Die calorische Maschine

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1853

Die Turbine als Treibapparat

urn:nbn:de:bsz:31-266513

Für Schaufelräder ist aber nach Gleichung (4) Seite (114)

$$N_n = \frac{6 \cdot 8 \times 1 \cdot 4}{75 \quad 1 \cdot 5} \Omega u^3 = 0 \cdot 084 \, \Omega u^3$$

Die Schraube braucht also im Verhältniss $\frac{100}{84}$ mehr Kraft, als die Ruderräder erfordern.

Wir wollen nun die aufgefundenen Resultate (15) mit den Thatsachen der Wirklichkeit vergleichen.

Nach dem allerdings ziemlich unregelmässigen aber zahlreichen Thatsachenmaterial das in dem *Engineer's and Contractors Pocket-Book for the Years* 1852 *and* 1853 über Schraubendampfschiffe enthalten ist, ergibt sich, wenn man die in diesem Buch in englischen Einheiten angegebenen Grössen auf Meter und Sekunde reduzirt:

$$\left. \begin{array}{l} n = 180 \, \frac{u}{B} \\ N_n = 0 \cdot 037 \, B^2 u^3 \end{array} \right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (16)$$

Vergleicht man dieses Ergebniss mit den Resultaten (15) der Theorie, so wird man eine befriedigende Uebereinstimmung finden.

Ich muss gestehen, dass ich eine so gute Uebereinstimmung nicht erwartet habe, und dass ich aus diesem Grunde diese Theorie 13 Jahre lang habe liegen lassen. Ich habe immer besorgt, dass die durch das Schiff verursachten unregelmässigen Bewegungen und Wirbelungen des Wassers am Hinterstern des Schiffes, so wie auch das Vorhandensein des Schiffskörpers selbst die Wirkung der Schraube bedeutend modifiziren müssten.

Nach der nun nachgewiesenen Uebereinstimmung der Theorie mit den Thatsachen scheint es aber, dass der unregelmässige Bewegungszustand des Wassers die Wirkung der Schraube nicht wesentlich stört.

Was die praktischen Vortheile und Nachtheile der Schraube anbelangt, so werde ich mich darüber später aussprechen, weil in dieser Hinsicht die Schraube mit der Turbine, deren Theorie nun noch entwickelt werden soll, übereinstimmt.

Die Turbine als Treibapparat.

Man kann zum Treiben der Dampfschiffe auch Turbinen ohne Leiträder statt der Schrauben anwenden. Figur 7 Tafel XL. meiner Resultate für den Maschinenbau, zweite Auflage, zeigt einen solchen Turbinenapparat, dessen Theorie nun entwickelt werden soll.

Nennt man:

R_2 den innern, R_1 den äussern, $R = \frac{R_1 + R_2}{2}$ den mittleren Halbmesser des Rades;

Θ die Winkelgeschwindigkeit der Turbine in ihrem Beharrungszustand der Bewegung;

β den Winkel, welche die Schaufeln, da, wo das Wasser in das Rad eintritt, mit der Ebene des Rades bilden;

γ den Winkel, welchen die Leitschaufeln, da, wo das Wasser das Rad verlässt, mit der Ebene des Rades bilden;

ϱ den Krümmungshalbmesser der Radschaufel an einer Stelle, wo die Normale mit einer auf die Axe des Rades senkrechten Ebene einen Winkel φ bildet;

$\Omega = B\,T$ den Flächeninhalt des Rechteckes, das dem eingetauchten Theil des Hauptspantes entspricht;

$\Omega_1 = (R_1^2 - R_2^2)\pi$ den Flächeninhalt der Projektion des Rades auf einer auf der Axe senkrechten Ebene;

ω den Querschnitt eines Radkanales. Dieser Schnitt ist zwar nicht in jedem Punkt der Kurve von ganz gleicher Grösse, die einzelnen Querschnitte weichen jedoch so wenig von einander ab, dass wir ω als constant annehmen können;

u_r die relative Geschwindigkeit des Wassers in den Radkanälen gegen die Schaufelflächen. Auch diese Grösse ist als eine Constante anzusehen, wenn ω constant ist;

w die absolute Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser das Rad verlässt;

i die Anzahl der Kanäle des Rades.

Wir wollen gleich von vorneherein die Bedingung stellen, dass das Wasser ohne Stoss in das Rad eintreten soll; dann muss sein:

$$\left.\begin{aligned} R\,\Theta &= u_r \cos.\, \beta \\ u &= u_r \sin.\, \beta \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Zwischen zwei unendlich nahen Querschnitten eines Kanals ist eine Wassermenge von $1000\,\omega\,d\,s$ Kilogramm eingeschlossen. Diese übt da, wo der Krümmung ein Halbmesser ϱ entspricht, nach normaler Richtung, also in der Richtung von ϱ gegen die Schaufel einen Druck aus, der durch die Ablenkungskraft gemessen wird; dieser Druck ist daher:

$$\frac{1000\,\omega\,d\,s}{g}\,\frac{u_r^2}{\varrho}$$

Zerlegt man diesen Druck in zwei Kräfte, von denen die eine parallel mit der Axe der Turbine, die andere nach einer auf R und auf die Axe der Turbine zugleich senkrechten Richtung wirkt, so sind diese Kräfte:

$$\frac{1000\,\omega\,d\,s}{g}\,\frac{u_r^2}{\varrho}\,\sin.\varphi \qquad \frac{1000\,\omega\,d\,s}{g}\,\frac{u_r^2}{\varrho}\,\cos.\varphi$$

Wird das auf die ganze Länge eines Kanales ausgedehnte Integrale des ersten Ausdruckes mit i multiplizirt, so erhält man den Druck, mit welchem das Schiff durch das im Rad enthaltene Wasser vorwärts getrieben wird.

