VERFAHREN

ZUR

BERECHNUNG VON SCHWIMMDOCKS.

VON

PROFESSOR DR. FORCHHEIMER
IN AACHEN.

MIT ZWÖLF ABBILDUNGEN IN HOLZSCHNITT.

BERLIN 1892.
VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.
(VORM. ERNST & KORN.)

VERFAHREN

ZUR

BERECHNUNG VON SCHWIMMDOCKS.

VON

PROFESSOR Dr. FORCHHEIMER
IN AACHEN.

MIT ZWÖLF ABBILDUNGEN IN HOLZSCHNITT.

BERLIN 1892.
VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.
(VORM. ERNST & KORN.)

Sonderdruck aus der Zeitschrift für Bauwesen, 1892.

Die Berechnung der Spannungen in den Eisentheilen eines Schwimmdocks ist bisher nicht in scharfer Weise behandelt und durchgeführt worden. Man begnügte sich damit, die Abmessungen der verschiedenen Tragetheile im Einzelfalle nach bewährten Ausführungen zu wählen oder sie den vorliegenden Verhältnissen entsprechend mehr schätzungsweise abzuändern. Im nachfolgenden soll nun ein Verfahren zur Berechnung von Schwimmdocks entwickelt werden. Die Untersuchung werde eingeleitet durch die Besprechung des mechanischen Verhaltens von Trägern*) mit Gegendrücken, welche zur Senkung proportional sind.

Träger mit Gegendrücken proportional zur Senkung.

Auf einen Träger (Abb. 1) vom Elasticitätsmodul E und dem Trägheitsmomente J wirke eine nach abwärts gerichtete

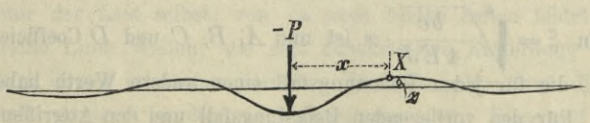

Abb. 1.

Einzelkraft $-P$. Der Träger sei ferner so gelagert, daſs bei seiner durch $-P$ hervorgerufenen Formänderung, der Gegendruck an jedem Punkte X des Trägers, der Senkung oder Hebung z dieses Punktes proportional ist. Dieser Gegendruck betrage per Längeneinheit p und es sei

$$p = -cz \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

*) Näheres über das Verhalten solcher Träger findet sich ausführlich in Zimmermann, Die Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues, Berlin 1888. Verlag von Ernst u. Sohn.

wobei nach oben gerichtete Kräfte und Hebungen als positiv gelten. Als positiv mögen ferner Momente gelten, welche Krümmungen der elastischen Linie mit der Hohlseite nach oben bewirken, sowie die nach oben gerichteten Scherkräfte, wobei unter „Scherkraft," die Summe aller links von einem Punkte X angreifenden äufseren Kräfte verstanden wird. Unter diesen Annahmen stellt nach Einführung von (rechts vom Ursprung positiven) Abscissen bekanntlich $\frac{dz}{dx}$ die Neigung der elastischen Linie dar, und ist

$$\text{das Moment} = EJ\frac{d^2z}{dx^2},$$

$$\text{die Scherkraft (bei vertheilter Belastung)} = EJ\frac{d^3z}{dx^3},$$

$$\text{die Last } p = EJ\frac{d^4z}{dx^4}. \quad . \quad (2)$$

Die Einführung des Werthes von p aus (2) in (1) liefert für die elastische Linie die Differentialgleichung

$$\frac{d^4z}{dx^4} = -\frac{c}{EJ}z \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Die allgemeine Lösung dieser Differentialgleichung lautet

$$z = Ae^{\xi}\cos\xi + Be^{-\xi}\cos\xi + Ce^{\xi}\sin\xi + De^{-\xi}\sin\xi, \quad (4)$$

worin $\xi = \sqrt[4]{\frac{bc}{4EJ}} \cdot x$ ist und A, B, C und D Coefficienten sind, die für jeden Belastungsfall einen andern Werth haben.

Für den vorliegenden Belastungsfall und den Angriffspunkt von $-P$ als Abscissenursprung sind A, B, C und D so beschaffen, dafs (4) übergeht in

$$z = -c_1 e^{-c_2 x}(\sin c_2 x + \cos c_2 x), \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

worin

$$c_1 = \frac{P}{\sqrt[4]{64\,c^3 EJ}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

und

$$c_2 = \sqrt[4]{\frac{c}{4EJ}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

ist. Man kann sich von der Richtigkeit von (5) am leichtesten überzeugen, indem man probeweise differencirt und nachsieht, ob alle in der Natur der Aufgabe liegenden Bedingungen erfüllt sind. Man erhält

$$\frac{dz}{dx} = 2\,c_1 c_2 e^{-c_2 x} \sin c_2 x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

$$\frac{d^2 z}{dx^2} = 2\,c_1 c_2^2 e^{-c_2 x} (-\sin c_2 x + \cos c_2 x) \quad . \quad . \quad (9)$$

$$\frac{d^3 z}{dx^3} = -4\,c_1 c_2^3 e^{-c_2 x} \cos c_2 x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

$$\frac{d^4 z}{dx^4} = 4\,c_1 c_2^4 e^{-c_2 x} (\sin c_2 x + \cos c_2 x) = -4\,c_2^4 z. \quad (11)$$

Die Gleichungen (8) bis (11) zeigen nun, wenn man in ihnen $x = 0$ setzt, dafs die Neigung am Ursprunge der Abscissen Null ist und dafs die Scherkraft daselbst $-\frac{1}{2}P$ beträgt. Endlich nimmt (11), wenn man die Last p und den Coefficient c einführt, die Form an

$$p = -4\,EJc_2^4 z = -cz.$$

Gleichung (5) erfüllt also thatsächlich alle in der Aufgabe liegenden Bedingungen; doch ist zu bemerken, dafs sie nur für positive x Geltung hat. An der Stelle $x = 0$ bewirkt nämlich die Einzellast $-P$ eine Unstetigkeit in den höheren Differentialquotienten, sodafs obige Ableitung für die Strecke links vom Ursprung nicht vollständig beibehalten werden kann. Natürlich verlaufen die beiden Aeste der elastischen Linie völlig symmetrisch in Bezug auf die z-Achse. Seinen gröfsten negativen Werth hat z unter der Last selbst; von da nach beiden Seiten bildet die elastische Linie Wellen, die mit zunehmender Entfernung von der Last immer schwächer werden. Es finden also nicht allenthalben Senkungen, sondern auch Hebungen statt. Diese auf den ersten Blick befremdliche Thatsache wird aber sofort klar, wenn man sich eine Schwelle auf nachgiebigem Boden denkt. Offenbar kann unter Umständen hier eine Belastung der Schwellenmitte ein Abheben der Schwellenenden vom Boden bewirken.

