

Fig. 393.

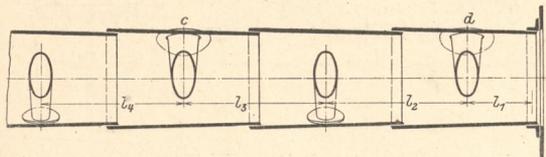


Fig. 394.

bei der Rohrstrecke *c*

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

bei der Rohrstrecke *d*

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

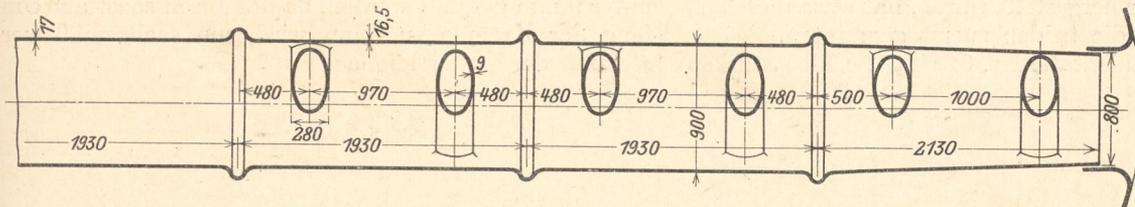


Fig. 395. Flammrohr mit Pommé-Wellen und eingeschweißten Quersiedern.

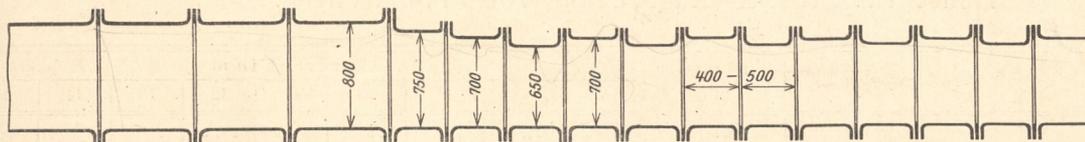


Fig. 396. Pauckschsches Stufenrohr

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 eingietet, 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 Pauckschsche 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 Pauckschsche 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.

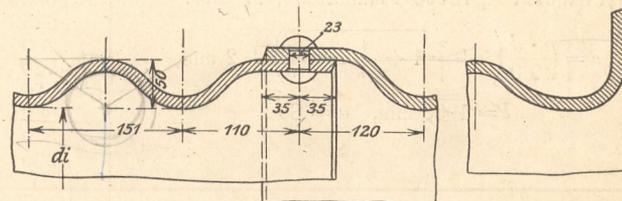


Fig. 397. Fox-Wellrohr.

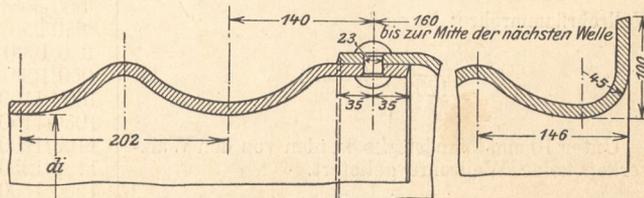


Fig. 398. Morison-Wellrohr.

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

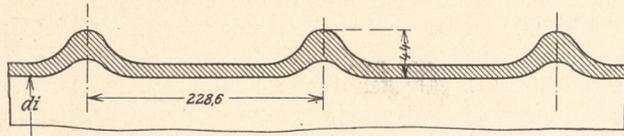


Fig. 399. Purves-Rohr.

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

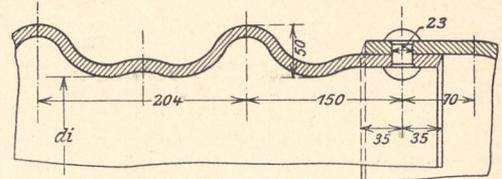


Fig. 400. Deighton-Wellrohr.

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 verstemmt 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	11,5
	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/lf. 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).

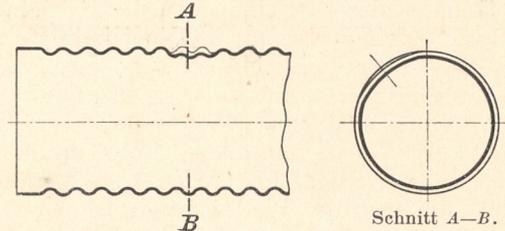


Fig. 401. Flammrohreinbeulung infolge Wärmestauung.

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 Umfang noch vom Wasser gekühlt wird. In diesem Falle erstreckt sich die Einbeulung auch nur auf

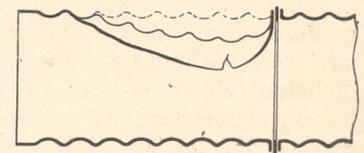


Fig. 402. Flammrohreinbeulung infolge Wassermangels.

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

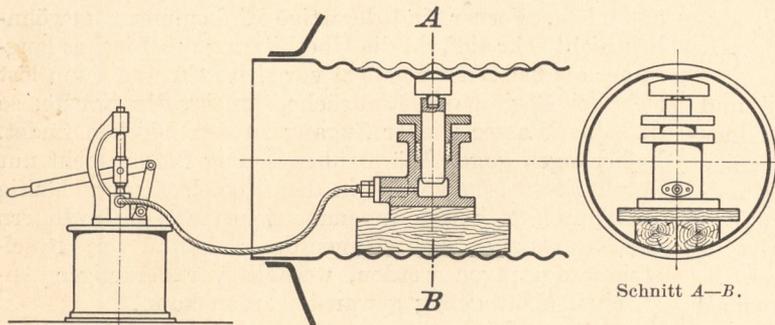


Fig. 403.

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)