

Laborversuch am Institut für Angewandte Thermo- und Fluiddynamik

Entwicklung einer Rohreinlaufströmung nach einer Einlaufdüse

Versuchsdatum 12.11.2002

Inhalt

- 1 Zusammenstellung der Mess- und Rechenwerte
- 2 Explizite Auswertung einzelner Messpunkte
- 3 Darstellung der Geschwindigkeitsprofile
- 4 Berechnung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit
- 5 Bestimmung der Corioliszahl
- 6 Ermittlung des Profilexponenten
- 7 Bewertung der Geschwindigkeitsprofile
- 8 Diskussion und Literaturvergleich

1 Zusammenstellung der Mess- und Rechenwerte

Geschwindigkeitsprofil Ebene 1						
$\frac{y}{\text{mm}}$	$\frac{\Delta P_{dyn}^*}{\text{Pa}}$	Neigung 1	$\frac{\Delta P_{dyn}}{\text{Pa}}$	$\frac{\Delta P_{stat}^*}{\text{mmH}_2\text{O}}$	Neigung 2	$\frac{c}{\frac{\text{m}}{\text{s}}}$
2,5	690	1:2	345,0	-135,5	1:2	24,3
5,0	820	1:2	410,0	-134,5	1:2	26,5
10,0	970	1:2	485,0	-134,5	1:2	28,8
15,0	1010	1:2	505,0	-135,0	1:2	29,4
30,0	1040	1:2	520,0	-134,0	1:2	29,9
45,0	1040	1:2	520,0	-134,0	1:2	29,9
62,5	1040	1:2	520,0	-135,0	1:2	29,9
80,0	1040	1:2	520,0	-135,0	1:2	29,9
95,0	1040	1:2	520,0	-135,0	1:2	29,9
110,0	1010	1:2	505,0	-136,0	1:2	29,4
115,0	960	1:2	480,0	-137,5	1:2	28,7
120,0	900	1:2	450,0	-140,0	1:2	27,8
122,5	690	1:2	345,0	-135,5	1:2	24,3
Mittelwert: -135,500						
$\Delta P_{stat} / \text{mmH}_2\text{O} = -67,750$			$S_r / \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1,172$			
$\Delta P_{stat} / \text{Pa} = -531,702$			$S_f / \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1,167$			

Geschwindigkeitsprofil Ebene 3

$\frac{y}{\text{mm}}$	$\frac{\Delta p^*_{\text{dyn}}}{\text{Pa}}$	Neigung 1	$\frac{\Delta p_{\text{dyn}}}{\text{Pa}}$	$\frac{\Delta p^*_{\text{stat}}}{\text{mmHl}}$	Neigung 2	$\frac{c}{\frac{\text{m}}{\text{s}}}$
2,5	580	1:2	290,0	-150,0	1:2	22,3
5,0	700	1:2	350,0	-150,5	1:2	24,5
10,0	850	1:2	425,0	-151,0	1:2	27,0
15,0	970	1:2	485,0	-151,0	1:2	28,8
30,0	1130	1:2	565,0	-151,5	1:2	31,1
45,0	1160	1:2	580,0	-151,5	1:2	31,5
62,5	1170	1:2	585,0	-152,0	1:2	31,7
80,0	1170	1:2	585,0	-152,0	1:2	31,7
95,0	1120	1:2	560,0	-152,0	1:2	31,0
110,0	930	1:2	465,0	-152,0	1:2	28,2
115,0	820	1:2	410,0	-154,0	1:2	26,5
120,0	690	1:2	345,0	-153,0	1:2	24,3
122,5	580	1:2	290,0	-150,0	1:2	22,3
Mittelwert:				-151,577		
$\Delta p_{\text{stat}} / \text{mmHl} = -75,789$			$\rho_{\text{tr}} / \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1,172$			
$\Delta p_{\text{stat}} / \text{Pa} = -594,792$			$\rho_{\text{f}} / \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1,167$			