Nach (5) beträgt die Senkung für $x = 0$ d. i. am Ursprung $-c_1$. Setzt man diesen Werth in (1) ein, so zeigt sich der Gegendruck daselbst

$$p = cc_1$$

oder, wenn man aus (6) den Werth von c_1 einsetzt,

$$p = P\sqrt[4]{\frac{c}{64\,EJ}} = \frac{P}{2\sqrt{2}}\sqrt[4]{\frac{c}{EJ}} \quad . \quad . \quad (12)$$

Für das Moment M unter der Last P, d. h. für $x = 0$, gilt nach (9)

$$M = EJ\frac{d^2z}{dx^2} = 2c_1c_2^2EJ = 2\frac{P}{\sqrt[4]{64EJc^3}} \cdot \sqrt[4]{\frac{c^2}{16E^2J^2}} \cdot EJ$$

oder mit der Hohlseite der elastischen Linie oben

$$M = P\sqrt[4]{\frac{EJ}{64c}}. \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Die Ausdrücke (12) und (13) sind zwar für einen unendlich langen Träger abgeleitet worden, gelten aber, soweit sie im vorliegenden Aufsatze zur Verwendung kommen, noch recht genau bei endlicher Länge, indem e^{-c_2x} in Gl. 8 bis 11 mit wachsendem x rasch abnimmt. Die Einwirkung der entfernteren Trägerstrecken auf die Vorgänge in der Lastnähe sind daher gering und man kann sich diese Strecken und ihre Kräfte ohne merklichen Fehler wegdenken.

Wesentlich verschieden ist das Verhalten eines unendlich langen Trägers, für den zwar wieder $p = -cz$ gilt, der aber an seinem Ende (vgl. Abb. 2) durch die Last $-P$ beschwert

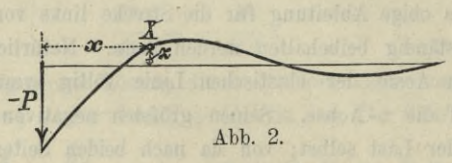

Abb. 2.

ist. Unter dem Angriffspunkte der Last wird in diesem Falle das Moment Null und es gilt für die elastische Linie die Gleichung

$$z = -c_3e^{-c_4x}\cos c_4x, \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

worin

$$c_3 = \frac{2P}{\sqrt[4]{4c^3EJ}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

$$c_4 = \sqrt[4]{\frac{c}{4EJ}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

ist. In der That findet sich dann nämlich

$$\frac{dz}{dx} = c_3c_4e^{-c_4x}(\sin c_4x + \cos c_4x) \quad . \quad . \quad (17)$$

$$\frac{d^2z}{dx^2} = -2c_3c_4^2e^{-c_4x}\sin c_4x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

$$\frac{d^3 z}{dx^3} = 2 c_3 c_4^3 e^{-c_4 x} (\sin c_4 x - \cos c_4 x) \quad . \quad (19)$$

$$\frac{d^4 z}{dx^4} = 4 c_3 c_4^4 e^{-c_4 x} \cos c_4 x = - 4 c_4^4 z \quad . \quad (20)$$

sodafs, wie es die Aufgabe verlangt, die Differentialgleichung (3) erfüllt ist; ferner für $x = 0$ (nach Gl. 18) das Moment zu Null und (nach 19) die Scherkraft

$$EJ \frac{d^3 z}{dx^3} = - 2 c_3 c_4^3 EJ = - P \quad . \quad . \quad . \quad (21)$$

wird. Es ist $-c_3$ nach (14) nichts anderes als die Senkung des Trägerendes unter der Last $-P$; sie ist viermal so grofs, wie c_1 gewesen war; die Senkung wächst daher ungefähr auf das Vierfache, wenn bei einem nicht unendlich langen, sondern endlichen Träger die Last von der Trägermitte ans Ende rückt. Der Gegendruck am Trägerende bestimmt sich aus (1) und (15) zu

$$p = c c_3 = P \sqrt[4]{\frac{4c}{EJ}}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (22)$$

wird also entsprechend der gröfseren Senkung ebenfalls viermal so grofs als er früher nach (12) gewesen war. Die Formel (22) bezieht sich zwar auf einen unendlich langen Träger, kann aber aus den schon in Bezug auf Formel (12) und (13) gesagten Gründen noch benutzt werden, wenn es sich um einen Träger von endlicher Länge handelt.

Beschreibung des Schwimmdocks und des Rechenverfahrens.

Ein Schwimmdock besteht aus einer Anzahl paralleler Wände, welche durch hierzu senkrechte Träger verbunden sind. Es werde hier ein Dock betrachtet, welches (vgl. Abb. 3) ein

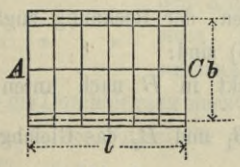

Abb. 3.

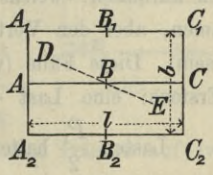

Abb. 4.

mittleres Königsschott AC und zwei Seitenkasten, also auf jeder Seite ein Wändepaar besitzt. Um die Rechnung zu vereinfachen,

werde jedoch angenommen, dafs (vgl. Abb. 4) nur zwei Seitenwände $A_1 C_1$ und $A_2 C_2$ vorhanden seien, welche durch zahlreiche Querspanten mit dem Königsschott in Verbindung stehen sollen. Es bedeute

l die Docklänge,
b die Dockbreite,
a die Entfernung benachbarter Querspanten,
J_k das Trägheitsmoment des Königsschottes,
J_s „ „ jeder der beiden Seitenwände,
J_q „ „ eines Querspantes.

Das Eigengewicht des Docks beansprucht die Docktheile nicht nennenswerth, weil ihm der Wasserauftrieb allenthalben unmittelbar entgegenwirkt. Das Schiff kann hingegen concentrirte Drucke ausüben und es könnte sogar vorkommen, dafs das gesamte Schiffsgewicht auf einem einzigen Punkte, nämlich auf der Mitte B des Königsschottes aufruhe. Es soll zunächst die Frage beantwortet werden, welche Inanspruchnahme dann in der Mitte des Königsschottes, in den mittleren Querspanten und in den Mitten der Seitenwände entstehen. An diese Erörterung wird sich die Darlegung der Vorgänge knüpfen, welche sich abspielen, wenn sich das Schiffsgewicht auf zwei Punkte des Königsschottes stützt. Hingegen kann es schon deshalb als ausgeschlossen gelten, dafs das Schiff nur an zwei aufserhalb seiner Längenachse gelegenen Stellen (z. B. D und E Abb. 4) aufruhe, weil das Schiff selbst eine solche Abstützung nicht aushalten würde.

Der Fall, dafs eine einzige Last in B wirkt, läfst sich als gleichzeitiges Eintreten von drei verschiedenen Belastungsfällen auffassen, welche an und für sich practisch nicht vorkommen, aber den Vortheil besitzen, der Rechnung zugänglich zu sein. Diese Fälle (vgl. Abb. 5) sind:

Erstens: eine Last $-P_1$ drückt in B nach unten, zwei Lasten $\frac{P_1}{2}$ halten ihr in B_1 und B_2 das Gleichgewicht.

