



Staatliche Technikerschule Berlin

Laborbericht

Netzmessung und Blendenmessung

Thomas Fritsch

Rayk Fleischfresser

Lutz Willek

Netzmessung und Blendenmessung

Laborübung 2

Gruppe 3

Datum: 30.05.2005

Teilnehmer: Thomas Fritsch, Rayk Fleischfresser, Lutz Willek

Betreuer: Herr Tham

Ort: Staatliche Technikerschule Berlin

Messprotokolle erstellt am: 03.05.05

Von: Thomas Fritsch, Rayk Fleischfresser, Lutz Willek

Zusammenfassung

Der Laborversuch diente dazu, unterschiedliche Messverfahren des Volumenstroms in der Theorie und Praxis kennen zu lernen. Es mussten theoretische Grundlagen ausgearbeitet und Messprotokolle erstellt werden. Im Anschluss an die praktischen Messungen wurde der Volumenstrom aus den gewonnenen Daten errechnet.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	4
Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen und Indizes.....	4
1. Aufgabenstellung.....	5
2. Versuchsdurchführung.....	5
2.1. Anlagenaufbau.....	5
2.2. Versuchsablauf Netzmessung.....	6
2.3. Versuchsablauf Blendenmessung.....	7
2.4. Messablauf.....	7
3. Ergebnisse.....	8
3.1. Messwerte der Netzmessung 1	8
3.2. Messwerte der Netzmessung 2	8
3.3. Messwerte der Netzmessung 3	9
3.4. Messwerte der Blendenmessung.....	9
4. Auswertung.....	10
4.1. Auswertung der Netzmessung 1.....	10
4.2. Auswertung der Netzmessung 2.....	12
4.3. Auswertung der Netzmessung 3.....	14
4.4. Auswertung der Blendenmessung	16
5. Fehlerbetrachtung.....	17
6. Zusammenfassung.....	18
6.1. Netzmessung.....	18
6.2. Blendenmessung.....	18
Literaturverzeichnis.....	18

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Versuchsstrecke und Lage der Messebenen.....	5
gezeichnet von Rayk Fleischfresser	
Abbildung 2: Schema der Messpunkte auf den Schwerelinien.....	6
gezeichnet von Thomas Fritsch	
Abbildung 3: Auswertung Netzmessung, Geschwindigkeitsprofil 1A.....	11
Abbildung 4: Auswertung Netzmessung, Geschwindigkeitsprofil 1B.....	11
Abbildung 5: Auswertung Netzmessung, Geschwindigkeitsprofil 2A.....	13
Abbildung 6: Auswertung Netzmessung, Geschwindigkeitsprofil 2B.....	13
Abbildung 7: Auswertung Netzmessung, Geschwindigkeitsprofil 3A.....	15
Abbildung 8: Auswertung Netzmessung, Geschwindigkeitsprofil 3B.....	15
Abbildung 9: Auswertung Blendenmessung, graphische Darstellung.....	16
der ermittelten Volumenströme	

Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen und Indizes

Zeichen	Größe	Einheit
C	Durchflusskoeffizient	-
D	Durchmesser	m
d	Innerer Durchmesser	m
d_i	Schwereliniendurchmesser	m
k	Isotropenexponent	-
l	Länge	m
Δl	Längendifferenz	m
l_i	Einstecktiefe des Prandtl'schen Staurohres	m
\dot{m}	Massenstrom	kg/s
p	Druck, atmosphärischer Luftdruck	bar, Pa
Δp	Druckdifferenz, Wirkdruck	bar, Pa
p_1	Druck vor der Blende	Pa
Re_d	Reynoldszahl	-
s	Wandstärke des Rohres	m
T	absolute Temperatur	°K
t	Temperatur	°C
t_{in}	Rohrinnentemperatur	°C
\dot{V}	Volumendurchfluss bzw. Volumenstrom	m ³ /s
β	Durchmesser Verhältnis = d/D	-
ε	Expansionszahl	-
ν	Kinematische Viskosität des Fluids = μ/ρ	m ² /s
ρ	Dichte des Fluids	kg/m ³
φ	relative Feuchte	%
ω	Strömungsgeschwindigkeit	m/s
$\bar{\omega}$	mittlere Strömungsgeschwindigkeit	m/s

1. Aufgabenstellung

In einem Wickelfalzrohr mit einer Wandstärke von 0,6 mm und einem Innendurchmesser von 224 mm ist mit Hilfe der Netzmessung der Volumenstrom zu bestimmen. Die sich aus den Messungen ergebenden Werte sind aufzuzeichnen. Aus den gemessenen dynamischen Drücken soll durch Berechnung ein Geschwindigkeitsprofil ermittelt werden. Weiterhin ist der Einfluss vorhandener Strömungswiderstände auf das Profil darzustellen. Das auf rechnerische Weise durch Mittelwertbildung und auf graphische Weise durch Planimetrierung ermittelte Geschwindigkeitsprofil ist darzustellen.

Anschließend soll durch eine Blendenmessung mit dem gleichen Anlagenaufbau der Volumen- und Massenstrom ermittelt werden, siehe Abbildung 1. Die Abhängigkeit des Massenstromes vom Wirkdruck ist in einer Kennlinie darzustellen. Zur Blendenmessung soll die vorhandene Anlage mit einer bereits eingebauten Blende mit Eckdruckentnahme und einem Durchmesser Verhältnis von $\beta = 0,7$ genutzt werden.

Anschließend sollen die Netz- und Blendenmessung miteinander verglichen werden.

2. Versuchsdurchführung

2.1. Anlagenaufbau

Zur Durchführung der Versuche wurde an die im Raum 119 der Staatlichen Technikerschule Berlin vorhandene Raumluftechnische Anlage eine zusätzliche Versuchsstrecke aus Wickelfalzrohr mit einem Durchmesser von 224 mm und einer Wandstärke von 0,6 mm angeschlossen. Diese Versuchsstrecke bestand aus einem senkrechten Rohrstück, einem 90°-Bogen und einem waagerechten Rohr mit der bereits eingebauten Blende.

Die waagerechte Versuchsstrecke wurde so montiert, dass die vorhandenen Messöffnungen um 45° versetzt zur Vertikalen angeordnet waren.

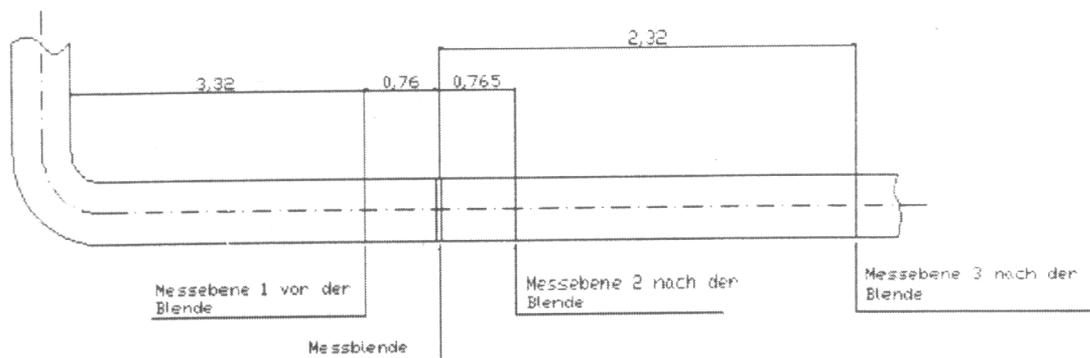


Abbildung 1 Aufbau der Versuchsstrecke und Lage der Messebenen

2.2. Versuchsablauf Netzmessung

Zu Beginn legten wir 3 Messebenen für unseren Versuch fest. Die erste Messebene befindet sich 0,76 m vor der Blende, die zweite 0,765 m nach der Blende und die dritte Messebene 2,32 m nach der Blende, wie in Abbildung 1 dargestellt. An jeder Messebene wurden auf zwei Messachsen A und B (beide um 90° zueinander versetzt) jeweils 10 Messungen des dynamischen Drucks mit Hilfe eines Prandtl'schen Staurohrs und eines Schrägrohrmanometers durchgeführt. Die 10 Messpunkte auf den jeweiligen Messachsen wurden nach dem Schwerelinienverfahren nach DIN 2080 bestimmt und sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Die sich aus der Berechnung ergebenden Eintauchtiefen wurden auf das Prandtl'sche Staurohr aufgetragen. Das Staurohr wurde mit einer Halterung am Wickelfalzrohr fixiert, damit es sich gerade auf der Messachse bewegen lässt.

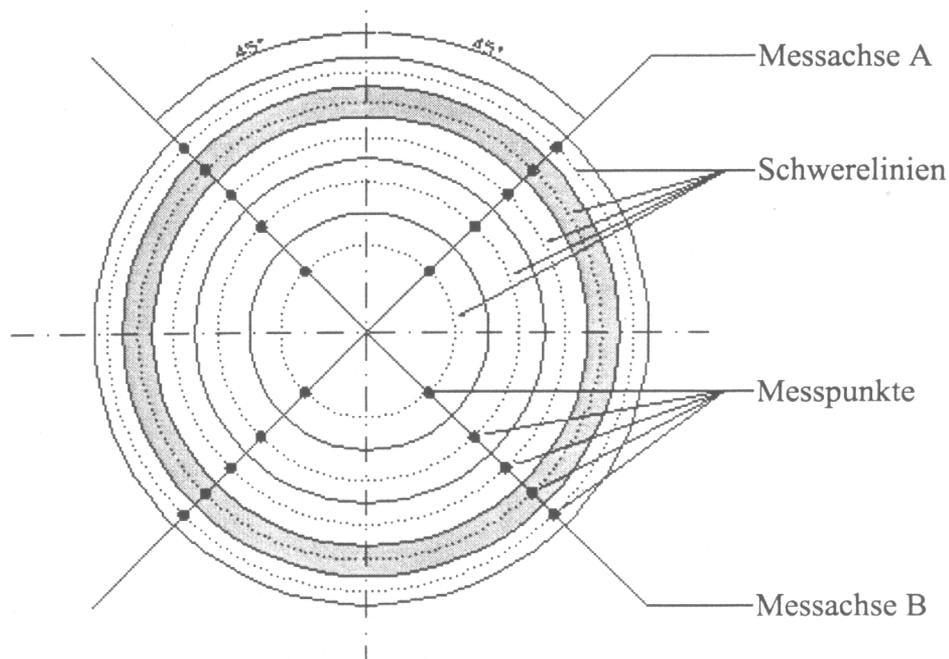


Abbildung 2 Messpunkte auf den Schwerelinien

Tabelle 1 Schwerelinien Durchmesser und Einstecktiefen

Messpunkt	Schwerelinien Durchmesser d_i	Einstecktiefe bezogen auf den Außendurchmesser
A1 / B 1	212,51 mm	6,35 mm
A2 / B 2	187,41 mm	18,89 mm
A3 / B 3	158,39 mm	33,40 mm
A4 / B 4	122,69 mm	51,26 mm
A5 / B 5	70,84 mm	77,18 mm
A6 / B 6	70,84 mm	148,02 mm
A7 / B 7	122,69 mm	173,94 mm
A8 / B 8	158,39 mm	191,80 mm
A9 / B 9	187,41 mm	206,31 mm
A10 / B 10	212,51 mm	218,85 mm

2.3. Versuchsablauf Blendenmessung

Bei der Blendenmessung nutzten wir den gleichen Versuchsaufbau wie bei der Netzmessung. Hierbei schlossen wir das Schrägrohrmanometer direkt an die beiden Eckdruckabnahmestutzen der Messblende an, so dass in Strömungsrichtung druckseitig „+“ vor der Blende an die Behälterseite und „-“ nach der Blende an den oberen Stutzen des Schrägrohrmanometers angeschlossen war. Die Druckdifferenz wurde am Schrägrohrmanometer abgelesen. Durch Entfernen des Schlauchs nach der Blende konnten wir noch den Druck p_1' vor der Blende ablesen.

Für beide Versuche nahmen wir noch Messungen der Temperatur, der relativen Feuchte und des Luftdrucks vor, die für weitere Berechnungen benötigt wurden.

