

XV. Konstruktionsteile und Berechnung auf Festigkeit.

1. Allgemeines.

Mit Rücksicht auf die große Gefahr, welcher Leben und Eigentum der von einer Kesselexplosion betroffenen Menschen ausgesetzt sind, sind gesetzliche Vorschriften erlassen worden, welche die Anforderungen festlegen, die an die Güte der Baustoffe, die Abmessungen der einzelnen Teile des Kessels, die Ausrüstung, Aufstellung und Prüfung zu stellen sind. Das Reichsgesetz, welches diese Vorschriften für ortsfeste Anlagen enthält, ist auf Grund des § 24 Abs. 2 der Reichsgewerbeordnung am 17. Dezember 1908 unter dem Namen „Allgemeine polizeiliche Bestimmungen über die Anlegung von Landdampfkesseln“ vom Bundesrat erlassen worden.

In diesem Gesetz heißt es in § 2 Abs. 1:

Jeder Dampfkessel muß in bezug auf Baustoff, Ausführung und Ausrüstung den anerkannten Regeln der Wissenschaft und Technik entsprechen. Als solche Regeln gelten bis auf weiteres die in den Anlagen I und II zusammengestellten Grundsätze, welche entsprechend den Bedürfnissen der Praxis und den Ergebnissen der Wissenschaft auf Antrag oder nach Anhörung einer durch die Vereinbarung der verbündeten Regierungen anerkannten Sachverständigenkommission fortgebildet werden.

Die in der Anlage I zusammengestellten „Materialvorschriften für Landdampfkessel“ entsprechen, bis auf einige durch neuere Erkenntnisse bedingte Abänderungen, den bis dahin unter dem Namen „Würzburger Normen 1905“ bekannten „Grundsätzen für die Prüfung von Schweiß- und Flußeisen zum Bau von Dampfkesseln“. Ebenso entsprechen die „Bauvorschriften für Landdampfkessel“, Anlage II, den „Grundsätzen für die Berechnung der Materialdicken neuer Dampfkessel“, bekannt als „Hamburger Normen 1905“ mit der Abänderung, daß nunmehr mit geringerer Sicherheit, d. h. höheren Materialbeanspruchungen gerechnet werden darf.

Unter dem gleichen Datum vom 17. Dezember 1908 sind die „Allgemeinen polizeilichen Bestimmungen über die Anlegung von Schiffsdampfkesseln“ erlassen, mit den Anlagen: I. Materialvorschriften für Schiffsdampfkessel und II. Bauvorschriften für Schiffsdampfkessel.

Im folgenden wird auf Grundlage dieser Vorschriften die Berechnung der Dampfkessel auf Festigkeit behandelt. Teilweise sind die Formeln und Erläuterungen wörtlich abgedruckt.

2. Die Baustoffe.

Als Baustoffe für Dampfkessel kommen Schweißisen, Flußeisen, Stahl und für einzelne Teile Gußeisen und Kupfer in Betracht.

Während früher Schweißisen¹⁾ fast ausschließlich verwendet wurde, wird heute das Flußeisen¹⁾ infolge der Fortschritte in seiner Herstellung bevorzugt.

¹⁾ Schweißisen entsteht, indem Roheisen im Puddelofen durch die Flamme des unmittelbar vor dem Herde verfeuerten Brennstoffes (meist Steinkohle) geschmolzen oder genauer so weit erwärmt wird, daß seine Temperatur den Schmelzpunkt nicht übersteigt. Alsdann wird die teigig gewordene Masse in mühsamer Handarbeit mit eisernen Haken aufgerührt und dadurch mit den Feuergasen und der Luft in Berührung gebracht, wobei deren Sauerstoff die im Roheisen enthaltenen Bestandteile — Kohlenstoff, Phosphor usw. — bis auf einen für das Schmiedeeisen erforderlichen oder zulässigen Gehalt verbrennt. Der Abbrand des Eisens beträgt hierbei etwa 10 bis 15 v. H., bezogen auf den Einsatz an kaltem Roheisen. Das Verfahren dauert $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden. Die den Puddelofen verlassenden Feuergase enthalten noch genügend Wärme, um zur Beheizung von Dampfkesseln benutzt zu werden (S. 245).

Bessemer-Flußeisen. Einen erfolgreichen Versuch, zur Reduzierung der schädlichen Bestandteile Luft durch flüssiges Roheisen zu blasen und damit den oben beschriebenen Prozeß wesentlich abzukürzen, machte zuerst Henry Bessemer in den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts. Heute erfolgt die Herstellung von Bessemer-Flußeisen, indem geschmolzenes Roheisen in einen birnenförmig gestalteten Konverter — die Bessemerbirne — gefüllt und Luft mit Pressung durch den durchlöchernten Boden von unten in das flüssige Eisen geblasen wird. Hierdurch verbrennt der überschüssige Gehalt des Roheisens an Kohlenstoff, Silicium usw. unter gleichzeitiger Steigerung der Temperatur auf etwa 1600° C, so daß das Eisen flüssig gehalten wird, ein besonderer Brennstoff hierfür also nicht mehr nötig ist. Wegen der hohen Temperatur muß die Birne mit einem Futter ausgemauert werden, welches beim Bessemer-Prozeß aus Quarz und Sand besteht und als saures Futter bezeichnet wird.

Dieses Futter ist die Ursache, daß der im Roheisen enthaltene und für Schmiedeeisen gefährliche Phosphor nicht mit verbrennt. (0,1 bis 0,2 v. H. Phosphor genügen schon, um das Material spröde und kaltbrüchig zu machen.) Bessemer-Eisen kann deshalb nur aus Roheisen hergestellt werden, welches aus phosphorfreien Erzen erblasen wurde, die aber in Deutschland sehr selten sind.

Bei einem Abbrand von 10 bis 12 v. H. des Einsatzes dauert der Prozeß nur etwa 20 Minuten. Bessemer-Flußeisen wird für Behälterbleche, Walzeisen und Schienen usw. benutzt; für Kesselbleche ist es in Deutschland nicht zugelassen.

Die Herstellung von Thomas-Flußeisen unterscheidet sich von derjenigen des Bessemer-Flußeisens nur dadurch, daß für die Ausmauerung der Birne ein basisches Futter, gebrannter Dolomit, bestehend aus kohlen-saurem Kalk und kohlen-saurer Magnesia, verwendet wird. Dieses Futter hat die Wirkung, daß auch der Phosphor verbrennt, somit also Roheisen verwendet werden kann, das aus phosphorhaltigen Erzen erblasen wurde. Das Thomas-Verfahren wird in Deutschland seit Ende der siebziger Jahre angewendet.

Siemens-Martin-Flußeisen wird auf dem Herde eines Flammofens mit basischem Futter erzeugt, indem Roheisen und Schmiedeeisenschrot zusammengeschmolzen und dabei Kohlenstoff und Phosphor oxydiert — verbrannt — werden. Da dieser Prozeß langsamer vor sich geht, nämlich 4 bis 6 Stunden für eine Charge gegenüber 20 Minuten bei der Birne erfordert, so kann er genauer beobachtet werden und liefert im allgemeinen ein wertvolleres Erzeugnis. Als Brennstoff dient meist Steinkohlengas

Schweißisen ist wegen seiner Zähigkeit für Börtelungen und Krimpungen beliebt; ein Nachteil ist die Möglichkeit, daß Schlackeneinschlüsse vorhanden sind. Flußeisen erfordert vorsichtiger Behandlung beim Schweißen und bei solchen Arbeiten, welche ein späteres Ausglühen erfordern.

Für die Herstellung von Flußeisen, das heute ausschließlich für Kesselbaustoffe und auch als Nieteisen Verwendung findet, kommen zwei Verfahren in Betracht:

a) Herstellung im Flammofen durch Zusammenschmelzen von Roheisen und Schmiedeeisen.

Siemens - Martin - Flußeisen.

b) Herstellung in der mit basischem Futter ausgekleideten Bessemerbirne.

Thomas - Flußeisen.

Allgemein nennt man Bleche, die weniger als 5 mm dick sind, Feinbleche, solche, die 5 mm und darüber dick sind, Grobbleche. Im Kesselbau werden Bleche unter 9 mm kaum, unter 7 mm keinesfalls, verwendet.

A. Bleche.

Die Bleche werden mit einem Stempel des Werkes, welches sie herstellte, und mit einem Stempel, welcher ihre Herstellungsart und Verwendbarkeit bezeichnet, versehen.

Man unterscheidet:

bei Schweißisen:

		Geringste Zugfestigkeit kg/qmm	Geringste Dehnung v. H.
Feuerblech (SI)	Längsfaser	36	20
	Querfaser	34	15
Börtelblech (SII)	Längsfaser	35	15
	Querfaser	33	12

Die Zugfestigkeit darf bei keinem Blech 40 kg/qmm überschreiten

bei Flußeisen:

Flammofenflußeisen (Siemens-Martin-Flußeisen) (FI), sofern $K_z \leq 41$ kg/qmm

„ (FII), „ $K_z > 41$ „

Thomasisen (Birnenmaterial) (TII), „ $K_z \leq 41$ „

„ (TIII), „ $K > 41$ „

ist. Flußeisen weicher Qualität darf keine geringere Zugfestigkeit als $K_z = 34$ kg/qmm besitzen, während die harten Bleche in der Regel keine höhere Zugfestigkeit als $K_z = 51$ kg/qmm haben sollen.

In bezug auf die Mindestdehnung ist folgende Zahlentafel maßgebend:

Zahlentafel Nr. 62.

Festigkeit . . . kg/qmm	51—46	45	44	43	42	41—37	36	35	34
Geringste Dehnung v. H.	20	21	22	23	24	25	26	27	28

Es kommen drei Blechsarten zur Anwendung, und zwar:

Blechsorte I mit 34 bis 41 kg/qmm (Berechnungsfestigkeit 36 kg/qmm)
 „ II „ 40 „ 47 „ („ „ 40 „)
 „ III „ 44 „ 51 „ („ „ 44 „)

(Generatorgas), welches mit möglichst geringem Luftüberschuß, also mit hoher Temperatur über dem Herd verbrennt. Die von dem Ofen abziehenden heißen Verbrennungsgase werden durch Kammern (Regeneratoren) geleitet und dienen hier zur Vorwärmung des Gases und der Verbrennungsluft; sie erfahren dabei eine solche Abkühlung, daß sie zur Beheizung von Kesseln nicht mehr nutzbar gemacht werden können. Der Abbrand des Eisens beträgt etwa 6 bis 8 v. H. vom Einsatzgewicht.

Die Werte für Festigkeit und Dehnung sowie die sonstigen Eigenschaften der Bleche sind durch die in den Materialvorschriften geforderten Prüfungen nachzuweisen, über welche entweder Sachverständigenbescheinigungen oder in besonders zugelassenen Fällen Werksbescheinigungen vorzulegen sind.

Verwendbarkeit der Bleche.

a) In bezug auf Schweißisen:

Die Teile der Kesselwandung, welche im ersten Feuerzuge liegen, sind aus Feuerblech zu fertigen. Zu allen anderen Kesselteilen kann Börtelblech verwendet werden.

b) In bezug auf Flußeisen:

Für diejenigen Teile des Kessels, welche gebörtelt werden oder im ersten Feuerzuge liegen, dürfen nur Bleche der „I. Sorte“ verwendet werden. Für Teile, die nicht gebörtelt werden, oder nicht im ersten Feuerzuge liegen, können Bleche der Sorte II oder III verwendet werden. Da nach den bisher vorliegenden Erfahrungen das weiche Material zu verlässiger erscheint als das harte, so wird empfohlen¹⁾, auch für diese Teile die weicheren Bleche „Sorte I“ zu wählen und es sind deshalb die folgenden Zahlentafeln Nr. 71 bis 79 für diese Blechsorte berechnet worden.

Die Bestimmungen über Schiffsdampfkessel enthalten folgende Abweichungen von dem vorstehenden Auszuge:

Die Flußeisenbleche haben nur die Bezeichnungen (F) und (T) zu tragen.

In besonderen Fällen darf ausnahmsweise für Bleche, die gebörtelt werden oder im ersten Feuerzuge liegen, eine Festigkeit bis zu 47 kg/qmm, für gebörtelte Bleche, die nicht von Heizgasen bestrichen werden, eine Festigkeit bis zu 51 kg/qmm, und für Bleche, die nicht im ersten Feuerzuge liegen, eine höhere Festigkeit als 51 kg/qmm, jedoch mit mindestens 20 v. H. Dehnung, zugelassen werden.

B. Niete.

Material: Schweißisen:

$K_z = 35$ bis 40 kg/qmm, geringste Dehnung 20 v. H. Flußeisen:

$K_z = 34$ bis 41 kg/qmm, geringste Dehnung 25 v. H. Die Gütezahl (Summe der Ziffern von K_z und der Dehnung) soll mindestens 62 betragen.

Für Bleche mit $K_z > 41$ kg/qmm darf das Nietmaterial bis zu 47 kg/qmm Zugfestigkeit haben, wenn die Dehnung mindestens die gleiche wie in der Zahlentafel für Bleche ist.

Für Anker und Stehbolzen gelten entsprechend dieselben Zahlenwerte.

C. Wasserrohre.

Die Wanddicke der Wasserrohre ist nach den Mindestwerten folgender Zahlentafel zu bemessen:

Zahlentafel Nr. 63.

Außerer Durchmesser mm	Geschweißte Rohre aus Schweißisen oder Flußeisen		Nahtlose Rohre aus Flußeisen mm
	mm		
bis 30	3,00	1,80	
über 30 „ 50	3,00	2,00	
„ 50 „ 57	3,00	2,50	
„ 57 „ 60	3,00	2,75	
„ 60 „ 83	3,00	3,00	
„ 83 „ 102	3,25	3,25	
„ 102 „ 121	3,75	3,75	
„ 121 „ 140	4,00	4,00	
„ 140 „ 191	4,50	4,50	
„ 191 „ 216	5,50	5,50	

¹⁾ Siehe Jäger, S. 135 u. 148.

D. Kupfer.

Für kupferne Dampfleitungen ist eine Materialbeanspruchung von höchstens $\frac{1}{10}$ der Zugfestigkeit zulässig. Die letztere kann bei Temperaturen bis 120°C , wenn größere Festigkeit nicht nachgewiesen wird, zu 22 kg/qmm angenommen werden. Bei höherer Temperatur ist die Zugfestigkeit für je 20°C um 1 kg/qmm niedriger zu wählen.

Gegenüber überhitztem Wasserdampf von 250°C und mehr ist die Verwendung von Kupfer zu vermeiden.

3. Zylindrische Kesselmäntel.

A. Bezeichnungen.

- K_z = Zugfestigkeit in kg/qcm .
 K_s = Schubfestigkeit in kg/qcm .
 σ_z = Zugspannung bei beliebiger Belastung in kg/qcm .
 σ_s = Schubspannung bei beliebiger Belastung in kg/qcm .
 σ_b = Biegungsspannung bei beliebiger Belastung in kg/qcm .
 σ_n = Belastung von 1 qcm Nietquerschnitt, als Gleitwiderstand oder als Schubspannung angesehen.
 k_z = zulässige Zugbeanspruchung in kg/qcm .
 k_s = „ Schubbeanspruchung in kg/qcm .
 k_b = „ Biegungsbeanspruchung in kg/qcm .
 k_n = zulässiger Gleitwiderstand auf 1 qcm Nietquerschnitt.
 $\ominus = \frac{K_z}{k_z}$ = Sicherheitsfaktor.
 φ = Festigkeitsverhältnis
 $= \frac{\sigma_z \text{ im vollen Blech}}{\sigma_z \text{ in der Niet- oder Schweißnaht}}$
 D = lichter Durchmesser in cm .
 p = höchster Betriebsüberdruck in kg/qcm .
 s = Blechstärke in cm bzw. mm .
 d = Nietlochdurchmesser in cm bzw. mm .
 q = Nietquerschnitt in qcm .
 n = Zahl der tragenden Nietquerschnitte.

B. Beanspruchungen zylindrischer Kesselwandungen mit innerem Überdruck.

Der innere Druck beansprucht nur die Zugfestigkeit eines Rohres, und zwar:

a) In einem Querschnitt $I-I$ senkrecht zur Rohrachse (Fig. 367).

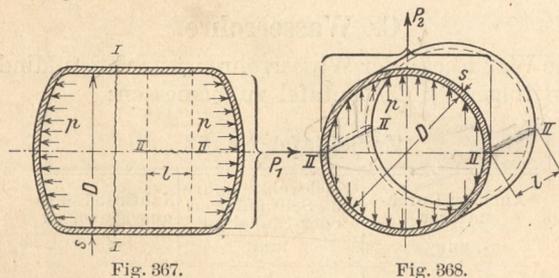


Fig. 367.

Auf diesen Querschnitt wirkt eine vom Dampfdruck p herrührende Zugkraft von der Größe

$$P_1 = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p.$$

Die in der Querschnittsfläche des Bleches von der annähernden Größe $\pi D s$ auftretende Widerstandskraft ist

$$W_1 = \pi D s \sigma_z.$$

Aus der Gleichgewichtsbedingung $W_1 = P_1$ ergibt sich die Spannung im Bleche zu

$$\sigma_z = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p \cdot \frac{1}{\pi D s} = \frac{D p}{4 \cdot s}.$$

b) In einem Querschnitt $II-II$ parallel zur Rohrachse (Fig. 368).

Um den Einfluß der Böden auszuschalten, denkt man sich ein Stück von der Länge l aus dem Rohr herausgeschnitten. Auf die beiden so erhaltenen Blechquerschnitte wirkt die Zugkraft

$$P_2 = D \cdot l \cdot p;$$

die im Blech auftretende Widerstandskraft ist

$$W_2 = 2 l s \sigma_z,$$

woraus sich

$$\sigma_z = \frac{D l p}{2 l s} = \frac{D p}{2 s} \text{ berechnet.}$$

Man erkennt, daß die Spannung im Querschnitt $I-I$ nur halb so groß ist wie im Querschnitt $II-II$. Für die Bemessung der Blechstärke ist also nur die letztere maßgebend, welche man aus der letzten Gleichung mit

$$s = \frac{p D}{2 \sigma_z}$$

erhält.

Anstatt mit einer gewählten zulässigen Beanspruchung k_z zu rechnen, wie sonst bei Festigkeitsrechnungen üblich ist, legt man bei der Berechnung der Blechstärken die Zugfestigkeit K_z und den Sicherheitsgrad \ominus zugrunde. Ferner ist zu beachten, daß die größte Spannung nicht im vollen Blech, sondern in der durch die Nietlöcher geschwächten Nietnaht auftritt, was man durch den Faktor φ berücksichtigt. Schließlich gibt man einen gesetzlich vorgeschriebenen Zuschlag von $0,1\text{ cm}$, um dem Angriff durch Anfrassungen und Rost Rechnung zu tragen. Danach ist die Blechstärke

$$s = \frac{D p \ominus}{2 \varphi K_z} + 0,1 \text{ cm.} \quad (76)$$

Für nahtlos gewalzte Kesselschüsse ist $\varphi = 1$, für überlappt geschweißte Nähte kann $\varphi = 0,7$ gesetzt werden, jedoch kann den gesetzlichen Bestimmungen entsprechend in besonderen Fällen verlangt werden, daß die Schweißung durch aufgenietete Laschen gesichert wird. Für die Nietnähte werden die Werte von φ im nächsten Abschnitt ermittelt. Ferner sind zu wählen:

- $K_z = 3300\text{ kg/qcm}$ bei Schweißeisen,
 $K_z = 3600, 4000, 4400\text{ kg/qcm}$ bei Flußeisen (s. S. 263).

Bei Schiffsdampfkesseln: $K_z = 3600$ bei Flußeisen von 3400 bis 4100 kg/qcm Zugfestigkeit und, sofern Flußeisen von höherer Festigkeit als 4100 kg/qcm benutzt werden soll, die vom Erbauer anzugebende und in die Kesselzeichnung oder Beschreibung einzutragende Mindestfestigkeit.

Der Sicherheitsfaktor \ominus ist wie folgt in Rechnung zu setzen:

- $\ominus = 4,75$ bei überlappten oder einseitig gelaschten, handgenieteten Nähten,
 $\ominus = 4,5$ bei überlappten oder einseitig gelaschten, maschinengenieteten Nähten und bei geschweißten Nähten,
 $\ominus = 4,35$ bei zweireihigen, doppelt gelaschten, handgenieteten Nähten, deren eine Lasche nur einreihig genietet ist,

$\zeta = 4,25$ bei doppelt gelaschten, handgenieteten Nähten,

$\zeta = 4,1$ bei zweireihigen, doppelt gelaschten, maschinengenieteten Nähten, deren eine Lasche nur einreihig genietet ist,

$\zeta = 4$ bei doppelt gelaschten maschinengenieteten Nähten.

Die Werte $\zeta = 4,25$ und $\zeta = 4$ können auch dann in die Rechnung eingeführt werden, wenn bei drei- und mehrreihigen Doppellaschenmietungen die eine Lasche eine Nietreihe weniger besitzt als die andere, z. B. Fig. 385.

Die Blechdicke soll nicht geringer genommen werden als 7 mm; nur bei kleinen Kesseln sind allenfalls dünnere Bleche zulässig.

Die Zugbeanspruchung des Bleches darf unter Annahme gleichmäßiger Spannungsverteilung über den Querschnitt in keiner Nietreihe die Grenze $k_z = \frac{K_z}{\zeta}$ überschreiten.

Für Schiffskessel gilt besonders:

Überschreitet die Plattendicke 12,5 mm, so sind die Rundnähte doppelt und bei 25,0 mm und darüber die mittleren Rundnähte dreifach zu nieten.