Der zweite dieser Ausdrücke mit Θ R i multiplizirt und dann auf die Ausdehnung einer Schaufel integrirt, gibt den Effekt. Wir erhalten daher:

$$\Omega\,k\,u^2 = i\int\frac{1000\,\omega\,d\,s}{g}\,\frac{u_r^2}{\varrho}\,\sin.\varphi$$

$$75\,N_r = \Theta R i\int\frac{1000\,\omega\,d\,s}{g}\,\frac{u_r^2}{\varrho}\,\cos.\varphi$$

oder weil u_r constant ist, indem keine Kraft existirt, die das Wasser durch das Rad beschleunigt oder verzögert.

$$\left.\begin{aligned} \Omega\,k\,u^2 &= \frac{1000\,\omega\,i}{g}\,u_r^2\int\frac{\sin.\varphi}{\varrho}\,d\,s \\ 75\,N_r &= \Theta R\,\frac{1000\,\omega\,i}{g}\,u_r^2\int\frac{\cos.\varphi}{\varrho}\,d\,s \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (2)$$

Allein es ist $\frac{d\,s}{\varrho} = -\,d\,\varphi$, demnach wird:

$$\int\frac{\sin.\varphi}{\varrho}\,d\,s = \int -\sin.\varphi\,d\,\varphi, \quad \int\frac{\cos.\varphi}{\varrho}\,d\,s = \int -\cos.\varphi\,d\,\varphi$$

Da diese Integrale auf einer Schaufelkurve ausgedehnt werden müssen, so sind sie zu nehmen: von $\varphi = \frac{\pi}{2} - \beta$ bis $\varphi = \frac{\pi}{2} - \gamma$. Man erhält demnach:

$$\int_{\frac{\pi}{2}-\beta}^{\frac{\pi}{2}-\gamma} -\sin.\varphi\, d\varphi = (\sin.\gamma - \sin.\beta)$$

$$\int_{\frac{\pi}{2}-\beta}^{\frac{\pi}{2}-\gamma} -\cos.\varphi\, d\varphi = (\cos.\beta - \cos.\gamma)$$

Hierdurch erhalten nun die durch (2) ausgedrückten Beziehungen folgende Gestaltung:

$$\Omega\, k\, u^2 = \frac{1000\,\omega\, i}{g}\, u_r^2\, (\sin.\gamma - \sin.\beta)$$

$$75\ N_r = \Theta\, R\, \frac{1000\,\omega\, i}{g}\, u_r^2\, (\cos.\beta - \cos.\gamma)$$

Allein es ist $\omega\, i = \Omega_1 \sin.\beta$, $u_r = \frac{u}{\sin.\beta}$, $R\,\Theta = u\,\frac{\cos.\beta}{\sin.\beta}$. Führt man diese Werthe in die vorhergehenden Ausdrücke ein, und bezeichnet theils zur Abkürzung, theils um eine symetrische Form der Ausdrücke zu erhalten $\frac{1000}{g}$ mit k_1, setzt also:

$$\frac{1000}{g} = k_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

so erhält man:

$$\frac{\Omega\ k}{\Omega_1\ k.} = \frac{\sin.\gamma - \sin.\beta}{\sin.\beta}$$

$$75\ N_r = k_1\, \Omega_1\, \frac{\cos.\beta\,(\cos.\beta - \cos.\gamma)}{\sin.^2\beta}\, u^3$$

Aus diesen Gleichungen folgt:

$$\sin.\beta = \frac{\sin.\gamma}{1 + \frac{\Omega\ k}{\Omega_1\ k_1}}$$

$$N_r = \frac{\Omega k}{75}\, u_r^3\, \frac{\cos.\beta}{\sin.\beta}\, \frac{\cos.\beta - \cos.\gamma}{\sin.\gamma - \sin.\beta}$$

und dann hat man noch vermöge (1)

$$\Theta = \frac{u}{R}\, \cot g.\beta$$

Es ist aber $\frac{\cos.\beta - \cos.\gamma}{\sin.\gamma - \sin.\beta} = \text{tang.}\frac{\beta + \gamma}{2}$ und $\Theta = \frac{2\pi n}{60}$

