Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 101/102 (1933)
Heft: 8

Artikel: Die Beanspruchung der Trommeln eines Wasserrohrkessels
Autor: Lieberherr, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-83041

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

INHALT: Die Beanspruchung der Trommeln eines Wasserrohrkessels. — Zweiter (engerer) Wettbewerb für den Neubau des Kollegiengebäudes der Universität Basel. — Eidgenössisches Amt für Wasserwirtschaft. — Neuer Micheline-Schienen-Omnibus. — Die schweizerische Eisenerzeugung. — Nekrologe: Dr. Fred A. Nötzli. — Mitteilungen: Die Flugzeuge der „Crociera del Decennale". Betriebswissenschaftliches Institut an der E. T. H. Starkstromunfälle in der Schweiz im Jahre 1932. Zwillings- und Drillings-Dampflokomotive im Vergleichsversuch. Iporitbeton. Denkmalschutz in U. S. A. Ein Damm zwischen Rügen und dem Festland. Rheinkraftwerk Reckingen. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine.

Band 102 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 8

Die Beanspruchung der Trommeln eines Wasserrohrkessels.

Von Dipl. Ing. A. LIEBERHERR, Winterthur.

Bei den Wasserrohrkesseln bilden die Trommeln — wenn von der Festigkeit der Einzelteile ausgegangen wird — bekanntlich den wesentlichen Teil der Anlage. Die Explosion einer Trommel bedeutet in den meisten Fällen, infolge der plötzlich frei werdenden ungeheuren Energiemengen, eine Katastrophe. Ganz abgesehen von einem solchen extremen Fall werden häufig an den Einwalzstellen der Röhren Undichtheiten beobachtet, deren Ursache im Allgemeinen entweder auf einen ungenügenden Wasserumlauf infolge fehlerhafter Anordnung der Rohre oder auf eine zu steife Konstruktion, bei der sich die Rohre nicht frei ausdehnen können, zurückzuführen ist. Oft ist die Ursache auch einer mangelhaften und zwar meist einer zu weit getriebenen Einwalzung zuzuschreiben. Die genaue Kenntnis der in den Trommeln auftretenden Beanspruchungen und Materialspannungen, sowie der Festigkeitseigenschaften des zur Verwendung kommenden Stahlbleches ist daher von grosser Bedeutung. Die Untersuchung der Eigenschaften des Bleches ist Aufgabe der Materialprüfungsanstalt und soll hier nicht weiter behandelt werden. Dagegen bildet die Berechnung der maximalen Beanspruchungen der Wandungen ein noch wenig erforschtes Gebiet, das nachstehend näher besprochen werden soll.

Die Bestimmung der Höchstspannungen in den Wandungen wird durch das Vorhandensein der zur Aufnahme der Röhren bestimmten Oeffnungen erschwert. Es sind dabei folgende Umstände zu berücksichtigen: 1. Die Verminderung des totalen Querschnittes durch das Bohren der Löcher. 2. Die vom Einwalzen herrührenden zusätzlichen Spannungen. 3. Das Zusammenrücken der Spannungslinien längs der Lochränder. Ausserdem ist mit Biegungspannungen zu rechnen, die bei langen Kesselkörpern bedeutend sein können, sowie mit Spannungen infolge Wärmedehnung.

Die in Deutschland und anderen Ländern erschienenen Veröffentlichungen kommen fast alle zum Schluss, dass die durch den inneren Druck verursachten Spannungen gegenüber den von den erwähnten Einflüssen herrührenden Beanspruchungen in den Hintergrund treten, und die Berechnungen ergeben, dass die maximalen Zugspannungen in den Lochrändern auftreten. Soweit bekannt, machen nur drei Veröffentlichungen eine Ausnahme; es sind, in chronologischer Reihenfolge, die „Mitteilungen des Kaiser-Wilhelm-Institutes für Eisenforschung" Nr. 135 (Erich Siebel), der „Bericht Nr. 213 der zweiten Weltkraftkonferenz (Berlin)" und das „Bulletin des Associations Françaises de Propriétaires d'Appareils à Vapeur", Nr. 43 (V. Kammerer und G. Parmentier). In den drei Abhandlungen wird nachgewiesen, dass die Maximalspannungen nicht in so hohem Masse als bisher angenommen, über die Durchschnittswerte hinausgehen, wie sie die gewöhnliche Formel für Gefässe mit innerem Druck ergibt. Während im ersten und im dritten der erwähnten Aufsätze die Frage eingehend behandelt wird, führt der Bericht der zweiten Weltkraftkonferenz, des Platzmangels halber, bloss die Rechnungsresultate an, sowie Schaulinien, aus denen die Verteilung der Spannungen in den Stegen zwischen den Rohrlöchern entnommen werden kann. Zweck der nachstehenden Untersuchung ist, die von Gebrüder Sulzer im Anschluss an den Bericht Nr. 213 aufgestellte Rechnungsmethode darzustellen. Es handelt sich dabei hauptsächlich um das Zusammenrücken der Spannungslinien längs der Lochränder, sowie um die durch das Einwalzen hervorgerufenen Spannungen.