Sind in den Mantelblechen Stehbolzen angeordnet, so ist darauf zu achten, daß die Festigkeit des Bleches in den Stehbolzenreihen nicht geringer wird als diejenige in der Längsnietung des Kesselmantels.

Die Dicke jeder Doppellasche sei $s_1 \geq \frac{3}{4} s$; die Dicke der einfachen Laschen sei $s_1 \geq s + 3$ mm.

Der Nietdurchmesser darf nicht größer als $2s$ und nicht kleiner als s sein.

Überschreitet die Nietteilung achtmal Mantel- oder Laschenbreite, so müssen die Laschenränder zickzackförmig ausgeschnitten werden, um ein zuverlässiges Verstemmen zu ermöglichen.

C. Die Nietverbindungen.

Man unterscheidet am Niet den Setzkopf, den Nietschaft und den Schließkopf. Die Form des Nietes ist im allgemeinen die in Fig. 369 dargestellte.

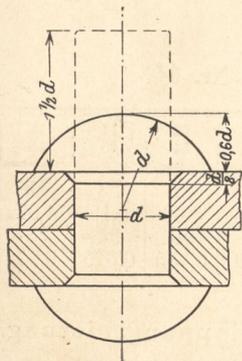


Fig. 369.

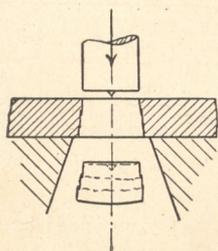


Fig. 370.

Dampfkesselniete werden nur warm (hellrot) vernietet. Damit der warme Niet in das Loch hineingeht, nimmt man den Schaft im Durchmesser um 1 bis 1,5 mm, in der Regel um 1 mm kleiner als das Loch.

Bei der Berechnung der Vernietungen wird stets der fertige Nietdurchmesser, d. h. der Lochdurchmesser in Rechnung gesetzt, in der Voraussetzung, daß durch die Stauchung des Nietschaftes die genau aufeinander passenden Löcher der zu nietenden Teile vollständig ausgefüllt werden.

Die Löcher können durch Stanzen oder durch Bohren hergestellt werden. Beim Stanzen ist der Vorgang etwa folgender: Unter dem Stempel (Fig. 370) wird zunächst das Material des Bleches etwas zusammengedrückt, bis in einer Zylindermantelfläche die Molekularkräfte über-

wunden sind. Der Druck pflanzt sich jedoch nicht genau senkrecht nach unten fort, sondern breitet sich zugleich seitwärts aus; deshalb wird das Loch nicht genau zylindrisch, sondern etwas kegelförmig und das Blech am Lochrande etwas nach unten durchgedrückt, was das glatte Aufeinanderlegen gelochter Blechränder und somit das spätere Dichthalten der Nähte im Betriebe sehr erschwert. Ferner wird das Blech in der Umgebung des Loches durch Überanstrengung und feine Haarrisse verschlechtert. Aus obigen Gründen sollten Löcher für Dampfkesselnietungen nur durch Bohren hergestellt werden.

Nach den „Bauvorschriften“ ist zwar das Lochen bei Blechen mit geringerer Zugfestigkeit als $K_z = 4100$ kg/qcm und bei geringerer Dicke als $s = 27$ mm noch zugelassen, wobei die Werte ζ einen Zuschlag von 0,25 erhalten müssen, welcher auf 0,1 ermäßigt werden kann, wenn die gestanzten Löcher mindestens um $\frac{1}{4}$ des Durchmessers aufgebohrt werden. In ersten Werkstätten werden die Nietlöcher jedoch ohne Ausnahme gebohrt.

Man unterscheidet, je nachdem das Abscheren des Nietes in einem Querschnitte oder in zwei erfolgen würde, einschnittige Nietverbindungen oder Überlappungs- und einfache Laschenmietungen und zweischnittige Nietverbindungen oder Doppellaschenmietungen;

in beiden Fällen hat man ein- und mehrreihige Verbindungen.

a) Beanspruchungen des Nietes und der Nietverbindung.

In dem durch Fig. 371 veranschaulichten einfachsten Falle einer einreihigen Überlappungsnietung erkennt man, wenn von der Reibung abgesehen und auch die Biegung vernachlässigt wird, folgende Beanspruchungen:

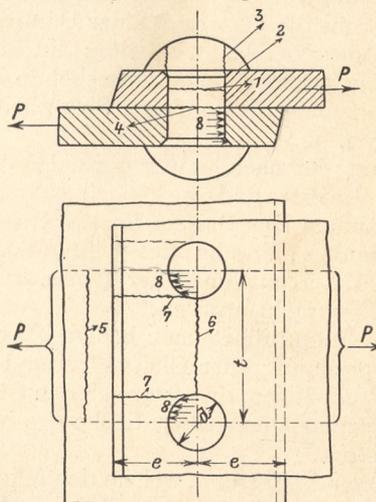


Fig. 371.

1. Beanspruchung des Nietes auf Zug im Querschnitt des Schaftes infolge der Zusammenziehung beim Erkalten.
2. Beanspruchung auf Druck in der ringförmigen Auflagerfläche des Kopfes.
3. Beanspruchung auf Abscheren in einer zylindermantelförmigen Fläche des Kopfes.
4. Beanspruchung auf Abscheren des Schaftes in der Berührungsfläche beider Bleche

$$\sigma_s = \frac{P}{\pi d^2} \cdot \frac{4}{4}$$

5. Beanspruchung des vollen Bleches auf Zug

$$\sigma_z = \frac{P}{t \cdot s}$$

6. Beanspruchung des Bleches auf Zug in der Nietnaht

$$\sigma_z = \frac{P}{(t - d) s}$$

7. Beanspruchung des Bleches auf Abscheren in zwei Querschnitten hinter dem Niet

$$\sigma_s = \frac{P}{2 s \cdot e}$$

In Wirklichkeit wird hier jedoch nicht ein Abscheren in zwei Querschnitten, sondern ein Aufreißen in einem Querschnitt infolge von Biegungsspannungen auftreten.

8. Beanspruchung auf Druck zwischen Nietschaft und Lochwand, Leibungsdruck

$$\sigma = \frac{P}{d \cdot s}$$

Vorstehend aufgeführte Beanspruchungen sind maßgebend für die Abmessungen und Formen der Nietverbindungen. Die Beanspruchungen 2 und 3 bestimmen Form und Größe des Nietkopfes, wobei noch berücksichtigt ist, daß der Rand des Kopfes sich unter einem kleineren Winkel als 90° auf das Blech aufsetzt, damit er verstemmt werden kann. 6 ist in Gl. (76) (S. 264) berücksichtigt, 5 kommt nicht in Betracht, weil kleiner als 6.

Das Auftreten der Beanspruchungen 4 und 8 setzt dagegen voraus, daß sich die Bleche gegeneinander frei verschieben können. Dies ist jedoch nicht der Fall, im Gegenteil beruht die Festigkeit einer Dampfkesselnietung darauf, daß der Niet beim Erkalten die Bleche so stark gegeneinander zieht, daß die entstehende Reibung groß genug ist, mit mehr als doppelter Sicherheit die Kraft *P* zu übertragen.

Es kommt demnach, unter normalen Verhältnissen, weder ein Leibungsdruck noch eine Schubspannung zustande. Der Beweis für die Richtigkeit dieser Theorie ist in den „Maschinenelementen von C. v. Bach, 10. Aufl. 1907“ in ausführlicher Weise, durch Versuche unterstützt, gebracht worden.

Die Berechnung führt nach beiden Theorien, ob man Schubbeanspruchung oder Gleitwiderstand annimmt, zu denselben Ergebnissen, da man auch den Gleitwiderstand im Verhältnis zur Querschnittsfläche des Nietschaftes in Rechnung stellt.

Nach dieser Auffassung, welche den folgenden Berechnungen zugrunde gelegt ist, ergibt sich der Nietdurchmesser aus der Bedingung, daß der in Rechnung zu stellende Gleitwiderstand auf 1 qcm Nietquerschnitt, *k_n*, eine bestimmte Größe nicht überschreiten soll. Bei zweischnittigen Nietverbindungen rechnet man auf jeden Niet zwei tragende Querschnitte, weil der Gleitwiderstand in zwei Flächenpaaren auftritt.

Nach den „Bauvorschriften“ ist *k_n* = 700 kg/qcm, wenn das Nieteisen keine höhere Zugfestigkeit als *K_z* = 3800 kg/qcm hat; ist jedoch für dasselbe eine höhere Zugfestigkeit *K'_z* nachgewiesen, so darf der mit *k_n* = 700 kg/qcm berechnete Nietdurchmesser mit $\sqrt{\frac{3800}{K'_z}}$ multipliziert werden. In den nachstehenden Berechnungsangaben folgen wir den Vorschlägen von Bach,

welcher mit Rücksicht auf den Umstand, daß bei mehrreihigen Vernietungen die Nietquerschnitte nicht gleichmäßig belastet werden — die äußeren mehr, die inneren weniger —, empfiehlt, den Wert *k_n* für die

einreihige Überlappungs-nietung auf höchstens 700 kg/qcm	
zweireihige	650
dreireihige	600
einreihige Laschennietung	600
zweireihige	575
dreireihige	550

zu ermäßigen.

b) Die Vernietungsarten.

Es folgen nun die einzelnen Vernietungen mit Angabe der Bachschen Formeln, jedoch sind die berechneten Nietlochdurchmesser in den Zahlentafeln so abgestuft, daß sich ungerade Zahlen für dieselben ergeben. Dadurch verringert sich für die Werkstatt die Zahl der auf Lager zu haltenden Nietsorten, deren Durchmesser infolgedessen nur nach geraden Zahlen abgestuft sind.

Überlappungs-nietungen.

$$d = \sqrt{5s} - 0,4 \text{ cm}, \tag{77}$$

$$e = 1,5 d,$$

$$\varphi = \frac{t - d}{t}$$

α) Einreihige Überlappungs-nietung.

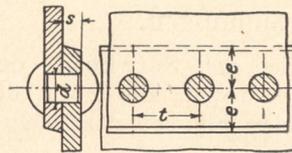


Fig. 372.

$$t = 2d + 0,8 \text{ cm}, \tag{78}$$

$$k_n = 700 \text{ kg/qcm},$$

$$n = 1.$$

Zahlentafel Nr. 64.

s { von . . mm bis . . mm	7	8	10	12	14	16	18
	8	10	12	14	16	18	20
d . . . mm	15	17	19	21	23	25	27
q . . . qcm	1,77	2,27	2,84	3,46	4,15	4,91	5,73
t . . . mm	38	42	46	50	54	58	62
φ	0,61	0,595	0,59	0,585	0,575	0,57	0,565

β) Zweireihige Überlappungs-nietung.

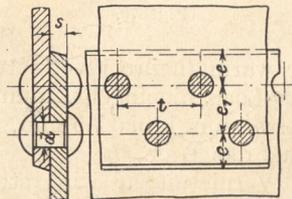


Fig. 373.

$$t = 2,6d + 1,5 \text{ cm}, \tag{79}$$

$$e_1 = 0,6 t,$$

$$k_n = 650 \text{ kg/qcm},$$

$$n = 2.$$

Zahlentafel Nr. 65.

s { von mm bis mm	8	10	12	14	16	18	20	23	26
	10	12	14	16	18	20	23	26	26
d . . mm	17	19	21	23	25	27	29	31	
q . . qcm	2,27	2,84	3,46	4,15	4,91	5,73	6,61	7,55	
t . . mm	59	64	70	75	80	85	90	96	
φ	0,712	0,704	0,70	0,693	0,688	0,683	0,678	0,677	

γ) Dreireihige Überlappungsniertung.

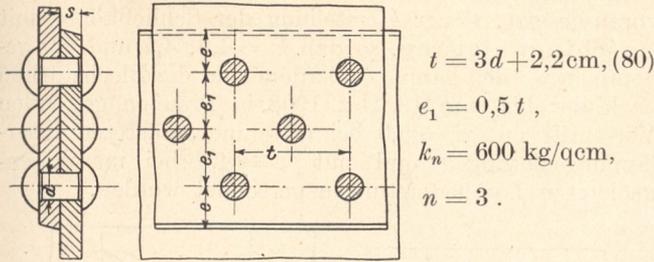


Fig. 374.

$$t = 3d + 2,2 \text{ cm}, (80)$$

$$e_1 = 0,5 t,$$

$$k_n = 600 \text{ kg/qcm},$$

$$n = 3.$$

Zahlentafel Nr. 66.

s { von . mm	16	18	20	23	26	29
{ bis . mm	18	20	23	26	29	32
d . . . mm	25	27	29	31	33	35
q . . . qcm	4,91	5,73	6,61	7,55	8,55	9,6
t . . . mm	97	103	109	115	121	127
φ	0,742	0,736	0,733	0,73	0,728	0,724

Laschennietungen.

$$s_1 = \frac{5}{8} s \text{ bis } 0,8 s, \quad e = 1,5 d.$$

δ) Einreihige Laschennietung.

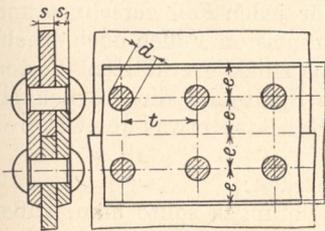


Fig. 375.

$$d = \sqrt{5s} - 0,5 \text{ cm}, (81)$$

$$t = 2,6 d + 1,0 \text{ cm}, (82)$$

$$k_n = 600 \text{ kg/qcm},$$

$$n = 2,$$

$$\varphi = \frac{t - d}{t}.$$

Zahlentafel Nr. 67.

s { von . mm	7	9	11	12	14,5	17	19
{ bis . mm	9	11	12	14,5	17	19	22
d . . . mm	15	17	19	21	23	25	27
q . . . qcm	1,77	2,27	2,84	3,46	4,15	4,91	5,73
t . . . mm	49	54	59	65	70	75	80
φ	0,695	0,686	0,68	0,677	0,67	0,667	0,66

ε) Zweireihige Laschennietung.

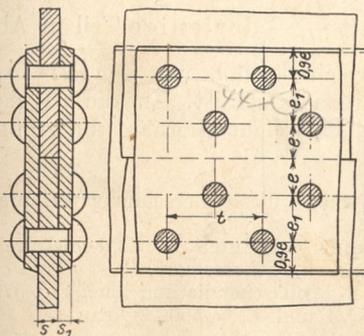


Fig. 376.

$$d = \sqrt{5s} - 0,6 \text{ cm}, (83)$$

$$t = 3,5 d + 1,5 \text{ cm}, (84)$$

$$e_1 = 0,5 t,$$

$$k_n = 575 \text{ kg/qcm},$$

$$n = 4,$$

$$\varphi = \frac{t - d}{t}.$$

Zahlentafel Nr. 68.

s { von . mm	13	15,5	18	20,5	23	26
{ bis . mm	15,5	18	20,5	23	26	29
d . . . mm	21	23	25	27	29	31
q . . . qcm	3,46	4,15	4,91	5,73	6,61	7,55
t . . . mm	88	95	102	109	116	123
φ	0,762	0,758	0,755	0,752	0,75	0,746

ζ) Dreireihige Laschennietung.

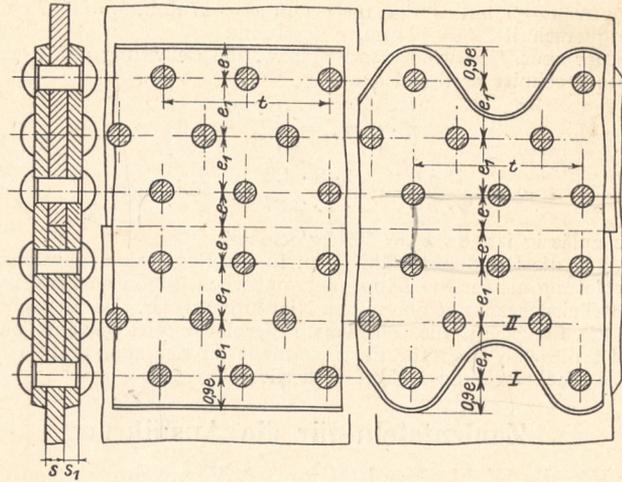


Fig. 377.

$$n = 12,$$

$$\varphi = \frac{t - 2d}{t},$$

Fig. 378.

$$n = 10,$$

$$\varphi_I = \frac{t - d}{t},$$

$$\varphi_{II} = \frac{5}{4} \cdot \frac{t - 2d}{t};$$

$$d = \sqrt{5s} - 0,7, \quad (85)$$

$$t = 6d + 2,0 \text{ cm}, \quad (86)$$

$$e_1 = \frac{3}{8} t,$$

$$k_n = 550 \text{ kg/qcm}.$$

Zahlentafel Nr. 69.

s { von . mm	20	22	24,5	27,5	30	34
{ bis . mm	22	24,5	27,5	30	34	36
d . . . mm	25	27	29	31	33	35
q . . . qcm	4,91	5,73	6,61	7,55	8,55	9,6
t . . . mm	170	182	194	206	218	230
φ (Fig. 377)	0,706	0,704	0,702	0,70	0,698	0,695
φ_{II} (Fig. 378)	0,848	0,844	0,842	0,84	0,838	0,835

Die Berechnung der Nietverbindungen erfolgt nun so, daß man zunächst mittels der Gl. (76) die Blechstärke bestimmt. Zu dem Zweck ist an Hand der Erfahrung oder durch Proberechnungen die Entscheidung über die Art der Nietverbindung zu treffen, von der die Größe des Factors φ abhängt. Man nehme zunächst schätzungsweise einen der Werte φ der Zahlentafel an. Danach werden die Maße für d , t , e , e_1 ermittelt und geprüft, ob der zulässige spez. Gleitwiderstand k_n nicht überschritten ist.

Für φ gilt, wenn auf die Länge t in der betreffenden Reihe ein Niet kommt,

$$\varphi = \frac{\sigma_{zv}}{\sigma_z} = \frac{D p t}{2 s t} \cdot \frac{D p t}{2 s (t - d)} = \frac{t - d}{t}. \quad (87)$$

Beispiel 23. Die Vernietung eines Kesselmantels von $D = 900$ mm Durchmesser für $p = 8$ at Überdruck ist zu berechnen.

Es werde einreihige Überlappungsniertung gewählt und vorläufig $\varphi = 0,57$, $K_z = 3600$ kg/qcm und $\mathcal{C} = 4,5$ angenommen.

Dann ist die Blechstärke

$$s = \frac{D \cdot p \cdot \mathcal{C}}{2 \varphi \cdot K_z} + 0,1 \text{ cm} = \frac{90 \cdot 8 \cdot 4,5}{2 \cdot 0,57 \cdot 3600} + 0,1 = 0,79 + 0,1 = 0,89 \text{ cm}$$

Dafür zunächst angenommen

$$s = 9 \text{ mm}.$$

Da man nun in der Zahlentafel 64 für $s = 9$ mm $\varphi = 0,595$ findet, so war dieser Wert zu gering angenommen. Eine Nachrechnung mit $\varphi = 0,595$ ergibt $s = 8,6$ mm; trotzdem wird man

meistens $s = 9$ mm ausführen, wenn nicht besondere Umstände die äußerste Ausnutzung des Baustoffes bedingen.

Für $s = 9$ mm findet man nun $d = 17$ mm, $q = 2,27$ qcm Nietquerschnitt, $t = 42$ mm, $e = 25$ mm.

Der spez. Gleitwiderstand σ_n bzw. die Belastung auf 1 qcm Nietquerschnitt ergibt sich aus:

$$n \cdot q \cdot \sigma_n = \frac{D \cdot p \cdot t}{2}$$

zu
$$\sigma_n = \frac{D p t}{2 \cdot n q} = \frac{90 \cdot 8 \cdot 4,2}{2 \cdot 1 \cdot 2,27} = 666 \text{ kg/qcm,}$$

was zulässig ist, da $k_n = 700$ kg/qcm ist.

Für die Rundnaht wählt man in der Regel eine schwächere Vernietung als für die Längsnaht, natürlich, schon aus Fabrikationsrücksichten, mit demselben Nietdurchmesser. Da hier schon für die Längsnaht die schwächste Vernietungsart gewählt war, so ist dieselbe auch für die Rundnaht zu nehmen, und es ist keine Nachrechnung mehr erforderlich.

D. Zahlentafeln für die Ausführung.

Für die Wahl einer bestimmten Vernietungsart sowie für die Bemessung von Nietdurchmesser und Teilung ist im allgemeinen maßgebend, daß unter Beachtung der gesetzlichen Anforderungen die Gesamtkosten für Bleche und Niete und für Arbeitslöhne möglichst gering werden.

Nun nimmt zwar, indem man von den schwächeren zu den stärkeren Vernietungsarten, z. B. von der zweireihigen zur dreireihigen Überlappungsnietsung, ansteigt, das Festigkeitsverhältnis φ zu und damit die erforderliche Blechstärke ab, dafür ist aber mehr Material für die Überlappung oder die Laschen aufzuwenden und eine größere Zahl von Nieten zu setzen.

Bleibt man aber bei derselben Vernietungsart und demselben Nietdurchmesser, so ist aus der Gleichung

$$\varphi = \frac{t-d}{t}$$

ersichtlich, daß man mit möglichst großer

Teilung zu geringen Blechdicken gelangt. Das Maximum für t würde sich aus der Forderung ergeben, daß die Beanspruchungen σ_z und σ_n die zulässigen Grenzen k_z und k_n erreichen, ersteres unter Berücksichtigung des Zuschlages von 1 mm zur Blechdicke. Es wäre also mit $s' = s - 0,1$ cm

$$s'(t-d) k_z = n \cdot q \cdot k_n,$$

und somit

$$t = \frac{n \cdot q \cdot k_n}{s' \cdot k_z} + d. \tag{88}$$

Im Beispiel 23 erhalten wir danach

$$t = \frac{1 \cdot 2,27 \cdot 700}{0,8 \cdot 800} + 1,7 \text{ cm} = 4,2 \text{ cm,}$$

welcher Wert mit demjenigen der Zahlentafel übereinstimmt.

