

Elementen bestehende Zellenkessel. Die Streitfrage, ob die Gehäusekessel oder die Zellenkessel den Vorzug verdienen, ist noch nicht völlig ausgefochten. Für die letzteren wird angeführt, dass sie weit weniger Explosionsgefahr in sich schliessen, als die Gehäusekessel mit ihrem grösseren Wasserinhalt; auch macht man für sie eine sehr starke Verdampfungsfähigkeit geltend. Der letztere angebliche Vorzug wird aber von der anderen Seite stark bestritten, weil der Dampf in den Zellenkesseln sehr viel Wasser mitreisse.

In den neuesten preussischen Polizeiverordnungen werden, ähnlich wie in schon bestehenden österreichischen, die „Zwergkessel“ von den gewöhnlichen Kesseln unterschieden. Dies sind Kessel von kleiner Räumte (weniger als $\frac{1}{2}$ kbm), welche mit Vorzug als Zellenkessel, oder doch solchen ähnlich, ausgeführt werden und namentlich der Kleinindustrie dienen.

§. 360.

Dampfkesseltheile mit innerem Druck.

Die Wände der Dampfkessel sind je nach der Bauart der letzteren einer oft sehr verwickelten Beanspruchung unterworfen, deren Verfolgung in jedem einzelnen Falle recht weit führen kann. Hier gehen wir bloss auf einige ganz allgemeine Arten der Beanspruchung ein, zunächst die durch inneren Druck.

a) **Cylindrische Kesseltheile.** Die preussische Dampfkesselverordnung schrieb früher für cylindrische, von innen mit a at Ueberdruck gepresste Kesseltheile folgende, die sog. Brix'sche Formel vor:

$$\delta = \frac{D}{2} (e^{0,003 a} - 1) + 0,01 \quad (388)$$

worin δ und D in preuss. Zoll gemeint sind. Sie wird sehr genau angenähert durch die einfachere des Verfassers:

$$\delta = 1,54 a D + 2,6 \quad (389)$$

worin δ in mm, D in m zu verstehen ist; die französische Vorschrift verlangte etwas grössere Wanddicken nach der Formel:

$$\delta = 1,8 n D + 3 \quad (390)$$

von welchem Werth für Lokomotiven nur $\frac{2}{3}$ gefordert wurden. Alle drei Formeln sind wegen der grossen Zugabe für Abnützung

als empirische zu betrachten. Jetzt haben die meisten Staatsregierungen das Vorschreiben der Kesselwanddicke fallen gelassen, indem anderweitige gesetzliche Bestimmungen den Erbauer des Kessels für geeignete Wahl der Abmessungen verantwortlich machen. Es wird hauptsächlich nur gefordert, dass der Kessel einem Probedruck, der bis zum Zweifachen der Gebrauchsspannung geht, gut widerstehe.

Ein cylindrischer Kesselmantel erfährt in den Längsschnitten eine Spannung, welche genügend genau durch Formel (324) ausgedrückt wird:

$$\mathfrak{S} = \frac{p}{2} \frac{D}{\delta} = \frac{a}{200} \frac{D}{\delta} \dots \dots \dots (391)$$

wobei D in mm. Berechnet man hiernach \mathfrak{S} in den nach (389) berechneten Blechen, so erhält man folgende Ergebnisse.

$a =$	4		7		10		13	
D	δ	\mathfrak{S}	δ	\mathfrak{S}	δ	\mathfrak{S}	δ	\mathfrak{S}
600	6,3	1,9	9,1	2,31	11,8	2,54	14,6	2,67
800	7,5	2,13	11,2	2,50	14,9	2,70	18,6	2,80
1000	8,8	2,27	13,4	2,61	18,0	2,78	22,6	2,87
1500	11,8	2,54	18,8	2,79	25,7	2,92	32,6	2,99
2000	14,9	2,68	24,2	2,89	33,4	2,99	42,6	3,06

Die sich hier zeigenden Wanddicken sind für grössere Weiten und Dampfspannungen sehr gross, die Materialspannungen recht klein. Allerdings treten in den Nietnäthen stärkere Spannungen auf, nämlich nach §. 59 im durchlochtem Blech:

bei der einfachen Nietung die Spannung $\mathfrak{S}' = \mathfrak{S} : \varphi'$ }
 bei der doppelten Nietung die Spannung $\mathfrak{S}'_2 = \mathfrak{S} : \varphi'_2$ } (392)

wobei φ' für die Nietdicke d und die Nietweite a den Werth $(a - d) : \bar{a}$ und φ'_2 denjenigen $(a_2 - d) : a_2$ hat. Aber auch diese Spannungen bleiben noch unterhalb solcher Werthe, welche bei gutem Eisenblech als statthaft angesehen werden dürfen. Die Kesselerbauer nehmen daher jetzt oftmals δ kleiner, als (389) angibt, insbesondere wenn sie den jetzt in so hoher Vollkommenheit hergestellten weichen Stahl für die Bleche benutzen.