Geschwindigkeitsprofil Ebene 4

y mm	ΔP^*_{dyn} Pa	Neigung 1	ΔP_{dyn} Pa	ΔP^*_{stat} mmAl	Neigung 2	C $\frac{m}{s}$
2,5	1390	1:5	278,0	-170,0	1:2	21,8
5,0	670	1:2	335,0	-171,0	1:2	24,0
10,0	790	1:2	395,0	-171,0	1:2	26,0
15,0	910	1:2	455,0	-171,0	1:2	27,9
30,0	1150	1:2	575,0	-171,0	1:2	31,4
45,0	1280	1:2	640,0	-171,0	1:2	33,1
62,5	1320	1:2	660,0	-171,5	1:2	33,6
80,0	1310	1:2	655,0	-172,0	1:2	33,5
95,0	1170	1:2	585,0	-172,5	1:2	31,7
110,0	930	1:2	465,0	-173,0	1:2	28,2
115,0	820	1:2	410,0	-173,0	1:2	26,5
120,0	690	1:2	345,0	-173,5	1:2	24,3
122,5	1390	1:5	278,0	-170,0	1:2	21,8
Mittelwert: -171,577						
$\Delta P_{stat} / \rho_{mittel} = -85,789$			$S_t / \frac{kg}{m^3} = 1,171$			
$\Delta P_{stat} / Pa = -673,272$			$S_f / \frac{kg}{m^3} = 1,166$			

Geschwindigkeitsprofil Ebene 7

y mm	Δp^*_{dyn} Pa	Neigung 1	Δp_{dyn} Pa	Δp^*_{stat} mmHl	Neigung 2	c $\frac{m}{s}$
2,5	590	1:2	295,0	-112,0	1:1	22,5
5,0	720	1:2	360,0	-112,0	1:1	24,9
10,0	850	1:2	425,0	-112,0	1:1	27,0
15,0	935	1:2	467,5	-112,0	1:1	28,4
30,0	1140	1:2	570,0	-112,0	1:1	31,3
45,0	1280	1:2	640,0	-112,0	1:1	33,2
62,5	1360	1:2	680,0	-112,0	1:1	324,2
80,0	1295	1:2	647,5	-112,0	1:1	33,4
95,0	1140	1:2	570,0	-112,0	1:1	31,3
110,0	940	1:2	470,0	-112,0	1:1	28,4
115,0	855	1:2	427,5	-112,0	1:1	27,1
120,0	730	1:2	365,0	-112,0	1:1	25,1
122,5	590	1:2	295,0	-112,0	1:1	22,5
Mittelwert: -112,000						
$\Delta p_{stat} / \text{mmHl} = -112,000$				$\beta_{tr} / \frac{m}{s} = 1,168$		
$\Delta p_{stat} / Pa = -878,976$				$\beta_f / \frac{m}{s} = 1,163$		

Berechnung Ebene 7, Messstelle $\gamma_7 = 62,5 \text{ mm}$

1.) dynamischer Standarddruck:

$$\Delta p_{\text{dyn}} = \Delta p^*_{\text{dyn}} \cdot \text{Neigung} = 1360 \text{ Pa} \cdot \frac{1}{2} = \underline{\underline{680 \text{ Pa}}}$$

2.) statischer Unterdruck im Messquerschnitt:

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{stat}} &= \Delta p^*_{\text{stat}} \cdot \rho_{\text{Lu}} \cdot g = -0,112 \text{ m} \cdot 0,8 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ &= \underline{\underline{-879 \text{ Pa}}} \end{aligned}$$

3.) Dichte der trockenen Luft:

$$T = 273,15 \text{ K} + 22 \text{ K} = \underline{\underline{295,15 \text{ K}}}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{tr}} &= \frac{p_{\text{A}} + \Delta p_{\text{stat}}}{R \cdot T} = \frac{(999 \cdot 10^2 + (-879)) \text{ N} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}}{\text{m}^2 \cdot 287,2 \text{ Nm} \cdot 295,15 \text{ K}} \\ &= \underline{\underline{1,168 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} \end{aligned}$$

4.) Dichte der Luft im Messquerschnitt:

$$p = p_{\text{A}} + \Delta p_{\text{stat}} = (999 \cdot 10^2 + (-879)) \text{ Pa} = \underline{\underline{99021 \text{ Pa}}}$$

$$p_{\text{S}} = 0,02642 \text{ bar} = \underline{\underline{2642 \text{ Pa}}}$$

(lt. Carrel/Hoffmann: Einführung in die Thermodynamik

S. 274 TB5)

$$\rho_{\text{f}} = \rho_{\text{tr}} \cdot \left(1 - 0,377 \cdot \varphi_{\text{A}} \cdot \frac{p_{\text{S}}}{p}\right); \quad \varphi_{\text{A}} = \frac{f_{\text{A}}}{100\%}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \rho_{\text{f}} &= 1,168 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left(1 - 0,377 \cdot \frac{41,5\%}{100\%} \cdot \frac{2642 \text{ Pa}}{99021 \text{ Pa}}\right) \\ &= \underline{\underline{1,163 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} \end{aligned}$$

