

8. Berechnungsbeispiele.

1. Nachrechnung des Zweiflammrohrkessels, Abb. 527, von J. Piedboeuf, Aachen. $D = 2200$ mm Durchmesser, $p = 10$ at Überdruck. Wandstärke der Schüsse $t = 17,5$, der Böden $t_1 = 21$ mm. Nietdurchmesser $d = 22$ mm. (Unnormal, da der Kessel vor der Dinormung ausgeführt wurde.) Maschinennietung.

a) Längsnähte. Dreireihige Doppellasschennietung mit einschnittigen Nieten in der äußersten Reihe, Abb. 528. Feldbreite $e = 287,2$ mm mit je $n_2 = 7$ zweischnittigen und $n_1 = 2$ einschnittigen Nieten. Kraft in einem Felde (110):

$$P_e = \frac{D \cdot p \cdot e}{2} = \frac{220 \cdot 10 \cdot 28,72}{2} \approx 31600 \text{ kg.}$$

Belastung der Niete auf Gleitwiderstand:

$$k_n = \frac{P_e}{(n_1 + 2 \cdot n_2) \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{31600}{(2 + 2 \cdot 7) \cdot 3,80} = 520 \text{ kg/cm}^2. \quad (\text{Zulässig } 700, \text{ nach Bach } 550 \text{ kg/cm}^2.)$$

Beanspruchung des Bleches in der äußersten einschnittigen Nietreihe, unter Abzug des in den Bestimmungen vorgeschriebenen Zuschlages von 0,1 cm, auf P_e kg berechnet:

$$\sigma_z = \frac{P_e}{(e - 2d) \cdot (t - 0,1)} = \frac{31600}{(28,72 - 2 \cdot 2,2) \cdot (1,75 - 0,1)} = 788 \text{ kg/cm}^2.$$

(Bei einer Festigkeit des Bleches von $K_z = 3600$ kg/cm² und $\mathcal{S} = 4$ facher Sicherheit wäre $k_z = \frac{K_z}{\mathcal{S}} = 900$ kg/cm² Spannung zulässig.) Beanspruchung in der zweiten Nietreihe, unter Abzug der von den zwei einschnittigen Nieten der äußersten Reihe aufgenommenen Kraft auf

$$P' = \frac{31600 \cdot 14}{16} = 27650 \text{ kg berechnet:}$$

$$\sigma'_z = \frac{P'}{(e - 3d) \cdot (t - 0,1)} = \frac{27650}{(28,72 - 3 \cdot 2,2) \cdot (1,75 - 0,1)} = 758 \text{ kg/cm}^2,$$

in der inneren Nietreihe mit

$$P'' = \frac{31600 \cdot 8}{16} = 15800 \text{ kg Belastung:}$$

$$\sigma''_z = \frac{P''}{(e - 4d) \cdot (t - 0,1)} = \frac{15800}{(28,72 - 4 \cdot 2,2) \cdot (1,75 - 0,1)} = 481 \text{ kg/cm}^2.$$

Beanspruchung des Kesselschusses an der Ansatzstelle des Domes. Der Schuß von $L = 2006$ mm Länge ist durch den Mannlochausschnitt in einer Breite von $b = 325$ mm und 4 Nietlöcher von je $d = 22$ mm Durchmesser geschwächt.

$$\sigma_z = \frac{D \cdot p \cdot L}{2(L - b - 4d) \cdot (t - 0,1)} = \frac{220 \cdot 10 \cdot 200,6}{2(200,6 - 32,5 - 4 \cdot 2,2)(1,75 - 0,1)} = 840 \text{ kg/cm}^2.$$

Der Schuß ist durch Aufnieten eines ovalen Ringes verstärkt.

b) Quernähte. Zweireihige Überlappungsnietung; $e' = 81$ mm mit je zwei einschnittigen Nieten von $d = 22$ mm Durchmesser. Belastung der Niete:

$$P'_e = \frac{D \cdot p \cdot e'}{4} = \frac{220 \cdot 10 \cdot 8,1}{4} = 4455 \text{ kg.}$$

Beanspruchung auf Gleiten:

$$k_n = \frac{P'_e}{2 \cdot \frac{\pi}{4} d^2} = \frac{4455}{2 \cdot 3,80} = 586 \text{ kg/cm}^2.$$

