

Ekkehard Kröger
Ing.grad.
Glockenbreite 47
3 44 14 Warburg

Warburg , den 04. August 1988

Tel.: 0 56 41 / 74 10 27

Berechnungen zum Dampf- Betrieb des Seitenrad-Dampf-Schleppers

BUFFY (ex) STRONGBOW

1.) Verdrängung

Länge über alles = 1580 mm
Breite des Rumpfes = 310 mm
Breite über alles = 510 mm
Tiefgang (KWL) = 140 mm

Völligkeitsgrad (geschätzt) = 0,6

Volumen = l * b * t * 0,6
= 15,8 dm * 3,1dm * 1,4dm * 0,6
= 41,2 dm³

2.) Geschwindigkeit

Maßstab 1:25

$V_{\text{original}} = 9,7 \text{ Knoten} = 18 \text{ km/h}$

$V_{\text{Modell}} = V_{\text{original}} / \sqrt{\text{Maßstab}}$

$V_{\text{Modell}} = (18000 \text{ m} / 3600 \text{ sec}) / \sqrt{25}$

$V_{\text{Modell}} = 1 \text{ m} / \text{sec} = 3,6 \text{ km/h}$

3.) erforderliche Bremsleistung der Dampf-Maschine

überschlägig nach "Dampf-6", Seite 6

$P_{\text{Bremsse}} = 1,6 * \sqrt{\text{Verdrängung} * \text{Geschwindigkeit}^3}$ in [kg] , [m/sec]

$P_{\text{Bremsse}} = 1,6 * \sqrt{41,2 * 1^3 * m^3 / \text{sec}^3}$

$P_{\text{Bremsse}} = 10,2 \text{ W}$

mit mechanischem Wirkungsgrad von ergibt sich eine induzierte Maschinenleistung von 10,2 W / 0,6 = 17 W.

4.) Drehzahl der Schaufel-Räder

Mit der Annahme des Schaufelwirkungsgrads η_{Schaufel} von 0,8 und dem Raddurchmesser von 215 mm ergibt sich eine maximale Drehzahl von:

$$n_{\text{Rad}} = \frac{1000\text{mm} * 60\text{sec}}{\text{sec} * 0,8 * 215 * \pi * \text{min}}$$

$$n_{\text{Rad}} = 111 \text{ [1/min]}$$

5.) Füllungsgrade und mittlerer Druck

$$P_{\text{Kessel}} = 4 \text{ bar} \quad P_{\text{Receiver}} = 1 \text{ bar}$$

Annahme: Hochdruckzylinder zu 70% Füllung bei 10% Volumenschwund durch Kondensation und Leckage.

$$P_{m_{\text{Hochdruckzylinder}}} = (70 - 10)/100\% * P_{\text{Kessel}}$$

$$P_{m_{\text{Hochdruckzylinder}}} = 0,6 * 4 \text{ bar}$$

$$P_{m_{\text{Hochdruckzylinder}}} = 2,4 \text{ bar}$$

Annahme: Niederdruckzylinder zu 82% Füllung bei 10% Volumenschwund durch Kondensation und Leckage.

$$P_{m_{\text{Niederdruckzylinder}}} = (82 - 10)/100\% * P_{\text{Receiver}}$$

$$P_{m_{\text{Niederdruckzylinder}}} = 0,72 * 1 \text{ bar}$$

$$P_{m_{\text{Niederdruckzylinder}}} = 0,72 \text{ bar}$$

6.) zu erwartende Bremsleistung der Maschine

überschlägig nach "Dampf-6", Seite 9

$$P_{\text{Brems}} = (A_{\text{Hd}} * \text{Hub} * P_{m_{\text{Hd}}} * n * h + A_{\text{Nd}} * \text{Hub} * P_{m_{\text{Nd}}} * \eta * n) / 3,057$$

in [cm²] * [m] * [bar] * [1/min] ergibt sich die Leistung zu [W]

mit Hochdruckzyl. \varnothing 19 mm wird $A_{\text{Hd}} = 1,9^2 \text{ cm}^2 * \pi/4 = 2,83 \text{ cm}^2$