Zweitens: Eine Last $-P_2$ drückt in B und zwei Lasten $-P_2{}^*$ drücken in B_1 und B_2 nach unten, vertheilte Lasten $-p_2$ drücken längs $A\,C$ nach unten und vertheilte

Lasten $\frac{p_2}{2}$ wirken längs $A_1 C_1$ und $A_2 C_2$ nach oben; endlich ist ein Auftrieb q auf der ganzen Unterfläche vorhanden.

Drittens: Vertheilte Lasten p_3 wirken längs $A\ C$ nach oben und vertheilte Lasten $-\frac{p_3}{2}$ drücken längs $A_1 C_1$ und $A_2 C_2$ nach unten.

Läfst man alle genannten Kräfte gleichzeitig auftreten, so kann man durch geeignete Wahl derselben bewirken, dafs ein Theil derselben sich aufhebt und nichts an äufseren Kräften übrig bleibt als ein Schiffsgewicht $-Q$ und ein Auftrieb q.

Ausrechnung der Belastungsfälle.

Erster Belastungsfall.

Das Dock sei (vgl. Abb. 4 u. 5) in den Mitten B_1 und B_2 der Seitenwände aufgelagert, während in der Mitte C des Königsschottes eine Last $-P_1$ angreife. Die Gegendrücke haben offenbar die Gröfse $\frac{P_1}{2}$. Die Seitenwände und das Königsschott werden sich in der Mitte stark, an den Enden kaum merklich durchbiegen und die Form der Abb. 6 annehmen. Hierbei vermitteln die Querspanten, welche sich ebenfalls biegen, die Druckübertragung vom Königsschott auf die Seitenwände. Bedeutet

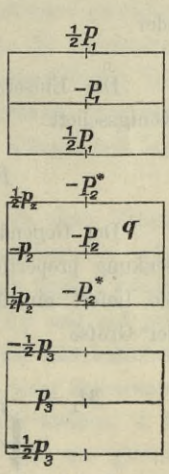

Abb. 5.

p_1 den Gegendruck der Querspanten auf die Längeneinheit Königsschott,

also ap_1 „ „ eines Querspantes auf das Königsschott,

y die Durchbiegung eines Querspantes,

so gilt nach der Formel für die Senkung von Trägern auf zwei Stützen*)

$$ap_1 = -\frac{48\,E\,J_q\,y}{b^3}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (23)$$

*) Falls die Querspanten veränderlichen Querschnitt besitzen, ist (23) entsprechend zu ändern.

Dieses y wird, wie gesagt, in der Dockmitte grofs, an den Dockenden A und C hingegen kaum merklich sein. Die Seitenwände erleiden nun durch die Spanten Drucke, welche die Gröfse $-\frac{1}{2}ap_1$ haben. Daraus geht hervor, dafs die von AC (Abb. 6) aus gemessenen Durchbiegungen des Schottes (nach

Abb 6.

unten) sich durchweg zu jenen der Seitenwände (nach oben) wie $2J_s : J_k$ verhalten. Bezeichnet daher

$-z$ die Durchbiegung des Königsschottes unter AC,

so gilt $$z : (y - z) = 2J_s : J_k$$

oder $$y = \frac{J_k + 2J_s}{2J_s} z \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

Die Einsetzung dieses Werthes in (23) liefert für das Königsschott

$$p_1 = -\frac{48EJ_q}{ab^3} \cdot \frac{J_k + 2J_s}{2J_s} z \quad . \quad . \quad (25)$$

Der Gegendruck auf das Königsschott ist also überall der Senkung proportional und gestattet die Anwendung von Gl. (13). Sie liefert ein Moment in der Mitte des Königsschottes von der Gröfse

$$M_1 = \frac{P_1 \sqrt[4]{EJ_k}}{\sqrt[4]{64 \frac{48EJ_q}{ab^3} \cdot \frac{J_k + 2J_s}{2J_s}}} \text{ (Hohlseite oben)}$$

oder

$$M_1 = \frac{P_1}{4} \sqrt[4]{\frac{ab^3 J_k}{12J_q} \cdot \frac{2J_s}{J_k + 2J_s}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (26)$$

Nach (12) läfst sich ferner der Druck der Querspanten gegen das Königsschott in der Dockmitte angeben. Zu diesem Zwecke ist zu bedenken, dafs (vgl. 12) für c der Ausdruck

$\frac{48 E J_q}{a b^3} \cdot \frac{J_k + 2 J_s}{2 J_s}$ einzusetzen ist. Das liefert

$$p_1 = \frac{P_1}{2\sqrt{2}} \sqrt[4]{\frac{48}{a b^3} \cdot \frac{J_q}{J_k} \cdot \frac{J_k + 2 J_s}{2 J_s}} = \frac{P_1}{2} \sqrt[4]{\frac{12}{a b^3} \cdot \frac{J_q}{J_k} \cdot \frac{J_k + 2 J_s}{2 J_s}}.$$

Die Kraft $-a p_1$ drückt auf das mittlere Querspant, welches die Länge b hat, und verursacht daher, dafs es ein Angriffsmoment (mit der Hohlseite oben) erleidet:

$$\frac{a b p_1}{4} = \frac{P_1}{8} \sqrt[4]{12 a^3 b \cdot \frac{J_q}{J_k} \cdot \frac{J_k + 2 J_s}{2 J_s}} \quad . \quad . \quad (27)$$

Zweiter Belastungsfall.

Das Dock sei in den Mitten $B B_1 B_2$ des Königsschottes und der Seitenwände festgehalten. Auf die Dockunterfläche wirke ein gleichförmig vertheilter Auftrieb von der Gröfse q für die Flächeneinheit. Endlich sei das Königsschott mit einer gleichförmig vertheilten Last von der Gröfse $-p_2$ für die Längeneinheit beschwert, während jede Seitenwand einen gleichförmig vertheilten, nach oben gerichteten Druck $\frac{1}{2} p_2$ empfängt. Verlangt werde ferner, dafs p_2 so grofs sei, dafs das Königsschott und die Seitenwände sich gleich stark heben.