Vom Einwalzen herrührende Spannungen. Beim Einwalzen der Rohrenden erleiden die Rohre und gewöhnlich auch eine gewisse Zone des die Löcher umgebenden Bleches eine plastische Formveränderung, bei der die Elastizitätsgrenze überschritten worden ist. Rings um diese erste Zone bildet sich eine zweite, in der nur eine elastische Dehnung stattfindet, die sich nach beendeter Einwalzung zusammenzieht und in der erstgenannten inneren Zone tangentiale Druckspannungen erzeugt. Die Beanspruchung der inneren Zone ist von grosser Wichtigkeit, was auch in den zwei anderen vorerwähnten Veröffentlichungen hervorgehoben wird. Die Kompression bewirkt, dass die maximalen Zugspannungen nicht am Lochrand, sondern im vollen Blech auftreten. Die nachfolgenden Berechnungen sind einer Abhandlung von Dr. G. Eichelberg, ehemals Chef der Abteilung für wissenschaftliche Forschungsarbeiten der Firma Gebrüder Sulzer, jetzt Professor der E. T. H. als Nachfolger von Prof. A. Stodola, entnommen.

Die Theorie geht von folgenden Annahmen aus: 1. Vor dem Einwalzen füllt das Rohr ohne Spiel und ohne Spannung die Oeffnung genau aus; 2. Das Einwalzen wird bewirkt durch einen inneren Druck p_0, der gleichmässig über die Innenwand des Rohres verteilt ist; 3. Rohr und Blechwand bestehen aus zähem Material, dessen Festigkeit auch nach einer vorübergehenden Ueberschreitung der Elastizitätsgrenze unverändert bleibt.

Ferner ist vorausgesetzt, dass die ausserhalb des Einwalzloches gelegenen Rohrpartien keinen Einfluss auf den eingewalzten Teil ausüben. Alsdann gilt nach Abb. 1 folgende Gleichgewichtsbedingung:

$$d(r\,\sigma_r) = \sigma_t\,dr \quad . \quad . \quad (1)$$

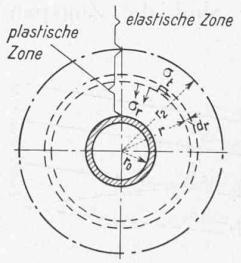

Abb. 1. Bezeichnungen.

und man erhält für die elastisch deformierte Zone die bekannten Gleichungen der Platten:

$$\left.\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{-\sigma_s}{2}\,\frac{r_2^2}{r^2} \\ \sigma_t &= \frac{\sigma_s}{2}\,\frac{r_2^2}{r^2} \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad (2)$$

In der plastisch deformierten Zone sind die Grenzspannungen auf Schub überall überschritten worden, was sich folgendermassen ausdrückt:

$$\sigma_t - \sigma_r = \sigma_s \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

oder

$$\sigma_t^2 + \sigma_r^2 - \sigma_t\,\sigma_r = \sigma_s^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3\,a)$$

worin σ_s die Elastizitätsgrenze bei einaxiger Zugbeanspruchung bedeutet.

Die Gleichgewichtsbedingung (1) lässt sich analytisch integrieren, wenn die Bildsamkeitsbedingung (3) eingesetzt wird, und man erhält:

$$\sigma_r = \sigma_s\left(-\frac{1}{2} + \ln\frac{r}{r_2}\right)$$

$$\sigma_t = \sigma_s\left(\frac{1}{2} + \ln\frac{r}{r_2}\right)$$

Wird die Gleichung (3a) statt (3) benützt, so muss numerisch integriert werden; die Resultate sind indessen annähernd die gleichen. Abb. 2 zeigt die Kurven der Tangentialspannungen σ_t und der Radialspannungen σ_r für verschiedene Werte des Einwalzdruckes p_0. Oben sind die Spannungen σ_t und σ_r während des Einwalzens, unten die Werte dieser Spannungen nach Verschwinden des Einwalzdruckes p_0 eingezeichnet. Man erkennt, dass die bleibenden

Tangentialspannungen in der innern Ringzone Druck- und aussen Zugspannungen sind.[1])

Anderseits ergeben sich für die radialen Spannungen ziemlich kleine Werte, und die Frage liegt nahe, ob unter der Wirkung des Kesseldruckes nicht ein Undichtwerden der Einwalzstellen zu befürchten ist. Um sich darüber zu unterrichten, wurde ein in die Wand eines kugelförmigen Behälters eingewalztes Rohr untersucht und berechnet, bei welcher durch innern Druck hervorgerufenen Materialspannung im vollen Blech der Flächendruck zwischen Blech und Rohr verschwindet. Es wird sich in diesem Falle das Loch genau kreisförmig deformieren, wobei die Randspannungen überall doppelt so gross sein werden wie diejenigen im vollen Blech. Beim zylindrischen Kesselkörper liegen die Verhältnisse anders. Hier sind die parallel zur Axe gerichteten Spannungen im vollen Blech nur halb so gross wie die senkrecht dazu stehenden; infolgedessen verlängern sich die ursprünglich kreisrunden Oeffnungen in der Querrichtung. Die Beanspruchung ist somit ungünstiger als beim kugelförmigen Behälter. Der Beanspruchung kann dadurch begegnet werden, dass die Rohre in der Querrichtung enger zusammengestellt werden als in der Längsrichtung; auf diese Weise sind die Zugspannungen um die Rohrlöcher herum gleichmässiger verteilt. In Abb. 3 sind für verschiedene Rohrwandstärken und verschiedene Einwalzdrücke die Ergebnisse der nach Bildsamkeits-Bedingung (3) angestellten Rechnungen graphisch aufgetragen. Der punktierte Teil der Kurven fällt in das Gebiet, in dem beim Einwalwen nur die Rohre plastische Formänderung erleiden, während die Lochwand sich bloss elastisch deformiert. Trotz des schwachen spezifischen Druckes zwischen Rohr und Lochlaibung tritt also ein Undichtwerden bei normaler Einwalzung erst dann auf, wenn die Materialspannungen im vollen Bleche schon recht hohe Werte erreicht haben. Bestätigt wird die Tatsache übrigens durch die unzähligen, auf der ganzen Erde im Betrieb stehenden Wasserrohr-Kessel, deren Verwendung von vornherein ausgeschlossen wäre, wenn die Einwalzstellen durch den Innendruck undicht werden könnten.