2.4. Messablauf

- Versuchsstrecke zusammen mit der Vorgängergruppe montieren
- Meteorographen in Betrieb nehmen
- Schrägrohrmanometer anbringen, Überprüfen der Ausrichtung der Messskala (Nullpunkt auf unteren Flüssigkeitsstand bringen)
- Ventilator in Betrieb nehmen (gewählte Leistung 35% für Netzmessung)
- Randbedingungen für Netzmessung (Umgebungstemperatur t , relative Feuchte φ und atmosphärischer Luftdruck p) mit Hilfe des Meteorographen messen
- Messung der Rohrintemperatur t_{in} vor und hinter der Blende mit dem Digitalthermometer in der Mitte des Rohres
- Montage der Halterung für das Prandtl'sche Staurohr auf der Rohrleitung und Anzeichnen der ermittelten Einstecktiefen auf diesem
- Prandtl'sches Staurohr in die Messöffnungen der Messachsen A beziehungsweise B stecken, an den Messpunkten den Druck messen
- Lüfterleistung bei der Blendenmessung 25%, 30% und 35%
- Randbedingungen (Umgebungstemperatur t , relative Feuchte φ und atmosphärischer Luftdruck p) mit dem Meteorographen messen
- Messung der Rohrintemperatur t_{in} vor und hinter der Blende mit dem Digitalthermometer
- Anschließen der Schläuche des Schrägrohrmanometers an die Eckdruckabnahmeanschlüsse der Blende und Messen des Wirkdrucks Δp
- Entfernen des Schlauchs hinter der Blende und Ablesen des Wertes p_1' am Schrägrohrmanometer
- Anlage ausschalten und Demontage der Versuchsanordnung

3. Ergebnisse

3.1. Messwerte der Netzmessung 1

Randbedingungen:

Messort 0,76 m vor der Blende

Lufttemperatur: 24,5 °C

Luftdruck: 1002 mbar

relative Feuchte: 48 %

Temperatur in der Rohrleitung

vor der Blende: 28,8 °C

hinter der Blende: 28,7 °C

Tabelle 2, Netzmessung 1

Messachse A	gemessener Druck p_{dyn}	Messachse B	gemessener Druck p_{dyn}
A1	18,0 Pa	B1	17,5 Pa
A2	22,0 Pa	B2	20,5 Pa
A3	25,0 Pa	B3	23,5 Pa
A4	26,0 Pa	B4	25,5 Pa
A5	26,2 Pa	B5	25,5 Pa
A6	27,0 Pa	B6	24,5 Pa
A7	24,5 Pa	B7	24,5 Pa
A8	23,0 Pa	B8	23,5 Pa
A9	20,0 Pa	B9	22,0 Pa
A10	15,0 Pa	B10	18,0 Pa

3.2. Messwerte der Netzmessung 2

Randbedingungen:

Messort 0,765 m hinter der Blende

Lufttemperatur: 25 °C

Luftdruck: 1001 mbar

relative Feuchte: 48 %

Temperatur in der Rohrleitung

vor der Blende: 29,0 °C

hinter der Blende: 29,0 °C

Tabelle 3, Netzmessung 2

Messachse A	gemessener Druck p_{dyn}	Messachse B	gemessener Druck p_{dyn}
A1	12,0 Pa	B1	7,0 Pa
A2	15,0 Pa	B2	12,0 Pa
A3	23,0 Pa	B3	17,0 Pa
A4	41,0 Pa	B4	26,5 Pa
A5	59,0 Pa	B5	46,0 Pa
A6	50,0 Pa	B6	61,0 Pa
A7	31,0 Pa	B7	46,0 Pa
A8	18,0 Pa	B8	29,5 Pa
A9	13,0 Pa	B9	19,0 Pa
A10	10,0 Pa	B10	12,0 Pa

3.3. Messwerte der Netzmessung 3

Randbedingungen:

Messort 2,32 m hinter der Blende

Lufttemperatur: 25 °C

Temperatur in der Rohrleitung

Luftdruck: 1001 mbar

vor der Blende: 28,8 °C

relative Feuchte: 48 %

hinter der Blende: 28,8 °C

Tabelle 4, Netzmessung 3

Messachse	gemessener Druck p_{dyn}	Messachse	gemessener Druck p_{dyn}
A1	20,0 Pa	B1	19,5 Pa
A2	22,0 Pa	B2	22,5 Pa
A3	23,0 Pa	B3	23,0 Pa
A4	23,5 Pa	B4	23,5 Pa
A5	24,0 Pa	B5	24,0 Pa
A6	24,5 Pa	B6	24,0 Pa
A7	24,5 Pa	B7	23,5 Pa
A8	22,5 Pa	B8	23,0 Pa
A9	19,5 Pa	B9	21,0 Pa
A10	17,5 Pa	B10	16,0 Pa

3.4. Messwerte der Blendenmessung

Randbedingungen im Messraum

Messung des Drucks und direktes Ablesen am Schrägrohrmanometer

Lufttemperatur: 24,5 °C

Temperatur in der Rohrleitung

Luftdruck: 1002 mbar

vor der Blende: 28,8 °C

relative Feuchte: 48 %

hinter der Blende: 28,7 °C

Tabelle 5 Blendenmessung

	Ventilatorleistung		
	35%	30%	25%
gemessener Druck p_1 :	106,00 Pa	84,00 Pa	60,00 Pa
gemessener Wirkdruck Δp :	160,00 Pa	122,00 Pa	88,50 Pa

4. Auswertung

4.1. Auswertung der Netzmessung 1

Berechnete Dichte: 1,148 Kg/m³

Tabelle 6 errechnete Strömungsgeschwindigkeiten Messung 1

Netzmessung 1	Messöffnungen 0,76 m vor der Blende	
Messachse	gemessener Druck p_{dyn}	errechnete Strömungsgeschwindigkeit ω
A1	18,0 Pa	5,60 m/s
A2	22,0 Pa	6,19 m/s
A3	25,0 Pa	6,60 m/s
A4	26,0 Pa	6,73 m/s
A5	26,2 Pa	6,76 m/s
A6	27,0 Pa	6,86 m/s
A7	24,5 Pa	6,54 m/s
A8	23,0 Pa	6,33 m/s
A9	20,0 Pa	5,91 m/s
A10	15,0 Pa	5,11 m/s
B1	17,5 Pa	5,52 m/s
B2	20,5 Pa	5,98 m/s
B3	23,5 Pa	6,40 m/s
B4	25,5 Pa	6,67 m/s
B5	25,5 Pa	6,67 m/s
B6	24,5 Pa	6,54 m/s
B7	24,5 Pa	6,54 m/s
B8	23,5 Pa	6,40 m/s
B9	22,0 Pa	6,19 m/s
B10	18,0 Pa	5,60 m/s
Mittlere Strömungsgeschwindigkeit von Messstrecke A		6,26 m/s
Mittlere Strömungsgeschwindigkeit von Messstrecke B		6,25 m/s
Mittlere Strömungsgeschwindigkeit der Messungen		6,26 m/s

In Abbildung 3 und 4 sind zwei gleichmäßige Geschwindigkeitsprofile zu erkennen. Eine Beeinflussung durch den Bogen ist nicht zu erkennen, da sich der Luftstrom aufgrund der Entfernung der Messöffnung zum Bogen wieder beruhigt hat. Eine Messung direkt hinter dem Bogen hätte ein unregelmäßiges Geschwindigkeitsprofil ergeben.

Das arithmetische Mittel der gemessenen Geschwindigkeiten beider Messachsen beträgt 6,26 m/s. Wird diese mittlere Geschwindigkeit mit der Querschnittsfläche multipliziert, so ergibt sich ein mittlerer Volumenstrom von 887,50 m³/h.

Die mittlere Geschwindigkeit durch Planimetrieren ergab für die erste Messung 6,21 m/s.

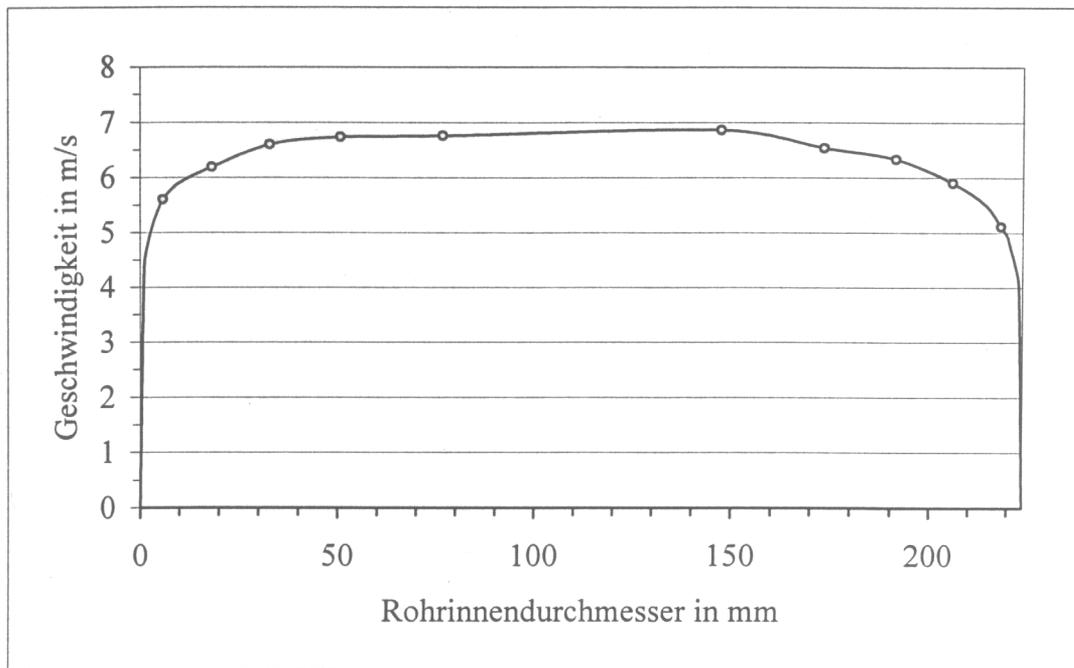


Abbildung 3 Geschwindigkeitsprofil Messung 1A

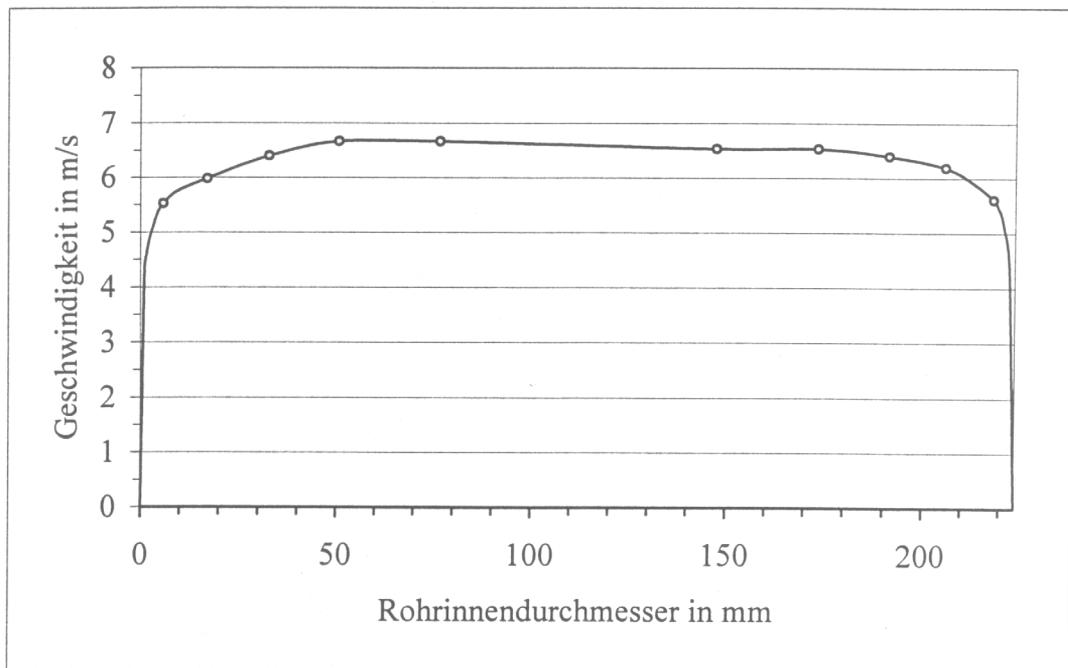


Abbildung 4 Geschwindigkeitsprofil Messung 1B

4.2. Auswertung der Netzmessung 2

Berechnete Dichte: 1,146 Kg/m³

Tabelle 7 errechnete Strömungsgeschwindigkeiten Messung 2

Netzmessung 2	Messöffnungen 0,765 m hinter der Blende	
Messachse	gemessener Druck p_{dyn}	errechnete Strömungsgeschwindigkeit ω
A1	12,0 Pa	4,57 m/s
A2	15,0 Pa	5,11 m/s
A3	23,0 Pa	6,33 m/s
A4	41,0 Pa	8,45 m/s
A5	59,0 Pa	10,14 m/s
A6	50,0 Pa	9,34 m/s
A7	31,0 Pa	7,35 m/s
A8	18,0 Pa	5,60 m/s
A9	13,0 Pa	4,76 m/s
A10	10,0 Pa	4,18 m/s
B1	7,0 Pa	3,49 m/s
B2	12,0 Pa	4,57 m/s
B3	17,0 Pa	5,44 m/s
B4	26,5 Pa	6,80 m/s
B5	46,0 Pa	8,95 m/s
B6	61,0 Pa	10,31 m/s
B7	46,0 Pa	8,95 m/s
B8	29,5 Pa	7,17 m/s
B9	19,0 Pa	5,76 m/s
B10	12,0 Pa	4,57 m/s
Mittlere Strömungsgeschwindigkeit von Messstrecke A		6,59 m/s
Mittlere Strömungsgeschwindigkeit von Messstrecke B		6,61 m/s
Mittlere Strömungsgeschwindigkeit der Messungen		6,60 m/s

In Abbildung 5 und 6 ist eine deutliche Veränderung der Geschwindigkeitsprofile zu erkennen. Man sieht, dass durch die Querschnittsverengung an der Blende die Strömungsgeschwindigkeiten in der Mitte der Rohrleitung erheblich ansteigen.