mit Niederdruckzyl. \varnothing 38 mm wird $A_{\text{Nd}} = 3,8^2 \text{ cm}^2 * \pi/4 = 11,3 \text{ cm}^2$

dabei ist der Hub $2 * 19 = 38 \text{ mm}$ oder $0,038 \text{ m}$

$$P_{\text{Brems}} = (2,83 * 0,038 * 111 * 0,6 * 2,4 + 11,3 * 0,038 * 111 * 0,6 * 0,72) / 3,057$$

$$P_{\text{Brems}} = (17,2 + 20,5) / 3,057$$

$$P_{\text{Brems}} = 12,3 \text{ W}$$

7.) Dampf - Verbrauchs Kalkulation

Hier Anfahr-Betrieb mit Frischdampfzufuhr zum Reciever als maximale Situation

$$\dot{V} = (2,8 + 11,3) * 3,8 \text{ cm}^3 * 111 \text{ l/min} = 5947 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Bei 4 bar ist das spezifische Volumen $330 \text{ cm}^3/\text{gr}$
Für den Volldruckbetrieb ist also der maximale Verbrauch:

$$5947 \text{ cm}^3/\text{min} / 330 \text{ gr/cm}^3 * 1000\text{gr} / \text{kg} * 60 \text{ min} / \text{h} = 0,94 \text{ kg} / \text{h}$$

8.) Heizflächenbedarf

Mit der Annahme des Kesselwirkungsgrads $\eta_{\text{Kessel}} = 0,6$ und einer üblichen Heizflächenbelastung eines schottischen Schiffskessels von ca. $20 \text{ kg} / (\text{m}^2 * \text{h})$ wäre die erforderliche Heizfläche :

$$A_{\text{Heizfläche}} = \frac{0,94\text{kg}}{h} * \frac{\text{m}^2 * h}{20\text{kg} * 0,6}$$
$$A_{\text{Heizfläche}} = (0,94 / 12) \text{ m}^2 * 10\,000 \text{ cm}^2 / \text{m}^2 = 783 \text{ cm}^2$$

9.) erforderliche Wärmemenge

nach "Dampf-2", Seite 57 und 62

bei $P_{\text{Kessel}} = 4 \text{ bar}$ beträgt die Enthalpie $2751 \text{ kJ} / \text{kg}$ und die Satt-Dampf Temperatur ist dann 151° Cels. Da in der Wendekammer des Kessels eine zur Dampftrocknung gedachte "Überhitzer-Rohrschlange" vorgesehen ist, die ggf. wirklich zur Überhitzung dient, wird hier mit einem auf 200° Cels. überhitzten Dampf weiter gerechnet, der dann $2857 \text{ kJ} / \text{kg}$ an Energie enthält. Somit ergibt sich:

$$Q = 0,94 \text{ kg} / \text{h} * 2857 \text{ kJ} / \text{kg}$$
$$Q = 2686 \text{ kJ} / \text{h}$$

10.) erwarteter Gasverbrauch

Das übliche Buthan-Gas enthält ca $46090 \text{ kJ} / \text{kg}$. Als Brennerwirkungsgrad kann erfahrungsgemäß $\eta_{\text{Brenner}} = 0,7$ eingesetzt werden. Die Gasmenge errechnet sich dann also zu:

$$m_{\text{Gas}} = \frac{2685\text{kJ}}{h} * \frac{\text{kg} * 0,7}{46090\text{kJ}} = 0,083 \text{ kg} / \text{h}$$

11.) erwartete Brenndauer

Eine handelsübliche GAZ-Gaskartusche enthält 190 gr Flüssiggas.

$$\text{Brenndauer} = 190 \text{ gr} / 80\text{gr pro Stunde}$$
$$\text{Brenndauer} = 2,37 \text{ h} = 2\text{h } 22\text{min.}$$

12.) Kupfer Festigkeit

Aus FRIEDRICHS - Tabellenbuch, Seite 51:

Kupfer, erwärmt auf 120° Cels hat noch eine zulässige Spannung $\sigma_{zul.}$ von 22 N/mm². Für je 20° Cels. höher ist $\sigma_{zul.}$ um je 1 N / mm² niedriger anzusetzen.

