Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Der Maschinenbau

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1865

Festigkeit des Schiffbaues

urn:nbn:de:bsz:31-278533

Visual Library

Festigkeit des Schiffbaues.

Hinsichtlich der Festigkeit ist ein Schiff als ein schwerer, belasteter hohler Körper zu betrachten, auf dessen Oberfläche äussere Pressungen ausgeübt werden Diese äusseren Pressungen richten sich nach dem Zustand des Wassers, der ein ruhiger oder ein wellenförmig bewegter sein kann. Wir haben daher die Festigkeit des Schiffes in folgenden Fällen zu betrachten: 1. wenn das Wasser eine horizontale Ebene bildet; 2. wenn die Oberfläche des Wassers mit vielen kleinen Wellen bedeckt ist, deren Länge viel kleiner ist, als die Länge des Schiffes, wenn also das Schiff auf einer grossen Anzahl von Wellen aufliegt; 3. wenn die Oberfläche des Wassers grosse Wellen bildet, deren Länge genau oder ungefähr gleich ist $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{1}$ der Schiffslänge, so dass das Schiff gleichzeitig auf 3, auf 2 oder nur auf einer Welle aufliegt.

Glattes Wasser. Wir beginnen unsere Betrachtung für den Fall, dass die Oberfläche des Wassers eine Ebene bildet. Es sei ω die Fläche des eingetauchten Theiles von demjenigen Schiffsquerschnitt $B\,C$, Taf. XVIII Fig. 1 der vom Ende A des Kieles um $A\,C = x$ absteht. $B_1\,C_1$ irgend ein anderer Querschnitt, $A\,C_1 = x_1$, p die Gewichtsintensität des Schiffs sammt Belastung im Querschnitt $B\,C$, in dem Sinn verstanden, dass man p mit $d\,x = C\,c$ multipliziren muss, um das Gewicht des zwischen den Ebenen $B\,C$ und $b\,c$ enthaltenen Theils des Schiffes sammt den zwischen diesen Ebenen enthaltenen Theils der Belastung zu erhalten. Sowohl ω als p sind Funktionen von x; ω ist eine stetige, p eine unstetige Funktion von x. Vermöge des Gewichtes wirkt auf den Körpertheil $B\,C\,b\,c$ nach vertikaler Richtung eine Kraft $p\,dx$, vermöge des Auftriebes nach verkaler Richtung aufwärts eine Kraft, die gleich ist dem Gewicht $\gamma\,\omega\,dx$ der Wassermenge, welche dieser Körpertheil verdrängt. Die Resultirende aus diesen beiden Kräften ist $p\,dx - \gamma\,\omega\,dx = (p - \gamma\,\omega)\,dx$ und ist abwärts oder aufwärts gerichtet, je nachdem $p > \gamma\,\omega$ oder $p < \gamma\,\omega$. Das Moment dieser Kraft in Bezug auf eine durch den Schwerpunkt des Querschnittes von $B_1\,C_1$ gehende Queraxe ist demnach $(p - \gamma\,\omega)\,dx\,(x_1 - x)$ und die Summe der Momente aller Kräfte, welche auf den Schiffstheil von A bis C_1 einwirken, ist demnach:

$$\int_0^{x_1} (p - \gamma\,\omega)\,(x_1 - x)\,dx$$

Dies ist also das statische Moment der Kraft, welche das Schiff in der Weise im Querschnitt $B_1 C_1$ zu brechen strebt, dass oben bei B_1 Ausdehnung, unten bei C_1 Zusammendrückung stattfindet. Nennt man $\mathfrak{S}$ die Spannungsintensität bei B_1, E eine gewisse nur von den Dimensionen des Querschnittes $B_1 C_1$ des Schiffbaues abhängige Funktion, so ist $\mathfrak{S} E$ die Summe der statischen Momente aller im Querschnitt $B_1 C_1$ des Schiffbaues vorkommenden Spannungen und Pressungen in Bezug auf die durch den Schwerpunkt des Querschnittes $B_1 C_1$ gehende Queraxe; demnach hat man:

$$\int_0^{x_1} (p - \gamma \omega)(x_1 - x)\, dx = \mathfrak{S} E \quad \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

Es ist auch noch:

$$\mathfrak{B} \gamma = \int_0^L \gamma \omega\, dx = \int_0^L p\, dx \quad \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

durch welche Gleichung ausgedrückt wird, dass das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit gleich ist dem Gewicht des Schiffbaues sammt Belastung. $\mathfrak{B}$ ist das Volumen der vom ganzen Schiff verdrängten Flüssigkeit. γ das Gewicht von einem Kubikmeter des Wassers, in welchem das Schiff schwimmt. L die Länge des Schiffes.

Wenn die Belastung eines Schiffes so vertheilt wird, dass das zwischen den Ebenen BC und bc enthaltene Gewicht $p\,dx$ des Baues sammt Belastung gleich ist dem Gewicht $\gamma \omega\, dx$, welches dieser Theil des Schiffes verdrängt, so ist $(p - \omega \gamma)\, dx = o$ und dann wird $\int_0^{x_1} (p - \gamma \omega)(x_1 - x)\, dx = o$, demnach $\mathfrak{S} E$ oder $\mathfrak{S} = o$, d. h. bei einer solchen Belastung ist die Festigkeit des Schiffsbaues gar nicht in Anspruch genommen. Diese Belastungsweise wird in der That bei den leicht gebauten Flusstransportschiffen, insbesondere bei den Kohlenschiffen auf den Kanälen und Flüssen in Anwendung gebracht, und dadurch ist es möglich, dass derlei Schiffe ihrem Zweck entsprechen, obgleich sie oft so leicht gebaut sind, dass sie sich biegen und eine Wellenform annehmen, wenn sie den Wellen eines vorbeifahrenden Dampfschiffes ausgesetzt sind.