5.) Strömungsgeschwindigkeit:

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{dyn}}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 680 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}{1,163 \text{ kg} \cdot \text{m}^3}} \\ = \underline{\underline{34,196 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

Berechnung Messebene 7 Punkt 2,5

1.) dynamischer Staudruck

$$\begin{aligned}\Delta p_{\text{dyn}} &= \Delta p^*_{\text{dyn}} \cdot \text{Neigung} \\ &= 590 \text{ Pa} \cdot \frac{1}{2} = \underline{295 \text{ Pa}}\end{aligned}$$

2.) statischer Unterdruck im Messquerschnitt

$$\begin{aligned}p_{\text{stat.}} &= \rho \cdot g \cdot h \\ &= 0,8 \text{ Kg/m}^3 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,112 \text{ m} \\ &= \underline{-879 \text{ Pa}}\end{aligned}$$

3.) Dichte der trockenen Luft

$$\begin{aligned}p_{\text{tr.}} &= \frac{p_A \pm \Delta p_{\text{stat.}}}{R \cdot T} & R &= 287,2 \text{ Nm/Kg K} \\ &= \frac{99900 \text{ N/m}^2 - 879 \text{ N/m}^2}{287,2 \text{ Nm/Kg K} \cdot 295,15 \text{ K}} & p_A &= 99900 \text{ Pa} \\ &= \underline{1,168 \text{ Kg/m}^3} & T &= 295,15 \text{ K}\end{aligned}$$

4.) Dichte der Luft im Meßquerschnitt

$$\begin{aligned}p &= p_A \pm p_{\text{stat.}} \\ &= 99900 \text{ Pa} - 879 \text{ Pa} = 99021 \text{ Pa}\end{aligned}$$

$$p_s = 0,02642 \text{ bar} = 2642 \text{ Pa} \quad | \text{ aus Tabelle Willi Bohl}$$

$$\rho_f = \rho_{it} \cdot \left(1 - 0,377 \cdot \psi_A \cdot \frac{p_s}{p} \right)$$

$$\rho_f = 1,168 \text{ Kg/m}^3 \left(1 - 0,377 \cdot \frac{41,5}{100} \cdot \frac{2642 \text{ Pa}}{99021 \text{ Pa}} \right)$$

$$\rho_f = \underline{\underline{1,163 \text{ Kg/m}^3}}$$

5) Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{dyn}}{\rho_f}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 295 \text{ Pa}}{1,163 \text{ Kg/m}^3}}$$

$$= \underline{\underline{22,52 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

Auswertung für den Messpunkt $y_7 = 5 \text{ mm}$
der Messebene 7

1. dynamischer Staudruck

$$\begin{aligned} p_{\text{dyn}} &= \text{Neigung} \cdot p^*_{\text{dyn}} \\ &= \frac{1}{2} \cdot 720 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 360 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \underline{\underline{360 \text{ Pa}}} \end{aligned}$$

2. statischer Staudruck

$$\begin{aligned} p_{\text{stat}} &= \rho_{\text{Lu}} \cdot g \cdot h \\ &= 0,8 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,112 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \underline{\underline{-879 \text{ Pa}}} \end{aligned}$$

3. Dichte der trockenen Luft

$$\begin{aligned} \rho_{\text{er}} &= \frac{p_A - p_{\text{stat}}}{R \cdot T} \\ &= \frac{99900 \text{ N/m}^2 - 879 \text{ N/m}^2}{287,2 \frac{\text{Nm}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 295,15 \text{ K}} = \underline{\underline{1,168 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} \end{aligned}$$

4. Dichte der Luft im Meßquerschnitt

$$\rho_{\text{F}} = \rho_{\text{er}} \cdot \left(1 - 0,377 \frac{F_u}{100\%} \cdot \frac{p_s}{p} \right)$$

$$\begin{aligned} p &= p_A - p_{\text{stat}} \\ &= 99900 \text{ Pa} - 879 \text{ Pa} = \underline{\underline{99021 \text{ Pa}}} \end{aligned}$$

$$p_s = 0,02642 \cdot 10^{15} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \underline{\underline{2642 \text{ Pa}}}$$

