

Festigkeitsberechnungen im Tank-
Behälter- und Druckleitungsbau

Einleitung.- Es sind in diesem Konstruktionsgebiet hauptsächlich zu unterscheiden:

Die grossen Lagertanks für Erdöl und seine Derivate, deren Konstruktion das zurzeit immer noch bedeutendste Arbeitsgebiet im Behälterbau darstellt. Das grosse Fassungsvermögen der Lagertanks aber auch das dadurch ganz beträchtlich gewordene Eigengewicht führt zu den speziellen Festigkeitsanforderungen an Behälterkonstruktion, seinen Werkstoff und seine Verbindungen.

Die Lagertanks und Behältern für die chemische Industrie.

In diesem Gebiet des Behälterbaus resultieren die kritischen Beanspruchungen weniger aus der Behältergrösse als aus den hohen Drücken, denen sie unterworfen sind, den hohen bzw. tiefen Temperaturen und der Aggressivität der Medien, die in den Behältern gelagert oder verarbeitet werden.

Die thermischen Kessel.

Hier liegen die Probleme viel eher in den grossen, dickwandigen und weit verzweigten Rohrleitungen und Rohrregistren aus legierten Werkstoffen, als bei den Behältern. Es sind vor allem hohen Temperaturen und hohen Drücken ausgesetzten Kessel.

Die Druckleitungen der hydraulischen Anlagen.

Es sind gerade, oft sehr lange Rohrleitungen, wobei der durch die Höhe der Wassersäule erzwungene innere Druck bei normalen Betriebsbedingungen relativ konstant bleibt. Die Temperaturschwankungen sind ebenfalls klein.

Die Konstruktionen für die Nukleartechnik, also die für bestimmte Typen von Leistungsreaktoren notwendigen Druckgefässe und Sicherheitsbehälter, die Wärmeaustauscher, die Sammelröhre.

Hier kommt zur grossen thermischen und mechanischen Beanspruchung noch eine neue Beanspruchungsart hinzu, nämlich jene durch die radioaktive Strahlung.

Werkstoffe.-

Vor allem kommt Stahl in allen seinen Varianten zum Einsatz: gewöhnliche Baustähle, niedrig legierte Stähle, hochlegierte austenitische Stähle, hochfeste Stähle. Sehr oft und insbesondere im chemischen Apparatebau werden Druckbehälter aus Leichtmetall-Legierungen ausgeführt.

Ausführungsformen.-

Ueblich sind die Zylindrischen Formen mit gewölbten Böden. Eine für Drucklose Lagertanks, sowie für Druckbehälter sich immer mehr durchsetzende Bauform ist der Kugeltank. Bei den konstruktiven Bauformen werden eckige, kubische Formen im Stahlbehälterbau nur selten angewendet.

Calculs de résistance en constructions
de citernes, réservoirs et conduites forcées

Introduction.- Dans ce domaine de constructions, on distingue principalement:

Les grandes citernes de stockage pour l'huile minérale et ses dérivés qui constituent actuellement, quant au volume, le champ d'activité le plus important en chaudronnerie. La très grande contenance de ces citernes comme aussi leur poids propre devenu très important exigent les conditions de résistance particulières qui sont réclamées de la construction, des matériaux et des assemblages.

Les réservoirs de stockage et récipients pour l'industrie chimique.

Dans ce domaine de la chaudronnerie, les sollicitations critiques résultent moins des dimensions des récipients que des hautes pressions auxquelles ils sont soumis, des hautes resp. basses températures et de l'agressivité des substances conservées ou traitées dans le récipient.

Les chaudières thermiques.

Dans ce cas, plutôt que les récipients eux-mêmes, ce sont les tuyauteries en matériaux alliés de grandes dimensions, de fortes épaisseurs et avec de nombreux embranchements qui posent des problèmes, étant donné les fortes pressions et hautes températ.

Les conduites forcées des installations hydrauliques

Ces tubes rectilignes parfois très longs sont soumis à la pression intérieure de la colonne d'eau variant relativement peu pour des conditions de service normales. La température est également peu variable.

Les constructions des installations nucléaires, telles que les réservoirs sous pression, les échangeurs de chaleur, les conduites collectrices et les récipients de sécurité pour certains types de réacteurs. Dans ce cas une sollicitation d'un nouveau genre, soit celle du rayonnement radioactif vient s'ajouter aux hautes sollicitations thermiques et mécaniques.

