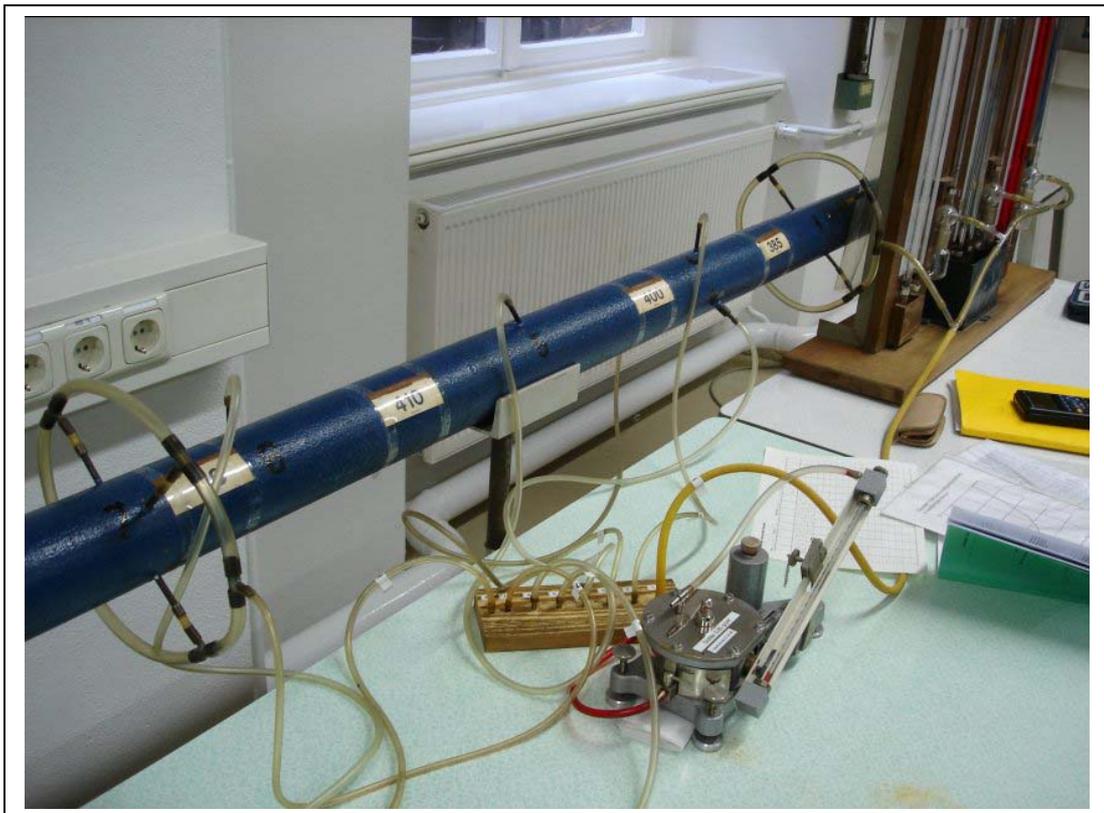


Protokoll zum Versuch Druckmessung / III

Datum des Versuches: Dezember 2004

Praktikumsgruppe:

Mitarbeiter:



1. Aufgabenstellung

- an einer Rohrleitung sind systematischen Fehler Δp des statischen Druckes infolge nicht vorschriftsmäßig ausgeführter Wandbohrungen bei drei verschiedenen Geschwindigkeiten zu bestimmen
- unterschiedliche Luftgeschwindigkeiten in der Rohrstrecke werden durch Drosselung des Lüfter mit Steckblenden erreicht
- der Rohrreibungsbeiwert λ ist aus dem Druckverlust zu ermitteln

p_1/p_7 : korrekte Bohrungen, Rohrstücke senkrecht zur Rohrwand

$p_2/p_3/p_4$: größere Bohrungen $d_2=2\text{mm}$, $d_3=3\text{mm}$, $d_4=8\text{mm}$

p_5 : Rohrstück im Winkel von 45° zur Rohrwand

p_6 : nicht entgratet

Die Drosselung des Luftstromes im Rohr wurde durch Einsteckblenden erreicht, da wir die Messreihen bei drei verschiedenen Geschwindigkeiten durchführen sollten.