Bei den Dampfschiffen mit scharf geformtem Vorder- und Hintertheil ist es anders. Bei diesen Schiffen verdrängen die scharfen Enden nur sehr wenig Wasser, ist daher an den Enden

BLB BADISCHE LANDESBIBLIOTHEK
Baden-Württemberg

$p > \gamma\omega$, verdrängt dagegen der mittlere Theil des Schiffes sehr viel Wasser und ist daher für denselben $p < \gamma\omega$. An zwei Stellen des Schiffes ist $p = \gamma\omega$.

Fig. 2 zeigt das Kräftesystem, durch welches die Festigkeit des Baues bedroht ist. Die Pfeile geben der Grösse und Richtung nach die Werthe von $p - \gamma\omega$ an. In den Punkten B und D ist die Intensität des Schiffsgewichts sammt Belastung gleich der Intensität des Auftriebes; ist also $p - \gamma\omega = 0$. Man sieht, es wird gleichsam nur der mittlere Theil B D des Schiffes getragen, und die Enden B A und D E müssen durch die in den Querschnitten bei B und D vorkommenden Spannungen und Pressungen horizontal schwebend erhalten werden. Das ganze Kräftesystem sucht also das Schiff so zu biegen, dass der Kiel eine concave Form annimmt, Fig. 3. Diese Formänderung tritt in der That bei hölzernen Schiffen, wenn sie lange im Gebrauch waren, ein. Man sagt dann, das Schiff sei „hohlkielig."

So wie gegenwärtig die eisernen Schiffe hergestellt werden, bestehen sie aus einem mit einer Blechhaut überzogenen System von Querrippen. Denkt man sich einen Fisch in umgekehrte Lage gebracht, so dass der Rücken nach unten und der Bauch nach oben gekehrt ist, so hat man ein Bild von der gegenwärtig allgemein üblichen Bauart der eisernen Schiffe. Allein diese Bauart ist offenbar fehlerhaft, denn das System der Querrippen gibt wohl dem Boden und den Wänden Steifigkeit, so dass sie äusseren Stössen uud Schlägen beim Anfahren oder Stranden widerstehen, allein Festigkeit gegen das Abbrechen können diese Querrippen nicht verleihen, sondern hierzu können nur Längenrippen und Längenverbindungen dienen, die gewöhnlich ganz fehlen, oder doch nicht in genügendem Maasse vorhanden sind. Für Flussschiffe genügt allerdings diese übliche Bauart, indem die vertikalen Schiffswände gegen das Abbrechen hinreichend schützen, allein für Meerschiffe ist die Längenverbindung durch die Schiffswände allein nicht genügend, sondern diese Schiffe sollten nach dem Prinzip der Röhrenbrücken, d. h. so gebaut werden, dass sowohl am Boden als am Deck, also an den von der Neutralfaser entferntesten Stellen ein System von Längenrippen angebracht würde, die vom Hinterstern bis zum Vorderstern ohne Unterbrechung fortlaufen. Fig. 4 gibt eine Idee von dieser Bauart.

Die Richtigkeit dieser Bauart scheint nunmehr auch in England erkannt zu werden. Der Great Eastern ist in der That nach diesem System erbaut, und *Fairbairn* hat sich bei mehreren Gelegenheiten für die Bauart mit starken Längenrippen ausgesprochen.

BLB BADISCHE LANDESBIBLIOTHEK
Baden-Württemberg

Wir wollen nun versuchen, den Einfluss der Hauptdimensionen eines Schiffes auf seine Festigkeit zu bestimmen. Aus Fig. 2 ist zu ersehen, dass man sich von der Wahrheit nicht viel entfernen wird, wenn man annimmt, dass $p - \gamma\omega$ durch einen Ausdruck von der Form $\mathfrak{A}\, B^2 \cos \frac{2\pi}{L} x$ dargestellt werden kann, wobei $\mathfrak{A}$ eine von der Länge des Schiffs unabhängige und nur von den Verhältnissen der Querschnittsformen und Dimensionen abhängige Grösse bezeichnet. Unter dieser Voraussetzung wird:

$$\int_0^{x_1} (p - \gamma\omega)(x_1 - x)\, dx = \mathfrak{A}\, B^2 \int_0^{x_1} (x_1 - x) \cos \frac{2\pi}{L} x\, dx$$

$$= \mathfrak{A}\, B^2 \left| x_1 \int_0^{x_1} \cos \frac{2\pi}{L} x\, dx - \int_0^{x_1} x \cos \frac{2\pi}{L} x\, dx \right|$$

$$= \mathfrak{A}\, B^2 \left\{ \frac{L}{2\pi} x_1 \sin \frac{2\pi}{L} x_1 - \left(\frac{L}{2\pi}\right)^2 \left[\frac{2\pi}{L} x_1 \sin \frac{2\pi}{L} x_1 + \cos \frac{2\pi}{L} x_1 - 1 \right] \right\}$$

$$= \mathfrak{A}\, B^2 \left(\frac{L}{2\pi}\right)^2 \left[1 - \cos \frac{2\pi}{L} x_1 \right] \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; (3)$$

