

3453_r-30/5.01-16

CALCULATIONS of WALL
THICKNESS OF OVENS

Durchflussmessung mit Normblenden
Berechnungen für die Wandmessungen.
 - - - - -

Unter Wandmessung versteht man kurzseitige Messungen in Rohrleitungen, bei denen das Druckgerät nur für die Zeit der vorgenommenen Messungen in der Rohrleitung eingebaut ist und nach Beendigung der Messungen sofort wieder abgebaut wird. Da bei dem Ein- und Ausbau keine grossen Änderungen der Rohrleitung vorgenommen werden können, wird ein schärkantiger Messflansch eingebaut, der wegen seiner kurzen Baulänge zwischen zwei Flansche der Rohrleitung geschoben werden kann.

Die allgemeine Formel zur Berechnung des Durchflusses bei der Messung mit Normblenden lautet:

$$G = 3600 \cdot \alpha \cdot \epsilon \cdot f \cdot \sqrt{2g \cdot h \cdot \rho}$$

Hierbei bedeutet:

- G = Strömung des zu messenden Stoffes in kg/h
- f = lichter Querschnitt der Messflanschbohrung in m²
- g = Erdbeschleunigung in m/sec²
- h = Wirkdruck in kg/m²
- ρ = spez. Gewicht des strömenden Stoffes in kg/m³
- α = Beiwert des Messflansches
- ϵ = Faktor zur Berücksichtigung der Expansion bei Messung kompressibler Stoffe (Dampf, Gas, Luft).

Für den praktischen Gebrauch lassen sich verschiedene konstante Faktoren dieser Gleichung zusammenfassen.

1.) Messung von Wasser und anderen tropfbaren Flüssigkeiten

$$G' = 0,01252 \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot \sqrt{H \cdot \rho}$$

Hierbei ist:

- G' = Durchfluss der Flüssigkeit in l/h
- d = lichte Weite der Bohrung des Messrandes in mm
- H = Wirkdruck in mmH₂O
- ρ = spez. Gewicht der Flüssigkeit in kg/liter

Bei kaltem Wasser $\gamma = 1,2$.

Bei heissem Wasser ist $\sqrt{\gamma}$ aus Tabelle III 2406 zu entnehmen.

α = Deiwert, aus Kurvenblatt Cal.graph.110 zu entnehmen, worin α in Abhängigkeit von "m" dargestellt ist.

$$m = \frac{\text{lichter Messrandnennerschnitt}}{\text{lichter Rohrquerschnitt}} = \left(\frac{A}{D}\right)^2$$

In der anliegenden Anfertigung sind für Rohrleitungen von 40-500 mm IW je 8 Masse für die lichte Weite des Messrandes angegeben. Es empfiehlt sich, bei Anfertigung der Messränder diese Abmessungen zu verwenden. Die Tabelle enthält den Faktor K_1 , der aus $0,01252 d^2 \cdot \alpha$ zusammengesetzt ist. Die Gleichung vereinfacht sich also:

$$G' = K_1 \cdot \sqrt{H} \cdot \sqrt{\gamma}$$

Die Durchflussmesser und Durchflussschreiber, die zur Wadernessung benutzt werden, erhalten zweckmäßig eine Skaleneinteilung, die die direkte Ablesung des Wurzelwertes aus dem Messdruck gestattet. Für Apparate für 6 m WS Messdruck ist der max. Wert also $\sqrt{6} = 2,45$ (Skala ausgeführt bis 2,5). Für Apparate für 2 m WS Messdruck ist der max. Wert $\sqrt{2} = 1,414$ (Skala ausgeführt bis 1,4) .

Wenn andere Flüssigkeiten als Wasser gemessen werden sollen, (Lauge, Zuckerrübensaft etc.), so ist vorher bei uns nachzufragen, ob wegen der Möglichkeit einer Zerstörung der Metallteile des Apparates evtl. Schutzgefäße vorgeschaltet werden müssen, oder ob ein Einfluss der Zähigkeit zu erwarten ist. Hierzu bitten wir, uns die Zähigkeit der Flüssigkeit bei Betriebstemperatur mit anzugeben.