Man kann jedes Querspant (vgl. Abb. 8) als einen Träger auf drei Stützen betrachten, welcher das Gesamtgewicht $a b q$ trägt. So lange die drei Stützpunkte gleich hoch liegen, kommt auf die Mittelstütze bekanntlich der Druck $^5/_8 a b q$ und auf jede der Endstützen der Druck $^3/_{16} a b q$, also auf die Längeneinheit Königsschott $^5/_8 b q$ und auf die Längeneinheit jeder Seitenwand $^3/_{16} b q$. Damit aber die drei Stützen gleich hoch bleiben, d. h. das Königsschott und die beiden Seitenwände sich um gleiche Gröfsen heben, mufs sich die Belastung des Königsschottes zu jener einer Seitenwand verhalten wie $J_k : J_s$. Das ist der Fall für

$$(\tfrac{5}{8} b q - p_2) : (\tfrac{3}{16} b q + \tfrac{1}{2} p_2) = J_k : J_s,$$

d. h. für $$p_2 = b q \frac{2 J_s}{J_k + 2 J_s} - \tfrac{3}{8} b q. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (28)$$

Das laut Voraussetzung in der Mitte gelagerte Königsschott, als Träger betrachtet (vgl. Abb. 7), hat demnach auf der Längen-

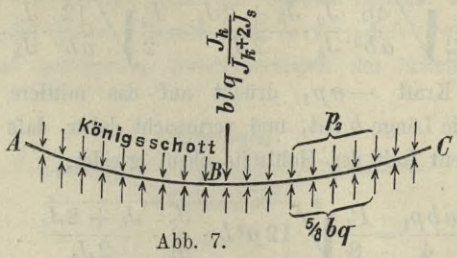

Abb. 7.

einheit eine gleichförmig vertheilte nach oben gerichtete Last von der Gröfse

$$\tfrac{5}{8}bq - p_2 = bq\frac{J_k}{J_k + 2J_s}$$

aufzunehmen, während jede Längswand die nach oben gerichtete Last

$$\tfrac{3}{16}bq + \tfrac{1}{2}p_2 = bq\frac{J_s}{J_k + 2J_s}$$

zu tragen hat. Die Gegendrucke an den drei Punkten, in welchen das Dock festgehalten werden soll, betragen dann

in B von oben nach unten wirkend $-P_2 = -blq\dfrac{J_k}{J_k + 2J_s}$,

in B_1 desgl. $-P_2^* = -blq\dfrac{J_s}{J_k + 2J_s}$, (29)

in B_2 desgl. $-P_2^* = -blq\dfrac{J_s}{J_k + 2J_s}$,

während das Angriffsmoment (mit der Hohlseite oben) in der Mitte des gleichförmig belasteten Königsschottes offenbar die Gröfse annimmt

$$M_2 = \tfrac{1}{8}bl^2q\frac{J_k}{J_k + 2J_s}. \quad . \quad . \quad . \quad (30)$$

Die äufseren Kräfte, welche längs AC, A_1C_1 und A_2C_2 gleichförmig vertheilt sind, haben nach (28) folgende Gesamtgröfse:

längs AC nach unten gerichtet

$$-lp_2 = -blq\frac{2J_s}{J_k + 2J_s} + \tfrac{3}{8}blq,$$

längs A_1C_1, sowie A_2C_2 nach oben gerichtet je (31)

$$\tfrac{1}{2}lp_2 = blq\frac{J_s}{J_k + 2J_s} - \tfrac{3}{16}blq.$$

Der Auftrieb q für die Flächeneinheit, also aq für die Längeneinheit Spant, erzeugt in den Mitten der Spanten, welche

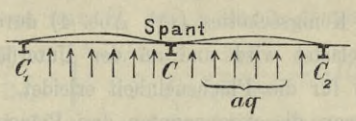

Abb. 8.

(vgl. Abb. 8) Träger von der Länge b über 3 Stützen darstellen, nach als bekannt voraussetzbarer Formel ein

$$\text{Moment (mit der Hohlseite oben)} = \frac{ab^2q}{32}. \qquad (32)$$

Dritter Belastungsfall.

Das Dock sei längs der beiden Seitenwände festgehalten, während längs des Königsschottes gleichmäfsig vertheilte Kräfte von der Gröfse p_3 für die Längeneinheit von unten nach oben wirken.

In diesem Falle überträgt jedes Querspant einen Druck ap_3 auf die Seitenwände, deren jede einen Gegendruck $\frac{1}{2}ap_3$ ausübt. Die Gesamtbelastung des Königsschottes beträgt (vgl. Abb. 9 u. 10) offenbar lp_3, die Gesamtreaction jeder Seitenwand

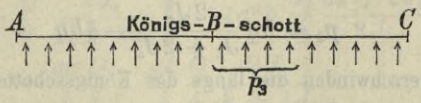

Abb. 9.

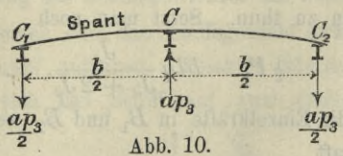

Abb. 10.

$-\frac{1}{2}lp_3$. Momente entstehen hierdurch weder im Königsschott noch in den Seitenwänden. Die Querspanten aber erleiden als Träger über zwei Stützen ein

$$\text{Moment (mit der Hohlseite unten)} = -\tfrac{1}{4}abp_3. \qquad (33)$$

Belastung durch ein einziges Gewicht in der Dockmitte.

In Wirklichkeit kann es geschehen, dafs das Dock nur in der Mitte B des Königsschottes (vgl. Abb. 4) durch ein Schiffsgewicht $-Q$ belastet wird und an der Unterfläche durchweg einen Auftrieb q für die Flächeneinheit erleidet.

Vereinigt man die vorgenannten drei Belastungsarten und setzt die nach oben gerichteten Kräfte positiv, so hat man nachstehende äufsere Kräfte (vgl. Gl. 29 u. 31)

$$\left.\begin{array}{ll}
\text{in } B & -P_1 - blq\dfrac{J_k}{J_k+2J_s} \\[2ex]
\text{in } B_1 & \frac{1}{2}P_1 - blq\dfrac{J_s}{J_k+2J_s} \\[2ex]
\text{in } B_2 & \frac{1}{2}P_1 - blq\dfrac{J_s}{J_k+2J_s} \\[2ex]
\text{vertheilt längs } AC & -blq\dfrac{2J_s}{J_k+2J_s} + \frac{3}{8}blq + lp_3 \\[2ex]
\text{vertheilt längs } A_1C_1 & blq\dfrac{J_s}{J_k+2J_s} - \frac{3}{16}blq - \frac{1}{2}lp_3 \\[2ex]
\text{vertheilt längs } A_2C_2 & blq\dfrac{J_s}{J_k+2J_s} - \frac{3}{16}blq - \frac{1}{2}lp_3 \\[2ex]
\text{auf der Fläche } A_1A_2C_1C_2 & blq
\end{array}\right\} \quad (34)$$

Wird zunächst $p_3 = p_2$ (vgl. 28), also

$$p_3 = bq\frac{2J_s}{J_k+2J_s} - \frac{3}{8}bq \quad . \quad . \quad (35)$$

gesetzt, so verschwinden die längs des Königsschottes AC und der Seitenwände A_1C_1 und A_2C_2 vertheilten äufseren Kräfte und man hat es nur mit dem Auftriebe auf die Dockunterfläche und Einzelkräften zu thun. Setzt man noch

$$\frac{1}{2}P_1 = blq\frac{J_s}{J_k+2J_s}, \quad . \quad . \quad . \quad (36)$$

so fallen auch die Einzelkräfte in B_1 und B_2 weg und es bleibt nur die Mittelkraft

$$-Q = -2blq\frac{J_s}{J_k+2J_s} - blq\frac{J_k}{J_k+2J_s} = -blq \quad (37)$$

in der Mitte B des Königsschottes, so wie der Auftrieb blq übrig.