Die Querschnittsform des Schiffbaues kann annähernd mit einer I-Form verglichen werden und für diese Form kann der Werth von E ausgedrückt werden durch einen Ausdruck von der Form $H^2 \mathfrak{B} y_1$, wobei H die Höhe des Schiffes und $\mathfrak{B}$ eine reine Funktion der Verhältnisse der Dimensionen des Querschnittes und y_1 die Breite des Schiffes an der Stelle x_1 bezeichnet. Wir erhalten daher vermöge (1):

$$\frac{\mathfrak{A}\, B^2 L^2}{(2\pi)^2} \left[1 - \cos \frac{2\pi}{L} x_1 \right] = \mathfrak{S}\, \mathfrak{B}\, H^2 y_1$$

Soll das Schiff in allen Theilen gleich stark in Anspruch genommen sein, so muss $\mathfrak{S}$ eine Constante sein; dies ist der Fall, wenn man setzt:

$$\left. \begin{aligned} B \left(1 - \cos \frac{2\pi}{L} x_1\right) &= y_1 \\ n\, B\, L^2 &= \mathfrak{S}\, H^2 \end{aligned} \right\} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (4)$$

wobei m und n gewisse constante Grössen bedeuten. Aus der zweiten dieser Gleichungen folgt:

$$\mathfrak{S} = n \left(\frac{B}{H}\right) \frac{L^2}{H} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (5)$$

Diese Gleichung lässt erkennen, dass eine zur Breite grosse Schiffshöhe vortheilhaft, dass aber die Länge sehr nachtheilig ist. Diese langen und schmalen Schiffe, wie sie jetzt gebaut werden, sind also hinsichtlich der Festigkeit nicht zu empfehlen.

Nach dieser Untersuchung müssen wir das Urtheil aussprechen, dass diese unverhältnissmässig langen und vorzugsweise nur mit Querrippen versehenen Schiffe, wie sie gegenwärtig gebaut werden, hinsichtlich der Festigkeit nachtheilig sind, und dass man im Gegentheil die Schiffe mit Längenrippen versehen und verhältnissmässig kürzer bauen sollte.

Welliges Wasser. Ist das Wasser in einem welligen Zustand, sind jedoch die Wellen im Verhältniss zur Schiffslänge klein, so liegt das Schiff gleichzeitig auf sehr vielen Wellen, seine Festigkeit ist daher unter solchen Umständen beinahe ebenso in Anspruch genommen, wie im glatten Wasser. Werden die Wellen grösser (länger und höher), so richtet sich die Art und Weise, wie die Festigkeit eines Schiffes in Anspruch genommen wird, nach den absoluten Dimensionen des Schiffes und der Wellen. Wir müssen daher verschiedene Fälle in Betrachtung ziehen. Ist das Schiff klein (z. B. ein Fischerboot) und ist die Wellenlänge ungefähr gleich der Schiffslänge, so liegt der mittlere Theil des Schiffes bald auf einem Wellenberg, bald auf einem Wellenthal. Der Schiffskörper wird daher abwechselnd abwärts und aufwärts gebogen; allein da diese Wellen noch nicht mächtig sind, so wird die Festigkeit des Schiffes doch nicht stark in Anspruch genommen. Werden aber die Wellen grösser und mehrmal länger als das Schiff, so wird ein kleines Schiff stark gehoben und es nimmt in jedem Augenblick eine Stellung an, bei welcher die Mastenrichtung nahe auf der Wellenfläche senkrecht steht. Das Schiff macht also starke Bewegungen, steigt und fällt, neigt sich vorwärts und rückwärts, liegt aber beinahe der ganzen Länge nach auf der Wellenfläche, seine Festigkeit wird daher nur wenig in Anspruch genommen. Kleine Schiffe können daher durch grosse Wellen umgeworfen, aber nicht wohl zerbrochen werden.

Ist das Schiff von mittlerer Grösse, etwa 20 Meter lang, so wird seine Festigkeit nur wenig in Anspruch genommen, so lange

BLB BADISCHE LANDESBIBLIOTHEK
Baden-Württemberg

die Wellenlänge nicht mehr als circa 10 Meter, dagegen stark, wenn einmal die Wellenlänge 20 und mehr Meter beträgt, denn dann wird das Schiff stark gehoben, und wenn es auf einen Wellenberg zu liegen kommt, wird es in der Mitte stark emporgehoben, während die Enden nur wenig eintauchen.

Ist das Schiff gross, hat es z. B. eine Länge von 75 Meter (British Queen), so wird es nicht viel gehoben und macht es überhaupt keine heftigen Bewegungen, so lange die Wellenlänge nicht mehr als $\frac{75}{3} = 25$ Meter beträgt, so wie aber die Wellenlänge gleich oder grösser als die Schiffslänge wird, kommt es wiederum bald auf einen Wellenberg, bald in ein Wellenthal zu liegen und es ist dann seine Festigkeit in hohem Grade in Anspruch genommen.