Das arithmetische Mittel der gemessenen Geschwindigkeiten der beiden Messachsen beträgt 6,60 m/s. Wird diese mittlere Geschwindigkeit mit der Querschnittsfläche multipliziert, so ergibt sich ein mittlerer Volumenstrom von 936,02 m³/h.

Die mittlere Geschwindigkeit durch planimetrieren ergab für die zweite Messung 6,51 m/s.

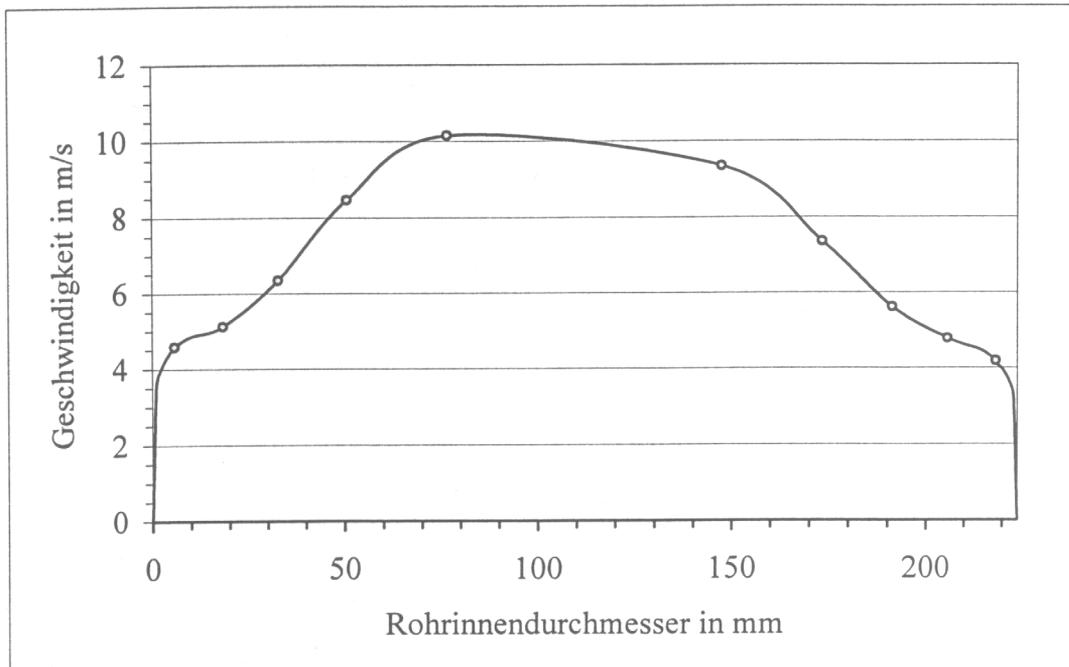


Abbildung 5 Geschwindigkeitsprofil Messung 2A

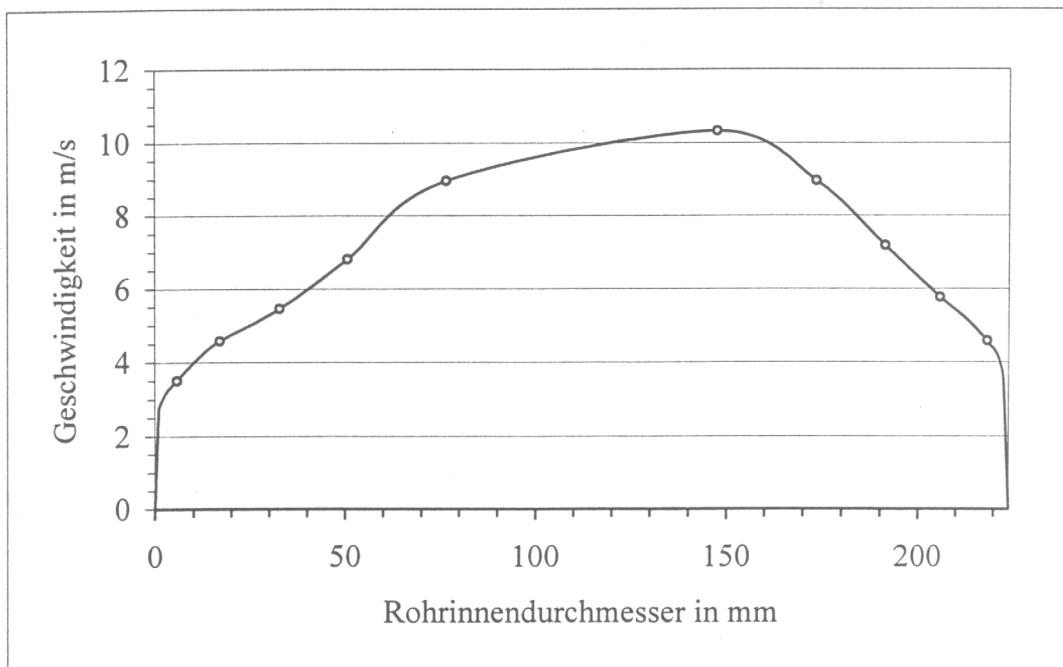


Abbildung 6 Geschwindigkeitsprofil Messung 2B

4.3. Auswertung der Netzmessung 3

Berechnete Dichte: 1,146 Kg/m³

Tabelle 8 errechnete Strömungsgeschwindigkeiten Messung 3

Netzmessung 3	Messöffnungen 2,32 m hinter der Blende	
Messachse	gemessener Druck p_{dyn}	errechnete Strömungsgeschwindigkeit ω
A1	20,0 Pa	5,91 m/s
A2	22,0 Pa	6,20 m/s
A3	23,0 Pa	6,33 m/s
A4	23,5 Pa	6,40 m/s
A5	24,0 Pa	6,47 m/s
A6	24,5 Pa	6,54 m/s
A7	24,5 Pa	6,54 m/s
A8	22,5 Pa	6,27 m/s
A9	19,5 Pa	5,83 m/s
A10	17,5 Pa	5,53 m/s
B1	19,5 Pa	5,83 m/s
B2	22,5 Pa	6,27 m/s
B3	23,0 Pa	6,33 m/s
B4	23,5 Pa	6,40 m/s
B5	24,0 Pa	6,47 m/s
B6	24,0 Pa	6,47 m/s
B7	23,5 Pa	6,40 m/s
B8	23,0 Pa	6,33 m/s
B9	21,0 Pa	6,05 m/s
B10	16,0 Pa	5,28 m/s
Mittlere Strömungsgeschwindigkeit von Messstrecke A		6,20 m/s
Mittlere Strömungsgeschwindigkeit von Messstrecke B		6,19 m/s
Mittlere Strömungsgeschwindigkeit der Messungen		6,19 m/s

In Abbildung 7 und 8 kann man gut erkennen, dass sich der Luftstrom wieder beruhigt hat. Das Geschwindigkeitsprofil hat in etwa die Kennlinie wie bei der Messung vor der Blende. Das bedeutet, dass eine Beeinflussung des Luftstromes durch die Blende nicht mehr zu erkennen ist.

Das arithmetische Mittel der gemessenen Geschwindigkeiten der beiden Messachsen beträgt 6,19 m/s. Wird diese mittlere Geschwindigkeit mit der Querschnittsfläche multipliziert, so ergibt sich ein mittlerer Volumenstrom von 878,73 m³/h.

Die mittlere Geschwindigkeit durch Planimetrieren ergab für die dritte Messung 6,14 m/s.

Bei allen Messungen lag der arithmetische Mittelwert der Geschwindigkeiten etwa 1..2 % über dem Wert, den wir durch Planimetrieren ermittelt haben.

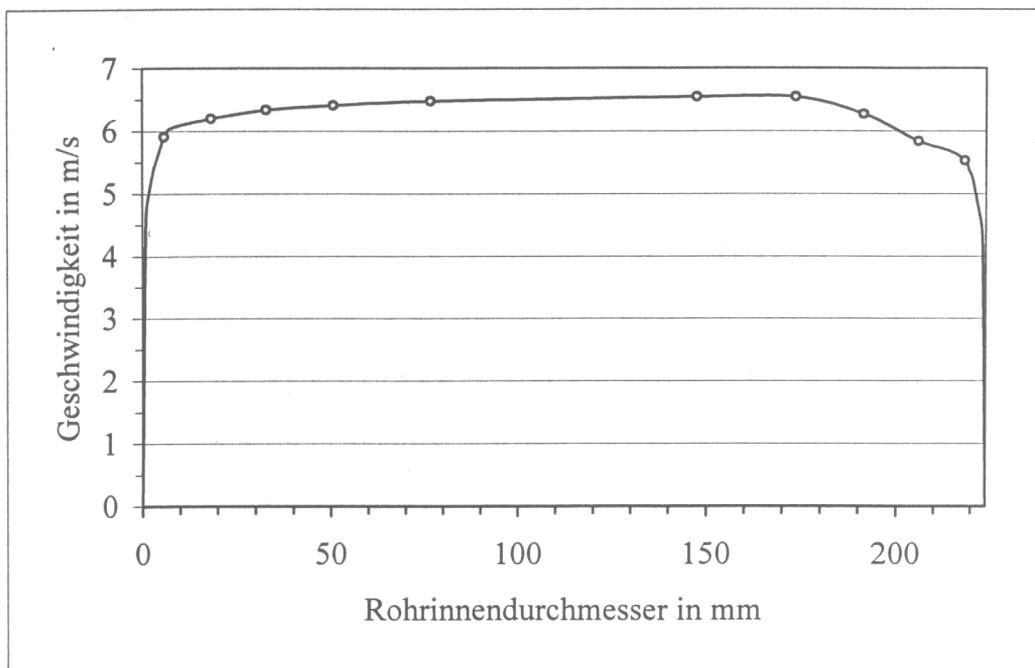


Abbildung 7 Geschwindigkeitsprofil Messung 3A

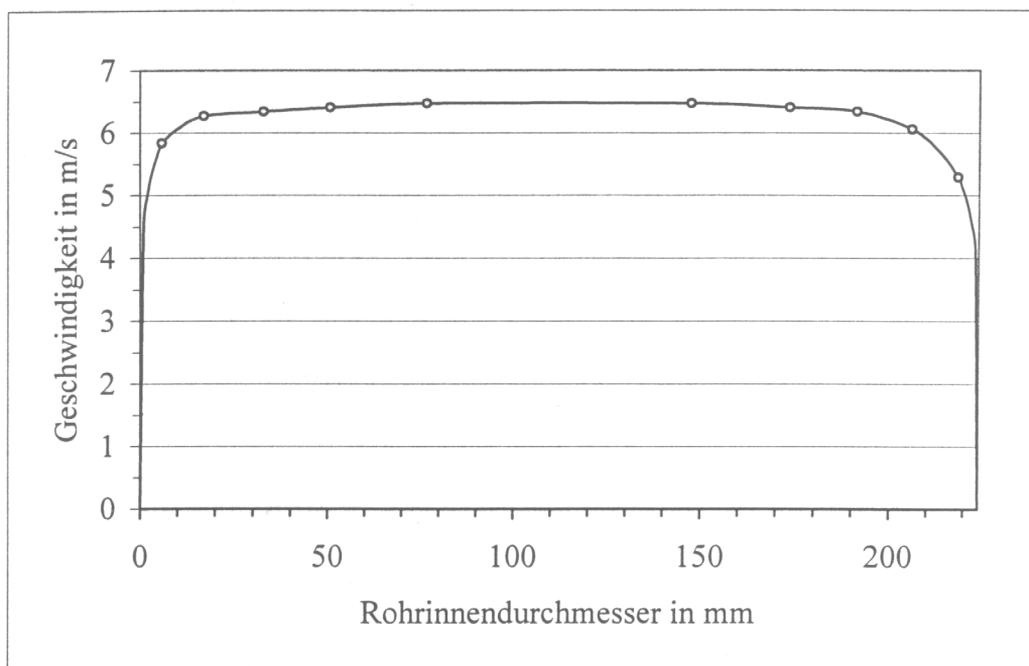


Abbildung 8 Geschwindigkeitsprofil Messung 3B

4.4. Auswertung der Blendenmessung

Tabelle 9 errechnete Massen- und Volumenströme bei der Blendenmessung

Messung	Leistung des Ventilators	gemessener Druck Δp in Pa	gemessener Druck p_i in Pa	Massenstrom in kg/h	Volumenstrom in m ³ /h
1	35,00%	160,0	106,0	933,49	813,40
2	30,00%	122,0	84,0	816,37	711,34
3	25,00%	88,5	60,0	696,62	607,00

Tabelle 10 durch Iteration ermittelte Werte für C und Re_d

Messung	Leistung des Ventilators	C	Re_d
1	35,00%	0,611161446	81078,65
2	30,00%	0,612007475	70905,83
3	25,00%	0,613092894	60505,04

Bei der Blendenmessung ermittelten wir rechnerisch die in Tabelle 9 aufgeführten Werte für den Volumenstrom \dot{V} und den Massenstrom \dot{m} . Die errechnete Dichte für die Blendenmessung beträgt 1,148 kg/m³.

