Laborübung der Mess- und Automatisierungstechnik

Durchflussmessung

Versuch II: Blende

Bearbeiter:

Betreuer: Dr. Urner

Übungsgruppe: / A

Versuchsdatum: 16. Januar 2004

Aufgabe 1:
Messung eines konstanten Volumenstroms mit konstanter Dichte

Messwerte:

Blende:

p_1-p_2 [Pa]	p_1 [cbar]	p_1 [Pa]	U(p_{amb}) [V]	p_{amb} [Pa]	I(ϑ) [mA]	ϑ [°C]
320	0,62	620	3,93	97840	9,45	22,14

Drehkolben- Volumenzähler:

V [m^3]	t [min]
3090424,3	0
3090466,7	14

Auswertung:

Berechnung des mittleren Volumenstroms am Drehkolben- Volumenzähler (Fehler 2%)

$$\dot{V} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \cdot 60 \frac{\min}{h} = \frac{42{,}4 m^3}{14 \min} \cdot 60 \frac{\min}{h} = 181{,}7 \frac{m^3}{h}$$

$$\Delta\dot{V} = \pm 0{,}02 \cdot \dot{V} = \pm 3{,}6 \frac{m^3}{h}$$

$$\underline{\underline{\dot{V} = 181{,}7 \pm 3{,}6 \frac{m^3}{h}}}$$

Berechnung des Volumenstroms und des wahrscheinlichen Fehlers an der Blende

$p_{amb} = 97840 Pa$	barometrischer Luftdruck
$\kappa = 1{,}4$	Isotropenexponent
$\beta = 0{,}75$	Durchmesserverhältnis
$d = 61{,}5 mm$	Durchmesser der Drosselöffnung
$p_1 = 620 Pa + p_{amb}$	Absolutdruck vor dem Drosselgerät
$p_1 - p_2 = 320 Pa$	Differenzdruck an der Blende
$p_2 = p_1 - (p_1 - p_2) = 98140 Pa$	Absolutdruck nach dem Drosselgerät
$\vartheta = \frac{65°C}{16 mA} \cdot (I(\vartheta) - 4 mA) = 22{,}14°C$	Berechnung der Temperatur aus Messwert I(ϑ)
$T = (22{,}14 + 273{,}15) K = 295{,}29 K$	
$R = 287{,}05 \frac{Nm}{kg \cdot K}$	Gaskonstante

$$D = \frac{d}{\beta} = 82mm$$ innerer Rohrdurchmesser

$$A_2 = \frac{\pi}{4} d^2$$ Rohrquerschnitt hinter der Blende

$$\eta = \frac{1{,}46 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{T}{K}\right)^{\frac{3}{2}}}{110 + \left(\frac{T}{K}\right)} \cdot \frac{kg}{m \cdot s} = \underline{1{,}828 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}}$$ dynamische Zähigkeit

$$\rho = \frac{p_1}{R \cdot T} = \underline{1{,}162 \frac{kg}{m^3}}$$ Dichte der Luft vor der Blende

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \underline{1{,}574 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}}$$ kinematische Zähigkeit

$$\varepsilon = 1 - (0{,}351 + 0{,}256 \cdot \beta^4 + 0{,}93 \cdot \beta^8) \cdot \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{\kappa}}\right]$$

$$\underline{\varepsilon = 0{,}999}$$ Expansionszahl

Der Volumenstrom wird mit einem Iterationsverfahren bestimmt:

Startwert: C= 0,6

$$\dot{V} = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \varepsilon \cdot A_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (p_1 - p_2)}$$

$$\mathrm{Re}_D = \frac{4 \cdot \dot{V}}{D \cdot \pi \cdot \nu}$$ $$A = \left(\frac{19000 \cdot \beta}{\mathrm{Re}_D}\right)^{0{,}8}$$

$$C = 0{,}5961 + 0{,}0261 \cdot \beta^2 - 0{,}216 \cdot \beta^8 + 0{,}000521 \cdot \left(\frac{10^6 \cdot \beta}{\mathrm{Re}_D}\right)^{0{,}7} + (0{,}0188 + 0{,}0063 \cdot A) \cdot \beta^{3{,}5} \cdot \left(\frac{10^6}{\mathrm{Re}_D}\right)^{0{,}3}$$

mit dem neuen Wert für C wird die Berechnung von neuem ausgeführt, bis sich der Wert für den Volumenstrom nur noch minimal ändert

i	C_i	V_i [m^3/h]	Re_i	A_i	C (neu)
1	0,6	181,9399	49867	0,367113	0,611595
2	0,611595	185,4559	50830	0,361534	0,611409
3	0,611409	185,3994	50815	0,361622	0,611412
4	0,611412	**185,4003**	50815	0,361621	

$$\underline{\underline{\dot{V} = 185{,}4 \frac{m^3}{h}}}$$

wahrscheinlicher Fehler des Volumenstroms

$$\Delta d = 0{,}1 mm$$

$$\Delta D = 0{,}2 mm$$

$$Fehlergrenze = \pm \frac{Messbereich \cdot Klasse}{100}$$

$$\Delta T = \pm \frac{65K \cdot 1{,}5}{100} = \pm 0{,}975K$$

$$\Delta p_1 = \pm \frac{20000 Pa \cdot 1}{100} = \pm 200 Pa$$

besteht hauptsächlich aus dem Messfehler von p_{amb}

$$\Delta\left(p_1 - p_2\right) = \pm \frac{1000 Pa \cdot 1}{100} = \pm 10 Pa$$

$$\frac{\Delta C}{C} = \pm(1{,}647 \cdot \beta - 0.5) \cdot 10^{-2}$$

$$\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} = \pm 4 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(p_1 - p_2)}{p_1}$$

$$\frac{\Delta \dot{V}}{\dot{V}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{2}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{2}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta\left(p_1 - p_2\right)}{\left(p_1 - p_2\right)}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta p_1}{p_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta T}{T}\right)^2}$$

$$\underline{\underline{\Delta \dot{V} = 3{,}4 \frac{m^3}{h}}}$$

Aufgabe 2:

Messung der Masse in einem Bilanzzeitraum bei veränderlichem Volumenstrom und veränderlicher Dichte

Messwerte:

Blende:

t [min]	p_1-p_2 [Pa]	p_1 [cbar]	p_1 [Pa]	I(ϑ) [mA]	ϑ [°C]
			(Absolutwert)		
0	493	0,93	98770	9,49	22,30
1	449	0,86	98700	9,61	22,79
2	413	0,82	98660	9,73	23,28
3	356	0,72	98560	9,83	23,68
4	310	0,61	98450	9,92	24,05
5	270	0,56	98400	10,01	24,42
6	227	0,48	98320	10,09	24,74
7	194	0,41	98250	10,15	24,98
8	167	0,35	98190	10,21	25,23
9	136	0,30	98140	10,26	25,43
10	135	0,30	98140	10,32	25,68
11	135	0,30	98140	10,39	25,96
12	134	0,30	98140	10,45	26,20
13	154	0,35	98190	10,55	26,61
14	182	0,40	98240	10,66	27,06
15	223	0,48	98320	10,81	27,67

Drehkolben- Volumenzähler:

t [min]	V [m^3]	I(ϑ) [mA]	ϑ [°C]	p_1 [Pa]
0	500	9,23	21,25	98390
15	541	15,76	47,78	98140

Auswertung:

<u>Berechnung der Masse mit dem Drehkolben- Volumenzähler</u>

$$\overline{\rho} = \frac{\frac{p_{1.0} + p_{1.15}}{2}}{R \cdot \frac{(\vartheta_0 + 273{,}15)K + (\vartheta_{15} + 273{,}15)K}{2}} = \underline{1{,}113 \frac{kg}{m^3}}$$

$$\underline{\underline{m}} = \overline{\rho} \cdot (V_{15} - V_0) = \underline{\underline{45{,}6 kg}}$$

Berechnung der Masse mit der Blende

$$\dot{m} = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \varepsilon \cdot A_2 \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (p_1 - p_2)}$$

Der Massestrom wird analog dem Volumenstrom in Aufgabe 1 mit Hilfe der Iteration bestimmt. Alle dazu benötigten Werte werden wie in Aufgabe 1 ermittelt.