Zugbeanspruchung im Bleche:

$$\sigma'_z = \frac{P'_e}{(e-d) \cdot (t-0,1)} = \frac{4455}{(8,1-2,2)(1,75-0,1)} = 458 \text{ kg/cm}^2.$$

c) Beanspruchung der gewölbten Böden, als Kugelwandung mit $R = 3000$ mm Halbmesser berechnet (123):

$$\sigma_z = \frac{p \cdot R}{2 \cdot t_1} = \frac{10 \cdot 300}{2 \cdot 2,1} = 715 \text{ kg/cm}^2. \quad (\text{Zulässig } 750 \text{ kg/cm}^2).$$

d) Wellrohr. Rechnungsmäßig beträgt die Wandstärke nach Formel (135)

$$t = \frac{p \cdot d_i}{1200} + 0,2 = \frac{10 \cdot 85}{1200} + 0,2 = 0,91 \text{ cm},$$

die bei eingebauten Feuerrosten um 0,1 cm Zuschlag auf $t = 1,01$ cm erhöht werden müßte. Ausgeführt ist das Flammrohr mit 11 mm Stärke.

2. Berechnung und konstruktive Durchbildung der Vernietung des Dampfdomes, Abb. 529.

$D = 700$ mm Durchmesser, Betriebsdruck $p = 12$ at Überdruck; Höhe des Dommantels 700 mm über Kesseloberkante. Die Festigkeit des verwandten Bleches sei $K_z = 3600$ kg/cm². Maschinennietung.

Nach (111)

$$P_{1 \text{ cm}} = \frac{D \cdot p}{2} = \frac{70 \cdot 12}{2} = 420 \text{ kg}$$

erscheint gemäß Zusammenstellung 76 einreihige Überlappungsnietung ausreichend und zweckmäßig. Mit $\mathcal{S} = 4,5$ facher Sicherheit wird

$$k_z = \frac{K_z}{\mathcal{S}} = \frac{3600}{4,5} = 800 \text{ kg/cm}^2,$$

$$t = \frac{D \cdot p}{2 \cdot \varphi \cdot k_z} + 0,1$$

$$= \frac{70 \cdot 12}{2 \cdot 0,58 \cdot 800} + 0,1 = 1,05 \text{ cm}.$$

Gewählt in Rücksicht auf die Krempe am unteren Rande des Dommantels: $t = 12$ mm.

Nietdurchmesser nach Abb. 469

$$d = 20 \text{ mm}.$$

Teilung $e = 2d + 0,8 = 2 \cdot 2 + 0,8 = 4,8$ cm (113).

$$P_e = \frac{D p \cdot e}{2} = \frac{70 \cdot 12 \cdot 4,8}{2} = 2016 \text{ kg}.$$

Beanspruchung der Niete

$$k_n = \frac{P_e}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{2016}{3,14} = 642 \text{ kg/cm}^2.$$

Beanspruchung des Bleches in der Nietnaht (116):

$$\sigma_z = \frac{P_e}{(t-0,1)(e-d)} = \frac{2016}{(1,2-0,1)(4,8-2)} = 655 \text{ kg/cm}^2.$$

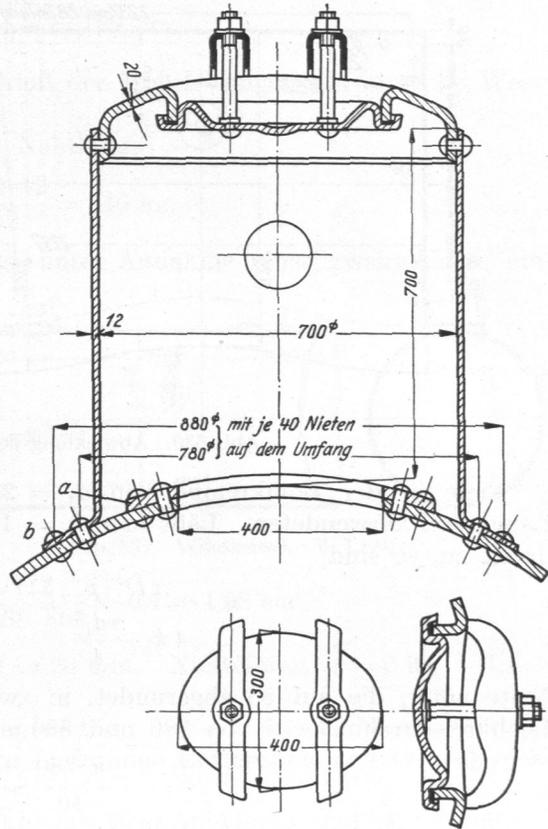


Abb. 529. Dampfdom. M. 1 : 15.