Beim Vergleich der berechneten Volumenströme für die Netz- und Blendenmessung erhalten wir fast identische Werte (bei 35 % Ventilatorleistung). Die Abweichung zur Netzmessung ist auf die Entfernung der Messachse zur Blende zurückzuführen.

Die Werte in Tabelle 10 wurden durch *Iteration mit einem Startwert von $C=0,6$ ermittelt.

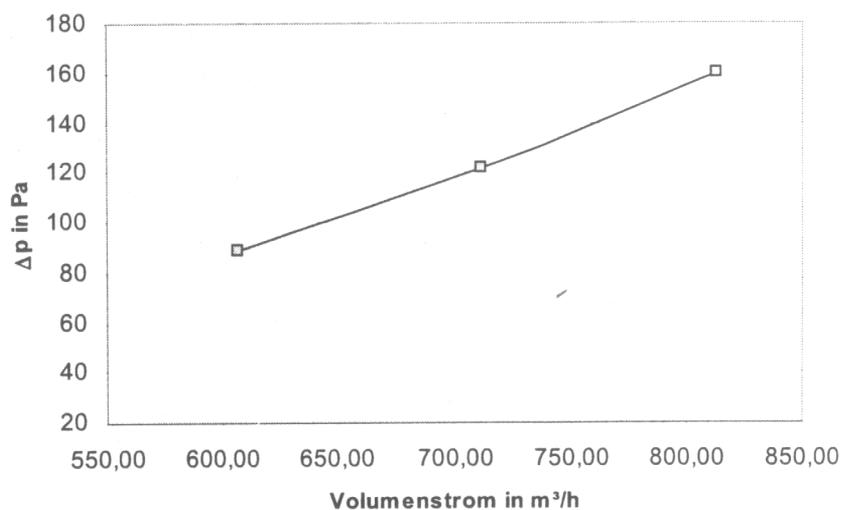


Abbildung 9 Durch Blendenmessung ermittelte Volumenströme

*Iteration: Berechnungsmethode, hier zur Berechnung von Durchflusskoeffizient C und Reynoldszahl Re_D eingesetzt

5. Fehlerbetrachtung

Bei der Netzmessung gibt es eine Reihe von möglichen Fehlerquellen, durch die es zu ungenauen Ablesewerten kommen kann. Bereits beim Aufbau der Versuchsstrecke ist darauf zu achten, dass die Rohrleitung genau waagrecht montiert wird. Weiterhin müssen die Rohre luftdicht miteinander verbunden werden, um einen Druckabfall durch ausströmende Luft zu verhindern. Dies ist durch Zusammenstecken der Rohre nicht zu erreichen, sie müssen zusätzlich abgeklebt werden.

Durch ungenaues Anzeichnen der errechneten Einstecktiefen können Messwerte verfälscht werden, auch wenn die angezeichnete Einstecktiefe bei der Messung nicht genau an der Rohrwandung anliegt oder das Staurohr nicht genau senkrecht zur Rohrachse montiert wird. Beim Ablesen der Werte ist der Stillstand der Messflüssigkeit im Schrägrohr abzuwarten, da sonst zu niedrige Werte abgelesen werden könnten.

Eine weitere Fehlerquelle ist die Materialbeschaffenheit der Versuchsstrecke, denn Grate, Schweißnähte und ein nicht exakt kreisrunder Querschnitt können zu Verwirbelungen des Mediums, und somit zu Messfehlern führen.

6. Zusammenfassung

6.1. Netzmessung

Bei unseren Messungen ergaben sich jeweils unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten und folglich auch unterschiedliche Geschwindigkeitsprofile. Bei der erste Messung, vor der Blende, haben wir ein relativ normales Geschwindigkeitsprofil erhalten.

Im Gegensatz dazu ist bei der zweiten Messung, nach der Blende, eine deutliche Erhöhung der Geschwindigkeiten in der Mitte der Rohrleitung und eine leichte Verringerung dieser an der Rohrwandung zu erkennen. Grund hierfür ist der verringerte Querschnitt der Blende.

Eine Querschnittsverringering führt immer zur Druckerhöhung und somit auch zu höheren Geschwindigkeiten.

Die nach einer Beruhigungsstrecke von 2,32 m nach der Blende durchgeführte dritte Messung zeigt das Geschwindigkeitsprofil wieder relativ normal.

6.2. Blendenmessung

Die Blendenmessung zeigt, dass der geförderte Volumenstrom etwa den selben Wert hat wie bei der Netzmessung.

Tabelle 11 Zusammenfassung der Messungen

Planimetrierung		1	2	3	Mittelwert der Fläche	Länge der x- Achse	y-Wert
		cm ²	cm ²	cm ²	cm ²	in cm	in cm
Messung	A1	208,3	205,1	206,7	206,70	22	9,4
Messung	B1	230,1	241,3	235,2	235,53	22	10,7
Messung	A2	146,9	143,0	146,6	145,50	21,8	6,7
Messung	B2	140,6	142,4	136,6	139,87	21,8	6,4
Messung	A3	235,5	233,8	235,8	235,03	22	10,7
Messung	B3	233,7	231,1	233,9	232,90	21,9	10,6

Literaturverzeichnis

eigene Aufzeichnungen aus dem Unterricht

Joachim Albers/Rainer Dommel/Henry Montaldo- Ventsam/Harald Nedo/Eugen Übelacker/Josef Wagner, Der Zentralheizungs und Lüftungsbauer Technologie, ISBN 3.582.03123.3

Recknagel/Sprenger/Schramek, Taschenbuch für Heizung+ Klimatechnik , 68. Auflage, ISBN: 3-486-26214-9

Intranet der Staatlichen Technikerschule Berlin, HKS-Server

DIN EN ISO 5167, Teil 1 und 2

www.wikipedia.de

www.airflow.de

www.al.lu/chemistry/STS/leesch/anebarο.htm

Netzmessung und Blendenmessung

Anhang

Laborübung 2

Gruppe 3

Inhaltsverzeichnis

- A1 Messprotokolle im Original
- A2 Planimetrieren
- A3 Verwendete Messgeräte
 - Meteorograph
 - Digitalthermometer
 - Das Staurohr
 - Das Schrägrohrmanometer
- A4 Theoretische Grundlagen
 - Netzmessung
 - Blendenmessung
- A5 Empfohlene Wahl der Messstelle und der Messpunkte zur Staurohrmessung
- A6 Berechnungen
- A7 Verbesserungsvorschläge
- A8 Laborbericht in elektronischer Form und Selbständigkeitserklärung

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Meteorograph, Intranet der Staatlichen Technikerschule Berlin
- Abbildung 2: Digitalthermometer, Intranet der Staatlichen Technikerschule Berlin
- Abbildung 3: Staurohr, www.airflow.de
- Abbildung 4: Schrägrohrmanometer, Joachim Albers/Rainer Dommel/Henry Montaldiventsam/Harald Nedo/Eugen Übelacker/Josef Wagner, Der Zentralheizungs und Lüftungsbauer Technologie, ISBN 3.582.03123.3

A1 Messprotokolle im Original

Nachfolgend finden Sie die verwendeten Messprotokolle der Netzmessung und der Blendenmessung.

Protokoll der Rahmenbedingungen

Zeit:	15.32
Teilnehmer:	Herr Willek, Herr Fleischfresser, Herr Fritsch
STB, Raum Nr.	119
Versuch	Netz- und Blendenmessung

1. Messung der Randbedingungen im Messraum

	Versuchsbeginn	Blendenmessung	Netzmessung 1	Netzmessung 2	Netzmessung 3
Temperatur t	24.5		24.5	25.0	25.0
relative Feuchte φ	48%		48%	48%	49%
Luftdruck p	1002 hPa		1002 hPa	1001 hPa	1001 hPa

Ende
17.04

2. Messung der Rohr-Innentemperatur

	Temperatur	Ort der Messung	16.13	16.37	16.55
Messpunkt t_1 (vor der Blende)	28.8°C	28.9°C	29.0°C	28.9°C	28.8°C
Messpunkt t_2 (hinter der Blende)	28.7°C	28.5°C	29.0°C	28.8°C	28.9°C

3. Blendenmessung

Messung	Drehzahl in %	Δp_{Sch} Schrägrohrmanometer in mm p_2 Δp_{Bl}	Δp_{Sch} Schrägrohrmanometer in mm p_1 Δp_{Bl} vor hinter der Bl.
1	35	160	106
2	30	122	84
3	25	88,5	60



STB, THK3, SS 2005, Laborbericht: Netz- und Blendenmessung

Protokoll der Netzmessung

3.1. Messung

vor der Blende

Drehzahl 35 %

Pa

Messstelle A1	Schwerelinie 1		Messwert	18
	Einstecktiefe 1	6 mm		
Messstelle A2	Schwerelinie 2		Messwert	22
	Einstecktiefe 2	19 mm		
Messstelle A3	Schwerelinie 3		Messwert	25
	Einstecktiefe 3	33 mm		
Messstelle A4	Schwerelinie 4		Messwert	26
	Einstecktiefe 4	51 mm		
Messstelle A5	Schwerelinie 5		Messwert	26,2
	Einstecktiefe 5	77 mm		
Messstelle A6	Schwerelinie 5		Messwert	27
	Einstecktiefe 6	148 mm		
Messstelle A7	Schwerelinie 4		Messwert	24,5
	Einstecktiefe 7	174 mm		
Messstelle A8	Schwerelinie 3		Messwert	23
	Einstecktiefe 8	192 mm		
Messstelle A9	Schwerelinie 2		Messwert	20
	Einstecktiefe 9	206 mm		
Messstelle A10	Schwerelinie 1		Messwert	15
	Einstecktiefe 10	219 mm		

Messstelle B1	Schwerelinie 1		Messwert	17,5
	Einstecktiefe 1	6 mm		
Messstelle B2	Schwerelinie 2		Messwert	20,5
	Einstecktiefe 2	19 mm		
Messstelle B3	Schwerelinie 3		Messwert	23,5
	Einstecktiefe 3	33 mm		
Messstelle B4	Schwerelinie 4		Messwert	25,5
	Einstecktiefe 4	51 mm		
Messstelle B5	Schwerelinie 5		Messwert	25,5
	Einstecktiefe 5	77 mm		
Messstelle B6	Schwerelinie 5		Messwert	24,5
	Einstecktiefe 6	148 mm		
Messstelle B7	Schwerelinie 4		Messwert	24,5
	Einstecktiefe 7	174 mm		
Messstelle B8	Schwerelinie 3		Messwert	23,5
	Einstecktiefe 8	192 mm		
Messstelle B9	Schwerelinie 2		Messwert	22
	Einstecktiefe 9	206 mm		
Messstelle B10	Schwerelinie 1		Messwert	18
	Einstecktiefe 10	219 mm		

Datum: 03.05.05

Unterschrift 

Messprotokoll Seite 2 von 4

STB, THK3, SS 2005, Laborbericht: Netz- und Blendenmessung

Protokoll der Netzmessung (76cm)

3.1. Messung

nach der Blende

Drehzahl 35 %

Pa

Messstelle A1	Schwerelinie 1		Messwert	12
	Einstecktiefe 1	6 mm		
Messstelle A2	Schwerelinie 2		Messwert	15
	Einstecktiefe 2	19 mm		
Messstelle A3	Schwerelinie 3		Messwert	23
	Einstecktiefe 3	33 mm		
Messstelle A4	Schwerelinie 4		Messwert	3841
	Einstecktiefe 4	51 mm		
Messstelle A5	Schwerelinie 5		Messwert	59
	Einstecktiefe 5	77 mm		
Messstelle A6	Schwerelinie 5		Messwert	50
	Einstecktiefe 6	148 mm		
Messstelle A7	Schwerelinie 4		Messwert	31
	Einstecktiefe 7	174 mm		
Messstelle A8	Schwerelinie 3		Messwert	18
	Einstecktiefe 8	192 mm		
Messstelle A9	Schwerelinie 2		Messwert	13
	Einstecktiefe 9	206 mm		
Messstelle A10	Schwerelinie 1		Messwert	10
	Einstecktiefe 10	219 mm		