2.) Messung von Dampf.

$$G = 0,396 \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot \sqrt{H} \cdot \sqrt{\gamma}$$

Hierbei ist:

G = Dampfdurchfluss in kg/h

= spez. Gewicht in kg/m^3 aus den üblichen Dampftabellen, entsprechend Dampfdruck und Temperatur an der Messstelle, zu entnehmen.

- 3 -

= Faktor zur Berücksichtigung der Expansion, aus Cal graph 109 zu entnehmen.

Die übrigen Faktoren sind in den gleichen Grössen einzusetzen, wie unter 1) Wassermessung angegeben.

Die Faktoren $0,396 \times d^2$ sind in der anliegenden Tabelle in den Wert K_2 zusammengefasst, sodass sich die Formel vereinfacht:

$$Q = K_2 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{H} \cdot \sqrt{P}$$

Der Wert ε für Dampf wird aus Kurve Cal graph 109 entnommen.

Auf der Abszisse ist das Druckverhältnis $\frac{P_1 - \Delta P}{P_1}$

aufgetragen. Hierbei bedeutet:

P_1 = absoluter statischer Druck in atabs vor der Messstelle.
 ΔP = Wirkdruck in atabs.

Es empfiehlt sich jedoch, bei der Berechnung des Druckverhältnisses nicht den maximalen Wirkdruck des Apparates einzusetzen, weil in diesem Fall der Expansionswert auf den Skalenendwert bezogen wäre. Der Fehler würde also bei kleinerem Durchfluss sich ansteigend vergrössern. Wir setzen bei unseren Berechnungen den Expansionsbeiwert bei ungefähr $\frac{2}{3}$ des max. Durchflusses entsprechend 40...45% des max. Wirkdruckes fest. Diese Regelung hat den Vorteil, dass der Expansionsfehler bei dem Zeigerausschlag, der bei normalem Betrieb bei richtiger Auswahl des Messbereiches im allgemeinen vorhanden ist, der Expansionsfehler annähernd gleich Null wird, und dass alsdann bei grösserem Durchfluss ein kleiner Plusfehler und bei kleinerem Durchfluss ein kleiner Minusfehler vorhanden ist. Beträgt beispielsweise der Messdruck 6 m WS = 0,6 at, so wird der Expansionsbeiwert bei einem Messdruck von 0,25 at berechnet. Beträgt der Messdruck maximal 2 m WS, entsprechend 0,2 at, wird der Expansionsbeiwert bei 0,08 at berechnet.

Nehmen wir an, dass der Betriebsdruck 5 atabs beträgt und der Messdruck max. 6 m WS, so würde sich das Druckverhältnis errechnen:

./.

für die Durchmessung ist auf dem Kurvenblatt Cal. graph. 109 die untere Kurvenschar zu benutzen.

Angenommen, es ist ein Messstab mit einem Öffnungsverhältnis $\alpha = 0,7$ und das vorstehend errechnete Durchflussverhältnis $\xi = 0,95$ vorhanden, so geht man von der Abszisse bei 0,95 senkrecht nach oben, bis man auf die Kurve $\alpha = 0,7$ trifft und von diesem Punkt aus nach links auf die Ordinate, wo der Expansionsbeiwert $\xi = 0,978$ abgelesen wird.

Zu dem gleichen Resultat kommt man, wenn man die mittlere Kurvenschar benutzt und links von der Ordinate Wirkdruck 6 mm WS auf die Kurve $p_1 = 5$ abwärts geht und von hier aus nach unten auf die Kurve $\alpha = 0,7$. Man liest hier auf der linken Ordinate ebenfalls den Expansionsbeiwert $\xi = 0,978$ ab.

3.) Messung von Luft und Gas.

$$Q_n = 0,01252 \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot \xi \cdot \sqrt{h} \cdot \frac{1}{\sqrt{\gamma}}$$

Durchfluss m^3/h trockenes oder feuchtes Gas bezogen auf den jeweiligen Betriebszustand.

$$Q_n = 0,01252 \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot \xi \cdot \sqrt{h} \cdot \frac{\sqrt{\gamma}}{\gamma}$$

Durchfluss m^3/h trockenes Gas bezogen auf einen Normalzustand, beispielsweise 0°C , 760 mm Hg. S.

$$Q_n = 0,01252 \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot \xi \cdot \sqrt{h} \cdot \frac{\sqrt{\gamma}}{\gamma}$$

Durchfluss m^3/h bezogen auf einen Normalzustand, wobei der Durchfluss das Normalvolumen des trockenen Gasanteils bedeutet, welcher in einem feuchten Gas enthalten ist.

