

Protokoll

Durchflussmessung: Versuch Blende

Praktikumsteilnehmer:

Aufgabenstellung:

Aufgabe 1: Messung eines konstanten Volumenstroms mit konstanter Dichte

Messen sie mit dem Drehkolben-Volumenzähler die Volumendifferenz über eine vorgegebene Messzeit und berechnen sie daraus den mittleren Volumenstrom und seinen Fehler.

Messen sie an den Messstellen der Blende den Differenzdruck (p_1-p_2), den Druck vor dem Drosselgerät p_1 , die Temperatur vor dem Drosselgerät θ und den barometrischen Luftdruck p_{amb} . Berechnen Sie den Volumenstrom und seinen wahrscheinlichen Fehler.

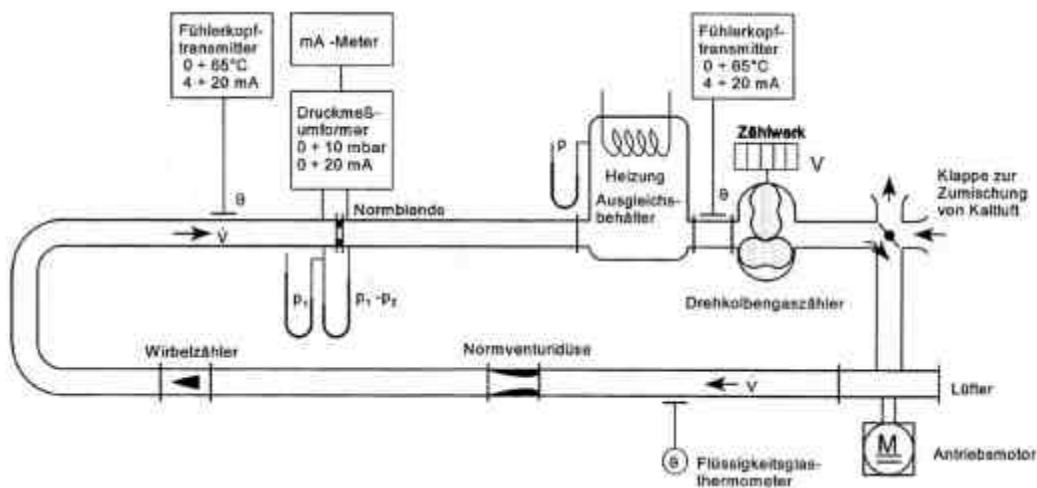
Aufgabe 2: Messung der Masse in einem Bilanzzeitraum bei veränderlichem Volumenstrom und veränderlicher Dichte

In einem vorgegebenen Bilanzzeitraum wird der Volumenstrom kontinuierlich verringert. Dabei sinkt auch der statische Druck p_1 . Gleichzeitig wird mit einer Heizung die Lufttemperatur erhöht. Beginnend mit dem Startsignal werden in vorgegebenen Zeitschritten folgende Werte an der Blende abgelesen: (p_1-p_2), p_1 , θ . Gleichzeitig erfolgt eine Messung mit dem Drehkolben-Volumenzähler. Bestimmen Sie die Masse mit dem Drehkolben-Volumenzähler und mit der Blende. Stellen Sie beide Ergebnisse gegenüber und diskutieren sie die Abweichungen.

Stellen Sie den Verlauf $m = f(t)$ grafisch dar.

Durchführung:

1. Anlagenschaltbild



Die Messung der Temperatur erfolgt mittels Fühlerkopftransmitter und zusätzlich mittels Flüssigkeitglasthermometer. Die Umrechnung der angezeigten Stromstärke des Fühlerkopftransmitters in eine Temperatur erfolgt durch die Gleichung:

$$\theta := 0^\circ\text{C} + \frac{\Delta\theta}{\Delta I} \cdot (I - 4\text{mA}) \quad \text{mit } \Delta\theta := 65\text{K} \quad \text{und} \quad \Delta I := 16\text{mA}$$

Die Messung des Druckes erfolgt mittels zwei verschiedener Druckmessverfahren. Der Druck p_1 und die Druckdifferenz p_1-p_2 werden an einem U-Rohrmanometer in mm WS abgelesen. Die Umrechnung erfolgt über die Dichte von Wasser ($\rho(20^\circ\text{C}) = 998,3 \text{ kg/m}^3$) und die Gleichung:

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Die zweite Meßmethode erfolgt mit einem elektrischen Druckaufnehmer, der die Druckdifferenz p_1-p_2 in Pa ausgibt.