Nach diesem Verfahren kann man jedoch im allgemeinen nicht rechnen, da die Rücksicht auf ein gutes Dichthalten der Nähte in der Regel eine engere Teilung erfordert.

Man gelangt aber dadurch zu günstigen Werten von φ , wenn man Nietbilder wählt, in denen die Abstände der einzelnen Niete jeder Reihe von innen nach außen zunehmen. Derartige Nietbilder findet man in mannigfacher Weise bei den Laschennietsungen von Schiffskesseln¹⁾ (Fig. 379 u. 380).

Folgende Zahlentafeln sollen nun in Anlehnung an praktische Ausführungen Werte geben, welche direkt für die Aufzeichnung von Vernietungen für die im Landdampfkesselbau am häufigsten vorkommenden Manteldurchmesser und Dampfdrücke verwendet werden können.

¹⁾ W. Mentz, Schiffskessel. R. Oldenbourg, München; H. Dieckhof, Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1898, S. 880.

Dazu sei allgemein folgendes bemerkt:

Als Material ist Flußeisen mit $K_z = 3600$ kg/qcm vorausgesetzt, ferner Herstellung der Schließköpfe mit Maschinennietsung, so daß $\mathfrak{S} = 4,5, 4,1$ und $4,0$ genommen werden kann. Außerdem sind die Blechstärken nach der bis zum 18. Dez. 1908 in Preußen geltenden Vorschrift mit $\mathfrak{S} = 5,0$ bei maschinengenietseten Überlappungsnietsungen und mit $\mathfrak{S} = 4,5$ bei maschinengenietseten Laschennietsungen gerechnet worden.

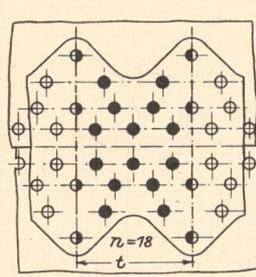


Fig. 379.

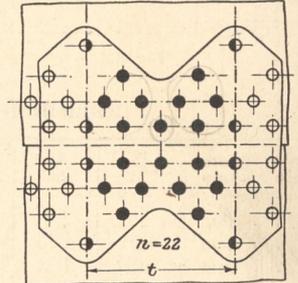


Fig. 380.

Für jeden Manteldurchmesser ist eine weiteste Teilung, die etwa der Bachschen Formel entspricht, und darunter eine engste Teilung verzeichnet; für die Praxis empfiehlt es sich, mit Mittelwerten zu rechnen. Zur Nachprüfung sind die entsprechenden Blech- und Nietbelastungen σ_z und σ_n für jeden Fall gerechnet und es findet sich, daß σ_n in den meisten Fällen noch erheblich unter den von Bach als zulässig erklärten Werten bleibt. In einer besonderen Spalte ist die Möglichkeit berücksichtigt, die engen Schüsse etwas schwächer als die weiten auszuführen.

Im einzelnen ist zu bemerken:

Einreihige Überlappungsnietsungen sollte man, außer bei Dommänteln, für Längsnähte möglichst vermeiden. Neben jedem Vernietungsbild sind zunächst die für dasselbe gültigen Formeln und Berechnungsdaten angegeben sowie die Zahlentafeln für s, d, q und t wiederholt.

Bei den Laschennietsungen gibt man zweckmäßig der inneren Lasche eine Nietreihe mehr als der äußeren.

Bei den Vernietungen, welche in den äußeren Nietreihen einen größeren Abstand der Nietlöcher voneinander als in den inneren Reihen aufweisen, kann zwar die äußere Reihe nicht ohne weiteres als maßgebend für φ angesehen werden, da die nächstinnere eine größere Schwächung erfährt; aber es kann von der diese Naht beanspruchenden Zugkraft $\frac{D p t}{2}$ derjenige Teil in Ab-

zug gebracht werden, welcher schon von den Nieten der äußeren Reihe aufgenommen ist. Auf diese Weise ist zunächst zu untersuchen, welche Nietnaht die größte Beanspruchung erfährt.

Folgendes Beispiel 24 möge dieses Berechnungsverfahren erläutern:

Es ist die Längsnaht eines Kesselmantels von 200 cm Durchmesser und $p = 13$ at Überdruck zu berechnen.

Gewählt sei zweireihige Doppellaschennietsung nach Fig. 376, entsprechend $\varphi = 0,75$, $\mathfrak{S} = 4$ und $K_z = 3600$ kg/qcm.

Dann ist

$$s = \frac{D p \mathfrak{S}}{2 \varphi K_z} + 0,1 \text{ cm} = \frac{200 \cdot 13 \cdot 4}{2 \cdot 0,75 \cdot 3600} + 0,1 = 2,03 \text{ cm.}$$

Dafür gewählt: $s = 20,5$ mm.

Dazu aus der Tabelle Nr. 68 entnommen: $d = 25$ mm, $q = 4,91$ qmm und $t = 102$ mm, $n = 4$.

Demnach beträgt der Gleitwiderstand

$$\sigma_n = \frac{D p t}{2 n q} = \frac{200 \cdot 13 \cdot 10,2}{2 \cdot 4 \cdot 4,91} = 675 \text{ kg/qcm.}$$

Wählen wir nach der Tabelle

$d = 27 \text{ mm}, q = 5,73 \text{ qcm}, t = 109 \text{ mm}, n = 4,$
 so ist $\sigma_n = \frac{200 \cdot 13 \cdot 10,9}{2 \cdot 4 \cdot 5,73} = 615 \text{ kg/qcm}.$

In beiden Fällen ist die Nietbelastung nach den „Bauvorschriften“ noch zulässig, nach Bach jedoch schon zu groß, da für diese Vernietung

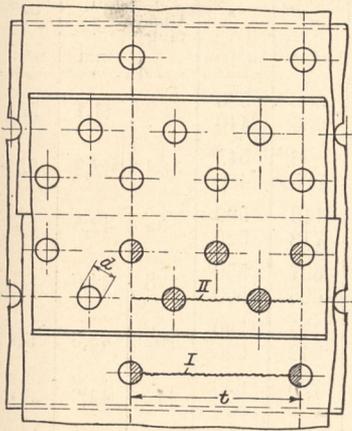


Fig. 381.

$k_n = 575 \text{ kg/qcm}$

ist. Wir wählen daher eine stärkere Vernietung: die Doppelaschennietung mit dreireihiger innerer und zweireihiger äußerer Lasche (Fig. 381).

Man könnte hier zunächst φ bestimmen unter Annahme der gleichmäßig auf alle Nietquerschnitte verteilten Last. Dann erhielte man für die äußere Nietreihe I

$\varphi_I = \frac{t - d}{t},$

für Nietreihe II

$\varphi_{II} = \frac{9}{8} \frac{t - 2d}{t},$

weil von den Nieten der äußeren Reihe schon $\frac{1}{5}$ der gesamten Last aufgenommen wird.

Schärfer rechnet man jedoch mit der Annahme, daß die äußeren Niete (auch als Überlappungsniete gerechnet) mit $k_n = 700 \text{ kg/qcm}$ belastet werden dürfen. Es wird dann durch eine vorläufige Rechnung bestimmt, daß s etwa gleich 19 mm wird, wozu $d = 25 \text{ mm}$ und $t = 168 \text{ mm}$ aus der Zahlentafel Nr. 76 zu entnehmen sind.

Dann erhalten wir genau:

$$s = \frac{\frac{D p t}{2} - 1 \cdot q \cdot k_n}{(t - 2d) \frac{K_z}{\varnothing}} + 0,1 \text{ cm}, \tag{89}$$

$$s = \frac{\frac{200 \cdot 13 \cdot 16,8}{2} - 4,91 \cdot 700}{(16,8 - 2 \cdot 2,5) \cdot \frac{3600}{4}} + 0,1 \text{ cm} = 1,84 \text{ cm},$$

wofür gewählt wird: $s = 18,5 \text{ mm}.$

Wir erhalten also eine um 2 mm geringere Blechdicke, welcher Unterschied bei einem 10 m langen Kessel einem Eisengewichte von $\approx 1000 \text{ kg}$ entspricht. Dagegen braucht man im ersten Falle nur 2 Laschen von je 255 mm Breite; im zweiten eine äußere Lasche von 245 mm und eine innere von 395 mm Breite. Auf 1 m Nahtlänge kommen im ersten Falle 37 , im zweiten 60 Niete, dafür ist aber auch im letzteren eine größere Dichtigkeit der Naht gewährleistet.

Die Blechbelastungen und Festigkeitsverhältnisse ergeben sich für $s = 18,5 \text{ mm}$ wie folgt:

Belastung des vollen Bleches:

$\sigma_{zv} = \frac{D p}{2 s} = \frac{200 \cdot 13}{2 \cdot 1,85} = 703 \text{ kg/qcm};$

Belastung des Bleches in Nietreihe I:

$\sigma_{zI} = \frac{D p t}{2 s (t - d)} = \frac{200 \cdot 13 \cdot 16,8}{2 \cdot 1,85 \cdot (16,8 - 2,5)} = 826 \text{ kg/qcm},$

$\varphi_I = \frac{\sigma_{zv}}{\sigma_{zI}} = \frac{703}{826} = 0,85;$

Belastung des Bleches in Nietreihe II:

$\sigma_{zII} = \frac{\frac{D p t}{2} - 1 \cdot q \cdot k_n}{s (t - 2d)} = \frac{\frac{200 \cdot 13 \cdot 16,8}{2} - 4,91 \cdot 700}{1,85 (16,8 - 5,0)} = 844 \text{ kg/qcm},$

$\varphi_{II} = \frac{\sigma_{zv}}{\sigma_{zII}} = \frac{703}{844} = 0,832.$

Um die Kesselmäntel im Betriebe dauernd dicht halten zu können, sollten Mäntel von mehr als 10 bis 11 m Länge und von 2200 bis 2300 mm Durchmesser aufwärts schon bei 8 at in der Rundnaht $1\frac{1}{2}$ fach besser noch doppelt genietet werden, selbst wenn die Rechnung ergibt, daß man noch mit einfacher Rundnaht auskommt. Aus demselben Grunde sollten alle Kesselmäntel von einschließlich 1600 mm Durchmesser und 9 at aufwärts doppelt genietete Rundnaht erhalten. Die $1\frac{1}{2}$ fache Rundnaht wird von einzelnen Kesselschmiedern selbst bei Drücken bis 12 at und Kesseldurchmessern bis 2300 mm der doppelten Rundnaht vorgezogen, in der Hauptsache wohl, weil die Nietung billiger ist. Besser und richtiger ist es jedoch, statt der $1\frac{1}{2}$ fachen überhaupt doppelte Nietung in der Rundnaht größerer Kesselmäntel und bei Betriebsdrücken von 9 at aufwärts vorzusehen.

Überlappungsnietung.

Zweifache Längsnaht, einfache Rundnaht.

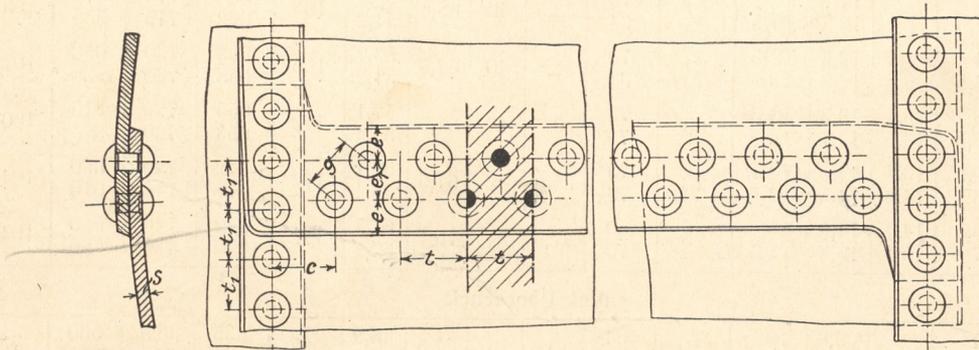


Fig. 382.

Zahlentafel Nr. 70.

s { von mm bis mm	8	10	12	14	16
	10	12	14	16	18
d mm	17	19	21	23	25
q qcm	2,27	2,84	3,46	4,15	4,91
Weite $f t$. . . mm	59	64	70	75	80
Teilung φ . . .	0,712	0,703	0,70	0,693	0,687
Enge $f t$. . . mm	52	58	64	70	75
Teilung φ . . .	0,673	0,672	0,672	0,671	0,671

$K_z = 3600 \text{ kg/qcm},$

$\varnothing = 5, k_z = 720 \text{ kg/qcm},$

$\varnothing = 4,5, k_z = 800 \text{ kg/qcm},$

$k_n = 650 \text{ kg/qcm},$

$n = 2,$

$s = \frac{D p \varnothing}{2 \varphi K_z} + 0,1 \text{ cm},$

$\sigma_z = \frac{D p}{2 s \varphi},$

$\sigma_n = \frac{D p t}{2 n q}.$

Zahlentafel Nr. 71.

Kessel- mantel Durch- messer D mm	Zweifache überlappte Längsnaht															Einfache Rundnaht			
	Blechstärken s						Nietloch		Entfernungen				Über- lap- pung 2e + e ₁ mm	Blechbelastung bei		Niet- be- lastung σ _n kg/qcm	Zahl der Niete im Um- fang	Teil- lung t ₁ mm	Über- lap- pung 2e mm
	bei ε = 5		bei ε = 4,5				Durch- messer d mm	w weite e enge Teilung t mm	e	e ₁	c	g		ε = 5 σ _z kg/qcm	ε = 4,5 σ _z kg/qcm				
	gerechnet	für die Ausfüh- rung	gerechnet	enger Schuß mm	weiter Schuß mm	für die Ausfüh- rung mm													
	enger Schuß mm	weiter Schuß mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg/qcm	kg/qcm	kg/qcm	mm	mm		
1100		8,6	9		7,8	9	17	w 59	27,5	35	52,5	45,8	90	602	602	500	82	41,1	55
		9	9		8,2	9		e 52						43,6	636	636			
1200		9,2	9,5		8,4	9	17	w 59	27,5	35	52,5	45,8	90	622	656	545	88	42,8	55
		9,7	10		8,8	9		e 52						43,6	625	695			
1300		9,9	10		9	9	17	w 59	27,5	35	52,5	45,8	90	640	710	590	96	42,5	55
		10,4	10,5		9,5	9,5		e 52						43,6	645	712			
1400		10,7	11		9,6	10	19	64	30	37	57,5	48,9	97	632	697	550	98	44,9	60
		11,2	11,5		10,1	10,5		58						47,1	635	695			
1500		11,4	11,5		10,4	10,5	19	64	30	37	57,5	48,9	97	650	712	590	104	45,3	60
		11,9	12		10,8	11		58						47,1	652	712			
1600		12,1	12,5		11	11	19	64	30	37	57,5	48,9	97	638	725	630	112	44,9	60
		12,6	13		11,4	11,5		58						47,1	642	725			
1700		12,8	13		11,6	12	21	70	32,5	40	62,5	53,1	105	655	710	600	108	49,5	65
		13,3	13,5		12,1	12,5		64						51,2	656	710			
1800		13,5	13,5		12,3	12,5	21	70	32,5	40	62,5	53,1	105	668	720	640	116	48,8	65
		14,1	14,5		12,8	13		64						51,2	647	723			
1900	14,2	14,4	14,5	12,7	12,9	13	23	75	35	43	67,5	57,1	113	662	739	602	112	53,3	70
	14,6	14,8	15	13,2	13,4	13,5		70						55,4	661	735			
2000	14,9	15,1	15,5	13,4	13,6	14	23	75	35	43	67,5	57,1	113	652	722	635	116	54,2	70
	15,3	15,5	15,5	13,9	14,1	14,5		70						55,4	673	720			
2100	15,6	15,8	16	14,1	14,3	14,5	23	75	35	43	67,5	57,1	113	664	709	600	124	53,3	70
	16	16,2	16,5	14,5	14,7	15		70						55,4	665	730			
2200	16,4	16,6	17	14,7	14,9	15	23	75	35	43	67,5	57,1	113	654	741	630	132	52,3	70
	16,9	17,1	17,5	15,2	15,4	15,5		70						55,4	655	741			

8 at Überdruck

1100		9,6	10		8,8	9	17	59	27,5	35	52,5	45,8	90	620	686	575	82	41,1	55
		10,1	10,5		9,2	9,5		52						43,6	620	690			
1200		10,5	10,5		9,6	10	19	64	30	37	57,5	48,9	97	640	675	540	84	44,9	60
		11	11		10	10		58						47,1	650	715			
1300		11,3	11,5		10,3	10,5	19	64	30	37	57,5	48,9	97	635	695	590	92	44,1	60
		11,8	12		10,7	11		58						47,1	645	705			
1400	11,9	12,1	12,5		11	11	19	64	30	37	57,5	48,9	97	636	725	630	100	44	60
	12,4	12,6	13		11,4	11,5		58						47,1	640	725			
1500	12,7	12,9	13		11,7	12	21	70	32,5	40	62,5	53,1	105	660	715	610	96	49,1	65
	13,2	13,4	13,5		12,2	12,5		64						51,2	662	715			
1600	13,6	13,8	14		12,5	12,5	21	70	32,5	40	62,5	53,1	105	665	730	650	104	48,3	65
	14,1	14,3	14,5		12,9	13		64						51,2	658	730			
1700	14,5	14,7	15	13,1	13,3	13,5	23	75	35	43	67,5	57,1	113	655	725	615	100	53,4	70
	14,9	15,1	15,5	13,5	13,7	14		70						55,4	653	720			
1800	15,2	15,4	15,5	13,8	14	14	23	75	35	43	67,5	57,1	113	672	740	650	104	54,4	70
	15,7	15,9	16	14,3	14,5	14,5		70						55,4	670	740			
1900	16,1	16,4	16,5	14,7	14,9	15	25	80	37,5	47	75	61,7	122	670	740	620	104	57,4	75
	16,6	16,9	17	15,1	15,3	15,5		75						60,1	670	735			

9 at Überdruck

1100		10,8	11		9,8	10	19	64	30	37	57,5	48,9	97	635	695	560	78	44,3	60
		11,2	11,5		10,2	10,5		58						47,1	640	700			
1200		11,7	12		10,7	11	19	64	30	37	57,5	48,9	97	640	700	610	84	44,9	60
		12,2	12,5		11,1	11,5		58						47,1	643	700			
1300	12,4	12,6	13		11,5	11,5	21	70	32,5	40	62,5	53,1	105	645	730	595	84	48,6	65
	12,9	13,1	13,5		11,9	12		64						51,2	645	725			
1400	13,3	13,5	13,5	12,1	12,3	12,5	21	70	32,5	40	62,5	53,1	105	667	720	640	92	47,8	65
	13,9	14,1	14,5	12,6	12,8	13		64						51,2	648	720			
1500	14,3	14,6	15	13	13,2	13,5	23	75	35	43	67,5	57,1	113	650	722	610	88	53,6	70
	14,7	15	15	13,4	13,6	14		70						55,4	670	718			
1600	15,2	15,5	15,5	13,8	14	14	23	75	35	43	67,5	57,1	113	670	745	650	96	52,4	70
	15,6	15,9	16	14,3	14,5	14,5		70						55,4	670	740			

Zahlentafel Nr. 71 (Fortsetzung).

10 at Überdruck

Kessel- mantel Durch- messer <i>D</i> mm	Zweifache überlappte Längsnaht													Einfache Rundnaht					
	Blechstärken <i>s</i>						Nietloch		Entfernungen				Über- lap- pung $2e + e_1$ mm	Blechbelastung bei		Niet- be- lastung σ_n kg/qcm	Zahl der Niete im Um- fang	Teil- lung t_1 mm	Über- lap- pung $2e$ mm
	bei $\mathcal{C} = 5$		bei $\mathcal{C} = 4,5$		Durch- messer <i>d</i> mm	<i>w</i> weite <i>e</i> enge Teilung <i>t</i> mm	<i>e</i> mm	<i>e</i> ₁ mm	<i>c</i> mm	<i>g</i> mm	$\mathcal{C} = 5$ σ_z kg/qcm	$\mathcal{C} = 4,5$ σ_z kg/qcm							
	gerechnet enger Schuß mm	für die Ausfüh- rung weiter Schuß mm	gerechnet enger Schuß mm	für die Ausfüh- rung weiter Schuß mm															
1100	11,9	12	10,8	11	19	64	30	37	57,5	48,9	97	654	711	620	78	44,3	60		
	12,4	12,5	11,3	11,5		58						57,5	47,1					655	711
1200	12,9	13	11,8	12	21	70	32,5	40	62,5	53,1	105	660	714	608	80	47,1	65		
	13,4	13,5	12,2	12,5		64						51,2	670					715	555
1300	13,9	14	12,6	13	23	75	35	43	67,5	57,1	113	668	720	588	76	53,7	70		
	14,4	14,5	13,1	13,5		70						55,4	668					718	550
1400	15	15	13,7	14	23	75	35	43	67,5	57,1	113	675	723	633	84	52,4	70		
	15,5	15,5	14,1	14,5		70						55,4	674					720	590

11 at Überdruck

1100	13	13	11,8	12	21	70	32,5	40	62,5	53,1	105	666	722	613	72	48	65
	13,5	13,5	12,3	12,5		64						51,2	668				
1200	14,1	14,5	12,8	13	23	75	35	43	67,5	52,1	113	658	733	599	72	52,2	70
	14,7	15	13,3	13,5		70						55,4	656				
1300	15,4	15,5	13,9	14	23	75	35	43	67,5	57,1	113	665	738	646	76	53,7	70
	15,8	16	14,3	14,5		70						55,4	667				

12 at Überdruck

1100	14,1	14,5	12,8	13	23	75	35	43	67,5	57,1	113	656	734	597	64	54	70
	14,7	15	13,3	13,5		70						55,4	657				
1200	15,5	15,5	14	14	23	75	35	43	67,5	57,1	113	670	743	650	72	52,2	70
	15,9	16	14,5	14,5		70						55,4	670				

13 at Überdruck

1100	15,3	15,5	13,9	14	23	75	35	43	67,5	57,1	113	465	738	646	64	54	70
	15,8	16	14,4	14,5		70						55,4	665				

Überlappungsnetzung.