Quelle: Willi Bohl ; Technische Strömungslehre

Auflage 10 ; Vogel-Verlag

→ S. 274 Tafel 5 $t = 220 \text{ C}$; $p_d = 0,02642 \text{ bar}$

$$\rho_F = 1,167 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left(1 - 0,377 \cdot \frac{41,5}{100} \cdot \frac{2642}{19001} \right)$$

$$= \underline{\underline{1,1621 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

5. Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{\text{dyn}}}{\rho_F}}$$

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot 360 \text{ N/m}^2}{1,1621 \text{ kg/m}^3}}$$

$$c = \underline{\underline{24,879 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

Berechnung Messebene 7 Pkt. 10

1). dynamischer Staudruck

$$\rho_{p \text{ dyn}} = \rho_{p^* \text{ dyn}} \cdot \text{Neigung}$$

$$= 850 \text{ Pa} \cdot \frac{1}{2} = \underline{\underline{425 \text{ Pa}}}$$

2). statischer Unterdruck im Messquerschnitt

$$p_{\text{stat}} = \rho \cdot g \cdot h$$

$$= 0,9 \text{ kg/m}^3 \cdot 10^3 \cdot 3,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,112 \text{ m}$$

$$= \underline{\underline{-879 \text{ Pa}}}$$

3). Dichte der trockenen Luft

$$\rho_{\text{tr}} = \frac{p_A \pm p_{\text{pstat}}}{R \cdot T}$$

$$= \frac{99900 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} - 879 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{287,2 \frac{\text{Nm}}{\text{kgK}} \cdot 295,15 \text{ K}}$$

$$= \underline{\underline{1,168 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

Techn. dat.

$$R = 287,2 \frac{\text{Nm}}{\text{kgK}}$$

$$p_A = 99900 \text{ Pa}$$

$$T = 295,15 \text{ K}$$

4) Dichte der im Meßquerschnitt befindliche Luft

$$p = p_A \pm p_{\text{stat}} = 99900 \text{ Pa} - 879 \text{ Pa} = \underline{\underline{99021 \text{ Pa}}}$$

p_s : aus Tabelle "Willi Bohl"

$$p_s = 0,02642 \text{ bar} \cdot 10^5 = \underline{\underline{2642 \text{ Pa}}}$$

Berechnung der Ebene 7, Messstelle $\gamma_7 = 15 \text{ mm}$

1. Dynamischer Staudruck

$$\Delta p_{\text{dyn}} = \Delta p_{\text{dyn}}^* \cdot \text{Neigung} = 935 \text{ Pa} \cdot \frac{1}{2} = \underline{\underline{467,5 \text{ Pa}}}$$

2. Statischer Unterdruck im Meßquerschnitt

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{stat}} &= \rho_{\text{AL}} \cdot g \cdot \Delta h = 0,8 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (-0,112 \text{ m}) \cdot 10^3 \\ &= \underline{\underline{-879 \text{ Pa}}} \end{aligned}$$

3. Dichte der trockenen Luft

$$\rho_{\text{tr}} = \frac{p_A + \Delta p_{\text{stat}}}{R \cdot T} = \frac{999 \cdot 10^2 \text{ Pa} - 879 \text{ Pa}}{287,2 \frac{\text{Nm}}{\text{kg K}} \cdot 295,15 \text{ K}} = \underline{\underline{1,168 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

4. Dichte der Luft im Meßquerschnitt

$$\rho_f = \rho_{\text{tr}} \cdot \left(1 - 0,377 \cdot \varphi_A \frac{p_s}{p}\right)$$

$$p_s = 0,02642 \text{ bar} \rightarrow (\text{Tabelle 5 Willi Bohle})$$

$$\begin{aligned} \rho_f &= 1,168 \cdot \left(1 - 0,377 \cdot 41,5\% \cdot \frac{1}{100\%} \cdot \frac{0,02642 \cdot 10^5}{(999 \cdot 10^2 - 879)}\right) \\ &= \underline{\underline{1,1631 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} \end{aligned}$$

5. Strömungsgeschwindigkeit

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{\text{dyn}}}{\rho_f}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 467,5}{1,163}} = \underline{\underline{28,35 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