Die Materialspannung, welche in den Nietquerschnitten entsteht, ist gemäss §. 59 noch grösser als die im durchlochtem Blech. Indessen wird dies von tüchtigen Fabrikanten dadurch ausgeglichen, dass sie zu den Nieten Rundeisen* von ganz besonderer Güte (z. B. gewisse Eifeler Eisensorten) wählen, welche eine weit höhere Beanspruchung vertragen, als namentlich die Eisenbleche.

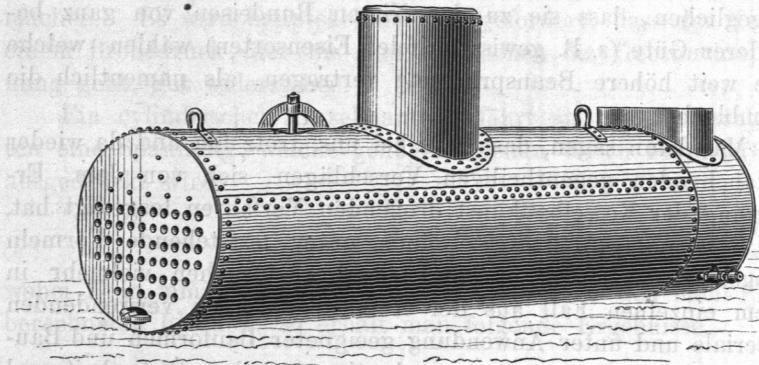
Man kann sagen, dass man bei uns, trotz hie und da wieder auftauchenden gegentheiligen Vorschlägen, sich von dem, Erstarrung der Kesselbaukunst drohenden Verfahren losgesagt hat, die Berechnung der Kesselwände unter feststehende Formeln bringen zu wollen. Sorgfältige Entwerfer suchen vielmehr in jedem einzelnen Fall aus der Kenntniss des zu verwendenden Materials und unter Anwendung geeigneter Bauformen und Bauweisen die Abmessungen so zu bestimmen, dass Sicherheit und Sparsamkeit gleichzeitig Berücksichtigung finden. Die neueren Anforderungen an die Ozeandampfer drängen zu Weiten des Kesselmantels bis zu 5 m und darüber, bei Dampfspannungen von 15 bis 18 at Ueberdruck. Hier könnte man mit den alten Verordnungsformeln nichts erreichen, muss vielmehr alle Kunst aufbieten, mit Blechen auszureichen, die sich noch nieten lassen. Hierbei können denn auch die verjüngten Nietungen (§. 57) Anwendung finden und werden theilweise schon benutzt.

Längsnäthe. Zunächst wird wegen des Vorstehenden bei allen grösseren Dampfkesseln für die Längsnäthe jetzt die doppelte Nietung angewandt. Sie hat bei $\delta = 8$ mm und darüber einen Kraftmodul $\varphi_2' = 0,76$ bis $0,73$, was einem Verhältniss von $\mathfrak{S}_2' : \mathfrak{S}$ von 1,32 bis 1,37 entspricht. Sodann sucht man mehr und mehr so zu bauen, dass diese Näthe auch nicht dem ersten Feuer ausgesetzt sind. Eine dies erzielende Bauart ist die in Fig. 1115 (a. f. S.) dargestellte, bei welcher der Kesselmantel aus nur zwei Blechen besteht, von denen das untere gegen $\frac{3}{5}$ des Mantelumfanges umfasst*).

