Die calorische Maschine

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1853

Widerstand der Schiffe

das atlantische Meer zu durchfahren, und die für einen lebhaften Verkehr nothwendige Anzahl von Schiffen würden dann selbst kleinere Staaten anzuschaffen und zu unterhalten im Stande sein.

Es ist also wohl der Mühe werth, nach einer vollkommeneren Verwirklichung der Prinzipien, auf welchen die calorische Maschine beruht, zu streben, allein das geht nun nicht mehr in der Studirstube an, man muss bauen und Verschiedenes versuchen, um insbesondere die Kolbenconstruktion ausfindig zu machen, die gegen Hitze und Spannung unempfindlich ist. Aber es ist leider vorauszusehen, dass unser liebes Deutschland auch auf die praktische Lösung dieser Frage verzichten wird.

Theorie der Treibapparate.

Widerstand der Schiffe.

Im Allgemeinen ist die Meinung herrschend, dass der Widerstand der Schiffe vorzugsweise von der Grösse des eingetauchten Theiles des Hauptspantes, so wie von der mehr oder weniger zweckmässigen Form des Schiffes abhänge, und dass der Reibungswiderstand nur ein verhältnissmässig kleiner Theil des Gesammtwiderstandes ausmache. Vermöge dieser insbesondere in England und auf dem Continent herrschend gewordenen Ansicht, hat man die Schiffe durch bedeutende Verlängerung derselben, und durch feine Zuspitzungen des Vorder- und Hintersterns zu verbessern geglaubt. Diese lang gestreckten scharf gespitzten Schiffe verursachen, wie der Augenschein schon zeigt, weniger Wellenbewegungen, als minder lange und weniger scharf gebaute Schiffe, und darin hat man nun einen Beweis finden wollen, dass man sich auf dem rechten Weg einer fortschreitenden Verbesserung befinde. Allein dies Alles ist nach meinem Dafürhalten eine ganz willkürliche auf keinen sichern Erfahrungen beruhende und sogar ganz irrige Meinung. Ich behaupte, dass die Erfahrung das Gegentheil beweist, dass die Form der Schiffe, wenn sie sich nur nicht beträchtlich von der allgemein üblichen entfernt, nur einen sehr geringen, die Reibung des Schiffes im Wasser dagegen einen sehr grossen Einfluss habe auf den Widerstand, und dass diese scharfen Zuspitzungen den Widerstand dadurch vermehren, weil sie, ohne den Tonnengehalt des Schiffes merklich zu vergrössern; das Gewicht der Construktion und dadurch die Tauchung vermehren.

Dass die Form der Schiffe einen nur geringen Einfluss auf den Widerstand ausübe, scheint mir zunächst der Umstand zu beweisen, dass die amerikanischen Dampfboote eben so gute Fahrer sind, als die englischen, obgleich bei den ersteren von einer sorgfältigern Formgebung gar nicht die Rede ist. Bei den amerikanischen Schiffen ist der Querschnitt des Hauptspantes beinahe ein Rechteck, Boden und Wände gehen mit einer kleinen rapiden Krümmung in einander über, der Längenschnitt ist wiederum beinahe ein Rechteck, der Vorderstern steigt beinahe vertikal in die Höhe, die Horizontalschnitte sind endlich ebenfalls lang gestreckte Rechtecke mit sehr rapiden beinahe bauchigen Zuspitzungen. Die Form dieser Schiffe ist also das gerade Gegentheil von dem, was man in England für gut hält, und doch fahren die Amerikaner gut, ja es gibt gar viele, die der Meinung sind, dass die amerikanischen Schiffe den englischen an Geschwindigkeit überlegen seien. Man kann diese Thatsachen kaum in anderer Weise als dadurch in Uebereinstimmung bringen, wenn man annimmt, dass eben die Form eines Schiffes nur einen geringen Einfluss auf den Widerstand ausübe. Unter dieser Voraussetzung erklärt sich wenigstens Alles. Was bei den amerikanischen Schiffen durch ihre rüdere Form an Kraft verloren geht, wird durch den Umstand, dass sie bei gleichem Tonnengehalt weniger tauchen, wiederum gewonnen, und vielleicht ist dieser Gewinn grösser, als jener Verlust. Was den mehr oder weniger bewegten Zustand des Wassers betrifft, so rührt dieser grösstentheils von dem Dreinschlagen der Schaufeln her, und die lebendige Kraft, welche in der vom Vorder- und Hinterstern auslaufenden Welle enthalten ist, beträgt gar nicht so viel, als man meint, wenn man nur nach dem Schein urtheilt. Einige im Wasser stampfende Pferde bringen eine eben so heftige Bewegung hervor. Diesem aus einer Vergleichung der amerikanischen und englischen Schiffe entnommenen Grund für die Unterstützung der oben ausgesprochenen Ansicht, dass die Form der Schiffe keinen grossen Einfluss auf den Widerstand ausübe, steht aber noch ein zweiter, viel gewichtigerer zur Seite. Ich glaube nämlich nachweisen zu können, dass der Reibungswiderstand allein schon so gross ist, als der wirklich vorhandene totale Widerstand. Diesen Beweis führe ich in folgender Art.