Matériaux.-

On utilise principalement l'acier dans ses différentes variantes: aciers de construction ordinaires, aciers faiblement alliés, aciers à haute résistance mécanique, aciers austénitiques fortement alliés. On construit fréquemment et notamment pour l'appareillage chimique, des récipients sous pression en alliages légers.

Formes de construction.-

La forme cylindrique avec fonds bombés est courante. Une forme qui s'impose de plus en plus pour les citernes de stockage non sous pression ainsi que pour les récipients sous pression est la forme sphérique. En construction de récipients en acier, on n'exécute que très rarement des formes cubiques.

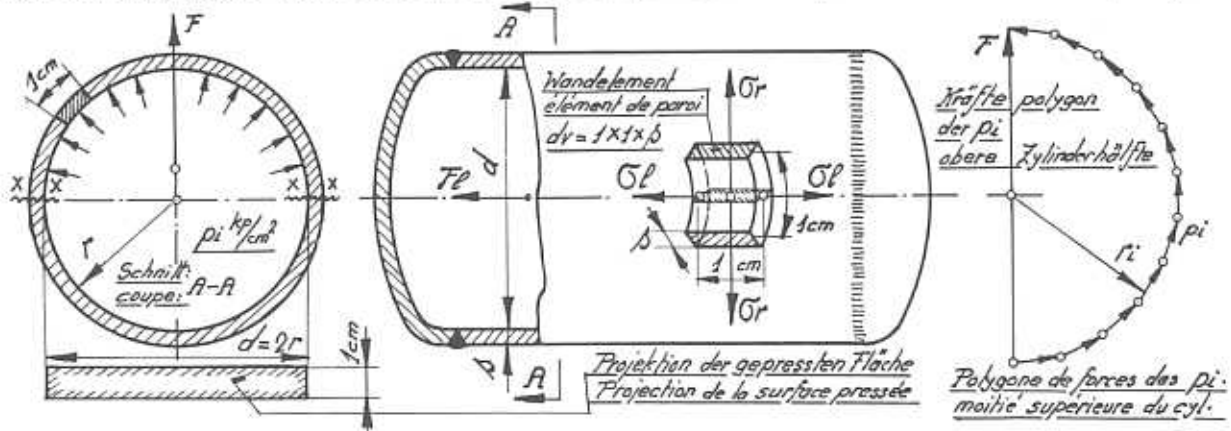
Berechnungsverfahren.-

Méthode de calcul.-

A. Dünnwandige Behälter : $s \leq 0,05 \cdot d$

A. Récipients à parois minces : $s \leq 0,05 \cdot d$

Zylindrische Hohlkörper unter innerem Ueberdruck, Cylindres sous pression intérieure p_i kp/cm^2



Bei unendlich vielen Kräften p_i (Innendruck gleichmässig verteilt) geht das Kräftepolygon zu einem Halbkreis über und es wird für die Zylinderlänge 1 cm :

Pour une infinité de forces p_i (pression intérieure uniformément répartie), le polygone des forces devient un demi cercle et on a pour une longueur de cylindre de 1 cm :

Resultierende $F = 2 \cdot r_i = 2 \cdot \frac{\sum(p_i)}{\pi}$ und mit $\sum(p_i) = \pi \cdot r \cdot p_i$ ist $F = \frac{2}{\pi} \cdot \pi \cdot r \cdot p_i = p_i \cdot 2 \cdot r$
 Résultante

on a $F = \frac{2}{\pi} \cdot \pi \cdot r \cdot p_i = p_i \cdot 2 \cdot r$

Die Resultierende F ist gleich dem Druck p_i multipliziert mit der Projektion der gedrückten Fläche senkrecht zur Richtung von F .

La résultante F est égale à la pression p_i multipliée par la projection de la surface pressée perpendiculaire à la direction de F .