Das Angriffsmoment des Königsschottes in B beträgt nach (26) und (30)

$$M_k = M_1 + M_2 = \frac{P_1}{4}\sqrt[4]{\frac{a\,b^3}{12}\cdot\frac{J_k}{J_q}\cdot\frac{2J_s}{J_k+2J_s}} + \tfrac{1}{8}bl^2q\frac{J_k}{J_k+2J_s}$$

oder es ist, wenn man P_1 und q durch Q ausdrückt,

$$M_k = \frac{Q}{4}\cdot\frac{2J_s}{J_k+2J_s}\cdot\sqrt[4]{\frac{ab^3}{12}\cdot\frac{J_k}{J_q}\cdot\frac{2J_s}{J_k+2J_s}} + \tfrac{1}{8}lQ\frac{J_k}{J_k+2J_s}. \quad (38)$$

Das Angriffsmoment der beiden Seitenwände in B_1 und B_2 mufs sich (vgl. Abb. 4) mit dem des Königsschottes in B zu dem Momente der auf einer Seite $B_1 B_2$ angreifenden äufseren Kräfte ergänzen. Demnach ist das Angriffsmoment einer Seitenwand

$$M_s = \frac{lQ}{16} - \frac{M_k}{2}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (39)$$

Das Angriffsmoment des mittleren Querspantes $B_1 B_2$ beträgt in B nach (27), (32) und (33)

$$M_q = \frac{P_1}{8}\sqrt[4]{12a^3b\frac{J_q}{J_k}\frac{J_k+2J_s}{2J_s}} + \frac{ab^2q}{32} - \frac{abp_3}{4}$$

$$= \frac{P_1}{8}\sqrt[4]{12a^3b\frac{J_q}{J_s}\frac{J_k+2J_s}{2J_s}} + \frac{ab^2q}{32} - \frac{ab^2q}{4}\cdot\frac{2J_s}{J_k+2J_s}$$

$$+ \frac{3ab^2q}{32} = \frac{P_1}{8}\sqrt[4]{12a^3b\frac{J_q}{J_k}\frac{J_k+2J_s}{2J_s}} + \frac{ab^2q}{8} - \frac{ab^2q}{4}\frac{2J_s}{J_k+2J_s},$$

oder endlich, wenn man P_1 und q durch Q ausdrückt,

$$M_q = \frac{Q}{8}\frac{2J_s}{J_k+2J_s}\sqrt[4]{12a^3b\frac{J_q}{J_k}\frac{J_k+2J_s}{2J_s}}$$

$$+ \frac{ab}{l}\frac{Q}{8} - \frac{ab}{l}\frac{Q}{4}\frac{2J_s}{J_k+2J_s}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (40)$$

Vertheilung des Schiffsgewichtes auf zwei Punkte.

Im allgemeinen wird das Schiffsgewicht nicht blofs in einem Punkte des Dockes aufruhen. Leichter könnte es schon geschehen, dafs sich das Schiff auf zwei Stellen des Königs-

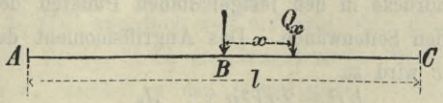

Abb. 11.

schottes aufsetzt. Liegt die eine dieser Stellen (vgl. Abb. 11) in der Entfernung x von der Dockmitte B, so wird die in x

angreifende Theilkraft am gröfsten, wenn die andere ans entferntere Ende A des Königsschottes $A\,C$ rückt. Für die gröfste mögliche Einzellast im Punkte x gilt daher

$$Q_x = \frac{l}{l + 2x} \cdot Q. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (41)$$

Trägt man die Q_x als Höhen auf (vgl. Abb. 12), so erhält man zwei sich in der Dockmitte schneidende Hyperbel-Aeste,

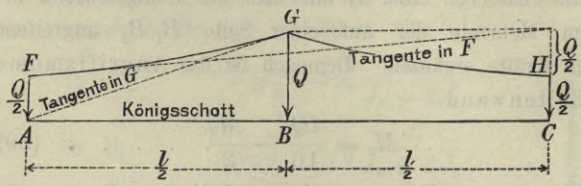

Abb. 12.

welche hier die Höhe Q und an den Enden A und C des Königsschottes die Höhen $\frac{1}{2}\,Q$ besitzen. So lange Q_x nicht recht nahe an A oder C rückt, können nun die früheren Entwicklungen wie folgt abgeändert werden.

1. Fall. Am Dockende wirken eine Kraft $-\frac{2x}{l+2x}P_1$ in A und zwei Kräfte $\frac{x}{l+2x}P_1$ in A_1 und A_2; im Spant x greifen eine Kraft $-\frac{l}{l+2x}P_1$ am Schott und zwei Kräfte $\frac{1}{2}\cdot\frac{l}{l+2x}P_1$ an den Seiten an. In den Formeln 26 und 27 ist $\frac{l}{l+2x}P_1$ an Stelle von P_1 zu setzen, damit sie sich auf den Querschnitt x beziehen.

2. Fall. Das Dock ist in $A\,A_1\,A_2$ und in Spant x in zusammen sechs Punkten festgehalten. Gl. 28 bleibt bestehen. In 29 bedeuten $-P_2$ und die beiden $P_2{}^*$ nunmehr die Summen der 2 Gegendrucke in den festgehaltenen Punkten des Schottes und der beiden Seitenwände. Das Angriffsmoment des Königsschottes in x wird zu

$$M_2 = \frac{b\,(l-2x)^2 q}{8} \cdot \frac{J_k}{J_k + 2J_s} \quad . \quad . \quad . \quad (42)$$

Gl. 32 bleibt bestehen.

3. Fall. Derselbe bleibt ungeändert.

Die Vereinigung der drei Fälle unter Beibehaltung der Ausdrücke 35 und 36 für p_3 und P_1 liefert

für das Angriffsmoment des Königsschottes in x

$$M_k = \frac{l}{l+2x} \cdot \frac{Q}{4} \cdot \frac{2J_s}{J_k + 2J_s} \sqrt[4]{\frac{ab^3}{12} \cdot \frac{J_k}{J_q} \cdot \frac{2J_s}{J_k + 2J_s}}$$
$$+ \frac{(l-2x)^2}{l} \cdot \frac{Q}{8} \cdot \frac{J_k}{J_k + 2J_s}, \quad . \quad . \quad . \quad (43)$$

für das Angriffsmoment einer Seitenwand in x

$$M_s = \frac{(l-2x)^2}{l} \cdot \frac{Q}{16} - \frac{M_k}{2} \quad . \quad . \quad . \quad (44)$$

und endlich für das Angriffsmoment in der Mitte des Querspantes x

$$M_q = \frac{l}{l+2x} \cdot \frac{Q}{8} \cdot \frac{2J_s}{J_k + 2J_s} \sqrt[4]{12\,a^3 b \frac{J_q}{J_k} \cdot \frac{J_k + 2J_s}{2J_s}}$$
$$+ \frac{ab}{l} \cdot \frac{Q}{8} - \frac{ab}{l} \cdot \frac{Q}{4} \cdot \frac{2J_s}{J_k + 2J_s}. \quad . \quad . \quad (45)$$

Lastangriff an beiden Enden des Königsschottes.

