

schnelle hat und mit dieser selben Schnelle auch die Reibung in ihren Lagern überwinden muss. Es wird auch hier besonders deutlich, wie sehr die Veranlassung vorlag, bei Triebwerken zu den Einrichtungen, wie sie der Haufseiltrieb mit sich gebracht hat, überzugehen.

Fünfundzwanzigstes Kapitel.

BEHÄLTER AN HALTUNGEN
FÜR DRUCKORGANE.

§. 353.

Verschiedene Arten von Behältern.

Die wichtigsten Theile der Haltungen für Druckorgane sind Gefässe, Behälter, Becken, Kammern, in welchen Druckorgane in mehr oder weniger bedeutender Menge Aufnahme finden, um entweder durch Ueberdruck oder durch Unterdruck zu gegebenen Zeiten zur Wirkung gebracht zu werden; im ersteren Falle ist die Haltung eine Ueberdruck- oder Hochdruckhaltung, im zweiten eine Unter- oder Tiefdruckhaltung. Die beiden Haltungen eines Schiffahrtskanales, welche an eine und dieselbe Schleusenkammer anstossen, vergl. Fig. 993, vertreten die beiden Gattungen. Die in der Technik zur Verwendung kommenden Haltungen sind sehr zahlreich, wie bereits in §. 312 gezeigt wurde. Wenn wir hier auf ihre Behälter etwas näher einzugehen haben, müssen wir uns, der Natur unserer Aufgabe gemäss, auf diejenigen beschränken, welche der Maschinenbauer herzustellen hat, das sind die Behälter von Gusseisen, Schmiedeeisen, Kupfer und Stahl. Anwendung finden dieselben für tropfbare wie für gasförmige Flüssigkeiten und sind grösstentheils Gegenstände besonderer Fabrikation.

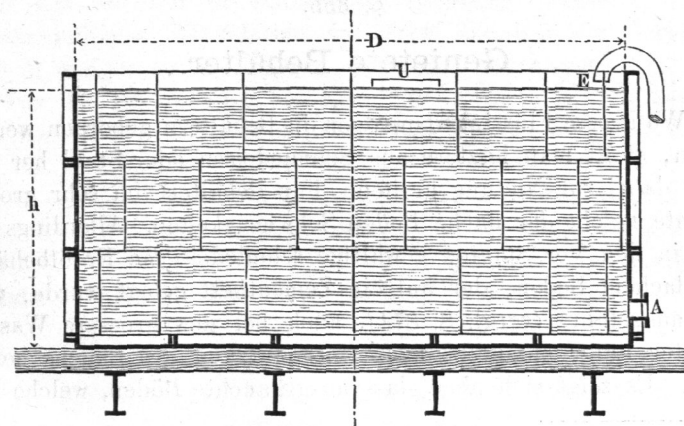
Der Behälter bildet, wenn er zusammengefasst wird mit den erforderlichen Vorrichtungen für Füllung und Entleerung, sowie für Herbeiführung und Erhaltung des inneren Druckzustandes, sei es Ueber-, sei es Unterdruck, die Haltung, welche an sich, wie wir in Kap. XVIII fanden, als aus den Gesperrwerken entwickelt anzusehen ist. Hier müssen wir uns darauf beschränken, die genannten Vorrichtungen in den einzelnen Fällen nur nebenbei, oder höchstens ganz kurz zu erwähnen, indem das eigentliche, hier zu behandelnde bauliche Maschinenelement der Behälter ist.

§. 354.

Gusseiserne Behälter.

Flachwandige gusseiserne Behälter passen nur für kleine Flüssigkeitsmengen und können hier übergangen werden; für grössere Räumten ist die cylindrische Form des Gefässes der Festigkeit wegen angemessen. Gusseiserne runde Behälter können mit Räumten bis zu 30 kbm und mehr für Wasser ganz gut hergestellt werden. Schon in Kap. IV wurde auf eine gute Bauart derselben, die vom Lauchhammer'schen Eisenwerk Gröditz ausgeht, und zahlreiche Anwendungen gefunden hat, hingewiesen. Fig. 1097 stellt einen Behälter dieser Gattung dar; *E* Einlauf,

Fig. 1097.



A Ablauf, *U* Ueberlauf. Die Wanddicke δ wird = 5 bis 6 mm gemacht; den flachen Boden legt man auf eine gut geebnete,

starke Holzunterlage, welche von Querträgern unterstützt ist. Die Flantschenverbindung und die Wandbildung überhaupt wurde oben, S. 239, schon näher dargestellt. Ist h die grösste Wasserhöhe, so herrscht unter ihr am Boden auf den qmm der Druck $p = h/1000$ und man hat für die Wanddicke δ nach (324) mit ausreichender Genauigkeit, wenn D der lichte Durchmesser:

$$\frac{\delta}{D} = \frac{1}{2} \frac{p}{\mathcal{E}} = \frac{h}{2000 \mathcal{E}} \quad \dots \quad (367)$$

wobei h wie früher, Kap. XXIV, in m ausgedrückt ist.

Beispiel. Bei $\delta = 6$, $D = 3000$, $h = 3^*$) folgt hieraus $\mathcal{E} = h \cdot D : 2000 \cdot \delta = 3 \cdot 3000 : 2000 \cdot 6 = 0,75$ kg, ein so kleiner Werth, dass er den Behälter als überaus sicher bezüglich der Festigkeit erkennen lässt. Werden in den senkrechten Flantschen Schrauben von 10 mm Dicke verwandt, so haben wir nahe beim Boden auf 100 mm Höhe, wenn darauf n Schrauben kommen: $100 D \cdot h : 1000 = 2 \cdot n 125$, da nach Tabelle §. 81 die 10er Schraube mit voller Sicherheit 125 kg trägt. Wir erhalten daher für die erforderliche Schraubenzahl: $n = 100 \cdot 3000 \cdot 3 : 1000 \cdot 250 = 3,6$, was für den Schraubemittellabstand $100 : 3,6 = 27,8 \sim 28$ mm ergibt. Auf halber Höhe brauchen die Schrauben höchstens nur halb so dicht zu stehen, so dass man von dort ab z. B. den Abstand 50 mm bis oben hin beibehalten kann. Ganzer Inhalt des Gefässes ist $3 \cdot 7,07 \sim 21$ kbm.

In Behältern vorliegender Bauart können nur solche Flüssigkeiten aufbewahrt werden, welche den zur Dichtung dienenden Kautschuk nicht angreifen.

§. 355.

Genietetete Behälter.

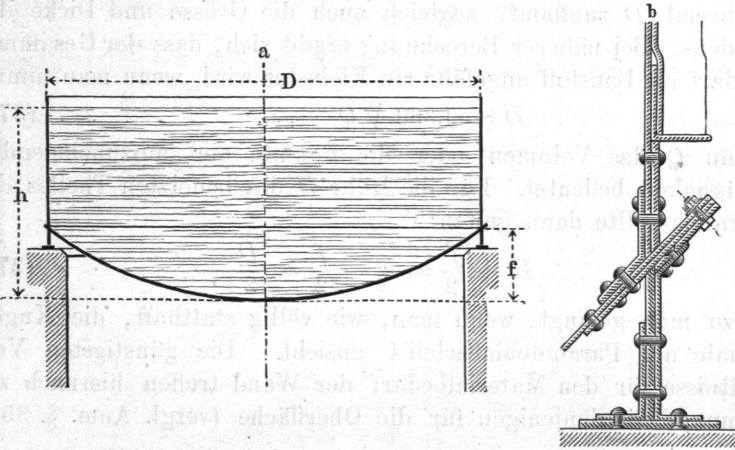
Wo grosse Flüssigkeitsmengen in Behältern geborgen werden sollen, stellt man letztere aus Schmiedeisen oder Stahl her und muss dabei zur Nietung greifen. Für Behälter von sehr grosser Räumte macht der flache Boden Schwierigkeiten. Allerdings hat man in den Ver. Staaten gewaltige schmiedeiserne Erdölbehälter mit flachem Boden, der auf ein Zementbett gelegt wurde, vielfach ausgeführt (vergl. S. 874), auch bei uns grössere Wasserbehälter unter entsprechender Unterstützung des Bodens herstellt. Es zeigt sich aber, dass ausgebauchte Böden, welche den

*) Die kleinste Oberfläche wird erhalten, wenn man wählt $h = \frac{1}{2} D$; indem nämlich die Oberfläche $F = h \pi D + \pi/4 D^2$ für das Minimum von F liefert: $-4 Q : D^2 + \pi/2 D = 0$ u. s. w.

Vorzug haben, stets besichtigbar zu sein, den ganzen Bau mit geringerem Materialaufwand herstellbar machen.

Sehr brauchbar und viel angewandt ist die Gestaltung nach einem hängenden Kugelabschnitt, s. Fig. 1098 a, wobei der Behälter mit seinem Rand auf einen angenieteten Ring gesetzt und

Fig. 1098.



dieser von Mauerwerk getragen wird. Fig. 1098 b zeigt eine von Prof. Intze angegebene Bauart dieses Ringes. Der Zug in der schrägen Richtung des Bodenansatzes wird durch die untere Hälfte des Tragrings aufgenommen, während die obere Ringhälfte den Behälter in senkrechter Richtung unterstützt. Ein ringsumlaufendes Winkeleisen verstärkt überdies die Behälterwand in waagerechter Richtung noch ganz bedeutend.

Für die Berechnung des kugeligen Bodens gilt Folgendes. Beim Halbmesser R der Kugelschale hat man nach S. 62, Fall II: $\delta_1 : R = p : 2 \mathfrak{E}_1$, wenn δ_1 und \mathfrak{E}_1 die Wanddicke und die durch p darin erzeugte Spannung bezeichnen. Nun ist aber der unterste Punkt der Schale am stärksten gepresst, nämlich mit der Flüssigkeitssäule h , sodass dort, wenn die Flüssigkeit das spezifische Gewicht σ hat, $p = h \sigma : 1000$. Somit hat man denn:

$$\frac{\delta_1}{R} = \frac{h \sigma}{2000 \mathfrak{E}_1}, \text{ für Wasser} = \frac{h}{2000 \mathfrak{E}_1} \quad \dots \quad (368)$$

An jedem höheren Punkt der Schale ist die Drucksäule kleiner, so am Gefäßrande um die Pfeilhöhe f . Man macht aber der Einfachheit wegen δ_1 überall so stark, wie am tiefsten Punkte erforderlich ist. Für den cylindrischen Gefäßmantel ist am

Bodenrand der Flächendruck $p = (h-f) \sigma : 1000$, daher nach (367) wie früher:

$$\frac{\delta}{D} = \frac{(h-f) \sigma}{2000 \mathfrak{E}}, \text{ für Wasser} = \frac{h-f}{2000 \mathfrak{E}} \dots \dots (369)$$

Um zu guten Abmessungen zu gelangen, hat man zu beachten, dass mit abnehmendem h das Verhältniss von $\delta : D$ kleiner wird, während D zunimmt, zugleich auch die Grösse und Dicke des Bodens. Bei näherer Berechnung ergibt sich, dass der Gesamtbedarf an Baustoff ungefähr ein Kleinstes wird, wenn man nimmt

$$D = 1,366 \sqrt[3]{Q} \dots \dots \dots (370)$$

wenn Q das Volumen oder die Räumte der aufzunehmenden Flüssigkeit bedeutet. Für die Höhe H des benetzten Theiles des Mantels sollte dann gelten:

$$H + \frac{f}{2} = h - \frac{f}{2} = \frac{D}{2} \dots \dots \dots (371)$$

wozu man gelangt, wenn man, wie völlig statthaft, die Kugelschale als Paraboloidabschnitt ansieht. Die günstigsten Verhältnisse für den Materialbedarf der Wand treffen hiernach zusammen mit denjenigen für die Oberfläche (vergl. Anm. §. 353).

1. *Beispiel.* Bei $Q = 1200$ wäre nach (370) empfehlenswerth, zu nehmen: $D = 1,366 \sqrt[3]{1200} = 1,366 \cdot 10,6 = 14,48 \text{ m}$; man hat genommen (an einem sorgfältig berechneten Behälter in Halle) $D = 16 \text{ m}$. — Für $Q = 2000$ käme $D = 1,366 \sqrt[3]{2000} = 17,21 \text{ m}$; es ist gewählt worden (für einen Behälter in Essen) $D = 18 \text{ m}$. — Der Wasserturm in Neustassfurt hat $Q = 600$ und $D = 12 \text{ m}$; wir erhielten $D = 1,366 \sqrt[3]{1200} = 11,52 \text{ m}$. In allen drei Fällen befriedigende Uebereinstimmung.

Für die Pfeilhöhe f des Bodens hat man bei gegebenem R die Beziehung $2Rf - f^2 = \frac{1}{4} D^2$. Hieraus ermittelt sich:

$$\frac{f}{D} = \frac{R}{D} - \sqrt{\left(\frac{R}{D}\right)^2 - \frac{1}{4}} \dots \dots \dots (372)$$

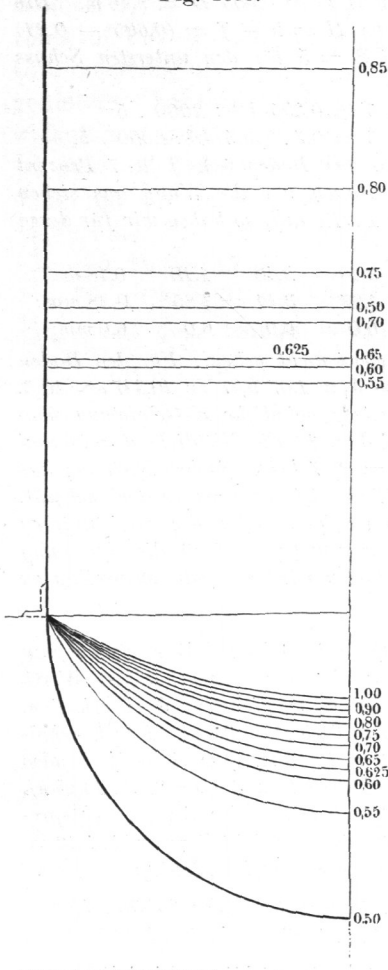
Es erscheint zweckmässig, obwohl nicht gerade nöthig, R so zu wählen, dass $\delta_1 = \delta$ bei $\mathfrak{E} = \mathfrak{E}_1$ ausfällt. Dann müsste aber die Bedingung erfüllt werden, welche die Verbindung der beiden Gleichungen für δ_1 und δ liefert. Sie lautet:

$$\frac{R}{D} = \frac{h-f}{h}, \text{ woraus folgt: } \frac{h}{D} = \frac{\frac{f}{D}}{1 - \frac{R}{D}} \dots \dots (373)$$

Folgende Zahlenreihen geben die gemäss diesem Ausdruck zusammengehörigen Verhältnisse:

$\frac{R}{D}$	= 0,5	0,55	0,60	0,625	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0
$\frac{f}{D}$	= 0,5	0,32	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,134
$\frac{h}{D}$	= 1,0	0,71	0,68	0,67	0,66	0,70	0,76	0,88	1,07	1,52	2,84	∞
$\frac{h-0,5f}{D}$	= 0,75	0,55	0,54	0,54	0,56	0,59	0,67	0,79	0,99	1,45	2,77	∞
$\frac{2}{3} \left(\frac{f}{D}\right)^2$	= 0,17	0,07	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01*)

Fig. 1099.



Nebenstehende Fig. 1099 stellt die Verhältnisse auch zeichnerisch dar. Dieselben sind interessant. Man sieht, dass man, um $\delta_1 = \delta$ bei $\mathfrak{S}_1 = \mathfrak{S}$ zu erhalten, immer $R < D$ wählen muss. Sodann zeigt sich auch, dass bei den Werthen von $R:D$ um 0,60 herum das günstigste Verhältniss von Höhe und Durchmesser nahe eintritt, indem daselbst $h = \frac{1}{2}f$ sich dem Werthe $0,5 D$ sehr annähert. Aber auch nur annähert. Deshalb können die beiden Forderungen vom kleinsten Materialaufwand und von $\delta_1 = \delta$ nicht zugleich ganz erfüllt werden. Zu brauchbaren Verhältnissen gelangt man, wenn man das Ergebniss für D aus (370) nach unten abrundet.

Der Werth $R = 0,5 D$, welcher den halbkugeligen Boden liefert, wäre in sofern ganz brauchbar, als bei ihm, wenn man den Tragrings an der Uebergangsstelle anbringt, kein Seitenzug entsteht, welcher den Ring zusammenpresst, wie in allen

*) Wegen der letzten Zahlenreihe die Bemerkung vor (374) a. S. 1060.

übrigen Fällen geschieht. Die Ausführung der Halbkugel ist indessen technisch zu schwierig, als dass man besonders gern zu ihr schritte.

2. Beispiel. Gegeben $Q = 1500$ kbm. Zuerst wollen wir so verfahren, dass die kleinste Oberfläche erhalten wird. Dann haben wir nach (370) zu nehmen: $D = 1,366 \sqrt[3]{1500} = 15,634 \sim 15,64$ m und nach (371) $h - 0,5f = 0,5$ $D = 7,82$ m, woraus rückwärts Q kommt $= 7,82 \cdot 15,64^2 \pi/4 = 7,82 \cdot 192,0 = 1497,6$ kbm, also genügend genau die verlangte Räumte. Wir wählen nun $f = 0,21$ $D = 0,21 \cdot 15,64 = 3,28$ m; das entspricht nach der Tabelle $R = 0,7$ $D = 0,7 \cdot 15,66 \sim 10,95$ m. Wir bekommen nun aus (371) $h = 0,5$ $D + 0,5f = (0,5 + 0,105) D = 0,605 D = 9,46$ m. Die benützte Mantelfläche bekommt die Höhe $H = h - f = (0,605 - 0,21) D = 0,395 D = 6,18$ m. Nun folgt bei $\mathcal{E} = 5$ für den untersten Schuss im Mantel:

$$\delta = D \cdot H : 2000 \cdot 5 = 0,395 D^2 : 2000 \cdot 5$$

und für den Boden $\delta_1 = R \cdot h : 2000 \cdot 5 = 0,7 \cdot 0,605 D^2 : 2000 \cdot 5$,

woraus sich ergibt $\delta_1 : \delta = 1,07$, d. h. das Bodenblech fällt 7 Prozent dicker aus als das unterste Wandblech. Bauen wir die Wand aus sieben Schüssen, sechs von 1 m, einen von 0,4 m Breite auf, so haben wir für deren untere Ränder die

Druckhöhen:	6,18	5,18	4,18	3,18	2,18	1,18	0,18 m
woraus für δ :	9,67	8,10	6,54	4,97	3,41	1,85	0,28 mm;
wir nehmen:	10,0	8,0	7,0	6,0	6,0	6,0	6,0 mm.