Ringspannung (Zug) für das Wandelement in x-x
 Tension annulaire (traction) pour la paroi x-x

$$\sigma_{r \text{ x-x}} = \frac{F}{2 \cdot s} = \frac{p_i \cdot r}{s} \text{ kp/cm}^2$$

Längsspannung infolge dem Bodendruck
 Tension longitudinale due à l'effort sur le fond

$$\sigma_l = \frac{F l}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot s} = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot p_i}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot s} = \frac{p_i \cdot r}{2 \cdot s} = \frac{\sigma_r}{2} \text{ kp/cm}^2$$

Wir haben für das Element dv einen zweiachsigen Spannungszustand mit σ_r und σ_l als Hauptspannungen und nach der Hypothese der grössten Gestaltänderungsarbeit :

Nous avons pour l'élément dv un état de tensions biaxial avec σ_r et σ_l pour tensions principales ce qui donne, selon l'hypothèse du travail de déformation limite :

$$\sigma_{res.} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_l^2 - \sigma_r \cdot \sigma_l} = \sqrt{(2 \cdot \sigma_l)^2 + \sigma_l^2 - 2 \cdot \sigma_l \cdot \sigma_l} = \sqrt{3 \sigma_l^2} = \sigma_l \sqrt{3} = \frac{\sigma_r}{2} \sqrt{3} = 0,866 \cdot \sigma_r$$

Sicherheitshalber, mit Rücksicht auf ungleichmässige Spannungsverteilung, ist praktisch :

Par sécurité et considérant la répartition parfois non uniforme des tensions, on admet en pratique :

Vergleichspannung : $\sigma_g = \sigma_r = \frac{p_i \cdot r}{s} \leq \sigma_{zul. adm.}$
 Tension de comparaison :

σ_r ist als eine mittlere Spannung in der Mitte der Wandstärke zu berücksichtigen. Die Randspannungen können wie folgt bestimmt werden :

σ_r est à considérer comme une tension moyenne au milieu de la paroi, les tensions aux bords pouvant être calculées comme suit :

Innen-Spannung $\sigma_i = \frac{p_i \cdot r}{s} + \frac{1}{2} p_i$
 Tension intérieure

Aussen-Spannung $\sigma_a = \frac{p_i \cdot r}{s} - \frac{1}{2} p_i$
 Tension extérieure

$$\sigma_i - \sigma_a = p_i$$

Es handelt sich praktisch stets, um Ausführungen mit geschweissten Verbindungen, wonach als Rechnungsfestigkeit nicht die Festigkeit des Grundwerkstoffes sondern diejenige der Schweissverbindung zugrunde zu legen ist. Die Rechnungsfestigkeit der Schweissverbindungen ist jeweils durch die Qualität und die Form der Schweissnähte sowie durch die Art der Beanspruchung festgelegt.

Etant donné qu'il s'agit pratiquement toujours d'exécutions comportant des assemblages soudés, la résistance pour le calcul n'est pas la résistance du métal de base, mais celle de la soudure. Elle est déterminée dans chaque cas par la qualité du soudage, la forme des cordons et le genre des sollicitations.

Es ist noch ein Sicherheitsfaktor in die Berechnung

Il y a lieu d'introduire dans les calculs un coefficient de sécurité dépendant des dangers dus à l'exploitation, de la fonction de la pièce soudée

einzuführen. Dieser wird jenach der Gefährlichkeit des Betriebes, nach der Aufgabe des Werkstückes, nach der Tragweite eines allfälligen Schadens festgelegt. Er berücksichtigt andererseits was alles durch die Berechnung nicht erfassbar ist. Es wird somit :

et des dégâts provoqués par un accident éventuel. Il tient compte par ailleurs des facteurs ne pouvant pas être pris en considération dans les calculs. Son but est d'assurer le bon comportement de la construction en service. On a ainsi :

Wanddicke : $s = \frac{\pi \cdot r \cdot x}{100 \cdot K \cdot v} + C = \frac{\pi \cdot r}{100 \cdot \sigma_{adm.}^{zul.}} + C \quad (\text{mm})$

Epaisseur de paroi : $\sigma_{en}^{in} \text{ mm} \quad \sigma_{en}^{in} \text{ kp/cm}^2 \quad \sigma_{adm.}^{zul.} = \frac{K \cdot v}{x}$