Es ist wohl kein Grund anzunehmen, vermöge welchem die Reibung eines im Wasser fahrenden Schiffes nach einem andern Gesetz erfolgen solle, als die Reibung des in einem Kanal oder in einer Röhre fliessenden Wassers an den Wänden dieser Röhre oder dieses Kanals, denn der eine Widerstand wie der andere entsteht ja doch nur aus der relativen Bewegung des Wassers und der Fläche, an welcher das Wasser adhärirt.

Prony, *Eitelwein* und in der neuesten Zeit ein französischer Ingenieur, haben übereinstimmend gefunden, dass der Widerstand des Wassers in Röhren oder in Kanälen ausgedrückt werden kann durch

$$W = 1000\,F\,(\alpha\,u + \beta\,u^2)\ \text{Kilg.} \quad \dots\dots\dots \quad (1)$$

wobei F die Berührungsfläche, u die relative Geschwindigkeit des Wassers gegen die Berührungsfläche ausdrückt und α β zwei Coeffizienten bedeuten; deren Werthe sind:

a. für die Bewegung des Wassers in Kanälen:

$$\alpha = 0{\cdot}0000444 \qquad \beta = 0{\cdot}000309$$

b. für die Bewegung des Wassers in Röhren:

$$\alpha = 0{\cdot}00001733 \qquad \beta = 0{\cdot}0003483$$

Für Geschwindigkeiten von 4 bis 5ⁿ Meter, wie sie bei Dampfschiffen vorkommen, ist das Glied $\alpha\,u$ gegen $\beta\,u^2$ verschwindend klein. Man kann daher setzen:

$$W = 1000\,\beta\,F\,u^2 \quad \dots\dots\dots \quad (2)$$

Vermittelst dieser Formel können wir nun den Reibungswiderstand eines Schiffes berechnen, wenn wir für F die Fläche setzen, in welcher das Wasser das Schiff berührt, und für u die relative Geschwindigkeit des Schiffes gegen das Wasser, in welchem es fährt.

Nennen wir:

L B T Länge, Breite und Tauchung des Schiffes, so ist annähernd:

$$F = \frac{2}{3}\,L\,B + 2\,L\,T = B\,T\left[\frac{2}{3}\,\frac{L}{T} + 2\,\frac{L}{B}\right]$$

Bei den englischen wie bei den amerikanischen Seedampfschiffen sind aber die Verhältnisse $\frac{L}{T}$ und $\frac{L}{B}$ constant, und es ist:

$\frac{L}{T} = 15$, $\frac{L}{B} = 6$, daher ist für diese Schiffe

$$F = 22\,B\,T$$
$$W = 22000\,\beta\,B\,T\,u^2$$

Wenn wir für β den kleinern der oben angegebenen Werthe setzen, nämlich denjenigen, welcher für Kanäle gilt, so beträgt der Reibungswiderstand wenigstens

$$W = 6{\cdot}798 \; B \, T \, u^2 \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (3)$$

Im Beharrungszustand der Bewegung tritt keine Aenderung der Geschwindigkeit der Massen ein, muss also der Druck der Schaufeln gegen das Wasser gleich sein dem Widerstand des Schiffes. Wenn ausser dem Reibungszustand kein anderer Widerstand vorhanden wäre, müssten also die Schaufeln im Beharrungszustand der Bewegung gegen das Wasser einen Druck $6{\cdot}798 \, B \, T \, u^2$ ausüben. Nennt man v die Umfangsgeschwindigkeit der Schaufeln gegen das Schiff, so wäre $6{\cdot}798 \, B \, T \, u^2 \, v = 6{\cdot}798 \, B \, T \, u^3 \left(\frac{v}{u}\right)$ der Effekt, den die Maschine zu entwickeln hätte.

Nennen wir N_r den wahren realen Effekt, welchen die Maschinen in der That entwickeln, und N_n den Nominaleffekt oder den angeblichen Effekt, so hat man:

$$6{\cdot}798 \, B \, T \, u^3 \left(\frac{v}{u}\right) = 75 \, N_r = 75 \, N_n \left(\frac{N_r}{N_n}\right)$$

hieraus folgt:

$$\frac{N_n}{B\,T} = \frac{6{\cdot}798}{75} \frac{\left(\frac{v}{u}\right)}{\left(\frac{N_r}{N_n}\right)} u^3$$

Es ist aber bei allen gut gehenden durch Ruderräder getriebenen Dampfschiffen das Verhältniss $\frac{v}{u} = 1{\cdot}4$ und höchst wahrscheinlich das Verhältniss zwischen dem Real- und dem Nominaleffekt $= 1{\cdot}5$, daher hat man:

$$\frac{N_n}{B\,T} = \frac{6{\cdot}798}{75} \frac{1{\cdot}4}{1{\cdot}5} u^3 = 0{\cdot}0846 \, u^3$$

Wenn ein Schiff mit einer Geschwindigkeit von $u = 5$ Meter fahren soll, müsste also, wenn nur allein der Reibungswiderstand zu überwinden wäre, eine Maschine genommen werden, deren Nominaleffekt

$$N_n = 0{\cdot}0846 \times 5^3 \times B \, T = 11.53 \; B \, T \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (4)$$

wäre.

Bei einer Vergleichung von mehr als 80 englischen Seedampfschiffen, die in neuerer Zeit erbaut worden sind, und die mit einer Geschwindigkeit von 5 Meter fahren, hat es sich aber gezeigt, dass für jeden Quadratschuh des Rechteckes BT, $1 + \frac{1}{10}$ Nominalpferdekraft gerechnet wird, d. h. dass für englische Einheiten $\frac{N_n}{BT}$ gleich 1·1, demnach für französische Einheiten

$$\frac{N_n}{BT} = 11 \cdot 8 \text{ oder } N_n \quad 11 \cdot 8\, BT \quad \ldots \ldots \quad (5)$$

ist, was mit (4) beinahe ganz übereinstimmt.

Die Maschinen, wie sie wirklich angewendet werden, sind also genau so stark, als diejenigen, welche als nothwendig erscheinen, wenn nur allein der Reibungswiderstand zu überwinden wäre, woraus man dann nothwendig schliessen muss, dass der von der Form des Schiffes herrührende Widerstand wenigstens von keiner grössern Bedeutung sein kann.

Wollte man annehmen, dass der Normaleffekt so gross wäre als der Realeffekt, so fände man gar, dass die zur Ueberwindung der Reibung erforderliche Kraft grösser wäre, als diejenige, welche die Maschinen entwickeln.