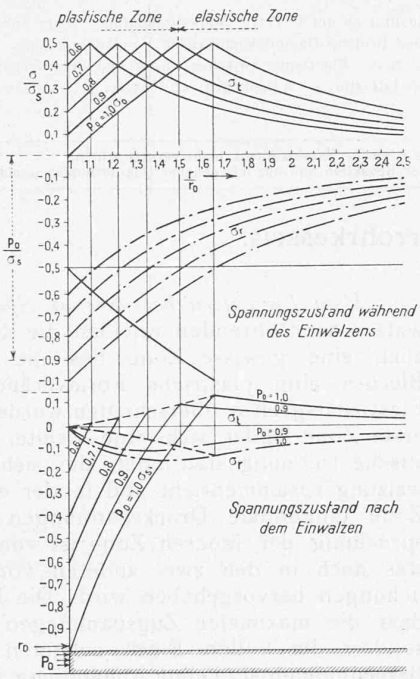

Abb. 2. Walzspannungen während und nach dem Einwalzen.

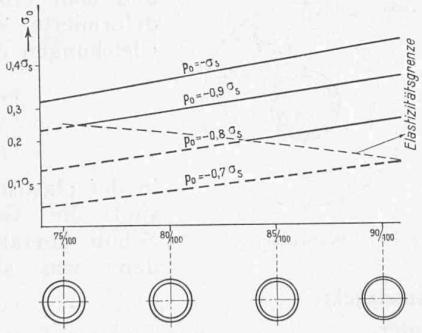

Abb. 3. Spannungen im vollen Blech einer Hohlkugel, bei denen die Pressung zwischen einem eingewalzten Rohr und dem Blech gerade verschwindet.

Das Zusammenrücken der vom Innendruck herrührenden Materialspannungen längs der Lochränder. Nach der Theorie von Kirsch sind die Spannungen in einer gelochten, in einer Richtung auf Zug beanspruchten Platte (Abb. 4) durch folgende Formeln gegeben:

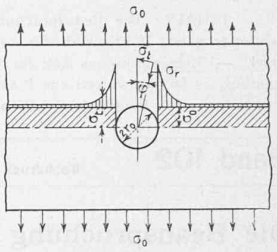

Abb. 4. Tangentialspannungen in der Nähe eines Loches, nach Kirsch.

$$\sigma_r = \frac{\sigma_0}{2}\left(1 - \frac{r_0^2}{r^2}\right)\left[1 + \left(1 - \frac{3\,r_0^2}{r^2}\right)\cos 2\varphi\right]$$

$$\sigma_t = \frac{\sigma_0}{2}\left[1 + \frac{r_0^2}{r^2} - \left(1 + \frac{3\,r_0^4}{r^4}\right)\cos 2\varphi\right]$$

$$\tau_{rt} = \frac{-\sigma_0}{2}\left(1 - \frac{r_0^2}{r^2}\right)\left(1 + \frac{3\,r_0^2}{r^2}\right)\sin 2\varphi$$

Die charakteristischen tangentialen Randspannungen sind somit:

für $\varphi = 90^0$: $\sigma_t \underset{r=r_0}{=} 3\,\sigma_0$ (Zug)

für $\varphi = 0^0$: $\sigma_t \underset{r=r_0}{=} -\sigma_0$ (Druck)

Denkt man sich um eine Rohröffnung eine rechteckige Platte ausgeschnitten (Abb. 5) und vernachlässigt die Biegungsspannungen, so sind die Randspannungen der Platte $= \frac{\sigma_0}{2}$ parallel zur Trommelaxe und $= \sigma_0$ senkrecht dazu. In den Punkten 1 und 2 werden somit folgende Spannungen auftreten:

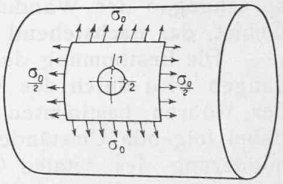

Abb. 5. Beanspruchung eines aus einer Trommel ausgeschnittenen Blechstückes.

$$\sigma_{t_1} = \frac{3\,\sigma_0}{2} - 1\,\sigma_0 = \frac{\sigma_0}{2}$$

$$\sigma_{t_2} = 3\,\sigma_0 - \frac{\sigma_0}{2} = 2{,}5\,\sigma_0.$$

Zunächst ist folgende, auf den ersten Blick paradox erscheinende Tatsache festzustellen. Wenn die Biegungsspannungen mitberücksichtigt werden, so wird die im Punkt 2 herrschende maximale Tangentialspannung vermindert, wenn in diesem Teil der Trommel positive Biegungsspannungen (Zug) auftreten, umgekehrt wird σ_{t_2} dort vermehrt, wo die Biegung eine Druckbeanspruchung hervorruft. Die Tatsache rührt daher, dass die Spannungslinien in einer gelochten Platte um so weniger zusammengedrängt werden, je geringer der Unterschied zwischen Längs- und Querspannungen ist. Will man also die Biegungsbeanspruchung berücksichtigen, so wird es sich nicht um das Problem des in zwei Punkten frei aufliegenden Balkens handeln, sondern um dasjenige der Formveränderungen einer gelochten Platte, und es braucht nur die am Rande in der Längsrichtung herrschende Zugspannung um den Betrag der im vollen Blech herrschenden Biegungspannung geändert zu werden. Es ist also nicht nötig, das Trägheitsmoment des Trommelquerschnittes an den geschwächten Stellen zu ermitteln, und auf die ziemlich umständliche Berechnung kann somit verzichtet werden.