Unter 6 mm dürfen wir wegen des Stemmens nicht gehen. Für den Boden erhalten wir nach dem Vorausgegangenen $\delta_1 = 1,07 \cdot 9,67 = 10,347 \sim 10,5$. Was die Nietungen angeht, so könnten wir gewöhnliche Kesselnietung nehmen und erhielten nach Tabelle §. 59 bei $\delta = 10$ die Nietdicke $d = 19$ und den Kraftmodul φ'' (als den kleineren) $= 0,47$ bei einfacher Nietung; das gäbe eine Spannung von $5 \cdot 10 : 9,67 \cdot 0,47 = 11,11$ kg, was zu hoch scheint. Wir müssen also zu doppelter Nietung wenigstens für die zwei unteren Schüsse greifen und erhalten damit wegen $\varphi_2'' = 0,59$ die Spannung $= 5 \cdot 10 : 9,67 \cdot 0,59 = 8,76$ kg. Der Boden wird ebenfalls zweireihig zu nieten sein.

3. Beispiel. Gegeben wiederum $Q = 1500$ kbm. Wir wollen nun so verfahren, dass $\delta_1 = \delta$ ausfällt und runden den oben erhaltenen Werth von D nun abwärts ab auf 15,20 m. Um δ_1 möglichst $= \delta$ zu erhalten, wählen wir $R : D = 0,625$ und damit $f = 0,25$ $D = 3,8$ m. Für h erhalten wir nun $h = 0,67 \cdot D = 0,67 \cdot 15,2 = 10,18$ m, für $h - \frac{1}{2}f$ also $(0,67 - 0,125) D = 0,545 D = 8,28$ m. Damit kommt $Q = 8,28 \cdot 15,2^2 \pi/4 = 8,28 \cdot 181,5 = 1502,8$ kbm, also genügend genau der Aufgabe entsprechend. H wird $= h - f = (0,67 - 0,25) D = 0,42 D = 0,42 \cdot 15,2 = 6,38$ m. Wir erhalten nun für den untersten Schuss im Mantel:

$$\delta = 0,42 D^2 : 2000 \cdot 5 \cdot 1000 = 0,42 D^2 : 10000 \cdot 1000$$

u. f. d. Boden: $\delta_1 = 0,625 \cdot 0,67 D^2 : 2000 \cdot 5 \cdot 1000 = 0,42 D^2 : 10000 \cdot 1000$,

woraus sich ergibt $\delta_1 = \delta$ wie gefordert. Die wirkliche Blechdicke für den untersten Schuss wird: $\delta = 0,42 \cdot 15,2^2 : 10 = 9,70$, was wir auch

auf 10 erhöhen müssen; kurz, wir erhalten dieselben Blechdicken im Mantel wie oben. Der ganze Behälter wird etwas schwerer, als bei der vorigen Lösung, wie erwartet werden musste: indessen der Unterschied beträgt nur etwas über 1 Prozent.

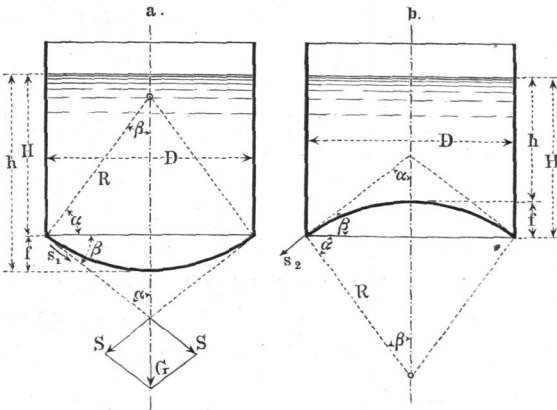
§. 356.

Behälter mit Gegen- oder Stützböden.

Die vorhin erwähnten Seitenkräfte an der Ansatzstelle des Bodens, sowie überhaupt die inneren Kräfte in dem letzteren sind von Prof. Intze zuerst einer eingehenden und sehr ergebnisreichen Untersuchung unterworfen worden, welcher zufolge sich der Bau genieteter Behälter bei uns völlig umgestaltet und hoch entwickelt hat. Im Anschluss an diese werthvollen Untersuchungen *) sei hier in Kürze das Nachfolgende hervorgehoben. Ich gebe dabei die Formeln in einer äusserlich von der Intze'schen abweichenden, etwas übersichtlicheren Form und mit meistens etwas kürzerer Herleitung.

Fig. 1100 stellt den Abschluss mit Kugelschale in zwei Formen dar, a mit dem bereits behandelten, nach unten ausgebogenen

Fig. 1100.



oder hängenden Boden, b mit dem nach oben eingebogenen Boden. Letzterer wird durch die Wasserlast aufZusammendrückung bean-

*) Siehe den Vortrag von Dr. Forchheimer: Ueber eiserne Wasser-, Oel- und Gasbehälter-Bassins nach den Berechnungen und Konstruktionen des Professors Intze in Aachen; veröffentlicht in Schilling's Journal f. Gasbeleuchtung 1884, S. 705.

spricht, er stützt dieselbe, weshalb er ein Stützboden, auch ein Gegenboden genannt wird. In beiden Böden entsteht durch die Flüssigkeitsbelastung eine Spannung am Randansatze in der Richtung der Tangente an die Kugelschale oder des Längenkrees derselben, welcher zufolge der Schalenrand mit einer Kraft s auf den laufenden m bei Fall a nach einwärts, bei Fall b nach auswärts in der genannten Richtung beansprucht wird. Man sucht so zu bauen, dass diese Kraft vom Tragringe aufgenommen wird, also nicht auf den Cylindermantel kommt. Jedenfalls aber muss die Blechdicke des Bodens der Kraft s gewachsen sein. Sodann entsteht beidemal eine rechtwinklig zum Längenkrees des Gefässbodens gerichtete Kraft t auf den laufenden m , welche die Schale in der Richtung des Breitenkrees beansprucht. Es ist wichtig, beide Kräfte zu kennen.

Zerlegt man für Fall a das Gewicht G der Flüssigkeitsmasse nach den Richtungen der genannten Tangenten, welche mit der Gefässachse den Winkel α einschliessen, so erhält man zwei Seitenkräfte $S = G : 2 \cos \alpha$, welche sich jede auf eine Hälfte des Umfangs am Rande vertheilen, daselbst also auf den laufenden m die Belastung $s_1 = S : \pi/2 D$ hervorrufen. Für G seinen Werth $\gamma[\pi/4 D^2(h - f) + \pi/6 f(3/4 D^2 + f^2)]$ einfürend, wobei γ das Gewicht des kbm's der Flüssigkeit, erhält man:

$$s_1 = \gamma \frac{R}{2} \left[h - \frac{f}{2} + \frac{2}{3} f \left(\frac{f}{D} \right)^2 \right].$$

Dieselbe Untersuchung bei Fall b angestellt, wobei h wie vorhin den Abstand des Flüssigkeitsspiegels vom Scheitel der Kugelschale bezeichnet, liefert:

$$s_2 = \gamma \frac{R}{2} \left[h + \frac{f}{2} - \frac{2}{3} f \left(\frac{f}{D} \right)^2 \right].$$

Das letzte Glied in der Klammer fällt beidemal sehr klein aus, wie die Zahlentafel S. 1057 lehrt, wo es aufgenommen ist. Man kann es für gewöhnlich unbedenklich vernachlässigen und hat dann für den Kugelboden, beide Fälle zusammenfassend:

$$s = \gamma \frac{R}{2} \left(h \mp \frac{f}{2} \right) \dots \dots \dots (374)$$

Für die Kräfte t_1 und t_2 erhält man auf einem weitläufigeren, hier nicht zu betretenden Wege, wegen dessen auf die umstehend angeführte Quelle verwiesen werden muss, beide Fälle wieder zusammenfassend:

$$t = \gamma R (h \mp f) - s = \gamma \frac{R}{2} (h \mp \frac{3}{2} f) \dots \dots (375)$$

Ermitteln wir hierzu noch als dritte, in der Kugelschale am Rande auftretende Kraft u diejenige in der Richtung des grössten Kreisés, welcher senkrecht zur Zeichnungsebene steht, ebenfalls auf den laufenden m berechnet, so haben wir nach S. 1055:

$$u = \gamma \frac{R}{2} (h \mp f) \dots \dots \dots (376)$$

und endlich noch für den Scheitelpunkt, wo die Kraft im grössten Kreise u_0 heissen möge:

$$u_0 = \gamma \frac{R}{2} h \dots \dots \dots (377)$$

Eine kleine Vereinfachung erhalten wir, wenn wir die Höhe H des benetzten Theiles der Cylinderwand einführen, wobei $h = H \pm f$. Dies liefert:

$$\left. \begin{aligned} s &= \gamma \frac{R}{2} \left(H \pm \frac{f}{2} \right), & t &= \gamma \frac{R}{2} \left(H \mp \frac{f}{2} \right) \\ u &= \gamma \frac{R}{2} H, & u_0 &= \gamma \frac{R}{2} (H \pm f) \end{aligned} \right\} \dots \dots (378)$$

Diese Formelgruppe liefert das Erforderliche zur Berechnung des kugeligen Bodens. Folgendes ist hervorzuheben: 1) beim hängenden Boden hat u_0 den grössten Werth, d. h. die Schale ist, wie im vorigen §. geschehen, nach der Beanspruchung im tiefsten Punkt zu berechnen, wenn δ_1 konstant werden soll; 2) beim stützenden Boden hat t den grössten Werth, ist also bei Berechnung von δ_1 zu Grunde zu legen; 3) s gibt die Beanspruchung des Tragringes ab, wenn dieser die Cylinderwand ganz frei von Beanspruchung durch den Boden halten soll.

Die Berechnung von δ_1 geschieht nun ganz wie oben. Theilt man die Ausdrücke für u_0 und t durch 1000, so erhält man die Beanspruchung auf den laufenden mm, d. i. den Werth $\mathfrak{S}_1 \delta_1$, und, wenn man nun $\gamma = 1000 \sigma$ setzt, und R in mm ausdrückt, für den hängenden Boden:

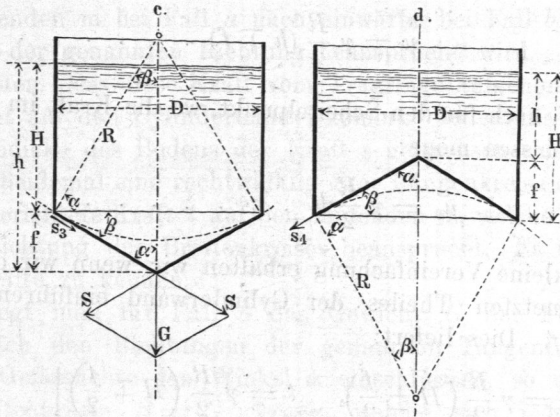
$$\frac{\delta_1}{R} = \frac{h' \sigma}{2000 \mathfrak{S}_1} = \sigma \frac{H + f}{2000 \mathfrak{S}_1} \dots \dots \dots (379)$$

und für den stützenden

$$\frac{\delta_1}{R} = \frac{h' \sigma}{2000 \mathfrak{S}_1} = \sigma \frac{H + 1/2 f}{2000 \mathfrak{S}_1} \dots \dots \dots (380)$$

Gestaltet man den Boden kegelförmig, nach aussen oder nach innen gebogen, Fig. 1101, mit der Kegelhöhe f , so hat man für das Gewicht der Flüssigkeitsmasse: $G = \gamma (\pi/4 DH \pm 1/3 f \pi/4 D^2)$

Fig. 1101.



und daraus, wenn man die oben angegebene Zerlegung von G nach den Richtungen der Kegelkanten ausführt, $S = \pi/2 D s = G : 2 \cos \alpha$, woraus folgt:

$$s = \gamma \frac{\pi}{4} D^2 \frac{2}{\pi D 2 \cos \alpha} \left(H \pm \frac{f}{3} \right) = \gamma \frac{1}{2} \frac{D}{2 \cos \alpha} \left(H \pm \frac{f}{3} \right)$$

Nun ist aber $1/2 D : \cos \alpha =$ dem Halbmesser R der den Kegelmantel an seinem Rande innen berührenden Kugel; somit hat man:

$$s = \gamma \frac{R}{2} \left(H \pm \frac{f}{3} \right) \dots \dots \dots (381)$$

Für die Anspannung t im Parallelkreise ergibt sich derselbe Werth wie für die Anspannung u im grössten Kreise der berührenden Kugel, sodass man hat:

$$t = u = \gamma \frac{R}{2} H \dots \dots \dots (382)$$

Hiernach erreicht bei dem hängenden Kegelboden den grössten Werth unter den drei Kräften die Kraft s , beim stützenden Boden:

$$\frac{\delta_1}{R} = \sigma \frac{H + 1/3 f}{2000 \mathfrak{S}_1} \dots \dots \dots (383)$$

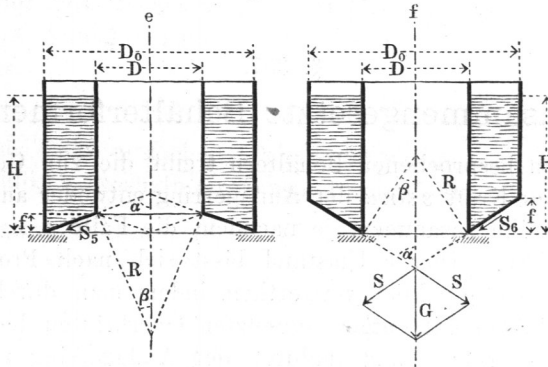
und beim stützenden

$$\frac{\delta_1}{R} = \frac{\sigma H}{2000 \mathfrak{S}_1} \dots \dots \dots (384)$$

Der Kegelboden erfordert, wie schon die Vergleichung der Figuren lehrt, mehr Baustoff als der kugelige, etwa 40%; dennoch ist er, wie sich zeigen wird, unter Umständen gut verwerthbar.

Statt des spitzen Kegelbodens kann man nämlich auch den abgestumpften benutzen, z. B. beim Bilden von Behältern aus zwei Cylindermänteln, welche unten durch einen ringförmigen Boden zu verbinden sind, Fig. 1102. Dieser Boden kann auch entweder stützend, oder hängend gebraucht werden. Hier sei er

Fig. 1102.



als stützend vorgeführt. Sucht man die Beanspruchungen wie früher auf, so hat man zunächst bei den Bezeichnungen der Figuren für Fall e: $G = \gamma \pi/4 (D_0^2 - D^2) H - \gamma f \pi/4 (D_0 - D) (D + 1/3 (D_0 - D))$ und für Fall f: $G = \gamma \pi/4 (D_0^2 - D^2) H - \gamma f \pi/4 (D_0 - D) (D + 2/3 (D_0 - D))$ und erhält hieraus für den Fall e:

$$s_5 = \gamma \frac{R}{2} \left\{ \left[\left(\frac{D_0}{D} \right)^2 - 1 \right] H - \frac{f}{3} \left[\left(\frac{D_0}{D} \right)^2 + \frac{D_0}{D} - 2 \right] \right\} \dots (385)$$

und für den Fall f:

$$s_6 = \gamma \frac{D}{D_0} \frac{R}{2} \left\{ \left[\left(\frac{D_0}{D} \right)^2 - 1 \right] H - \frac{f}{3} \left[2 \left(\frac{D_0}{D} \right)^2 - \frac{D_0}{D} - 1 \right] \right\} \dots (386)$$

wobei R den eingetragenen Halbmesser der den Kegelstumpf

berührenden Kugel jeweilig bezeichnet*). Die Kräfte t und u sind aus dem Früheren ermittelbar.

Auf Anwendungen des abgestumpften Kegelbodens werden wir sogleich zurückkommen. Für σ hat man noch für Wasser 1, sodann für

Erdöl (Petroleum)	0,80	Glycerin, bei 0° C. . . .	1,260
Leinöl, bei 12° C.	0,94	Bier, bei 0° C.	1,028
Schwefelkohlenstoff, bei 0° C.	1,27	Alkohol abs., bei 20° C. . .	0,792

Auf die Eigenschaften der zu bergenden Flüssigkeiten ist sehr zu achten. So darf man z. B. bei Spiritus, d. i. wässerigem Alkohol, kein anderes Abdichtungsverfahren, als das mittelst Stemmens der Nietung anwenden; jede der bei dünnen Blechen üblichen Einlagen, wie sie z. B. bei Gasbehältern im Gebrauch sind, wird vom Spiritus aufgelöst.

§. 357.

Zusammengesetzte Behälterformen.