Also bei 151° Cels. wird $\sigma_{zul.}$ dann $(22 - (151-120)/20) = 20,5 \text{ N/mm}^2$

13.) erforderliche mindest Wandstärke des Kessels

Nach AD- Mekbkatt B1 (zylindrische Mäntel unter innerem Überdruck) mit einem Verhältnis $D_a / D_i \leq 1,2$ gilt :

$$s = \frac{D_a * p}{20 \frac{K}{S} * v + p} + C_1 + C_2 \quad \text{mit folgenden Parametern :}$$

- s = erforderliche Wanddicke in [mm]
P = Berechnungsdruck in [bar]
k = Festigkeitskennwert des Materials in [N/mm²]
S = Sicherheitsfaktor dimensionslos
v = ggf. Verschwächungsbeiwert dimensionslos
c₁ = Zuschlag für Wandstärken Unterschreitung innerhalb der zulässigen Rohr-Toleranzen in [mm].
c₂ = Zuschlag für Abnutzungen und Korrosion in [mm]

folgende Werte werden hier zugrunde gelegt:

$$P = 4,0 \text{ bar}$$

$$k = 20,5 \text{ N/mm}^2$$

$$S = 1,3 \text{ für Kupfer als zähes Material}$$

$$v = 1,0 \text{ (das Rauchkammer Rohr ist innen drucklos)}$$

$$c_1 = 0,1 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0 \text{ mm (rostfreies Material, keine aggressive Umgebung, kein Abrieb)}$$

$D_a / D_i = 154 / 150 = 1,02 \leq 1,2$! Der Gültigkeitsbereich der Formel ist gegeben!

$$s = \frac{150 \text{ mm} * 4 \text{ bar}}{20 \frac{20,5 \text{ N/mm}^2}{1,3} * 1 + 4 \text{ bar}} + 0,1 + 0$$

$$s = \frac{616}{315,4 + 4} + 0,1 + 0$$

s = 2,0 mm ist die erforderliche Stärke des Kesselmantels.

14.) erforderliche Bodenstärke der Kesselfront

Nach AD- Mekbkatt B5 (runde ebene Rohrplatten mit einer frei beweglichen Gegenplatte eines Schwimmkopfes , Absatz 6.7.4 Hier gilt :

$$s = C_5 \cdot D_1 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot S}{10 \cdot k \cdot v}}$$

mit folgenden Parametern :

s = erforderliche Wanddicke in [mm]
P = Berechnungsdruck in [bar]
k = Festigkeitskennwert des Materials in [N/mm²]
S = Sicherheitsfaktor dimensionslos

c₅ = nach Kurve im Anhang Bild 16

D₁ = ist der Durchmesser des gekrempten Bodens, abzüglich der doppelten Wandstärke und des einfachen Krempe-Innenradius in [mm]

v = t - d₁ / t nach 6.1.7.5

folgende Werte werden hier zugrunde gelegt:

P = 4,0 bar

k = 20,5 N/mm²

S = 1,3 für Kupfer als zähes Material

D₁ = (150 - 2 * 2 - 2) mm an der Kesselfront = 144 mm

v = 52 - 39 / 52 = 0,25

(der andere v-Wert mit 26 - 16 / 26 = 0,38 wäre der Günstigere gewesen und wird hier zur Sicherheit nicht angewendet.)

c₅ = 0,3 mit l / D₁ = 36 / 144 = 0,25

$$s = 0,3 \cdot 144 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{1 \cdot 1,3}{10 \cdot 20,5 \cdot 0,25}}$$

$$s = 0,3 \cdot 144 \text{ mm} \cdot 0,32$$

s = 13,8 mm ist die erforderliche Stärke der Kesselfront.

Bei Wandstärke = 2 mm muß also eine Verstärkungsrippe vorgesehen werden!