*) Kessel dieser Bauart sind in den Ver. Staaten im Gebrauch; geliefert werden sie u. a. von der Erie City Iron Works, Erie Pa. Der dargestellte Kessel rührt ebendaher, vgl. Transactions of the Am. Soc. of Mech. Engineers 1884/85 (Bd. VI), S. 110: Scheffler, A new method of constructing horizontal tubular boilers. Der Kessel, der erste so gebaute, hat 16' oder ~ 5 m Länge und 60" oder ~ 1525 mm Weite bei $\frac{3}{8}$ " oder ~ 10 mm Wanddicke; Material der Bleche weicher Stahl von 42 kg Zerreiassungs-

Eine andere, sehr beachtenswerthe Bauweise ist die, die Längsnäthe zu schweissen, ein Verfahren, zu welchem man für

Fig. 1115.



grosse Kessel bei uns mehr und mehr übergeht. Das Schweißen geschieht entweder vor dem Schmiedefeuere oder vor dem Wasser-gasbrenner*); ganz voll entwickelt ist das Verfahren heute noch nicht.

Beispiel. Fig. 1116 stellt den Querschnitt des Mantels eines neueren Schiffskessels, gefertigt in Hamburg auf der Werft von H. C. Stülken**), dar, dessen zwei Längsnäthe geschweisst sind; beide Näthe sind indessen der Sicherheit wegen noch mit zweireihig aufgenieteten Laschen belegt, welche wegen der erforderlichen Durchlochung der Bleche nicht deren vollen Querschnitt zur Wirkung gelangen lassen. Immerhin ist die Nath eine vollkommener als die überblattete und bedarf keiner Stemmung. Die Dampfspannung beträgt 12 at Ueberdruck. Hierfür berechnen sich die Spannungen in der Kesselwand wie folgt. Der Mantel hat 1944 mm Weite und 22 mm Wanddicke. Dies gibt nach (391) $\mathcal{E} = (12 : 200) (1944 : 22) = 5,30$. In den doppelten Nietreihen der beiden Laschen ist $a_2 = 74$, $d = 22$. Damit erhält man den Kraftmodul $\varphi_2' = (74 - 22) : 74 = 0,7$ ***), also die Spannung \mathcal{E}_2' im durchlochtem Blech in den Längsnäthen = $5,30 : 0,7 = 7,57$ kg. Die ehemalige preussische Formel würde statt 22 mm Wanddicke $\delta = 1,54 \cdot 12 \cdot 1,944 + 2,6 = 35,9$ mm verlangt haben.

modul und 21 kg Tragmodul. Die anfänglichen Schwierigkeiten waren recht gross. Das Walzwerk, welches die Stahlplatten lieferte, wandte stählerne Walzen von 9' Länge und 31" Dicke an; das Blechbiegework hatte (hohle) Walzen von $16\frac{1}{3}'$ Länge und 14" Durchmesser.

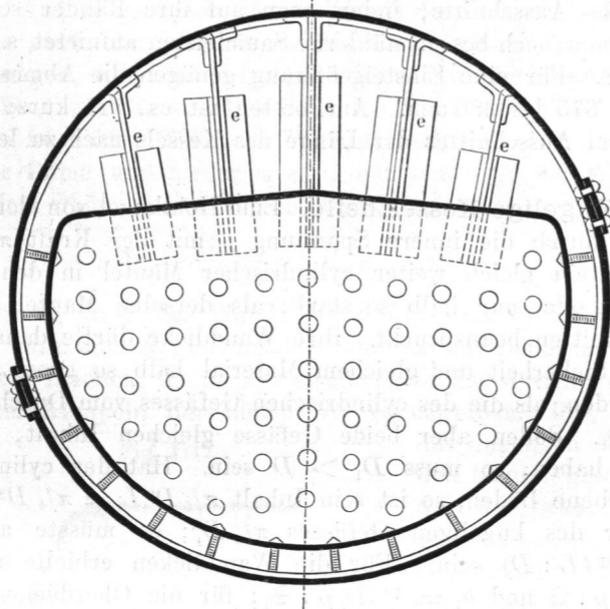
*) Oder neuerdings versuchsweise nach dem Bernados'schen Verfahren der elektrischen Löthung, deren Einführung in die Eisentechnik indessen erst begonnen hat.

**) Z. D. Ingenieure 1886, S. 109: Meyer, Dreifach-Expansions-Schraubenschiffsmaschine.

***) Nach Formel (57) §. 58 könnte genommen werden $a_2 = 20 + 3 \cdot 22 = 86$, woraus sich ergeben würde: $\varphi_2' = (86 - 22) : 86 = 0,74$, $\mathcal{E}_2 = 7,16$ kg.