Sodann ist folgende Bemerkung zu machen. Die Kirsch'sche Theorie setzt eine unendlich breite Platte voraus. In der Praxis werden die Spannungskurven, auch bei verhältnismässig schmaler Platte, sehr ähnlich verlaufen; nur fragt es sich in diesem Falle, welcher Wert für die Randspannung der Platte in die Formeln von Kirsch einzusetzen ist.

Aus Abb. 4 geht hervor, dass bei unendlich breiter Platte die Kurve der Tangentialspannungen für $\varphi = 90^0$ asymptotisch zu einer im Abstand σ_0 parallel zur x-Achse ge-

[1]) Das Problem des dickwandigen Rohres, dessen innere Schichten sich unter der Wirkung des Innendruckes plastisch deformieren, ist von Dr. A. Nadai, Professor an der Hochschule in Göttingen, in seinem Werke „Der bildsame Zustand der Werkstoffe", untersucht worden. Er geht von folgender Bildsamkeitsbedingung aus: $(\sigma_t - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_t)^2 = 2\,\sigma_s^2$. Nadai kommt zu den selben Ergebnissen, wie sie aus der Bildsamkeitsbedingung (3) hervorgehen, nur sind sie mit $\frac{2}{\sqrt{3}} = 1{,}15$ multipliziert. Die von ihm gefundenen Werte von σ_t und σ_r sind somit um 15 % grösser.

zogenen Geraden verläuft. Wird der Fall einer aus der Kesselwand herausgeschnittenen Platte (Abb. 6) untersucht, so ergibt sich in analoger Weise folgende Gleichgewichtsbedingung:

$$\sigma_0\, t = F_1 + 2\, F_2 = 2\,(F_1 + F_2) - F_1$$

und wenn man setzt:

$$b = t - d/2$$

so erhält man:

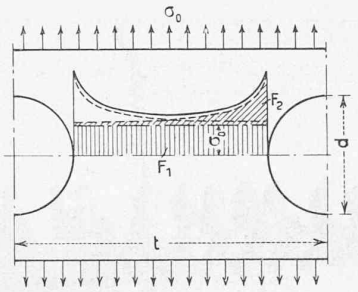

Abb. 6. Ueberlagerung der Lochwandspannungen im Trommelblech.

$$F_1 + F_2 = \int_{d/2}^{b} \sigma_t\, dr = \sigma_0' \left(b - \frac{d^2}{8\,b} - \frac{d^4}{32\,b^3}\right) = \sigma_0'\, K$$

Die Grösse K ist somit gegeben durch:

$$K = b - \frac{d^2}{8\,b} - \frac{d^4}{32\,b^3}$$

und wird der gefundene Wert in die Gleichgewichtsbedingung eingesetzt, so ergibt sich:

$$\sigma_0\, t = 2\,\sigma_0'\, K - \sigma_0\,(t - d)$$

$$\sigma_0' = \lambda\, \sigma_0$$

wobei:

$$\lambda = \frac{t - \frac{d}{2}}{K} = \frac{1}{1 - \frac{1}{8}\left(\frac{d}{b}\right)^2 - \frac{1}{32}\left(\frac{d}{b}\right)^4}$$

In dieser Formel ist σ_0 die Randspannung in einer unendlich breiten Platte, während σ_0' den in die Kirschschen Formeln einzusetzenden Wert darstellt. Aus Abb. 6 geht ebenfalls hervor, wie die Kurve der resultierenden Spannungen aussieht.

Um die Bestimmung der vorstehend beschriebenen Spannungen bequemer zu gestalten, sind in nachfolgender Tabelle die Werte von λ für verschiedene t/d zusammengestellt; Abb. 7 gibt die Kurve von λ als Funktion von t/d.

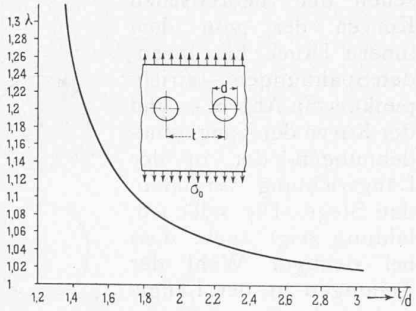

Abb. 7. Werte des Koeffizienten λ in Abhängigkeit von Quotient t/d.

$t/d =$	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
$\lambda =$	1,251	1,144	1,093	1,065	1,049	1,038	1,031	1,024	1,020

Zusätzliche Beanspruchungen. Es wurde bereits angedeutet, in welcher Weise die Biegungsbeanspruchung zu berücksichtigen ist. Die Schwierigkeit liegt in der Bestimmung der Belastungen, die der Kesselkörper erfährt. Allerdings wird bei den modernen Wasserrohrkesseln durch die meistens stark gekrümmten Röhren und die unabhängige Aufhängung der oberen und unteren Trommeln die Aufgabe wesentlich erleichtert und es genügt, das Eigengewicht der Kesselkörper und einen Teil des Gewichtes der Rohre in Rechnung zu setzen. Bildet dagegen der Kessel ein starres Ganzes (Kessel mit geraden Rohren), dann wird das Problem unbestimmt und es kommt hauptsächlich auf die sehr schwer zu bestimmenden Verschiedenheiten in den Ausdehnungen der einzelnen Rohre an.