Rechnungsfestigkeit der Schweissverbindung	K	Résistance pour le calcul de la liaison soudée
Sicherheitsfaktor	x	Coefficient de sécurité
Nahtbewertungsziffer	v	Coefficient de qualité de la soudure
Für Wasser und andere Flüssigkeiten unter 120° C	x = 3,2	Pour l'eau et autres liquides au-dessous de 120° C
Für Gase unterhalb 120° C	x = 3,6	Pour gaz, au-dessous de 120° C
Für Wasser, andere Flüssigkeiten und Gase über 120° C, Dampf allgemein	x = 4	Pour l'eau, autres liquides, gaz, au-dessus de 120° C; vapeur en général
Einseitig geschweisste Nähte, ohne Wurzelschweissung, jenach Nahtqualität	v=0,45-0,65	Soudage d'un seul côté, sans reprise à l'envers, selon qualité de la soudure
Beidseitig geschweisste Nähte, mit wurzelseitiger Ausmeisselung und Wurzelschweissung	v=0,75-0,95	Soudage des deux côtés, burinage et reprise à l'envers
Kehlnähte	v=0,5 -0,65	Soudures d'angles

C = Abrostungszuschlag = 0 - 1 mm oder mehr wenn notwendig
 C = Supplément pour corrosion = 0 - 1 mm ou plus si nécessaire
 Weitere Angaben und Richtlinien VSM 14075 - 14076 pour autres données et directives

Es wird selbstverständlich immer besser sein die zulässige Spannung auf Grund von eigenen Versuchen festzustellen. Letztere können mit den betreffenden Materialien, Schweissverbindungen und Sicherheit, sowie unter Bedingungen, die den Betriebsbedingungen des Organes möglichst nahe liegen durchgeführt. Siehe z.B. folgende Tabelle. Il sera bien entendu toujours préférable de choisir la tension admissible sur la base d'essais effectués avec les matériaux, les liaisons soudées et la sécurité entrant en considération, dans des conditions se rapprochant autant que possible de celles de service de l'organe étudié. On obtiendra ainsi par ex. la table suivante.

Zulässige Ringspannungen für geschweisste Stahl-Gefässe *nach Sulzer- und EMPA Versuche*
Tensions annulaires admissibles pour récipients en acier soudés *d'après essais Sulzer et LFEM*



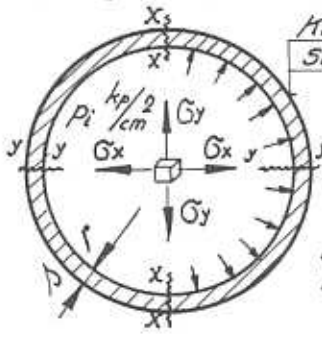
Blechqualitäten : M_1 resp. St-N, $\sigma_{TB} = 35-44 \text{ kg/mm}^2$ $M_2, \sigma_{TB} = 42-50 \text{ kg/mm}^2$

1 = $\begin{cases} \text{nicht bearbeitet} \\ M_1 \text{ nicht gegläht} \\ \text{non usiné} \\ M_1 \text{ non recuit} \end{cases}$ M_2 Spannungsfrei gegläht M_2 recuit sans tension

3 = $\begin{cases} \text{nicht bearbeitet, nicht gegläht} \\ \text{non usiné, non recuit} \end{cases}$ $2,5 = \begin{cases} \text{bearbeitet, gegläht} \\ \text{usiné, recuit} \end{cases}$

4 = $\begin{cases} \text{nicht bearbeitet, gegläht} \\ \text{non usiné, recuit} \end{cases}$

Hohlkugeln unter innerem Ueberdruck p_i kp/cm² Sphères creuses sous pression intérieure p_i kp/cm²



Kugelquerschnitt
Section d'une sphère

Kraft: $F = \pi \cdot r^2 \cdot p_i$
Force: $F = \pi \cdot r^2 \cdot p_i$

Querschnitt: $A = 2\pi \cdot r \cdot \delta$
Section: $A = 2\pi \cdot r \cdot \delta$

Zugspannungen in x-x, resp. y-y
tensions de traction en x-x, resp. y-y

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{F}{A} = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot p_i}{2\pi \cdot r \cdot \delta}$$

Vergleichsspannung
tension de comparaison:

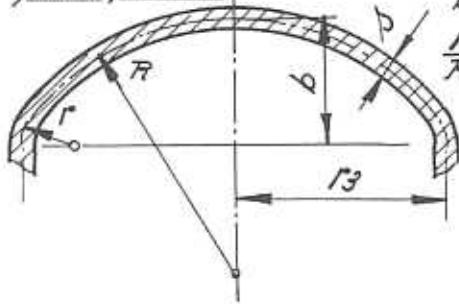
$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y} = \sqrt{\sigma_x^2} = \sigma_x = \frac{p_i \cdot r}{2 \cdot \delta}$$