Als eine dritte, erst in Aussicht zu nehmende Methode wäre diejenige anzusehen, den Kesselmantel nach dem Mannesmann'schen Verfahren völlig nathfrei aus weichem Stahl herzustellen.

Fig. 1116.



Damit würde die höchste Vollkommenheit der Bauweise des Kesselmantels erreicht sein, indem die Berücksichtigung des Kraftmoduls der Nietung ganz wegfiel, auch die Spannung \mathfrak{S} selbst wegen der hohen Elastizitätsgrenze des Stahls wesentlich gesteigert werden dürfte. Zur Zeit aber sind die Rohrwalzwerke Mannesmann'scher Art erst auf Durchmesser bis zu 600 mm eingerichtet.

Quernäthe. Die Querschnitte des Kesselmantels sind, wenn derselbe mit den Böden fest verbunden ist, mit der Kraft $\pi/4 D^2 p = \mathfrak{S}_2 \pi D \delta$ belastet, woraus sich $\mathfrak{S}_2 = 1/4 p D : \delta$, d. i. halb so gross als die Spannung \mathfrak{S} in den Längsschnitten ergibt. Man braucht deshalb die Quernäthe nur mit einfacher Nietung herzustellen. Weiter unten (s. Anm. S. 1082) wird sich noch zeigen, dass man die Querschnitte des Mantels auch ganz entlasten kann.

Wandausschnitte. Die für die Mannlöcher und Dome im Kesselmantel anzubringenden Ausschnitte schwächen denselben erheblich, was sich auch bei einzelnen Kesselexplosionen gezeigt hat, wo strahlenförmig vom Mannloch aus Risse entstanden waren. Man verstärkt deshalb jetzt mit besonderer Sorgfalt solche Ausschnitte, indem man auf ihre Ränder schmiedeiserne, oder noch besser stählerne Saumleisten aufnietet, s. unten, Fig. 1118. Für eine Einsteigeöffnung genügen die Abmessungen 300 auf 375 bis 380 mm. Am besten ist es, die kurze Achse des ovalen Ausschnittes der Länge des Kessels nach zu legen.

b) Kugelige Kesseltheile. Eine Hohlkugel von der Weite D_1 wird durch die innere Spannung p mit der Kraft $\pi/4 D_1^2 p$, d. i. wie ein gleich weiter cylindrischer Mantel in den Querschnitten, oder nur halb so stark, als derselbe Mantel in den Längsschnitten beansprucht. Ihre Wanddicke dürfte danach bei gleicher Sicherheit und gleichem Material halb so gross genommen werden, als die des cylindrischen Gefässes vom Durchmesser $D = D_1$. Sollen aber beide Gefässe gleichen Inhalt, gleiche Räume haben, so muss $D_1 > D$ sein. Hat das cylindrische Gefäss ebene Böden, so ist sein Inhalt $\pi/4 D^2 L = \pi/4 D^3 (L : D)$ und der des kugeligen Gefässes $\pi/6 D_1^3$; es müsste also $D_1^3 = 3/2 D^3 (L : D)$ sein. Für die Wanddicken erhalte man: $\delta = 1/2 D p : \mathfrak{S}$ und $\delta_1 = 1/4 D_1 p : \mathfrak{S}_1$; für die Oberflächen käme $F = \pi D L + \pi/2 D^2$ und $F_1 = \pi D_1^2$. Angenommen, die Böden am cylindrischen Gefäss würden ebenso stark von Wanddicke gemacht, wie der Mantel, so erhalte man für die Materialaufwände:

$$F \delta = \frac{\pi}{2} D^3 \left(\frac{L}{D} + \frac{1}{2} \right) \frac{p}{\mathfrak{S}} \quad \text{und} \quad F_1 \delta_1 = \frac{\pi}{4} D_1^3 \frac{p}{\mathfrak{S}_1}$$

Hierin $\mathfrak{S} = \mathfrak{S}_1$ setzend und für D_1^3 den ermittelten Werth $3/2 D^3 (L : D)$ einführend, erhält man:

$$\frac{F_1 \delta_1}{F \delta} = 3/4 \frac{L}{\frac{L}{D} + 1/2} \dots \dots \dots (393)$$

als das Verhältniss zwischen dem Materialaufwand des kugelförmigen und des cylindrischen Kessels. Es ergibt sich für:

$\frac{L}{D} =$	1	1 1/2	2	3	4	5	6	∞
$\frac{F_1 \delta_1}{F \delta} =$	0,50	0,56	0,60	0,64	0,67	0,68	0,70	0,75

wonach der kugelige Kessel unter allen Umständen der leichtere wird.

