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:

$$\frac{\delta}{D} = \frac{1}{2}\frac{p}{\mathfrak{S}} = \frac{h}{2000\,\mathfrak{S}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (367)$$

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

Beispiel. Bei $\delta = 6$, $D = 3000$, $h = 3$) folgt hieraus $\mathfrak{S} = h \,.\, D : 2000 \,.\, \delta = 3 \,.\, 3000 : 2000 \,.\, 6 = 0{,}75$ 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: $100\, D \,.\, h : 1000 = 2 \,.\, n\, 125$, da nach Tabelle §. 81 die 10er Schraube mit voller Sicherheit 125 kg trägt. Wir erhalten daher für die erforderliche Schraubenzahl: $n = 100 \,.\, 3000 \,.\, 3 : 1000 \,.\, 250 = 3{,}6$, was für den Schraubenmittelabstand $100 : 3{,}6 = 27{,}8 \backsim 28$ 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 $3 \,.\, 7{,}07 \backsim 21$ kbm.*

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

§. 355.

Genietete Behälter.

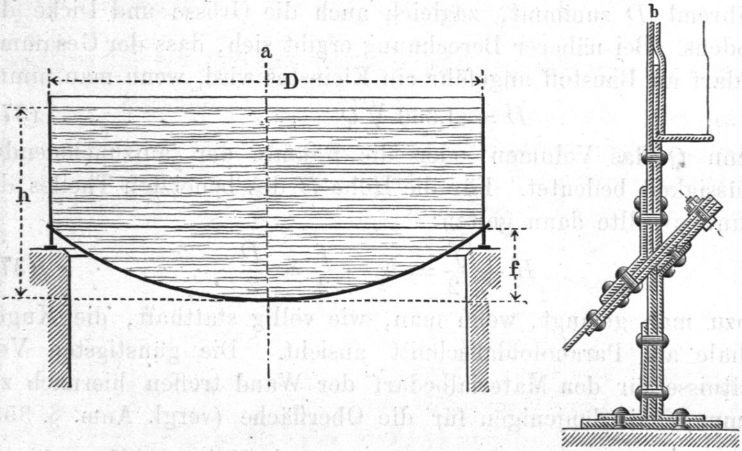
Wo grosse Flüssigkeitsmengen in Behältern geborgen werden sollen, stellt man letztere aus Schmiedeisen oder Stahl her und muss dabei zur Nietung greifen. Für Behälter von sehr grosser Räumte macht der flache Boden Schwierigkeiten. Allerdings hat man in den Ver. Staaten gewaltige schmiedeiserne Erdölbehälter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

*) Die kleinste Oberfläche wird erhalten, wenn man wählt $h = {}^1/_2\, D$; 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 Tragringes 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: $\delta_1 : R = p : 2\mathfrak{S}_1$, wenn δ_1 und $\mathfrak{S}_1$ 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:

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

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:

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

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

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

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

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

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

Für die Pfeilhöhe f des Bodens hat man bei gegebenem R die Beziehung $2Rf - f^2 = {}^1\!/_4\, D^2$. Hieraus ermittelt sich:

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

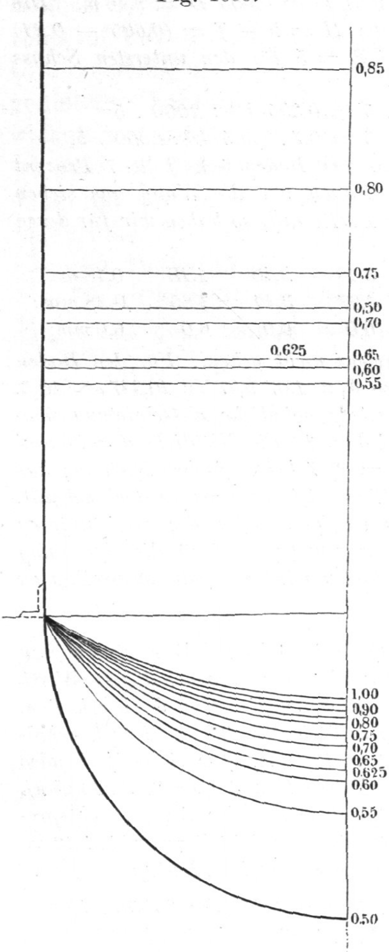
Es erscheint zweckmässig, obwohl nicht gerade nöthig, R so zu wählen, dass $\delta_1 = \delta$ bei $\mathfrak{S} = \mathfrak{S}_1$ ausfällt. Dann müsste aber die Bedingung erfüllt werden, welche die Verbindung der beiden Gleichungen für δ_1 und δ liefert. Sie lautet:

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

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 $h - {}^1/_2 f$ 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 Tragring 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: $D = 1{,}366 \sqrt[3]{1500} = 15{,}634 \backsim 15{,}64$ m und nach (371) $h - 0{,}5 f = 0{,}5\ D = 7{,}82$ m, woraus rückwärts Q kommt $= 7{,}82 \,.\, 15{,}64^2 \pi/_4 = 7{,}82 \,.\, 192{,}0 = 1497{,}6$ kbm, also genügend genau die verlangte Räumte. Wir wählen nun $f = 0{,}21\ D = 0{,}21 \,.\, 15{,}64 = 3{,}28$ m; das entspricht nach der Tabelle $R = 0{,}7\ D = 0{,}7 \,.\, 15{,}66 \backsim 10{,}95$ m. Wir bekommen nun aus (371) $h = 0{,}5\ D + 0{,}5 f = (0{,}5 + 0{,}105)\ D = 0{,}605\ D = 9{,}46$ m. Die benetzte Mantelfläche bekommt die Höhe $H = h - f = (0{,}605 - 0{,}21)\ D = 0{,}395\ D = 6{,}18$ m. Nun folgt bei $\mathfrak{S} = 5$ für den untersten Schuss im Mantel:

$$\delta = D \,.\, H : 2000 \,.\, 5 = 0{,}395\ D^2 : 2000 \,.\, 5$$

und für den Boden $\delta_1 = R \,.\, h : 2000 \,.\, 5 = 0{,}7 \,.\, 0{,}605\ D^2 : 2000 \,.\, 5$, 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 $\delta_1 = 1{,}07\ 9{,}67 = 10{,}347 \backsim 10{,}5$. 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 $5 \,.\, 10 : 9{,}67 \,.\, 0{,}47 = 11{,}11$ 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 $= 5 \,.\, 10 : 9{,}67 \,.\, 0{,}59 = 8{,}76$ 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 $h = 0{,}67 \,.\, D = 0{,}67 \,.\, 15{,}2 = 10{,}18$ m, für $h - {}^1/_2 f$ also $(0{,}67 - 0{,}125)\ D = 0{,}545\ D = 8{,}28$ m. Damit kommt $Q = 8{,}28 \,.\, 15{,}2^2 \pi/_4 = 8{,}28 \,.\, 181{,}5 = 1502{,}8$ kbm, also genügend genau der Aufgabe entsprechend. H wird $= h - f = (0{,}67 - 0{,}25)\ D = 0{,}42\ D = 0{,}42 \,.\, 15{,}2 = 6{,}38$ m. Wir erhalten nun für den untersten Schuss im Mantel:

$$\delta = 0{,}42\ D^2 : 2000 \,.\, 5 \,.\, 1000 = 0{,}42\ D^2 : 10000 \,.\, 1000$$

u. f. d. Boden: $\delta_1 = 0{,}625 \,.\, 0{,}67\ D^2 : 2000 \,.\, 5 \,.\, 1000 = 0{,}42\ D^2 : 10\,000 \,.\, 1000,$

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

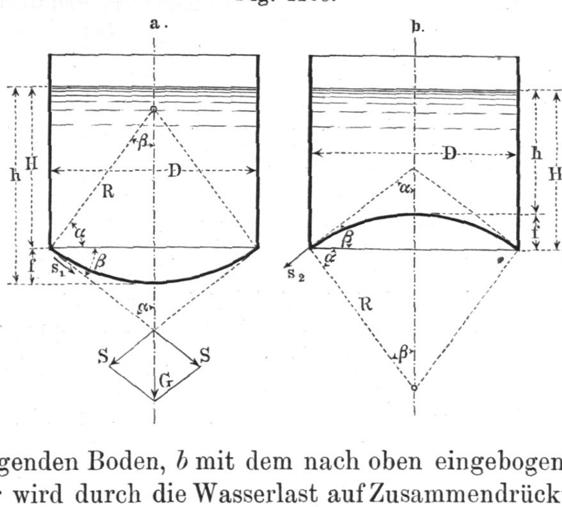
§. 356.

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 ergebnissreichen 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 auf Zusammendrückung 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.