Wandstärke:
Epaisseur de paroi:

$$\delta = \frac{p_i \cdot r}{200 \cdot \sigma_{zul. adm.}} + C = \frac{p_i \cdot r \cdot X}{200 \cdot K \cdot V} + C$$

Geschweisste Böden unter innerem Druck p_i kp/cm² Fonds soudés sous pression intérieure p_i kp/cm²
Korbbogen- oder Halbkugelböden Fonds en anse de panier ou hémisphériques

gepresste Böden
fonds pressés



$$\frac{r^3}{b} \leq 2,5$$

$$\frac{r}{R} \geq 0,05$$

$$\delta = \frac{1,4 \cdot p_i \cdot r^2}{100 \cdot b \cdot \pi \cdot Z} \cdot \frac{20 \frac{r}{R} + 3}{20 \frac{r}{R} + 1} + C$$

Böden ohne Schwächung durch Ausschnitte:
Fonds sans affaiblissement par des ouvertures: $Z = 1$

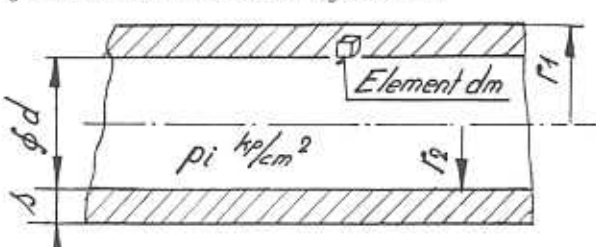
Böden mit Mannlöcher u. anderen Schwächungen:
Fonds avec trous d'hommes et autres affaiblissements: $Z = 0,85 - 0,95$

Für Halbkugelböden:
Für fonds hémisphériques: $\delta = \frac{X}{1,9} \cdot \frac{p_i \cdot R}{100 \cdot \pi \cdot Z} + C$

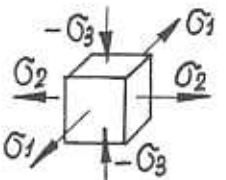
B. Dickwandige zylindrische Hohlkörper: $s > 0,05 \cdot d$ B. Cylindres à parois épaisses; $s > 0,05 \cdot d$
unter innerem Ueberdruck p_i kp/cm² sous pression intérieure p_i kp/cm²

Sie kommen meistens vor, bei Röhren kleineren Durchmessern der Druckableitungen der hydraulischen Steuerungen.
Die Berechnung erfolgt nach der Hypothese der grössten Gestalt Änderungsarbeit.

Entrent le plus souvent en considération pour les tubes de faibles diamètres des conduites d'huile des circuits des commandes hydrauliques.
Calcul d'après l'hypothèse du travail de défiguration limite.



Maximale Beanspruchung im inneren Element dm



Sollicitation maximum dans l'élément intérieur dm

Tangentielle Spannung: $\sigma_1 = \frac{p_i}{100} \cdot \frac{r_1^2 + r_2^2}{r_1^2 - r_2^2}$ kp/mm²
Tension tangentielle: $\sigma_1 = \frac{p_i}{100} \cdot \frac{r_1^2 + r_2^2}{r_1^2 - r_2^2}$ kp/mm²

Achsen Spannung: $\sigma_2 = \frac{p_i}{100} \cdot \frac{r_2^2}{r_1^2 - r_2^2}$ kp/mm²
Tension axiale: $\sigma_2 = \frac{p_i}{100} \cdot \frac{r_2^2}{r_1^2 - r_2^2}$ kp/mm²

Radiale Spannung: $\sigma_3 = -\frac{p_i}{100}$ kp/mm²
Tension radiale: $\sigma_3 = -\frac{p_i}{100}$ kp/mm²

Vergleichsspannung:
Tension de comparaison: $\sigma_g = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 - \sigma_2 \cdot \sigma_3 - \sigma_3 \cdot \sigma_1} \leq \sigma_{zul. adm.}$

Bemerkungen. - Die, nach obigen Formeln berechneten Spannungen entsprechen der Wirklichkeit nur, insofern sie nicht durch andere Beanspruchungen beeinflusst sind. So z.B. haben die durch geschweisste Böden gebildeten Einspannstellen einen grossen Einfluss auf die Spannungsverteilung. Es können dann nur Spannungsmessungen die genaue Spannungsverteilung ermitteln. Folgende Seite zeigt ein Beispiel für solche Spannungsmessungen, wobei keine gemessene Spannungen über die berechneten Werte liegen.