Berechnung Ebene 7, Messstelle $y_z = 30 \text{ mm}$

1. dynamischer Staudruck

$$\underline{\Delta p_{\text{dyn}}} = \Delta p_{\text{dyn}}^* \cdot \text{Neigung} = 1140 \text{ Pa} \cdot \frac{1}{2} = \underline{\underline{570 \text{ Pa}}}$$

2. statischer Unterdruck im Meßquerschnitt:

$$\begin{aligned} \underline{\Delta p_{\text{stat}}} &= \Delta p_{\text{stat}}^* \cdot S_{\text{AL}} \cdot g \\ &= -0,112 \text{ m} \cdot 0,8 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ &= \underline{\underline{-879 \text{ Pa}}} \end{aligned}$$

3. Dichte der trockenen Luft:

$$T = 273,15 \text{ K} + 22 \text{ K} = 295,15 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} \underline{\underline{S_{\text{tr}}}} &= \frac{p_{\text{A}} \pm \Delta p_{\text{stat}}}{R \cdot T} \\ &= \frac{(999 \cdot 10^2 + (-879)) \text{ N} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}}{\text{m}^2 \cdot 287,2 \text{ Nm} \cdot 295,15 \text{ K}} \\ &= \underline{\underline{1,168 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} \end{aligned}$$

4. Dichte der Luft im Messquerschnitt:

$$p = p_{\text{A}} + \Delta p_{\text{stat}} = (999 \cdot 10^2 + (-879)) \text{ Pa}$$

$$\underline{\underline{p = 99021 \text{ Pa}}}$$

$$p_{\text{s}} = 0,02642 \text{ bar} = 2642 \text{ Pa}$$

(lt. Cerbe / Hoffmann: Einführung in die Thermodynamik S. 274 TB 5)

$$s_t = s_H \left(1 - 0,377 \cdot p_a \cdot \frac{p_a}{p} \right) \quad p_a = \frac{p_a}{100\%}$$

$$s_t = 1,168 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left(1 - 0,377 \cdot \frac{41,5\%}{100\%} \cdot \frac{2642 \text{ Pa}}{99021 \text{ Pa}} \right)$$

$$\underline{\underline{s_t = 1,163 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