Messstelle B1	Schwerelinie 1		Messwert	7
	Einstecktiefe 1	6 mm		
Messstelle B2	Schwerelinie 2		Messwert	12
	Einstecktiefe 2	19 mm		
Messstelle B3	Schwerelinie 3		Messwert	17
	Einstecktiefe 3	33 mm		
Messstelle B4	Schwerelinie 4		Messwert	265
	Einstecktiefe 4	51 mm		
Messstelle B5	Schwerelinie 5		Messwert	46
	Einstecktiefe 5	77 mm		
Messstelle B6	Schwerelinie 5		Messwert	61
	Einstecktiefe 6	148 mm		
Messstelle B7	Schwerelinie 4		Messwert	46
	Einstecktiefe 7	174 mm		
Messstelle B8	Schwerelinie 3		Messwert	29,5
	Einstecktiefe 8	192 mm		
Messstelle B9	Schwerelinie 2		Messwert	19
	Einstecktiefe 9	206 mm		
Messstelle B10	Schwerelinie 1		Messwert	72
	Einstecktiefe 10	219 mm		

Datum: 03.05.05

Unterschrift: 

Messprotokoll Seite 3 von 4

STB, THK3, SS 2005, Laborbericht: Netz- und Blendenmessung

Protokoll der Netzmessung (2,32 m)

3.1. Messung

nach der Blende

Drehzahl 35 %

Leistung Pa

Messstelle A1	Schwerelinie 1		Messwert	20
	Einstecktiefe 1	6 mm		
Messstelle A2	Schwerelinie 2		Messwert	22
	Einstecktiefe 2	19 mm		
Messstelle A3	Schwerelinie 3		Messwert	23
	Einstecktiefe 3	33 mm		
Messstelle A4	Schwerelinie 4		Messwert	23,5
	Einstecktiefe 4	51 mm		
Messstelle A5	Schwerelinie 5		Messwert	24
	Einstecktiefe 5	77 mm		
Messstelle A6	Schwerelinie 5		Messwert	24,5
	Einstecktiefe 6	148 mm		
Messstelle A7	Schwerelinie 4		Messwert	24,5
	Einstecktiefe 7	174 mm		
Messstelle A8	Schwerelinie 3		Messwert	23,5 22,5
	Einstecktiefe 8	192 mm		
Messstelle A9	Schwerelinie 2		Messwert	28,22 19,5
	Einstecktiefe 9	206 mm		
Messstelle A10	Schwerelinie 1		Messwert	17,5
	Einstecktiefe 10	219 mm		

Messstelle B1	Schwerelinie 1		Messwert	19,5
	Einstecktiefe 1	6 mm		
Messstelle B2	Schwerelinie 2		Messwert	22,5
	Einstecktiefe 2	19 mm		
Messstelle B3	Schwerelinie 3		Messwert	23
	Einstecktiefe 3	33 mm		
Messstelle B4	Schwerelinie 4		Messwert	23,5
	Einstecktiefe 4	51 mm		
Messstelle B5	Schwerelinie 5		Messwert	24
	Einstecktiefe 5	77 mm		
Messstelle B6	Schwerelinie 5		Messwert	24
	Einstecktiefe 6	148 mm		
Messstelle B7	Schwerelinie 4		Messwert	23,5
	Einstecktiefe 7	174 mm		
Messstelle B8	Schwerelinie 3		Messwert	23
	Einstecktiefe 8	192 mm		
Messstelle B9	Schwerelinie 2		Messwert	21
	Einstecktiefe 9	206 mm		
Messstelle B10	Schwerelinie 1		Messwert	16
	Einstecktiefe 10	219 mm		

Datum: 03-05-05

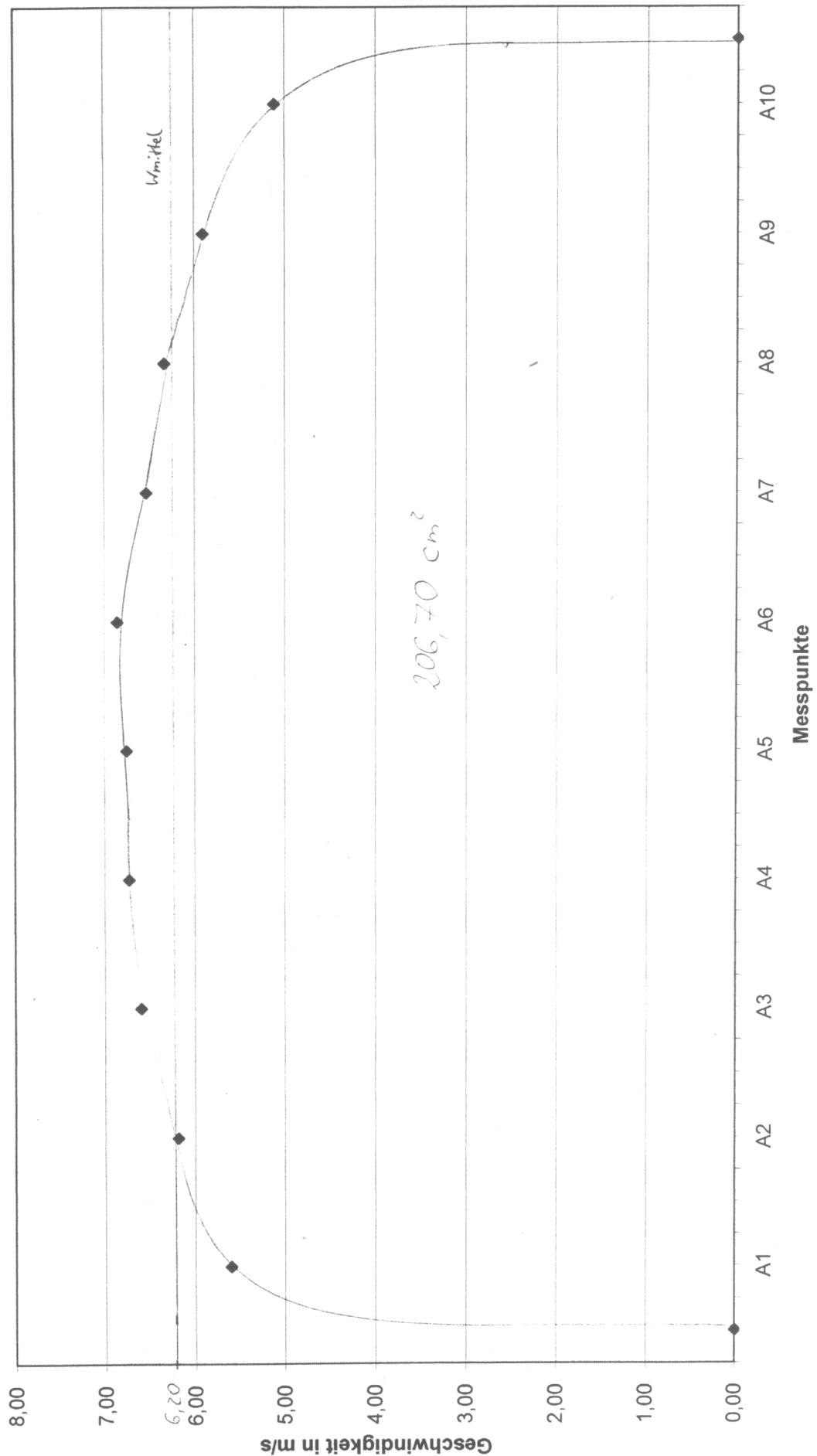
Unterschrift: 

Messprotokoll Seite 4 von 4

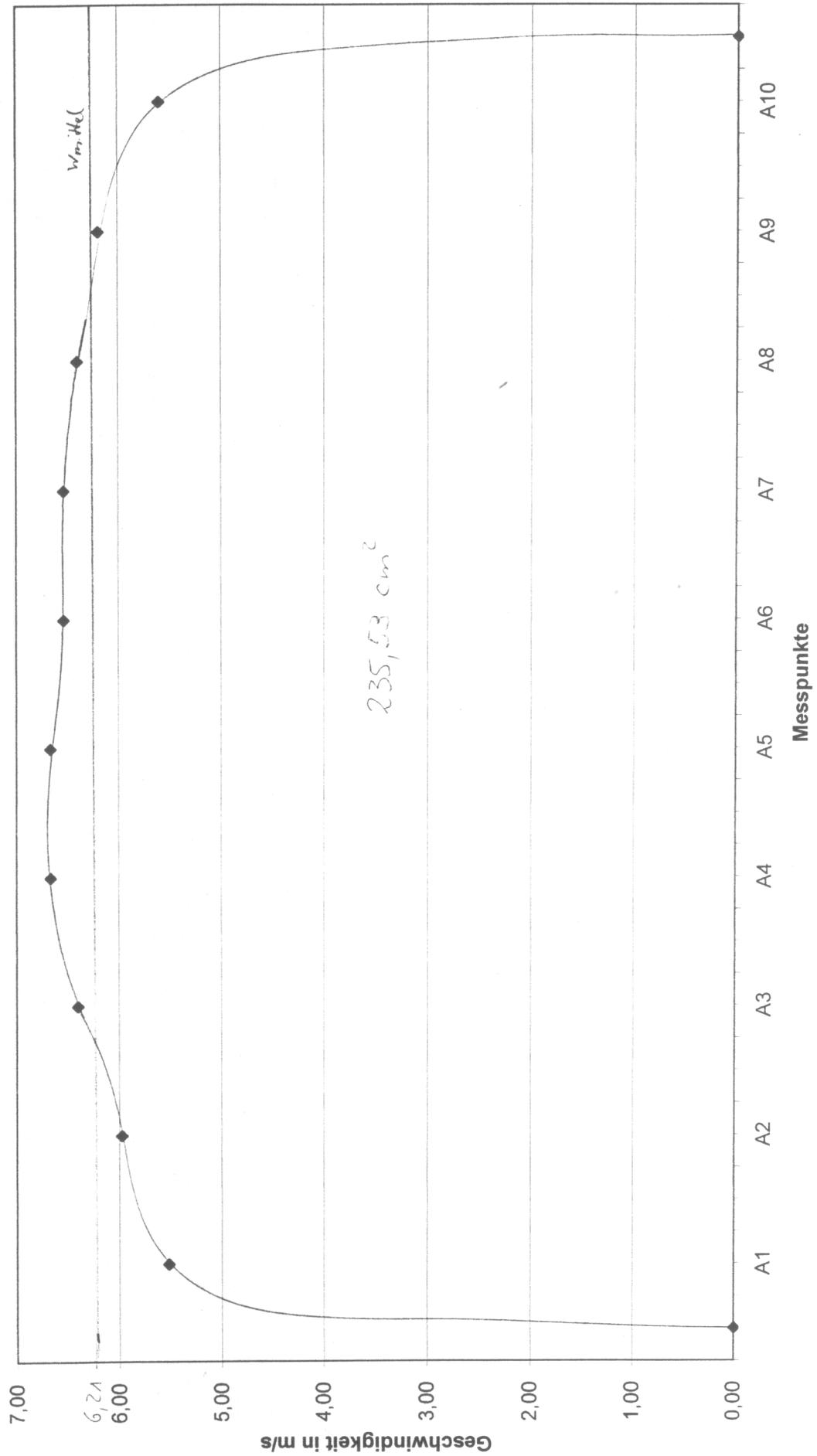
A2 Planimetrieren

Nachfolgend finden Sie die Originale der Planimetrierung.