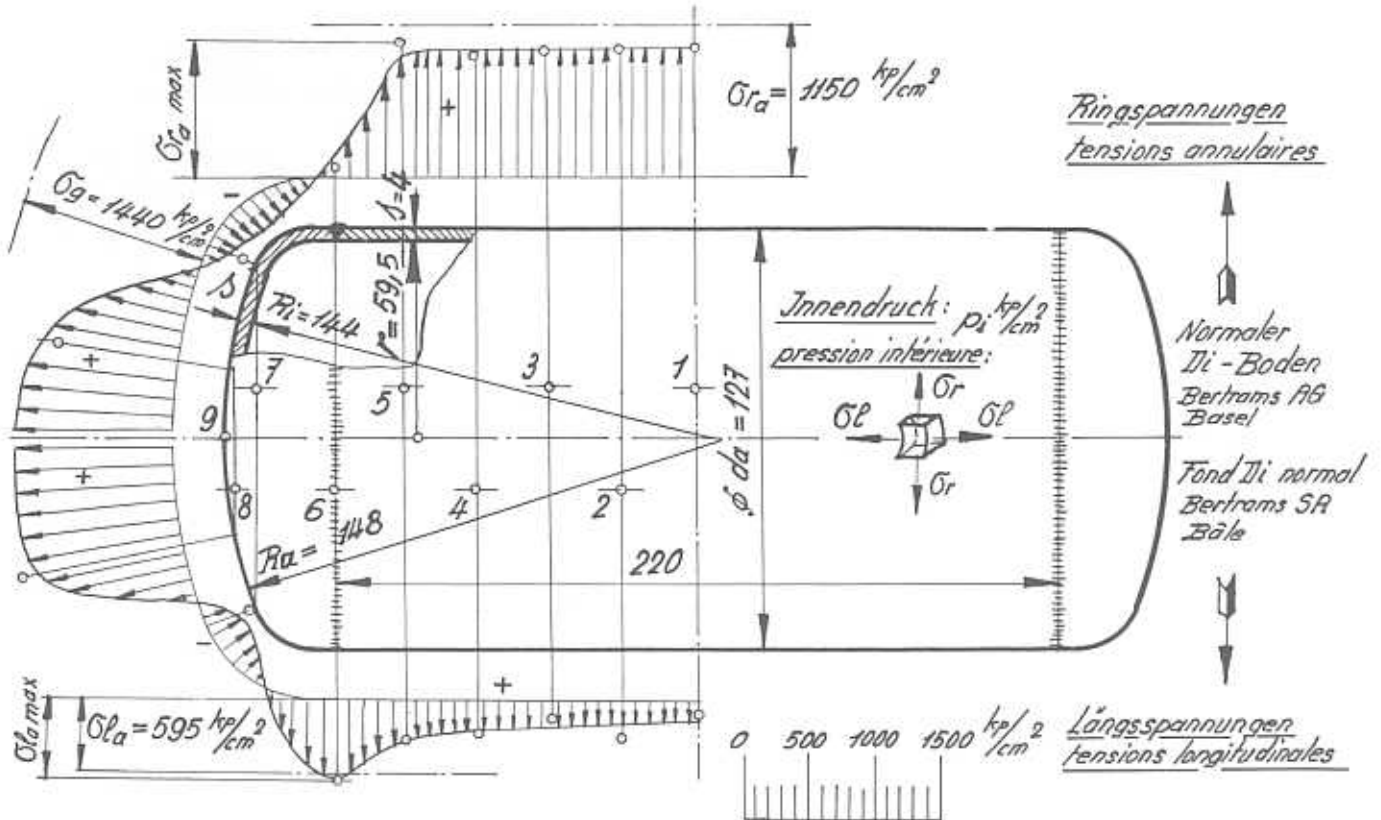
Remarques. - Les tensions calculées selon les formules précédentes ne correspondent à la réalité que pour autant qu'elles ne soient pas influencées par des sollicitations d'encastrement dues par ex. à la fixation des fonds bombés aux extrémités d'un réservoir cylindrique. Dans ce cas, des mesures des tensions sont indispensables à la détermination exacte de leur répartition. La page suivante montre un exemple de la mesure de telles tensions. On constate qu'aucune des valeurs mesurées n'est supérieure aux tensions calculées.

