

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.

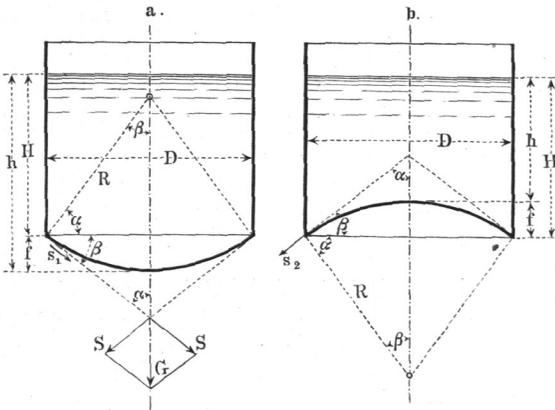
§. 356.

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 beidemale 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 $\gamma[\pi/4 D^2(h - f) + \pi/6 f(3/4 D^2 + f^2)]$ einführend, 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 beidemale 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:

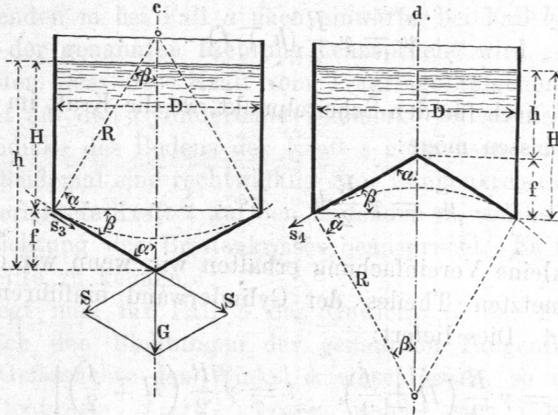
$$\frac{\delta_1}{R} = \frac{h' \sigma}{2000 \mathfrak{S}_1} = \sigma \frac{H + f}{2000 \mathfrak{S}_1} \dots \dots \dots (379)$$

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:

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

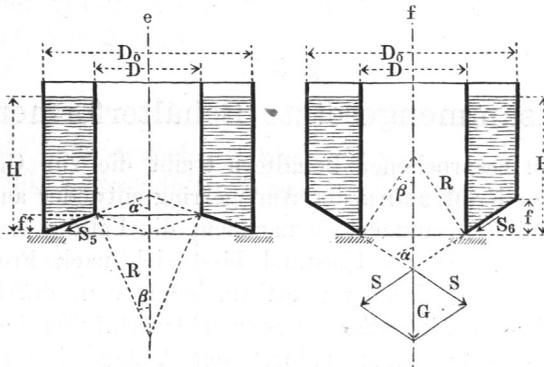
und beim stützenden

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

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:

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

und für den Fall f:

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

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.