15.) erforderliche Bodenstärke der Kesselrückseite

Nach AD- Mekbkatt B5 (ebene Böden ohne Verankerungen, und ohne zusätzliches Randmoment] ,
Absatz 6.1.1 Hier gilt :

$$s = C \cdot D_1 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot S}{10 \cdot k}}$$

mit folgenden Parametern :

s = erforderliche Wanddicke in [mm]
P = Berechnungsdruck in [bar]
k = Festigkeitskennwert des Materials in [N/mm²]
S = Sicherheitsfaktor dimensionslos
D₁ = ist der Durchmesser des gekrempten Bodens, abzüglich der doppelten Wandstärke und
des einfachen Krempe-Innenradius in [mm]
c = Berechnungs Faktor nach Tafel 1, Fall a.

folgende Werte werden hier zugrunde gelegt:

P = 4,0 bar
k = 20,5 N/mm²
S = 1,3 für Kupfer als zähes Material
D₁ = (150 - 2 * 2 - 2) mm an der Kesselfront = 144 mm
c = 0,3

$$s = 0,3 \cdot 144 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3}{10 \cdot 20,5}}$$

$$s = 0,3 \cdot 144 \text{ mm} \cdot 0,159$$

s = 6,9 mm ist die erforderliche Stärke der Kesselrückseite.
Bei Wandstärke = 2 mm muß also auch hier eine Verstärkungsrippe vorgesehen werden!

16.) erforderliche Bodenstärke der Rauchkammerrückseite

Nach AD- Mekbkatt B5 (rechteckige Platten ohne zusätzliches Randmoment]
Absatz 6..2 Hier gilt :

$$s = C \cdot C_E \cdot f \cdot \sqrt{\frac{p \cdot S}{10 \cdot k}}$$

mit folgenden Parametern :

s = erforderliche Wanddicke in [mm]
 P = Berechnungsdruck in [bar]
 k = Festigkeitskennwert des Materials in [N/mm²]
 S = Sicherheitsfaktor dimensionslos
 c_E = Beiwert für rechteckige oder elliptische Platten nach Bild 2
 c = 0,4 nach 6.2.1 (eingespannt)
 f = kleine Plattenlänge (hier nach Tafel 1, Fall a.)

folgende Werte werden hier zugrunde gelegt:

P = 4,0 bar
 k = 20,5 N/mm²
 S = 1,3 für Kupfer als zähes Material
 f = 95 - 2 * 2 - 2 = 89 mm
 c_E ermittelt sich aus dem Verhältnis der Seitenlängen zu :
 (95 - 6) / (104 - 6) = 89 / 98 = 0,91 nach Bild 2 mit 1,16

$$s = 0,4 * 1,16 * 98 \text{ mm} * \sqrt{\frac{4 * 1,3}{10 * 20,5}}$$

$$s = 0,46 * 89 \text{ mm} * 0,159$$

s = 6,6 mm ist die erforderliche Stärke der Rauchkammerrückwand.

Bei Wandstärke = 2 mm muß also eine Abstützung oder eine Verstärkungsrippe vorgesehen werden!

Hier wurde eine Abstützung in Form von zwei Röhrchen zu Kesselrückwand vorgesehen. Diese sind geschickterweise in die Fluchtungslinie der Flammrohre gelegt worden, um gegebenenfalls eine optische Überwachung der Brennerflamme realisieren zu können, welche beim Verlöschen der Flamme (Dunkelheit) die Gaszufuhr absperren kann

17.) erforderliche Bodenstärke der Rauchkammerfront

Nach AD- Mekbkatt B5 (rechteckige frei bewegliche Rohrplatte eines Schwimmkopfes) , ähnlich Bild 15 (nach Absatz 6.7.4.1) Hier gilt :

$$s = C * C_5 * C_E * f * \sqrt{\frac{p * S}{10 * k * v}}$$

mit folgenden Parametern :

s = erforderliche Wanddicke in [mm]
 P = Berechnungsdruck in [bar]
 k = Festigkeitskennwert des Materials in [N/mm²]