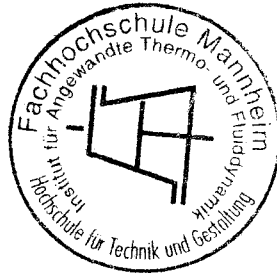
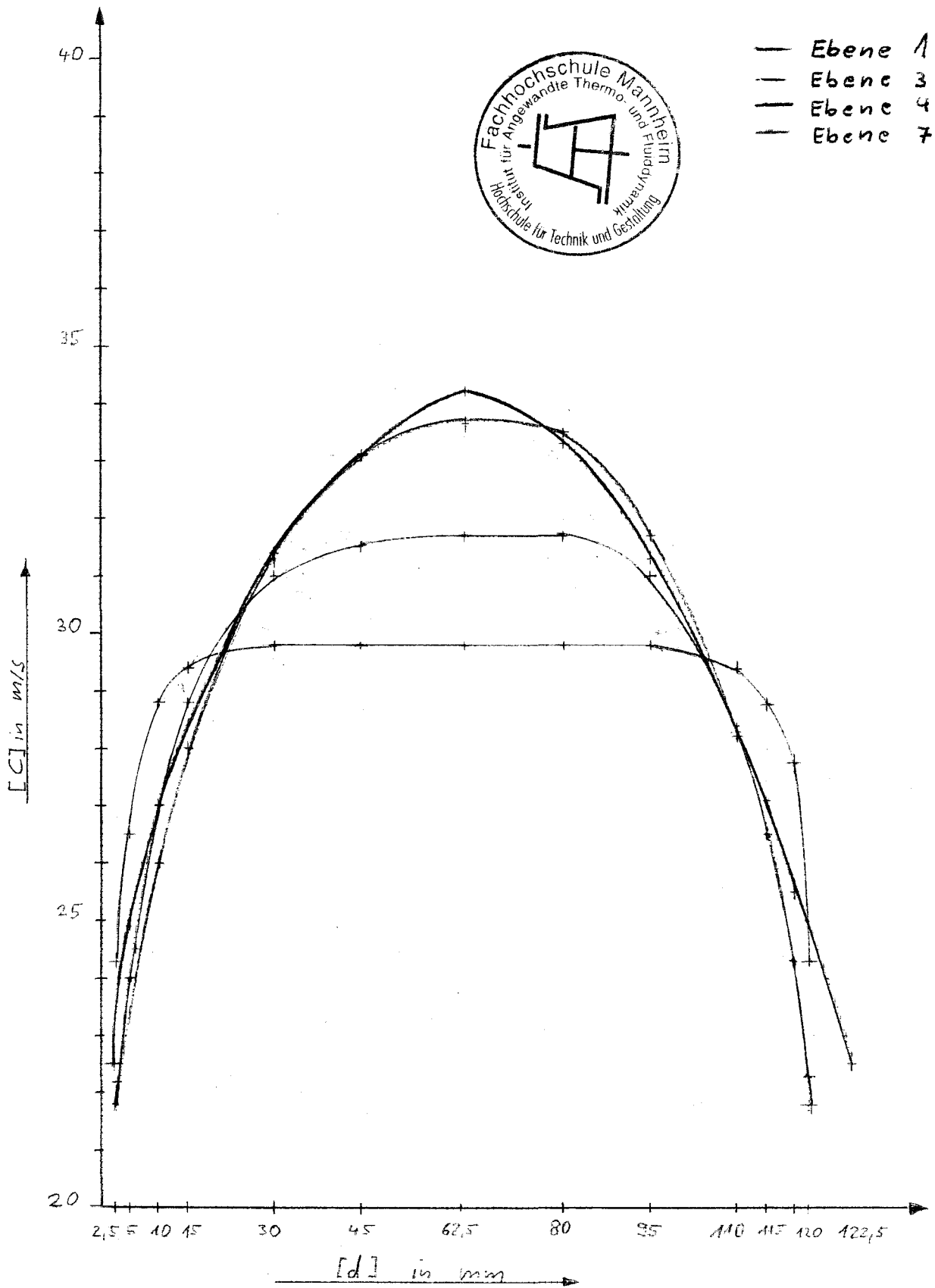
5. Strömungsgeschwindigkeit:

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{\text{dyn}}}{s_t}}$$

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot 570 \text{ kg} \cdot \text{m}^3}{1,163 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2}}$$

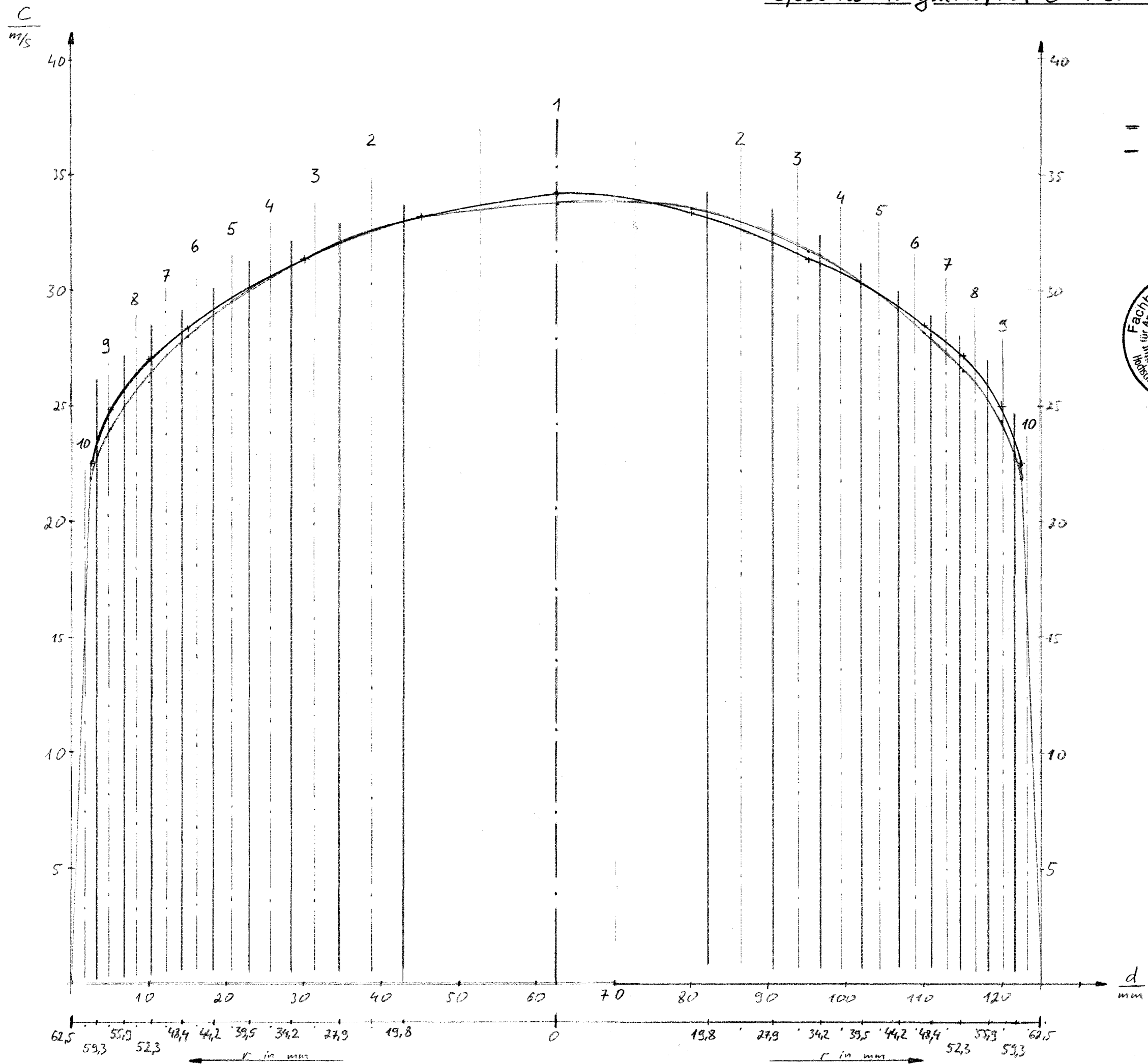
$$\underline{\underline{c = 31,31 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