Dreifache Längsnaht, einfache bzw. 1½fache Rundnaht.

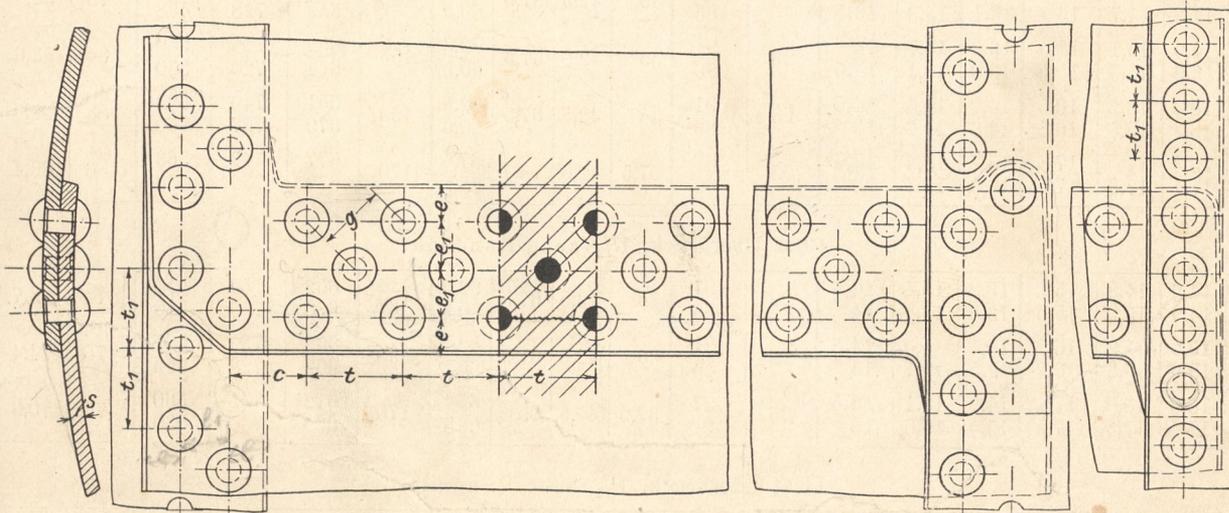


Fig. 383

Zahlentafel Nr. 72.

<i>s</i> von mm	14	16	18	20	23	26
bis mm	16	18	20	23	26	29
<i>d</i> mm	23	25	27	29	31	33
<i>g</i> qmm	4,15	4,91	5,73	6,61	7,55	8,55
Weite } <i>t</i> . . . mm	91	97	103	109	115	121
Teilung } φ . . .	0,755	0,743	0,737	0,734	0,730	0,726
Enge } <i>t</i> . . . mm	86	92	98	104	110	116
Teilung } φ . . .	0,733	0,729	0,725	0,721	0,717	0,715

$K_z = 3600 \text{ kg/qcm,}$

$\mathcal{C} = 5, \quad k_z = 720 \text{ kg/qcm,}$

$\mathcal{C} = 4,5, \quad k_z = 800 \text{ kg/qcm,}$

$k_n = 600 \text{ kg/qcm,}$

$n = 3,$

$s \geq \frac{D p \mathcal{C}}{2 \varphi K_z} + 0,1 \text{ cm,}$

$\sigma_z = \frac{D p}{2 s \varphi},$

$\sigma_n = \frac{D p t}{2 n \cdot q}.$

Zahlentafel Nr. 73.

7 at Überdruck																			
Kessel- mantel Durch- messer <i>D</i> mm	Dreifache überlappte Längsnaht															Einfache Rundnaht			
	Blechstärken <i>s</i>						Nietloch		Entfernungen				Über- lap- pung $2e + e_1$ mm	Blechbelastung bei		Niet- be- lastung σ_n kg/qcm	Zahl der Niete im Um- fang	Teil- lung t_1 mm	Über- lap- pung $2e$ mm
	bei $\xi = 5$			bei $\xi = 4,5$			Durch- messer <i>d</i> mm	w weite e enge Teilung t mm	<i>e</i> mm	e_1 mm	<i>c</i> mm	<i>g</i> mm		$\xi = 5$ σ_z kg/qcm	$\xi = 4,5$ σ_z kg/qcm				
	gerechnet	für die Ausfüh- rung	enger Schuß mm	weiter Schuß mm	gerechnet	für die Ausfüh- rung													
	enger Schuß mm	weiter Schuß mm					enger Schuß mm	weiter Schuß mm											
einfache Rundnaht																			
2300	15,7 16,1	15,9 16,3	16 16,5	14,2 14,6	14,4 14,8	14,5 15	23	91 86	35	42,5	67,5	62,3 60,5	155	667 667	736 732	588 555	132	54,7	70
2400	16,5 16,8	16,7 17	17 17	15 15,3	15,2 15,5	15,5 15,5	25	97 92	37,5	47,5	75	67,1 66,1	170	665 678	730 745	553 524	128	59	75
2500	17,2 17,5	17,4 17,7	17,5 18	15,5 15,8	15,7 16	16 16	25	97 92	37,5	47,5	75	67,1 66,1	170	677 671	740 755	578 549	136	57,8	75
8 at Überdruck																			
2000	15,6 16	15,8 16,2	16 16,5	14,1 14,5	14,3 14,7	14,5 15	23	91 86	35	42,5	67,5	62,3 60,5	155	663 662	731 729	585 554	116	54,2	70
2100	16,5 16,8	16,7 17	17 17	15 15,3	15,2 15,5	15,5 15,5	25	97 92	37,5	47,5	75	67,1 66,1	170	665 678	730 745	553 524	114	57,9	75
2200	17,3 17,6	17,5 17,8	17,5 18	15,6 15,9	16 16,5	16 16,5	25	97 92	37,5	47,5	75	67,1 66,1	170	676 657	740 732	579 549	120	57,6	75
8 at Überdruck, 1 1/2 fache Rundnaht																			
2300	18 18,3	18,2 18,6	18,5 19	16,3 16,8	16,5 16,8	16,5 17	25	97 92	37,5	47,5	75	67,1 66,1	170	670 665	752 743	605 574	104	69,5	122
2400	18,7 19	19 19,3	19 19,5	17 17,3	17,2 17,5	17,5 17,5	27	103 98	40	50	80	71,8 70	180	686 680	745 757	576 548	104	72,5	130
2500	19,5 19,9	19,8 20,2	20 20,5	17,8 18,1	18 18,3	18 18,5	27	103 98	40	50	80	71,8 70	180	678 674	754 745	600 572	108	72,7	130
9 at Überdruck, 1 1/2 fache Rundnaht																			
1600	14,1 14,5	14,3 14,7	14,5 15	12,8 13,1	13 13,3	13 13,5	23	91 86	35	42,5	67,5	62,3 60,5	155	658 655	735 728	527 498	78	64,4	113
1700	14,9 15,3	15,1 15,5	15,5 15,5	13,5 13,9	13,7 14,1	14 14,5	23	91 86	35	42,5	67,5	62,3 60,5	155	655 674	725 720	560 530	84	63,6	113
1800	16 16,3	16,2 16,5	16,5 16,5	14,2 14,6	14,4 14,8	14,5 15	23	91 86	35	42,5	67,5	62,3 60,5	155	651 670	740 737	593 560	88	64,3	113
1900	16,8 17,1	17 17,3	17 17,5	15 15,5	15,2 15,7	15,5 16	25	97 92	37,5	47,5	75	67,1 66,1	170	677 670	742 733	563 533	86	69,4	122
10 at Überdruck, 1 1/2 fache Rundnaht																			
1500	14,6 14,9	14,8 15,2	15 15,5	13,2 13,6	13,4 13,8	13,5 14	23	91 86	35	42,5	67,5	62,3 60,5	155	652 660	736 730	550 520	74	63,7	113
1600	15,5 15,9	15,8 16,2	16 16,5	14,1 14,5	14,3 14,7	14,5 15	23	91 86	35	42,5	67,5	62,3 60,5	155	662 662	732 728	585 553	78	64,4	113
1700	16,6 17	16,9 17,3	17 17,5	14,9 15,4	15,1 15,6	15,5 16	25	97 92	37,5	47,5	75	67,1 66,1	170	672 668	738 730	560 530	76	70,3	122
11 at Überdruck, 1 1/2 fache Rundnaht																			
1400	14,9 15,3	15,2 15,6	15,5 16	13,6 14	13,8 14,2	14 14,5	23	91 86	35	42,5	67,5	62,3 60,5	170	659 656	729 725	563 533	68	64,7	113
1500	15,9 16,4	16,2 16,7	16,5 17	14,4 14,8	14,7 15,1	15 15,5	23	91 86	35	42,5	67,5	62,3 60,5	170	663 662	730 728	603 570	74	63,7	113
12 at Überdruck, 1 1/2 fache Rundnaht																			
1300	15,1 15,5	15,4 15,8	15,5 16	13,6 14	13,9 14,3	14 14,5	23	91 86	35	42,5	67,5	62,3 60,5	155	668 665	740 734	570 539	64	63,8	113
1400	16,4 16,7	16,7 17	17 17	14,6 15	14,9 15,3	15 15,5	25	97 92	37,5	47,5	75	67,1 66,1	170	665 679	754 745	553 524	64	68,7	122

Zahlentafel Nr. 73 (Fortsetzung).

13 at Überdruck

Kessel- mantel Durch- messer <i>D</i> mm	Dreifache überlappte Längsnaht															1 1/2 fache Rundnaht			
	Blechstärken <i>s</i>						Nietloch		Entfernungen				Über- lap- pung $2e + e_1$ mm	Blechbelastung bei		Niet- be- lastung σ_n kg/qcm	Zahl der Niete im Um- fang	Teil- lung t_1 mm	Über- lap- pung $2e$ mm
	bei $\mathcal{C} = 5$		bei $\mathcal{C} = 4,5$		Durch- messer <i>d</i> mm	$\frac{20}{e}$ weite enge Teilung <i>t</i> mm	<i>e</i> mm	e_1 mm	<i>c</i> mm	<i>g</i> mm	$\mathcal{C} = 5$ σ_z kg/qcm	$\mathcal{C} = 4,5$ σ_z kg/qcm							
	gerechnet enger Schuß mm	für die Ausfüh- rung weiter Schuß mm	gerechnet enger Schuß mm	für die Ausfüh- rung weiter Schuß mm															
1200	15,1	15,4	15,5	13,6	13,9	14	23	91	35	42,5	67,5	62,3	155	667	740	571	58	65,0	113
	15,4	15,8	16	14	14,3	14,5		86						86	60,5	665			
1300	16,4	16,8	17	14,7	15	15	25	97	37,5	47,5	75	67,1	170	670	760	556	60	68,1	122
	16,7	17,1	17,5	15,2	15,5	15,5		92						92	66,1	662			

14 at Überdruck

1100	14,8	15,2	15,5	13,5	13,8	14	23	91	35	42,5	67,5	62,3	155	658	730	564	54	64,0	113
	15,2	15,6	16	13,9	14,2	14,5		86						86	60,5	655			
1200	16,3	16,7	17	14,6	14,9	15	25	97	37,5	47,5	75	67,1	170	665	754	553	54	69,8	122
	16,7	17,1	17,5	15,1	15,4	15,5		92						92	66,1	659			

15 at Überdruck

1100	16	16,4	16,5	14,3	14,7	15	23	91	35	42,5	67,5	67,1	155	664	730	603	54	64,0	113
	16,3	16,7	17	14,7	15,1	15,5		86						86	66,1	662			

Doppelaschennietung.

Zweireihige Längsnaht, 1 1/2 fache Rundnaht.

BIBLIOTHEK DER
TECHN. HOCHSCHULE
G R A Z.

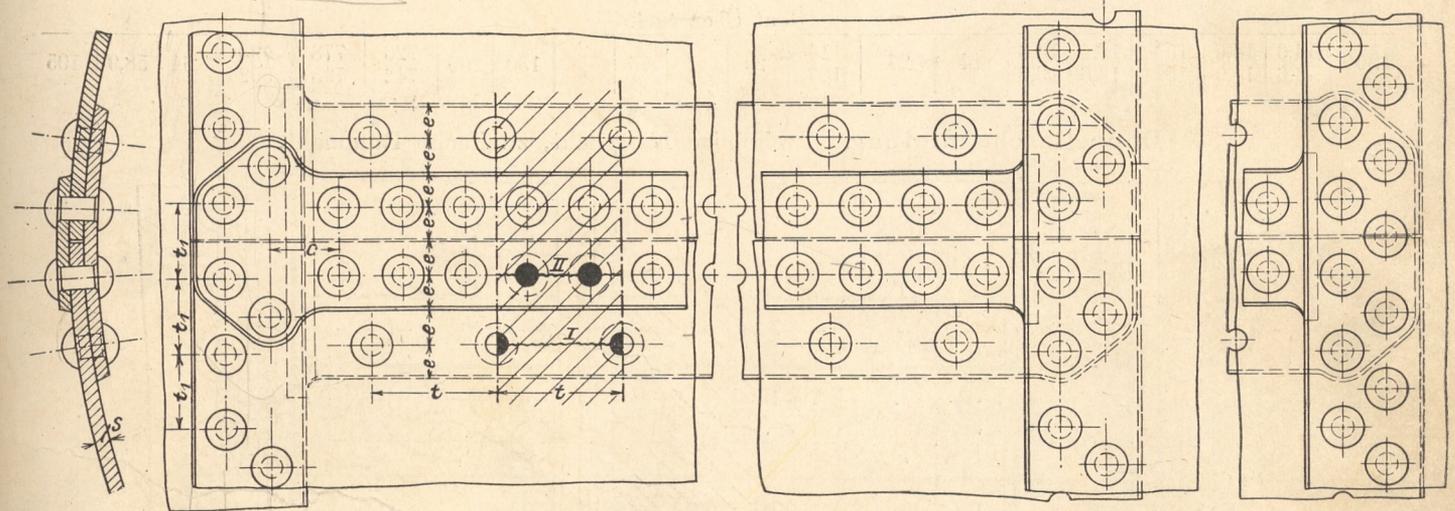


Fig. 384.

Zahlentafel Nr. 74.

<i>s</i> { von mm	12	14,5	18	21
bis mm	14,5	18	21	23
<i>d</i> mm	21	23	25	27
<i>q</i> qcm	3,46	4,15	4,91	5,73
Weite } <i>t</i> mm	114	123	133	144
Teilung } <i>t</i> mm	106	116	126	136

$K_2 = 3600 \text{ kg/qcm,}$
 $\mathcal{C} = 4,5, \quad k_2 = 800 \text{ kg/qcm,}$
 $\mathcal{C} = 4,1, \quad k_2 = 880 \text{ kg/qcm,}$
 $k_n = 600 \text{ kg/qcm,}$
 $n = 5,$

$$s = \frac{D p t}{2} - 1 \cdot q \cdot 700 + 0,1 \text{ cm,}$$

$$\sigma_z = \frac{D p t}{2} - 1 \cdot q \cdot 700$$

$$\sigma_n = \frac{D p t}{2 n \cdot q}$$

Zahlentafel Nr. 75.

Kessel- mantel Durch- messer <i>D</i> mm	Zweireihige Längsnaht																1 1/2 fache Rundnaht ¹⁾			
	Blechstärken <i>s</i>						Nietloch		Entfernungen				Laschen- breite		Blechbelastung bei		Niet- be- lastung σ_n kg/qcm	Zahl der Niete im Um- fang	Tei- lung t_1 mm	Über- lap- pung $2e + e_1$ mm
	bei $\epsilon = 4,5$		bei $\epsilon = 4,1$				Durch- messer <i>d</i> mm	ω weite <i>e</i> enge Teilung <i>t</i> mm	<i>e</i> mm	<i>e</i> ₁ mm	<i>c</i> mm	<i>g</i> mm	außen mm	innen mm	$\epsilon = 4,5$ σ_z kg/qcm	$\epsilon = 4,1$ σ_z kg/qcm				
	gerechnet	für die Ausfüh- rung	gerechnet	enger Schuß	weiter Schuß	für die Ausfüh- rung														
	enger Schuß mm	weiter Schuß mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg/qcm	kg/qcm	kg/qcm		mm	mm
2000	14,4	14,6	15	13,4	13,6	14	21	114	32,5	65	130	260	726	778	593	108	58,2	105		
	14,7	14,9	15	13,6	13,8	14	21	106					742	795	552					
2100	15	15,2	15,5	13,8	14	14	23	123	35	70	140	280	732	810	560	102	55,4	113		
	15,2	15,4	15,5	14	14,2	14,5	23	116					743	796	529					
10 at Überdruck																				
1800	14,4	14,6	15	13,4	13,6	14	21	114	32,5	65	130	260	726	778	593	98	57,7	105		
	14,7	14,9	15	13,6	13,8	14	21	106					742	795	552					
1900	15,1	15,3	15,5	13,9	14,1	14,5	23	123	35	70	140	280	735	788	563	94	63,5	113		
	15,3	15,5	15,5	14,1	14,3	14,5	23	116					748	802	531					
11 at Überdruck																				
1600	14	14,2	14,5	12,9	13,1	13,5	21	114	32,5	65	130	260	730	785	570	86	58,4	105		
	14,3	14,5	14,5	13,1	13,3	13,5	21	106					745	800	540					
1700	14,8	15	15	13,7	13,9	14	23	123	35	70	140	280	745	798	554	84	63,6	113		
	15	15,2	15,5	13,8	14	14	23	116					733	812	523					
12 at Überdruck																				
1500	14,4	14,6	15	13,4	13,6	14	21	114	32,5	65	130	260	726	778	593	82	57,5	105		
	14,7	14,9	15	13,6	13,8	14	21	106					742	795	552					
1600	15,2	15,5	15,5	14,1	14,3	14,5	23	123	35	70	140	280	746	796	569	78	64,4	113		
	15,5	15,8	16	14,3	14,5	14,5	23	116					735	815	536					
13 at Überdruck																				
1400	14,5	14,8	15	13,5	13,7	14	21	114	32,5	65	130	260	736	790	600	76	57,7	105		
	14,9	15,2	15,5	13,8	14	14	21	106					728	808	558					
14 at Überdruck																				
1300	14,5	14,8	15	13,5	13,7	14	21	114	32,5	65	130	260	736	790	600	70	58,3	105		
	14,9	15,2	15,5	13,8	14	14	21	106					728	808	558					
15 at Überdruck																				
1200	14,3	14,6	15	13,4	13,6	14	21	114	32,5	65	130	260	726	778	593	64	58,9	105		
	14,6	14,9	15	13,6	13,8	14	21	106					742	795	552					

Doppelaschennietung. Dreireihige Längsnaht, zweifache Rundnaht.

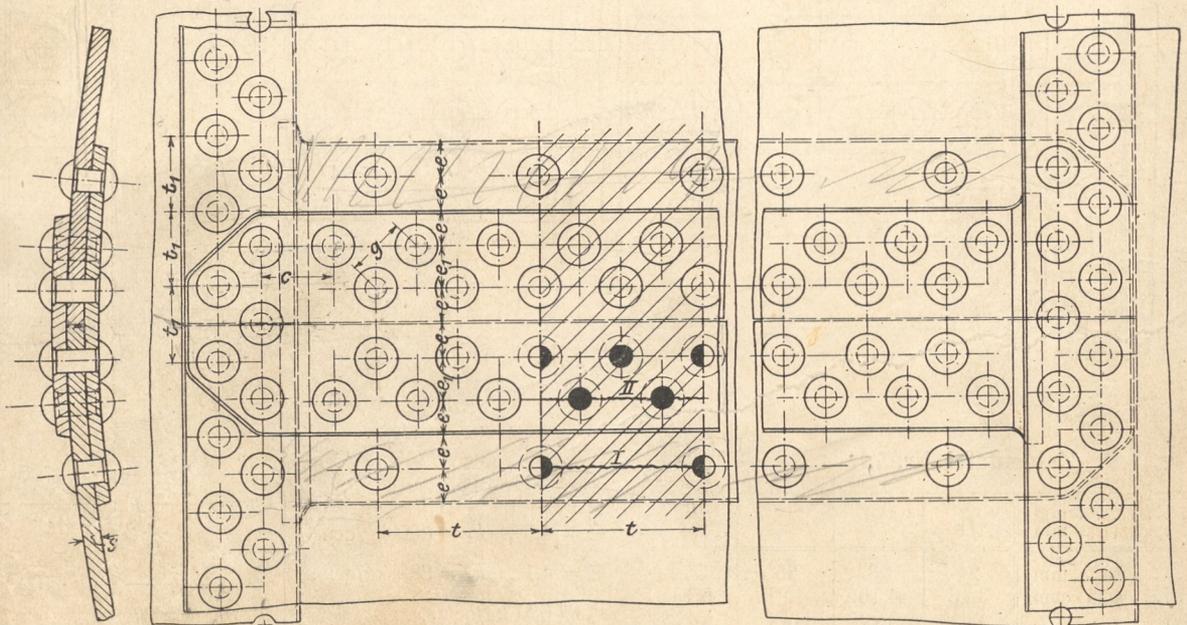


Fig. 385.