In den vorstehenden Formeln haben die einzelnen Faktoren die gleiche Bedeutung wie unter "Durchmessung" angegeben. Es ist jedoch darauf zu achten, dass der Expansionsbeiwert ξ aus dem Kurvenblatt Cal. graph. 109 für das α - und

Luftmessungen aus der oberen Kurvenschar

• § für zweiatomige Gase" entnommen wird.

h = Wirkdruck in kg/m^2 , bzw. schlechtmässig mm Wg entsprechend

γ_D = spes. Gewicht in kg/m^3 bezogen auf den Betriebszustand der Gasszusammensetzung festzustellen und dann auf den Betriebszustand im Verhältnis der absoluten Drücke und dem umgekehrten Verhältnis der absoluten Temperaturen umzurechnen.

γ_n = spes. Gewicht in kg/m^3 des trockenen Gases bezogen auf den Normzustand.

Es ist darauf zu achten, dass sich der Durchfluss Q_n stets auf den Normzustand bezieht, bei welchem auch das spezifische Gewicht γ_n errechnet wurde, am meisten ist üblich $0^\circ\text{C} @ 760 \text{ mm Hg.S.}$ oder $15^\circ\text{C} @ 760 \text{ mm Hg.S.}$

γ_{tr} = spes. Gewicht des trockenen Gasanteils in kg/m^3 bei seinem bei Betriebstemperatur und Betriebsdruck herrschenden Teildruck.

γ_f = spes. Gewicht des feuchten Gases im Betriebszustand

Die Werte γ_{tr} und γ_f errechnen sich wie folgt

$$\gamma_{tr} = \gamma_n \cdot \frac{T_n (P_1 - \gamma P_D)}{T_1 \cdot P_n} ; \gamma_f = \gamma_{tr} + \gamma \cdot \gamma_D$$

Hierbei bedeutet:

T_n die absolute Temperatur des Gases im Normzustand
(Thermometerablesung + 273°C)

T_1 = die absolute Temperatur des Gases im Betriebszustand

P_n = Betriebsdruck des Gases im Normzustand

P_1 = Betriebsdruck des Gases im Betriebszustand an der Messstelle

P_D = den Sättigungsdruck des Wasserdampfes bei der Temperatur T_1

γ_D = das spezif. Gewicht des Wasserdampfes bei P_D

ρ = rel. Feuchtigkeits, definiert als das Verhältnis des wahren Wasserdampfdrucks je Volumeneinheit zu dem Wasserdampfdruck im Zustand der Sättigung bei Betriebsdruck und Betriebstemperatur (kg/kg).

Bei der Berechnung ist darauf zu achten, dass sämtliche Drücke in der gleichen Messeinheit, am besten mm WS oder atms, eingesetzt werden.

Die vorstehend genannten Formeln haben allgemein Gültigkeit sowohl bei U-Rohr-Ablesungen in mm WS als auch bei der Messung mit Ringwaagen und Schwimmermanometern. Bei Schwimmermanometern, welche nach dem U-Rohr-Prinzip arbeiten, ist jedoch darauf zu achten, auf welche Art der Eichung sich die Skalenwerte \sqrt{h} beziehen. Wenn ein Schwimmermanometer für Dampf- und Wassermessungen benutzt wurde, so ist der Hub des Schwimmers so geeicht, dass er sich auf das spezifische Gewicht des Quecksilbers (Quecksilber unter Wasser = 13,1 - 1 = 12,6) bezieht. Wenn ein dergartig geeichter Apparat für Luft- oder Gasmessung benutzt wird, so ist in den Druckübertragungsleitungen und im Apparat selbst oberhalb des Quecksilberspiegels kein Wasser vorhanden, sondern das zu messende Gas drückt direkt auf die Quecksilberstule des Apparates. Hierbei ist das spezifische Gewicht des Quecksilbers = 13,6. Um nun den gleichen Ausschlag auf der Skala zu erhalten, wie bei Messungen von Wasser und Dampf, ist ein $13,6 : 12,6 = 1,08$ mal so grosser Wirkdruck erforderlich. Die nach obigen Formeln errechneten Werte sind demzufolge mit $\sqrt{1,08} = 1,039$ zu multiplizieren. Dieser Faktor findet jedoch bei Ringwaagen keine Anwendung und ebenfalls nicht bei Schwimmermanometern, wenn diese von vornherein für Druckluftmessungen geeicht sind.