Es möge nun der Fall näher betrachtet werden, dafs das Schiff nur an beiden Enden A und C des Königsschottes aufruhe. Das Angriffsmoment des Schottes und der beiden Seitenwände in den Punkten $A\,C$ bezw. $A_1\,C_1$ und $A_2\,C_2$ mufs auch bei solcher Belastung Null bleiben. Es scheint aber möglich, dafs die Endspanten $A_1\,A_2$ und $C_1\,C_2$ starken Momenten unterworfen werden. Wieder soll die wirkliche Belastung aus drei Einzelfällen zusammengesetzt werden.

1. Fall. Das Dock sei je in A und C durch die Last $-\frac{1}{2}P_1$ belastet und in A_1 und A_2 sowie in C_1 und C_2 aufgehängt. Dann treten in A_1, A_2, C_1 und C_2 Gegendrucke $+\frac{1}{4}P_1$ auf. Für die Beanspruchung, welche die in A_1, A und A_2 angreifenden drei äufseren Kräfte am Dockende $A_1\,A\,A_2$ hervorrufen, ist es nahezu gleichgültig, ob sich das Dock in der Richtung $C_1\,C\,C_2$ unendlich weit erstreckt oder nicht, und welche Belastungen in C_1, C, C_2 angebracht sind. Wieder gelten die Erwägungen, welche zu den Gleichungen 23 bis 25 geführt haben. Letztere lautet

$$p_1 = -\frac{48\,EJ_q}{ab^3} \cdot \frac{J_k + 2J_s}{2J_s} z. \quad . \quad . \quad (25)$$

Der Gegendruck p_1 der Spanten auf die Längeneinheit des Königsschottes in A hat dann nach (22), worin

$c = \frac{48\,EJ_q}{ab^3} \cdot \frac{J_k + 2J_s}{2J_s}$, ferner $J = J_k$ und laut Voraussetzung $P = \frac{P_1}{2}$ zu setzen ist, die Gröfse

$$p_1 = P_1 \sqrt[4]{\frac{12}{ab^3} \cdot \frac{J_q}{J_k} \cdot \frac{J_k + 2J_s}{2J_s}} \quad . \quad (46)$$

Die Kraft ap_1 drückt auf die Mitte des Querspantes $A_1 A_2$, welches die Länge b hat, und erzeugt daher in ihm ein Angriffsmoment

$$\frac{abp_1}{4} = \frac{P_1}{4} \sqrt[4]{12\,a^3 b \cdot \frac{J_q}{J_k} \cdot \frac{J_k + 2J_s}{2J_s}} \quad . \quad (47)$$

2. Fall. Das Dock werde an den sechs Endpunkten A_1, A, A_2 und C_1, C, C_2 festgehalten. Auf die Dockunterfläche wirke ein gleichförmig vertheilter Auftrieb von der Gröfse q f. d. Flächeneinheit. Endlich sei das Königsschott mit einer gleichförmig vertheilten Last $-p_2$ für die Längeneinheit beschwert, während jede Seitenwand einen gleichförmig vertheilten nach oben gerichteten Druck $\frac{1}{2}p_2$ erfährt. Verlangt wird, dafs p_2 so grofs sei, dafs sich Königsschott und Seitenwände gleich stark heben. Wieder findet sich durch Wiederholung der früheren Betrachtung

$$p_2 = bq \frac{2J_s}{J_k + 2J_s} - \tfrac{3}{8} bq. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (28)$$

Es wirken also von äufseren Kräften, aufser dem Auftrieb, noch

$$\left.\begin{array}{l} \text{längs } A\,C \text{ nach unten} \\ \qquad -lp_2 = -blq \dfrac{2J_s}{J_k + 2J_s} + \tfrac{3}{8} blq, \\ \text{längs } A_1\,C_1 \text{ sowie } A_2\,C_2 \text{ nach oben je} \\ \qquad \tfrac{1}{2} lp_2 = blq \dfrac{J_s}{J_k + 2J_s} - \tfrac{3}{16} blq, \end{array}\right\} \quad . \quad (31)$$

sowie sechs Gegendrucke, alle von oben nach unten und halb so grofs wie in Gl. (29), nämlich

$$\left.\begin{array}{ll}\text{je in } A \text{ und } C \;.\;.\; & -\tfrac{1}{2}blq\dfrac{J_k}{J_k+2J_s}\\ \text{je in } A_1, A_2, C_1 \text{ und } C_2 \;.\; & -\tfrac{1}{2}blq\dfrac{J_s}{J_k+2J_s}\end{array}\right\} \quad . \; . \quad (48)$$

Der Auftrieb erzeugt wieder (vgl. Abb. 8) in den Spanten ein Moment

$$\frac{ab^2q}{32} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (32)$$

3. Fall. Dieser bleibt gänzlich ungeändert.

Die Vereinigung der drei Fälle liefert folgende äufseren Kräfte (wenn man, wie bisher, die nach oben gerichteten positiv setzt):

je in A und C . . . $-\tfrac{1}{2}P_1 - \tfrac{1}{2}blq\dfrac{J_k}{J_k+2J_s}$,

je in A_1, A_2, C_1 und C_2 . $\tfrac{1}{4}P_1 - \tfrac{1}{2}blq\dfrac{J_s}{J_k+2J_s}$,

vertheilt längs AC . . $-blq\dfrac{2J_s}{J_k+2J_s} + \tfrac{3}{8}blq + lp_3$,

vertheilt je längs A_1C_1 u. A_2C_2 $blq\dfrac{J_s}{J_k+2J_s} - \tfrac{3}{16}blq - \tfrac{1}{2}lp_3$,

auf der Fläche $A_1\,C_1\,A_2\,C_2$ blq.

Wird hier wieder $p_3 = bq\dfrac{2J_s}{J_k+2J_s} - \tfrac{3}{8}bq$. (35)

und

$$\tfrac{1}{2}P_1 = blq\frac{J_s}{J_k+2J_s} \quad . \; . \; . \; . \quad (36)$$

gesetzt, so fallen alle Kräfte fort bis auf zwei Einzelkräfte

$$-\tfrac{1}{2}P_1 - \tfrac{1}{2}blq\frac{J_k}{J_k+2J_s}$$

in den Königsschottenden A und C und den Auftrieb blq. Das Angriffsmoment auf die Endspanten $A_1\,A_2$ und $C_1\,C_2$ in den Punkten A und C beträgt dann nach (47), (32) und (33)

$$M_q = \frac{P_1}{4}\sqrt[4]{12a^3b\frac{J_q}{J_k}\frac{J_k+2J_s}{2J_s}} + \frac{ab^2q}{32} - \frac{abp_3}{4}. \quad (49)$$

Hierin ist, wenn man bedenkt, dafs das Schiffsgewicht Q gleich dem Auftriebe blq sein mufs, nach (36)

$$P_1 = \frac{2J_s}{J_k+2J_s}Q.$$

Drückt man in (49) nun P_1, q und p_3 durch Q aus, so folgt für das Moment

$$M_q = \frac{Q}{4} \cdot \frac{2J_s}{J_k + 2J_s} \sqrt[4]{12\, a^3 b \frac{J_q}{J_k} \cdot \frac{J_k + 2J_s}{2J_s}}$$

$$+ \frac{ab}{l} \cdot \frac{Q}{8} - \frac{ab}{l} \frac{Q}{4} \frac{2J_s}{J_k + 2J_s} \quad . \quad . \quad . \quad (50)$$

Das Angriffsmoment M_q ist demnach für die Endspanten bei Vertheilung der Schiffslast auf die beiden Endpunkte des Königsschottes mehr als doppelt so grofs wie zuvor nach (40) für das Mittelspant, obwohl in A und C nur eine Last $\frac{1}{2} Q$ aufruht und früher in B eine Last Q vorausgesetzt worden ist.