¹⁾ Hierfür wird die doppelte Rundnaht, obwohl teurer, empfohlen; über deren Nietteilungen s. Zahlentafel 77 obere Spalte für 21 und 23 mm Nietlochdurchmesser.

Zahlentafel Nr. 76.

s {	von mm	13	14,5	18	21
	bis mm	14,5	18	21	23
d mm		21	23	25	27
q qcm		3,46	4,15	4,91	5,73
Weite Teilung } t . mm		144	156	168	180
	Enge Teilung } t . mm		136	148	160

$K_z = 3600 \text{ kg/qcm}$,
 $\textcircled{C} = 4,5$, $k_z = 800 \text{ kg/qcm}$,
 $\textcircled{C} = 4$, $k_z = 900 \text{ kg/qcm}$,
 $k_n = 575 \text{ kg/qcm}$,
 $n = 9$,

$$s = \frac{D p t}{2} - 1 \cdot q \cdot 700 + 0,1 \text{ cm},$$

$$\frac{(t - 2d) \cdot K_z}{\textcircled{C}}$$

Reihe I: $\sigma_{zI} = \frac{D p t}{2 s (t - d)}$,

$$\frac{D p t}{2} - 1 \cdot q \cdot 700$$

Reihe II: $\sigma_{zII} = \frac{s (t - 2d)}{s (t - 2d)}$,

$$\sigma_n = \frac{D p t}{2 n q}$$

Zahlentafel Nr. 77.

9 at Überdruck

Kessel- mantel Durch- messer D mm	Dreireihige Längsnaht															Doppelte Rundnaht				
	Blechstärken s						Nietloch		Entfernungen				Laschen- breite		Blechbelastung bei		Niet- be- lastung σ_n kg/qcm	Zahl der Niete im Um- fang	Teil- lung t_1 mm	Über- lap- pung $2e + e_1$ mm
	bei $\textcircled{C} = 4,5$		bei $\textcircled{C} = 4$		Durch- messer d mm	w weite e enge Teilung t mm	e mm	e_1 mm	c mm	g mm	außen mm	innen mm	$\textcircled{C} = 4,5$ σ_z kg/qcm	$\textcircled{C} = 4$ σ_z kg/qcm						
	gerechnet	für die Ausfüh- rung	gerechnet	für die Ausfüh- rung											enger Schuß mm	weiter Schuß mm				
2200	15,4	15,6	16	13,9	14	21	144	32,5	40	65	53,8	210	340	725	830	459	120	67,8	105	
	15,5	15,7	16	14,1	14,5		136													52,5
2300	15,9	16,1	16,5	14,4	14,5	23	156	35	43	70	58	226	366	732	830	434	98	73,3	113	
	16,1	16,3	16,5	14,6	15		148													56,7
2400	16,7	16,9	17	15,1	15,5	23	156	35	43	70	58	226	366	746	815	453	102	73,9	113	
	16,9	17,1	17,5	15,3	15,5		148													56,7
2500	17,5	17,7	18	15,6	15,8	23	156	35	43	70	58	226	366	740	833	472	108	72,8	113	
	17,7	17,9	18	15,8	16		148													56,7

10 at Überdruck

2000	15,6	15,8	16	13,9	14,1	14,5	21	144	32,5	40	65	53,8	210	340	735	805	463	92	68,3	105
	15,7	15,9	16	14,1	14,3	14,5		136												
2100	16,2	16,4	16,5	14,5	14,7	15	23	156	35	43	70	58	226	366	743	818	441	92	71,7	113
	16,3	16,5	16,5	14,6	14,8	15		148												
2200	17	17,2	17,5	15,2	15,4	15,5	23	156	35	43	70	58	226	366	742	835	462	94	73,5	113
	17,2	17,4	17,5	15,4	15,6	16		148												
2300	17,9	18,1	18,5	16	16,2	16,5	23	156	35	43	70	58	226	366	740	830	483	98	73,3	113
	18,1	18,3	18,5	16,2	16,4	16,5		148												
2400	18,7	19	19	16,8	17	17,5	23	156	35	43	70	58	226	366	758	845	503	102	73,9	113
	19	19,3	19,5	17	17,2	17,5		148												
2500	19,4	19,7	20	17,4	17,6	18	25	168	37,5	47,5	77,5	63,4	245	395	745	828	475	102	77	122
	19,6	19,9	20	17,6	17,8	18		160												

11 at Überdruck

1800	15,4	15,6	16	13,7	13,9	14	21	144	32,5	40	65	53,8	210	340	725	830	459	84	67,3	105
	15,5	15,7	16	13,9	14,1	14,5		136												
1900	16,1	16,3	16,5	14,4	14,6	15	23	156	35	43	70	58	226	366	740	812	438	80	74,6	113
	16,3	16,5	16,5	14,5	14,7	15		148												
2000	16,9	17,2	17,5	15,2	15,4	15,5	23	156	35	43	70	58	226	366	742	835	462	86	73,1	113
	17,1	17,4	17,5	15,4	15,6	16		148												
2100	17,9	18,2	18,5	16,1	16,3	16,5	23	156	35	43	70	58	226	366	744	833	485	92	71,7	113
	18,2	18,5	18,5	16,3	16,5	16,5		148												
2200	18,9	19,2	19,5	17	17,2	17,5	23	156	35	43	70	58	226	366	747	830	508	94	73,5	113
	19,2	19,5	19,5	17,2	17,4	17,5		148												
2300	19,6	19,9	20	17,6	17,8	18	25	168	37,5	47,5	77,5	63,4	245	395	755	838	481	94	76,9	122
	19,9	20,2	20,5	17,8	18	18		160												
2400	20,6	20,9	21	18,6	18,8	19	25	168	37,5	47,5	77,5	63,4	245	395	756	837	502	98	76,9	122
	20,9	21,2	21,5	18,7	18,9	19		160												
2500	21,6	21,9	22	19,3	19,6	20	25	168	37,5	47,5	77,5	63,4	245	395	758	835	523	102	77	122
	21,9	22,2	22,5	19,5	19,8	20		160												

Zahlentafel Nr. 77 (Fortsetzung).

32,5
1300
40
170

12 at Überdruck																				
Dreireihige Längsnaht																				
Kessel- mantel- Durch- messer <i>D</i> mm	Blechstärken <i>s</i>						Nietloch		Entfernungen				Laschen- breite		Blechbelastung bei		Niet- be- lastung σ_n kg/qcm	Zahl der Niete im Um- fang	Teil- lung t_1 mm	Über- lap- pung $2e + e_1$ mm
	bei $\xi = 4,5$			bei $\xi = 4$			Durch- messer <i>d</i> mm	<i>w</i> weite <i>e</i> enge Teilung <i>t</i> mm	<i>e</i>	e_1	<i>c</i>	<i>g</i>	außen	innen	$\xi = 4,5$ σ_z kg/qcm	$\xi = 4$ σ_z kg/qcm				
	gerechnet		für die Ausfüh- rung	gerechnet		für die Ausfüh- rung														
	enger Schuß	weiter Schuß		enger Schuß	weiter Schuß															
1700	15,6	15,8	16	14	14,2	14,5	23	156	35	43	70	58	226	366	740	815	428	72	74,2	113
	15,8	16	16	14,1	14,3	14,5		148							747	825	407			
1800	16,6	16,9	17	14,9	15,1	15,5	23	156	35	43	70	58	226	366	746	815	453	76	74,4	113
	16,8	17,1	17,5	15,1	15,3	15,5		148							733	828	430			
1900	17,6	17,9	18	15,9	16,1	16,5	23	156	35	43	70	58	226	366	753	820	478	80	74,6	113
	17,9	18,2	18,5	16	16,2	16,5		148							742	830	455			
2000	18,7	19	19	16,8	17	17	23	156	35	43	70	58	226	366	758	845	503	86	73,1	113
	19	19,3	19,5	17	17,2	17,5		148							748	836	479			
2100	19,6	19,9	20	17,5	17,8	18	25	168	37,5	47,5	77,5	63,4	245	395	750	835	480	84	78,5	122
	19,8	20,1	20,5	17,6	17,9	18		160							742	845	457			
2200	20,6	20,9	21	18,5	18,8	19	25	168	37,5	47,5	77,5	63,4	245	395	756	837	502	88	78,5	122
	20,9	21,2	21,5	18,6	18,9	19		160							748	845	478			
2300	21,6	22	22	19,3	19,6	20	25	168	37,5	47,5	77,5	63,4	245	395	760	838	525	94	76,9	122
	21,8	22,2	22,5	19,6	19,9	20		160							753	848	500			
2400	22,4	22,8	23	20	20,3	20,5	27	180	40	50	85	67,3	260	420	754	845	502	92	82	130
	22,6	23	23	20,3	20,6	21		172							765	850	481			
2500	23,5	23,9	24	21	21,3	21,5	27	180	40	50	85	67,3	260	420	760	848	524	94	83,6	130
	23,8	24,2	24,5	21,3	21,6	22		172							754	840	500			

13 at Überdruck																				
1500	15	15,3	15,5	13,5	13,7	14	21	144	32,5	40	65	53,8	210	340	735	813	452	68	69,3	105
	15,2	15,5	15,5	13,7	13,9	14		136							52,5	745	825			
1600	15,9	16,2	16,5	14,3	14,5	14,5	23	156	35	43	70	58	226	366	735	836	437	68	73,9	113
	16,1	16,4	16,5	14,4	14,6	15		148							742	817	414			
1700	17	17,3	17,5	15,3	15,5	15,5	23	156	35	43	70	58	226	366	746	840	463	72	74,2	113
	17,3	17,6	18	15,5	15,7	16		148							734	825	440			
1800	18,2	18,5	18,5	16,2	16,5	16,5	23	156	35	43	70	58	226	366	754	845	491	76	74,4	113
	18,4	18,7	19	16,4	16,7	17		148							745	830	466			
1900	19,2	19,6	20	17,3	17,6	18	23	156	35	43	70	58	226	366	745	828	518	80	74,6	113
	19,5	19,9	20	17,5	17,8	18		148							753	838	491			
2000	20,1	20,5	20,5	18,1	18,4	18,5	25	168	37,5	47,5	77,5	63,4	245	395	760	844	495	82	76,6	122
	20,4	20,8	21	18,3	18,6	19		160							752	830	471			
2100	21,3	21,7	22	19,1	19,4	19,5	25	168	37,5	47,5	77,5	63,4	245	395	750	847	520	84	78,5	122
	21,6	22	22	19,3	19,6	20		160							760	836	495			

14 at Überdruck																				
1400	15,1	15,4	15,5	13,6	13,8	14	21	144	32,5	40	65	53,8	210	340	740	820	454	64	68,7	105
	15,3	15,6	16	13,7	13,9	14		136							52,5	725	830			
1500	16,1	16,4	16,5	14,5	14,7	15	23	156	35	43	70	58	226	366	743	818	441	64	73,6	113
	16,2	16,5	16,5	14,6	14,8	15		148							750	828	418			
1600	17,3	17,6	18	15,4	15,7	16	23	156	35	43	70	58	226	366	737	827	470	68	73,9	113
	17,5	17,8	18	15,6	15,9	16		148							745	840	446			
1700	18,4	18,8	19	16,6	16,9	17	23	156	35	43	70	58	226	366	750	840	500	72	74,2	113
	18,7	19,1	19,5	16,7	17	17		148							740	848	474			
1800	19,5	19,9	20	17,5	17,8	18	25	168	37,5	47,5	77,5	63,4	245	395	750	835	480	74	76,4	122
	19,7	20,1	20,5	17,6	17,9	18		160							742	845	457			
1900	20,7	21,1	21,5	18,6	18,9	19	25	168	37,5	47,5	77,5	63,4	245	395	745	843	506	76	78,5	122
	20,9	21,3	21,5	18,8	19,1	19,5		160							753	833	482			

15 at Überdruck																				
1300	15	15,3	15,5	13,5	13,7	14	21	144	32,5	40	65	53,8	210	340	735	813	452	60	68,1	105
	15,2	15,5	15,5	13,7	13,9	14		136							52,5	745	825			
1400	16,1	16,4	16,5	14,4	14,7	15	23	156	35	43	70	58	226	366	743	818	441	60	73,3	113
	16,2	16,5	16,5	14,5	14,8	15		148							750	828	418			
1500	17,3	17,7	18	15,5	15,8	16	23	156	35	43	70	58	226	366	740	833	472	64	73,6	113
	17,5	17,9	18	15,7	16	16		148							749	843	449			
1600	18,6	19	19	16,7	17	17	23	156	35	43	70	58	226	366	758	845	503	68	73,9	113
	18,9	19,3	19,5	16,9	17,2	17,5		148							748	836	479			
1700	19,7	20,1	20,5	17,7	18	18	25	168	37,5	47,5	77,5	63,4	245	395	745	847	485	68	78,5	122
	19,9	20,3	20,5	17,9	18,2	18,5		160							753	835	462			

Doppelaschennietung.
Vierreihige Längsnaht, zweireihige Rundnaht.

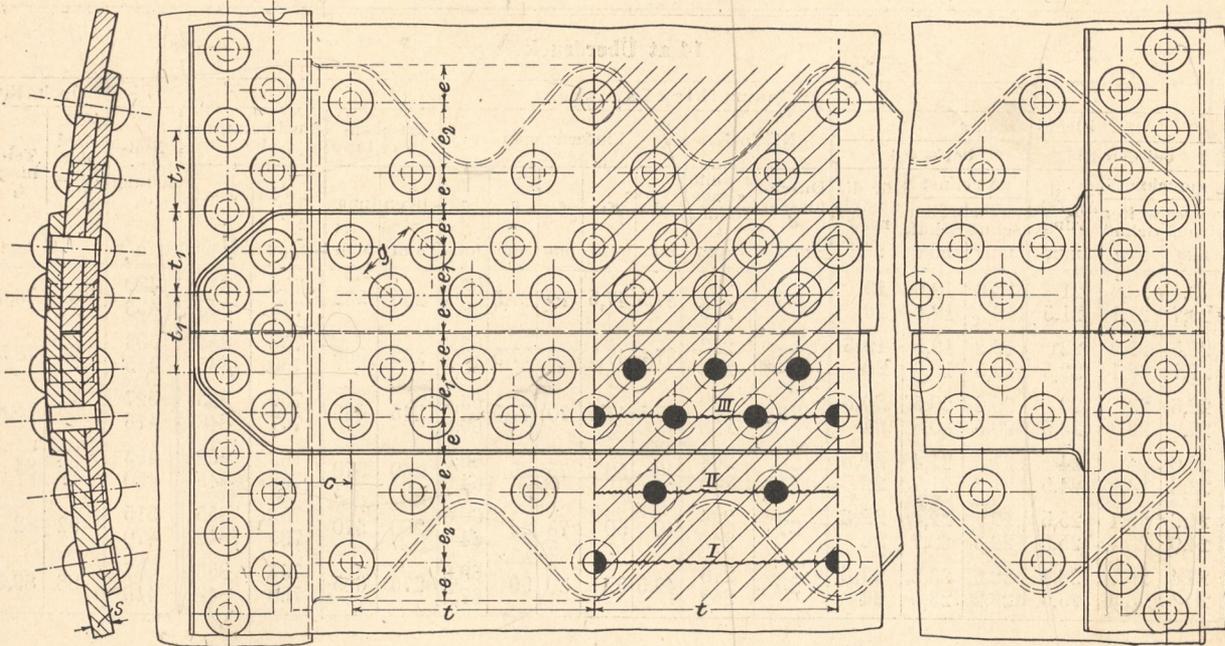


Fig. 386.

Zahlentafel Nr. 78.

s	von . . . mm	16	18	21	23	26
	bis . . . mm	18	21	23	26	29
d	mm	23	25	27	29	31
q	qcm	4,15	4,91	5,73	6,61	7,55
Weite Teilung	t mm	240	252	264	276	288
	t mm	216	228	240	252	264

$K_z = 3600 \text{ kg/qcm}$,
 $\mathcal{E} = 4,5$, $k_z = 800 \text{ kg/qcm}$,
 $\mathcal{E} = 4,0$, $k_z = 900 \text{ kg/qcm}$,
 $k_n = 550 \text{ kg/qcm}$,
 $n = 15$.

Für Zahlentafel Nr. 79 ist σ_{zII} maßgebend.

$$s = \frac{D p t}{2} - 1 \cdot q \cdot 700 + 0,1 \text{ cm},$$

$$= \frac{(t - 2d) \cdot K_z}{\mathcal{E}}$$

Reihe I: $\sigma_{zI} = \frac{D p t}{2 s (t - d)}$,

Reihe II: $\sigma_{zII} = \frac{D p t}{2} - 1 \cdot q \cdot 700$
 $\sigma_{zII} = \frac{s (t - 2d)}$,

Reihe III: $\sigma_{zIII} = \frac{D p t}{2} - (1 \cdot q \cdot 700 + 2 \cdot q \cdot 650)$
 $\sigma_{zIII} = \frac{s (t - 3d)}$,

$$\sigma_n = \frac{D p t}{2 n q}$$

Zahlentafel Nr. 79.

12 at Überdruck

Kesselmantel Durchmesser D mm	Vierreihige Längsnaht															Doppelte Rundnaht					
	Blechstärken s						Nietloch		Entfernungen					Laschenbreite		Blechbelastung bei		Nietbelastung σ_n kg/qcm	Zahl der Niete im Umfange	Teilung t_1 mm	Überlappung $2e + e_1$ mm
	bei $\mathcal{E} = 4,5$		bei $\mathcal{E} = 4$				Durchmesser d mm	w weite e enge Teilung t mm	e mm	e ₁ mm	e ₂ mm	c mm	g mm	außen mm	innen mm	$\mathcal{E} = 4,5$ σ_z kg/qcm	$\mathcal{E} = 4$ σ_z kg/qcm				
	gerechnet	für die Ausführung	gerechnet	für die Ausführung	enger Schuß	weiter Schuß															
2400	21,1	21,4	21,5	18,8	19,1	19,5	25	252	37,5	47,5	70	77,5	63,4	245	535	757	832	493	98	76,9	122
	21,4	21,7	22	19,1	19,4	19,5		228	60,8	750	846	446									
2500	22	22,4	22,5	19,7	20	20	25	252	37,5	47,5	70	77,5	63,4	245	535	757	852	514	102	77	122
	22,3	22,7	23	19,9	20,2	20,5		228	60,8	750	843	465									

13 at Überdruck

2200	20,8	21,2	21,5	18,7	19	19	25	252	37,5	47,5	70	77,5	63,4	245	535	750	850	490	88	78,5	122
	21,1	21,5	21,5	18,9	19,2	19,5		228	60,8	767	840	443									
2300	21,8	22,2	22,5	19,6	19,9	20	25	252	37,5	47,5	70	77,5	63,4	245	535	753	847	512	94	76,9	122
	22,2	22,6	23	19,9	20,2	20,5		228	60,8	748	840	463									
2400	22,9	23,3	23,5	20,5	20,8	21	25	252	37,5	47,5	70	77,5	63,4	245	535	755	845	534	98	76,9	122
	23,2	23,6	24	20,8	21,1	21,5		228	60,8	753	840	483									
2500	23,9	24,3	24,5	21,3	21,6	22	27	264	40	50	75	85	66,6	260	570	755	842	499	94	83,6	130
	24,1	24,5	24,5	21,6	21,9	22		240	64	768	855	454									

Zahlentafel Nr. 79 (Fortsetzung).