Hohe Geschwindigkeit

keine Blende

Mittlere Geschwindigkeit

Blende $\varnothing 60\text{mm}$

Stillstand

Blende ohne Loch

Normierung der Drucks an der Stelle 1 erfolgt durch Regulierung des Gebläsezuluftstroms

Der Durchmesser des Rohres betrug $d_R=80\text{mm}$.

Weiterhin war gegeben:

Gaskonstante: $R_L=287\text{J/KgK}$

Dyn. Zähigkeit der Luft $\eta_{L20}=18,2 \cdot 10^{-6}\text{Pa s}$

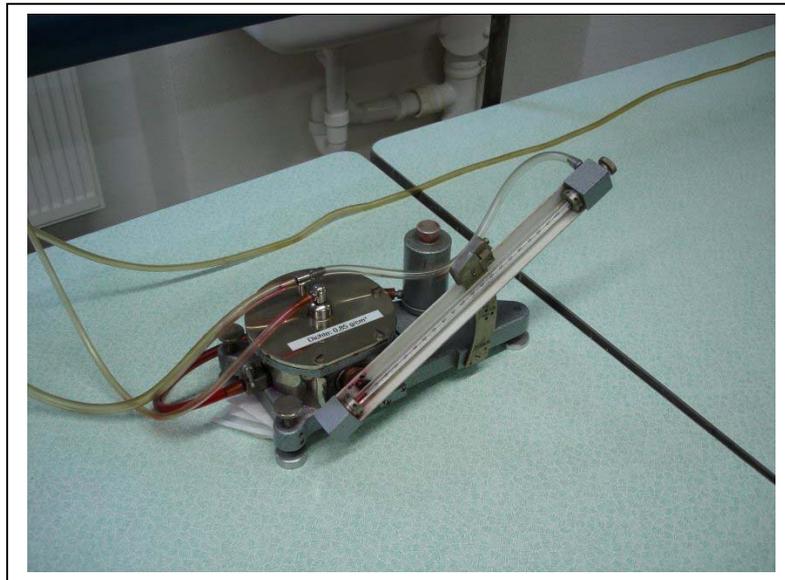


1. Berechnung des statischen Überdruckes an den Messstellen 1-8

Berechnung mit $p_{st} = \rho * g * l * \sin(\beta)$ $\beta = 30^\circ$ $\rho = 0,85 \text{ g/cm}^3$

Messpunkt	hohe Geschwindigkeit		mittlere Geschwindigkeit		Stillstand	
	l in mm	p_{st} in Pa	l in mm	p_{st} in Pa	l in mm	p_{st} in Pa
1	103	429,43	103	429,43	102	425,26
2	95	396,08	98	408,59	102	425,26
3	95	396,08	98	408,59	102	425,26
4	95	396,08	98	408,59	102	425,26
5	88	366,89	94	391,91	102	425,26
6	72	300,19	85	354,39	102	425,26
7	75	312,69	87	362,72	102	425,26
8	29	120,91	64	266,83	102	425,26

2. Messung des dynamischen Druckes mit Hilfe des Schrägmanometers



Messpunkt	hohe Geschwindigkeit		mittlere Geschwindigkeit		Stillstand	
	l in mm	p_{dy} in Pa	l in mm	p_{dy} in Pa	l in mm	p_{dy} in Pa
8	76	316,86	38	158,43	0	0,00

3.Ermittlung der Druckverluste

$$p_{ges} = p_{st} + p_{dy} = p_{st} + \frac{\rho \cdot \bar{v}^2}{2} + p_v$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{2(p_{ges} - p_{st})}{\rho_L}} = \sqrt{\frac{2p_{dy}}{\rho_L}}$$

Bestimmung der Dichte der Luft:

Quecksilberbarometer nach *Toricelli*:

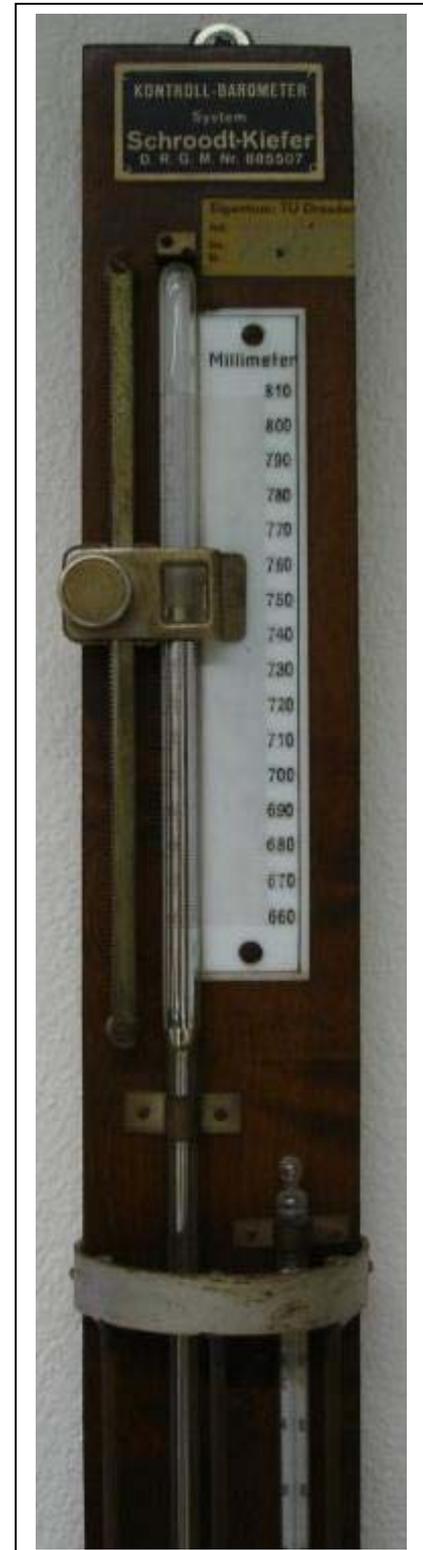
Höhe der Quecksilbersäule: $H = 750\text{mm}$,
damit Korrekturwert $K = 2,68$

Bei Umgebungstemperatur $T_u = 23^\circ\text{C} = 295,15\text{K}$

$$p_u = (750 - 2,68) \cdot 133,33 = 99,6178\text{Pa}$$

mit $R_L = 287 \text{ J/KgK}$

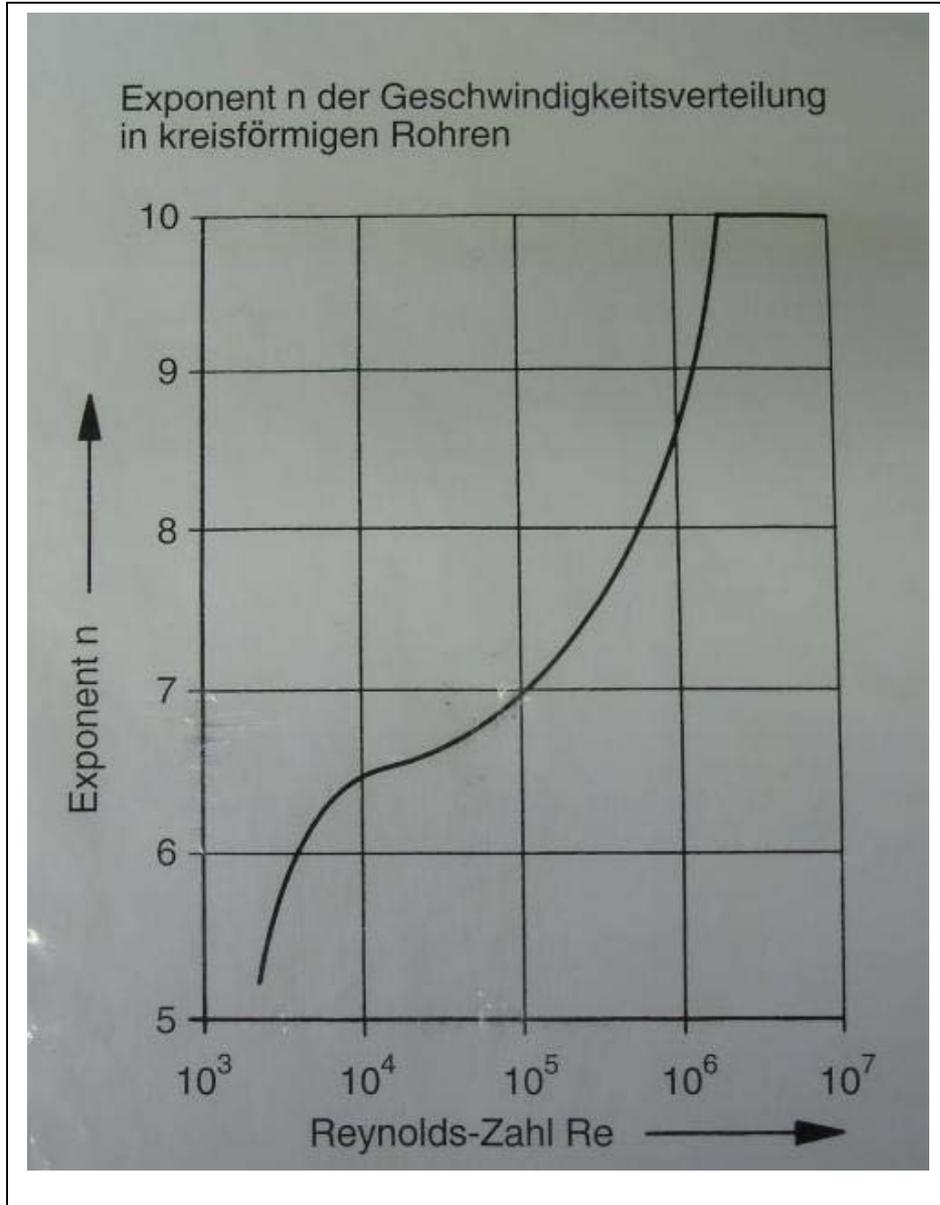
$$\rho_L = \frac{p_u}{R_L \cdot T_u} = 1,176 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$