Um die Rundnähte bequem schließen zu können, muß einer der Böden nach innen gewölbt sein, Abb. 531, da sonst ein Mannloch zum Befahren des Kessels wegen des Festhaltens der Setzköpfe beim Einziehen der Niete nötig wäre. Das Nieten müßte zudem von Hand erfolgen. In Rücksicht auf die vorhandene Nietmaschine darf der Abstand der linken Quernaht vom rechten Kesselschlußrand 2000 mm nicht überschreiten; andererseits wird man aber den Durchmesser des Schusses so klein wie möglich nehmen, um den Kessel leicht und billig zu machen, weil sowohl die Stärke der Wandung, wie die der Böden, mit dem Durchmesser zunimmt.

Bei $L_0 = 2000$ mm Schußlänge wäre der Mindestquerschnitt

$$F = \frac{V}{L} = \frac{1200000}{200} = 6000 \text{ cm}^2$$

und der entsprechende Durchmesser 874 mm: Gewählt $D = 900$ mm. $F = 6362 \text{ cm}^2$; lichte Länge des Kessels

$$L = \frac{V}{F} = \frac{1200000}{6362} = 189 \text{ cm.}$$

Ausgeführt $L = 1900$ mm, wobei der Anschluß der Rohrleitungen auf einfache Weise längs des Scheitels des Kessels möglich ist.

Längsnaht. Kraft auf ein Zentimeter Nahtlänge:

$$P_{1\text{cm}} = \frac{D \cdot p}{2} = \frac{90 \cdot 12}{2} = 540 \text{ kg.}$$

Nach Zusammenstellung 76, Seite 279, folgt unter Annahme einer zweireihigen, einschneittigen Überlappungsniertung ein Mittelwert für $\varphi = 0,69$ und bei $\mathcal{S} = 4,5$ facher Sicherheit die zulässige Beanspruchung auf Zug in der Wandung

$$k_z = \frac{K_z}{\mathcal{S}} = \frac{3600}{4,5} = 800 \text{ kg/cm}^2.$$

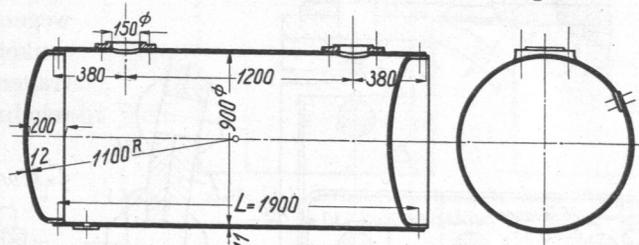


Abb. 531. Windkessel. M. 1 : 40.

Blechstärke:

$$t = \frac{D \cdot p}{2 \cdot \varphi \cdot k_z} + 0,1 = \frac{90 \cdot 12}{2 \cdot 0,69 \cdot 800} + 0,1 = 1,08 \text{ cm.}$$

Gewählt: $t = 11$ mm. Nietdurchmesser $d = 20$ mm. Nietteilung $e = 2,6d + 1,5 = 2,6 \cdot 2 + 1,5 = 6,7$ cm.

Quernaht. Eine einreihige Überlappungsniertung mit $e = 6,7$ cm Nietabstand genügt, da die Grenze der wegen Dichtigkeit zu fordernden Entfernung von $8t$ noch nicht erreicht ist.

Stärke des Kesselbodens bei $k = 650 \text{ kg/cm}^2$ Beanspruchung und $R = 1100$ mm Wölbungshalbmesser, Formel (123)

$$t_1 = \frac{p \cdot R}{2 k_z} = \frac{12 \cdot 110}{2 \cdot 650} = 1,04 \text{ cm.}$$

Gewählt $t_1 = 12$ mm. Die Nachrechnung des nach innen gewölbten Bodens auf Einbeulen liefert nach Formel (125)

$$k_0 = A - B \sqrt{\frac{R}{t_1}} = 2600 - 115 \sqrt{\frac{110}{1,2}} = 1498 \text{ kg/cm}^2,$$

während die Grenze für

$$k_0 = \frac{k}{0,4} = \frac{650}{0,4} = 1625 \text{ kg/cm}^2$$

wäre. Es ist mithin genügende Sicherheit gegen Einbeulen vorhanden.