2. Messwerte

1. Aufgabe:

Messwerte an der Blende

U(p_{amb}) in V	p_{amb} in Pa	p_1-p_2 in Pa digital	$\rho h(p_1-p_2)$ in mm WS	p_1-p_2 in Pa aus WS	$\rho h(p_1)$ in mm WS	p_1 in Pa aus WS $p_1 = \rho \cdot g \cdot h + p_{\text{amb}}$	I(?) in mA	ρ in $^\circ\text{C}$ von I	ρ in $^\circ\text{C}$ Flüssigkeitsglas- thermometer
4,30	98600	290	27	265	60	99189	9,31	21,6	22,9

Messwerte am Drehkolben-Volumenzähler

Zeit in min	Zählerwert in m^3	mittlerer Volumenstrom ($V = \rho V / \rho t$) in m^3 / h
0	3659,8	0
1	3662,65	171
2	3665,5	171
3	3668,4	174

2. Aufgabe:

Messwerte an der Blende

Zeit in min	Zähler- wert in m^3	V_{mit} in m^3 / h	p_1-p_2 in Pa digital	ρh in mm WS	p_1-p_2 in Pa berechnet	ρh in mm WS	p_1 in Pa berechnet	I in mA	ρ in $^\circ\text{C}$ berechnet	ρ in $^\circ\text{C}$ abgelesen
0	3679,3	0	291	28	274,7	61	598,4	9,39	21,9	23,6
1	/	/	451	44	431,6	95	932,0	9,49	22,3	24,7
2	3686,6	219	728	72	706,3	147	1442,1	9,72	23,2	/
3	3691,8	312	400	39	382,6	85	833,9	9,83	23,7	27,7
4	3694,6	168	171	16	156,0	38	372,8	9,81	23,6	/
5	3696,5	114	270	26	255,1	60	588,6	9,92	24,1	28,2
6	3699,8	198	460	45	441,5	99	971,2	10,06	24,6	29,8
7	3704,0	252	710	70	686,7	147	1442,1	10,34	25,8	32,3
8	3708,6	276	533	52	510,1	113	1108,5	10,52	26,5	33,3
9	3712,5	234	443	43,5	426,7	93,5	917,2	10,62	26,9	33,4
10	3715,9	204	216	21	206,0	47	461,1	10,61	26,8	32,7

Auswertung

1. Aufgabe:

Berechnung des mittleren Volumenstroms mit einem Fehler von 2% des Messwertes (Drehkolben-Volumenzähler) :

mittlerer Volumenstrom [m ³ /h]	172
? V _{mittel} [m ³]	8,6
2% von ? V _{mittel} [m ³]	0,172
Fehler Volumenstrom [m ³ /h]	3,44

Mittlerer Volumenstrom mit 2% Fehler von Messwert: $V = 172 \pm 3,44 \text{ m}^3/\text{h}$

$$? V/V = 2,0 \%$$

Berechnung des mittleren Volumenstroms (Blende):

Gegebene Werte: $\beta = 0,75$
 $d = 61,5 \text{ mm}$
 $R = 287,05 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
 $D = d/\beta = 82 \text{ mm}$
 $p_{\text{amb}} = 98600 \text{ Pa}$
 $p_1 = 99189 \text{ Pa}$
 $p_2 = 98924 \text{ Pa}$
 $? = 21,6 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T = 294,75 \text{ K}$
 $? = 1,4$
 $? = p_1/(R\cdot T) = 1,17234 \text{ kg}/\text{m}^3$

Berechnungsgleichungen: $e = 1 - (0,351 + 0,256 \cdot \beta^4 + 0,93 \cdot \beta^8) \cdot (1 - (p_2/p_1)^{(1/?)})$
 $e = 0,998998$
 $? = (1,46 \cdot 10^{-6} \cdot T^{(3/2)}) / (110 + T)$
 $? = 1,825352 \cdot 10^{-5} \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$
 $? = ?/?$
 $? = 1,5570 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Iterationsrechnung:

i	V _i [m ³ /h]	Re _i	A _i	C _i	V (neu) [m ³ /h]
1	177,86	49270,1005	0,37066803	0,60540304	166,327449
2	166,33	46076,1038	0,39108512	0,60594846	166,477296
3	166,48	46117,6562	0,3908032	0,60594096	166,475236
4	166,475	46116,2711	0,39081259	0,60594121	166,475305