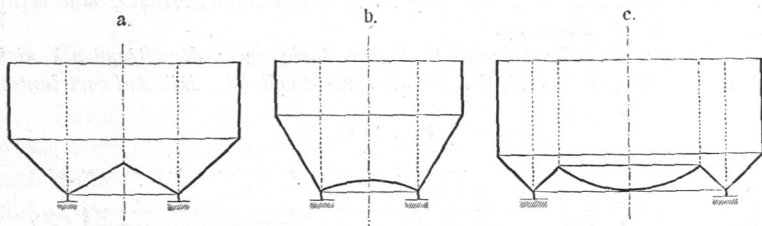
Bei den besprochenen Behältern treibt die zur Gefässachse rechtwinklige Kraft $s \sin \alpha$ den Auflagerring entweder auseinander oder presst ihn zusammen, je nachdem die Fälle a, c, e oder b, d, f vorliegen. Dieser Umstand lässt sich nach Prof. Intze's Vorschlag recht glücklich verwerthen, indem man durch Verbindung von Böden mit entgegengesetzten Querkräften letztere ins Gleichgewicht setzen und dadurch den Auflagerring von radial wirkenden Kräften völlig entlasten kann. Dieses Ergebniss kann auf mancherlei Art erzielt werden, so durch Zusammensetzung des Behälters aus zweien der Arten d und f , s. Fig. 1103 *a*, oder durch diejenige aus den Arten e und b , wie bei Fig. 1103 *b*, oder aus drei Gefässformen, wie unter c dargestellt u. s. w., wobei dann die senkrechten Innenwände wegfallen können **). Die

*) Lässt man in den beiden Formeln D_0 in Null übergehen, so gelangt man zu Ausdrücken für die spitzen Kegelböden der Fälle c und d (vergl. die Punktirung bei e). Die Formeln für die Gewichte könnte man auch symmetrisch gestalten; die gewählte Form wurde aber vorgezogen, weil H beidemale die grösseren der beiden Wandhöhen bezeichnet, was für die numerischen Berechnungen angenehm ist.

***) Die zusammengesetzten Gefässformen dieser Art sind Prof. Intze unter D. R.-P. 23187 und 24951 patentirt. Sehr schöne Ausführungen von Intze'schen Wasser-, Oel- und Gasbehältern wie Gasbehälterbecken hat die Fabrik von F. A. Neumann in Aachen geliefert.

skizzirten Bauarten gewähren ausser dem angeführten noch den weit grösseren Vortheil, dass bei ihnen der Auflagering klein von Durchmesser gehalten werden kann, sodass der tragende Mauerkörper eine beschränkte Grösse erhält.

Fig. 1103.



Bei der Zusammensetzung der Böden hat man, um die Befreiung des Auflageringes von Querkräften herbeizuführen, die Bedingung:

$$s' \sin \alpha' - s'' \sin \alpha'' = 0 \dots \dots \dots (387)$$

zu erfüllen. Diese einfache Gleichung ist rechnerisch nicht immer kurz aufzulösen, weshalb ein Beispiel vorgeführt sei.

Beispiel. Gesucht für einen Wasserbehälter von den in Fig. 1104 (a. f. S.) angegebenen Formen und Abmessungen der Halbmesser R'' des kugeligen Stützbodens. Das erste Glied der Gleichung gehöre dem äusseren, das zweite dem inneren Theile des Behälters an. Für das erste Glied gilt dann für s' Formel (385), worin $D_0 = 12$, $D = 4$, $H = 6$, $f = 2,4$, woraus $\text{tg } \alpha' = 4 : 2,4 = 1,667 \sim \text{tg } 59^\circ$. Hierfür ist der Sinus $= 0,8572$, der Cosinus $= 0,5150$, und es kommt $R' = 0,5 D : \sin \alpha' = 2 : 0,515 = 3,883$ und nun $s' \sin \alpha' = 0,8572 \gamma \cdot 0,5 D (R' : D_0) \{[(D_0 : D)^2 - 1] H - \frac{1}{3} f [2 (D_0 : D)^2 - (D_0 : D) - 1]\} = 0,8572 (\gamma \cdot 0,5 D) (3,883 : 12) (8 \cdot 6 - 0,8 \cdot 14) = (\gamma \cdot 0,5 D) 0,8572 \cdot 0,323 (48 - 11,2) = (\gamma \cdot 0,5 D) 0,2769 \cdot 36,8 = 10,19 (\gamma \cdot 0,5 D)$. — Für das zweite Glied erhalten wir gemäss Formel (378) $s'' \sin \alpha'' = \sin \alpha'' \gamma 0,5 R'' (H - 0,5 f'')$, worin ausser R'' auch α'' unbekannt, weshalb wir β'' einführen und haben: $s'' \sin \alpha'' = \gamma \cos \beta'' R'' (3 - 0,25 R'' (1 - \cos \beta''))$. Dies in die Bedingungsgleichung eingesetzt, liefert:

$$10,19 \cdot 0,5 D \gamma - \cos \beta'' R'' (3 - 0,25 R'' (1 - \cos \beta'')) \gamma = 0.$$

Es ist aber $0,5 D : R'' = \sin \beta''$; es folgt daraus:

$$\text{tg } \beta'' - \frac{3 - 0,25 R'' (1 - \cos \beta'')}{10,19} = 0.$$

Einen ersten Näherungswerth für β'' erhalten wir, wenn wir den zweiten Summanden des zweiten Gliedes vorerst vernachlässigen. Es kommt dann: $\text{tg } \beta'' = 3 : 10,19 = 0,2954 = \text{tg } 16^\circ 25'$. Der richtige Werth muss etwas kleiner sein. Wählen wir $\beta'' = 16^\circ 20'$, so ist die Tangente $= 0,2930$,

der Sinus = 0,2812, der Cosinus = 0,9596. Dies liefert $R'' = 0,5 D : \sin \beta'' = 2 : 0,2812 = 7,11m$, wie in die Figur eingetragen, und damit:

$$10,19 \cdot 0,2930 - (3 - 0,25 \cdot 7,11 \cdot 0,0404) \sim 0.$$

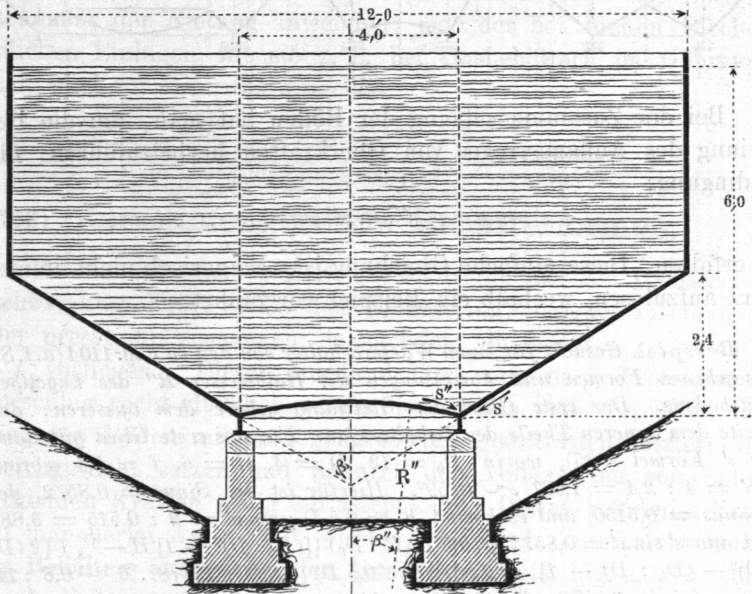
Ausgerechnet ergibt dies:

$$2,986 = 2,928 = 0,058,$$

oder, wegen $\gamma = 1000$ den Werth $1000 \cdot 0,058 = 58 \text{ kg}$ als nach innen gerichteten Restdruck auf den laufenden m des Auflagerringes, eine völlig vernachlässigbare Pressung.

Es bleibt die sehr berechtigte Frage übrig, wie der Ringdruck sich stellt, wenn H sich ändert, der Behälter nicht voll ist. Die Antwort lautet,

Fig. 1104.



dass dann nothwendig Veränderungen im Ringdruck entstehen. H sei auf 3 m herabgegangen. Dann erhalten wir für das erste Glied der Gleichung: $\gamma \cdot 0,5 D \cdot 0,2769 (24 - 11,2) = \gamma \cdot 2 \cdot 0,2769 \cdot 12,8 = 7,088 \gamma$ und für das zweite Glied: $\gamma \cdot 0,9596 \cdot 7,11 (1,5 - 0,25 \cdot 7,11 \cdot 0,0404) = 6,823 \cdot 1,428 \gamma = 9,743 \gamma$. Es ergibt sich daher ein Restdruck von der Grösse:

$$7,088 \gamma - 9,743 \gamma = - 2,655 \gamma'$$

oder 2655 kg auf den laufenden m als nach aussen gerichtete Pressung, was recht bedeutend ist. Es empfiehlt sich hiernach, den betrachteten Behälter so viel als thunlich gefüllt zu erhalten, wenn man den Auflagerring vor Seitendruck bewahrt wissen will. Auch kann man die Einrichtung so treffen, dass bei einer mittleren Füllung die Druckfreiheit vorhanden ist, worauf bei einer grösseren Füllung Druck nach innen, bei einer kleineren solcher nach aussen entsteht.

Die zusammengesetzten Behälterformen bewähren sich unter anderem vorzüglich für die Becken der Gasbehälter, bei welchen überdies der Wasserstand nahezu unveränderlich ist, so dass der Auflagerring bei ihnen seitendruckfrei gehalten werden kann *).

§. 358.

Hochdruckhalter oder Akkumulatoren.

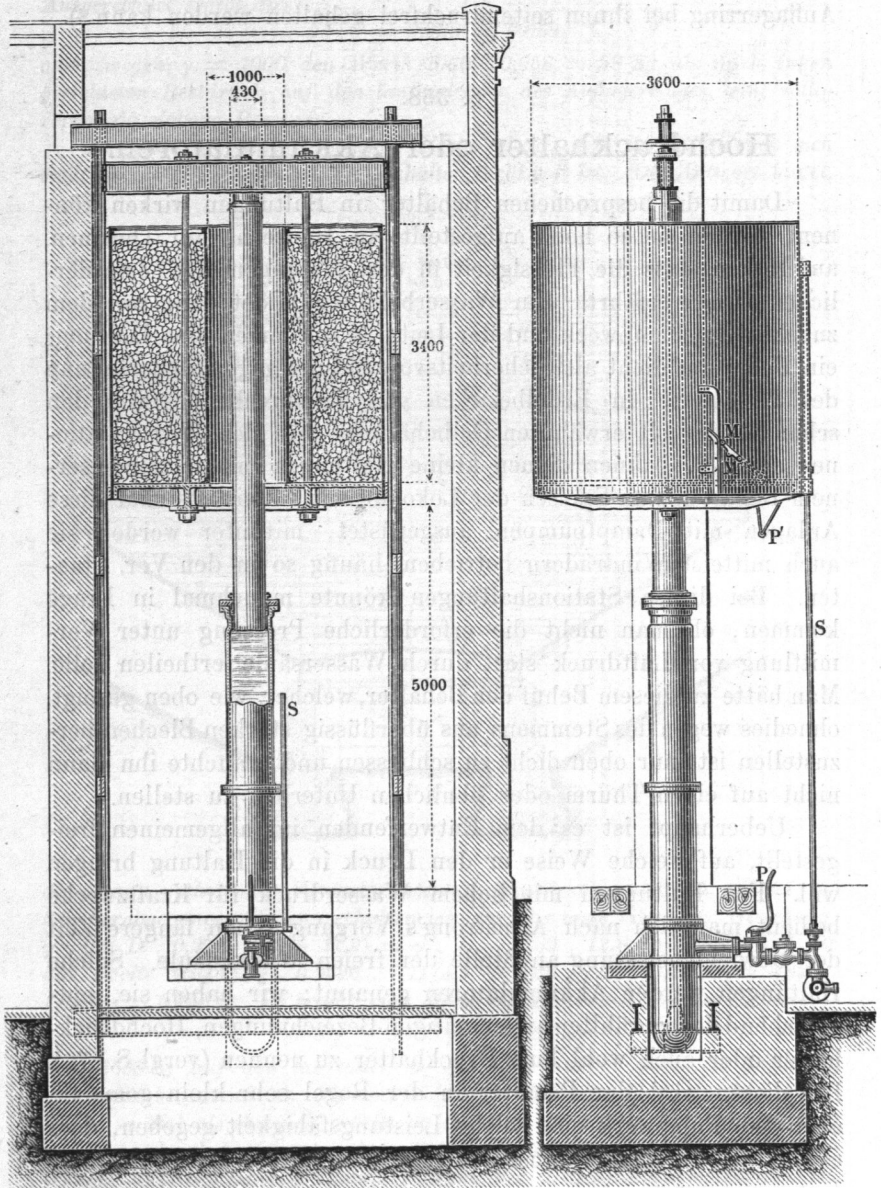
Damit die besprochenen Behälter in Haltungen wirken können, werden sie so hoch aufgestellt, in Häusern, auf Thürmen, auf Höhen, dass die Flüssigkeit in den Leitungen den erforderlichen Druck erfährt. Ein Wasserbehälter bildet dann mit dem zugehörigen Pumpwerk und der Leitung zusammen eine Haltung; ein Ueberlauf dient als Sicherheitsvorrichtung gegen Ueberfüllung des Behälters. In Erdölbezirken gilt Entsprechendes von den schon wiederholt erwähnten Oelbehältern. An den Wasserstationen der Eisenbahnen dienen kleine Haltungen mit schmiedeeisernem Behälter zum Speisen der Lokomotiven. Meistens sind diese Anlagen mit Dampfpumpen ausgerüstet, mitunter werden sie auch mittelst Windrädern betrieben, häufig so in den Ver. Staaten. Bei diesen Stationshaltungen könnte manchmal in Frage kommen, ob man nicht die erforderliche Pressung unter Vermittlung von Luftdruck statt durch Wassersäule ertheilen solle. Man hätte zu diesem Behuf den Behälter, welcher, wie oben gezeigt, ohnedies wegen des Stemmens aus überflüssig starken Blechen herzustellen ist, nur oben dicht zu schliessen und brauchte ihn dann nicht auf einen Thurm oder ähnlichen Unterbau zu stellen.

Ueberhaupt ist es dem Entwerfenden im allgemeinen freigestellt, auf welche Weise er den Druck in die Haltung bringen will. Für Haltungen mit hohem Wasserdruck für Kraftzwecke bedient man sich nach Armstrong's Vorgang schon längere Zeit der Gewichtsbelastung an Stelle der freien Wassersäule. Solche Haltungen werden Akkumulatoren genannt; wir haben sie, entsprechend den gewählten anderweitigen Bezeichnungen, Hochdruckhalter oder auch wohl kurz Druckhalter zu nennen (vergl. S. 876). Bei diesen wird der Behälter in der Regel sehr klein gemacht, aber dem Pumpwerk eine solche Leistungsfähigkeit gegeben, dass es für das grösste vor auszusehende Erforderniss ausreicht. Der

*) Schöne Ausführung mit halbkugeligem Stützboden in Wurzen, eine andere, mit konoidischem Stützboden in Emmerich.

Gewichtsdruck wird durch einen Kolben auf das Wasser übertragen; als Ueberlauf dient ein Sicherheitsventil.

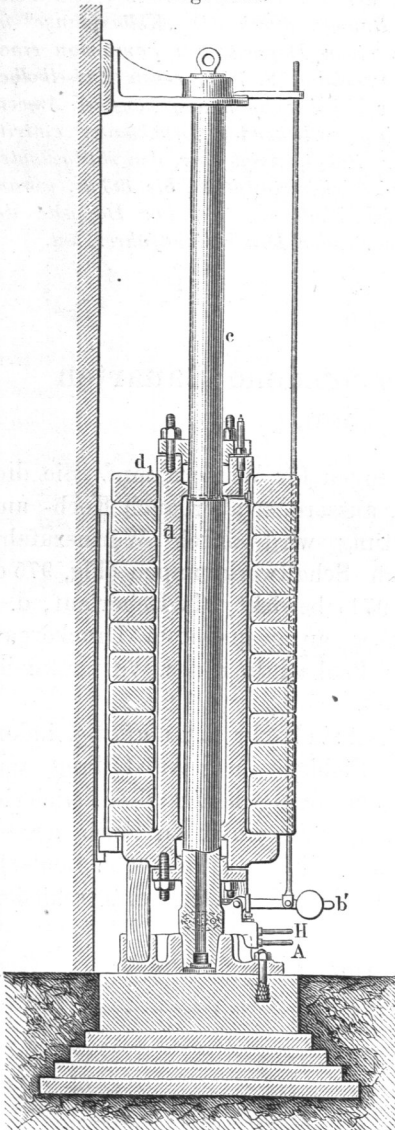
Fig. 1105.



1. Beispiel. Fig. 1105 stellt den von C. Hoppe, Berlin, für den „neuen Packhof“ daselbst erbauten Druckhalter dar. Der Wasserdruck beträgt

20 at, entsprechend 200 m Wassersäule. Als Kolben dient ein Tauchkolben von 450 mm Durchmesser; seine Belastung ist durch Schotter bewirkt, welcher in einem ringförmigen Behälter geborgen ist. Der Kolben ist in seiner obersten Stellung gezeichnet. Er hat, als er diese erreichte, mittelst des Hebels *M* und des Gestänges *MM'* den Dampfzulass der, als Zwillingsmaschine zu denkenden Dampfpumpe abgeschlossen, zugleich durch Gestänge *S* das Sicherheitsventil (den Ueberlauf) gelüftet, um das wegen der Trägheit der bewegten Massen dem Kolbenrohr noch zufließende Wasser abzulassen. Sinkt der Kolben wegen beginnenden Wasserverbrauchs, so lässt er den Hebel nieder- und damit die Maschine wieder angehen. Bei einem allfälligen Rohrbruch in der Ableitung fällt der Kolben rasch herab und wird durch Fangbalken aufgefangen, verengt aber vorher mittelst Vorstosses *P'* und Streichhebels *P* den Wasserdurchgang so, dass kein zu heftiger Fallstoss entstehen kann.

Fig. 1106.