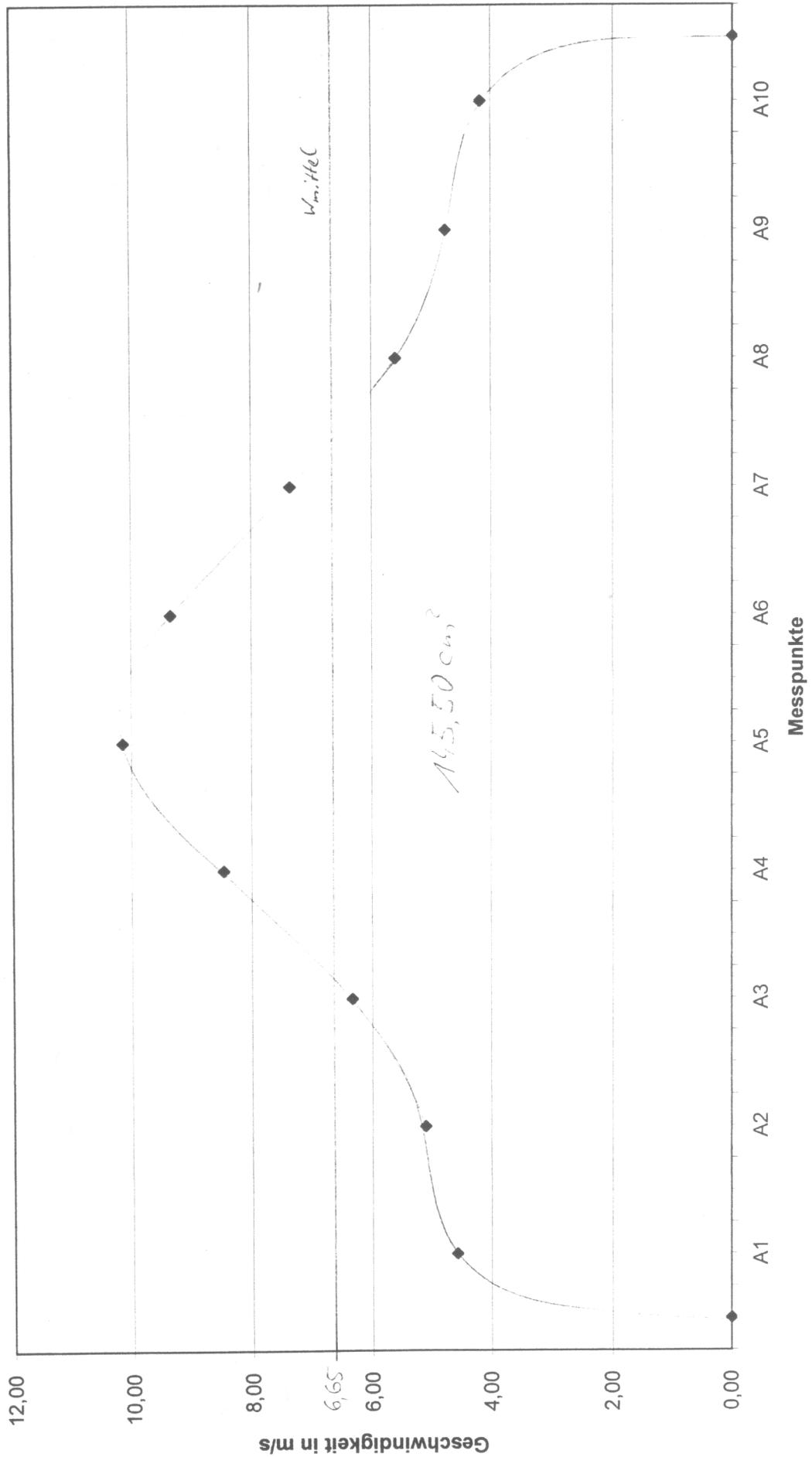
Messung 1A



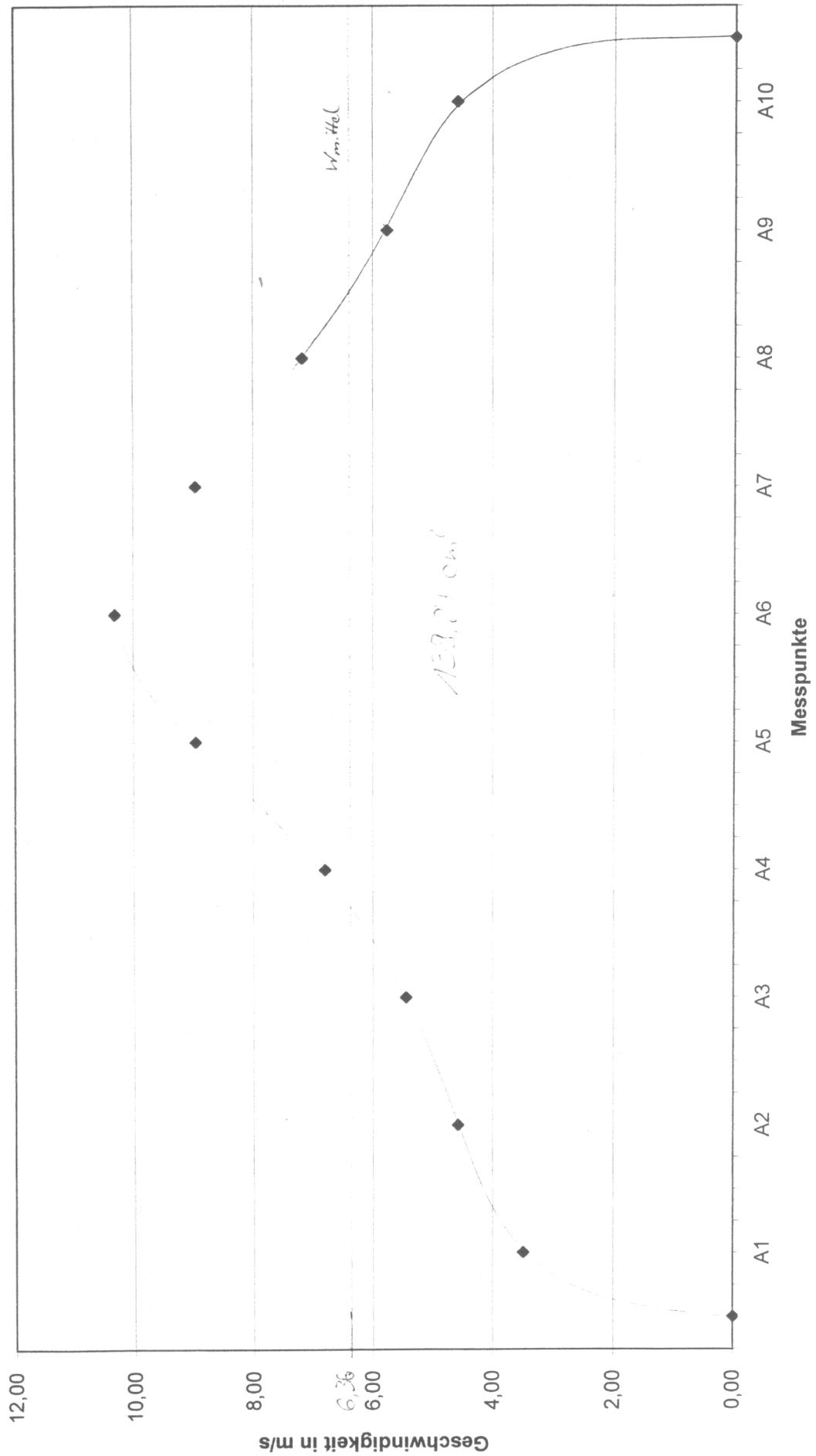
Messung 1B



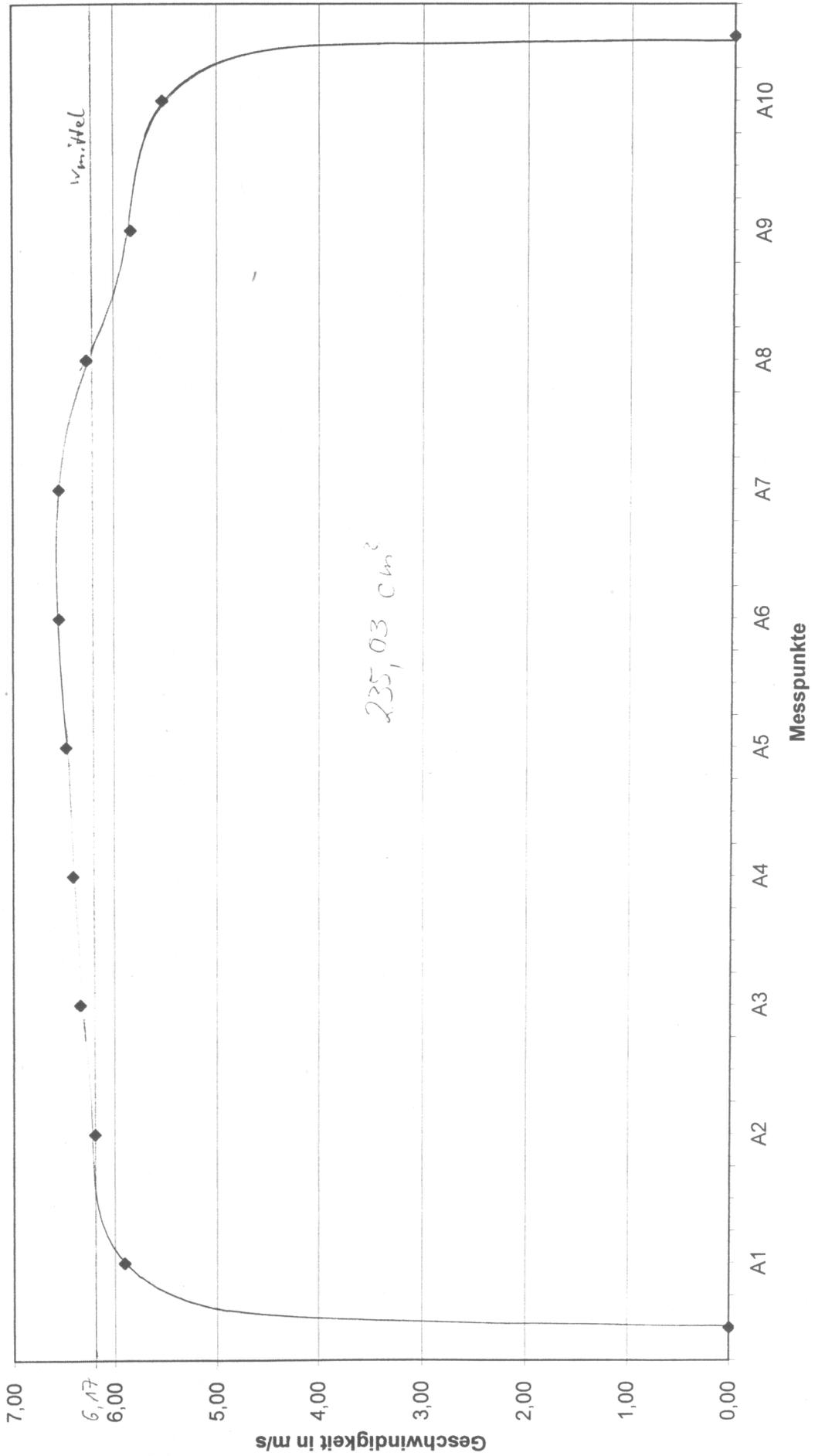
Messung 2A



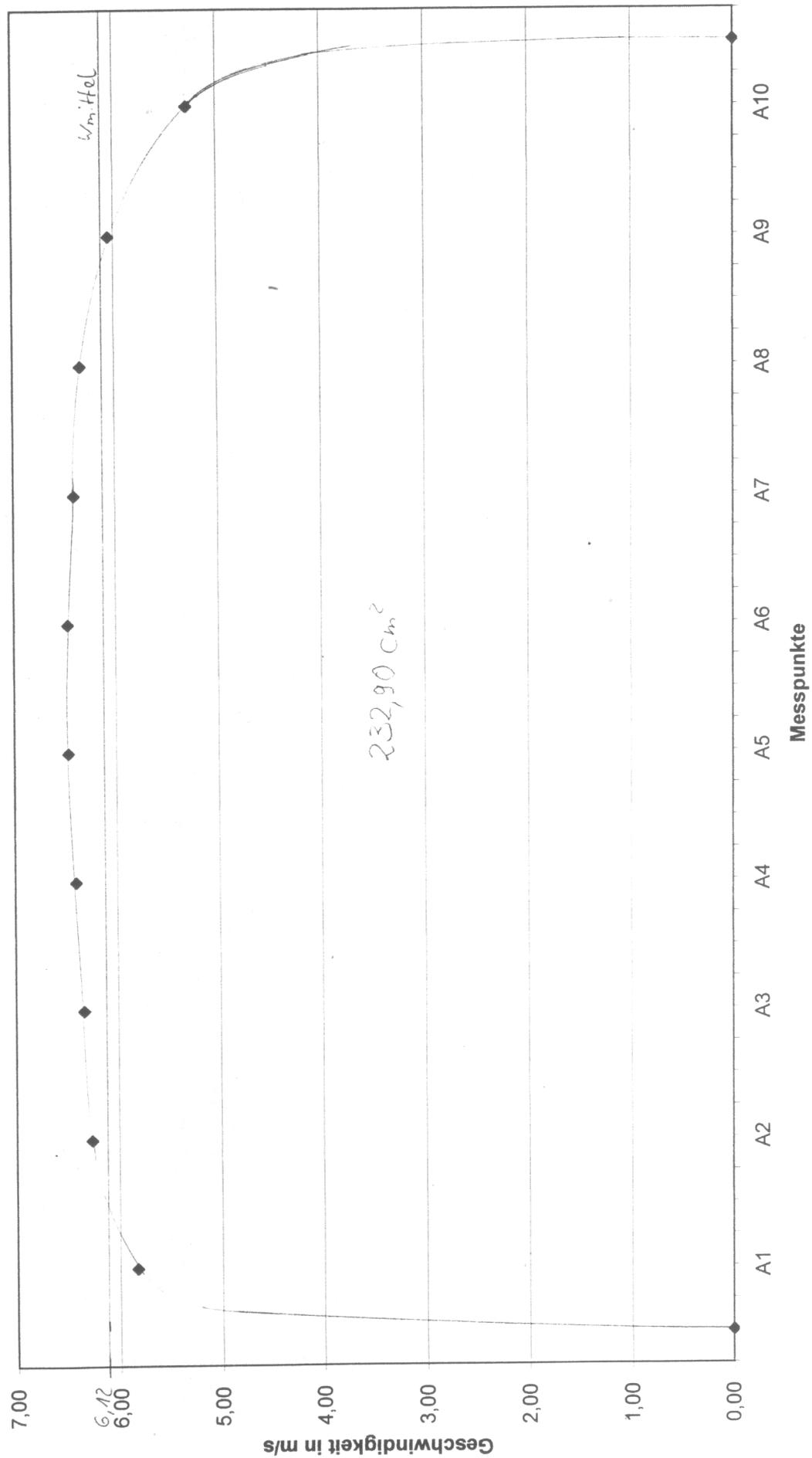
Messung 2B



Messung 3A



Messung 3B



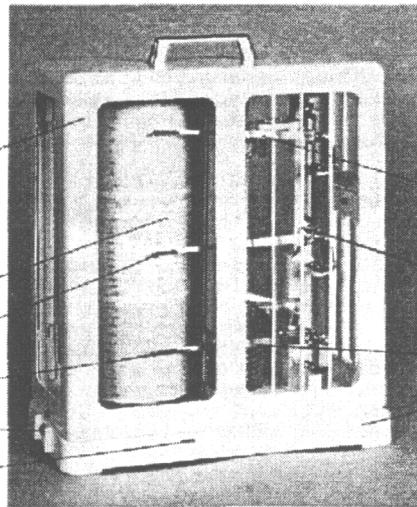
A3 Verwendete Messgeräte

Meteorograph

Bimetall Thermometer

Bei dem Bimetall Thermometer sind zwei Metallstreifen mit verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten miteinander verlötet. Bei Temperaturänderungen krümmt sich der Streifen mehr oder weniger stark, wobei die Bewegung auf einen Zeiger übertragen wird.