Bestimmung der maximalen und gemittelten Geschwindigkeit:

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2}{\rho_L} p_{dy}} \quad \frac{\bar{v}}{v_{\max}} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \quad (\text{iterative Lösung mit Startwert } n=6)$$

$$Re = \frac{\bar{v} * d * \rho_L}{\eta_{L20^\circ C}}$$



	hohe Geschwindigkeit	mittlere Geschwindigkeit	Stillstand
v_{\max}	23,21m/s	16,4m/s	0
$v_{\text{vorläufig}}$	18,364m/s	12,97m/s	0
Re	94927	67045	0
n	6,9	6,7	0
$v_{\text{gemittelt}}$	18,90m/s	13,28m/s	0

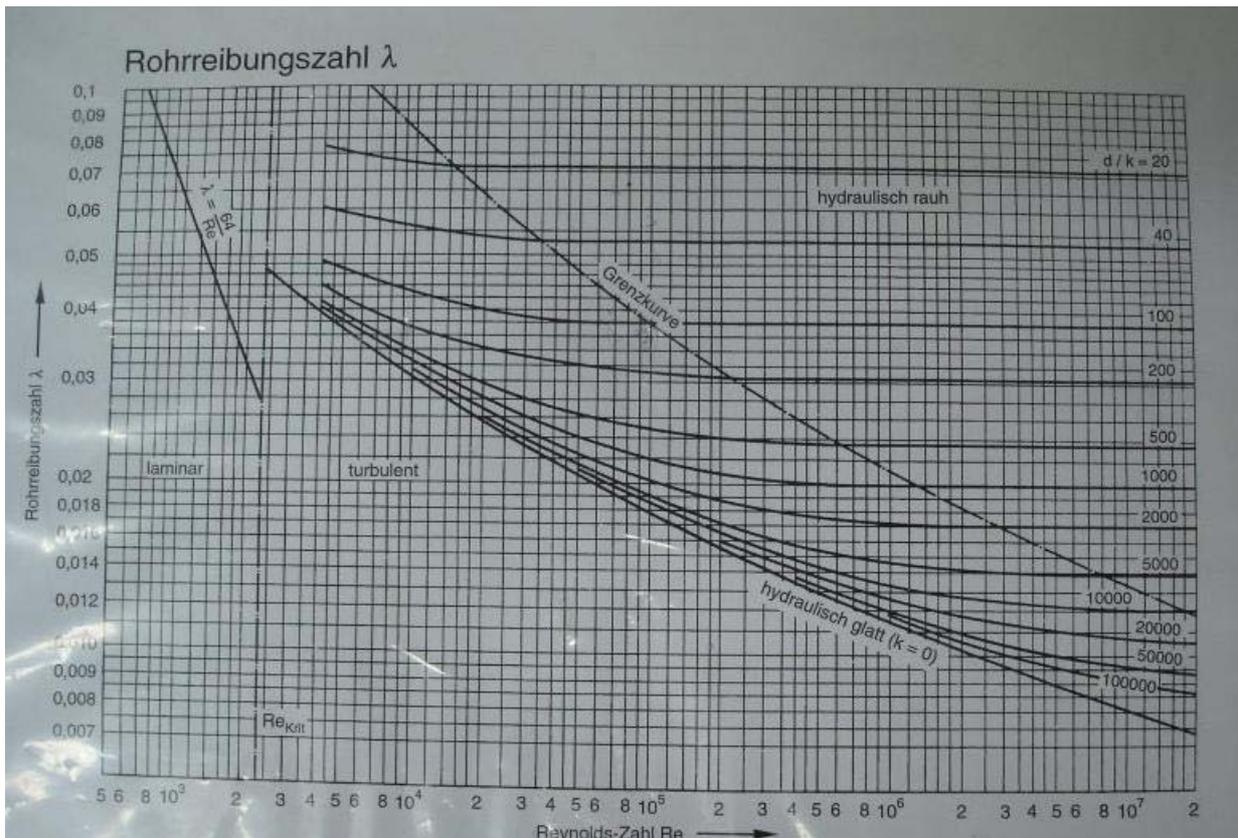
Druckverluste:

$$\Delta p_v = p_1 - p_8 = \frac{\rho \cdot \bar{v}^2 \cdot \lambda \cdot l}{2d}$$

$$\lambda = \frac{\Delta p_v \cdot 2d}{\rho_L \cdot l \cdot \bar{v}^2}$$

	hohe Geschwindigkeit	mittlere Geschwindigkeit	Stillstand
Δp_v	308,52	162,60	0
λ	0,0367	0,0392	0
d/k	110	100	0
k in mm	0,72	0,8	0

damit $k_{\text{gemittelt}} = 0.76$

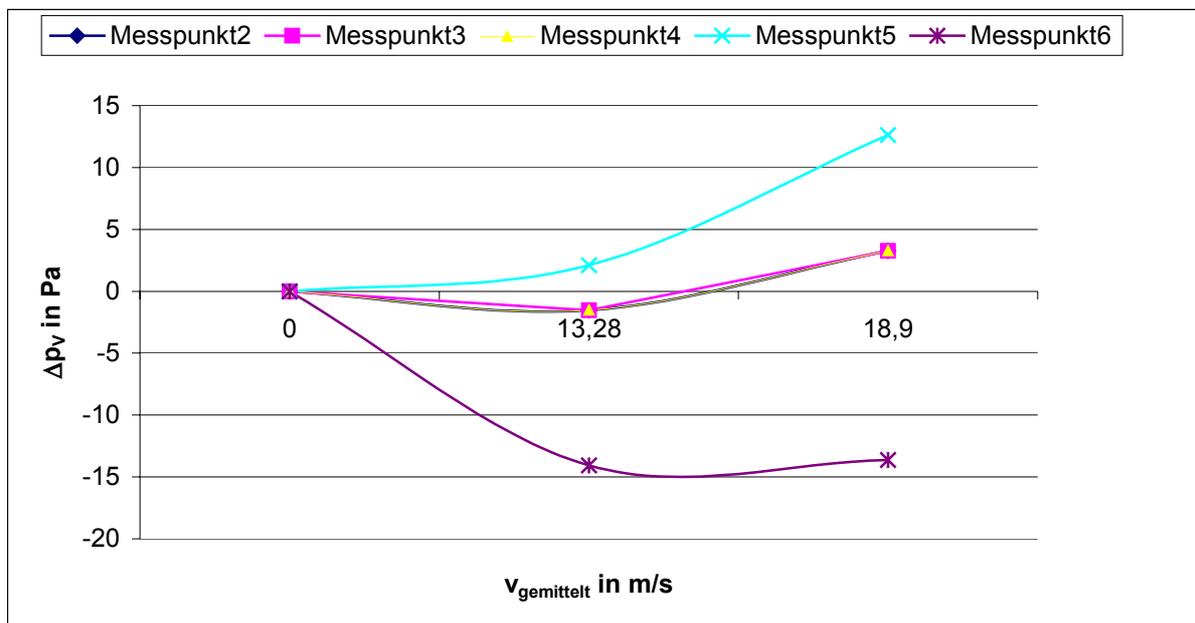


Mit der, beim Versuchsstand III ausliegenden Tabelle ergibt dies für die Art des Rohres:
 Gußeisen, leicht angerostet