2. Beispiel. Einen Druckhalter für sehr hohen Wasserdruk stellt unsere Fig. 1106 dar. Er ist von Tweddell gebaut*) und dient zum Betrieb von Nietpressen, Durchstößen und ähnlichen Maschinen. Der Kolben *c* steht fest, der Cylinder *d* ist dafür beweglich und mit eisernen Belastungsringen *d*₁ beladen; bei seinem tiefsten Stande stützt sich der Cylinder auf stehende eichene Bufferbalken. Hochdruckwassertritt bei *H* ein, das gebrauchte Wasser nach geschehener Umsteuerung bei *A*

*) Vergl. Minutes of Proceedings of the Inst. of Civ.-Engineers 1883, (Bd. LXXIII) S. 92.

aus; *b'* ist das Sicherheitsventil. Der Kolben ist von der Gattung, welche man wohl Differentialkolben nennt, vergl. Fig. 977 b, aber auch Fig. 981 b. Er ist ein Tauchkolben mit Kolbenstange, welche besonders dick gewählt ist, so dass der ringförmige Raum, der die Füllung vorstellt, sehr klein ausfällt. Die Verkleinerung dieses Raumes durch die „Kolbenstange“ ist hier zum Grundsatz erhoben. Solch einen Doppelkolben kann man einen zwiefachen oder, entsprechend der Anmerkung S. 745, einen Zwiselkolben nennen. Er findet bei Druckhaltern von höher Spannung häufiger Anwendung. Die Spannung, welche in dem vorliegenden Druckhalter eintritt, beträgt bei ruhig stehendem Cylinder 100 at, steigt aber, den stattgehabten Versuchen gemäss, wenn rasches Niedersinken stattfindet, bis 193 at, woraus hervorgeht, dass man bei solchen Druckhaltern etwa das Doppelte der statischen Wasserpressung als zu erwartenden Druck einzuführen hat.

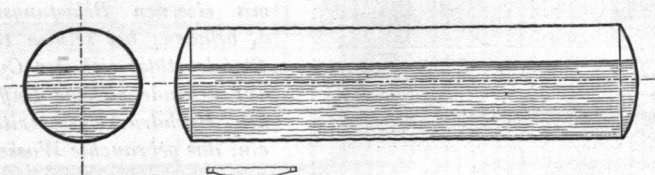
§. 359.

Dampfkessel. Verschiedene Bauarten derselben.

Die Dampfkessel sind Haltungen für Wasserdampf. Sie dienen vorzugsweise Kraftzwecken, ausserdem aber auch Koch- und Heizzwecken. Ihre Druckerhaltung wird durch Wärmezufuhr, ihre Speisung gewöhnlich durch Schaltwerkpumpen (Fig. 975 d) oder durch Strahlpumpen (Fig. 971) bewirkt; als Ueberlauf, d. i. zur Ableitung des Ueberschusses an gespanntem Druckorgan, dient das Sicherheitsventil, zur Beobachtung des Wasserstandes eine Mehrheit von Vorrichtungen.

Die Bauarten der Dampfkessel sind sehr mannigfaltig, indem theils ihre Grösse, theils die Oertlichkeit ihrer Aufstellung, und sehr häufig das Bestreben, sie engräumig herzustellen, vielerlei Abänderungen der zu Anfang ungemein einfachen Form derselben herbeigeführt haben. In den amtlichen Erhebungen Deutschlands werden acht gesonderte Kesselbauarten unterschieden, welche hier angeführt seien.

Fig. 1107.

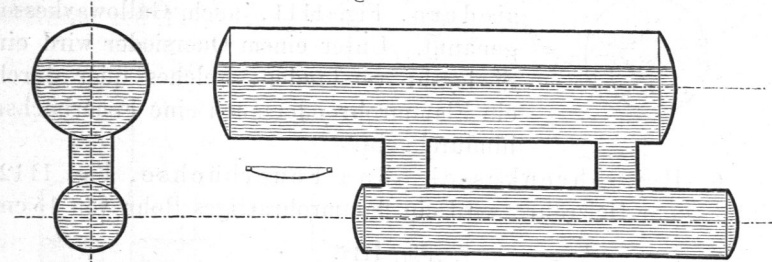


1. Einfache Walzenkessel, Fig. 1107, meistens liegend, hie und da stehend angewandt, letzteres fast allein auf den

Hüttenwerken, wo die Beheizung durch Abhitze von den Oefen geschieht.

2. Walzenkessel mit Siederohren, Fig. 1108. Unter einem Siederohr wird ein mit Wasser ganz gefülltes, von Feuer

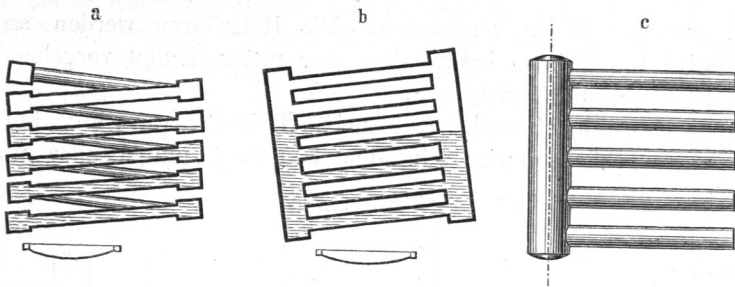
Fig. 1108.



umspültes Rohr, welches einen Theil eines Dampfkessels bildet, verstanden. Man unterscheidet hier noch gewöhnliche Siederkessel, Henschel'sche Kessel (bei welchen die Sieder rechtwinklig zum Oberkessel stehen) und stehende Siederkessel.

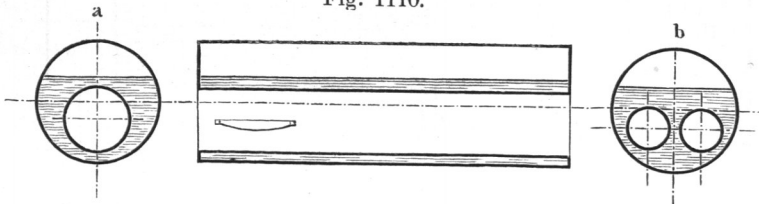
3. Engröhriger Siederohrkessel, Fig. 1109. Hierunter sind Kessel mit Siedern von 15 cm und weniger Weite verstan-

Fig. 1109.



den, welche letzteren man dann Siederöhren nennt. *a* Belleville's, *b* Root's, *c* Howard's Form der Anbringung der Siederöhren.

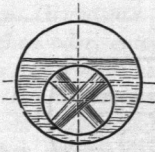
Fig. 1110.



4. Flammrohrkessel, Fig. 1110. Unter einem Flammrohr wird ein weites, aussen von Wasser ganz umgebenes, innen von Feuer

und Feuerluft durchspültes Rohr, welches einen Theil eines Kessels bildet, verstanden. Man versieht einen Kessel sowohl mit einem einzigen Flammrohr (kornischer Kessel) als mit deren zwei (Lancashire-Kessel).

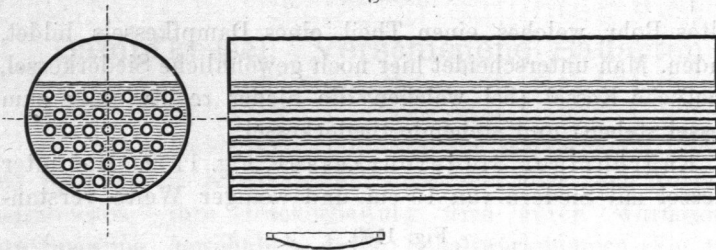
Fig. 1111.



5. Flammrohrkessel mit Quersiedern, Fig. 1111, auch Gallowaykessel genannt. Unter einem Quersieder wird ein Siederohr verstanden, welches quer durch ein Flammrohr oder auch eine Feuerbüchse hindurchgeht.

6. Heizröhrenkessel ohne Feuerbüchse, Fig. 1112. Unter einer Heizröhre wird ein flammrohrartiges Rohr von 15 cm

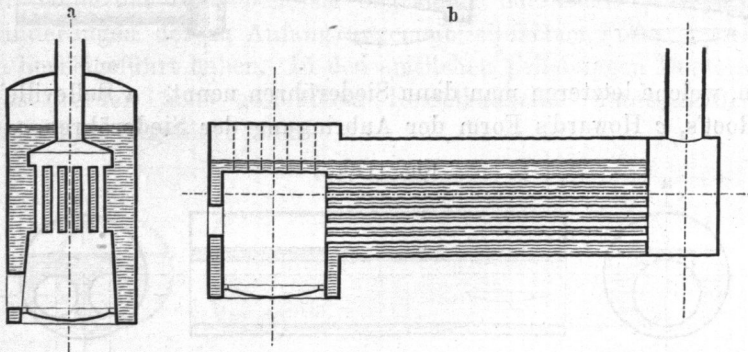
Fig. 1112.



und weniger Weite verstanden. Die Heizröhren werden ausnahmslos nietnathfrei hergestellt; man unterscheidet vorgehende und rückkehrende Heizröhren.

7. Feuerbüchsenkessel mit Heizröhren, Fig. 1113. Unter Feuerbüchse wird ein den Feuerrost umgebender und

Fig. 1113.

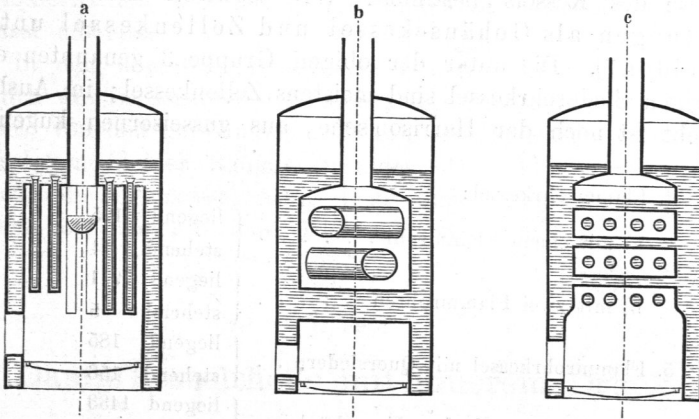


kastenartig überbauender Kesseltheil verstanden, welcher äusserlich ganz von Wasser gespült ist. Man unterscheidet auch hier

vorgehende und rückkehrende Heizröhren. *a* stehender, *b* liegender Feuerbüchsenkessel mit vorgehenden Heizröhren, für Lokomotiven und Lokomobilen im Gebrauch; stehende Feuerbüchsenkessel mit rückkehrenden Heizröhren kommen auch vor.

8. Feuerbüchsenkessel mit Siederöhren, Fig. 1114, *a* Kessel mit Field'schen Röhren. Die Field'sche Siederöhre ist

Fig. 1114.



an einem Ende geschlossen und im Inneren mit einem, an beiden Enden offenen Leitrohr versehen, dessen Anbringung bewirkt, dass in seinem Inneren das (weniger heisse) Wasser nach dem geschlossenen Ende der Siederöhre strömt, während zwischen seinem Mantel und der Siederöhrenwand das (höher erhitze) Wasser dem offenen Ende der Siederöhre zuströmt. *b* Feuerbüchsenkessel mit weiten Quersiedern, *c* desgl. mit engen Quersiedern.

In eine neunte Gruppe werden solche Kessel eingeordnet, welche als aus Elementen der acht Hauptgruppen zusammengesetzt angesehen werden können *).

*) Bei der statistischen Erhebung vom Jahre 1877/78 in Preussen wurden an feststehenden Dampfkesseln ermittelt:

1. Einfache Walzenkessel	}	liegend 3159
		stehend 721
2. Walzenkessel mit Siederöhren	}	liegend 8217
		stehend 62
3. Engröhriige Siederohrkessel	}	liegend 508
		stehend 132

Im englischen Sprachgebiet wird noch eine andere Hauptunterscheidung zwischen zwei Dampfkesselgattungen gemacht. In die eine werden solche Kessel gerechnet, welche aus einem irgendwie gestalteten Gehäuse mit Nebentheilen, welche dem Hauptkörper untergeordnet sind, bestehen; in die andere solche Kessel, welche aus gleichartigen gefäßförmigen, kleineren Theilen, Elementen, zusammengesetzt sind, deren Zahl gleichsam die Grösse des Kessels bestimmt. Wir können diese beiden Gattungen als Gehäusekessel und Zellenkessel unterscheiden*). Die unter der obigen Gruppe 3 genannten eng-röhrigen Siederohrkessel sind meistens Zellenkessel; im Ausland beliebt ist noch der Harrison'sche, aus gusseisernen kugeligen

4. Flammrohrkessel:

a) mit einem Flammrohr	{ liegend 6105
	{ stehend 44
b) mit zwei Flammrohren	{ liegend 7911
	{ stehend 5

5. Flammrohrkessel mit Quersiedern . .	{ liegend 185
	{ stehend 156

6. Heizröhrenkessel ohne Feuerbüchse .	{ liegend 1433
	{ stehend 45

7. Feuerbüchsenkessel:

a) mit vorgehenden Heizröhren . . .	{ liegend 433
	{ stehend 854
b) mit rückkehrenden Heizröhren . .	{ liegend 199
	{ stehend 19

8. Feuerbüchsenkessel mit Siederöhren .	{ liegend 40
	{ stehend 845

9. Kessel anderer Art	1302
---------------------------------	------

Gesammtzahl . 32 411

Davon zur Krafterzeugung . . . 24 052

zu anderen Zwecken 1 521

zu gemischten Zwecken . . . 6 838

Man zählte im Anfang des Jahres 1888 in runden Zahlen:

in Deutschland:

59000 Landdampfkessel u. Lokomobilen, 1700 Schiffskessel, 10000 Lokomotiven
in Oesterreich:

12000 Landdampfkessel u. Lokomobilen, ? „ 2800 „

in Frankreich:

49500 Landdampfkessel u. Lokomobilen, 1850 „ 7000 „

in der Welt: 105000 „

*) Die englischen Bezeichnungen sind: *shell boilers* und *sectional boilers*.

Elementen bestehende Zellenkessel. Die Streitfrage, ob die Gehäusekessel oder die Zellenkessel den Vorzug verdienen, ist noch nicht völlig ausgefochten. Für die letzteren wird angeführt, dass sie weit weniger Explosionsgefahr in sich schliessen, als die Gehäusekessel mit ihrem grösseren Wasserinhalt; auch macht man für sie eine sehr starke Verdampfungsfähigkeit geltend. Der letztere angebliche Vorzug wird aber von der anderen Seite stark bestritten, weil der Dampf in den Zellenkesseln sehr viel Wasser mitreisse.

In den neuesten preussischen Polizeiverordnungen werden, ähnlich wie in schon bestehenden österreichischen, die „Zwergkessel“ von den gewöhnlichen Kesseln unterschieden. Dies sind Kessel von kleiner Räumte (weniger als $\frac{1}{2}$ kbm), welche mit Vorzug als Zellenkessel, oder doch solchen ähnlich, ausgeführt werden und namentlich der Kleinindustrie dienen.

§. 360.

Dampfkesseltheile mit innerem Druck.

Die Wände der Dampfkessel sind je nach der Bauart der letzteren einer oft sehr verwickelten Beanspruchung unterworfen, deren Verfolgung in jedem einzelnen Falle recht weit führen kann. Hier gehen wir bloss auf einige ganz allgemeine Arten der Beanspruchung ein, zunächst die durch inneren Druck.

a) **Cylindrische Kesseltheile.** Die preussische Dampfkesselverordnung schrieb früher für cylindrische, von innen mit a at Ueberdruck gepresste Kesseltheile folgende, die sog. Brix'sche Formel vor:

$$\delta = \frac{D}{2} (e^{0,003 a} - 1) + 0,01 \quad \dots \quad (388)$$

worin δ und D in preuss. Zoll gemeint sind. Sie wird sehr genau angenähert durch die einfachere des Verfassers:

$$\delta = 1,54 a D + 2,6 \quad \dots \quad (389)$$

worin δ in mm, D in m zu verstehen ist; die französische Vorschrift verlangte etwas grössere Wanddicken nach der Formel:

$$\delta = 1,8 n D + 3 \quad \dots \quad (390)$$

von welchem Werth für Lokomotiven nur $\frac{2}{3}$ gefordert wurden. Alle drei Formeln sind wegen der grossen Zugabe für Abnützung

als empirische zu betrachten. Jetzt haben die meisten Staatsregierungen das Vorschreiben der Kesselwanddicke fallen gelassen, indem anderweitige gesetzliche Bestimmungen den Erbauer des Kessels für geeignete Wahl der Abmessungen verantwortlich machen. Es wird hauptsächlich nur gefordert, dass der Kessel einem Probedruck, der bis zum Zweifachen der Gebrauchsspannung geht, gut widerstehe.

Ein cylindrischer Kesselmantel erfährt in den Längsschnitten eine Spannung, welche genügend genau durch Formel (324) ausgedrückt wird:

$$\mathfrak{S} = \frac{p}{2} \frac{D}{\delta} = \frac{a}{200} \frac{D}{\delta} \dots \dots \dots (391)$$

wobei D in mm. Berechnet man hiernach \mathfrak{S} in den nach (389) berechneten Blechen, so erhält man folgende Ergebnisse.