Die Länge des grössten bis jetzt erbauten Schiffes (Great Eastern) beträgt 209 Meter, ist also ungefähr so lang als die längsten Wellen, die im grossen Ocean vorkommen. Die Festigkeit dieses kolossalen Schiffs ist also bei gewöhnlicherem, wenn auch hohem Wellengang nicht viel stärker in Anspruch genommen, als in glattem Wasser, allein bei heftigsten Stürmen und wenn die Wellenlänge nahe gleich der Schiffslänge und die Wellenhöhe 10 Meter beträgt, wird dieses Schiff sehr stark in Anspruch genommen und werden seine Bewegungen sehr heftig.

Bestimmung der Hauptabmessungen eines zu erbauenden Dampfschiffes. Wir können die Dampfschiffe nach den Zwecken, welchen sie zu dienen haben, in drei Klassen theilen, nämlich 1. Kriegsschiffe, 2. Passagierschiffe, 3. Schlepper oder Remorqueur. Wir wollen im Folgenden die Kriegsschiffe von unsern Betrachtungen ausschliessen.

Passagierschiffe. Um die Dimensionen eines solchen Schiffes zu bestimmen, nehmen wir an: 1. die Pferdekraft N_n der Maschine, 2. die Verhältnisse $\frac{L}{B}\ \frac{H}{B}\ \frac{T}{B}$, 3. die Geschwindigkeit u des Schiffes. Dass wir von dieser Annahme ausgehen, und nicht unmittelbar von der Länge des Schiffes, geschieht nur deshalb, weil wir dadurch den Widerstandscoeffizienten unmittelbar bestimmen können. Was die Verhältnisse $\frac{L}{B}\ \frac{H}{B}\ \frac{T}{B}$ betrifft, so können wir nach den Ergebnissen unserer Untersuchungen die in neuester Zeit üblich gewordenen Werthe nicht empfehlen. Wir haben gefunden, dass diese neuern, im Verhältniss zur Breite übermässig langen, vorn

BLB BADISCHE LANDESBIBLIOTHEK
Baden-Württemberg

und hinten lang und fein zugespitzten Schiffe 1. eine geringe Stabilität gewähren, 2. einen grossen Reibungswiderstand verursachen, 3. eine geringe Festigkeit besitzen, 4. schwierig zu steuern sind, 5. im Vorder- und Hintertheil wenig benutzbaren Raum darbieten, dass also diese neueren Schiffe in jeder Hinsicht nachtheiliger sind, als die älteren Schiffe, wie sie vor ungefähr zehn Jahren gebaut wurden. Wenn nicht ganz besondere Umstände ungewöhnliche Verhältnisse verlangen, nehmen wir daher folgende Verhältnisse an:

	Flussschiffe	Landseeschiffe.	Meerschiffe.
$\frac{L}{B} =$	9	7	6
$\frac{T}{B} =$	0·18	0·20	0·4
$\frac{H}{B} =$	0·5	0·5	0·64

Die Geschwindigkeit der schnellsten Schiffe gegen still stehendes Wasser beträgt 5 bis 6 Meter in der Sekunde und diese wollen wir auch annehmen, und zwar für kleinere Schiffe bis zu 100 Pferdekraft 5 Meter, für grössere 6 Meter, indem grössere Schiffe eine verhältnissmässig stärkere Belastung zulassen, als kleinere.

Diess vorausgesetzt, hat man nun zur Bestimmung der Abmessung eines Schiffes mit Ruderrädern folgende Ausdrücke:

$$B\,T = \Omega = \frac{75\ N_n}{0{\cdot}1\left(1 - e^{-\frac{N_n}{165}}\right)\left(\frac{2}{3}\ \frac{L}{T} + \frac{L}{B}\right)\frac{v}{u}\ .\ u^3} \quad . \quad . \quad (1)$$

Hat man B T berechnet, so ergeben sich dann die Dimensionen L B T H selbst vermittelst der Werthe von $\frac{L}{B}\ \frac{H}{B}\ \frac{T}{B}$.

Es sei z. B. für ein Flussschiff:

$$N_n = 100,\quad \frac{L}{T} = \frac{9}{0{\cdot}18} = 50,\quad \frac{L}{B} = 9,\quad u = 5,\quad \frac{v}{u} = 1{\cdot}41,\quad \frac{T}{B} = 0{\cdot}18$$

Dann findet man:

$$0{\cdot}1\left(1 - e^{-\frac{N_n}{165}}\right) = 0{\cdot}155\,,\quad \frac{2}{3}\ \frac{L}{T} + \frac{L}{B} = 42$$

$$B\,T = \Omega = \frac{75 \times 100}{0{\cdot}155 \times 42 \times 1{\cdot}41 \times 125} = 6{\cdot}53 \text{ Quadrat-Meter.}$$

Demnach wegen

$$B\,T = B^2 \left(\frac{T}{B}\right) = 6{\cdot}53$$

$$B = \sqrt{6{\cdot}53 \times \frac{B}{T}} = \sqrt{\frac{6{\cdot}53}{0{\cdot}18}} = 6{\cdot}02 \text{ Meter.}$$

$$L = 9\,B = 54{\cdot}18 \text{ Meter.}$$

$$H = 0{\cdot}5\,B = 3{\cdot}01 \text{ Meter.}$$

Es sei ferner für ein grösseres Meerschiff:

$$N_n = 500\,,\quad \frac{L}{B} = 6\,,\quad \frac{T}{B} = 0{\cdot}4\,,\quad \frac{H}{B} = 0{\cdot}64\,,\quad \frac{v}{u} = 1{\cdot}41\,,\quad u = 6$$