S = Sicherheitsfaktor dimensionslos
 c = 0,4 nach 6.2.1 (eingespannt)
 c_5 = nach Kurve im Anhang Bild 16
 c_E = Beiwert für rechteckige oder elliptische Platten nach Bild 2
 f = kleine Plattenlänge (hier nach Tafel 1, Fall a.)
 $v = t - d_1 / t$ nach 6.1.7.5
 folgende Werte werden hier zugrunde gelegt:

P = 4,0 bar
 k = 20,5 N/mm²
 S = 1,3 für Kupfer als zähes Material

$c_5 = 0,38$ mit $l / f = 22 / 89 = 0,25$
 c_E ermittelt sich aus dem Verhältnis der Seitenlängen zu :
 $(95 - 6) / (104 - 6) = 89 / 98 = 0,91$ nach Bild 2 mit 1,16
 $f = 95 - 2 * 2 - 2 = 89$ mm
 $v = 52 - 39 / 52 = 0,25$
 (der andere v-Wert mit $26 - 16 / 26 = 0,38$ wäre der Günstigere gewesen und wird hier zur Sicherheit nicht angewendet.)

$$s = 0,4 * 0,38 * 1,16 * 89 \text{ mm} * \sqrt{\frac{4 * 1,3}{10 * 20,5 * 0,25}}$$

$$s = 0,17 * 89 \text{ mm} * 0,32$$

s = 5,2 mm ist die erforderliche Stärke der Rauchkammerfront.

Bei Wandstärke = 2 mm muß also eine Abstützung oder eine Verstärkungsrippe vorgesehen werden! Hier bildet die Anordnung der Rauchrohre von sich aus eine wirksame Abstützung zu Kesselfront.

18.) Ermittlung der tatsächlichen wasserseitigen Heizfläche

a.) Flammrohre

Abmessungen: Ø42 x 190 lg x 2 Stück

Fläche: $4,2 \text{ cm} * \pi * 19 \text{ cm} * 2 = 501 \text{ cm}^2$

b.) Quersiederohre

Abmessungen: Ø12 x 39 lg x 8 Stück

Fläche: $1,2 \text{ cm} * \pi * 3,9 \text{ cm} * 8 = 117 \text{ cm}^2$

c.) Rauchkammer Rückwand

Abmessungen: $43 \times 104 + 2 * (52 * 26) + 26^2 * \pi$

Fläche: $4,3 \text{ cm} * 10,4 \text{ cm} + 2 * (5,2 \text{ cm} * 2,6 \text{ cm}) + 2,6^2 \text{ cm}^2 * \pi = 93 \text{ cm}^2$

d.) Rauchkammer Front

Abmessungen: $93 \text{ cm}^2 - \text{Ø}42 \times 2 - \text{Ø}18 \times 7$

Fläche: $4,2^2 \text{ cm}^2 * \pi / 4 * 2 - \text{Ø}1,8^2 \text{ cm}^2 * \pi / 4 * 7 = 47 \text{ cm}^2$

e.) Rauchkammer Mantel

Abmessungen: $(\varnothing 52 * \pi + 2 * 52 + 2 * 43) * 54 - \varnothing 42$

Fläche: $(2 * 2,6\text{cm} * \pi + 2 * 5,2\text{cm} + 2 * 4,3\text{cm}) * 5,4\text{cm} - 4,2^2\text{cm}^2 * \pi/4 = 177 \text{ cm}^2$

f.) Rauchkammerstutzen

Abmessungen: $\varnothing 42 * 39 \text{ lg}$

Fläche: $4,2 \text{ cm} * \pi * 3,9 \text{ cm} = 51 \text{ cm}^2$

g.) Rauchrohre

Abmessungen: $\varnothing 18 * 194 \text{ lg} * 7 \text{ Stück}$

Fläche: $1,8 \text{ cm} * \pi * 19,4 \text{ cm} * 7 = 768 \text{ cm}^2$

Die Summe dieser Flächen beträgt :