$a =$	4		7		10		13	
D	δ	\mathfrak{S}	δ	\mathfrak{S}	δ	\mathfrak{S}	δ	\mathfrak{S}
600	6,3	1,9	9,1	2,31	11,8	2,54	14,6	2,67
800	7,5	2,13	11,2	2,50	14,9	2,70	18,6	2,80
1000	8,8	2,27	13,4	2,61	18,0	2,78	22,6	2,87
1500	11,8	2,54	18,8	2,79	25,7	2,92	32,6	2,99
2000	14,9	2,68	24,2	2,89	33,4	2,99	42,6	3,06

Die sich hier zeigenden Wanddicken sind für grössere Weiten und Dampfspannungen sehr gross, die Materialspannungen recht klein. Allerdings treten in den Nietnäthen stärkere Spannungen auf, nämlich nach §. 59 im durchlochten Blech:

$$\left. \begin{array}{l} \text{bei der einfachen Nietung die Spannung } \mathfrak{S}' = \mathfrak{S} : \varphi' \\ \text{bei der doppelten Nietung die Spannung } \mathfrak{S}'_2 = \mathfrak{S} : \varphi'_2 \end{array} \right\} (392)$$

wobei φ' für die Nietdicke d und die Nietweite a den Werth $(a-d) : \bar{a}$ und φ'_2 denjenigen $(a_2-d) : a_2$ hat. Aber auch diese Spannungen bleiben noch unterhalb solcher Werthe, welche bei gutem Eisenblech als statthaft angesehen werden dürfen. Die Kesselerbauer nehmen daher jetzt oftmals δ kleiner, als (389) angibt, insbesondere wenn sie den jetzt in so hoher Vollkommenheit hergestellten weichen Stahl für die Bleche benutzen.

Die Materialspannung, welche in den Nietquerschnitten entsteht, ist gemäss §. 59 noch grösser als die im durchlochtem Blech. Indessen wird dies von tüchtigen Fabrikanten dadurch ausgeglichen, dass sie zu den Nieten Rundeisen* von ganz besonderer Güte (z. B. gewisse Eifeler Eisensorten) wählen, welche eine weit höhere Beanspruchung vertragen, als namentlich die Eisenbleche.

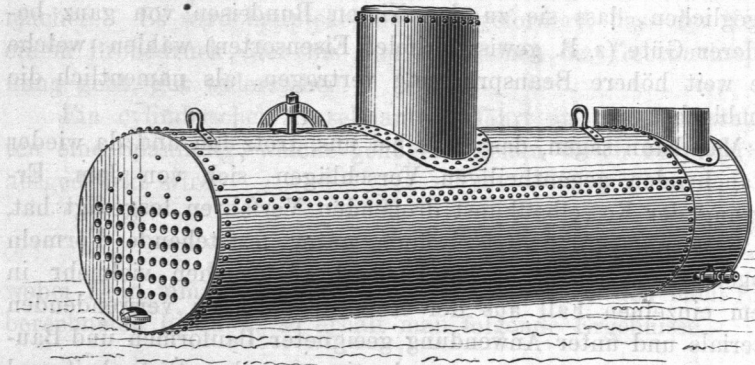
Man kann sagen, dass man bei uns, trotz hie und da wieder auftauchenden gegentheiligen Vorschlägen, sich von dem, Erstarrung der Kesselbaukunst drohenden Verfahren losgesagt hat, die Berechnung der Kesselwände unter feststehende Formeln bringen zu wollen. Sorgfältige Entwerfer suchen vielmehr in jedem einzelnen Fall aus der Kenntniss des zu verwendenden Materials und unter Anwendung geeigneter Bauformen und Bauweisen die Abmessungen so zu bestimmen, dass Sicherheit und Sparsamkeit gleichzeitig Berücksichtigung finden. Die neueren Anforderungen an die Ozeandampfer drängen zu Weiten des Kesselmantels bis zu 5 m und darüber, bei Dampfspannungen von 15 bis 18 at Ueberdruck. Hier könnte man mit den alten Verordnungsformeln nichts erreichen, muss vielmehr alle Kunst aufbieten, mit Blechen auszureichen, die sich noch nieten lassen. Hierbei können denn auch die verjüngten Nietungen (§. 57) Anwendung finden und werden theilweise schon benutzt.

Längsnäthe. Zunächst wird wegen des Vorstehenden bei allen grösseren Dampfkesseln für die Längsnäthe jetzt die doppelte Nietung angewandt. Sie hat bei $\delta = 8$ mm und darüber einen Kraftmodul $\varphi_2' = 0,76$ bis $0,73$, was einem Verhältniss von $\mathfrak{S}_2' : \mathfrak{S}$ von 1,32 bis 1,37 entspricht. Sodann sucht man mehr und mehr so zu bauen, dass diese Näthe auch nicht dem ersten Feuer ausgesetzt sind. Eine dies erzielende Bauart ist die in Fig. 1115 (a. f. S.) dargestellte, bei welcher der Kesselmantel aus nur zwei Blechen besteht, von denen das untere gegen $\frac{3}{5}$ des Mantelumfanges umfasst*).

*) Kessel dieser Bauart sind in den Ver. Staaten im Gebrauch; geliefert werden sie u. a. von der Erie City Iron Works, Erie Pa. Der dargestellte Kessel rührt ebendaher, vgl. Transactions of the Am. Soc. of Mech. Engineers 1884/85 (Bd. VI), S. 110: Scheffler, A new method of constructing horizontal tubular boilers. Der Kessel, der erste so gebaute, hat 16' oder ~ 5 m Länge und 60" oder ~ 1525 mm Weite bei $\frac{3}{8}$ " oder ~ 10 mm Wanddicke; Material der Bleche weicher Stahl von 42 kg Zerreiassungs-

Eine andere, sehr beachtenswerthe Bauweise ist die, die Längsnäthe zu schweissen, ein Verfahren, zu welchem man für

Fig. 1115.



grosse Kessel bei uns mehr und mehr übergeht. Das Schweißen geschieht entweder vor dem Schmiedefeuere oder vor dem Wasser-gasbrenner*); ganz voll entwickelt ist das Verfahren heute noch nicht.

Beispiel. Fig. 1116 stellt den Querschnitt des Mantels eines neueren Schiffskessels, gefertigt in Hamburg auf der Werft von H. C. Stülken**), dar, dessen zwei Längsnäthe geschweisst sind; beide Näthe sind indessen der Sicherheit wegen noch mit zweireihig aufgenieteten Laschen belegt, welche wegen der erforderlichen Durchlochung der Bleche nicht deren vollen Querschnitt zur Wirkung gelangen lassen. Immerhin ist die Nath eine vollkommener als die überblattete und bedarf keiner Stemmung. Die Dampfspannung beträgt 12 at Ueberdruck. Hierfür berechnen sich die Spannungen in der Kesselwand wie folgt. Der Mantel hat 1944 mm Weite und 22 mm Wanddicke. Dies gibt nach (391) $\mathcal{E} = (12 : 200) (1944 : 22) = 5,30$. In den doppelten Nietreihen der beiden Laschen ist $a_2 = 74$, $d = 22$. Damit erhält man den Kraftmodul $\varphi_2' = (74 - 22) : 74 = 0,7$ ***), also die Spannung \mathcal{E}_2' im durchlochtem Blech in den Längsnäthen = $5,30 : 0,7 = 7,57$ kg. Die ehemalige preussische Formel würde statt 22 mm Wanddicke $\delta = 1,54 \cdot 12 \cdot 1,944 + 2,6 = 35,9$ mm verlangt haben.

modul und 21 kg Tragmodul. Die anfänglichen Schwierigkeiten waren recht gross. Das Walzwerk, welches die Stahlplatten lieferte, wandte stählerne Walzen von 9' Länge und 31" Dicke an; das Blechbiegework hatte (hohle) Walzen von $16\frac{1}{3}'$ Länge und 14" Durchmesser.

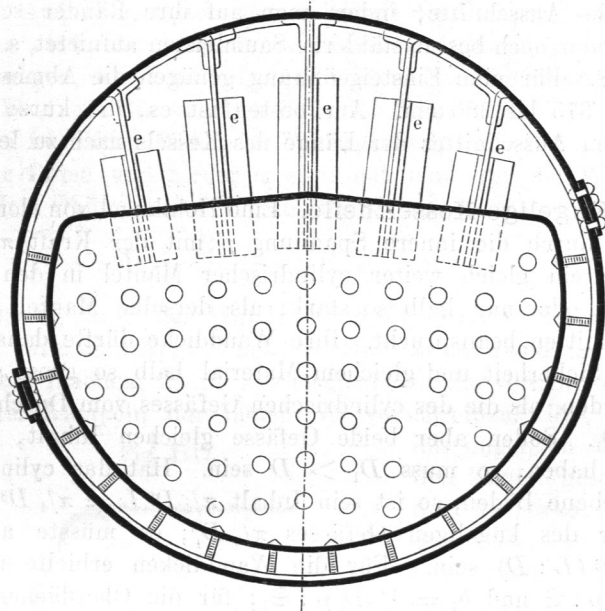
*) Oder neuerdings versuchsweise nach dem Bernados'schen Verfahren der elektrischen Löthung, deren Einführung in die Eisentechnik indessen erst begonnen hat.

**) Z. D. Ingenieure 1886, S. 109: Meyer, Dreifach-Expansions-Schraubenschiffsmaschine.

***) Nach Formel (57) §. 58 könnte genommen werden $a_2 = 20 + 3 \cdot 22 = 86$, woraus sich ergeben würde: $\varphi_2' = (86 - 22) : 86 = 0,74$, $\mathcal{E}_2 = 7,16$ kg.

Als eine dritte, erst in Aussicht zu nehmende Methode wäre diejenige anzusehen, den Kesselmantel nach dem Mannesmann'schen Verfahren völlig nathfrei aus weichem Stahl herzustellen.

Fig. 1116.



Damit würde die höchste Vollkommenheit der Bauweise des Kesselmantels erreicht sein, indem die Berücksichtigung des Kraftmoduls der Nietung ganz wegfiel, auch die Spannung \mathfrak{S} selbst wegen der hohen Elastizitätsgrenze des Stahls wesentlich gesteigert werden dürfte. Zur Zeit aber sind die Rohrwalzwerke Mannesmann'scher Art erst auf Durchmesser bis zu 600 mm eingerichtet.

Quernäthe. Die Querschnitte des Kesselmantels sind, wenn derselbe mit den Böden fest verbunden ist, mit der Kraft $\pi/4 D^2 p = \mathfrak{S}_2 \pi D \delta$ belastet, woraus sich $\mathfrak{S}_2 = 1/4 p D : \delta$, d. i. halb so gross als die Spannung \mathfrak{S} in den Längsschnitten ergibt. Man braucht deshalb die Quernäthe nur mit einfacher Nietung herzustellen. Weiter unten (s. Anm. S. 1082) wird sich noch zeigen, dass man die Querschnitte des Mantels auch ganz entlasten kann.

Wandausschnitte. Die für die Mannlöcher und Dome im Kesselmantel anzubringenden Ausschnitte schwächen denselben erheblich, was sich auch bei einzelnen Kesselexplosionen gezeigt hat, wo strahlenförmig vom Mannloch aus Risse entstanden waren. Man verstärkt deshalb jetzt mit besonderer Sorgfalt solche Ausschnitte, indem man auf ihre Ränder schmiedeiserne, oder noch besser stählerne Saumleisten aufnietet, s. unten, Fig. 1118. Für eine Einsteigeöffnung genügen die Abmessungen 300 auf 375 bis 380 mm. Am besten ist es, die kurze Achse des ovalen Ausschnittes der Länge des Kessels nach zu legen.

b) Kugelige Kesseltheile. Eine Hohlkugel von der Weite D_1 wird durch die innere Spannung p mit der Kraft $\pi/4 D_1^2 p$, d. i. wie ein gleich weiter cylindrischer Mantel in den Querschnitten, oder nur halb so stark, als derselbe Mantel in den Längsschnitten beansprucht. Ihre Wanddicke dürfte danach bei gleicher Sicherheit und gleichem Material halb so gross genommen werden, als die des cylindrischen Gefässes vom Durchmesser $D = D_1$. Sollen aber beide Gefässe gleichen Inhalt, gleiche Räume haben, so muss $D_1 > D$ sein. Hat das cylindrische Gefäss ebene Böden, so ist sein Inhalt $\pi/4 D^2 L = \pi/4 D^3 (L : D)$ und der des kugeligen Gefässes $\pi/6 D_1^3$; es müsste also $D_1^3 = 3/2 D^3 (L : D)$ sein. Für die Wanddicken erhalte man: $\delta = 1/2 D p : \mathfrak{S}$ und $\delta_1 = 1/4 D_1 p : \mathfrak{S}_1$; für die Oberflächen käme $F = \pi D L + \pi/2 D^2$ und $F_1 = \pi D_1^2$. Angenommen, die Böden am cylindrischen Gefäss würden ebenso stark von Wanddicke gemacht, wie der Mantel, so erhalte man für die Materialaufwände:

$$F \delta = \frac{\pi}{2} D^3 \left(\frac{L}{D} + \frac{1}{2} \right) \frac{p}{\mathfrak{S}} \quad \text{und} \quad F_1 \delta_1 = \frac{\pi}{4} D_1^3 \frac{p}{\mathfrak{S}_1}$$

Hierin $\mathfrak{S} = \mathfrak{S}_1$ setzend und für D_1^3 den ermittelten Werth $3/2 D^3 (L : D)$ einführend, erhält man:

$$\frac{F_1 \delta_1}{F \delta} = 3/4 \frac{L}{D} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (393)$$

als das Verhältniss zwischen dem Materialaufwand des kugelförmigen und des cylindrischen Kessels. Es ergibt sich für:

$\frac{L}{D} =$	1	1 1/2	2	3	4	5	6	∞
$\frac{F_1 \delta_1}{F \delta} =$	0,50	0,56	0,60	0,64	0,67	0,68	0,70	0,75

wonach der kugelige Kessel unter allen Umständen der leichtere wird.

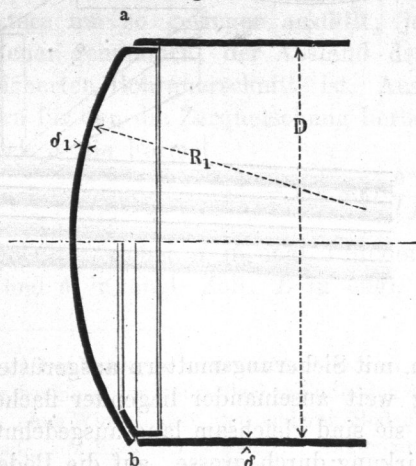
Zu Anfang gestaltete man wirklich die Dampfkessel kugelig, hat dies aber, der geforderten Engräumigkeit bei grosser Heizfläche wegen, sehr bald aufgeben müssen. Nur für einzelne Kesseltheile lässt sich die kugelige Form noch verwenden.

Bei kugeligen Böden für Walzenkessel, siehe Fig. 1107, Kuppen für Dome und Sieder u. s. f. hat man für die Wanddicke nach dem Obigen beim Kugelhalbmesser R_1 :

$$\delta_1 = \frac{R_1}{2} \frac{p}{\mathfrak{S}_2} = R_1 \frac{a}{200 \mathfrak{S}_1} \dots \dots \dots (394)$$

was bei $\mathfrak{S}_1 = \mathfrak{S}$ der Wanddicke δ des Mantels gleich werden würde, wenn man $R_1 = D$ machte. Hiervon kann man nicht immer Gebrauch machen, da in Kesselschmieden die vorhandenen Mulden zum Kuppeln der Böden R_1 vorschreiben. Das Ansetzen

Fig. 1117.



des kugeligen Bodens an den Mantel geschieht in der Regel so, dass an den Boden ein cylindrischer Reif angebörtelt oder, wie man es auch nennt, „angekrempt“ wird wie bei a, Fig. 1117 (in der Kremppresse), anderenfalls auch unter Einsetzung eines Reifens aus Winkeleisen, wie bei b. Hier könnte nun auch die in §. 355 kennen gelernte Umfangskraft s bzw. $s \sin \alpha$ in Betracht

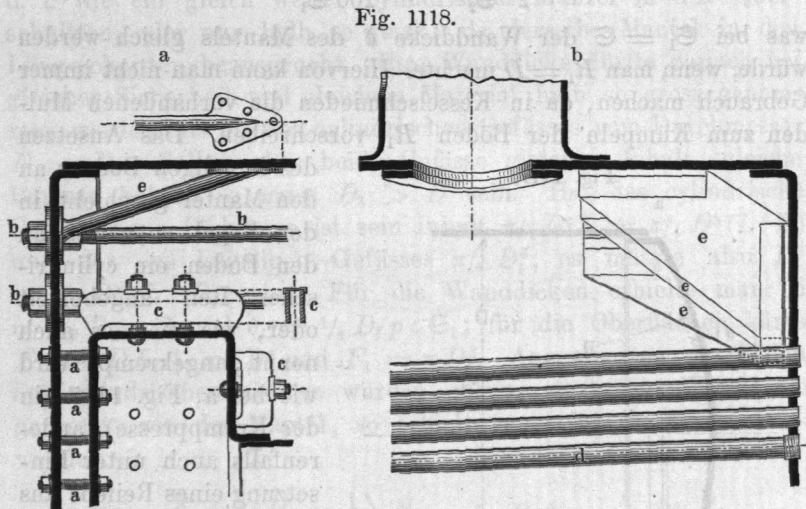
kommen, indem dieselbe den Mantel radial nach innen zieht. Allein die Berücksichtigung kann für gewöhnlich unterbleiben, da die erwähnte Bereifung des Bodens denselben völlig hinreichend gegen die Kraft $s \sin \alpha$ versteift.

c) Flachwandige Kesseltheile. Flache Böden ohne Unterstützung können wegen der erforderlichlich werdenden Wanddicke

nur an Kesselmänteln von geringem Durchmesser angewandt werden, wie schon §. 19 gezeigt ist, also allenfalls als Abschlüsse für Sieder, Wasserstands-„Koffer“, Dampfdome u. s. w. Bei irgendwie bedeutenderer Ausdehnung der flachen Böden ist es zweckmässig, sie zu versteifen, worauf sie wieder eine geringe Wanddicke erhalten können, mit anderen Worten: grössere Böden durch Versteifungen in kleinere zu theilen, für welche sodann eine gut ausführbare Wanddicke ausreicht.

Verschiedene Arten von Bodenversteifungen sind üblich; die gebräuchlichsten sind in Fig. 1118 an Beispielen aus der Praxis dargestellt.