Dock mit hohen Seitenwänden.

Häufig werden Schwimmdocks mit hohen Seitenwänden ausgeführt, deren Trägheitsmoment viel gröfser ist als das des Königsschottes. Bei dieser Bauweise wird der in obigen Formeln vorkommende Bruch $2J_s : (J_k + 2J_s)$ ungefähr $= 1$, ferner $J_k : (J_k + 2J_s)$ ungefähr gleich Null, und die Ausdrücke vereinfachen sich wesentlich. Für ein solches Dock ist das gröfste Angriffsmoment des Königsschottes in der Dockmitte B nach (38)

$$M_k = \frac{Q}{4} \sqrt[4]{\frac{ab^3}{12} \frac{J_k}{J_q}}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (51)$$

das gröfste Angriffsmoment des Mittelspantes $B_1 B_2$ in B nach (40)

$$M_q = \frac{Q}{8} \sqrt[4]{12 a^3 b \frac{J_q}{J_k}} - \frac{ab}{l} \frac{Q}{8}, \quad . \quad . \quad (52)$$

das gröfste mögliche Angriffsmoment des Königsschottes im Abstande x von der Mitte B nach (43)

$$M_k = \frac{l}{l + 2x} \frac{Q}{4} \sqrt[4]{\frac{ab^3}{12} \frac{J_k}{J_q}}, \quad . \quad . \quad . \quad (53)$$

das gröfste mögliche Angriffsmoment eines im Abstande x von der Dockmitte $B_1 B_2$ gelegenen Querspantes nach (45), so lange x nicht nahezu $= \frac{1}{2} l$ ist,

$$M_q = \frac{l}{l + 2x} \frac{Q}{8} \sqrt[4]{12 a^3 b \frac{J_q}{J_k}} - \frac{ab}{l} \frac{Q}{8}, \quad (54)$$

das gröfste mögliche Angriffsmoment der Endspanten $A_1 A_2$ bezw. $C_1 C_2$ in A bezw. C nach (50)

$$M_q = \frac{Q}{4} \sqrt[4]{12 a^3 b \frac{J_q}{J_k}} - \frac{ab}{l} \cdot \frac{Q}{8} \quad . \quad . \quad . \quad (55)$$

Beispiel.

Bei einem thatsächlich ausgeführten Schwimmdock mit hohen Seitenwänden ist

die Docklänge $l = 3400$ cm,
die Dockbreite b ungefähr $= 1600$ cm,
die Entfernung benachbarter Querspanten $a = 94$ cm,
das Trägheitsmoment des Königsschottes $J_k = 9800000$ cm^4,
das Widerstandsmoment des Königsschottes 65300 cm^3,
das Trägheitsmoment eines Querspantes $J_q = 4350000$ cm^4,
das Widerstandsmoment eines Querspantes 29000 cm^3,
die Tragfähigkeit oder das Schiffsgewicht $Q = 900$ t.

Demnach kann im ungünstigsten Falle das Angriffsmoment des Königsschottes in der Dockmitte betragen nach (51)

$$M_k = \frac{900}{4} \sqrt[4]{\frac{94 \times \overline{1600}^3}{12} \times \frac{9800000}{4350000}} = 116660 \text{ cmt.}$$

An allen anderen Punkten des Königsschottes kann das Angriffsmoment nicht so grofs werden. Die stärkste Beanspruchung des Königsschottes beträgt daher 116660 : 65300 = 1,787 t/qcm.

Das gröfste mögliche Angriffsmoment des Mittelspantes beträgt in seiner Mitte nach (52)

$$M_q = \frac{900}{8} \sqrt[4]{12 \times \overline{94}^3 \times 1600 \times \frac{4350000}{9800000}} - \frac{94 \times 1600}{3400}$$

$$\times \frac{900}{8} = 32630 - 4980 = 27650 \text{ cmt.}$$

Die gröfste mögliche Beanspruchung des Mittelspantes findet sich daher zu 27650 : 29000 = 0,953 t/qcm.

Die übrigen Spanten können nicht so hoch beansprucht werden bis auf die äufsersten Spanten und vielleicht einige in

deren Nachbarschaft. In den beiden Endspanten kann nämlich das Angriffsmoment nach (55) wachsen bis auf

$$M_q = 2 \times 32\,630 - 4\,980 = 60\,280 \text{ cmt}$$

und daher die Beanspruchung auf $60\,280 : 29\,000 = 2{,}079$ t/qcm.

Gleichmäfsige Aufnahme eines Theiles des Schiffsgewichtes.

Die in dem Beispiele berechneten Inanspruchnahmen sind auffallend hoch. Sie werden auch in Wirklichkeit nicht erreicht werden, weil infolge des Dockverfahrens und der Biegsamkeit des Schiffes und des Docks stets ein Theil des Gewichtes vertheilt auf dem Dock lasten und dessen Festigkeit daher in wesentlich geringerem Mafse in Anspruch nehmen wird. Die vorhergehenden Ableitungen werden durch diese Einschränkung nicht geändert, nur wird in allen Formeln Q nicht mehr das ganze, sondern nur mehr einen Theil des Schiffsgewichtes bedeuten. Das übrige Gewicht, welches die Gröfse Q^* haben möge, kann man sich gleichmäfsig über das Königsschott gebreitet denken. Dasselbe ruft dann nur in den Spanten innere Kräfte hervor. Jedes Spant bildet in Bezug auf Q^* einen in seiner Mitte festgehaltenen, durch einen vertheilten Auftrieb von der Gesamtgröfse $a\,Q^* : l$ belasteten Träger. Es wirkt also auf jedes Spant ein Angriffsmoment (mit der Hohlseite oben) von der Gröfse

$$M_q^* = \frac{a\,b\,Q^*}{8\,l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (56)$$

Setzt man im früheren Beispiele $Q = \frac{2}{3} \times 900 = 600$ t und $Q^* = \frac{1}{3} \times 900 = 300$ t, so sinkt die Beanspruchung des Königsschottes einfach auf $\frac{2}{3} \times 1{,}787 = 1{,}191$ t/qcm herab. Im Mittelspant wird das gröfste Angriffsmoment zu

$$M_q + M_q^* = \tfrac{2}{3} \times 27\,650 + \frac{94 \times 1600 \times 300}{8 \times 3400} = 18430$$
$$+ 1660 = 20\,090 \text{ cmt},$$

also die Beanspruchung zu $20\,090 : 29\,000 = 0{,}693$ t/qcm und in beiden Endspanten kann das Angriffsmoment

$$M_q + M_q^* = \tfrac{2}{3} \times 60\,280 + 1660 = 41\,850 \text{ cmt},$$

mithin die Beanspruchung $41\,850 : 29\,000 = 1{,}443$ t/qcm er-

reichen. Die Werthe von M_q^* bleiben also hinter denen von M_q erheblich zurück.