Kessel- mantel Durch- messer <i>D</i> mm	Vierreihige Längsnaht																	Doppelte Rundnaht			
	Blechstärken <i>s</i>						Nietloch		Entfernungen					Laschen- breite		Blechbelastung bei		Niet- be- lastung σ_n kg/qcm	Zahl der Niete im Um- fange	Teil- lung t mm	Über- lap- pung $2e + e_1$ mm
	bei $\varnothing = 4,5$			bei $\varnothing = 4$			Durch- messer <i>d</i> mm	<i>w</i> weite <i>e</i> enge Teilung <i>t</i> mm	<i>e</i> mm	<i>e</i> ₁ mm	<i>e</i> ₂ mm	<i>c</i> mm	<i>g</i> mm	außen mm	innen mm	$\varnothing = 4,5$ σ_z kg/qcm	$\varnothing = 4$ σ_z kg/qcm				
	gerechnet	für die Ausfüh- rung		gerechnet	für die Ausfüh- rung																
	enger Schuß mm	weiter Schuß mm	mm	enger Schuß mm	weiter Schuß mm	mm															
2000	20,4 20,7	20,8 21,1	21 21,5	18,3 18,5	18,6 18,8	19 19	25	252 228	37,5	47,5	70	77,5	63,4 60,8	245	535	752 743	830 843	480 433	82	76,6	122
2100	21,5 21,7	21,9 22,1	22 22,5	19,2 19,5	19,5 19,8	19,5 20	25	252 228	37,5	47,5	70	77,5	63,4 60,8	245	535	756 750	853 845	503 455	84	78,5	122
2200	22,6 22,9	23 23,3	23 23,5	20,2 20,5	20,5 20,8	20,5 21	25	252 258	37,5	47,5	70	77,5	63,4 60,8	245	535	760 757	853 848	527 476	88	78,5	122
2300	23,6 23,8	24 24,3	24 24,5	21 21,3	21,4 21,7	21,5 22	27	264 240	40	50	75	85	66,6 64	260	570	763 758	852 845	493 450	86	84	130
2400	24,6 24,9	25,1 25,4	25,5 25,5	22 22,3	22,4 22,7	22,5 23	27	264 240	40	50	75	85	66,6 64	260	570	753 765	855 848	515 470	92	82	130
2500	25,4 26	26,1 26,5	26,5 26,5	22,9 23,2	23,3 23,6	23,5 24	29	276 252	42,5	52,5	80	90	69,8 67,2	275	605	757 768	853 849	487 445	88	89,3	138

15 at Überdruck

1800	19,6 19,8	20 20,2	20 20,5	17,6 17,8	17,9 18,1	18 18,5	25	252 228	37,5	47,5	70	77,5	63,4 60,8	245	535	756 748	840 828	452 418	74	76,4	122
1900	20,8 21,1	21,2 21,5	21,5 21,5	18,6 18,9	18,9 19,2	19 19,5	25	252 228	37,5	47,5	70	77,5	63,4 60,8	245	535	750 757	848 835	488 442	76	78,5	122
2000	22 22,3	22,4 22,7	22,5 23	19,6 19,8	20 20,2	20 20,5	25	252 228	37,5	47,5	70	77,5	63,4 60,8	245	535	757 750	852 843	514 465	82	76,6	122
2100	22,9 23,2	23,4 23,7	23,5 24	20,5 20,8	20,9 21,2	21 21,5	27	264 240	40	50	75	85	66,6 64	260	570	760 756	852 845	483 440	80	80,2	130
2200	24,1 24,5	24,6 25	25 25	21,6 21,9	22 22,3	22 22,5	27	264 240	40	50	75	85	66,6 64	260	570	754 766	857 850	506 460	84	82,3	130
2300	25,1 25,5	25,6 26	26 26	22,5 22,8	22,9 23,2	23 23,5	29	276 252	42,5	52,5	80	90	69,8 67,2	275	605	758 770	856 850	480 440	82	88,1	138
2400	26,3 26,6	26,9 27,2	27 27,5	23,6 23,9	24 24,3	24 24,5	29	276 252	42,5	52,5	80	90	69,8 67,2	275	605	765 762	860 856	500 458	86	87,7	138
2500	27,4 27,9	28 28,5	28 28,5	24,5 24,9	25 25,4	25 25,5	29	276 252	42,5	52,5	80	90	69,8 67,2	275	605	772 770	863 863	522 477	88	89,3	138

Zahlentafel Nr. 80

für die Ausführung von Blechstärken, Art der Nietungen, Nietlochdurchmesser und Teilungen.

	Kessel- mantel- durch- messer mm	Überdruck in at									
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Blechstärke:	1100	9	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	14,5	15,5	
	1200	9	10	11,5	12,5	13,5	14,5	14,5	15,5	14	
	1300	9,5	11	12	13,5	14,5	14,5	15,5	14	14	
$s = \frac{D p \varnothing}{2 \varphi K_z} + 1 \text{ mm,}$	1400	10,5	11,5	13	14,5	14,5	15,5	14	14	15	
	1500	11	12,5	14	14	15,5	14	14	15	16	
$K_z = 3600 \text{ kg/qcm,}$	1600	11,5	13	14,5	13,5	15	13,5	14,5	15	16	
	1700	12,5	14	14,5	16	14	14,5	16	17	18,5	
\varnothing nach den allgemeinen polizeilichen Bestim- mungen vom 17. Dez. 1908 (Werte <i>s</i> für die engeren Teilungen und weiten Schüsse).	1800	13	14,5	15	14	14,5	15,5	17	18	18,5	
	1900	13,5	15,5	16	14,5	15	16,5	18	19,5	19,5	
	2000	14,5	15	14	14,5	16	17,5	19	20	20,5	
	2100	15	15,5	14,5	15	16,5	18	20	21	21,5	
	2200	15,5	16,5	14,5	16	17,5	19	20,5	21	22,5	
	2300	15	17	15	16,5	18	20	21	22	23,5	
	2400	15,5	17,5	15,5	17,5	19	21	21,5	23	24,5	
	2500	16	18,5	16	18	20	22	20,5	22	25,5	

Zahlentafel Nr. 80 (Fortsetzung)

für die Ausführung von Blechstärken, Art der Nietungen, Nietlochdurchmesser und Teilungen.

Kessel- mäntel- durch- messer mm	Überdruck in at									
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Art der Längsnietung für:	1100	Überlapp. zweireihig	Überlapp. zweireihig	Überlapp. zweireihig	Überlapp. zweireihig	Überlapp. zweireihig	Überlapp. zweireihig	Überlapp. zweireihig	Überlapp. dreireihig	Überlapp. dreireihig
	1200	"	"	"	"	"	"	dreireihig	"	Laschen zweireihig
	1300	"	"	"	"	"	dreireihig	"	Laschen zweireihig	Laschen dreireihig
	1400	"	"	"	"	dreireihig	"	Laschen zweireihig	Laschen dreireihig	"
	1500	"	"	"	dreireihig	"	Laschen zweireihig	Laschen dreireihig	"	"
	1600	"	"	zwei- reihig	dreireihig	"	Laschen zweireihig	"	"	"
	1700	"	"	Überlapp. dreireihig	"	"	Laschen dreireihig	"	"	"
	1800	"	"	"	Laschen zweireihig	Laschen dreireihig	"	"	"	Laschen vierreihig
	1900	"	"	"	"	"	"	"	"	"
	2000	"	dreireihig Überlapp. dreireihig	Laschen zweireihig	Laschen dreireihig	"	"	"	Laschen vierreihig	"
	2100	"	"	"	"	"	"	"	"	"
	2200	"	"	Laschen dreireihig	"	"	"	Laschen vierreihig	"	"
	2300	Überlapp. dreireihig	"	"	"	"	"	"	"	"
	2400	"	"	"	"	"	dreireihig	vier- reihig	"	"
	2500	"	"	"	"	"	"	"	"	"
	Nietlochdurchmesser d :	1100	17	17	19	19	21	23	23	23
1200		17	19	19	21	23	23	23	25	21
1300		17	19	21	23	23	23	25	21	21
1400		19	19	21	23	23	25	21	21	23
1500		19	21	23	23	23	21	21	23	23
1600		19	21	23 23	23	21	23	23	23	23
1700		19	23	23	25	23	23	23	23	25
1800		21	23	23	21	21	23	23	25	25
1900		21	25	25	23	23	23	23	25	25
2000		23	23	21	21	23	23	25	25	25
2100		23	25	23	23	23	25	25	25	27
2200		23	25	21	23	23	25	25	25	27
2300		23	25	23	23	25	25	25	27	29
2400		25	27	23	23	25	25 25	25	27	29
2500		25	27	23	25	25	25 25	27	29	29
Engere Nietloch- teilung t : (Empfohlen wird, den Mittelwert zwischen engster und weitester Teilung zu nehmen)		1100	52	52	58	58	64	70	70	86
	1200	52	58	58	64	70	70	86	92	106
	1300	52	58	64	70	70	86	92	106	136
	1400	58	58	64	70	86	86	106	136	148
	1500	58	64	70	86	86	106	136	148	148
	1600	58	64	70 86	86	106	116	148	148	148
	1700	64	70	86	92	116	148	148	148	160
	1800	64	70	86	106	136	148	148	160	228
	1900	70	75	92	116	148	148	148	160	228
	2000	70	86	106	136	148	148	160	228	228
	2100	70	92	116	148	148	160	160	228	240
	2200	70	92	136	148	148	160	228	228	240
	2300	86	92	148	148	160	160	228	240	252
	2400	92	98	148	148	160	172 228	228	240	252
	2500	92	98	148	160	160	172 228	240	252	252

4. Flammrohre mit äußerem Überdruck.

A. Allgemeines.

Ein Flammrohr ist ein außen von Wasser umspültes, innen von der Flamme oder den Heizgasen bestrichenes Rohr, welches durch äußeren Druck beansprucht wird.

Unter der Voraussetzung genau kreisförmigen Querschnittes und Fehlens jeder Unregelmäßigkeit an Beanspruchung und Temperatur könnte die Druckspannung σ der Rohrwand ähnlich wie beim Rohr mit innerem Druck aus der Gleichung

$$d \cdot p = 2 s \sigma$$

ermittelt werden.

Diese einfachen Verhältnisse treffen jedoch für ein im

Betrieb befindliches Flammrohr aus folgenden Gründen niemals zu:

1. Genau kreisringförmiger Querschnitt der Wandung wird auch zu Anfang nicht vorhanden sein. Bei einem Rohr mit innerem Druck wäre das nun nicht bedenklich, da der innere Druck das Bestreben hat, vorhandene Abweichungen von der Kreisform auszugleichen. Der äußere Druck wirkt dagegen auf Vergrößerung solcher Abweichungen hin. Deshalb müssen von vornherein die genieteten Flammrohre als minderwertig gegenüber den geschweißten bezeichnet werden, da einerseits die Nietnaht eine Unregelmäßigkeit in die Form des Kreisringes bringt, andererseits die Schweißungen jetzt mit genügender Sicherheit hergestellt werden können, und die

Kreisform durch nachträgliches Walzen des geschweißten Schusses noch verbessert werden kann.

2. Zu der Beanspruchung durch den äußeren Druck tritt noch diejenige auf Durchbiegung durch das Eigengewicht des Rohres oder durch den Auftrieb.

3. Infolge der ungleichmäßigen Erwärmung, besonders bei Innenfeuerungen über und unter der Rostanlage, dehnen sich die oberen und unteren Hälften des Rohrquerschnittes verschieden aus und erzeugen dadurch zusätzliche Biegungsspannungen. Auch in der Längsrichtung des Rohres macht sich diese Ungleichheit der Erwärmung geltend; sie wirkt auf eine Durchbiegung nach oben hin. Dazu kommt eine schon ohnedies vorhandene Druckbeanspruchung in der Längsrichtung, hervorgerufen durch den Temperaturunterschied zwischen Flammrohr und Kesselmantel¹⁾.

B. Flammrohrversteifungen.

Da die Wirkung der bezeichneten Einflüsse sich als Biegungs- oder Knickbeanspruchung besonders gefährlich geltend macht, so erhält, daß man in der Vergrößerung des Trägheitsmomentes der belasteten Schnittfläche der Rohrwand ein Mittel dagegen hat. Konstruktionen, durch welche dies erreicht wird, sind die Flammrohrversteifungen, welche in vielen Fällen zugleich zur Verbindung der einzelnen Rohrschüsse dienen.

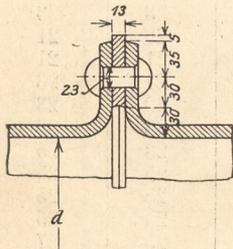


Fig. 387.

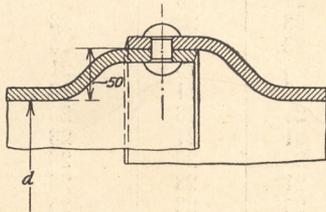


Fig. 388.

Zur Berechnung der Blechdicke *s* in mm dient nach den „Bauvorschriften“ die Bachsche Formel:

$$s = \frac{pd}{2400} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{a}{p} \frac{l}{l+d}} \right) + 2 \text{ mm}, \quad (90)$$

worin außer den schon auf S. 264 angeführten Bezeichnungen bedeuten:

d den inneren Durchmesser zylindrischer Flammrohre, bei konischen Flammrohren den mittleren inneren Durchmesser in mm,

a einen Zahlenwert,

l die Länge des Flammrohres in mm, zutreffendfalls die größte Entfernung der wirksamen Versteifungen voneinander.

Es ist zu wählen:

a = 100 für Rohre mit überlappter Längsnaht,

a = 80 für Rohre mit gelaschter oder geschweißter Längsnaht

bei liegenden Flammrohren, und

a = 70 für Rohre mit überlappter Längsnaht,

a = 50 für Rohre mit gelaschter oder geschweißter Längsnaht

bei stehenden Flammrohren.

Als wirksame Versteifungen sieht das Gesetz neben den Stirnplatten und den Rohrwänden Ausführungen nach den Fig. 387 bis 391 an, sofern die Höhe der Abkröpfung nicht weniger als 50 mm beträgt.

¹⁾ Näheres und Versuch einer rechnerischen Ermittlung dieser Einflüsse für Wellrohre: B. Müller, Z. Ver. deutsch. Ing. 1909, S. 779.

Von den bezeichneten Versteifungen ist diejenige Fig. 390 am wenigsten zu empfehlen, da sie dem Rohrgar keine Längselastizität verleiht; eine solche ist aber

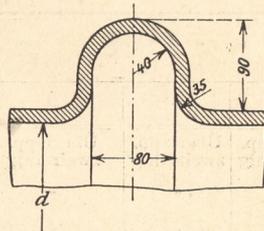


Fig. 389.

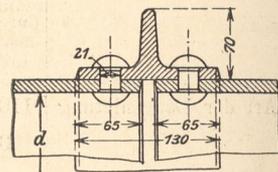


Fig. 390.

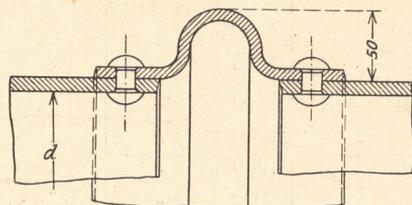


Fig. 391.

unbedingt erforderlich, um die Spannungen zu vermeiden, welche im Betriebe durch die größere Ausdehnung des Flammrohres gegenüber dem Kesselmantel auftreten. Ferner ist als ungünstig anzusehen, daß die Nietköpfe der Flammung ausgesetzt sind und daher leicht undicht werden; dieser letztere Nachteil ist noch bei Fig. 391 vorhanden. Schließlich ist es nicht günstig, daß die Wärme an den Überlappungen durch 2 Blechdicken hindurchgehen muß. Diese Nachteile sind bei Bauart Fig. 388 abgeschwächt, bei dem Adamsonschen Versteifungsring Fig. 387 und bei der Pommé-Welle Fig. 389 ganz vermieden.

Dieses letztere Profil hat wegen der Höhe der Welle von 90 mm eine gute Längselastizität und bietet außerdem den Vorteil, daß die Rundschweißnaht, welche im Scheitel der Welle liegt, der direkten Einwirkung der Flamme entzogen ist.

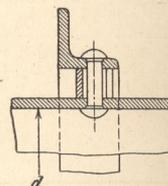


Fig. 392.

Die häufig abgebildete Bauart des geschweißten Winkelringes Fig. 392 (siehe auch Fig. 20) sollte man nicht mehr verwenden, da sie den Zweck der Versteifung nur sehr unsicher erfüllt und die obenerwähnten Nachteile auch besitzt¹⁾; sie wird deshalb vom Gesetz als wirksame Versteifung nicht angesehen.

C. Die Quersieder,

nach dem englischen Erfinder auch Galloway-Rohre genannt, werden ebenso nicht als wirksame Versteifungen angesehen, da durch sie das Flammrohr nicht im vollen Umfange versteift wird. Dem Gesetze entsprechend kann die versteifende Wirkung der Querrohre berücksichtigt werden, indem man in Gl. (90) die Länge *l* derjenigen Rohrstrecken, welche von Quersiedern durchdrungen werden, wie folgt annimmt:

Bei der Rohrstrecke *a*

$$l = l_1 + 0,5 l_2, \text{ sofern } l_1 \text{ die größere Strecke,}$$

bei der Rohrstrecke *b*

$$l = l_1 + l_2, \text{ sofern } l_1 \text{ größer als } l_2, \text{ ist,}$$

andernfalls tritt *l*₃ an die Stelle von *l*₁,

¹⁾ Nähere Begründung s. Bach, Maschinenelemente 1908, S. 255.

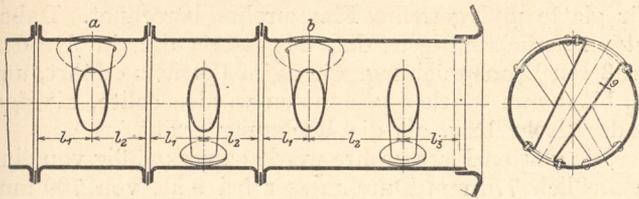


Fig. 393.

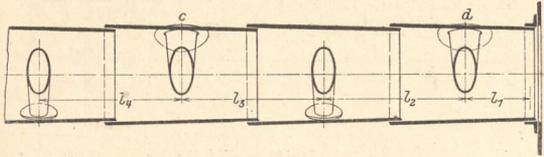


Fig. 394.

bei der Rohrstrecke *c*

$$l = l_1 + l_2, \text{ und}$$

bei der Rohrstrecke *d*

$$l = l_2 + l_3 \text{ beziehungsweise } l = l_3 + l_4.$$

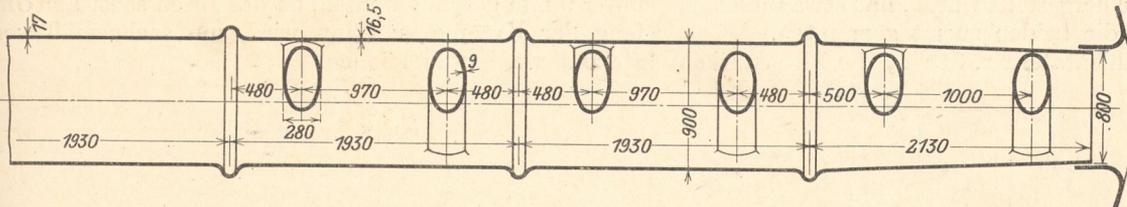


Fig. 395. Flammrohr mit Pommé-Wellen und eingeschweißten Quersiedern.

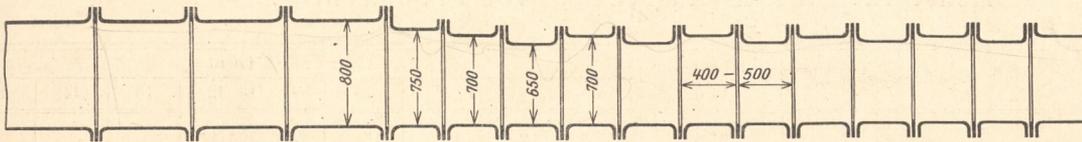


Fig. 396. Paucksch'sches Stufenrohr

Sind mit Rücksicht auf die Größe, die Befestigungsweise, den Durchdringungsort des Querrohres usw. Zweifel vorhanden, ob es in ausreichendem Maße versteifend einwirkt, so ist es rätlich, für *l* die volle Länge einzusetzen, also von einer rechnermäßigen Berücksichtigung der Querrohre abzusehen.

Der Vorteil, den die Quersieder infolge Vergrößerung der Flammrohrinnenheizfläche bieten, geht größtenteils dadurch verloren, daß sie die Flugaschenablagerung begünstigen und die Feuerrohre behufs Reinigung und Revision nur schwer zugänglich machen. Über die Erregung eines lebhaften Wasserumlaufes, die durch den Quersieder erzielt werden soll, sind die Ansichten sehr geteilt. Es steht zu erwarten, daß der hierdurch erzielte Effekt, wenn überhaupt vorhanden, kaum meßbar sein wird. Die Quersieder werden konisch ausgeführt, in der Längsnaht geschweißt und meist unter einer Neigung von 60° so in die Flammrohre eingenieter, Fig. 393, daß unten die enge Umflanschung am inneren und oben die weite Umflanschung am äußeren Flammrohrumfang anliegt, wobei die Schweißnaht auf der vom Feuer abgewendeten Seite zu liegen kommt. Werden Gallowayrohre in Wellrohrfeuerrohre eingebaut, so werden sie in der Regel eingeschweißt, da die entsprechende Zurichtung des Wellrohres ohnehin eine Bearbeitung im Feuer erforderlich macht und die größere glatte Fläche für die Überlappung der Flanschen des Querrohres nicht so leicht an einem Wellrohr anzubringen ist. Um die Befahrbarkeit nicht zu behindern, werden ab und zu Quer-

sieder bei Flammrohren auch seitlich eingebaut und dann ebenfalls eingeschweißt, weil für das Einbringen der Niete in den scharfen Ecken zu wenig Platz bleibt. Fig. 395 zeigt ein Flammrohr mit solchen seitlich eingeschweißten Quersiedern und Pomméwellen, gebaut vom Otten-sener Eisenwerk A.-G. Altona-Ottensen.

Das Paucksch'sche Stufenrohr Fig. 396 weist infolge des Umstandes, daß es in der Hauptsache aus nur 400 bis 500 mm langen Schüssen mit teilweise hohen Umflanschungen besteht, eine verhältnismäßig große Längselastizität auf. Gleichzeitig erleichtern die vielen Umflanschungen die Wärmeübertragung an den Kesselinhalt und die sichelförmigen Abstufungen bewirken ein Wirbeln der Heizgase, so daß der Effekt des Rohres ein guter ist, was durch die weite Verbreitung und die vielen Nachahmungen, die die Paucksch'sche Bauart gefunden hat, bestätigt worden ist.

D. Wellrohre.

Am besten wird den Forderungen einer wirksamen Versteifung bei gleichzeitiger guter Längselastizität durch

die Wellrohre entsprochen. Für die Berechnung kommt die über die ganze Länge des Rohres verteilte Versteifung dadurch zum Ausdruck, daß das Maß *l* in Gl. (15) gleich Null gesetzt wird und die Gleichung somit die Form

$$s = \frac{p \cdot d}{1200} + 2 \text{ mm} \quad (91)$$

annimmt, worin *d* den kleinsten inneren Flammrohrdurchmesser bedeutet.

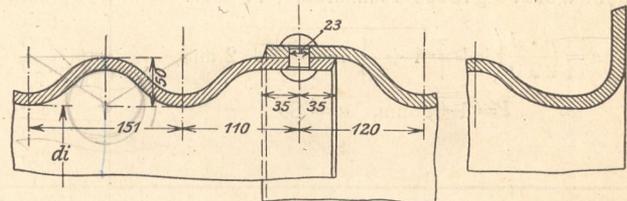


Fig. 397. Fox-Wellrohr.