Dann findet man:

$$0{\cdot}1\left(1 + e^{-\frac{N_n}{165}}\right) = 0{\cdot}100\,,$$

$$\frac{2}{3}\,\frac{L}{T} + \frac{L}{B} = 16$$

$$B\,T = \Omega = \frac{500 \times 75}{0{\cdot}100 \times 16 \times 1{\cdot}41 \times 216} = 76{\cdot}9 \text{ Quadrat-Meter.}$$

$$B = \sqrt{B\,T \times \frac{B}{T}} = \sqrt{76{\cdot}9 \times \frac{1}{0{\cdot}4}} = 13{\cdot}8 \text{ Meter.}$$

$$L = 6\,B = 82{\cdot}8 \text{ Meter.}$$

$$T = 0{\cdot}4\,B = 5{\cdot}52 \text{ „}$$

$$H = 0{\cdot}64\,B = 8{\cdot}83 \text{ „}$$

Es sei endlich für ein grosses Meerschiff

$$N_n = 1000\,,\quad \frac{L}{B} = 6\,,\quad \frac{T}{B} = 0{\cdot}4\,,\quad \frac{H}{B} = 0{\cdot}64\,,\quad \frac{v}{u} = 1{\cdot}41\,,\quad v = 6.$$

Dann wird:

$$B\,T = \Omega = \frac{1000 \times 75}{0{\cdot}100 \times 16 \times 1{\cdot}41 \times 216} = 153{\cdot}8 \text{ Quadrat-Meter.}$$

$$B = \sqrt{\frac{153{\cdot}8}{0{\cdot}4}} = 19{\cdot}6 \text{ Meter.}$$

$$L = 6\,B = 117{\cdot}6 \text{ Meter.}$$

$$T = 0{\cdot}4\,B = 7{\cdot}84 \text{ Meter.}$$

$$H = 0{\cdot}64\,B = 12{\cdot}54 \text{ Meter.}$$

Es sei endlich:

$$N_n = 3000,\ \frac{L}{B} = 6,\ \frac{T}{B} = 0·4,\ \frac{H}{B} = 0·64,\ \frac{v}{u} = 1·41,\ v = 7$$

so wird:

$$B\ T = \Omega = \frac{3000 \times 75}{0·100 \times 16 \times 1·41 \times 343} = 298·5 \text{ Quadrat-Meter.}$$

$$B = \sqrt{\frac{298·5}{0·4}} = 27·3 \text{ Meter.}$$

$$L = 6\ B = 163·8 \text{ Meter.}$$

$$H = 0·64\ B = 17·5 \text{ Meter.}$$

$$T = 0·4\ B = 10·92 \text{ Meter.}$$

Geometrisch ähnliche Anordnungen. Die einfachste Art, die Totalität der Abmessungen eines zu erbauenden Schiffes zu erhalten, besteht darin, dass man sich ein bereits existirendes Schiff zum Vorbild nimmt und dasselbe in aller und jeder Hinsicht geometrisch ähnlich nachbildet. Die Richtigkeit dieses Verfahrens erhellet aus Folgendem. Bezeichnen wir das als Vorbild dienende Schiff mit $\mathfrak{M}$, das Nachbild mit $\mathfrak{N}$ und nehmen wir beispielsweise an, dass wir in letzterem jede lineare Dimension zwei mal so gross machen, als in ersterem. Unter dieser Voraussetzung sind bei $\mathfrak{N}$ alle Flächeninhalte 4 mal, alle Gewichte 8 mal so gross, als bei $\mathfrak{M}$. Daher wird die Tauchung des Schiffes $\mathfrak{N}$ 2 mal so gross sein, als jene von $\mathfrak{M}$.

Da die Schiffe geometrisch ähnlich sind und ähnliche Tauchungen haben, so haben die Quotienten $\frac{k}{k_1}$, $\frac{\Omega}{\Omega_1}$ für beide Schiffe gleiche Werthe, vermöge der Gleichung

$$\frac{u}{v} = 1 + \sqrt{\frac{k\,\Omega}{k_1\,\Omega_1}}$$

stimmen daher die Werthe der Quotienten $\frac{u}{v}$ für beide Schiffe überein.

Die Heizfläche des Kessels von $\mathfrak{N}$ ist 4 mal so gross, als jene des Kessels von $\mathfrak{M}$. Die Pferdekraft des Kessels von $\mathfrak{N}$ ist demnach 4 mal so gross, als jene von $\mathfrak{M}$. Der Quotient $\frac{N}{\Omega}$ hat demnach für beide Schiffe den gleichen Werth. Die Werthe von k sind für geometrisch ähnliche Schiffe sehr nahe gleich gross. Wenn nun die Werthe von $\frac{N}{\Omega}$, k, $\frac{u}{v}$ für beide Schiffe übereinstimmen,

BLB BADISCHE LANDESBIBLIOTHEK
Baden-Württemberg

so folgt aus der Gleichung

$$u^3 = \frac{75 \, N_n}{k \, \Omega \frac{u}{v}},$$

dass beide Schiffe einerlei Geschwindigkeit u haben und dass folglich auch, weil $\frac{u}{v}$ für beide einerlei Werth hat, die Geschwindigkeit v für beide Schiffe übereinstimmt. Allein da auch die Maschinen und Triebräder geometrisch ähnlich sind, so können die Werthe von v für beide Schiffe nur dann übereinstimmen, wenn die Geschwindigkeiten der Kolben der beiden Maschinen gleich gross sind.