Eine weitere zusätzliche Beanspruchung rührt vom Temperaturunterschied zwischen Aussen- und Innenfläche der Kesselwandung her. Der Unterschied ist bekanntlich proportional mit der Wärmebelastung der Heizfläche und mit der Wanddicke. Um die dadurch hervorgerufenen Spannungen auf ein zulässiges Mass zu beschränken, wird der Kesselkörper vor direkter Berührung mit den Gasen geschützt, wodurch der Temperaturabfall zwischen äusserer und innerer Wandfläche auf einen zwischen 2° und 15° liegenden Wert herabgedrückt werden kann. Ist der Temperaturabfall bestimmt, dann lassen sich die Wärmespannungen nach den Formeln von H. Lorentz oder von Föppl berechnen. Als erste Annäherung kann für jeden Grad Temperaturunterschied eine Spannung von 18 kg/cm² angenommen werden.

Sodann kommen Wärmespannungen vor bei Kesseln, deren untere Trommel sich während des Anheizens ungleichmässig erwärmt. Bekanntlich erstreckt sich der natürliche Wasserumlauf häufig nicht bis zur unteren Wasserschicht; sie bleibt dann so lange kalt, bis der normale Betriebszustand erreicht ist. Die Erscheinung kann ziemlich hohe Spannungen in der davon betroffenen Trommel hervorrufen. Dem Uebel ist indessen leicht abzuhelfen, wenn dafür gesorgt wird, dass das kalte Wasser während der Anheizperiode nicht in der unteren Trommel stehen bleibt, zum Beispiel indem die Sammler der die Seitenwände des Feuerraumes schützenden Rohrbündel an den tiefsten Punkt des Kessels angeschlossen werden. Auch kann eine kleine, nur während des Anheizens laufende Umwälzpumpe in Frage kommen. Zuweilen wird auch die untere Wasserschicht durch Einführung von Dampf erwärmt.

Zum Schluss sei noch der Einfluss allfälliger Unregelmässigkeiten in der Form der Kesselkörper erwähnt. Da der innere Druck bestrebt ist, die Unregelmässigkeiten zu beseitigen und die genaue Kreisform herzustellen, so können dadurch unter Umständen hohe Materialspannungen entstehen.[2])

Die Ueberlagerung der vom Einwalzen und vom Innendruck herrührenden Spannungen. Die nachstehend erwähnten Berechnungen beziehen sich auf einen Kessel von 300 m² Heizfläche, 35 at Betriebsdruck und 400° Ueberhitzungstemperatur, den die Firma Gebrüder Sulzer der Eidg. Techn. Hochschule geliefert hat. Da der Kessel stark gekrümmte Rohre und unabhängige Aufhängung der untern Trommel durch Hebel und Gegengewichte aufweist, konnte die Biegung leicht mit ziemlich grosser Genauigkeit berücksichtigt werden. Aus der Rechnung geht hervor, dass bei Körpern, deren Länge 4 bis 6 m nicht übersteigt, der Einfluss der Biegung äusserst gering ist.

In Abb. 8 sind die Einwalzspannungen (punktiert) sowie die vom innern Druck herrührenden Spannungen (strichpunktiert) angedeutet. Die voll ausgezogenen Kurven stellen die Summe der beiden dar; die Diagramme sind für drei verschiedene Werte der Längsteilung aufgestellt worden. Es geht daraus hervor, dass am Rande um die Löcher herum Druckspannung herrscht, während die maximale Zugspannung im vollen Blech auftritt. Im übrigen haben

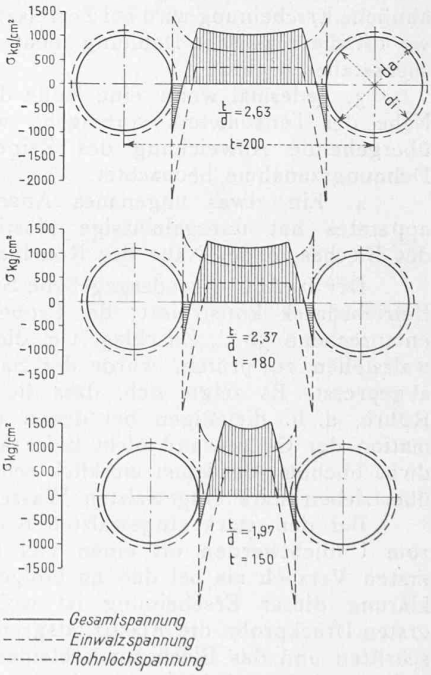

Abb. 8. Ueberlagerung der Walzspannungen und der durch Innendruck verursachten Zugspannungen in den zwischen den Einwalzstellen sich befindenden Trommelstegen.

[2]) Siehe „Bulletin des Associations Françaises de Propriétaires d'Appareils à Vapeur" Nr. 43.

die Kurven der resultierenden Spannungen einen auffallend flachen Verlauf.

Einwalz-Versuche. Um die vorstehend niedergelegten Resultate zu prüfen und gleichzeitig den günstigsten Grad der Einwalzung festzustellen, hat die Firma Sulzer Versuche durchgeführt mit einem Sammler von Thyssen von 860 mm Innendurchmesser und 3130 mm Länge, mit halbkugelförmigen geschweissten Böden.