Der Entwurf des Kessels führt bei $h = 70$ mm zylindrischer Krempehöhe des Bodens, $3d = 60$ mm Überlappung an den Quernähten und 1900 mm Abstand der Quernähte voneinander zu 1930 mm Entfernung der linken Quernaht vom rechten Kesselschlußrande, wofür die Nietmaschine ausreicht.

Teilung der Quernaht aus dem mittleren Umfange des Schusses. Zahl der Niete:

$$n = \frac{\pi(D+t)}{e} = \frac{\pi(90+1,1)}{6,7} = 42,7.$$

Gewählt 42 Niete in je

$$e = \frac{\pi(D+t)}{n} = \frac{\pi(90+1,1)}{42} = 6,81 \text{ cm}$$

Abstand.

Belastung der Niete auf Gleitwiderstand

$$k_n = \frac{D \cdot e \cdot p}{4 \cdot \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{90 \cdot 6,81 \cdot 12}{4 \cdot 3,14} = 585 \text{ kg/cm}^2. \text{ Zulässig.}$$

Beanspruchung des Bleches in der Nietnaht:

$$\sigma_z = \frac{D \cdot e \cdot p}{4(t-0,1) \cdot (e-d)} = \frac{90 \cdot 6,81 \cdot 12}{4(1,1-0,1) \cdot (6,81-2)} = 382 \text{ kg/cm}^2.$$

Nachrechnung der Längsnaht. An dem nach außen gewölbten Boden muß der Abstand des ersten Niets von der Quernaht wegen der Bildung des Kopfes 55, am andern wegen der Wölbung des Bodens trotz Versenkens des Nietkopfes sogar 60 mm betragen, Abb. 532. Damit wird die für die regelmäßige Teilung verfügbare Strecke

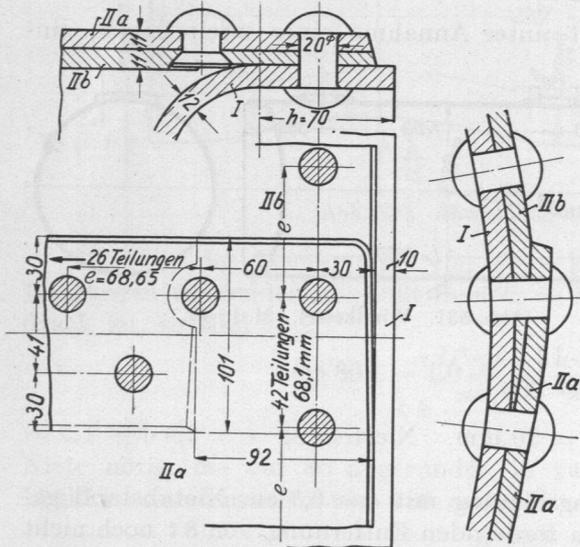


Abb. 532. Dreiplattenstoß am rechten Ende des Windkessels, Abb. 531, M. 1 : 4.

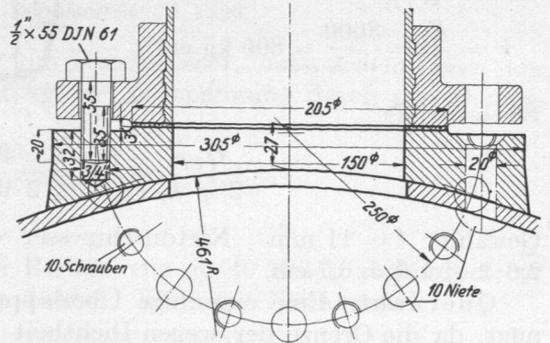


Abb. 533. Rohranschluß am Windkessel, Abb. 531, M. 1 : 10.

der Längsnaht $1900 - 55 - 60 = 1785$ mm, die, in 26 gleiche Teile eingeteilt, zu

$$e = \frac{1785}{26} = 68,65 \text{ mm}$$

führt. Beanspruchung der Niete auf Gleitwiderstand (120):

$$k_n = \frac{D \cdot p \cdot e}{4 \cdot \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{90 \cdot 12 \cdot 6,865}{4 \cdot 3,14} = 590 \text{ kg/cm}^2. \text{ Zulässig.}$$