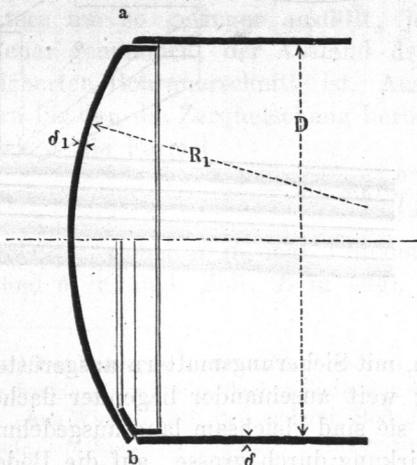
Zu Anfang gestaltete man wirklich die Dampfkessel kugelig, hat dies aber, der geforderten Engräumigkeit bei grosser Heizfläche wegen, sehr bald aufgeben müssen. Nur für einzelne Kesseltheile lässt sich die kugelige Form noch verwenden.

Bei kugeligen Böden für Walzenkessel, siehe Fig. 1107, Kuppen für Dome und Sieder u. s. f. hat man für die Wanddicke nach dem Obigen beim Kugelhalbmesser R_1 :

$$\delta_1 = \frac{R_1}{2} \frac{p}{\mathfrak{E}_2} = R_1 \frac{a}{200 \mathfrak{E}_1} \dots \dots \dots (394)$$

was bei $\mathfrak{E}_1 = \mathfrak{E}$ der Wanddicke δ des Mantels gleich werden würde, wenn man $R_1 = D$ machte. Hiervon kann man nicht immer Gebrauch machen, da in Kesselschmieden die vorhandenen Mulden zum Kuppeln der Böden R_1 vorschreiben. Das Ansetzen

Fig. 1117.



des kugeligen Bodens an den Mantel geschieht in der Regel so, dass an den Boden ein cylindrischer Reif angebörtelt oder, wie man es auch nennt, „angekrempt“ wird wie bei a, Fig. 1117 (in der Kremppresse), andernfalls auch unter Einsetzung eines Reifens aus Winkeleisen, wie bei b. Hier könnte nun auch die in §. 355 kennen gelernte Umfangskraft s bzw. $s \sin \alpha$ in Betracht

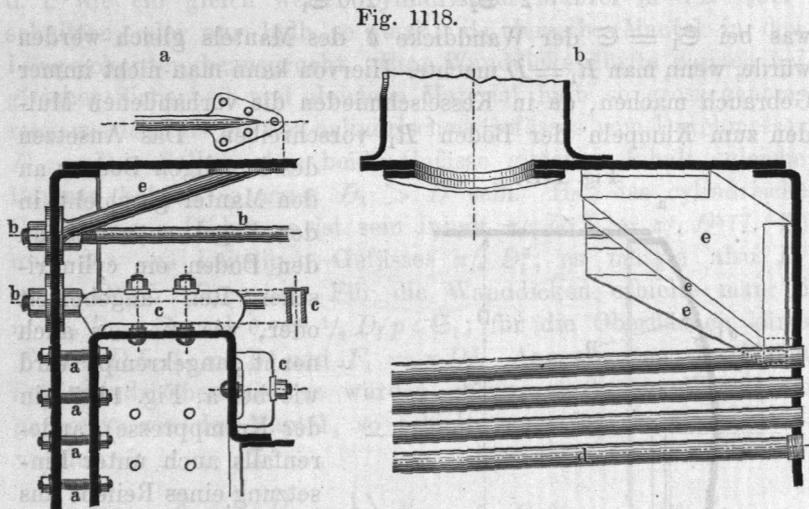
kommen, indem dieselbe den Mantel radial nach innen zieht. Allein die Berücksichtigung kann für gewöhnlich unterbleiben, da die erwähnte Bereifung des Bodens denselben völlig hinreichend gegen die Kraft $s \sin \alpha$ versteift.

c) Flachwandige Kesseltheile. Flache Böden ohne Unterstützung können wegen der erforderlichlich werdenden Wanddicke

nur an Kesselmänteln von geringem Durchmesser angewandt werden, wie schon §. 19 gezeigt ist, also allenfalls als Abschlüsse für Sieder, Wasserstands-„Koffer“, Dampfdome u. s. w. Bei irgendwie bedeutenderer Ausdehnung der flachen Böden ist es zweckmässig, sie zu versteifen, worauf sie wieder eine geringe Wanddicke erhalten können, mit anderen Worten: grössere Böden durch Versteifungen in kleinere zu theilen, für welche sodann eine gut ausführbare Wanddicke ausreicht.