Die Versteifung durch Stehbolzen, Fig. 1118 a (vergl. auch §. 61), passt bei nahe benachbarten parallelen Wänden. Hier sind



dieselben statt mit Nietköpfen, mit Sicherungsmuttern ausgerüstet. Ebenfalls Fig. a, Versteifung weit auseinander liegender flacher Wände durch Ankerbolzen *b*; sie sind gleichsam lang ausgedehnte Stehbolzen. Hier ist ihre Wirkung durch grosse, auf die Böden genietete Unterlegplatten verstärkt. Versteifung durch Barren *c*, Fig. a, hier am Schiffskessel, früher auch sehr viel für das Feuerbüchsendach der Lokomotive angewandt. *d* Versteifung durch Anker- oder Stehröhren; diese sind Heizröhren von besonders grosser Wanddicke, 6 bis 9 mm, welche in beide Rohrplatten mit Gewinde eingreifen. Winkelbleche *e*, Fig. b, wendet man zur Anhängung der

geraden Stirnwände an den Mantel an; sie sind bei Schiffskesseln wie bei Landdampfkesseln, namentlich Flammrohrkesseln, gebräuchlich *).

§. 361.

Dampfkesselrohre mit äusserem Druck.

Die von aussen gepressten cylindrischen Dampfkesseltheile erleiden eine Beanspruchung, welche derjenigen auf Strebfestigkeit ähnlich ist, indem sie bei einer gewissen Höhe des Druckes, wenn eine kleine Abweichung von der Cylinderform eintritt oder vorhanden ist, zerquetscht werden. Bei den gezogenen Heizröhren genügen bereits die der Abnützung wegen anzuwendenden Wanddicken, um der Zerquetschung vorzubeugen; dagegen haben die Flammrohre der kornischen und Lancashire-Kessel meist solche Abmessungen, dass auf die Gefahr der Zerquetschung Rücksicht genommen werden muss. Durch Versuche von Fairbairn ist festgestellt worden, dass die Rohrlänge einen wesentlichen Einfluss auf die Zerquetschkraft hat, und zwar, dass letztere um so geringer ausfällt, je grösser die Länge, oder genauer genommen, der Abstand der gegen Zusammendrückung gesicherten Rohrquerschnitte ist. Aus seinen Versuchen hat Fairbairn für den die Zerquetschung herbeiführenden äusseren Ueberdruck p' die Formel

$$p' = 806300 \frac{\delta^{2,19}}{lD} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (395)$$

abgeleitet, wobei p' in engl. Pfunden auf den Quadratzoll engl., D und δ in engl. Zoll, L in engl. Fuss ausgedrückt ist. Die

*) Die Frage ist noch offen, ob es sich nicht für manche Kessel empfiehlt, nur den einen der beiden flachen Endböden an dem Mantel zu befestigen, auch dies ohne Winkelanker, den anderen Boden aber nur mit dem ersten durch gerade, zur Kesselachse parallele Anker zu verbinden, dabei seinen dampfdichten Anschluss an den Mantel durch eine Dichtung zu bewirken (vergl. die hydraulische Presse S. 985). Die genannte Dichtung könnte entweder aussen am Mantel anliegen, Stopfbüchsdichtung, oder an der Innenfläche, Kolbendichtung. Ein Verschluss mit einem Stulp aus geeignetem Stoff, vielleicht Blei, könnte in Erwägung gezogen werden (vergl. §. 341). Bei Anwendung dieser Art von Bodenversteifung würde die Beanspruchung der Querschnitte des Mantels Null werden. Meines Erinnerns ist die fragliche Bauart bereits bei Lokomobilen mit Erfolg versucht worden, ohne bisher indessen eine weitergehende Beachtung gefunden zu haben.

Abmessungen auf mm und p auf kg auf den qmm bringend, erhält man daraus:

$$100 p' = a' = 367\,973 \frac{\delta^{2,19}}{lD} \dots \dots \dots (396)$$

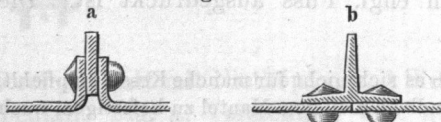
Die Fairbairn'schen Versuche sind wiederholter Durchrechnung unterworfen, auch ist gesucht worden, der Formel eine weniger unbequeme Gestalt zu geben*). Eine letzte Durchsicht hat Dr. Wehage vorgenommen, dabei aber noch neuere gute Versuche**) mit in Betracht gezogen***) und ist dabei zu folgender Formel gelangt:

$$100 p' = a' = \left\{ \begin{array}{l} 90\,000 \\ 120\,000 \end{array} \right\} \frac{\delta}{D} \sqrt[3]{\frac{\delta}{lD}} \dots \dots \dots (397)$$

in welcher der obere Koeffizient für Rohre mit Ueberblattungsnietung, der untere für geschweisste oder mit Laschen vernietete Rohre gilt. Diese einfache Formel nähert die wichtigsten Versuche Fairbairn's recht gut an. Man benutzt dieselbe so, dass man nach stattgehabter Wahl der Abmessungen D , l und δ die gefährliche Pressung a' ermittelt, und dann ermisst, ob sie hoch genug liegt.

Beispiel. Bei einem ausgeführten, für $2\frac{1}{2}$ at Ueberdruck bestimmten konischen Kessel hatte das Flammrohr die Länge $l = 25'$ pr. = 7845 mm, die Weite $D = 23'' = 601$ mm und die Wanddicke $\delta = 0,25'' = 6,5$ mm. Die Nietung war überblattet. Nach (397) berechnet sich nun die gefährliche Pressung zu: $a' = 90\,000 (6,5 : 6,1) \sqrt[3]{(6,5 : 601) 7845} = 21,35$ at. Das Rohr ist thatsächlich zerquetscht worden. Bedenkt man, dass die Abnutzung die Wand leicht um einige mm verdünnen konnte, so wird man das Eintreten der Explosion nicht wunderbar finden.

Fig. 1119.



Ein Mittel, die Sicherheit zu erhöhen, ohne die Wanddicke grösser wählen zu müssen, liegt in der Verriegerung von l , die schon Fairbairn in der Form empfahl,

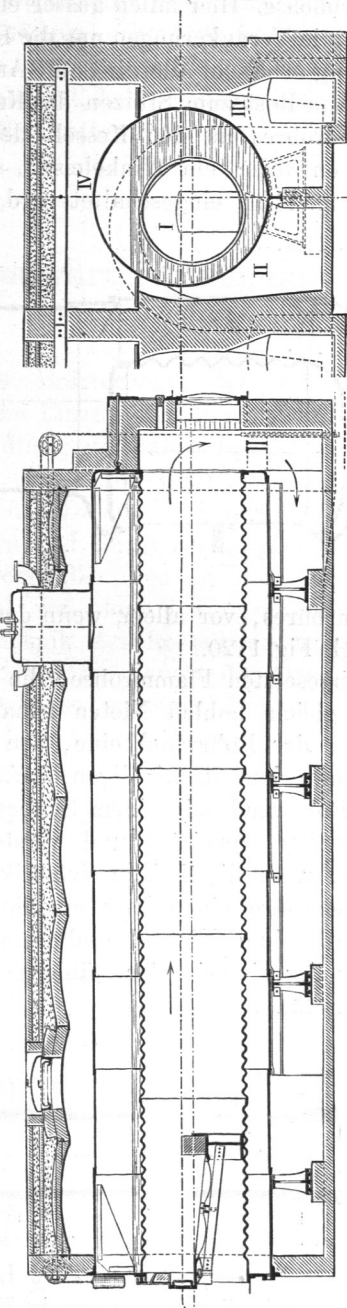
dass man Versteifungsringe an den Stossfugen einzelner Rohrschüsse anzubringen habe. Fig. 1121 a zeigt die Adamson'sche,

*) Die Behandlung der Aufgabe durch Grashof, s. Z. D. Ingenieure, 1859 (Bd. III) S. 234, diejenige durch Love, Civilingenieur, 1861 (Bd. VII), S. 238, eine von mir angeregte, durch den Verein Hütte ausgeführte Umrechnung in den Berliner Verhandlungen, 1870, S. 115.

**) S. Engineer 1881, Bd. 51, S. 426.

***) Dingler's Journal 1881 (Bd. 242), S. 236 ff.

Fig. 1120.



b die Hick'sche Form dieser Ringe, von denen die erstere die schwierigere ist, aber den Vorzug gewährt, keine Nietköpfe dem Feuer darzubieten. Man wendet jetzt derartige Versteifungsringe auch bei uns häufig an, manchmal an jedem Rohrschuss, um selbst beim Erglühen des Rohres dieses vor dem Zerplatzen zu schützen, was schon wiederholt gelungen ist.

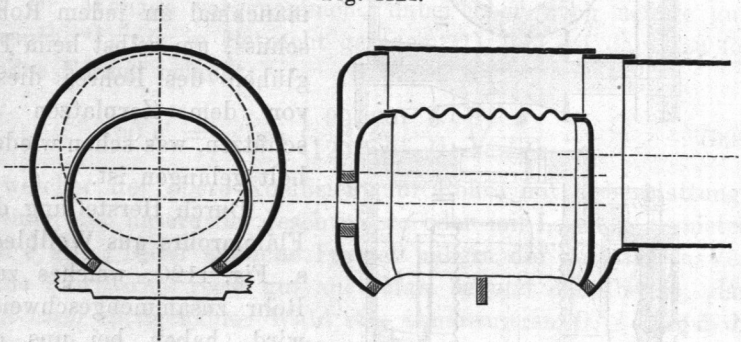
Durch Herstellung des Flammrohrs aus Wellblech, s. Fig. 1120, welches zum Rohr zusammengeschweisst wird, haben bei uns die Fabrikanten Schulz, Knaudt & Cie. in Essen dem Flammrohr eine grosse Sicherheit gegen Zerquetschen zu geben gewusst. Unsere Figur stellt einen von der genannten Firma erbauten Kessel von 2,200 mm Durchmesser dar. Die Bauart, welche allerdings nicht leicht ist, scheint sich jetzt mehr und mehr zu verbreiten. In England werden die gewellten Flammrohre durch die Erfinder derselben, Sampson Fox & Cie. in Leeds, geliefert. Die Wellen sind gewöhnlich 100 mm hoch.

Man hat auch für die Lokomotivfeuerbüchse das Wellrohr in Gebrauch genommen. Fig. 1121 (a. f. S.)

zeigt die Kaselowsky'sche Feuerbüchse. Hier fallen ausser einigen Längsankern für die Stirnwand alle Verankerungen um die Feuerbüchse herum fort. Die Anordnung erheischt allerdings die Anbringung eines Querträgers unter dem Rost zum Stützen des Kessels.

Die Befestigung des Flammrohres an den Kesselböden geschieht durch Nietung, indem entweder ein Winkeleisen, sei es ausserhalb, sei es innerhalb, Fig. 1121, eingeschaltet wird, oder

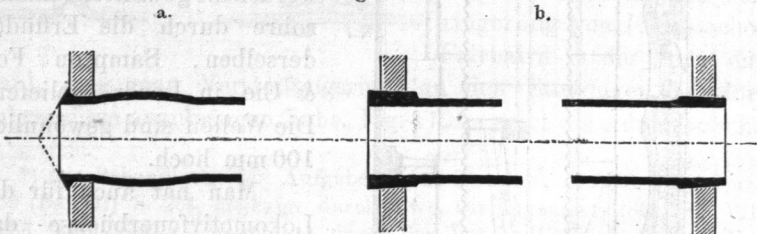
Fig. 1121.



indem Umbörtelung des Flammrohres, vor allem, wenn dasselbe geschweisst ist, stattfindet, vergl. Fig. 1120.

Die auf kleine Weite herabgesetzten Flammrohre, die Heizröhren, werden vorzugsweise gleich hohlen Nieten behandelt, indem man ihnen zuerst hinter der Rohrwand eine, den Setzkopf vertretende Aufbeulung mit dem dreitheiligen Auftreiber gibt und sie darauf vor der Rohrwand mit einem Schliesskopf versieht, nämlich sie nach aussen vernietet und verstemmt, Fig. 1122 a. Manche Fabriken, z. B. die Lokomotivfabrik Esslingen, geben der eisernen Heizröhre einen hart angelötheten kupfernen Vorschub, welcher Aufbeulung, Nietung und Stemmung bedeutend leichter verträgt, als das eiserne oder stählerne Rohr

Fig. 1122.



selbst. Die von den Fabrikanten Pauksch & Freund in Landsberg bei uns eingeführte, aber schon 1867 von Anderen in Frank-

reich angewandte Einsetzung der Heizröhren mit zwei kegeligen Zuspitzungen, Fig. 1122 b, hat sich nicht so bewährt, wie von Vielen erwartet wurde, indem es bei älter werdenden Kesseln schwierig ist, beide Enden zugleich dicht zu schlagen, und indem auch Erschütterungen den Verschluss zu lösen vermögen.

§. 362.

Gegenwärtiger allgemeiner Stand des Dampfkesselbaues.

Die Erörterungen der vorstehenden §§. mussten auf wenige bauliche Einzelheiten beschränkt werden, da eine weitergehende Behandlung die Sache besonderer Fachschriften ist. Nur noch einige allgemeine Betrachtungen über die jetzt üblichen Bauarten der Dampfkessel und über die Leistungen derselben im Grossen und Ganzen seien hier angeschlossen.

Gegenüber den in den vorausgehenden §§. und in dem Kapitel von den Nietungen hervorgehobenen Fortschritten in der Technik des Kesselbaues steht die bemerkenswerthe Thatsache, dass die Bauart der Dampfkessel im Ganzen seit 20 bis 30 Jahren so zu sagen keine Fortschritte gemacht hat, obwohl die Ueberzeugung verbreitet ist, dass noch wesentliche Verbesserungen, namentlich bezüglich der Brennstoffverwerthung, darin möglich seien. Nach meiner Ansicht sind es vier Punkte in der Bauart, welche eine verschärfte Beachtung verdienen, und in welchen die Bestrebungen nach Verbesserung auch Erfolge versprechen, während an anderen Stellen die aufgewandte Kraft verschwendet zu sein scheint.

1) Materialaufwand. Wie in §. 359 gezeigt (S. 1080), ist der Materialaufwand bei unseren üblichen Kesselformen beträchtlich grösser als er sein könnte, wenn sich die Kugelform mehr verwenden liesse. Es ist fraglich, ob man praktisch in dieser Richtung viel zu thun vermag; indessen ist die Möglichkeit doch nicht ausgeschlossen, wenigstens für einzelne Kesselarten nicht, z. B. diejenigen für reine Heizzwecke. Man braucht sich nur der Vakuumpfannen zu erinnern (vergl. den folgenden §.), um sich zu vergegenwärtigen, dass diese älteste Halterform (Newcomen) nicht ganz ausser Gebrauch gekommen ist; auch wäre darauf hinzuweisen, dass die Kumpel- und die Kremppresse mehr

und mehr Anwendung finden, mit anderen Worten, dass man der Herstellung grosser Mulden aus Schmiedeseisen und Stahl mehr und mehr Herr geworden ist.

Eine zweite Seite der Materialfrage bilden die Nietungen. Es ist doch in der That stark, dass wir bei den Nietungen für die Dampfkessel eine so beträchtliche Schwächung der Wand hinnehmen. Bei der einfachen Nietung beträgt sie, wenn man von den Nieten selbst absieht, da man sie aus allerbestem Eisen herstellen kann *), im Mittel 40 Prozent, bei der doppelten 25 Prozent. Diese Verminderungen sind unwichtig bezüglich der Quernäthe cylindrischer Kessel, aber überaus beachtenswerth bei den Längsnäthen und kommen im weitaus schwersten Theil der Kessel, dem Mantel, zu einer nicht vernachlässigbaren Geltung. Daher denn auch die Bestrebungen, die Längsnäthe des Kessels zu schweissen. Wie gering aber der Erfolg dieser letzteren Verfahrungsweise, welche sich für die Rohre mit äusserem Druck sehr gut eignet, für die Kesselmäntel mit innerem Druck ist, hat das Beispiel S. 1078. gezeigt, wo die geschweissten Näthe der Sicherheit halber mit Laschen übereietet und dadurch wieder auf die Festigkeit ungeschweisster Näthe herabgesetzt sind. In der That ist die Schweissung ein zu unsicheres Verfahren, wie die Versuche mit Schweissverbindungen klar gezeigt haben, als dass man die damit verbundenen Bleche für voll annehmen dürfte, wenn sie auf Zug beansprucht sind.

Hiernach muss das Augenmerk der Kesseltechnik sich darauf richten, Kesselmäntel zu erhalten, welche keinerlei Längsnäthe, weder genietete, noch geschweisste, aufweisen. Die Heizröhren leisten hierin schon das Ihrige für Röhren mit äusserer Pressung; das mehrerwähnte Mannesmann'sche Verfahren ist geeignet, solche Rohre auch für Kesseltheile mit innerer Pressung zu liefern und zwar in einer Güte der Bleche, welche die der bisher gebrauchten weit übertrifft, wie alle bisherigen Versuche dargethan haben. Kann dieses Verfahren in den Kesselbau eingeführt werden, so wird damit eine Materialersparniss verbunden sein, die sich durchschnittlich auf nahe $\frac{1}{3}$ zu beziffern verspricht.

*) Wollte man die Nieten im Material als nicht besser als das Blech ansehen, so käme die Schwächung bei der einfachen Nietung im Mittel auf 53 Prozent, bei der doppelten auf 41 Prozent zu stehen. Von den dreifachen Nietungen, wie die in Fig. 158, S. 168 dargestellte, muss wegen ihrer Schwierigkeiten im allgemeinen abgesehen werden.