Zugbeanspruchung des Bleches in der Naht (116):

$$\sigma_z = \frac{D \cdot e \cdot p}{2(t-0,1)(e-d)} = \frac{90 \cdot 6,865 \cdot 12}{2(1,1-0,1) \cdot (6,865-2)} = 762 \text{ kg/cm}^2. \text{ Zulässig.}$$

Die Rohrflansche erhalten nach den Normen der Rohrleitungen für Dampf von hoher Spannung 1912 10 Stück $\frac{3}{4}$ " Schrauben auf einem Lochkreis von 250 mm Durchmesser, Abb. 533. Druck aus dem mittleren Packungsdurchmesser $D_m = 177,5$ mm berechnet:

$$P = \frac{\pi}{4} D_m^2 \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot 17,75^2 \cdot 12 = 2940 \text{ kg.}$$

Gewählt 10 Niete von $d = 20$ mm Durchmesser, zwischen den Schrauben angeordnet. Zugbeanspruchung:

$$\sigma_z = \frac{P}{10 \cdot \frac{\pi}{4} d^2} = \frac{2940}{10 \cdot 3,14} = 93,5 \text{ kg/cm}^2. \quad \text{Zulässig.}$$

C. Dichte Nietverbindungen.

Bei Gas- und Wasserbehältern für geringen Druck brauchen die Nietverbindungen keine größeren Kräfte zu übertragen, müssen dagegen die Bleche so stark aufeinanderpressen, daß die Fugen dauernd dicht bleiben.

1. Berechnung der Wandungen.

Behälter für Luft und Gase sind nach allen Richtungen gleichem Drucke ausgesetzt. In solchen für Flüssigkeiten nimmt der spezifische Druck p mit der Tiefe geradlinig zu. Ist das Raumgewicht γ kg/dm³, so beträgt p in der Tiefe von h Metern, Abb. 534,

$$p = \frac{\gamma \cdot h}{10} \text{ kg/cm}^2. \quad (138)$$

Für Wasser mit $\gamma = 1$ kg/dm³ vereinfacht sich der Ausdruck zu

$$p = \frac{h}{10} \text{ kg/cm}^2. \quad (138a)$$

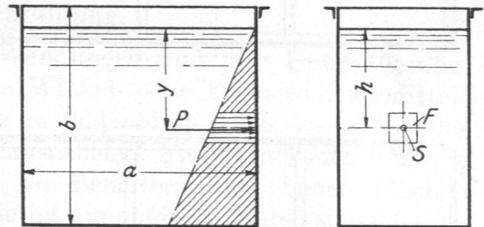


Abb. 534. Druckverteilung in einem Flüssigkeitsbehälter.

Der Druck P auf eine Fläche F in Quadratcentimetern wird

$$P = p \cdot F = \frac{\gamma \cdot h}{10} \cdot F \text{ kg,} \quad (139)$$

p und h sind im Schwerpunkte S der Fläche zu messen. Dagegen liegt der Angriffspunkt dieses Druckes in der Tiefe

$$y = \frac{J}{S}, \quad (140)$$

wenn J das Trägheits-, S das statische Moment der Fläche F in bezug auf die Schnittlinie ihrer Ebene mit dem Flüssigkeitsspiegel bedeutet. Bei tiefen Behältern können die Unterschiede im Druck verschiedene Wandstärken in den oberen und unteren Teilen zweckmäßig erscheinen lassen. Steht die Flüssigkeit in einem geschlossenen Behälter unter dem Druck p_1 kg/cm², so erhöht sich die spezifische Pressung an der Wand überall um p_1 .

In zylindrischen Behältern mit senkrechter Achse sind alle Teile des Umfanges in derselben Tiefe gleichmäßig auf Zug beansprucht; die Blechstärke t kann nach den für Kesselwandungen geltenden Formeln bestimmt werden. Bezeichnet

D den Durchmesser in cm,

p den größten spezifischen Druck, der auf das Blech wirkt, der also an der tiefsten Stelle des betreffenden Schusses zu bestimmen ist, in kg/cm²,

t die Wandstärke in cm,

φ die Schwächungszahl,

k_z die zulässige Beanspruchung auf Zug, in kg/cm²,