Verhalten der Aussenspannungen an einem Druckbehälter ²¹

Messapparatur: Höttinger Dehnungsmessstreifen
 DIMS Rosetten 10/120 XA 22
 $R = 119,6 \Omega$ $k = 2,02$
 Dehnungsmesser: Brüel & Kjøer 1516

Répartition des tensions extérieures d'un réservoir sous pression

Appareillage de mesure: Jauges de contraintes Höttinger
 Rosettes DIMS 10/120 XA 22
 $R = 119,6 \Omega$ $k = 2,02$
 Appareil de mesure: Brüel & Kjøer 1516



Ausgeführte Messungen bei $p_i = 80 \text{ kp/cm}^2$

Messpunkt	Ringspannung σ_r	Längsspannung σ_l
1	975 kp/cm^2	100 kp/cm^2
2	915	285
3	955	125
4	925	250

Mesures effectuées à $p_i = 80 \text{ kp/cm}^2$

Réint de mesure	tension annulaire σ_r	tension longitud. σ_l
5	1010 kp/cm^2	340 kp/cm^2
6	70	620
7	-270	-350
8	920	1270

Berechnete Spannungen

Ringspannungen - Längsspannungen

Aussenspannung: $\sigma_{ra} = \frac{p_i \cdot r}{\beta} - \frac{1}{2} p_i = \frac{80 \cdot 5,95}{0,4} - \frac{80}{2} = 1150 \text{ kp/cm}^2$

tension extérieure: $\sigma_{ra} = \frac{p_i \cdot r}{\beta} - \frac{1}{2} p_i = \frac{80 \cdot 5,95}{0,4} - \frac{80}{2} = 1150 \text{ kp/cm}^2$

Längsspannung: $\sigma_{la} = \frac{p_i \cdot \pi \cdot r^2}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot \beta} = \frac{p_i \cdot r}{2 \cdot \beta} = \frac{80 \cdot 5,95}{2 \cdot 0,4} = 595 \text{ kp/cm}^2$

tension longitudinale: $\sigma_{la} = \frac{p_i \cdot \pi \cdot r^2}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot \beta} = \frac{p_i \cdot r}{2 \cdot \beta} = \frac{80 \cdot 5,95}{2 \cdot 0,4} = 595 \text{ kp/cm}^2$

Punkt 9 - Spannungsmessung nicht möglich wegen den Ölstützen.

Spannungsberechnung mit der Formel der ebenen Platten [fest eingespannt]

in der Mitte: $\sigma_r = \sigma_l = \frac{\varphi \cdot p_i \cdot r^2}{\beta^2} = \frac{0,49 \cdot 80 \cdot 5,95^2}{0,4^2} = 8700 \text{ kp/cm}^2$!

Spannungsberechnung mit der Formel für Kugelquer-

schnitte: $\sigma_g = \frac{p_i \cdot R_i}{2 \cdot \beta} = \frac{80 \cdot 14,4}{2 \cdot 0,4} = 1440 \text{ kp/cm}^2$

Beim flachen Boden sollte, um dieselbe Spannung zu erhalten, die Wandstärke auf ca. erhöht werden

$\beta = \sqrt{\frac{8700 \cdot 0,4^2}{1440}} = 0,98 \text{ cm} \approx 10 \text{ mm}$

nécessaire pour obtenir la même tension avec un fond plat.

Tensions calculées

tensions annulaires - tensions longitudinales

Point 9 - Mesure de tension impossible à cause des prises d'huile.

Calcul de la tension avec la formule des fonds plats [encastrés]

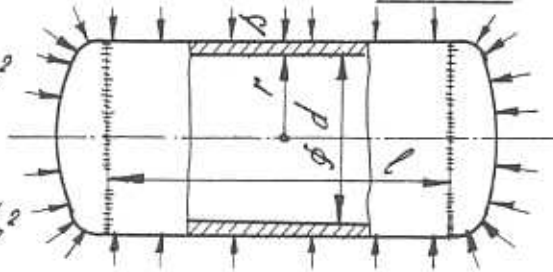
mit $\varphi = 0,49$ avec

Calcul de la tension avec la formule des sphères:

C. Dünnwandige Zylinder unter äusserem Ueberdruck.

C. Cylindres à parois minces sous pression extérieure.

Aussendruck p_a kp/cm^2
gleichmässig verteilt
Innendruck $p_i \sim 0$
Elastizitätsmodul E kp/cm^2