Verschiedene Arten von Bodenversteifungen sind üblich; die gebräuchlichsten sind in Fig. 1118 an Beispielen aus der Praxis dargestellt.

Die Versteifung durch Stehbolzen, Fig. 1118 a (vergl. auch §. 61), passt bei nahe benachbarten parallelen Wänden. Hier sind



dieselben statt mit Nietköpfen, mit Sicherungsmuttern ausgerüstet. Ebenfalls Fig. a, Versteifung weit auseinander liegender flacher Wände durch Ankerbolzen *b*; sie sind gleichsam lang ausgedehnte Stehbolzen. Hier ist ihre Wirkung durch grosse, auf die Böden genietete Unterlegplatten verstärkt. Versteifung durch Barren *c*, Fig. a, hier am Schiffskessel, früher auch sehr viel für das Feuerbüchsendach der Lokomotive angewandt. *d* Versteifung durch Anker- oder Stehröhren; diese sind Heizröhren von besonders grosser Wanddicke, 6 bis 9 mm, welche in beide Rohrplatten mit Gewinde eingreifen. Winkelbleche *e*, Fig. b, wendet man zur Anhängung der

geraden Stirnwände an den Mantel an; sie sind bei Schiffskesseln wie bei Landdampfkesseln, namentlich Flammrohrkesseln, gebräuchlich *).

§. 361.

Dampfkesselrohre mit äusserem Druck.

Die von aussen gepressten cylindrischen Dampfkesseltheile erleiden eine Beanspruchung, welche derjenigen auf Strebfestigkeit ähnlich ist, indem sie bei einer gewissen Höhe des Druckes, wenn eine kleine Abweichung von der Cylinderform eintritt oder vorhanden ist, zerquetscht werden. Bei den gezogenen Heizröhren genügen bereits die der Abnützung wegen anzuwendenden Wanddicken, um der Zerquetschung vorzubeugen; dagegen haben die Flammrohre der kornischen und Lancashire-Kessel meist solche Abmessungen, dass auf die Gefahr der Zerquetschung Rücksicht genommen werden muss. Durch Versuche von Fairbairn ist festgestellt worden, dass die Rohrlänge einen wesentlichen Einfluss auf die Zerquetschkraft hat, und zwar, dass letztere um so geringer ausfällt, je grösser die Länge, oder genauer genommen, der Abstand der gegen Zusammendrückung gesicherten Rohrquerschnitte ist. Aus seinen Versuchen hat Fairbairn für den die Zerquetschung herbeiführenden äusseren Ueberdruck p' die Formel

$$p' = 806300 \frac{\delta^{2,19}}{lD} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (395)$$

abgeleitet, wobei p' in engl. Pfunden auf den Quadratzoll engl., D und δ in engl. Zoll, L in engl. Fuss ausgedrückt ist. Die

*) Die Frage ist noch offen, ob es sich nicht für manche Kessel empfiehlt, nur den einen der beiden flachen Endböden an dem Mantel zu befestigen, auch dies ohne Winkelanker, den anderen Boden aber nur mit dem ersten durch gerade, zur Kesselachse parallele Anker zu verbinden, dabei seinen dampfdichten Anschluss an den Mantel durch eine Dichtung zu bewirken (vergl. die hydraulische Presse S. 985). Die genannte Dichtung könnte entweder aussen am Mantel anliegen, Stopfbüchsdichtung, oder an der Innenfläche, Kolbendichtung. Ein Verschluss mit einem Stulp aus geeignetem Stoff, vielleicht Blei, könnte in Erwägung gezogen werden (vergl. §. 341). Bei Anwendung dieser Art von Bodenversteifung würde die Beanspruchung der Querschnitte des Mantels Null werden. Meines Erinnerns ist die fragliche Bauart bereits bei Lokomobilen mit Erfolg versucht worden, ohne bisher indessen eine weitergehende Beachtung gefunden zu haben.