Der Sammler wurde in drei Zonen eingeteilt, jede Zone erhielt Rohre von einem bestimmten Durchmesser, deren äusseres Ende verschlossen wurde, um das Ganze unter Wasserdruck setzen zu können. Die Rohre wurden im allgemeinen vom Trommelinnern aus eingewalzt; nur einige Rohre in unmittelbarer Nähe des Mittelrohres jeder Gruppe wurden von aussen her eingewalzt und zwar so, dass nur das erweiterte äussere Ende eben aus der Wand herausragte. Diese Anordnung war durch die Instrumente zur Messung der Verlängerung geboten, für die ein gewisser freier Platz geschaffen werden musste. Abb. 9 zeigt die mit den Huggenberger'schen Tensometern ausgerüstete Versuchstrommel.

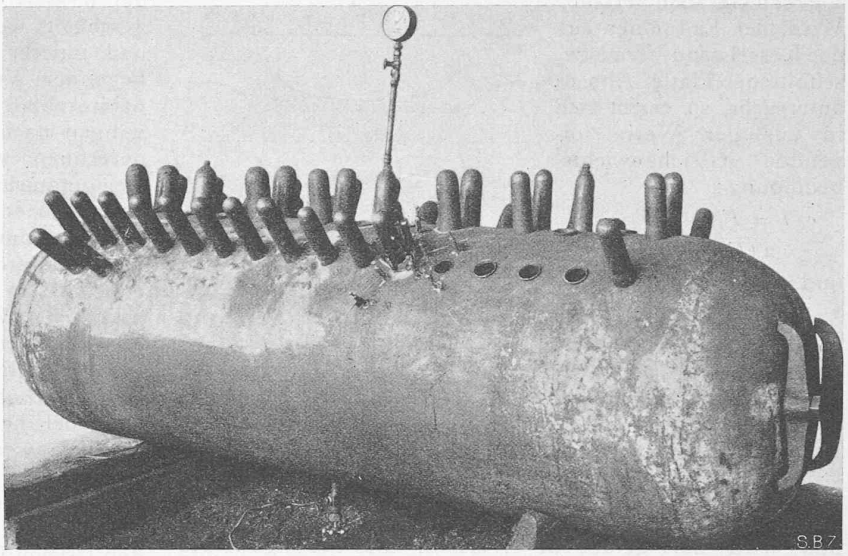

Abb. 9. Versuchstrommel von 3130 mm Länge und 860 mm Innendurchmesser, mit Tensometern zur Messung von Walzspannungen.

Die erste Versuchsreihe bezweckte, die Spannungen zu bestimmen, die beim Einwalzen in unmittelbarer Nähe des Loches auftreten; die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Beim Einwalzen nach der in der Praxis bewährten Weise treten die bleibenden Formveränderungen nicht nur im Rohr, sondern auch im Blech der Trommel, und zwar bis zu einer Entfernung von 6 bis 8 mm vom Lochrande auf.[3])

2. Die Zone der plastischen Formänderungen ist nicht ganz regelmässig; das Blech scheint an der einen Stelle leichter nachzugeben als an der anderen. Eine ähnliche Erscheinung wird bei Zerreissversuchen beobachtet, wo oft die plastische Dehnung nicht in der Mitte des Versuchsstabes beginnt.

3. Jedesmal wenn eine Rolle der Rohrwalze in der Nähe des Tensometers vorbeigeht, wird eine starke vorübergehende Abweichung des Zeigers im Sinne einer Dehnungszunahme beobachtet.

4. Ein etwas ungenaues Ansetzen des Rohrwalzapparates hat unregelmässige plastische Formänderung des Bleches in der Nähe des Rohrloches zur Folge.

Der in Abb. 9 wiedergegebene Sammler ist für 30 at Betriebsdruck konstruiert; der Probedruck beträgt 45 at, entsprechend 50 % Zuschlag. Um die Dichtigkeit der Einwalzstellen zu prüfen, wurde der Sammler bis auf 50 at abgepresst. Es zeigte sich, dass die mässig eingewalzten Rohre, d. h. diejenigen bei denen die plastische Deformation der Gefässwand nicht tiefer als 5 bis 7 mm ging, dicht blieben oder kaum merklich schwitzten, während die übertrieben stark eingewalzten Wasser durchliessen.

Bei den stark eingewalzten Rohren brauchte es bis zum Undichtwerden oft einen viel höheren Druck beim ersten Versuch als bei den nachfolgenden. Die beste Erklärung dieser Erscheinung ist wohl die, dass bei der ersten Druckprobe die Elastizitätsgrenze des Bleches überschritten und das Blech somit bleibend deformiert wurde, sodass bei den nachfolgenden Proben die blosse elastische Formänderung zum Leckwerden genügte.

[3]) Diese Erfahrungstatsache widerspricht der Ansicht von Lupberger, dass es genüge, die Röhren so einzuwalzen, dass sie an der Aussenseite des Bleches die Lochwand berühren und an der Innenseite abdichten. Ein so behandeltes Rohr würde durch den Betriebsdruck undicht werden. Ausserdem würden die Höchstspannungen am Lochrande auftreten und auch grösser sein als bei Einwalzung mit plastischer, 5 bis 7 mm tief sich erstreckender Formveränderung (siehe Vorträge auf der 19. Hauptversammlung der Vereinigung der Grosskesselbesitzer E. V., Berlin, „Neuzeitlicher Kesselbau").