Da die Pferdekraft des Kessels von $\mathfrak{N}$ 4 mal so gross ist, als jene des Kessels von $\mathfrak{M}$, so ist auch die Pferdekraft der Maschine von $\mathfrak{N}$ 4 mal so gross, als jene der Maschine von $\mathfrak{M}$. Da ferner der Querschnitt des Dampfcylinders von $\mathfrak{N}$ 4 mal so gross ist, als jener des Dampfcylinders von $\mathfrak{M}$ und die Geschwindigkeiten der Dampfkolben übereinstimmen, so müssen die Dampfspannungen in beiden Maschinen übereinstimmen.

Diese Vergleichungen lassen sich beinahe bis in die kleinsten Details fortsetzen, und man findet überall, dass das Schiff $\mathfrak{N}$ in aller und jeder Hinsicht richtige Dimensionen erhalte, wenn es mit $\mathfrak{M}$ geometrisch ähnlich angeordnet wird. Es ist mithin der Satz bewiesen, dass man ein Schiff mit guten Konstruktionsverhältnissen erhält, wenn man ein anerkannt gutes Schiff $\mathfrak{M}$ als Vorbild benützt und dasselbe in jeder Hinsicht geometrisch ähnlich nachbildet. Hierauf gründet sich das in den Resultaten für den Maschinenbau Seite 291 u. f. aufgestellte System von Verhältnisszahlen, dessen man sich jederzeit bedienen kann, wenn an ein neu zu erbauendes Schiff ganz normale mittlere Anforderungen gestellt werden. Verlangt man in den Grundverhältnissen oder in der Geschwindigkeit Ungewöhnliches, so müssen die Dimensionen nach den aufgestellten Formeln berechnet werden.

Schleppschiffe. Nennt man für einen Remorqueur Ω den Flächeninhalt des Rechteckes, das dem eingetauchten Theil des Hauptspantes umschrieben werden kann, $\omega_1 \; \omega_2$ die gleichnamigen Grössen für die Schiffe, welche durch den Remorqueur fortgeführt werden sollen, $k \; \mathfrak{k}_1 \; \mathfrak{k}_2$ die Widerstandscoeffizienten für die sämmtlichen Schiffe, so hat man:

$$k \, \Omega \, u^2 + \mathfrak{k}_1 \, \omega_1 \, u^2 + \mathfrak{k}_2 \, \omega_2 \, u^2 + \ldots = k_1 \, \Omega_1 \, (v - u)^2 \quad . \quad . \quad (1)$$

$$\frac{v}{u} = 1 + \sqrt{\frac{k \, \Omega + \mathfrak{k}_1 \, \omega_1 + \mathfrak{k}_2 \, \omega_2 + \ldots}{k_1 \, \Omega_1}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

ferner

$$75\ N_n \left(\frac{N_r}{N_n}\right) = (k\ \Omega\ u^2 + \mathfrak{k}_1\ \omega_1\ u^2 + \mathfrak{k}_2\ \omega_2\ u^2 + \dots)\ v \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

$$N_n = \frac{k\ \Omega + \mathfrak{k}_1\ \omega_1 + \mathfrak{k}_2\ \omega_2 + \dots}{75\left(\frac{N_r}{N_n}\right)}\ u^3 \left(\frac{v}{u}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

$$\Omega = \frac{75\ N_n \left(\frac{N_r}{N_n}\right)}{k\ u^3\ \frac{v}{u}} - \left(\frac{\mathfrak{k}_1}{k}\ \omega_1 + \frac{\mathfrak{k}_2}{k}\ \omega_2 + \dots\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Form der Schiffe. Die beste Form der Schiffe auf theoretischem Wege ausfindig zu machen, ist bis jetzt nicht gelungen und wird auch in der Folge nicht gelingen können, weil es überhaupt eine Form, welche allen Anforderungen, die man an ein Schiff stellen kann, vollkommen entspricht, nicht gibt. Die Form, welche die grösste Stabilität gewährt, ist ein Floss, die Form, welche den kleinsten Widerstand verursacht, ist wahrscheinlich oben am Wasser kielförmig scharf, unten in der Tiefe breit, entsteht also durch Umkehrung der gewöhnlichen Schiffsform. Die Form, welche die zweckmässigste Räumlichkeit darbietet, ist ein parallelepipedischer Kasten. Die Form, welche den höchsten Grad von Festigkeit gewährt, ist ein kurzes, breites, hohes Parallelepiped. Man sieht, dass die Formen, welche den einzelnen Anforderungen am besten genügen, sich gegenseitig widersprechen. Da also die Aufgabe auf rationellem Wege nicht gelöst werden kann, so bleibt nichts anderes übrig, als die Verfolgung eines empirischen Weges, indem man die bereits existirenden Formen einer Kritik unterwirft, dadurch ihre Fehler ermittelt und dann durch Induktion Regeln aufzustellen sucht, die zu anerkannt guten Formen führen. Es folgen nun mehrere empirische Methoden zur Verzeichnung von Schiffsformen.