Fehlerrechnung:

$$\frac{\Delta \dot{V}}{\dot{V}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(2 \cdot \frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta(p_1 - p_2)}{(p_1 - p_2)}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta p_1}{p_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta T_1}{T_1}\right)^2}$$

$$\frac{\Delta C}{C} = \pm 0,0073525$$

$$\frac{\Delta d}{d} = \pm 0,0016$$

$$\frac{\Delta p_1}{p_1} = \pm 0,01$$

$$\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} = \pm 1,07 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{\Delta(p_1 - p_2)}{p_1 - p_2} = \pm 0,01$$

$$\frac{\Delta T_1}{T_1} = \pm 0,015$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \pm 0,013$$

$$? V = 2,174 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = 166,475 \pm 2,174 \text{ m}^3/\text{h}$$

2. Aufgabe:

Bestimmung des mittleren Massenstroms mittels Messblende:

- Iterationsrechnung zur Ermittlung der Teilmassenströme:

t = 0 min

i	m _i	Re _i	A _i	C _i	m (neu)
1	180	4,25E+04	0,41724362	0,60664024	198,533723
2	198,533723	4,69E+04	0,38578051	0,60580724	198,261111
3	198,261111	4,68E+04	0,38620481	0,60581855	198,264811
4	198,264811	4,68E+04	0,38619905	0,6058184	198,264761

$$\begin{aligned} ? = & 1,827E-05 \text{ kg/(m/s)} & T = & 295,05 \text{ K} \\ p_1 - p_2 = & 274,7 \text{ Pa} & ? = & 1,16771295 \text{ kg/m}^3 \\ p_1 = & 98898,4 \text{ Pa} & e = & 0,99895778 \end{aligned}$$

t = 1 min

i	m _i	Re _i	A _i	C _i	m (neu)
1	240	5,66E+04	0,33175604	0,60434791	248,393104
2	248,393104	5,86E+04	0,3227574	0,60410057	248,291443
3	248,291443	5,86E+04	0,32286312	0,60410348	248,292641
4	248,292641	5,86E+04	0,32286187	0,60410345	248,292627

$$\begin{aligned} ? = & 1,829E-05 \text{ kg/(m/s)} & T = & 295,45 \text{ K} \\ p_1 - p_2 = & 431,6 \text{ Pa} & ? = & 1,17360293 \text{ kg/m}^3 \\ p_1 = & 99532 \text{ Pa} & e = & 0,99837256 \end{aligned}$$

t = 2 min

i	m _i	Re _i	A _i	C _i	m (neu)
1	310	7,29E+04	0,27080551	0,60264229	321,666306
2	321,666306	7,57E+04	0,26291925	0,60241566	321,545341
3	321,545341	7,57E+04	0,26299838	0,60241794	321,546559
4	321,546559	7,57E+04	0,26299758	0,60241792	321,546547

$$\begin{aligned} ? = & 1,833E-05 \text{ kg/(m/s)} & T = & 296,35 \text{ K} \\ p_1 - p_2 = & 728 \text{ Pa} & ? = & 1,17603401 \text{ kg/m}^3 \\ p_1 = & 100042 \text{ Pa} & e = & 0,99726775 \end{aligned}$$

t = 3 min

i	m _i	Re _i	A _i	C _i	m (neu)
1	230	5,41E+04	0,34414658	0,60468633	238,606741
2	238,606741	5,61E+04	0,33417931	0,60441429	238,499396
3	238,499396	5,61E+04	0,33429963	0,60441759	238,500695
4	238,500695	5,61E+04	0,33429818	0,60441755	238,500679

?= 1,835E-05 kg/(m/s) T= 296,85 K
 p1-p2= 400 Pa ?= 1,16691791 kg/m³
 p1= 99434 Pa e= 0,99849029

t = 4 min

i	m _i	Re _i	A _i	C _i	m (neu)
1	150	3,53E+04	0,48445419	0,60838807	156,761691
2	156,761691	3,68E+04	0,46766382	0,60795492	156,650081
3	156,650081	3,68E+04	0,46793036	0,60796181	156,651857
4	156,651857	3,68E+04	0,46792612	0,6079617	156,651829