In sämtliche vorgenannten Formeln kann an Stelle des Faktors $0,01252 \cdot d^2$ auch der Wert K_1 der nachstehenden Tabellen eingesetzt werden (wie bei Wasser), sodass sich die Formel alsdann vereinfacht:

Beispiel für Q_p :

$$Q_p = K_1 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{h} \cdot \frac{1}{\sqrt{\rho}}$$

Table for Rectangular Weir Discharge

Rehr LW D	Measurand 1. g d	$(\frac{g}{d})^2$ H	K_1	K_2
40	10	0,0625	0,7673	24,24
40	12	0,09	1,109	35,06
40	16	0,16	1,997	63,18
40	20	0,25	3,201	101,3
40	24	0,36	4,811	152,2
40	28	0,49	7,03	222,4
40	32	0,64	10,26	324,7
40	33,47	0,7	11,79	372,7
50	12,5	0,0625	1,192	37,71
50	15	0,09	1,724	54,52
50	20	0,16	3,108	98,3
50	25	0,25	4,982	157,6
50	30	0,36	7,498	237,2
50	35	0,49	10,94	346
50	40	0,64	15,91	503,2
50	41,83	0,7	18,32	579,3
60	15	0,0625	1,715	54,24
60	18	0,09	2,477	78,36
60	24	0,16	4,467	141,3
60	30	0,25	7,157	226,4
60	36	0,36	10,77	340,6
60	42	0,49	15,71	496,8
60	48	0,64	22,77	720,1
60	50,2	0,7	26,26	830,3
70	17,5	0,0625	2,329	73,66
70	21	0,09	3,366	106,5
70	28	0,16	6,073	192,1
70	35	0,25	9,734	307,9
70	42	0,36	14,63	463,6
70	48	0,49	21,32	674,3
70	56	0,64	30,94	978,3
70	58,57	0,7	35,62	1126
80	30	0,0625	3,038	96,1
80	36	0,09	4,39	138,8
80	48	0,16	7,926	250,7
80	60	0,25	12,7	401,5
80	72	0,36	19,07	603,3
80	84	0,49	27,77	878,3
80	96	0,64	40,27	1274
80	96,93	0,7	46,29	1463

Rate 1.0 mm 3	Normal 1.0 mm 4	(8) ² (8)	I ₁	I ₂
90	22,5	0,0625	3,842	121,5
90	27	0,09	5,556	175,7
90	36	0,16	10,01	316,8
90	45	0,25	16,05	507,8
90	54	0,36	24,1	762,4
90	63	0,45	35,12	1111
90	72	0,64	50,87	1609
90	75,5	0,7	58,4	1847
100	25	0,0625	4,734	142,7
100	30	0,09	6,845	215,5
100	40	0,16	12,34	390,4
100	50	0,25	19,77	625,4
100	60	0,36	29,71	935,8
100	70	0,49	45,28	1565
100	80	0,64	62,6	1980
100	83,67	0,7	71,9	2273
125	31,25	0,0625	7,387	233,7
125	37,5	0,09	10,67	351,6
125	50	0,16	19,24	608,6
125	62,5	0,25	30,82	974,8
125	75	0,36	46,28	1464
125	87,5	0,49	67,41	2132
125	100	0,64	97,44	3082
125	104,58	0,7	111,9	3539
150	37,5	0,0625	10,61	335,6
150	45	0,09	15,34	485,3
150	60	0,16	27,66	874,9
150	75	0,25	44,31	1402
150	90	0,36	66,45	2102
150	105	0,49	96,72	3059
150	120	0,64	139,8	4421
150	125,5	0,7	160,8	5084
175	43,75	0,0625	14,43	456,4
175	52,5	0,09	20,87	660
175	70	0,16	37,62	1190
175	87,55	0,25	60,22	1902
175	105,55	0,36	90,3	2856
175	122,5	0,49	131,4	4155
175	140	0,64	189,7	6002
175	146,4	0,7	218,5	6911
200	50	0,0625	18,82	595,2
200	60	0,09	27,2	860,3
200	80	0,16	49,04	1551
200	100	0,25	78,53	2484
200	120	0,36	117,8	3725
200	140	0,49	171	5408
200	160	0,64	246,9	7809
200	167,33	0,7	284,7	9005