Nach Versuchen von *Bossut* mit einem Modellschiff, dessen Form, nach dem Ausspruch von *Navier,* sich jener, die den kleinst möglichen Widerstand verursachen würde, sehr nähern dürfte, wäre der Totalwiderstand eines „gut geformten" Schiffes:

$$W = 8 \cdot 1\, B\, T\, u^2 \quad \ldots \ldots \quad (6)$$

Aus (3) und (6) würde sich ergeben, dass der von der Form herrührende Widerstand $1 \cdot 2\, B\, T\, u^2$ betrüge. Totalwiderstand, Reibungswiderstand und Formenwiderstand verhielten sich demnach wie $8 \cdot 1 : 6 \cdot 8 : 1 \cdot 2$, was also ebenfalls mit meiner Behauptung, dass der Formwiderstand ein sehr geringer sei, übereinstimmt.

Will man gegen meine Behauptung einwenden, dass die Schiffe gegenwärtig bedeutend schneller fahren, als sie vormals gefahren sind, so ist dieser Einwurf dadurch leicht widerlegt, dass man gegenwärtig 100pferdige Maschinen anwendet, wo man früher 40pferdige gebraucht, woraus dann folgt, dass die Schiffe jetzt $\sqrt[3]{\frac{100}{40}} = 1 \cdot 4$ Mal schneller fahren müssen, als sie früher gefahren sind, dass also heut zu Tage ein Schiff in $\frac{18}{1 \cdot 4} = 13$ Tagen die

Küste von Amerika erreichen kann, weil es vor einigen Jahren 18 Tagen brauchte.

Angenommen, dass diese Kritik eine Wahrheit sei, so ist damit nicht blos eine Negation ausgesprochen, sondern es ist damit zugleich gesagt, dass weil der Widerstand der Schiffe grösstentheils nur von der nicht zu beseitigenden Reibung herrührt, es auch gar nicht möglich ist, ihn durch Veränderungen der Form merklich zu schwächen; dann aber folgt auch daraus, dass der rechte Weg der Verbesserung in einer allmähligen Annäherung an die schlichtere amerikanische Schiffsform liege, indem diese Form keinen merklich grössern Widerstand verursacht, dafür aber bei gleicher Tauchung einen grössern Tonnengehalt, wegen der gleichen Breite und den überall beinahe vertikalen Wänden eine mehr benutzbare Räumlichkeit und dann auch noch eine grössere Stabilität darbietet, indem bei gleicher Länge und Breite der Schwimmfläche des amerikanischen Schiffes ein grösseres Trägheitsmoment entspricht, als dem englischen Schiff.

Bezeichnen wir den Werth von $1000\ \beta$ mit k, so erhalten wir für den Widerstand, in der Voraussetzung, dass derselbe beinahe nur von der Reibung herrührt, folgenden Ausdruck:

$$W = k\left[\frac{2}{3}\frac{L}{T} + 2\frac{L}{B}\right] B\,T\,u^2 \quad \ldots\ldots \quad (7)$$

Der Tonnengehalt eines Schiffes ist dem Volumen $B\,L\,T$ proportional. Das Verhältniss des Widerstandes W zum Tonnengehalt wird daher:

$$\frac{W}{B\,L\,T} = k\left[\frac{2}{3}\frac{1}{T} + \frac{2}{B}\right] u^2$$

d. h. dieses Verhältniss ist bei breiten tief gehenden Seeschiffen günstig, bei schmalen wenig tauchenden Flussschiffen ungünstig. Der Werth von k ist, wie wir gesehen haben

$$k = 0{\cdot}309 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

Die Ruderräder,

Wenn ich in Kürze die bekannte Theorie der Ruderräder hierher setze, so geschieht dies nur wegen der später folgenden Vergleichung der verschiedenen Treibapparate. Einer exakten Berechnung kann natürlich das tolle Dreinschlagen der Ruderschaufeln nicht unterworfen werden; man muss sich mit rohen Annäherungen begnügen.