Nur die Reynoldszahl berechnet sich etwas anders: $\mathrm{Re}_D = \frac{4 \cdot \dot{m}}{D \cdot \pi \cdot \eta}$

t [min]	p_1-p_2 [Pa]	p_1 [Pa]	T [K]	ρ [kg/m³]	η [kg/m/s]	C	**m [kg/h]**	Re_D	A	m [kg]
0	493	98770	295,45	1,165	1,829E-05	0,6095	**266,6**	62887	0,3049	
1	449	98700	295,94	1,162	1,831E-05	0,6099	**254,4**	59919	0,3170	4,34
2	413	98660	296,43	1,159	1,833E-05	0,6103	**243,9**	57378	0,3281	4,15
3	356	98560	296,83	1,157	1,835E-05	0,6110	**226,5**	53225	0,3485	3,92
4	310	98450	297,20	1,154	1,837E-05	0,6116	**211,4**	49625	0,3685	3,65
5	270	98400	297,57	1,152	1,839E-05	0,6123	**197,3**	46288	0,3897	3,41
6	227	98320	297,89	1,150	1,840E-05	0,6133	**181,1**	42437	0,4177	3,15
7	194	98250	298,13	1,148	1,841E-05	0,6141	**167,5**	39237	0,4447	2,90
8	167	98190	298,38	1,146	1,843E-05	0,6150	**155,6**	36410	0,4721	2,69
9	136	98140	298,58	1,145	1,844E-05	0,6162	**140,6**	32891	0,5121	2,47
10	135	98140	298,83	1,144	1,845E-05	0,6163	**140,0**	32738	0,5140	2,34
11	135	98140	299,11	1,143	1,846E-05	0,6163	**140,0**	32700	0,5145	2,33
12	134	98140	299,35	1,142	1,847E-05	0,6164	**139,4**	32549	0,5164	2,33
13	154	98190	299,76	1,141	1,849E-05	0,6155	**149,2**	34792	0,4896	2,40
14	182	98240	300,21	1,140	1,851E-05	0,6146	**161,8**	37698	0,4592	2,59
15	223	98320	300,82	1,139	1,854E-05	0,6135	**178,7**	41558	0,4247	2,84

Σ **45,52**

$$\underline{\underline{m}} = \sum_{i=0}^{14} \frac{\dot{m}_i + \dot{m}_{i+1}}{2} \frac{1}{60} h = \underline{\underline{45{,}5 kg}}$$

Die am Drehkolbenzähler ermittelte Masse stimmt gut mit der an der Blende bestimmten Masse überein.
Eine große Unsicherheit besteht jedoch bei der Massebestimmung am Drehkolben- Volumenzähler, da nicht unbedingt davon ausgegangen werden kann, dass sich Druck und Temperatur linear ändern. Der Druck p_1 steigt nach anfänglichem Abfallen sogar wieder an[1], so dass ein mittlerer Druck nur ungenau aus den zwei Messwerten am Anfang und Ende der Messung bestimmt werden kann. Zusätzliche Messungen während der Versuchsdauer gäben genauere Auskunft über den Verlauf von Druck, Temperatur und erhöhen damit die Zuverlässigkeit des Ergebnisses.

[1] gilt nachweislich an der Blende, ist aber auch für den Drehkolben- Volumenzähler anzunehmen

graphische Darstellung vom Massestrom durch die Blende über der Zeit