Rohr l.Ø mm D	Nennrand l.Ø mm d	$\frac{(d)}{(D)}^2$	K_1	K_2
225	56,25	0,0625	23,8	752,7
225	67,5	0,09	34,41	1088
225	90	0,16	61,98	1961
225	112,5	0,25	99,22	3138
225	135	0,36	148,8	4707
225	157,5	0,49	216,2	6839
225	180	0,64	312	9870
225	188,25	0,7	359,5	11370
250	62,5	0,0625	29,35	928,4
250	75	0,09	42,41	1341
250	100	0,16	76,4	2416
250	125	0,25	122,3	3868
250	150	0,36	183,4	5802
250	175	0,49	266,2	8419
250	200	0,64	384,2	12150
250	209,2	0,7	442,9	14000
275	68,75	0,0625	35,49	1123
275	82,5	0,09	51,27	1622
275	110	0,16	92,36	2921
275	137,5	0,25	147,8	4675
275	165	0,36	221,6	7010
275	192,5	0,49	321,4	10170
275	220	0,64	464	14680
275	230,1	0,7	535,1	16920
300	75	0,0625	42,2	1335
300	90	0,09	60,97	1928
300	120	0,16	109,8	3474
300	150	0,25	175,7	5558
300	180	0,36	263,6	8336
300	210	0,49	381,9	12080
300	240	0,64	551,5	17440
300	251	0,7	636	20110
325	81,25	0,0625	49,52	1566
325	97,5	0,09	71,55	2263
325	130	0,16	128,9	4077
325	162,5	0,25	206,2	6523
325	195	0,36	309,3	9783
325	227,5	0,49	448,2	14180
325	260	0,64	647,2	20470
325	271,9	0,7	746,3	23600
350	87,5	0,0625	57,44	1817
350	105	0,09	82,98	2625
350	140	0,16	149,5	4723
350	175	0,25	239,2	7565
350	210	0,36	358,7	11350
350	245	0,49	519,8	16440
350	280	0,64	750,7	23740
350	292,8	0,7	865,4	27370

Rohr l. S	Messrand	2:		
mm D	l. S mm d	(δ)	K_1	K_2
375	95,75	0,0625	65,93	20,86
375	112,5	0,09	95,26	30,83
375	150	0,16	171,6	54,28
375	187,5	0,23	274,6	86,85
375	225	0,36	411,8	13020
375	262,5	0,49	596,7	18880
375	300	0,64	861,7	27260
375	313,7	0,7	993,5	31420
400	100	0,0625	75,02	2373
400	120	0,09	108,4	3428
400	160	0,16	195,3	6176
400	200	0,23	312,4	9881
400	240	0,36	468,5	14820
400	280	0,49	679	21400
400	320	0,64	980,4	31010
400	334,7	0,7	1131	35760
450	112,5	0,0625	94,94	3003
450	135	0,09	137,2	4339
450	180	0,16	247,1	7817
450	225	0,23	395,4	12510
450	270	0,36	593	18760
450	315	0,49	859,3	27180
450	360	0,64	1241	39250
450	376,5	0,7	1431	45250
500	125	0,0625	117,2	3708
500	150	0,09	169,4	5377
500	200	0,16	305,1	9650
500	250	0,23	488,1	15440
500	300	0,36	732,1	23160
500	350	0,49	1061	35560
500	400	0,64	1532	48460
500	418,3	0,7	1766	55850