Die drei vorhergehenden Gleichungen können desshalb geschrieben werden, wie folgt:

$$\left.\begin{aligned} \sin.\beta &= \frac{\sin.\gamma}{1 + \frac{\Omega\,k}{\Omega_1\,k_1}} \\ n &= \frac{60}{2\pi}\,\frac{u}{R}\,\text{cotg.}\,\beta \\ N_r &= \frac{\Omega\,k}{75}\,u^3\,\frac{\text{tang.}\frac{\beta+\gamma}{2}}{\text{tang.}\,\beta} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

Dieses Ergebniss habe ich in die Resultate für den Maschinenbau Seite 271, zweite Auflage, aufgenommen. Da vermöge der ersten dieser Gleichungen β immer kleiner als γ sein muss, so ist:

$$\frac{\text{tang.}\frac{\beta+\gamma}{2}}{\text{tang.}\,\beta}$$

stets grösser als die Einheit; es ist also auch diese Turbine ein unvollkommener Treibapparat, denn für einen vollkommenen müsste N_r gleich $\frac{\Omega\,k\,u^3}{75}$ werden.

Um diese Unvollkommenheit so viel als möglich zu schwächen, muss man γ sehr klein und Ω_1 sehr gross annehmen. Allein in der Annahme dieser Grössen wird man sehr beschränkt. Ω_1 kann nicht grösser genommen werden, als es die Tauchung erlaubt, auch γ kann nicht zu klein angenommen werden, weil sonst β sehr klein ausfällt, was zur Folge hätte, dass man n ausserordentlich gross nehmen müsste; man muss also auf eine ganz vortheilhafte Wirkungsweise der Turbine verzichten.

Für Seeschiffe dürfen wir nehmen:

$$k = 6{\cdot}8\,,\quad k_1 = 102\,,\quad R_1 = 0{\cdot}2\,B\,,\quad R_2 = 0{\cdot}1\,B\,,\quad R = 0{\cdot}15\,B$$

$$\Omega = 0{\cdot}4\,B^2 \quad \Omega_1 = (R_1{}^2 - R_2{}^2)\,\pi = 0{\cdot}0943\,B^2 \quad \frac{\Omega\,k}{\Omega_1\,k_1} = 0{\cdot}283\,,\quad \gamma = 30^\circ$$

dann wird vermöge der Gleichungen (4)

$$\left.\begin{aligned} \beta &= 23^\circ \\ n &= 149\,\frac{u}{B} \\ N_r &= 0{\cdot}042\,B\,u^3 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

Diese Werthe von n und N, treffen beinahe mit jenen zusammen, die wir für die Schraube gefunden haben, es verspricht daher die Turbine kein besseres Resultat als die Schraube, und beide sind hinsichtlich des Kraftaufwandes nicht besser als die alten Ruderräder.

Vortheile und Nachtheile der Schraube und Turbine als Treibapparate.

Wir haben gesehen, dass weder die Schraube noch die Turbine hinsichtlich des Kraftaufwandes den Ruderrädern vorzuziehen sind; in andern Hinsichten sind aber die beiden erstern dieser Anordnungen theils vortheilhafter, theils nachtheiliger als die letztere. Die Vortheile der Schraube und der Turbine sind: 1) dass ihre Wirkung bei weitem nicht so sehr von dem Zustand der See abhängt, als die Wirkung der Ruderräder. Die Wellenbewegung des Wassers, das Schlingern und Stampfen des Schiffes haben auf die Wirkung der Schraube nur einen geringen, auf die Wirkung der Ruderräder dagegen einen sehr spürbaren nachtheiligen Einfluss; denn legt sich ein Schiff zur Seite, so kommt das eine Rad beinahe in die Luft heraus, während das andere im Wasser herumwühlt, und das Schiff zu drehen sucht. 2) Ein Schraubenschiff ist desshalb bei hochgehender See leichter zu steuern, als ein Räderschiff. 3) Die Schraubenmaschinen sind niedriger, haben ein geringeres Gewicht, und nehmen weniger Raum ein, als Rädermaschinen. 4) Bei Kriegschiffen sind die Maschinen, da sie ganz im eingetauchten Theil des Schiffes liegen, und ist insbesondere die unter Wasser und am Hinterstern befindliche Schraube gegen die zerstörende Wirkung der feindlichen Geschütze sehr wohl geschützt, und die oberen Decke eines Schraubenschiffes können ihrer ganzen Ausdehnung nach armirt werden. 5) Die Bewegung eines Schraubenschiffes ist ruhiger, als die eines Räderschiffes.

Die Nachtheile der Schraube oder der Turbine sind: 1) Dass sie zum Betrieb der Flussdampfschiffe nicht gebraucht werden können. 2) Die grosse Geschwindigkeit, mit der sie sich drehen müssen, die bei kleinen Schiffen so gross wird, dass man sich gezwungen sieht, rasselnde Räderübersetzungen anzuwenden. 3) Der kleine Kolbenschub, den man sich selbst bei mächtigern Maschinen gefallen lassen muss, um den fatalen Räderübersetzungen auszuweichen. 4) Die von der Mitte des Schiffes bis an und durch den Hinterstern gehende Treibaxe, die sich noch überdies in der halben Tiefe der Tauchung, also in einer ansehnlichen Höhe über dem