Flammrohre	=	501 cm ²
Quersiederohre	=	177 cm ²
Rauchkammerrückwand	=	93 cm ²
Rauchkammerfront	=	47 cm ²
Rauchkammermantel	=	177 cm ²
Rauchkammerstutzen	=	51 cm ²
Rauchrohre	=	768 cm ²

die gesamte Heizfläche ist dann 1754 cm²

19.) Speise-Pumpe

Mit einem Verbrauch von 0,94 kg Dampf pro Stunde maximal sollte die Speisepumpe, da sie nicht dauernd läuft, ca. 1,2 ltr / h fördern. Der Exzenter hat einen Hub von 6 mm und der Kolben hat 5 mm Durchmesser.

$$A = 0,5^2 \text{ cm}^2 * \pi / 4$$

$$A = 0,1963 \text{ cm}^2$$

Das theoretische Fördervolumen je Hub ist $0,6 \text{ cm} * 0,1963 \text{ cm}^2 = 0,117 \text{ cm}^3$. Bei einem volumetrischen Wirkungsgrad von 90% sind immer noch $0,9 * 117 \text{ cm}^3 = 0,1 \text{ cm}^3$ zu berücksichtigen.

20.) Speise-Pumpen Drehzahl

$$(1,2 \text{ ltr} / \text{h} * 1 \text{ h} / 60 \text{ min} * 1000 \text{ cm}^3 / \text{ltr}) = 200 \text{ 1/min}$$

21.) Pumpen-Kolben Kraft

Bei 4 bar ist die Kolbenkraft = $40\text{N/cm}^2 * 0,1963\text{ cm}^2 = 7,85\text{ N}$. Mit einer geschätzten Reibungskraft der Stopfbuchse am Plungerkolben von 5 N wären ca.13 N aufzuwenden.

22.) Drehmoment des Pumpenantriebs

Bei einer Kurbelstellung (Exzenterstellung von 90° zur Pleuelstange ist das maximale Moment aufzuwenden. Die Pleuelstangenlänge ist 3,75 cm. Die Kolbenkraft, zerlegt in eine radiale und eine tangentielle Komponente (bezogen auf den Kurbelkreis), ergibt also ein Verhältnis von $3,75^2$ zu $0,3^2$. Die Tangentialkraft ist also nahezu gleich der Kolbenkraft ! Mit der Kolbenkraft ist also ein Drehmoment von $13\text{ N} * 0,3\text{ cm} = 3,9\text{ Ncm}$ anzusetzen.

23.) erforderliche Motorleistung für die Speisepumpe

Stände dauernd das maximale Drehmoment an, so wäre die Leistung mechanisch ermittelt :

$$P = 3,9\text{ Ncm} * 200\text{ 1/min} = \frac{780\text{Ncm}}{\text{min}} * \frac{\text{min} * W}{6000 * \text{Ncm} * 1} = 0,13\text{ W}$$

Mit der hydraulischen Formel (Leistung = Druck x Volumenstrom) Ermittelt sich die Leistung zu :

$$P = \frac{4\text{bar} * 10\text{N}}{1\text{bar} * \text{cm}^2} * \frac{1200\text{cm}^3}{h} * \frac{1h}{3600\text{sec}} * \frac{1m}{100\text{cm}} * \frac{1W * \text{sec}}{\text{Nm}}$$

$$P = 0,133\text{ W}$$

24.) erforderliche Dimension der Verstärkungsrippe der Kesselfront

Berechnung der Axialkraft auf den Kesselboden:

$$\text{Bodenfläche } A = 15^2\text{cm}^2 * \pi / 4 = 176,7\text{ cm}^2$$

Mit einem Druck von 4 bar ergibt sich dann die Axialkraft zu:

$$F = 176,7\text{cm}^2 * 40\text{N/cm}^2 = 7068\text{ N}$$

Ersatzweise wird angenommen, daß diese Kraft auf einen 75 mm breiten Streifen mit 150mm Spannweite als Gleichstrecken-Last wirkt , um so ein dazu erforderliches Widerstandsmonment zu ermitteln.