Nachahmung eines Modellschiffes. Ist man im Besitze der Risse eines anerkannt guten Schiffes, so kann man dasselbe als Modell benützen und darnach die Formen eines zu erbauenden Schiffes bestimmen. Dabei ist folgendes Verfahren angemessen. Man stellt zuerst vermittelst des Wasserlinienrisses des Modellschiffes eine Tabelle auf, indem man die ganze Länge des Schiffes in 20 gleiche Theile theilt, durch die Theilungspunkte im Grundriss Querlinien zieht und die Ordinaten der einzelnen Wasserlinien misst, dabei aber einen Maassstab anwendet, der die halbe Schiffsbreite in 1000

Theile theilt. In den Resultaten findet man Seite 298 bis 309 solche Tabellen über mehrere Schiffe aufgestellt. In der mit x überschriebenen. Vertikalcolumne sind die aufeinanderfolgenden Querschnitte nummerirt. Die Nummerirung beginnt mit 0 am hinteren Ende und endigt mit 20 am vorderen Ende des Schiffes. Die mit I., II., III. . . . überschriebenen Vertikalkolumnen geben die Ordinaten der von unten nach aufwärts gezählten Wasserlinien. Die horizontalen Zahlenreihen geben die den einzelnen Spanten entsprechenden Ordinaten. Die Zahl 1000 ist die halbe Breite des Schiffes. Hat man diese dem Modellschiff entprechende Ordinaten-Tabelle aufgestellt und die absoluten Dimensionen B, L, T, H des zu verzeichnenden Schiffes berechnet, so unterliegt die Verzeichnung keiner Schwierigkeit.

Man nimmt die Breite B, zeichnet einen genauen Maassstab, welcher diese Breite in 1000 gleiche Theile theilt und trägt vermittelst desselben die Tabellenzahlen auf. Um die Punkte, welche einer Wasserlinie entsprechen, in stetiger Weise zu verbinden, bedient man sich einer elastischen Ruthe von Holz, die man längs der Punkte hinbiegt und durch Gewichte festhält.

Senteneintheilung nach der Quadrantenmethode. Die älteren Methoden zur Verzeichnung der Schiffsformen beruhen auf gewissen graphischen Interpolationen oder Senteneintheilungen. Eine der besseren dieser Methoden ist die folgende sogenannte Quadranten-Methode. Nach diesem Verfahren verzeichnet man zuerst mit Benutzung einer Modellzeichnung eines Schiffes oder vermittelst der oben erwähnten Tabellenwerthe

a. den Längenschnitt des Schiffes (Fig. 5) und theilt die Länge vom Hinterstern bis zur Spitze des Vordersterns in 20 gleiche Theile;
b. den Grundriss des Verdecks (Fig. 7);
c. den Hauptspant No. 10 des Schiffes (Fig. 6);
d. die Spanten, welche den Theilungspunkten 0, 1, 5 des Hinterschiffes, und die Spanten, welche den Theilungspunkten 15 und 19 des Vorderschiffes entsprechen.

Nach diesen Vorbereitungen ergeben sich die übrigen Spanten durch folgendes Verfahren:

Man theilt die 1te, 10te und 19te Spante (Fig. 6) in so viele gleiche Theile, als die Anzahl der Punkte beträgt, die von jeder Spante bestimmt werden sollen (in der Zeichnung sind 10 Theile angenommen) und verbindet die correspondirenden Punkte wie a und b, a_1 und b_1, durch gerade Linien, so sind dies die Senten.

Um nun die Punkte zu finden, in welchen die Sente $a\ b$ von den Spanten geschnitten wird, verzeichne man einen Quadranten (Fig. 8) und theile denselben in 10 gleiche Winkel, nehme hierauf die Länge $a\ b$ (Fig. 6) und trage sie nach $\alpha\ \beta$ (Fig. 8) auf, nehme ferner die Länge $a\ c$ (Fig. 6), die dem Punkt entspricht, in welchem die Sente $a\ b$ von der fünften Spante geschnitten wird, und suche in (Fig. 8) in dem Radius No. 5 den Punkt γ, dessen Entfernung von der Linie $\alpha\ 1$ gleich $a\ c$ ist.

Verzeichnet man nun einen Kreisbogen $\beta\ \gamma\ \delta$, dessen Mittelpunkt o in der abwärts verlängerten Richtung von $\beta\ \alpha$ liegt, und der durch die Punkte β und γ geht, so scheidet derselbe die Radien, durch welche man den Quadranten (Fig. 8) getheilt hat, in einer Folge von Punkten, und wenn man die zu $\gamma\ \varepsilon$ parallelen Ordinaten dieser Durchschnittspunkte auf die Sente $a\ b$ (Fig. 6) von a an aufträgt, so erhält man die Punkte, in welchen diese Sente $a\ b$ von sämmtlichen Spanten geschnitten wird.

