantitäten benutzt werden sollen. Beträgt z. B. die Wassermenge 5 bis 10^{km} in der Sekunde und das Gefälle 2 bis 4^{m} (was z. B. der Fall ist in den grossen Spinnereien bei Esslingen und Bamberg), so muss man 4 bis 6 Turbinen aufstellen, und wenn dann die Wassermenge abnimmt, setzt man eine oder mehrere ganz ausser Gang, und die in Gang bleibenden Turbinen laufen dann in ganz gefülltem Zustand. Man hat sich vielfach bemüht, solche Schützeinrichtungen auszudenken und in Anwendung zu bringen, welche bewirken sollen, dass das Güteverhältniss einer Turbine bei veränderlichem Wasserzufluss konstant bleibt. (Auf Tafel 8. meines grossen Werkes sind derlei Einrichtungen abgebildet), allein keine von diesen Erfindungen hat den Wünschen entsprochen, und es scheint wenig Hoffnung vorhanden zu sein, dass es in Zukunft gelingen werde, ganz befriedigende Schützeinrichtungen ausfindig zu machen.

Hinsichtlich derjenigen *Jonval'schen* Turbinen, deren Mantel unten, wo das Wasser austritt, mit einem Schützen versehen sind, durch welchen die Ausflussöffnung innerhalb gewisser Grenzen beliebig verändert und auch ganz aufgehoben werden kann, ist noch hervorzuheben, dass aus der vollständigen Theorie in Uebereinstimmung mit vielfältigen Versuchsergebnissen folgt, dass das Güteverhältniss sehr rasch abnimmt, so wie diese Ausflussöffnung verengt wird. Dieser Schützen kann also recht gut zur Abstellung und Ingangsetzung einer Turbine, nicht aber zur Regulirung des Wasserzuflusses benutzt werden.

Dass, und in welchem Maasse eine Verengung der Mantelschützenöffnung auf den Effekt Einfluss hat, kann man auch ohne Rechnung einsehen. Der Effekt, welcher dem Rade mitgetheilt wird, ist offenbar der lebendigen Kraft proportional, mit welcher das in jeder Sekunde zufließende Wasser das Rad durchströmt, ist also dem Wasserzufluss in 1 Sekunde und dem Quadrat der Durchströmungsgeschwindigkeit proportional. Diese letztere richtet sich aber nach der Differenz der Pressungen, welche in den Wasserschichten an der oberen und an der unteren Ebene des Rades statt finden, und ist der Quadratwurzel aus diesen Pressungen proportional. Wenn nun die Schützenöffnung so stark verengt wird, dass

nur halb so viel Wasser ausfliesst, als bei ganz aufgezo- genem Schützen, so fliesst auch nur halb so viel Wasser durch das Rad. Wenn aber die halbe Wassermenge mit halb so grosser Geschwindigkeit durch das Rad fliesst, wird die lebendige Kraft des Wassers und demnach auch der Effekt 8 mal = 2^3 mal kleiner. Man sieht also, dass der Effekt dem Kubus der Wassermenge proportional ist, während bei einem richtig wirkenden Regulirschützen der Effekt einfach der ersten Potenz der Wassermenge proportional bleiben müsste. Das so eben Gesagte beweiset auch die vollkommene Theorie und wird durch Versuchsergebnisse vollkommen bestätigt.

Theorie der Tangentialräder.

Eintheilung der Tangentialräder. Die sogenannten Tangentialräder, von denen wir eine Klasse früher beschrieben haben, gehören zu den Partial-Turbinen.

Es gibt drei Arten von Tangentialrädern:

1. solche, bei welchen das Wasser am inneren Umfang des Laufrades in dasselbe eintritt und am äusseren Umfang austritt;
2. solche, bei welchen das Wasser am äusseren Umfang eintritt und am äusseren Umfang austritt;
3. solche, bei welchen das Wasser am äusseren Umfang eintritt und am inneren Umfang austritt.

Die erstere dieser drei Anordnungen ist nichts anderes, als eine *Fourneyron'sche* Partial-Turbine und die Theorie derselben stimmt mit der einer Voll-Turbine nach *Fourneyron* vollkommen überein.

Bei der zweiten Art tritt das Wasser aussen mit einer gewissen relativen Geschwindigkeit in das Rad ein, verliert dieselbe allmähig durch die der Bewegung des Wassers entgegenwirkende Centrifugalkraft, wird hierauf durch die Centrifugalkraft wiederum hinausgeschleudert, und verlässt schliesslich das Laufrad am äusseren Umfang.

Es findet also hier zuerst eine Strömung nach einwärts und dann eine Strömung nach auswärts statt. Die erstere geschieht unter Gegenwirkung der Centrifugalkraft, die letztere wird durch die Centrifugalkraft hervorgebracht.

Bei der dritten Art von Tangentialrädern tritt das Wasser aussen in das Laufrad ein, durchströmt das Rad nach einwärts, verliert dabei durch die der Bewegung des Wassers entgegen-