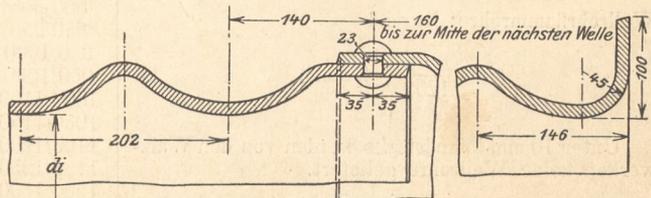


Fig. 398. Morison-Wellrohr.

Von den gezeichneten Profilen sind diejenigen von Fox und Morison (Fig. 397 und 398) etwa gleichwertig

und am meisten verbreitet. Das erstere hat eine etwas größere Längselastizität, bei dem zweiten soll die Reinigung von Schlamm und Kesselstein in den flacheren Wellen leichter erfolgen. Die Wahl des einen oder anderen Profils kann wohl als Geschmackssache angesehen werden. Bei beiden Rohren beträgt die gesamte Wellenhöhe 50 mm und die Heizfläche ist um $\frac{1}{7}$ größer als

für glatte und gewellte Flammrohre berechnet. Dabei ist zu berücksichtigen, daß das Rostrohr, infolge der größeren Beanspruchung, die es im Betriebe erfährt, um $\frac{1}{2}$ bis 1 mm stärker genommen werden sollte, als das andere Rohr bzw. als die Rechnung ergibt.

Die glatten Flammrohre werden zweckmäßig von einschließlich 770 mm Durchmesser bei 9 at, von 700 mm

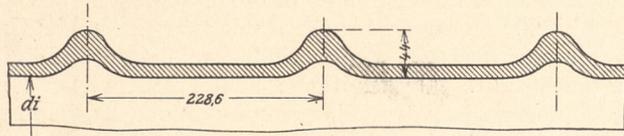


Fig. 399. Purves-Rohr.

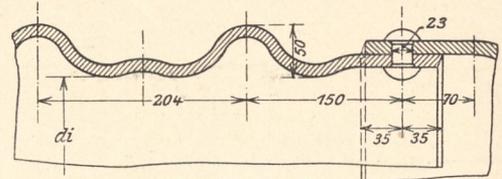


Fig. 400. Deighton-Wellrohr.

bei einem glatten Rohre von einer lichten Weite gleich dem mittleren Wellrohrdurchmesser.

Das Profil von Purves (Fig. 399) hat zwar genügende Steifheit gegen äußeren Druck, dagegen recht geringe Längselastizität.

Das Profil von Deighton (Fig. 400), welches früher in Deutschland von den Dillinger Hüttenwerken zu Dillingen a. d. Saar hergestellt wurde, hat etwa dieselben Eigenschaften wie die beiden zuerst genannten.

In folgender Zahlentafel Nr. 81 sind die Blechstärken

Durchmesser bei 10 at, von 650 mm Durchmesser bei 11 at und von 550 mm Durchmesser bei 12 at aufwärts in der Längsnaht geschweißt und in der Rundnaht auf Adamsonsche Art geflanscht bzw. versteift.

Die Wandstärke von geflanschten Rohren soll nicht unter 9 mm gewählt werden, da das Blech sonst am Umfang der Kremepe zu dünn wird, um sachgemäß versteift werden zu können.

Zahlentafel Nr. 81.

Blechstärken für die Ausführung von Flammrohren.

	Durchmesser mm.	Überdruck in at								
		7	8	9	10	11	12	13	14	15
Genietete glatte Flammrohre, liegend: $s = \frac{p \cdot d}{2400} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{a}{p} \cdot \frac{l}{l+d}} \right) + 2 \text{ mm,}$ für $l = 3000 \text{ mm, } a = 100.$	550	12,5	13	14	15	15,5	16,5			
	600	13	14	15	16	16,5				
	650	14	15	16	17					
	675	14,5	15,5	16,5	17					
	700	14,5	16	17						
	720	15	16	17						
	770	15,5	17							
	820	16,5	17,5							
	870	17	18,5							
	920	18	19,5							
Geschweißte glatte Flammrohre, liegend: $s = \frac{p \cdot d}{2400} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{a}{p} \cdot \frac{l}{l+d}} \right) + 2 \text{ mm,}$ $l = 1000 \text{ mm, } a = 80.$	550	9	9	9,5	10	10,5	11,5	12	12,5	13
	600	9	9,5	10	11	11,5	12	12,5	13	14
	650	9,5	10	11	11,5	12	12,5	13,5	14	14,5
	675	9,5	10,5	11	12	12,5	13	14	14,5	15
	700	10	10,5	11,5	12	13	13,5	14	15	15,5
	720	10	11	11,5	12,5	13	14	14,5	15	16
	770	10,5	11,5	12	13	13,5	14,5	15	16	16,5
	820	11	12	13	13,5	14,5	15	16	16,5	17,5
	870	11,5	12,5	13,5	14	15	16	17	17,5	18,5
	920	12	13	14	14,5	15,5	16,5	17,5	18	19
Wellrohrflammrohre; liegend $s = \frac{p \cdot d}{1200} + 2 \text{ mm}^1).$ Unter 10 mm Wandstärke werden von den Walzwerken keine Wellrohre geliefert.	700/800	10	10	10	10	10	10	10	10,5	11
	750/850	10	10	10	10	10	10	10	10,5	11
	800/900	10	10	10	10	10	10	10	11	11,5
	850/950	10	10	10	10	10	10	10,5	11,5	12
	900/1000	10	10	10	10	10,5	11	12	12,5	13,5
	950/1050	10	10	10	10	11	11,5	12,5	13,5	14
	1000/1100	10	10	10	10,5	11,5	12	13	14	14,5
	1050/1150	10	10	10	11	12	12,5	13,5	14,5	15,5
	1100/1200	10	10	10,5	11,5	12,5	13	14	15	16
	1150/1250	10	10	11	12	13	13,5	14,5	15,5	16,5
	1200/1300	10	10	11	12	13	14	15	16	17
	1250/1350	10	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	16	17	18
	1300/1400	10	11	12	13	14	15	16,5	17,5	18,5

¹⁾ Die Rostrohre sind um $\frac{1}{2}$ bis 1 mm stärker zu nehmen.

Zahlentafel Nr. 82.

Gewichte von Wellrohren in kg/lfd. m.

Innerer/äußerer Durchmesser mm	Mindestwandstärke mm	Gewicht für d. lfd. m kg
700/800	10	210
750/850	10	235
800/900	10	250
850/950	10	265
900/1000	10	280
950/1050	10	295
1000/1100	10,5	310
1050/1150	10,5	335
1100/1200	10,5	360
1150/1250	10,5	375
1200/1300	11	390
1250/1350	11	415
1300/1400	11,5	435

Für Schiffskessel gilt:

a) Für glatte und versteifte Rohre mit den Bezeichnungen von Gl. (90)

$$s = 0,00375 \sqrt{p \cdot d \cdot l}, \quad (92)$$

und wenn $\frac{p \cdot d}{l}$ größer als 5 ist,

$$s = \frac{p \cdot d}{1000} + \frac{l}{300}. \quad (92a)$$

Diese Formeln ergeben etwas geringere Wandstärken als Gl. (90).

b) Für Flammrohre nach dem Patent von Holmes¹⁾

$$s = \frac{p \cdot d}{1010} + 2 \text{ mm}. \quad (93)$$

Die Wellrohre werden vollkommen maschinell und ohne Rundschweißnaht in einer Länge bis zu 6 m hergestellt, so daß Flammrohre für Cornwallkessel nur eine oder bei mehr als 12 m Kessellänge höchstens zwei Rundnähte erhalten. Dadurch ist wenig Gelegenheit zu Undichtheiten geboten und die Herstellung der Kessel wird wesentlich verbilligt und beschleunigt. Zu beachten ist, daß Niet- oder Schweißnähte in Flammrohren niemals über dem Roste oder gar unmittelbar über der Feuerbrücke zu liegen kommen. Direkt über dem Feuer liegende Nietnähte geben unbedingt zu Störungen Anlaß, da die doppelte Blechstärke der Überlappung und die Nietköpfe den Wärmedurchgang an dieser Stelle ebenso vermindern, wie bei angestrengten Kesseln ein stärkerer Kesselsteinbelag oder Fettablagerungen Undichtheiten hervorrufen. Die Nietköpfe im direkten Feuer würden außerdem von der Flamme weggezehrt, weshalb auch die Rundnähte (Fig. 388) im Durchmesser so weit sind, daß die Nietköpfe vor der Flamme geschützt liegen.

Stemm kanten in Feuerrohren, überhaupt solche, die in hohen Temperaturen liegen, sind stets so anzuordnen, daß die Flamme nicht gegen dieselben stoßen kann. Die Längsschweißnähte der Feuerröhren — Rundschweißnähte sind tunlichst zu vermeiden — werden nach unten gelegt, wo sie durch Flugasche geschützt sind und wo sie, selbst wenn einmal das Rohr infolge Wassermangel usw. oben eingedrückt würde, keine größeren Beanspruchungen erleiden.

Bei stark beanspruchten Kesseln mit Flammrohren von großem Durchmesser werden diese häufig im Laufe der Zeit unrund infolge der Temperaturunterschiede, die im oberen und unteren Teile eines Flammrohres auftreten. Bei Kesseln mit Innenfeuerung ist dieser Temperaturunterschied vorn besonders groß, da auf dem oberen Teil des Flammrohres die Temperatur des Feuerungsraumes wirkt, während der untere Teil noch durch die zum Rost strömende Verbrennungsluft

¹⁾ Rohre nach Holmes sind ähnlich den Purves-Rohren, jedoch ohne die Verdickung in der Welle.

gekühlt wird. Infolge dieser verschiedenen Erwärmungen dehnt sich der obere Teil des Rohres mehr aus als der untere und hinterläßt dadurch nach dem Erkalten eine, wenn auch nur geringfügige Unrundung, die mit der Zeit bei abwechselndem Erwärmen und Erkalten zwar zunimmt, aber selten einen gefahrdrohenden Charakter zeigt. Erst wenn infolge von Kesselstein oder Fettablagerungen usw. Wärmestauungen hinzutreten, vergrößert sich die Unrundung oder es erfolgt Beulenbildung (Fig. 401).

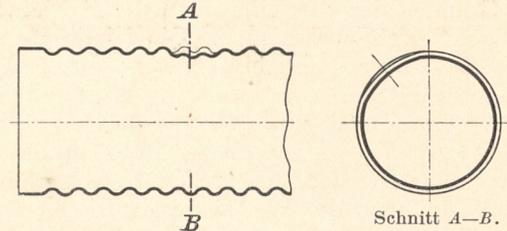


Fig. 401. Flammrohreinbeulung infolge Wärmestauung.

Ein Kennzeichen dafür, daß eine Einbeulung durch Isolierung¹⁾ des Bleches infolge Kesselstein oder Fettablagerung usw. und nicht durch Wassermangel stattgefunden hat, ist u. a. dadurch gegeben, daß derartige Beulen meist nicht an der höchsten Stelle, im Scheitel des Flammrohres, sondern mehr oder weniger seitlich entstehen. Ferner sind derartige Einbeulungen gewöhnlich nicht sehr tief, da die Überhitzung des Bleches langsamer als bei Wassermangel vor sich geht und dann löst sich bei Beginn des Eindrückens meist die Kruste, so daß das Wasser wieder Zugang zu den Blechen findet. Isolierungen gegen Wärmeübertragung finden nicht nur durch Einspeisen von Öl in den Kessel, sondern häufig auch durch fetthaltige Innenanstriche statt, die im Innern des Kessels zum Schutz gegen das Anhaften von Kesselstein aufgetragen werden, weshalb vor derartigen Anstrichen nicht genug gewarnt werden kann.

Größere Einbeulungen treten bei Wassermangel auf. Sie erfolgen am häufigsten im Scheitel der Flammrohre, da dann in der Regel nur dieser vom Wasser entblößt ist und das Rohr an seinem unteren und seitlichen Umfange noch vom Wasser gekühlt wird. In diesem Falle erstreckt sich die Einbeulung auch nur auf

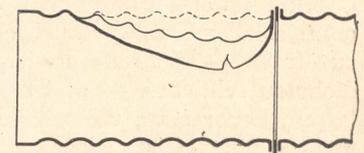


Fig. 402. Flammrohreinbeulung infolge Wassermangels.

den vorderen Teil des Flammrohres, da die Gase durch die verbleibende seitliche und untere wasserberührte Flammrohrheizfläche sehr bald so weit abgekühlt werden, daß der folgende Teil des Flammrohres im Scheitel weniger oder gar nicht mehr glühend wird. Die Einbeulungen sind daher um so länger und tiefer, je weniger die Rohre nach unten und seitlich noch gekühlt werden. Verschieden tiefe Einbeulungen der beiden Rohre in einem Zweiflammrohrkessel infolge Wassermangel kommen vor; sie deuten an, daß die Roste ungleich beschickt bzw. beansprucht wurden, daß also zur Zeit des Unfalles das eine Rohr eine größere Temperatur als das andere hatte.

Bei dem vorzüglichen Blechmaterial, wie es heute von den Walzwerken geliefert wird, kommt es bei derartigen Einbeulungen nur selten zu Ribbildungen, wenn nicht gerade das Rohr (Fig. 402) durch eine über dem Feuer liegende Versteifung am Nachgeben gehindert ist, oder sonstige ungünstige Momente vorliegen.

¹⁾ Siehe auch Knaudt, Z. Ver. deutsch. Ing. 1906. S. 1779.

Hierzu gehört auch das Verlegen einer Rundschweißnaht über den Rost bzw. in das vordere Ende eines Flammrohres. Eine überlappte Nietnaht wird bei tieferen Einbeulungen wohl undicht, sie reißt aber nicht so leicht auf wie eine Rundschweißnaht und ist deshalb für das Bedienungspersonal weniger gefährlich als letztere. Wenn daher bei Reparaturen eine Rundnaht in diesem Teile des Flammrohres nicht zu umgehen ist — bei neu zu konstruierenden Kesseln dürfte der Fall nie eintreten —, so ist aus Gründen der Betriebssicherheit die Nietnaht der Schweißnaht noch vorzuziehen. Die Nietköpfe sind in solchem Falle aber durch ein Gewölbe aus feuerfesten Steinen zu schützen.

Ein Wellrohr wird, wenn es eingedrückt wird, nicht so schnell aufreißen wie ein glattes Rohr, da die bei der Beulenbildung erforderliche stellenweise Verlängerung durch Geradeziehen der Wellen ausgeglichen wird.

Auf alle Fälle sind wesentliche Einbeulungen, wenn sie entdeckt werden, sofort zu beseitigen oder, wenn dieses mit einer hydraulischen Presse (Fig. 403) nicht mehr möglich ist, die Auswechslung des betreffenden Flammrohrschusses zu veranlassen.

Außerordentlich gefährlich ist es, bei eingetretenem Wassermangel sofort in den Kessel zu speisen, da dann die überhitzten Teile durch das kalte Wasser zu plötzlich

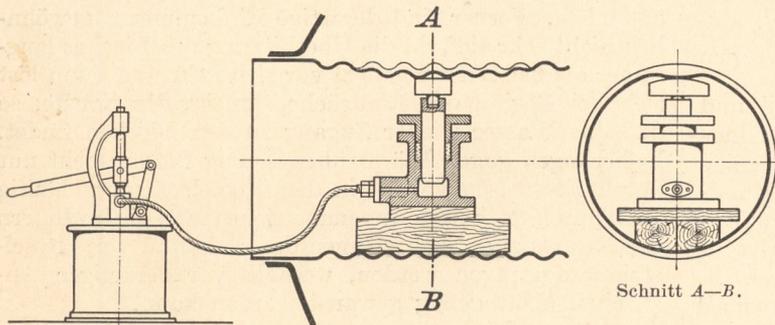


Fig. 403.

abgekühlt werden und leichter aufreißen. Am besten ist es in solchem Falle, Rauchschieber und Feuertüre voll zu öffnen — die Luftzuführungsklappe zum Rost aber dicht zu schließen — und erst den Kessel abkühlen zu lassen, bevor man, vorausgesetzt daß der Weiterbetrieb nicht gefährdet ist, wieder mit der Speisung beginnt.

Risse im vollen Blech.

Bei der Außerbetriebsetzung eines Flammrohrkessels ist vor der Entleerung die Flugasche aus den Feuerröhren zu entfernen und für genügende Erkaltung der einzelnen Kesselteile Sorge zu tragen. Andernfalls kann es vorkommen, daß durch die noch glühende Flugasche der untere Teil der Flammrohre zum Erglühen gebracht wird, während das Blech auf der anderen Seite nach dem Öffnen der Mannlöcher stark abkühlt; das Material wird dann schließlich bei fortgesetzter falscher Behandlung an dieser Stelle spröde und erhält, unterstützt durch die im Betriebe auftretenden Spannungen und Beanspruchungen, Risse.

5. Ebene Wandungen.

Ebene Wandungen sind ungünstiger beansprucht als zylindrische oder kugelförmige Wände, weil bei letzteren in der Regel nur Zugspannungen, bei jenen aber Biegungsspannungen auftreten. Sie werden deshalb im Kesselbau nur dort verwendet, wo aus konstruktiven Gründen zylin-

drische oder kugelförmige Wandungen unmöglich sind, also als Wände von Wasserkammern bei Wasserrohrkesseln, als Stirnwände bei Zylinderkesseln, als Rohrplatten und Seitenwände von Feuerkisten usw.

Bei manchen Kesseln ist der Grundsatz, ebene Wände und von außen gedrückte Rohre ganz auszuschließen, vollständig durchgeführt, z. B. beim Garbe-, Stirling-, Schulz-Kessel.

A. Ebene Platten.

Da ebene Platten von einiger Ausdehnung große Wandstärken erfordern würden, so entlastet man sie durch Stehbolzen oder Anker. Es braucht dann nur die Größe der zwischen den Angriffspunkten dieser Entlastungskonstruktionen liegenden Felder für die Berechnung der Plattendicke in Betracht gezogen zu werden.

Für die Berechnung gilt nach den „Bauvorschriften“:

1. Bezeichnet

s die Blechdicke in mm,

p den größten Betriebsüberdruck in at,

a den Abstand der Stehbolzen oder Anker innerhalb einer Reihe voneinander in mm,

b den Abstand der Stehbolzen- oder Ankerreihen voneinander in mm,

c einen Zahlenwert,

dann ist

$$s = c \sqrt{p(a^2 + b^2)}. \quad (94)$$

Hierin ist zu wählen:

$c = 0,017$ bei Platten, in welche die Stehbolzen oder Anker eingeschraubt und vernietet sind, und welche von den Heizgasen und vom Wasser berührt werden,

$c = 0,015$, wenn solche Platten nicht von den Heizgasen berührt werden,

$c = 0,0155$ bei Platten, in welche die Stehbolzen oder Anker eingeschraubt und außen mit Muttern oder gedrehten Köpfen versehen sind, und welche von den Heizgasen und vom Wasser berührt werden,

$c = 0,0135$, wenn solche Platten nicht von den Heizgasen berührt werden,

$c = 0,014$ bei Platten, welche durch Ankerröhren versteift sind.

2. Bei Platten, deren Anker mit Muttern und Verstärkungsscheiben versehen sind, ist in der Gl. (94)

$c = 0,013$, sofern der Durchmesser der äußeren Verstärkungsscheibe $\frac{2}{5}$ der Ankerentfernung und die Scheibendicke $\frac{2}{3}$ der Plattendicke,

$c = 0,012$, sofern der Durchmesser der äußeren Verstärkungsscheibe $\frac{3}{5}$ der Ankerentfernung und die Scheibendicke $\frac{5}{6}$ der Plattendicke,

$c = 0,011$, sofern der Durchmesser der äußeren Verstärkungsscheibe $\frac{4}{5}$ der Ankerentfernung, auch diese mit der Platte vernietet und die Scheibendicke gleich der Plattendicke ist,

und die Platten nicht vom Feuer berührt sind.

Werden sie dagegen auf der einen Seite von den Heizgasen, auf der anderen Seite vom Dampfe berührt, dann sind sie, falls sie nicht durch Flammbleche geschützt werden, um $\frac{1}{10}$ stärker zu nehmen, als die Rechnung ergibt.

Für Schiffskessel gilt außerdem:

Bei Platten, die nicht durch Stehbolzen oder Längsanker, sondern durch Eckanker oder in anderer Weise ausreichend versteift sind, ist in Gl. (94)

$c = 0,013$, sofern die Platten nicht von den Heizgasen berührt, $c = 0,014$, sofern sie einerseits von den Heizgasen, andererseits vom Dampf berührt werden.

Beispiel 25. Die Rückwand der Feuerkammer des Schiffszylinderkessels für 13 at Überdruck (Fig. 123) ist gegen den hinteren Boden durch Stehbolzen versteift (Fig. 404).

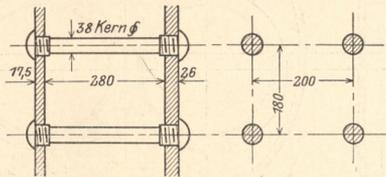


Fig. 404.

Da die Wand auf der linken Seite von Heizgasen berührt wird, ist $c = 0,017$, es ist also mit $a = 200$ und $b = 180$ mm nach Gl. (94)

$$s = 0,017 \sqrt{13(200^2 + 180^2)} = 16,5 \text{ mm,}$$

ausgeführt wurde $s = 17,5$ mm.