Wiederholt man die gleiche Construktion mit jeder der übrigen Senten des Hinterschiffes und auch mit jeder Sente des Vorderschiffes, so ergeben sich die Punkte, in welchen sämmtliche Senten von sämmtlichen Spanten geschnitten werden, und wenn man endlich die Punkte, welche jeder Spante entsprechen, vermittelst einer elastischen Feder durch eine stetige Linie verbindet, so erhält man den vollständigen Spantenriss.

Ist einmal der Spantenriss verzeichnet, so unterliegt es keiner Schwierigkeit, im Grundriss des Schiffes eine beliebige Anzahl von Horizontalschnitten darzustellen, oder überhaupt ein beliebiges System von Schnittlinien zu verzeichnen.

Induktive Bestimmung der Formen der Wasserlinien. Eine dritte Methode der Verzeichnung der Schiffsformen beruht darauf, dass man das Bildungsgesetz der Wasserlinien, wie sie bei guten Schiffsformen vorkommen, zu ermitteln sucht. Die Wasserlinien haben eine gewisse Aehnlichkeit mit den Wellenlinien. *Scott Russel* behauptet, dass diese Linien die beste Form der Schiffe bestimmen. Allein dies ist nicht richtig. Die Formen, welche die Wellenlinie gibt, sind noch viel schärfer als die schärfsten Formen, welche man in der Wirklichkeit angewendet findet. Die Wellenlinie gibt ferner für das Vorder- und Hinterschiff gleiche Formen, während in der Wirklichkeit die beiden Schiffshälften nie ganz übereinstimmen und in der Regel das Ende des Hinterschiffs noch schärfer gebildet ist, als das Ende des Vorderschiffs.

BLB BADISCHE LANDESBIBLIOTHEK
Baden-Württemberg

Die folgende Tabelle dient zu einer Vergleichung theoretischer Formen und wirklicher Formen.

Nr. des Querschnitts	Ordinaten der			
	A. Wellenlinie.	B. Sinusoide.	C. Great Eastern.	D. Congrès.
0	0	0	0	0
1	18	29	92	153
2	62	95	224	450
3	137	207	400	666
4	241	349	584	817
5	374	500	800	900
6	529	653	923	947
7	686	793	972	966
8	839	908	1000	983
9	954	978	1000	1000
10	1000	1000	1000	1000
11	954	978	1000	983
12	839	908	984	975
13	686	793	923	950
14	529	653	864	913
15	374	500	707	833
16	241	349	568	725
17	137	207	406	581
18	62	95	246	371
19	18	29	80	166
20	0	0	0	0

Die Ordinaten der Columne A sind nach der Gleichung der Wellenlinie bestimmt. Die Ordinaten von B sind nach der Sinusoide berechnet, deren Gleichung (L Länge, B Breite des Schiffes) ist:

$$y = \frac{B}{4}\left(1 - \cos 2\pi \frac{x}{L}\right)$$

Eine Vergleichung dieser Tabellenwerthe zeigt, dass die Wellenlinie äusserst scharfe Endtheile gibt. Die Gleichung der Sinusoide gibt etwas weniger scharfe Endtheile, aber doch noch viel schärfere, als sie bei dem Great Eastern und Congrès vorkommen, welches sehr scharf gebaute Schiffe sind.

Da die Sinusoide wohl im Wesentlichen den richtigen Charakter hat, aber zu scharfe Vorder- und Hintertheile gibt, so kommt man zur Vermuthung, dass man angemessene Horizontalschnitte vermittelst des Ausdruckes

$$y = \frac{Y}{2}\left(\frac{1 - \cos 2\pi \frac{x}{L}}{2}\right)^{\frac{T}{4z}}$$

erhalten könnte. In diesem Ausdruck bedeutet Y die grösste Breite eines Horizontalschnittes, T die Tauchung, z die Höhe der Schnittebene über der Kiellinie. Diese Gleichung gibt:

Werthe von $1000 \frac{y}{\frac{1}{2} Y}$ *für*

$\frac{1}{20} \frac{L}{x}$	$z = \frac{1}{4} T$	$z = \frac{2}{4} T$	$z = \frac{3}{4} T$	$z = \frac{4}{4} T$
0	0	0	0	0
1	29	170	307	412
2	95	316	456	566
3	207	458	592	678
4	349	592	704	768
5	500	707	794	843
6	653	806	868	900
7	793	888	926	943
8	908	954	968	975
9	978	990	993	995
10	1000	1000	1000	1000

Die Werthe von Y für jeden Horizontalschnitt ergeben sich aus der Zeichnung des Hauptspantes.

Will man das Vorderschiff etwas weniger scharf halten, als das Hinterschiff, so kann dies bewirkt werden, indem man den Hauptspant nicht in die Mitte, sondern etwas vor die Mitte des Schiffes verlegt, so dass das Hinterchiff etwas länger ausfällt, als das Vorderschiff. Man theilt dann jede der beiden Hälften in 10 Theile und trägt die Tabellenwerthe auf.

Bau der Dampfschiffe.

Bau der Dampfschiffe im Allgemeinen. Die Bauart der eisernen Flussdampfer ist sehr einfach. Kiel, Stern und Bug werden gewöhnlich durch eine Blechrinne gebildet und auf dem Stapel zuerst aufge-

BLB BADISCHE LANDESBIBLIOTHEK
Baden-Württemberg