2) Feuerung. Von noch einschneidenderer Bedeutung als der Materialaufwand ist die Einwirkungsweise der Feuerung. Wie die obigen schematischen Darstellungen der üblichen Kesselfeuerungen zeigen, herrscht beinahe ganz allgemein das Verfahren, Kesseltheile unmittelbar der Feuerflamme auszusetzen, mit anderen Worten, das Feuer überwiegend durch Leitung, Wärmeleitung, wirken zu lassen. Dies gilt selbst zum grössten Theil auch da, wo sogenannte Vorfeuerung angewandt wird. Schon längere Zeit sind in die Zweckmässigkeit dieses Verfahrens Zweifel gesetzt worden. Unmöglich kann es für die Verbrennung der Gase günstig sein, sie alsbald nach der Erzeugung der Flamme gegen Flächen zu treiben, welche eine um 800 bis 1000° geringere Temperatur haben, als die Flamme. Rauch und Russ, d. i. unverbrannte Antheile des Brennstoffes, müssen sich ausscheiden und verursachen grosse Belästigungen und Verluste. Der Kampf mit diesen ist allgemein und hat zahlreiche, fast zahllose Rostbauarten und Beschickungsweisen entstehen lassen. Erst Friedrich Siemens (Dresden) scheint die wirkliche Lösung der Aufgabe gefunden zu haben und ist seit einigen Jahren unablässig bemüht, den Wärmetechnikern die, an Reife stets zunehmenden Früchte seiner praktischen Studien bekannt zu machen *). Dieser ausgezeichnete Wärmefachmann huldigte früher **), wie Andere, dem Grundsatz, die Flamme mit dem zu erheizenden Körper in Berührung zu bringen, ging aber von 1879 an mehr und mehr dazu über, in Glasöfen, Heerdöfen für Stahl, Schmelzöfen u. s. w. in hohen Ueberwölbungen des Heerdes bloss die strahlende Wärme der Flamme auf den Werkstoff wirken zu lassen, die Hitze des

*) Siehe folgende Quellen: Friedrich Siemens, Heizverfahren mit freier Flammenentfaltung, Berlin, Springer, 1882; Siemens' Regenerativöfen, Dresden, Ramming, 1854; Vortrag von Friedrich Siemens über Ofenbetrieb mit ausschliesslicher Benutzung der strahlenden Wärme der Flamme, Gesundheitsingenieur 1884; Vortrag von demselben über ein neues Verbrennungs- und Heizsystem, Busch, Journ. f. Gasbeleuchtung etc. 1885; Vortrag von demselben in der Ges. Isis in Dresden über die Dissociation der Verbrennungsprodukte, Dresden, Blochmann, 1886; Vortrag von demselben im Sächs. Ing.- u. Archit.-Verein über die Verhütung des Schornsteinrauches, Civ.-Ing. Bd. 32 (1886), Heft 5; Vortrag von demselben im Bez.-Ver. D. Ing. in Leipzig am 8. Dez. 1886 über den Verbrennungsprozess, 2. Aufl., Berlin, Springer, 1887; Vortrag von demselben, gehalten in Hamburg im Ver. D. Gas- und Wasserfachmänner über Regenerativ-Gasbrenner etc., Dresden, Ramming, 1887; Ueber die Vortheile der Anwendung hochoerhitzter Luft für die Verbrennung etc., 2. Aufl., Berlin, Springer, 1887.

***) Siehe den angeführten Vortrag in der „Isis“.

nicht mehr flammenden Gases aber im Regenerativofen aufzuspeichern. Es lassen sich dabei Wärmegewinne bis zu 80 und 90 Proz. erzielen. Er trennte dann später noch schärfer die zwei Hauptperioden der Verbrennung, die hierbei auseinandergehalten sind, und wandte den Grundsatz bald auch auf die Dampfkesselheizung an, wo er zwar nicht einen so hohen Gewinn, immerhin aber gegen 25 Proz. Ersparniss als sicher erreichbar bezeichnet. Ausgeführte Kessel haben dies vollständig bestätigt*). Er empfiehlt nun dringend, das Verfahren anzunehmen, und zwar, die wirkliche Flamme der Feuerung nicht mit den Kesselwänden in Berührung kommen, sie vielmehr einzig und allein durch Strahlung wirken zu lassen, darauf den nicht mehr flammenden, aber immer noch sehr heissen Verbrennungsgasen die Wärme durch Leitung thunlichst zu entziehen, was beides auf verschiedene Weise geschehen kann**). Da die Ausführungen dieses Grundsatzes dessen Richtigkeit immer nur bestätigt haben, kann eine Anwendung nur anempfohlen werden. Die letztere ist bei Landdampfkesseln nicht wesentlich schwierig, bei Schiffs- und Lokomotivkesseln allerdings schon mehr. Indessen wird sich auch hier vieles erreichen lassen. Schiffskessel betreffend hat man ja neuerdings in den Vereinigten Staaten mit dem alten Satz gebrochen, dass der Schiffskessel keinen gemauerten Ofen haben solle, wie denn der neue Aviso Chicago und seine Schwestern sehr zweckmässig gebaute Kessel mit Raughemäuer haben; für Lokomotiven zeigten die gelungenen

*) U. a. bezeugen K. H. Kühne & Co. in Dresden Löbtau unterm 16. Febr. 1884 eine Ersparniss von 26 Proz. an einem mit S.'scher Feuerung an Stelle der älteren, gewöhnlichen versehenen Dampfkessel bei völliger Rauchfreiheit und stetiger Reinheit der Feuerkanäle.

***) Fr. Siemens beschreibt zwei von ihm angewandte Methoden, beidemal unter Voraussetzung von Flammrohrkesseln. Bei der ersten findet die Verbrennung des Heizstoffes auf dem Rost im Flammrohr statt; dieses ist aber über dem Rost und noch um eine halbe Rostlänge dahinter mit einer Schamottsicht verblendet; auch sind noch zwei weitere ringförmige Blenden aus Schamotte weiterhin in das Flammrohr gesetzt, welche stets die Flamme nach der Achse des Rohres hin drängen. Die Gase verglühen bei diesem Verfahren im Flammrohr und wirken daselbst nur durch Strahlung. Bei der Rückkehr umspülen sie den Kesselmantel unmittelbar und geben die mitgeführte Wärme durch Leitung ab; nach dieser starken Abkühlung bestreichen sie noch die unbenetzten Theile der Heizfläche, um darauf zum Kamin zu ziehen. Bei der zweiten Methode wird der Brennstoff auf einem vom Raughemäuer des Kessels getrennten Rost bloss vergast, dann vor dem Flammrohr mit (vorgewärmter) Luft vermischt und entflammt, worauf die Flamme das wie vorhin mit Verblendungen ausgerüstete Flammrohr unter blosser Strahlung durchzieht u. s. w.

praktischen Proben von Verderber in Budapest, dass die Verblendung der Feuerbüchse mit Schamotte ausführbar ist (s. auch unten). Die Verderber'schen Versuche schliessen sich im Grundsatz geradezu an die Theorie von Fr. Siemens bestätigend an. Ueberhaupt ist schon verschiedentlich der Versuch gemacht worden, auch das Flammrohr mit feuerfestem Mantel über dem Rost zu verblenden. Wenn damit keine auffallenden Ergebnisse erzielt worden sind, war es wohl, weil jenseits des Rostes die Behandlung der Flamme die alte war. — Nach Vorstehendem ist wohl in Aussicht zu nehmen, dass man bald allgemein dazu übergehen wird, die Strahlfeuerung, wie man wohl die Siemens'sche Feuerung nennen kann, da in ihr die Strahlung zu besonderer Wirkung gebracht ist, an die Stelle der blossen Leitungsfeuerung des Dampfkessels zu setzen, womit aller Voraussicht nach eine Brennstoffersparniss von rund einem Viertel erzielt werden wird.

3) Heizfläche. Der dritte Punkt betrifft nicht sowohl eine Mangelhaftigkeit unserer Bauweise, als eine Unsicherheit der Grundlagen derselben, welcher zufolge viele Ausführungen den Absichten weit weniger entsprechen, als man allgemein annimmt. Er betrifft die Heizfläche. Neuere Versuche scheinen unwiderleglich darzuthun, dass das Axiom von der Heizfläche als einer Grösse, welcher die Leistung des Kessels proportional wäre, nicht in dem bisherigen Umfang bestehen bleiben kann. Einleuchtend ist ja, dass zwischen den nahe beim Rost liegenden Theilen der Heizfläche und fern davon liegenden Theilen ein beträchtlicher Unterschied bezüglich der Dampferzeugung bestehen muss. Sehr hohe Temperatur der Feuergase im Anfang, ganz niedrige gegen Ende, also starke Dampferzeugung dicht beim Feuer, schwache fern von demselben. Es zeigt sich aber ausserdem, dass die Heizfläche bei einem und demselben Dampfkessel unter Umständen auf die Hälfte vermindert werden kann, ohne dass die Dampferzeugung abnimmt. Unser allgemein übliches Verfahren, in allen denkbaren Formen auf Grösse der Heizfläche binzuarbeiten, was zu immer neuen Bauformen der Kessel geführt hat, erscheint hiernach als einseitig und oftmals verfehlt, jedenfalls einer gründlichen Prüfung bedürftig. Eine bahnbrechende Untersuchung dieser wichtigen Frage verdanken wir dem Oberdirektor der schwedischen Eisenbahnen, Ingenieur F. Almgren, welcher in mehrjährigen Versuchen die bezüglichen Verhältnisse bis zu einem hohen Grade aufgeklärt und alsdann

von dem Gefundenen bedeutende praktische Anwendungen gemacht hat. Die Veröffentlichung seiner Arbeiten steht in nächster Zeit bevor. Mehrere der Hauptergebnisse hat er mir freundlichst gestattet, hier vorläufig vorzulegen. Ich entnehme das Folgende Almgren's eigenen brieflichen Mittheilungen.

Praktische Untersuchungen an Lokomotivkesseln mit engen Heizröhren, von F. Almgren. — „Aus den Versuchen von Geoffroy, mitgetheilt durch Couche*), gehen die Dampfmen gen hervor, welche jede, ungefähr 0,9 m lange Abtheilung des zu den Versuchen dienenden Heizröhrensystems von 3,6 m Länge, bei wechselnden Mengen der stündlich durchgeleiteten Feuergase, lieferte. Ich fand, dass diese Dampfmen gen sich durch nachstehenden allgemeinen Ausdruck für die sekundliche Wärmeabgabe iL in W. E. als Funktion der veränderlichen Rohrlänge l bei der Röhrenzahl i darstellen lassen:

$$\frac{a}{iL} = 1 + \frac{b}{l} \quad \dots \dots \dots (398)$$

wobei a und b Konstanten sind, welche von der mittleren Temperatur T_e der einströmenden Gase, der Wassertemperatur δ und dem Gewicht iG der sekundlich durch das Röhrensystem streichenden Feuergase abhängen. Durch eine Reihe eigener Versuche bestimmte ich nun diese Konstanten und fand:

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,357 \ i \ G \ (T_e - \delta) \\ b &= 7,15 \ G^{0,217} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (399)$$

wobei G das Gewicht der im Mittel durch eine der Heizröhren gehenden Feuergas- oder Rauchmenge ist. Ich erhielt mithin für die Wärmeabgabe L einer Heizröhre des Rohrsystems den Ausdruck:

$$L = \frac{0,357 \ G \ (T_e - \delta)}{1 + \frac{7,15}{l} \ G^{0,217}} \quad \dots \dots \dots (400)$$

Zur Prüfung der Brauchbarkeit dieser meiner Formel dienten weitere 21 Versuche mit einem Lokomotivkessel, dessen Feuerbüchsenwände durch Vermauerung unleitend gemacht waren.

Das günstige Ergebniss dieser Proben zeigt die folgende Tabelle.

In dieser Tabelle bedeutet:

i die Anzahl der benutzten Heizröhren,

G das Gewicht in kg des sekundlich durch je ein Rohr gehenden Rauches,

$T_r - \delta$ den gemessenen Unterschied der Temperaturen von Rauch und

Wasser, dicht bei der Ausströmung in die Rauchkammer,

$T_e - \delta$ den Temperaturunterschied bei der Einströmung = $(T_r - \delta)$

$$+ \frac{L}{0,24 \ G},$$

L_e den durch den Versuch ermittelten Werth von L ,

L_b den aus Formel (400) berechneten Werth von L .

*) Voie, matériel et exploitation des Chemins de fer, Tome III.

Tabelle I.

Lokomotivkessel: 4 at Ueberdruck, 2,934 m Länge und 42 mm Weite der Heizröhren; diese bestanden aus Messing und waren etwas belegt mit Kesselstein.

Nr. des Versuchs	<i>i</i>	<i>G</i>	$T_r - \delta$	$T_e - \delta$	L_e	L_b
1	110	0,00713	210 ⁰ C.	901 ⁰ C.	1,184	1,248
2		0,00601	185 "	916 "	1,035	1,090
3		0,00733	222 "	969 "	1,304	1,370
4		0,00827	230 "	1009 "	1,531	1,570
5		0,00900	235 "	1000 "	1,648	1,700
6	55	0,01795	275 "	1067 "	3,360	3,330
7		0,01871	285 "	1091 "	3,600	3,520
8		0,01832	278 "	1115 "	3,660	3,530
9		0,01479	290 "	1421 "(?)	4,000(?)	3,750
10		0,01514	240 "	1221 "	3,510	3,290
11		0,01303	255 "	1312 "	3,300	3,080
12		0,01091	235 "	1328 "	2,860	2,700
13	88	0,00466	90 "	682 "	0,650	0,646
14		0,00448	95 "	724 "	0,670	0,660
15		0,00405	95 "	781 "	0,660	0,652
16		0,00360	95 "	709 "	0,530	0,530
17	110	0,00586	75 "	462 "	0,542	0,534
18		0,00529	70 "	368 "	0,376	0,388
19		0,00640	83 "	466 "	0,591	0,586
20		0,00715	95 "	522 "	0,734	0,721
21		0,00668	90 "	529 "	0,695	0,686

Bemerkungen. Zwischen den Versuchsreihen wurde der Kessel ausgeblasen und er, wie die Röhren, gereinigt. Die 110 Röhren der vierten Reihe sind nur theilweise dieselben, wie die der ersten Reihe. Beim neunten Versuch, zweite Reihe, schmolzen einige der Köpfe der gusseisernen Pfropfen, mit welchen die nicht gebrauchten Röhren verschlossen waren.

Die Uebereinstimmung zwischen den zusammengehörigen Werthen von L_e und L_b ist schlagend. Eine für die gewöhnlichen praktischen Fälle verwendbare Formel war also gefunden; dieselbe gilt, wie aus der Tabelle hervorgeht, für beliebige Rohrzahlen, ohne dass die etwaigen Verschiedenheiten von G und T_e , welche für die einzelnen vorhanden sein möchten, auf das Hauptergebniss merkbar einwirken.

Die Gleichung (400) lehrt, dass bei einer gegebenen Rohrlänge l die Dampfabgabe dem Gewichte des durchströmenden Rauches beinahe genau proportional ist, und mit der verfügbaren Wärmemenge $0,24 G (T_e - \delta)$ nahezu in geradem Verhältniss wächst. Dies bedeutet, dass bei konstanter Blasrohrmündung beinahe gerade so viel Dampf durch das Rohrsystem gewonnen wird, als die Maschine durch das Blasrohr entsendet, also verbraucht. Bedenkt man dann noch, dass bei Vermehrung des Zuges auch die Verbrennungstemperatur steigt, so erkennt man, dass das Rohrsystem eines Lokomotivkessels in Verbindung mit dem Blasrohr eine fast ideale Einrichtung darstellt, sobald von einem Kessel grosse und häufige Wechsel in der stündlichen Dampferzeugung verlangt werden.

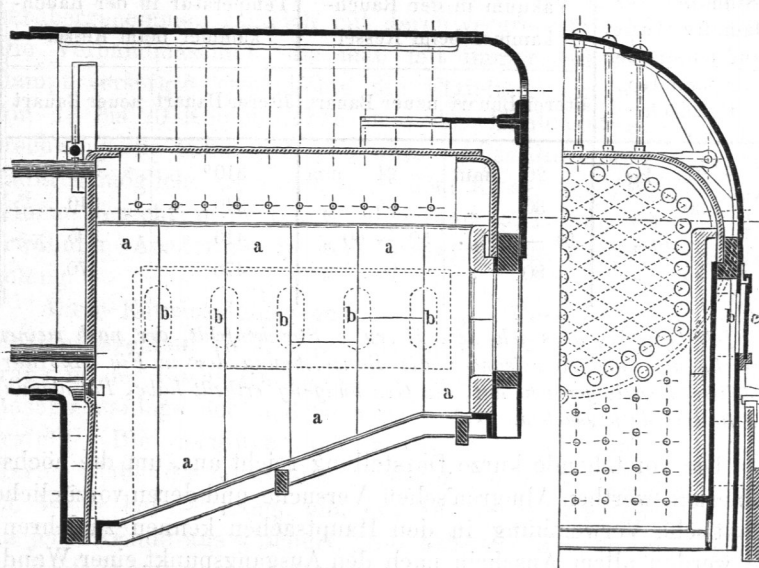
Nun zeigen die eingangs erwähnten Versuche von Geoffroy, dass die Wände der Feuerbüchse in dieser Beziehung viel weniger günstig wirken. Bei ihnen steigt die Dampfabgabe viel langsamer als die Steigerung des Zuges. Je grösser die Feuerbüchse, desto unvollkommener wird in dieser Hinsicht ihre Wirkung und desto nothwendiger das, stets unzuverlässige, verstellbare Blasrohr. Dem gegenüber lehrt Gleichung (400), dass, da bei einer gegebenen Rohrlänge die Dampfabgabe jeder einzelnen Heizröhre mit der Zugsteigerung wächst, die Anzahl der Röhren und damit das Gewicht des Kessels auf ein bestimmtes Minimum herabgezogen werden kann, welches mit Rücksicht auf die zulässige Blasrohrspannung und die Grösse des Rostes bestimmbar ist. Ausserdem lehrt die Formel, dass bei starkem Zuge und hoher Einströmungstemperatur die Dampfabgabe selbst der letzten Stücke sehr langer Röhren noch höchst beachtenswerth ist.