Pression extérieure p_a kp/cm^2
uniformément répartie
Pression intérieure $p_i \sim 0$
Module d'élasticité E kp/cm^2

Es kann ein Einbeulen eintreten. Der Einbeulungsdruck errechnet sich nach v. Mises zu :

Le récipient peut subir une déformation permanente de bossellement. D'après v. Mises, on a :

Kritischer Einbeulungsdruck:

Pression critique de bossellement:

$$p_k = \frac{E}{(n^2 - 1) \cdot c^2} \cdot \frac{s}{r} + 0,09 \cdot E \left\{ (n^2 - 1) + \frac{2 \cdot n^2 - 1,3}{c} \right\} \cdot \left(\frac{s}{r} \right)^3 \quad \text{kp/cm}^2$$

mit $c = 1 + \left\{ \frac{n \cdot 1}{\sqrt{r} \cdot r} \right\}^2$ $E =$ Elastizitätsmodul kp/cm^2
avec $E =$ Module d'élasticité kp/cm^2

$n =$ Anzahl der bei der Einbeulung entstehenden Wellen, welche den Ausdruck für p_k zu einem Kleinstwert macht.

$n =$ Nombre d'ondulations apparaissant au bossellement, qui fait passer la valeur p_k par un minimum.

Für grosse Längen gilt mit $n = 2$:

Pour de grandes longueurs on a, avec $n = 2$:

$$p_k = 0,27 \cdot E \left\{ \frac{s}{r} \right\}^3$$

Das Rohr knickt aber als Ganzes gemäss der Euler-Formel aus, wenn der Druck:

Le tube peut dans son ensemble être soumis au flambage selon Euler, sous la pression:

$$p_{k2} = 4,935 \cdot E \left\{ \frac{r}{l} \right\}^2$$

Leichtmetall-Behälter im chemischen Apparatebau (Al-Legierungen).

Réservoirs en alliages légers pour l'appareillage chimique (alliages d'Al).

Die Berechnung wird nach den gleichen Methoden wie im Stahlbau durchgeführt, nur sind dabei die speziellen Werkstoffeigenschaften des Leichtmetalls zu berücksichtigen, vor allem Streckgrenze, Elastizitätsmodul und Dauerstandsfestigkeit.

Le calcul est subordonné aux mêmes méthodes que celles utilisées pour l'acier, en tenant compte des caractéristiques mécaniques particulières du matériau, notamment de la limite et du module d'élasticité, ainsi que de la résistance au fluage.

Für Behälter unter innerem Ueberdruck kann der Abrostungszuschlag C im Allgemeinen wegfallen und angenommen werden:

Pour les récipients sous pression intérieure, on pourra généralement abandonner le supplément C pour corrosion et admettre :

$x = 4$

$x = 4$

$K =$ der 2 fachen minimalen Streckgrenze $\sigma_{p0,2}$ vom weich geglühten Material oder der minimalen Zugfestigkeit des weichgeglühten Materials, sofern dieselbe unter dem Wert der doppelten Streckgrenze liegt.

$K =$ le double de la limite d'élasticité $\sigma_{p0,2}$ du matériau recuit, ou bien la résistance à la traction du matériau recuit, lorsqu'elle ne dépasse pas le double de la limite d'élasticité.

$v = 0,75$

$v = 0,75$

Böden unter äusserem Druck sind nach den gleichen Formeln zu berechnen wie bei Beanspruchung durch inneren Ueberdruck. Dabei ist die Sicherheit gegen Verformen mit dem 1,4 fachen der danach ermittelten Wanddicke zu berücksichtigen. Die Erhitzung beim Schweiessen verringert die Festigkeit des Werkstoffes. Daher muss der Festigkeitswert des weichgeglühten Zustandes auch dann zugrunde gelegt werden, wenn für die verwendeten Bleche im Anlieferungszustand eine höhere Härtestufe nachgewiesen wurde.

Les fonds soumis à une pression extérieure peuvent être calculés comme ceux soumis à une pression intérieure. Leur épaisseur sera toutefois 1,4 fois celle indiquée par la formule, par sécurité contre le bossellement. L'échauffement dû au soudage amoindrit la résistance du métal. C'est pourquoi il faut prendre comme base la résistance du métal recuit, même lorsque les tôles façonnées ont été livrées avec un degré de dureté supérieur.