Rauhigkeitswerte k		
Rohrwerkstoff	Zustand der Rohrwand	Rauhigkeit k in mm
gezogene Rohre aus Metallen (Kupfer, Messing, Bronze, Leichtmetall), Kunststoffen, Glas oder Plexiglas	neu, technisch glatt	0,0013 bis 0,0015
Gummidruckschlauch	neu, nicht versprödet	0,0016
nahtlose Stahlrohre	Walzhaut } gebeizt } neu verzinkt }	0,02 ... 0,06 0,03 ... 0,04 0,07 ... 0,16
längsgeschweißte Stahlrohre	Walzhaut } bitumiert } neu galvanisiert }	0,04 ... 0,1 0,01 ... 0,05 0,008
Stahlrohre nach längerer Benutzung	mäßig verrostet bzw. leicht verkrustet stark verkrustet	0,15 ... 0,2 bis 3
gußeiserne Rohre	neu mit Gußhaut neu bitumiert leicht angerostet verkrustet	0,2 ... 0,6 0,1 ... 0,13 0,5 ... 1,5 bis 3
Rohre aus Asbestzement (z.B. Eternit-Rohre)	neu	0,03 ... 0,1
Drainagerohre aus gebranntem Ton	neu	0,07
Betonrohre	neu mit Glattstrich neu, geglätteter Stahlbeton neu, Schleuderbeton unverputzt	0,3 ... 0,8 0,1 ... 0,15 0,2 ... 0,8

Um die systematischen statischen Druckfehler zu ermitteln wird die gemessene mit der errechneten Druckdifferenz verglichen. Der errechneten Druckdifferenz liegen die Verluste der Rohreibung zu Grunde.

Messpunkt	hohe Geschwindigkeit			mittlere Geschwindigkeit		Stillstand	
	Abstand in m	p_{st} in Pa	Δp_v in Pa	p_{st} in Pa	Δp_v in Pa	p_{st} in Pa	Δp_v in Pa
1	0	429,43	0	429,43	0	425,26	0
2	0,38	396,08	3,26175	408,59	-1,53475	425,26	0
3	0,38	396,08	3,26175	408,59	-1,53475	425,26	0
4	0,38	396,08	3,26175	408,59	-1,53475	425,26	0
5	0,78	366,89	12,617	391,91	2,11325	425,26	0
6	1,2	300,19	-13,624	354,39	-14,06875	425,26	0



4. Diskussion der Messergebnisse:

Bei der Druckmessung ist, wie bei allen Messverfahren, erforderlich, dass die Messstellen und die dazugehörigen Sensoren ordnungsgemäß angebracht sind. Ansonsten kann es zu Verfälschungen der Messergebnisse kommen.

In dem Praktikum „Druckmessung“ stand die Messung des statischen Druckes einer Rohrströmung im Mittelpunkt. Dazu dienten unterschiedlich ausgeführte Wandbohrungen, die über das Strömungsrohr verteilt folgende Merkmale aufweisen sollten:

- Bohrung muss senkrecht zur Strömungsrichtung sein
- Durchmesser der Bohrung soll hinreichend klein gegenüber dem Strömungsquerschnitt sein
- Bohrung sollten sauber entgratet sein

Bei sehr großen Querschnitten werden zur Mittelung des stat. Druckes mehrere Bohrungen über dem Umfang verteilt angebracht und mit einer Ringleitung verbunden.

In diesem Praktikum waren acht zu bestimmende Druckentnahmestellen vorhanden, wobei die achte Messstelle zur Ermittlung des dynamischen Druckes diente. Anhand der graphischen Darstellung des absoluten Fehlers über der Geschwindigkeit lässt sich folgendes Aussagen:

Die Fehler nehmen mit steigender Geschwindigkeit zu. Den im Mittel stärksten Anstieg weist die Kurve 5 auf, da diese auch Anteile des dynamischen Druckes misst. Die Messstelle wirkt somit wie ein Staurohr.

Den zweithöchsten Anstieg weist die Kurve 6 auf. Demzufolge wird die Strömung durch den Grat gestört.

An den Messstellen 2, 3 und 4 treten durch größere Bohrungen Verwirbelungen auf. Das Medium strömt teilweise in die Messstellen hinein. Die hier auftretenden Fehler sind im Vergleich zu denen an den Messstellen 5 und 6 geringer.

Daraus folgt, dass sich der Einfluss des Grates und der Bohrungsrichtung gravierender auf das Messergebnis auswirkt als der des Bohrungsdurchmessers.