$$M_b = F \cdot l / 8 = 7068 \text{ N} \cdot 15 \text{ cm} / 8 = 13252 \text{ Ncm}$$

$$\text{Mit } \sigma_{zul} = 2050 \text{ N/cm}^2 \text{ ergibt sich dann } W_{erf} = 13252 \text{ Ncm} / 2050 \text{ N/cm}^2 = 6,46 \text{ cm}^3$$

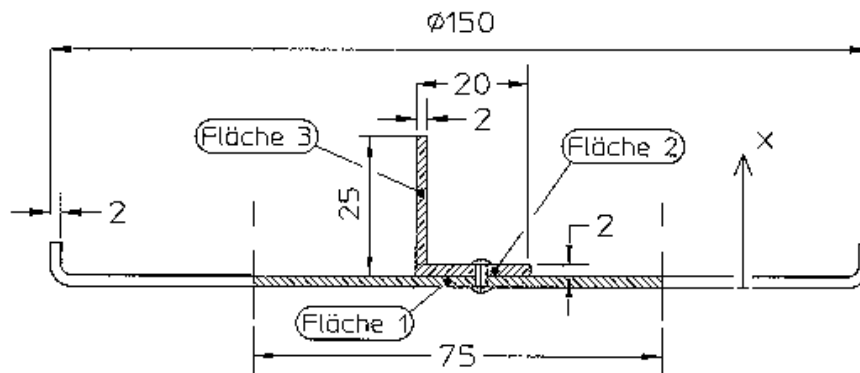
Die erforderliche Höhe eines 7,5 cm breiten Streifens der diesem Widerstandsmoment entspricht wäre vergleichsweise zu berechnen mit folgenden Werten:

$$H_{erf.} = \sqrt{\frac{6 \cdot W_{erf.}}{b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 6,4 \text{ cm}^3}{7,5 \text{ cm}}} = 2,26 \text{ cm}$$

Für die nicht durch Flammrohre und Rauchrohre an der Rauchkammer abgestützte Kesselrückwand ergab sich unter Absatz 15 dieser Berechnungen eine erforderliche Wandstärke von 6,9 mm, die im Verhältnis zum ersatzweise gedachten Streifen von 22,6mm Stärke im Verhältnis von $22,6 / 6,9 = 3,27$ steht. Somit kann angenommen werden, daß das erforderliche Widerstandsmoment der Verstärkungsrippe auch nur $6,46 \text{ cm}^3 / 3,27 = 1,98 \text{ cm}^3$ betragen muß.

Diese Forderung erfüllt die nachfolgend angegebene Verstärkungsrippe

Skizze der Anordnung



Berechnung des Flächenträgheitsmoments "I" nach Steiner

Fläche	x [cm]	A [cm ²]	x * A [cm ³]	I _{Eigen} [cm ⁴]	e [cm]	e ² * A [cm ⁴]
1	0,10	1,50	0,15	0,00	0,32	0,15
2	0,30	0,40	0,12	0,00	0,12	0,00
3	1,55	0,46	0,72	0,21	1,13	0,59
Summen:	----	2,36	0,99	0,21	----	0,75

$$x_{\text{Schwerpunkt}} = \frac{\sum x \cdot A}{\sum A} = \frac{0,99 \text{ cm}^3}{2,36 \text{ cm}^2} = 0,42 \text{ cm}$$

$$I_{\text{gesamt}} = \sum I_{\text{Eigen}} + \sum e^2 \cdot A = 0,21 \text{ cm}^4 + 0,75 \text{ cm}^4 = 0,95 \text{ cm}^4$$

Berechnung des Widerstandsmoments:

$$W = \frac{I_{gesamt}}{Randfaserabs \tan d_{Zugfaser}} = \frac{0,95cm^4}{0,42cm} = 2,26 cm^3$$

25.) Berechnung der Wandstärke des Wasserstands - Anzeigers

Nach AD - Merkblatt N4 - Tafel 1, kann bis 300° Cels. unbedenklich das zur Verfügung stehende Borsilikat-Glas eingesetzt werden.