Haube
Diagrammhalter
Trommeluhrwerk
Faserschreibfeder
Schreibarm
Entriegelung
Ausschalthebel



Bi-Metall (Temperatur)
"Haar"-Harfe (Feuchte)
Aneroid-Dosen (Druck)
Sockel

Haarharfe

Abbildung 1 Meteorograph

Haarharfen benutzen die Eigenschaft entfetteter Haare, sich mit der relativen Luftfeuchte zu kürzen oder zu verlängern. Die Dehnung beträgt etwa 2 % bei Feuchteänderung von 0 bis 100 %. Außer Haaren werden auch andere hygroskopische Stoffe verwendet, wie Seide, Zellophan, Baumwolle und andere, von denen manche allerdings auch temperaturabhängig sind. Die Hysterese, also die Abhängigkeit eines physikalischen Zustands von zeitlich früheren Zuständen, beträgt $\pm 2..5 \%$ und daher ist die Haarharfe ungenau.

Aneroid- Dose (Aneroidbarometer, Dosenbarometer)

Bei Aneroidbarometern wird eine luftleere Dose durch den vor Ort herrschenden Luftdruck verformt. Über eine Mechanik wird diese Verformung auf einen Zeiger übertragen.

Digitalthermometer

Das Digitalthermometer der Firma IMK mit der Bezeichnung Digi 847 C, wird auch als Sekundenthermometer bezeichnet. Der Messbereich des Instrumentes reicht von $-65 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ und wird mit einer handelsüblichen 9 V Batterie betrieben.

Das im Thermometer installierte Thermoelement vom Typ K (NiCr-Ni) arbeitet nach dem Prinzip der Widerstandsänderung infolge einer Temperaturänderung. Wenn die Berührungsstelle zweier Drähte aus unterschiedlichen Metallen, in diesem Fall ist es Nickelchrom – Nickel, erwärmt wird und die anderen Enden kalt gehalten werden (in der gleichen Zeit) entsteht eine elektrische Spannung (Thermospannung). Diese Thermospannung verläuft fast linear mit dem Temperaturunterschied zwischen der warmen und kalten Berührungsstelle. Thermoelemente/ Toleranzen von Temperaturfühler nach DIN IEC 584.

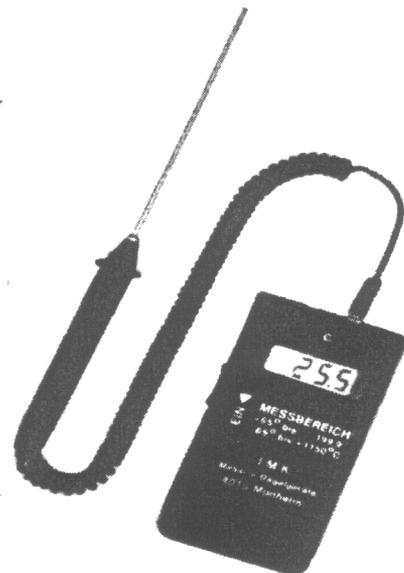


Abbildung 2 Digitales Thermometer

Das Staurohr

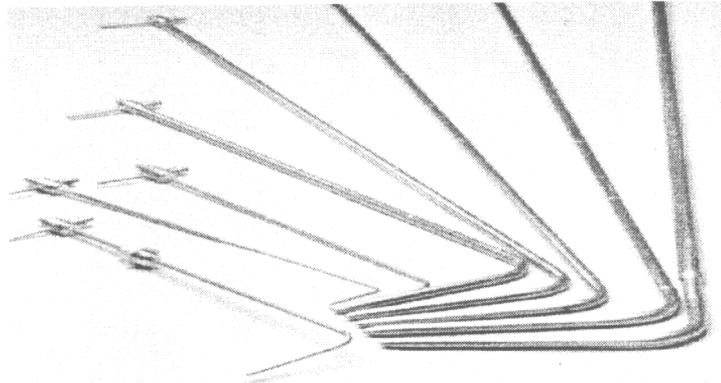


Abbildung 3 Staurohr

Das Staurohr ist ein anerkanntes Instrument zur Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit in Kanälen. Bei der Verwendung hochpräziser Mikromanometer erlaubt die Staurohrmessung weitaus genauere Messwerte als jede nicht elementare Messmethode. Der Vorteil eines Staurohres besteht auch darin, dass mit relativ geringem Aufwand eine schnelle Messung mit reproduzierbaren Messergebnissen möglich ist. Im Vergleich zu anderen Messmethoden zur Geschwindigkeitsmessung in geleiteten Luft- oder Gasströmungen ergeben sich weitere Vorteile: es besteht kein Durchfluss des Mediums durch den Messaufbau. Dies schließt eventuelle Fehler durch den Einfluss von Systemveränderungen aus. Das bedeutet, dass es praktisch keine Entfernungsbegrenzung zwischen Staurohr und Mikromanometer gibt. Die Tatsache dass kein Gasdurchfluss vorliegt verhindert auch die Ablagerung von Staub in den Staurohren. Das Messverfahren kann daher problemlos auch in verunreinigten Medien eingesetzt werden, wie z. B. in staubhaltigen Abgasen oder solchen mit Verbrennungsrückständen. Die Robustheit der Staurohre macht eine problemlose Reinigung mit Lösemittel oder trockener Druckluft möglich.

Das Schrägrohrmanometer

Schrägrohrmanometer sind bei höheren Ablesegenauigkeiten erforderlich. Beim Schrägrohrmanometer ist ein Schenkel schwach steigend angeordnet. Eine dadurch resultierende Höhendifferenz ändert die Länge der Flüssigkeitssäule. Wichtig ist, dass die Neigung des Messschenkels bei Kalibrierung und Messung gleich ist. Um dieses zu erreichen, sind die Geräte mit Justierschrauben ausgerüstet. Außerdem ist vor Versuchsbeginn darauf zu achten, dass das Schrägrohr selbst mit der im Laborversuch zur Verfügung stehenden Wasserwaage auszurichten ist.

Zum Einsatz in der Praxis kommt das Schrägrohrmanometer zur Druckmessung an Gebläsen, Klimaanlage, in Laboratorien und als Differenzdruckmesser für Filterwiderstandsmessungen, Geschwindigkeits- und Durchflussmessung für Luft und Gas in Verbindung mit anderen Messinstrumenten, zum Beispiel mit dem Prandtl'schem Staurohr, wie in Abbildung 4 dargestellt. Die zum Versuch vorhandenen Schrägrohrmanometer sind keinem Hersteller zuzuordnen. Im Versuch wurde das Schrägrohrmanometer mit einem Winkel $\alpha = 1,22^\circ$ eingesetzt.

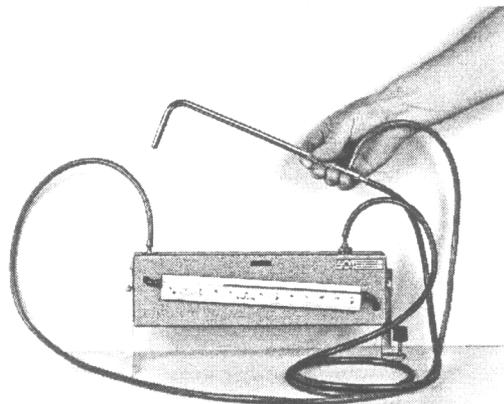


Abbildung 4 Schrägrohrmanometer

A4 Theoretische Grundlagen

Netzmessung

Um mittels Netzmessung die Strömungsgeschwindigkeit in Kanälen mit rundem Querschnitt bestimmen zu können, muss der Querschnitt des Rohres in gleich große, ringförmige Flächen aufgeteilt werden. Die mittlere Geschwindigkeit im Kanal berechnet sich dann aus den flächengewichteten Einzelwerten der Messungen. Um genauere Ergebnisse zu erhalten, wird der Querschnitt des Rohres in 5 oder mehr Flächen unterteilt und auf zwei Messachsen gemessen. In unserem Fall waren leider nicht mehr als 5 Messachsen möglich, da sonst die erste errechnete Schwerelinie für eine genaue Messung zu nah an der Rohrwandung gelegen hätte. Die einzelnen Messungen müssen auf den Schwerelinien der Flächen gemessen werden. Als Schwerelinie wird der flächengleiche Mittelpunkt eines Kreisabschnittes bezeichnet. Der Messpunkt i , also die Schwerelinie der Fläche i , wird nach folgender Formel berechnet:

$$d_i = D \cdot \sqrt{\frac{2i-1}{2n}} \quad (1)$$

wobei n für die Gesamtzahl der Flächen steht. Aus dem Durchmesser der Schwerelinie plus der Wandstärke s des Rohres lässt sich die Einstecktiefe l_i des Prandtl'schen Staurohres bestimmen:

$$l_i = \frac{D - d_i}{2} + s \quad (2)$$

Mit dem Prandtl'schen Staurohr, welches mit einem Schrägrohrmanometer verbunden ist, wird der dynamische Druck auf der entsprechenden Schwerelinie gemessen. Die Längenänderung der Messflüssigkeit im Schrägrohrmanometer ist proportional zur Druckdifferenz. Da kein geeichtes Schrägrohrmanometer zur Verfügung stand, musste die verwendete Skala zuerst noch rechnerisch überprüft werden. Für das von uns verwendete Messgerät mit einer Steigung von $1,22^\circ$ gilt folgende Formel:

$$p_{dyn} = \Delta l_i \cdot \frac{0,8 \text{ Kg}}{m^3} \cdot \frac{9,81 \text{ N}}{\text{Kg}} \cdot \left[\sin 1,22^\circ + \left(\frac{2,4 \text{ mm}}{26 \text{ mm}} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Die Dichte der Luft lässt sich direkt aus den gemessenen Werten und Konstanten berechnen:

$$\rho = \frac{p}{R_l T} + \left[\frac{\varphi p_s}{T} \left(\frac{1}{R_w} - \frac{1}{R_l} \right) \right] \quad (4)$$

Die Strömungsgeschwindigkeit w lässt sich aus dem dynamischen Druck wie folgt ermitteln:

$$w = \sqrt{\frac{2 p_{dyn}}{\rho_{luft}}} \quad (5)$$

Das arithmetische Mittel der gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten wird folgendermaßen ermittelt:

$$\bar{w} = \frac{1}{n} \sum w_i \quad (6)$$

Blendenmessung

Die Blendenmessung beruht darauf, dass eine Störstelle in einem Rohr eine Druckdifferenz erzeugt. Aus dieser Druckdifferenz, den Stoffwerten des strömenden Mediums und der Art und Geometrie der Störstelle kann die Strömungsgeschwindigkeit errechnet werden. Für unseren Versuch wurde eine fest eingebaute Blende verwendet. Für die Berechnung des Massenstroms gilt Formel (7):

$$\dot{m} = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \frac{\pi \varepsilon d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \Delta p \rho} \quad (7)$$

Aus dem Massenstrom und der Dichte lässt sich der Volumenstrom nach (8) ermitteln.

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (8)$$

Um den Massenstrom errechnen zu können müssen also der Durchflusskoeffizient C , das Durchmesser Verhältnis β , die Expansionszahl ε , die Druckdifferenz Δp , sowie die Dichte des strömenden Mediums ρ bekannt sein.

Die Druckdifferenz, auch Wirkdruck genannt, berechnet sich aus unseren gemessenen Werten p_1 und p_2 .

$$\Delta p = p_1 - p_2 \quad (9)$$

Das Durchmesser Verhältnis lässt sich nach (10) berechnen und war für unseren Versuch mit $\beta=0,7$ vorgegeben.