Die Druckproben ermöglichten auch die Bestimmung mittels Tensometers der durch den Innendruck hervorgerufenen Materialspannungen. Als Beispiel sind in Abb. 10 die spezifischen Dehnungen der zwischen den Löchern gelegenen Stege angegeben. Auffallend ist die Uebereinstimmung zwischen den theoretischen Kurven der von dem innern Druck herrührenden Spannungen — strichpunktiert in Abb. 8 — und der Kurve der Tangentialdehnungen der in der Längsrichtung verlaufenden Stege. Die selbe Abbildung zeigt auch, dass bei richtiger Wahl der Teilungen in der Längs- und in der Querrichtung, zwecks Ausgleiches der in diesen Richtungen auftretenden Materialspannungen, das angestrebte Ziel im Grossen und Ganzen erreicht wird. Es wird somit durch diese Anordnung, bei der die in der Längsrichtung verlaufenden Querschnitte nur halb soviel geschwächt werden wie die dazu senkrechten, nicht nur das Material der Trommelwand besser ausgenützt, sondern auch das Dichthalten der Einwalzstellen besser gewährleistet.

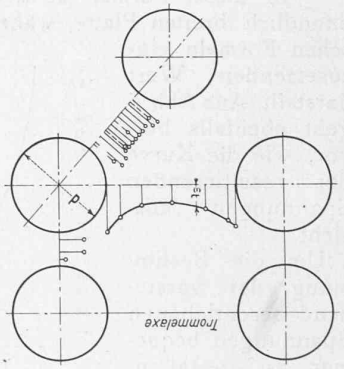

Abb. 10. Spezifische Dehnungen in den Trommelstegen während eines Druckversuches.

Schlussbemerkungen. Die Bestimmung der in den Kesseltrommeln auftretenden Höchstspannungen erfordert die Zusammenlegung der Lösung mehrerer, einzeln zu behandelnder Probleme. Es ist zunächst Aufgabe des Konstrukteurs, alles zu vermeiden, was zusätzliche Beanspruchungen veranlassen kann. So muss zum Beispiel die Kesseltrommel isoliert und derart angeordnet sein, dass die Wärmeübertragung durch die Wand möglichst gering ist, um die Wärmespannungen auf ein Minimum zu bringen. Auch empfiehlt es sich, die Form des Rohrbündels so zu wählen, dass die Ausdehnung der Rohre möglichst wenig Rückwirkung auf die Einwalzstellen ausübt. Auf solche Weise werden die Zusatzspannungen thermischen Ursprunges und die von Unregelmässigkeiten in der Form herrührenden Spannungen zusammen kaum 200 bis 300 kg/cm² übersteigen. Anderseits betragen die maximalen Spannungen, wie sie aus der vereinigten Wirkung des Innendruckes und des Einwalzvorganges sich ergeben, 40 bis 55 % mehr als die Werte, welche die gewöhnliche

Formel für Gefässe mit innerem Druck ergibt. Dabei ist sorgfältigste Einwalzung, unter Vermeidung übertriebener Ausweitung des Rohrendes, vorausgesetzt. Die so erhaltenen Höchstwerte liegen zwischen 1300 und 1600 kg/cm², also nahe an der Elastizitätsgrenze des Bleches bei Betriebstemperatur. Die mittels der gewöhnlichen Formel für Gefässe mit innerem Druck errechneten Wandstärken dürfen also, aus Gründen der Sicherheit, kaum unterschritten werden. In gewissen Fällen wird es sogar nötig sein, die vorschriftsmässig errechnete Wandstärke zu vermehren, wenn zusätzliche Beanspruchungen auftreten, beispielsweise durch Biegung bei sehr langen Trommeln. Bei mittelgrossen Trommeln ist es nicht nötig, die vom Gesetz vorgeschriebene Blechstärke zu vergrössern. Auch bei Höchstdruckkesseln brauchen die Trommelwandungen nicht verstärkt zu werden, wenn nur für sorgfältigste Isolierung Sorge getragen wird; denn die Wärmespannungen sind um so bedeutender, je grösser die Wandstärke ist. Es wird in einem solchen Falle auch von Vorteil sein, Rohrwalzapparate mit 6 statt 3 Rollen zu verwenden und mit einem möglichst schlanken Dorn, damit das Blech auf der Innenseite nicht durch einen allzu starken Druck Schaden erleidet.

Un procédé de Sondage par doubles tubes.

Le système de sondage adopté pour les recherches géologiques dans la Reuss et décrit dans la S. B. Z. du 10 Juin 1933, page 269, présentant une analogie assez grande avec un système proposé par le soussigné et employé avec succès au printemps 1930 pour des sondages effectués dans le Lac de Genève par la S. A. Conrad Zschokke pour le compte du Service des Eaux de la Ville de Genève, il nous a semblé intéressant de décrire notre système.

Le problème, pour nous, consistait à faire des prises continues dans la craie lacustre et son soubassement de couches glacio-lacustres — nous désignons ainsi ce qu'on nomme souvent argile rubanée (Bänderton), et qui est formé d'alternances de couches fines sableuses et glaiseuses — qui sont les deux termes supérieurs de la série constituant le fond du lac, celà jusqu'à une profondeur d'une vingtaine de mètres et parfois sous 15 mètres d'eau et plus.

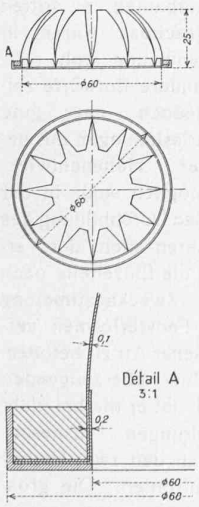

Fig. 3. Clapet, 1 : 3. Coupe, plan et détail.

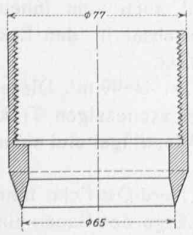

Fig. 2. Couteau tranchant, échelle 1 : 3.