Da nun 1 qm Röhrenfläche bedeutend leichter und billiger ist, als 1 qm Feuerbüchsenfläche, da ferner bei Verkleinerung der letzteren der Rauch an ihren Wänden weniger abgekühlt wird, also mit höherer Temperatur in die Heizröhren eintritt, so lässt sich leicht übersehen, dass durch Wegnahme derjenigen Theile der Feuerbüchsenwände, welche für die Verwerthung der strahlenden Wärme nicht beachtenswerth sind, also der senkrechten Wände, und durch entsprechende Vergrösserung der Rohrlänge ein bestimmter Gewinn erzielt werden kann. So wird z. B. bei einem Zug-Vakuum von 40 mm Wassersäule in einem Kessel von 125 Röhren von 3 m Länge und 45 mm Lichtweite eine Verminderung der Wandfläche der Feuerbüchse um 7 qm vollständig ersetzt durch eine Verlängerung des Rohrsystems, welche 14 qm Heizfläche entspricht. Der hierbei erzielte Gewinn an Gewicht und Baukosten durch Verwandlung der schweren verankerten Feuerbüchsenwände in Röhrenfläche und in durch Thon geschützte unbenetzte Feuerkistenwände beträgt dabei ungefähr 700 kg bzw. 1500 Mark .

Nach den hier erläuterten Grundsätzen sind die neuesten Kessel der schwedischen Staatsbahnen gebaut, vgl. Fig. 1123, worin a die feuerfeste Auskleidung oder Verblendung der Feuerbüchse, b Luftöffnungen, durch Schieber c verstellbar. Die Kessel sind seit mehr als Jahresfrist im Betrieb

und wirken ausgezeichnet, wie durch die folgende Tabelle bestätigt wird. Aus derselben ist auch ersichtlich, dass der neue Kessel bei fast ganz glei-

Fig. 1123.



chen Vakuumhöhen und Temperaturen in der Rauchkammer dieselbe Dampf-
erzeugung auf den qm aufweist, wie ein sehr gut arbeitender, nach den
bisherigen Anschauungen gebauter Kessel.

(Die Feuerbüchse hat eine äussere Länge von 1,485 m und eine innere
Weite von 1 m. Der Kesselmantel ist 1,103 m weit. Die Anzahl der Heiz-
röhren, welche 45 mm im Lichten haben, beträgt 144, die ganze Dicke des
Backsteinfutters 74 mm.)

Tabelle II.

A. Abmessungen.

Kessel	Heizröhren			Innere Heizfläche		
	Länge	Weite	Anzahl	der Röhren	der Feuerbüchse	Verhältniss
älterer Bauart	3,112 m	46 mm	184	77,28 qm	7,82 qm	9,9
der neuen Bauart	3,305 „	46 „	102	50,83 „	2,19 „	23,1

B. Betrieb.

Stündlich verdampftes Wasser auf den qm der gesammten Heizfläche	Vakuum in der Rauchkammer beim Kessel		Temperatur in der Rauchkammer beim Kessel	
	älterer Bauart	neuer Bauart	älterer Bauart	neuer Bauart
24 kg	20 mm	24 mm	310°	315°
30 "	30 "	35 "	340	340
37 — 45 "	40 — 50 "	50 — 60 "	410	395
55 "	80 "	90 "	470	470

Ich bemerke, dass ich dem Herrn v. Storckenfeldt, der nach meinen Berechnungen und Anweisungen die Bauzeichnung des in Fig. 1123 dargestellten Kessels gemacht hat, die Genehmigung erteilt habe, Patente auf die Bauart nachzusuchen.

Die vorstehende kurze Darstellung reicht aus, um die höchst bemerkenswerthen Almgren'schen Versuche und deren vorzügliche praktische Verwerthung in den Hauptsachen kennen zu lehren; sie werden allem Anschein nach den Ausgangspunkt einer Wandlung im Bau der Lokomotivkessel bilden. Näheres wird die zugesagte ausgedehntere Veröffentlichung bringen, dazu auch eine theoretische Begründung der praktischen Formeln. Auusserst interessant ist das Zusammentreffen der Almgren'schen Beobachtungen mit den oben mitgetheilten Ausführungen von Fried. Siemens. Wir sehen in dem Almgren'schen Lokomotivkessel einen Haupttheil der Siemens'schen Forderungen schon verwirklicht; auusserdem erkennen wir auch die oben bei (1) bezüglich des Materialaufwandes gemachten Bemerkungen grundsätzlich in der Kesselbauart berücksichtigt, indem genietete schwere Wände in nathfreie Rohrflächen verwandelt erscheinen. Die künftige Herstellung des Mantels des Kessels als nathfreies Rohr wird die bereits so wesentlich verbesserte Materialverwendung auf eine noch höhere Stufe bringen.

4) Künstlicher Luftzug. Nachdem man so lange Zeit hindurch den künstlich verstärkten Luftzug fast ausschliesslich in den Lokomotiven und Lokomobilen verwerthet und dabei auch bedeutend mehr Verdampfung auf die Einheit der Heizfläche erzielt hatte, als bei natürlichem Luftzug, ist man in den letzten Jahren auch bei den Seedampfern zu der Neuerung übergegangen,

die Kesselfeuer mit künstlichem Luftzug, erzeugt durch Fachräder (Ventilatoren) zu betreiben. Diese Bauweise wurde von den Torpedobooten, wo man sie „der Noth gehorchend“ angewandt, herübergenommen zugleich mit deren vergrösserter Fahrschnelle. Die Verbundmaschine, die man mit immer höher gespanntem Dampf versorgte, ermöglichte die Erzielung von Fahrschnellen von 18 bis 20 Knoten, ohne dass der Kohlenaufwand auf unerschwingliche Höhe gestiegen wäre. Alles dies wurde aber nur dadurch möglich, dass man auch dem Kessel im Verhältniss zu seinem Gewicht mehr Dampf abgewann, was dann vermöge der erwähnten Aenderung in der Luftzuführung überraschend gut gelang.

Diese Entwicklungsvorgänge hat vor Kurzem der englische Marine-Ingenieur H. J. Oram in einem höchst lehrreichen Vortrage in der Royal United Service Institution „über die Treibmaschinenanlage der modernen Kriegsschiffe“ übersichtlich dargestellt. Die neuesten und grössten Kessel der englischen Marine (dabei die der Schiffe Blenheim und Blake) haben danach 15' Weite bei 18' Länge und werden von je vier Heizöffnungen an jedem Ende aus geschürt. Sie arbeiten mit „geschlossenem Aschenfall“ unter einem Luftdruck von 2 Zoll oder rund 50 mm Wassersäule, liefern aber auch jeder die erforderliche Dampfmenge von 10 bis 11 at Spannung für 3350 indizierte PS. Die erwähnte Luftpressung von 50 mm ist als völlig ausreichend für den erwünschten lebhaften Feuerbetrieb erkannt worden. Hierzu zeigt unsere obige Tabelle B S. 1096, dass es sich wesentlich um denselben Unterschied im Luftdruck vor und hinter der Feuerung handelt, wie er im Lokomotivbetrieb längst als angemessen ermittelt worden ist. Die Verbrennung erweist sich in den Hochdruckfeuerungen weit günstiger, als in denen alten Stils, weit rauchfreier und weit gleichmässiger. Es mag alsbald hinzugesetzt werden, dass zur Ermöglichung der gewaltigen Steigerung der Kesselleistung auch sorgfältiges Vorwärmen des Speisewassers, sowie Destillation des letzteren (im sog. doppelten Destillationskondensator, der neben dem Oberflächenkondensator zu wirken hat) erforderlich geworden ist. Der künstliche Luftzug hat, nebenbei bemerkt, auch den Vortheil gebracht, dass man nunmehr den Heizerraum vorzüglich lüften und kühlen kann.

Den letzten Nachrichten, namentlich solchen aus Amerika, zufolge geht man nun zu 16 bis 18 at Dampfspannung für die Schiffskessel und 16 bis 17 Fuss Manteldurchmesser für diesel-

ben. Nach Oram ist man aber damit an einer Grenze angelangt, die nicht mehr ohne Nachtheil überschritten werden kann, weder beim Kessel, noch auch bei der Maschine, indem die weitere Steigerung Gewichtsvermehrungen der Maschinenanlage erfordert, welche mehr verzehren, als gewonnen werden kann.

Dies ist auch u. a. daraus zu erkennen, dass die französische Gesellschaft der Messageries maritimes für ihre neuesten grossen Postdampfer von den Gehäusekesseln abgegangen ist und Belleville-Kessel gewählt hat. Die im Gang befindliche Steigerung hat also ihre Grenzen. Da aber dabei der künstliche Luftzug sich so vorthéilhaft, wenigstens bezüglich der Grösse und des Gewichtes der Kessel, erwiesen hat, wird man wohl zu gewärtigen haben, dass er bald auch auf Landdampfbetriebe übertragen werden und ebenfalls umgestaltend auf den dahin gehörigen Kesselbau einwirken wird.

Aus der Gesamtheit der vorstehenden Ausführungen darf gefolgert werden, dass der Dampfkesselbau in eine Bahn einzulenken begonnen hat, auf welcher in den Bau- wie den Betriebskosten eine Ersparniss, welche man auf ein Viertel bis ein Drittel mit Sicherheit anschlagen kann, erreicht werden wird.

§. 363.

Luft- und Gashaltungen.

Bei den Luftdruckhaltungen, welche im Tunnel- und Grubenbau jetzt so mannigfache Verwendungen finden, dienen dampfkesselähnliche cylindrische Behälter als Druckhalter. Bewegliche derartige Halter werden beim Tunnelbau wie auch auf Trambahnen benutzt, um die Maschine mit Druckluft statt mit Dampf zu speisen; es fehlt auch nicht an Vorschlägen, den regelmässigen Rampenbetrieb mit solchen Luftlokomotiven auszuführen. Die sogenannte pneumatische Pfeilergründung geschieht mittelst Luftdruckhaltung. Der Behälter ist in diesem Falle ein eiserner Sturz, welcher den Bauraum überdeckt und innerhalb dessen die Bauarbeiten vorgenommen werden. Die in ihn eingepresste Luft drängt das Wasser unter den Sturzrändern weg und entweicht dabei theilweise auf diesem selben Wege; durch eine Schleuse hindurch findet Zu- und Austritt der Arbeiter statt. Schacht- abteufungen in fliessendem Gebirge werden ebenfalls öfter unter

Zuhülfenahme von Luftdruckhaltungen ausgeführt. Für städtischen Luftdruckbetrieb wie in Birmingham (vergl. S. 879) leistet das ausgedehnte Rohrnetz die Dienste des Behälters.

Tiefdruckhaltungen für Luft- und Wasserdunst sind, wie bereits erwähnt (S. 928), die Kondensatoren der Dampfmaschinen. Bei ihnen wird der Behälter nur etwa 1 bis 2 Cylinderfüllungen gross gemacht und vorzugsweise aus Gusseisen ausgeführt; die Regelmässigkeit, mit welcher bei jedem ganzen Spiel der Maschine die sogenannte Luftpumpe den Behälterinhalt verdünnt, überhebt der Anwendung grösserer Abmessungen für den Behälter. In Brunnen hat man durch Einsetzung eines abschliessenden Bodens nahe über dem Wasserspiegel den Raum um diesen herum zur Tiefdruckhaltung gestaltet, welche das Zudringen des Wassers aus den umgebenden Schichten steigert. Bei Tiefdruckhaltungen für Kraftversorgung, wie in Paris und London (Münze), dienen weite, dampfkesselähnliche Gefässe als Halter. Eine werthvolle Anwendung der Tiefdruckhaltung für Luft und Wasserdunst macht die Zuckerindustrie in den sogenannten Vakuumpfannen, in welchen der Tiefdruck durch Pumpen fortwährend erhalten wird. Diese Tiefdruckhalter werden in der, gemäss obiger Berechnung, S. 1080, vortheilhaftesten Form, der Kugelform, ausgeführt, was mit Rücksicht auf das theure Material ihrer Wände, Kupfer, von grosser ökonomischer Bedeutung ist.

Die Gasometer der Leuchtgasanstalten sind Ueberdruckhalter für ganz geringe Pressung, erfordern aber wegen Herstellung des dichten Verschlusses dennoch ziemlich starke Wände. Der Behälter besteht hier baulich aus zwei Theilen, einem Sturz, der sogenannten Glocke, welche manchmal für sich noch „teleskopartig“ zusammengesetzt wird, und einem Becken mit einer Füllung von Wasser, welches als Sperrflüssigkeit dient; die Glocke bildet dabei einen Kolben (vergl. S. 869). Aehnliche Halter finden im Laboratorium und in chemischen Fabriken noch für mancherlei Gase Verwendung. Bei grossen Gashaltern, von deren Becken schon in §. 356 die Rede war, bedarf die Dachkuppe der Glocke, weil dieselbe so schwer ausfällt, dass der Gasdruck die Eisenhaut nicht tragen kann, einer besonderen inneren Verstärkung. Der Gasometer, als Ganzes betrachtet, hatte bisher keine sichere Stellung im Bauwesen; das Vorausgegangene hat gezeigt, dass derselbe, ebenso wie die Reihe anderer Behälter, nicht bloss seiner Herstellung wegen, sondern auch seiner gesammten Anlage gemäss dem Maschinenwesen angehört.

§. 364.

Behälter für andere Haltungen.

Für das Wasser hat man, theils seiner Gefahren wegen, theils um seiner Benutzung willen von frühester bis in die neueste Zeit umfangreiche und unter Umständen grossartige Haltungen eingerichtet, bei welchen der Behälter in seiner Ausführung nicht, wie die bisher besprochenen, dem Maschinenwesen, sondern dem Bauingenieurwesen anheimfällt, manchmal sich auch der Beachtung als eines einheitlichen Ganzen entzieht. Letzteres gilt z. B. von den Tiefdruckhaltungen der Gruben, wo der Halter sich theils aus kleineren Gesenken, sogenannten Sumpfen, theils aus Querschlägen und Strecken zusammensetzt. Aehnlich ist es in Tiefdruckhaltungen der Ländereien, wo grosse Landgebiete, von Kanälen durchzogen, den Halter bilden, wie in norddeutschen und namentlich den holländischen Niederungen; in den letzteren ist als ein bestimmter erkennbarer Halter das Becken des ehemaligen Harlemer Meers zu bezeichnen, dessen Wasserhaltungsmaschinen fortwährend in dem nun angebauten und bewohnten Seebecken das Tiefdruckniveau erhalten.

Bei Ueberdruckhaltungen für landwirthschaftliche Zwecke bilden oftmals ausgedehnte Kanalsysteme die Halter, wie in der Lombardei und in Südfrankreich, wo die trefflichsten Bauten dieser Art der Landwirthschaft den grössten Segen bringen. Deutlicher erkennbar gestalten sich in solchen Fällen die Halter, wenn sie als Weier, grosse Becken, ja seeartige weite Behälter gebaut werden oder gebaut waren, wie der Mörissee im alten Aegypten und der Nitokrissee im alten Babylonien, der noch bestehende See von Maineri auf Ceylon und viele andere. Völlig deutlich tritt die Bestimmung zu Haltungen wieder hervor, wenn die Beckenbildung durch grosse, hohe Kunstbauten zum Abschliessen von Thalgebieten geschieht, wo dann nicht nur in den Vorrichtungen zum geregelten Ablassen des angesammelten Wassers, sondern auch schon in der blossen Bezeichnung der Bauten als Thalsperren die Entstehung aus den Gesperrwerken sich deutlich ausspricht.

Schliesslich sei hier noch einer besonderen natürlichen Haltung gedacht, welche als solche meines Wissens bisher nicht erkannt worden ist, die aber für den klimatischen Haushalt der

Natur die grösste Bedeutung hat. Es ist der Gletscher. Derselbe bildet sich aus dem in Schneeform im Hochgebirge niedergeschlagenen Wasserdunst, den die Sonnenwärme dem Meer entzogen hat. In Hochthälern bildet dieser Schnee Firnfelder; der Firnschnee wiederum sintert zusammen und bildet darauf Gletschereis; der Gletscher sodann fliesst schleichend langsam in die wärmeren Thalgegenden herab und schmilzt dort ab. Seine Eismasse bildet eine, manchmal Hunderte von Millionen kbm fassende Haltung, welche einen Wasserstrom von wenig veränderlicher Stärke, den Gletscherbach, herniedersendet. Dieser führt den mittleren Werth der Feuchtigkeitsmasse, welche das Jahr über in wechselnder Fülle von dem Firnfeld aufgenommen worden ist, zu Thal. Die Vorgänge sind alle physikalisch-mechanisch. Als Ganzes stellt der Gletscher eine Haltung fünfter Ordnung dar: Speisung durch den von der Sonne dem Meer entzogenen Wasserdampf, Verdichtung desselben zu Schnee, Frittung des letzteren zu wässriger Schneemasse, Verdichtung dieser zu Gletschereis, Abthauen des Eises theils durch Leitung vom Bett her, theils durch Strahlung der Sonne.

Sechszwanzigstes Kapitel.

GESPERRE DER DRUCKORGANE

ODER

VENTILE.

§. 365.

Zwei Gattungen von Ventilen.

Das Verfahren, ein Druckorgan zu sperren, d. h. zeitweise an Fortbewegung zu verhindern, ist ganz nahe verwandt mit demjenigen der Sperrung starrer Maschinenelemente; es unterscheidet sich davon nur durch die Berücksichtigung des Umstandes, dass die kleinen und kleinsten Theilchen der Druck-