Beispiel 26. Für denselben Schiffskessel soll die Stärke der Bodenbleche berechnet werden. Die Böden bestehen des großen

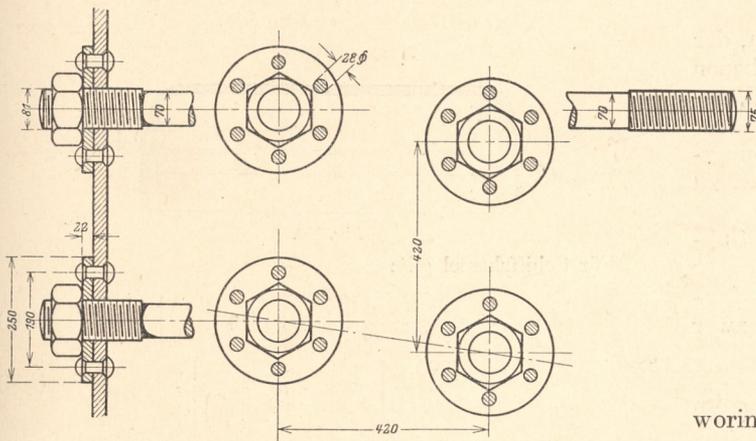


Fig. 405.

Durchmessers wegen aus 2 Teilen. Die obere Hälfte wird nach Fig. 405 durch Ankerschrauben versteift. Mit $a = b = 420$ mm und $c = 0,012$ ist nach Gl. (94)

$$s = 0,012 \sqrt{13(420^2 + 420^2)} = 25,8 \text{ mm,}$$

ausgeführt ist $s = 26$ mm.

Der Durchmesser der Unterlagscheibe ist zu $\frac{3}{8} \cdot 420 \sim 250$ mm, die Stärke derselben zu $\frac{3}{8} \cdot 26 \sim 22$ mm zu nehmen.

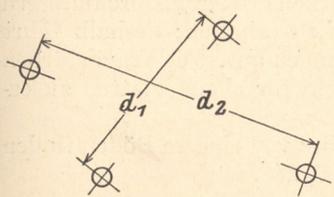


Fig. 406.

3. Bei unregelmäßig verteilten Verankerungen wie in Fig. 406 ist

$$s = c \cdot \frac{1}{2} (d_1 + d_2) \sqrt{p}. \quad (95)$$

Der Wert von c ist je nach der Art der Verankerung aus Ziffer 1 oder 2 dieses Abschnittes zu entnehmen.

Für Schiffskessel gilt:

Ist bei Feuerbüchsen die Decke nicht durch Anker oder in anderer Weise mit dem Kesselmantel verbunden, sondern durch Bügel- oder Deckenträger, welche auf den Rändern der Rohrplatten stehen, unterstützt, dann darf die Dicke der Rohrwand nicht geringer sein als

$$s = \frac{p \cdot w \cdot b}{1900(b - d)}, \quad (96)$$

worin

- w die Weite der Feuerkammer in mm,
- b die Entfernung der Rohre voneinander, von Mitte zu Mitte gemessen, in mm,
- d den inneren Durchmesser der glatten Rohre in mm bedeuten.

Wenn alle Rohre der obersten Reihe Ankerrohre sind, gilt als d das arithmetische Mittel aus dem inneren Durchmesser der glatten Heizrohre und demjenigen der Ankerrohre.

Für die Berechnung der Blechdicke s der ebenen Wände zwischen den Heizrohrbündeln gilt die Formel:

$$s = c_1 \cdot l \sqrt{p}, \quad (97)$$

worin

l den horizontalen Abstand der begrenzenden Rohrreihen voneinander, gemessen von Mittelpunkt zu Mittelpunkt, in mm,

$c_1 = 0,0215$, wenn in den begrenzenden Rohrreihen jedes dritte Rohr ein Ankerrohr ist,

$c_1 = 0,020$, wenn in den begrenzenden Rohrreihen jedes zweite Rohr ein Ankerrohr ist,

$c_1 = 0,0185$, wenn in den begrenzenden Rohrreihen jedes Rohr ein Ankerrohr ist,

bedeuten.

Beispiel 27. Für den Schiffskessel von Beispiel 25 soll die Wandstärke der unteren Hälfte des hinteren Bodens berechnet werden; dieselbe ist, wie Fig. 407 zeigt, mit einem Anker gegen den Vorderboden und mit Stehbolzenschrauben gegen die Feuerkammerwand versteift; daher $c = 0,0155$.

Nach Gl. (95) ist

$$s = 0,0155 \cdot \frac{1}{2} (500 + 380) \sqrt{13} = 23,6 \text{ mm.}$$

Ausgeführt wurde $s = 26$ mm, wie bei der oberen Bodenhälfte.

4. Für Verstärkungen nicht dem ersten Feuer ausgesetzter ebener Platten durch Doppelungsplatten können $12\frac{1}{2}$ v. H. von den für die ebenen Platten sich ergebenden Blechdicken in Abzug gebracht werden, wenn die Dicke der Doppelungsplatten mindestens $\frac{2}{3}$ der berechneten Blechdicke beträgt und die Doppelungen gut mit den Platten vernietet sind.

5. Rechteckige Platten, die am Umfange befestigt sind, erhalten die Wanddicke

$$s = 0,053 b \sqrt{\frac{p}{k_z \left[1 + \left(\frac{b}{a} \right)^2 \right]}}, \quad (98)$$

worin

s die Wanddicke in mm,

a die größere Rechteckseite in mm,

b „ kleinere „ „ „ „

p den größten Betriebsüberdruck in at,

k_z die zulässige Zugbeanspruchung des Materials in kg/qmm, wofür bis $\frac{1}{4}$ der rechnermäßigen Zugfestigkeit eingeführt werden kann,

bedeuten.

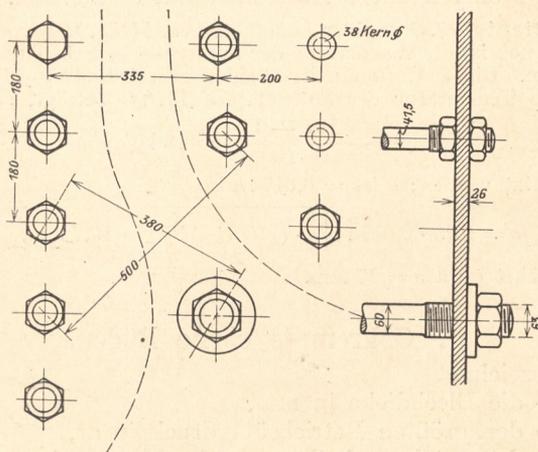
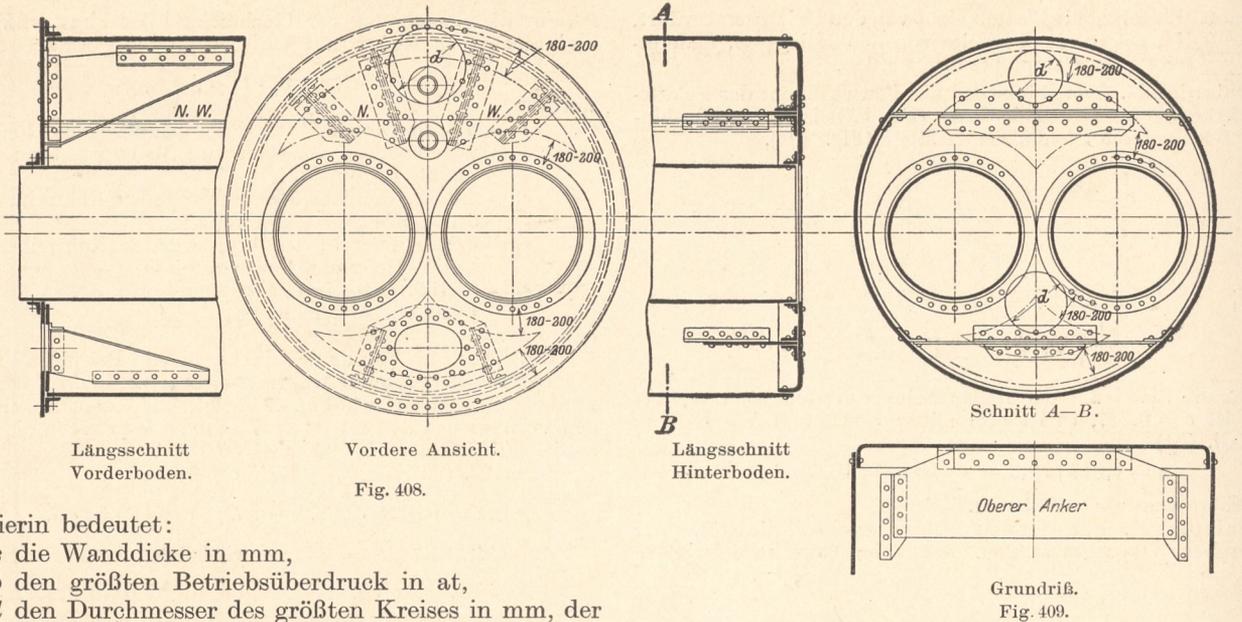


Fig. 407.

6. Bei Platten, die nicht durch Stehbolzen oder Längsanker, sondern durch Eckanker oder in anderer Weise ausreichend unterstützt werden, ist die Wanddicke nach

$$s = 0,017 d \sqrt{p} \quad (99)$$

zu bemessen, sofern nicht nachgewiesen wird, daß eine geringere Wanddicke zulässig ist.



Hierin bedeutet:
s die Wanddicke in mm,
p den größten Betriebsüberdruck in at,
d den Durchmesser des größten Kreises in mm, der nach Maßgabe der Fig. 408 und 409 auf der ebenen Platte, durch die Befestigungsstellen gehend; beschrieben werden kann.

Werden keine Angaben über das Maß des Krepungshalbmessers der Stirnplatten gemacht, so ist dieses zu 50 mm anzunehmen.

7. Vorstehende Ausführungen gelten nur für flußeiserne Wandungen.

Durch Stehbolzen oder Anker unterstützte Kupferplatten erhalten die folgenden Wanddicken, und zwar bei regelmäßig verteilten Verankerungen:

$$s = 5,83 c \sqrt{\frac{p}{K} (a^2 + b^2)}, \quad (100)$$

bei unregelmäßig verteilten Verankerungen (wie in Fig. 406):

$$s = 5,83 c \frac{1}{2} (d_1 + d_2) \sqrt{\frac{p}{K}}. \quad (101)$$

Die Werte von *K* (Zugfestigkeit des Kupfers) sind nach S. 264, von *c* je nach der Art der Verankerung aus Ziffer 1 oder 2 dieses Abschnittes zu entnehmen.

Beispiel 28. Für einen Lokomotivkessel (Fig. 120) von 14 at Überdruck ist die Wandstärke der kupfernen Feuerbüchse zu berechnen. Die Entfernung der Stehbolzen sei *a* = *b* = 110 mm. Da die Temperatur des Sattedampfes 197 °C beträgt, so darf

$$K_z = 22 - \frac{197 - 120}{20} \approx 18 \text{ kg/qmm}$$

eingesetzt werden; *c* ist = 0,017, also

$$s = 5,83 \cdot 0,017 \sqrt{\frac{14}{18} \cdot (110^2 + 110^2)} = 13,7 \text{ mm,}$$

ausgeführt etwa *s* = 17 mm.

B. Gekrempfte ebene Böden.

Bezeichnet

- s* die Blechdicke in mm,
- p* den größten Betriebsüberdruck in at,
- r* den Wölbungshalbmesser der Kreppe in mm,
- d* den inneren Durchmesser des Bodens in mm,

dann ist

$$s = \frac{1}{98} \left[d - r \left(1 + \frac{2r}{d} \right) \right] \sqrt{p} \quad (102)$$

oder

$$p = 9600 \left[\frac{s}{d - r \left(1 + \frac{2r}{d} \right)} \right]^2. \quad (103)$$

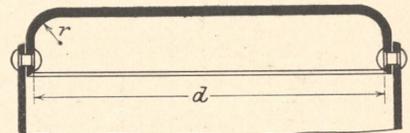


Fig. 410.

Für Schiffskessel gilt:

$$s = \sqrt{\frac{3}{800} \frac{p}{K} \left[d - r \left(1 + \frac{2r}{d} \right) \right]} \quad (104)$$

oder

$$p = \frac{800}{3} K \left[\frac{s}{d - r \left(1 + \frac{2r}{d} \right)} \right]^2, \quad (105)$$

worin *K* die Zugfestigkeit des Materials in kg/qmm bedeutet. Beispiel 29. Für einen ebenen Boden von *d* = 600 mm Durchmesser und *r* = 50 mm Wölbungshalbmesser bei *p* = 10 at Überdruck erhält man nach Gl. (102)

$$s = 17,5 \text{ mm;}$$

nach Gl. (104) erhält man für *K* = 36 kg/qmm ebenfalls

$$s = 17,5 \text{ mm,}$$

für *K* = 42 kg/qmm

$$s = 15,8 \text{ mm.}$$

Ebene Böden von beträchtlich größeren Durchmessern müßten zu große Wandstärken erhalten; deshalb führt man solche nur mit Versteifungen aus. Die Wandstärken sind alsdann nach den Regeln für ebene Platten zu ermitteln.

Abmessungen und Gewichte von ebenen Böden finden sich in Zahlentafel Nr. 84, S. 288.

C. Rohrplatten von Heizrohrkesseln.

1. Die außerhalb des Rohrbündels liegenden Teile der Rohrplatte müssen nach den für ebene Wandungen geltenden Bestimmungen [Gl. (94), (95), (98), (99), (100), (101)] verankert werden, falls die Größe der dem Dampfdruck ausgesetzten Fläche die Verankerung fordert.

2. Die innerhalb des Rohrbündels liegenden Teile der Rohrplatte sind wie folgt zu bemessen:

a) bei Verwendung besonderer Anker oder mit Gewinde eingesetzter Ankerrohre¹⁾ sind die Gl. (94), (95), (100) oder (101) anzuwenden. Die Rohre können in diesem

¹⁾ Rohre, auch solche mit stärkerer Wandung, die in im Rohrboden eingefräste Rillen eingewalzt sind, gelten nach den neuen Bauvorschriften von 1908 nicht mehr als Ankerrohre. Ankerrohre sind demnach stets mit Gewinde einzusetzen.

Falle einfach aufgewalzt sein, jedoch darf die Wandstärke der sicheren Befestigung der Rohre halber, bei Flußeisenplatten

nicht unter $s = 5 + \frac{d}{8}$ für $d = 38$ bis etwa rund 100 mm, bei Kupferplatten

nicht unter $s = 10 + \frac{d}{5}$ für $d = 38$ bis etwa rund 75 mm

gewählt werden, worin d den äußeren Rohrdurchmesser an der Befestigungsstelle in mm bedeutet; ferner muß der Mindestquerschnitt des Steges zwischen zwei Rohrlöchern betragen, bei Flußeisenplatten

180 qmm für $d = 38$ mm,

zunehmend auf etwa das 2,5fache für $d =$ rund 100 mm,

bei Kupferplatten

340 qmm für $d = 38$ mm,

zunehmend auf etwa das 2,5fache für $d =$ rund 75 mm.

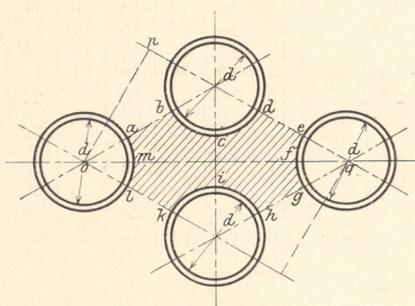


Fig. 411.

b) Bei nicht besonders verankerten Rohrwänden, deren Rohre jedoch beiderseits umgebörtelt oder in kegelförmig sich nach außen erweiternden Löchern eingewalzt sind, ist Sicherheit gegen Herausziehen der Rohrenden zu erwarten, wenn die auf 1 cm Rohrumfang entfallende Belastung

$$\sigma = \frac{p \cdot \text{Fläche } abcdefghijklm}{\pi \cdot d} \quad (106)$$

den Betrag von 25 kg nicht überschreitet, sachgemäße Ausführung vorausgesetzt.

Bei nicht besonders verankerten Rohrwänden, deren Rohre in zylindrischen Löchern glatt eingewalzt sind, ist bei einer Beanspruchung bis zu 7 at Betriebsüberdruck gleichfalls der Betrag $\sigma = 25$ als zulässig zu erachten. Bei höheren Dampfspannungen darf jedoch σ den Betrag von 15 kg nicht überschreiten.

Wenn σ diese Beträge nicht überschreitet, bedarf es einer Berechnung des durch den Dampfdruck beanspruchten kleinen Feldes $abcdefghijklm$ nicht, sofern die in Ziffer a mit Rücksicht auf sichere Befestigung der Rohre geforderten Mindeststärken vorhanden sind.

In zweifelhaften Fällen kann dahingehende Prüfung durch die Gleichung

$$p = 360 \left(1 - 0,7 \frac{d}{e} \right) \left(\frac{s}{e} \right)^2 k_b \quad (107)$$

stattfinden. Hierin bedeuten

s die Plattendicke in mm,

p den größten Betriebsüberdruck in at,

d den äußeren Rohrdurchmesser an der Befestigungsstelle in mm,

e die Seite des quadratischen Feldes in mm, welches durch die vier unterstützenden Rohre gebildet wird, oder das arithmetische Mittel aus den Seiten

des Rechtecks, welches durch die vier Rohre bestimmt erscheint (in Fig. 411 $e = \frac{op + pq}{2}$),

k_b die eintretende Biegungsanstrengung des Plattenmaterials in kg/qmm, die bis zur Höhe $= \frac{\text{Zugfestigkeit}}{4,5}$ zulässig erscheint.

Wird die Beanspruchung nach Gl. (107) zu groß, oder überschreitet σ die vorgeschriebenen Werte, so sind Anker oder Ankerrohre anzuordnen.

Insbesondere sind Randrohre darauf zu prüfen, ob ihre Belastung innerhalb der als zulässig bezeichneten Grenzen bleibt; im verneinenden Falle ist ein Teil von ihnen nach Gl. (94) als Ankerrohre auszubilden oder sonstige Verankerungen anzuordnen.

2. Ist bei Feuerbüchsen die Decke nicht durch Anker oder in anderer Weise mit dem Kesselmantel verbunden, sondern durch Bügel- oder Deckenträger, welche auf den Rändern der Rohrplatten stehen, unterstützt, dann darf die Dicke der Rohrwand nicht geringer sein als

$$s = \frac{p \cdot w \cdot b}{1900 \cdot (b - d)}, \quad (108)$$

worin

w die Weite der Feuerbüchse in mm (s. Fig. 437),

b die Entfernung der Rohre voneinander, von Mitte zu Mitte gemessen, in mm,

d den inneren Durchmesser der Rohre in mm bedeuten.

Beispiel 30.

Für den Oberkessel nach Fig. 48 ist die Stärke der Rohrwand für $p = 13$ at Überdruck zu berechnen. Die Verteilung der 126 Rohre von 95 mm äußerem Durchmesser, von denen 18 Ankerrohre sind, zeigt nebenstehende Fig. 412. Da der Boden in seinem oberen und unteren Teil gewölbt, im oberen auch noch durch Anker versteift ist, kommen die Flächen f_a und f_b zwischen den Ankerrohren in Betracht (Fig. 412), welche nach Gl. (94) bzw. (95) mit $c = 0,014$ zu berechnen sind.

Für Fläche f_a ist $d_1 = d_2 = 520$ mm, also

$$s = 0,014 \cdot \frac{1}{2} (520 + 520) \sqrt{13} = 26,3 \text{ mm.}$$

Für Fläche f_b ergibt dagegen sich mit $a = 390$ und $b = 420$ mm,

$$s = 0,014 \sqrt{13} (390^2 + 420^2) = 28,9 \text{ mm.}$$

Der Stegquerschnitt ist gleich $(130 - 98) \cdot 28 = 896$ qmm, während nur erforderlich wären $180 \cdot 2,5 = 450$ qmm.

Beispiel 31. Ein Lokomotivkessel für $p = 14$ at Überdruck hat Siederöhren von 50/55 mm Durchmesser, welche in der kupfernen Feuerbüchsenrohrwand auf 52 mm eingezogen und in der flußeisernen Rauchkammerrohrwand auf 58 mm aufgeweitet sind. Die Rohre sind in beiden Wänden eingewalzt, ihre Enden umgebörtelt. Die Rohrverteilung zeigt Fig. 413. Die Stärke beider Wände beträgt 28 mm.

Es ist nun für die kupferne Rohrwand entsprechend dem Rohrdurchmesser von 52 mm ein Mindestquerschnitt des Steges von $1,57 \cdot 340 = 533$ qmm erforderlich.

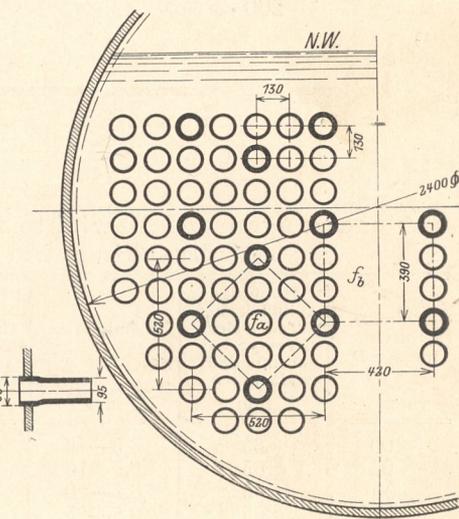


Fig. 412.

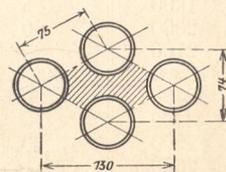


Fig. 413.