Notre sonde est un tube en acier étiré de 65 mm de diamètre intérieur et de 6 mm d'épaisseur, en tronçons de 2 m. Chaque tronçon est formé de deux demi-cylindres (fig. 1) réunis par de forts manchons aux extrémités et en outre par 4 colliers de serrage. Le tube inférieur est muni d'un couteau tranchant vissé (fig. 2), à l'intérieur duquel un anneau de bronze „A" porte une sorte de clapet constitué à peu près exactement comme la pièce désignée „Kernfeder" (fig. 3 page 270 de l'article cité), avec cette différence que les lamelles sont renforcées à leur base par une seconde épaisseur de métal (fig. 3). L'anneau A du clapet est serré entre l'extremité inférieure du tube carrottier et la partie renforcée du couteau (fig. 2).

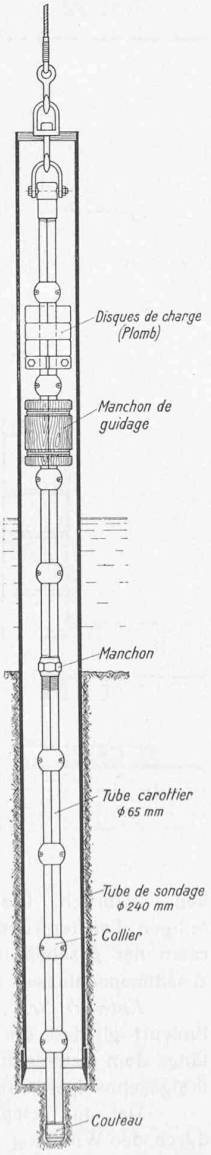

Fig. 1. Disposition générale, 1 : 30.

Le tube carottier étant descendu jusqu'à une cote absolue „a", on le retire, puis on fait descendre jusqu'à la cote absolue „a + 0,25 m" un tube ordinaire de sondage de 24 cm de diamètre, d'où la matière est extraite au moyen d'une tarière jusqu'à cette même cote „a + 0,25 m". Ensuite on reprend la descente du tube carottier. Dans le cas des boues lacustres, il n'y a pas lieu de battre les tubes. En général ils descendent par leur propre poids. Nous avons même observé plusieurs fois que, si la descente était trop rapide, il arrivait un moment où le tube, avec son contenu, descendait comme un pieu, sans recueillir de matière nouvelle.

Ce système, on le comprend, ne convient que lorsqu'on est sûr de ne pas rencontrer de blocs d'un diamètre supérieur ou égal à celui du tube de sondage. La même remarque, croyons-nous, s'applique au „Bohrpfahlverfahren" de M. E. Burkhardt. Dans les terrains tels que les terrains quaternaires du bassin du Léman, que ce soit la moraine de fond glaciaire ou le gravier dit „alluvion ancienne", le cas de gros blocs est si fréquent, qu'on n'entrevoit guère le moyen d'éviter complètement l'emploi du tube de sondage ordinaire.

Pour obtenir des résultats valables, l'entreprise doit disposer — sans parler d'un bon outillage soigneusement entretenu et jamais „bousculé pour aller plus vite" — d'un personnel bien entraîné à la manœuvre. Pour l'interprétation des échantillons recueillis, il est nécessaire qu'un homme — géologue ou ingénieur, encore mieux géologue et ingénieur — connaissant bien la géologie de la région suive de près les travaux. Si un géologue ne peut constamment suivre le travail sur place, ce qui est très souvent le cas, le chef d'équipe doit, lui aussi, être initié à la constitution géologique du sous-sol, afin de s'apercevoir du moindre changement de la nature du terrain et de noter toutes ses observations lors de la prise des échantillons. Pour ces derniers, mieux vaut en prendre trop que pas assez, mieux vaut encore les prendre avec discernement.

Lorsqu'on travaille dans l'eau — cas habituel — la partie glaiseuse d'une moraine est en forte proportion entraînée par l'eau, et la difficulté augmente pour préciser la nature du terrain. Cependant avec une certaine pratique, on y arrive presque toujours en employant l'outillage ordinaire, suffisamment exact pour la plupart des recherches techniques usuelles, mais il faut qu'une condition soit remplie, c'est que le tube suive du plus près possible les outils d'extraction.

De nombreux sondages exécutés de cette manière sur le territoire du canton de Genève ont permis de tracer des profils parfaitement conformes à ce qu'on a pu observer plus tard dans des puits ou des travaux profonds.

Genève, le 11 Juillet 1933. E. Joukowsky.

Zweiter (engerer) Wettbewerb für den Neubau des Kollegiengebäudes der Universität Basel.

(Schluss von Seite 84.)

Entwurf No. 5, Kennwort Gegenüber. 38537 m³. Der Entwurf stimmt in wesentlichen Zügen mit der Arbeit No. 55 (2. Rang) des ersten Wettbewerbes überein. Diese sind: die sechsaxige freie Vorhalle an der Ecke Petersplatz-Petersgraben, die sich mit drei Axen nach dem Südhof öffnet; die durchlaufende offene Pfeilerhalle im Erdgeschoss gegen den Petersplatz; weiter die Anlage der Wandelhallen, Treppen, der Aula, der grossen und mittleren Hörsäle u. a.

Der Entwurf sieht drei Eingänge vor, die an richtiger Stelle des Grundrisses sitzen, jedoch alle etwas zu klein sind, insbesondere der Eingang am Aulaflügel. Die Raumentwicklung, Verkehrsfolge und Treppenanlage von diesem letzten Eingang zur Aula ist unklar. Trotz