?= 1,835E-05 kg/(m/s) T= 296,75 K
 p1-p2= 171 Pa ?= 1,16189921 kg/m³
 p1= 98973 Pa e= 0,99935181

t = 5 min

i	m _i	Re _i	A _i	C _i	m (neu)
1	180	4,23E+04	0,41906964	0,60668826	196,07415
2	196,07415	4,60E+04	0,39135233	0,60595557	195,837352
3	195,837352	4,60E+04	0,39173085	0,60596563	195,840605
4	195,840605	4,60E+04	0,39172565	0,60596549	195,84056

?= 1,837E-05 kg/(m/s) T= 297,25 K
 p1-p2= 270 Pa ?= 1,15856186 kg/m³
 p1= 98855 Pa e= 0,99897517

t = 6 min

i	m _i	Re _i	A _i	C _i	m (neu)
1	250	5,86E+04	0,32264068	0,60409735	255,359781
2	255,359781	5,99E+04	0,31721165	0,60394744	255,29641
3	255,29641	5,98E+04	0,31727464	0,60394918	255,297147
4	255,297147	5,98E+04	0,31727391	0,60394916	255,297138

?= 1,840E-05 kg/(m/s) T= 297,75 K
 p1-p2= 460 Pa ?= 1,16499362 kg/m³
 p1= 99571 Pa e= 0,99826608

t = 7 min

i	m _i	Re _i	A _i	C _i	m (neu)
1	310	7,25E+04	0,27222287	0,60268285	316,323112
2	316,323112	7,39E+04	0,26786084	0,60255785	316,257503
3	316,257503	7,39E+04	0,2679053	0,60255912	316,258173
4	316,258173	7,39E+04	0,26790484	0,60255911	316,258166

?= 1,845E-05 kg/(m/s) T= 298,95 K
 p1-p2= 710 Pa ?= 1,16580592 kg/m³
 p1= 100042 Pa e= 0,99733538

t = 8 min

i	m _i	Re _i	A _i	C _i	m (neu)
1	280	6,53E+04	0,29582848	0,60335164	273,778566
2	273,778566	6,39E+04	0,30119437	0,60350199	273,846789
3	273,846789	6,39E+04	0,30113434	0,60350031	273,846027
4	273,846027	6,39E+04	0,30113501	0,60350033	273,846036

?= 1,849E-05 kg/(m/s) T= 299,65 K
 p1-p2= 533 Pa ?= 1,15919946 kg/m³
 p1= 99708 Pa e= 0,99799346

t = 9 min

i	m _i	Re _i	A _i	C _i	m (neu)
1	250	5,83E+04	0,32418282	0,60413984	249,600104
2	249,600104	5,82E+04	0,32459827	0,60415128	249,604831
3	249,604831	5,82E+04	0,32459335	0,60415115	249,604775
4	249,604775	5,82E+04	0,32459341	0,60415115	249,604775

?= 1,851E-05 kg/(m/s) T= 300,05 K
 p1-p2= 443 Pa ?= 1,15543653 kg/m³
 p1= 99517 Pa e= 0,99832929

t = 10 min

i	m _i	Re _i	A _i	C _i	m (neu)
1	170	3,96E+04	0,44115897	0,60726663	174,967569
2	174,967569	4,08E+04	0,43111011	0,60700408	174,891924
3	174,891924	4,08E+04	0,43125928	0,60700799	174,893049
4	174,893049	4,08E+04	0,43125706	0,60700793	174,893033

?= 1,850E-05 kg/(m/s) T= 299,95 K
 p1-p2= 216 Pa ?= 1,15052561 kg/m³
 p1= 99061 Pa e= 0,9991819

Sm(t)/11 = 239,0 kg/h

Bestimmung des mittleren Massenstroms mittels Drehkolben-Volumenzähler:

mittlere Dichte (berechnet aus Temp. am Fl.-glasthermometer)	? = 1.135 kg/m ³
Volumendifferenz (abgelesen am DKVZ)	? V=36,6 m ³
Zeitintervall	? t = 10 min
mittlerer Massestrom	249,2 kg/h

Diskussion:

Es besteht eine Abweichung zwischen den mittels Drehkolben-Volumenzähler und Messblende ermittelten Massenströmen. Diese Abweichung entsteht durch Messfehler in beiden Verfahren. Einen großen Einfluss auf die Ermittlung der Massenströme aus den Messwerten hat die Dichte. In die Berechnung dieser geht die Temperatur und der Druck ein. Bei der Messung mit dem Drehkolben-Volumenzähler wurde die Temperatur und der Druck nicht am Messgerät bestimmt, wodurch es zu Abweichungen kommt. Der Fehler an der Messblende lässt sich durch kürzere Zeitintervalle verringern.