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (10)$$

Die Expansionszahl berücksichtigt die Kompressibilität des Mediums und wird nach (11) berechnet. Der Isotropenexponent k war für unseren Versuch mit $k=1,4$ vorgegeben. Für kompressible Medien ergibt sich immer eine Expansionszahl kleiner 1.

$$\varepsilon = 1 - (0,351 + 0,256 \beta^4 + 0,93 \beta^8) \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{k}} \right] \quad (11)$$

Die Reynoldszahl Re_D berechnet sich nach (13). Die für die Berechnung der Reynoldszahl notwendige dynamische Viskosität η (12) lässt sich leicht aus der kinematische Viskosität ν und der Dichte ρ (4) des Mediums berechnen. Werte für die kinematische Viskosität wurden aus „Recknagel und Sprenger“ entnommen und wurden für die gemessene Temperatur aus diesen Werten interpoliert.

$$\eta = \nu \cdot \rho \quad (12)$$

$$Re_D = C \frac{\varepsilon \beta d \sqrt{2 \Delta p \rho}}{\eta \sqrt{1-\beta^4}} \quad (13)$$

Der Durchflussskoeffizient C (14) beschreibt den Zusammenhang zwischen tatsächlichem und theoretischem Durchfluss durch das Messgerät und berücksichtigt dabei die Lage des Messortes sowie auftretende Verluste. Für die von uns verwendete Blende beträgt der Durchflussskoeffizient etwa 0,6.

Da für die Berechnung von (14) unter anderem auch (13) benötigt wird, kann (14) nicht direkt ermittelt werden. Die Lösung besteht darin, zuerst mit einem angenommenen $C=0,6$ Re_D zu ermitteln und mit diesem Re_D wieder einen genaueren Durchflussskoeffizienten zu errechnen, was bis zur gewünschten Genauigkeit weitergeführt wird. Dieses Verfahren wird Iteration genannt.

Für die von uns verwendete Messblende kann der Durchflussskoeffizient C durch folgende vereinfachte Gleichung bestimmt werden:

$$C = 0,5961 + 0,0261 \beta^2 - 0,216 \beta^8 + 0,000521 \left(\frac{10^6 \beta}{Re_d} \right)^{0,7} + \left[0,0188 + 0,0063 \left(\frac{19000 \beta}{Re_d} \right)^{0,8} \right] \beta^{3,5} \left(\frac{10^6}{Re_d} \right)^{0,3} \quad (14)$$

A5 Empfohlene Wahl der Messstelle und der Messpunkte zur Staurohrmessung

nach VDI 2066 Blatt 1

In der Messstrecke sollte eine Messstelle gefunden werden, an der die Strömung am besten beruhigt ist. Umlenkungen, Querschnittsänderungen, Abzweigungen, Klappen, und andere Einbauten sowie die Nähe der Ventilatoren wirken sich negativ auf die Strömungsverhältnisse aus, führen zu ungleichmäßiger Strömungsverteilung und somit zu Ergebnissen mit größerer Fehlertoleranz. Die Messstelle soll daher innerhalb einer geraden Messstrecke mit gleichbleibender Form und Größe des Querschnitts angeordnet sein. Die Längen des störungsfreien Ein- und Auslaufes um die Messstelle sollen mindestens das dreifache, besser fünffache des Kanalquerschnittes (bei rechteckigen Kanälen entsprechend der Diagonalen des Kanalquerschnittes) betragen. Ist diese Anforderung nicht zu erfüllen, dann ist die Einlaufstrecke länger als die Auslaufstrecke zu wählen (Längenverhältnis ca. 2/3 zu 1/3).

Da die Gasgeschwindigkeit im Messquerschnitt nur an einzelnen Punkten gemessen werden kann ist eine für den Messquerschnitt repräsentative Auswahl der Messpunkte zu treffen. Durch die entsprechende Anzahl und Lage der Messpunkte im Messquerschnitt soll der Gasstrom mit vertretbarem Zeit- und Kostenaufwand möglichst genau gemessen werden. Für eine Messung teilt man den Messquerschnitt in gleichgroße Teilflächen ein und verwendet deren Flächenschwerpunkte als Messpunkte (Netzmessung). Bei rechteckigen Querschnitten sollten die Teilflächen der Form der Gesamtfläche ähnlich sein. Bei runden Querschnitten wird die Messebene in flächengleiche Kreisringe eingeteilt. Die Messpunkte liegen auf den Schnittpunkten der Schwerlinien mit den zwei Messachsen. Bei sehr gleichmäßiger Strömung kann auch eine Messachse genügen; in schwierigen Sonderfällen können auch mehr Achsen oder der Einbau von Strömungsgleichrichtern erforderlich sein.

A6 Berechnungen

Grundwerte für die Iteration	Einheit	Messung 1	Messung 2	Messung 3
		35,00%	30,00%	25,00%
gemessener Luftdruck im Raum	mbar	1002	1002	1002
gemessener Druck p_i	Pa	106	84	60
p_i + Luftdruck	mbar	1003,06	1002,84	1002,6
Wirkdruck Δp	Pa	160	122	88,5
Wirkdruck Δp	mbar	1,6	1,22	0,885
Differenzdruck	mbar	1001,46	1001,62	1001,715
Expansionszahl ϵ	-	0,999468843	0,999594926	0,999706099
Isotropenexponent χ	-	1,4	1,4	1,4
Durchmesser Verhältnis Blende β	-	0,7	0,7	0,7
Durchflusskoeffizient C (Erste Annahme)	-	0,6	0,6	0,6
Blendendurchmesser d	m	0,1568	0,1568	0,1568
Rohrdurchmesser D	m	0,224	0,224	0,224
Dichte der Luft ρ	kg/m ³	1,1476	1,1458	1,1460
kinematische Viskosität Interpoliert 22°C	m ² /s	0,00001584	0,00001584	0,00001584
Dynamische Viskosität	Pa*s	0,00001818	0,00001815	0,00001815

Nr.	35 %	Iterative Näherung für $C = 0,6$				
1	Re_{D1}	79.597,937 031 949	C_1	0,611 274 132 020	A_1	0,238 979 067 999
2	Re_{D2}	81.093,599 783 012	C_2	0,611 160 324 323	A_2	0,235 446 397 206
3	Re_{D3}	81.078,501 686 602	C_3	0,611 161 456 990	A_3	0,235 481 471 62
4	Re_{D4}	81.078,651 949 841	C_4	0,611 161 445 716	A_4	0,235 481 122 486
5	Re_{D5}	81.078,650 454 140	C_5	0,611 161 445 828	A_5	0,235 481 125 961
6	Re_{D6}	81.078,650 469 028	C_6	0,611 161 445 827	A_6	0,235 481 125 926
7	Re_{D7}	81.078,650 468 880	C_7	0,611 161 445 827	A_7	0,235 481 125 927
8	Re_{D8}	81.078,650 468 881	C_8	0,611 161 445 827	A_8	0,235 481 125 927
9	Re_{D9}	81.078,650 468 881	C_9	0,611 161 445 827	A_9	0,235 481 125 927
10	Re_{D10}	81.078,650 468 881	C_{10}	0,611 161 445 827	A_{10}	0,235 481 125 927
11	Re_{D11}	81.078,650 468 881	C_{11}	0,611 161 445 827	A_{11}	0,235 481 125 927
12	Re_{D12}	81.078,650 468 881	C_{12}	0,611 161 445 827	A_{12}	0,235 481 125 927

Nr.	30 %	Iterative Näherung für C = 0,6				
1	Re_{D1}	69.514,678 554 403	C_1	0,612 137 873 808	A_1	0,266 330 005 272
2	Re_{D2}	70.920,945 881 329	C_2	0,612 006 080 255	A_2	0,262 096 787 224
3	Re_{D3}	70.905,676 570 545	C_3	0,612 007 489 455	A_3	0,262 141 939 616
4	Re_{D4}	70.905,839 837 291	C_4	0,612 007 474 385	A_4	0,262 141 456 733
5	Re_{D5}	70.905,838 091 277	C_5	0,612 007 474 546	A_5	0,262 141 461 897
6	Re_{D6}	70.905,838 109 949	C_6	0,612 007 474 544	A_6	0,262 141 461 842
7	Re_{D7}	70.905,838 109 752	C_7	0,612 007 474 544	A_7	0,262 141 461 842
8	Re_{D8}	70.905,838 109 752	C_8	0,612 007 474 544	A_8	0,262 141 461 842
9	Re_{D9}	70.905,838 109 752	C_9	0,612 007 474 544	A_9	0,262 141 461 842
10	Re_{D10}	70.905,838 109 752	C_{10}	0,612 007 474 544	A_{10}	0,262 141 461 842
11	Re_{D11}	70.905,838 109 752	C_{11}	0,612 007 474 544	A_{11}	0,262 141 461 842
12	Re_{D12}	70.905,838 109 752	C_{12}	0,612 007 474 544	A_{12}	0,262 141 461 842

Nr.	25%	Iterative Näherung für C = 0,6				
1	Re_{D1}	59.212,928 096 403	C_1	0,613 248 232 463	A_1	0,302 794 569 984
2	Re_{D2}	60.520,372 490 140	C_2	0,613 091 081 903	A_2	0,297 550 057 752
3	Re_{D3}	60.504,863 582 211	C_3	0,613 092 914 780	A_3	0,297 611 071 798
4	Re_{D4}	60.505,044 465 503	C_4	0,613 092 893 398	A_4	0,297 610 360 017
5	Re_{D5}	60.505,042 355 409	C_5	0,613 092 893 648	A_5	0,297 610 368 321
6	Re_{D6}	60.505,042 380 024	C_6	0,613 092 893 645	A_6	0,297 610 368 224
7	Re_{D7}	60.505,042 379 737	C_7	0,613 092 893 645	A_7	0,297 610 368 225
8	Re_{D8}	60.505,042 379 740	C_8	0,613 092 893 645	A_8	0,297 610 368 225
9	Re_{D9}	60.505,042 379 740	C_9	0,613 092 893 645	A_9	0,297 610 368 225
10	Re_{D10}	60.505,042 379 740	C_{10}	0,613 092 893 645	A_{10}	0,297 610 368 225
11	Re_{D11}	60.505,042 379 740	C_{11}	0,613 092 893 645	A_{11}	0,297 610 368 225
12	Re_{D12}	60.505,042 379 740	C_{12}	0,613 092 893 645	A_{12}	0,297 610 368 225

A7 Verbesserungsvorschläge

Für diesen Versuch mit seinen umfangreichen Vorbereitungen und den vielen zu messenden Einzelwerten (speziell bei der Netzmessung) war die Versuchszeit mit 90 Minuten zu knapp bemessen. Man hätte anstatt der Blendenmessung eine weitere Netzmessung direkt hinter dem Bogen vornehmen sollen, es waren jedoch in der Rohrleitung keine Messöffnungen unmittelbar hinter dem Bogen vorhanden.

Der Laborbericht ist sehr umfangreich. Die Ausarbeitung, Versuchsvorbereitung und das anschließende Erstellen der Laborberichte nimmt sehr viel Zeit in Anspruch. Gleichzeitig läuft der Unterricht weiter, so dass die Ausarbeitung dieses Berichtes fast ausschließlich in unserer Freizeit stattfindet. Diese Zeit fehlt uns, um den Unterrichtsinhalt der anderen Fächer aufzuarbeiten. Bedenken Sie bitte auch, dass wir nach der Schulzeit arbeiten müssen, um uns dieses Studium finanzieren zu können.

Durch das Ausarbeiten des Laborberichtes wird kaum neuer Stoff vermittelt. Der fachliche Inhalt sowie der praktische Versuch wären unserer Meinung nach durchaus mit weniger Zeitaufwand innerhalb des Unterrichts vermittelbar.

Da durch das Erstellen der Laborberichte kaum neue Kenntnisse gewonnen werden, wäre es daher sinnvoll, diese weniger umfangreich zu fordern.

A8 Laborbericht in elektronischer Form

Angehängt an diese Seite finden Sie den kompletten Laborbericht auf CD im Pdf-Format.

Selbständigkeitserklärung

Wir versichern hiermit an Eides statt, dass wir die vorliegende Arbeit bzw. die von uns namentlich gekennzeichneten Teile selbständig und ausschließlich unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel verfasst haben.

Berlin, der 30.05.05

Thomas Fritsch

Rayk Fleischfresser

Lutz Willek

A8 Laborbericht in elektronischer Form

Angehängt an diese Seite finden Sie den kompletten Laborbericht auf CD im Pdf- Format.

Selbständigkeitserklärung

Wir versichern hiermit an Eides statt, dass wir die vorliegende Arbeit bzw. die von uns namentlich gekennzeichneten Teile selbständig und ausschließlich unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel verfasst haben.

Berlin, der 30.05.05

Thomas Fritsch

Rayk Fleischfresser

Lutz Willek