Nach Absatz 5.4.1 ist der Wert k/S (Wekstofffestigkeit / Sicherheitsfaktor) für Zug - und Biegebelastungen mit 8 N/mm² oder bei nicht "feuerblanker" Oberfläche also der Möglichkeit von Kratzern etc. sogar nur mit 4 N/mm² anzusetzen.

Generell ist wieder, wie beim Kesselmantel, die Berechnung nach AD- Merkblatt , B1 vorzunehmen.

$$s = \frac{Da * p}{20 \frac{K}{S} * v + p} + C_1 + C_2$$

mit folgenden Parametern :

s = erforderliche Wanddicke	in [mm]
P = Berechnungsdruck	in [bar]
k = Festigkeitskennwert des Materials	in [N/mm ²]
S = Sicherheitsfaktor	dimensionslos
v = ggf. Verschwächungsbeiwert	dimensionslos
c ₁ = Zuschlag für Wandstärken Unterschreitung innerhalb der zulässigen Rohr-Toleranzen in [mm].	
c ₂ = Zuschlag für Abnutzungen und Korrosion in [mm]	

folgende Werte werden hier zugrunde gelegt:

$$P = 4,0 \text{ bar}$$

$$k/S = 4 \text{ N/mm}^2$$

$$v = 1,0$$

$$c_1 = 0,1 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0 \text{ mm (rostfreies Material, keine aggressive Umgebung, kein Abrieb)}$$

$$s = \frac{6,5mm * 4bar}{20 * 4N/mm^2 * 1 + 4bar} + 0,1 + 0$$

$$s = \frac{26}{80 + 4} + 0,1 = 0,31 + 0,1$$

s = 0,41 mm ist die erforderliche Stärke des Glasröhrchens.

Die vorhandene Wandstärke von 1mm ist also ausreichend.

26.) Endprüfung des Kessels

Nach der Druckbehälter - Verordnung der Bundesrepublik Deutschland vom 27. Februar 1980, Paragraph 8, fällt ein derartiger Kessel unter die Prüfgruppe II .

Diese ist gekennzeichnet durch den Betriebsüberdruck von $p > 1\text{bar}$ und ein Produkt von *DRUCK * INHALT* in den Einheiten [bar * ltr] ≤ 200 , wobei sich im Inneren der Behälter Flüssigkeiten und / oder Gas- und / oder Dampf - Druckpolster befinden, bei Temperaturen, welche den Siedepunkt der Flüssigkeiten bei atmosphärischem Druck überschreiten .

Nach Paragraph 9 ist eine Prüfung vor der ersten Inbetriebnahme vorgeschrieben. Hierfür ist in Abschnitt 1 der **Hersteller** und in Abschnitt 2 ein **Sachkundiger** vorgeschrieben. Die Definition eines **Sachkundigen** ist dann in Paragraph 32 festgelegt.

Der Umfang der Prüfung ist in Paragraph 9, Abschnitt 3 festgelegt, die Durchführung der Prüfung regelt das AD- Merkblatt HP-20. (Herstellung und Prüfung)
Darin steht unter anderem, daß die Druckprüfung bei vollständig mit Wasser gefülltem, entlüftetem Kessel bei einem Prüfdruck, der bei zähen Nichteisenmetallen (z.B. Kupfer). dem 1,3-fachen des späteren maximalen Betriebsdrucks betragen muß, vorgenommen wird.
Also hier in unserem Fall: $4\text{bar} * 1,3 = 5,2\text{ bar}$.

Grundsätzlich ist es empfehlenswert, sich die neueste (aktuelle) Ausgabe der AD-Merkblätter und der Druckbehälterverordnung zu beschaffen, und danach vorzugehen. Dazu gibt es z.B. im Beuth Verlag ein Taschenbuch das diese Regelwerke beinhaltet. (allerdings, durch die Lizenz diese geschützten Normen abzdrukken, nicht ganz billig !)

+ + - - - - - + + - - - - - + + - - - - - + + - - - - - + +