Die entwickelten Formeln lassen sich nun als Regeln auffassen, welche beim Entwurfe eines Docks zu beachten sind. Man wird nach ihnen z. B. das Königsschott in der Mitte stärker machen als an den Enden, die Widerstandsmomente von Königsschott und Querspant im Verhältnisse $M_k : (M_q + M_q^*)$ wählen und starke oder mehrfache Endspanten anordnen. Trotz der Willkürlichkeit, welche in der Zerlegung des Schiffsgewichtes in Q und Q^* liegt, wird bei der Geringfügigkeit des Einflufses von Q^* das Verhältnifs, in welches die Stärken der einzelnen Docktheile gegen einander zu bringen sind, genügend genau bestimmbar.

Halle a. S., Buchdruckerei des Waisenhauses.

Assmann, G., Geh. Ober-Baurath. Hülfstafeln zu
Stützen. Zweite Auflage für metrisches Sy
von P. O. Marbach. Mit Holzschnitten
steif geh.

Fuhrmann, A., Dr. Professor an der techn. Hochschu
finitesimalrechnung in den Naturwissenschafte
Lehrbuch und Aufgabensammlung. In sech
selbständiges Ganzes bildet.
Theil I. Naturwissenschaftliche Anwendungen der Differentialrechnung. gr. 8. 1889. geh. 3 M.
Theil II. Naturwissenschaftliche Anwendungen der Integralrechnung. gr. 8. 1890. geh. 5,50 M.

Hagen, G., Dr. Kgl. Ober-Landes-Baudirektor, wirkl. Geheimer Rath. Grundzüge der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Dritte, umgearbeitete Auflage. 8. 1882. geh. 6 M.

— — Der Constanten wahrscheinliche Fehler. Nachtrag zur dritten Auflage der Grundzüge der Wahrscheinlichkeitsrechnung. 8. 1884. geh. 1,60 M.

— — Über Form und Stärke gewölbter Bogen. Mit einer Kupfertafel. Zweite verbesserte und vermehrte Auflage. gr. 8. 1874. geh. 3 M.

Land, Robert, Ingenieur. Ueber die Ermittelung und die gegenseitigen Beziehungen der Einflusslinien für Träger. gr. 8. 1890. geh. 1,60 M.

— — Ueber die statische und geometrische Bestimmtheit der Träger, insbesondere der Fachwerkträger. Zugleich ein Beitrag zur Kinematik der Stabwerke. Mit 25 Holzschnitten. 8. 1887. Pappbd. 1 M.

Landsberg, Th., Reg.-Baumeister. Das Eigengewicht der eisernen Dachbinder. gr. 4. 1885. geh. 1,50 M.

Ligowski, W., Professor Dr. Die Bestimmung der Form und Stärke gewölbter Bogen mit Hülfe der hyperbolischen Funktionen. gr. 4. 1854. geh. 1,50 M.

— — Tafeln der Hyperbelfunctionen und der Kreisfunctionen. Nebst einem Anhange enthaltend die Theorie der Hyperbelfunctionen. gr. 8. 1889. geh. 5 M.

Müller-Breslau, Heinrich F. B., Professor an der technischen Hochschule zu Berlin. Beiträge zur Theorie der ebenen elastischen Träger. Mit 35 Abbildungen in Holzschnitt. gr. 8. 1890. geh. 2 M.

Schwedler, J. W., Geh. Oberbaurath. Die Construction der Kuppeldächer. 11 Tafeln mit Text. Zweite vermehrte Auflage. Fol. 1877. steif geh. 14 M.
Inhalt: Theorie der Kuppelflächen. — Kuppeldachconstruction von 98 Fuſs 6 Zoll Durchmesser über dem Gasbehältergebäude der Imperial-Continental-Gas-Association zu Berlin, Holzmarktstraſse No. 28. Erbaut im Jahre 1863. — Kuppeldachconstruction von 130 Fuſs Durchmesseer über dem Gasbehältergebäude der städtischen Gasanstalt zu Berlin, Hellweg No. 9. Erbaut im Jahre 1865. — Kuppelconstruction von 140 Fuſs Durchmesser über dem Gasbehältergebäude der städtischen Gasanstalt zu Berlin in der Müllerstraſse. Erbaut im Jahre 1865. — Kuppeldachconstruction von 80 Fuſs Durchmesser über dem Locomotivschuppen auf dem Bahnhof St. Johann der Saarbrücker Eisenbahn. Erbaut im Jahre 1863. — Kuppelconstruction von 44 Fuſs Durchmesser auf der neuen Synagoge zu Berlin in der Oranienburgerstraſse No. 30. Erbaut im Jahre 1863. — Gasbehälter der städtischen Gasbehälter-Anstalt an der Fichtestraſse in Berlin. Erbaut in den Jahren 1873—1875. — Anhang. Gasbehältergebäude der Imperial-Continental-Gas-Association zu Berlin. Erbaut im Jahre 1861.

Spangenberg, Ludwig, Professor an der Kgl. Gewerbe-Akademie zu Berlin. Ueber das Verhalten der Metalle bei wiederholten Anstrengungen. (Fortsetzung der Wöhler'schen Festigkeitsversuche.) Mit 2 Kupfertafeln. gr. 4. 1875. geh. 3 M.

Tolkmitt, G., Kgl. Wasser-Bauinspector in Potsdam. Das Entwerfen und die Berechnung der Brückengewölbe. gr. 8. 1885. geh. 1,20 M.

Wittmann, Wilh., Dr. Professor der techn. Hochschule in München. Statik der Hochbauconstructionen. I. Theil: Steinconstructionen. Mit 7 Kupfertafeln und 51 Holzschnitten. gr. 8. 1879. geh. 6 M.
(Theil 2, 3 ist Verlag von M. Rieger's Buchhandlung in München.)

Zimmermann, Dr. **H.,** Regierungs- und Baurath. Genietete Träger. — Tabellen der Trägheitsmomente. Widerstandsmomente und Gewichte. Mit Berücksichtigung der Nietverschwächung. Zweite vermehrte und verbesserte Auflage. Mit Holzschnitten und einer [illegible] Pappbd. 4 M.

— — Ueber Eisenconstructi[illegible] steif geh. 1 M.

— — Ueber den Sicherhei[illegible] besonders der auf Knicken beanspruchten [illegible] 2 M.

— — Rechentafel nebst Sa[illegible] he. 238 Seiten. gr. 8. 1889. geh. 5 M.