Geschwindigkeitsprofilentwicklung
nach der Einlaufdüse



- Ebene 1
- Ebene 3
- Ebene 4
- Ebene 7

Geschwindigkeitsprofil Ebene 4 und 7



Berechnung der volumetrisch gemittelten Rohrgeschwindigkeit

- Ermittlung der Kreisringdurchmesser

$$d = \sqrt{D^2 - \frac{4A}{10\pi}}$$

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} = \frac{125^2 \cdot \pi}{4} = 12271,85 \text{ mm}^2$$

$\frac{D}{\text{mm}}$	$\frac{d}{\text{mm}}$	$\frac{r}{\text{mm}}$
125	118,59	59,3
118,59	111,8	55,9
111,8	104,58	52,3
104,58	96,82	48,4
96,82	88,39	44,2
88,39	79,06	39,5
79,06	68,46	34,2
68,46	55,9	27,9
55,9	39,53	19,8
39,53	0	0

- Ermittlung der gemittelten Rohrgeschwindigkeit c_m

$$c_m = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \cdot \Delta A_i}{A}$$

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} = \frac{125^2 \cdot \pi}{4} = 12271,85 \text{ mm}^2 ; \quad A_i = \frac{A}{10} = 1227,185 \text{ mm}^2$$

$$c_i = \frac{c_{i,L} + c_{i,R}}{2}$$

$c_{i,L}$; $c_{i,R}$ - im Diagramm abgelesene Geschwindigkeiten

Tabelle für Ebene 4

	$C_{i,L}$ in $\frac{m}{s}$	$C_{i,R}$ in $\frac{m}{s}$	C_i in $\frac{m}{s}$	$C_i \times A_i$
1	33,65	33,65	33,65	41296,507
2	33	32,7	32,85	40292,574
3	32	31,6	31,8	39065,389
4	31	30,5	30,75	37735,939
5	29,8	29,5	29,65	36406,488
6	28,5	28,3	28,4	34872,507
7	27,25	27,15	27,2	33389,658
8	26	25,6	25,8	31702,279
9	24	23,8	23,9	29350,175
10	16	15,8	15,9	19532,695

$$C_m = \frac{\sum_{i=1}^{10} C_i \cdot \Delta A_i}{A} = \underline{\underline{28,0026 \frac{m}{s}}} \quad \checkmark$$

 Wert mit Diagramm vergleichen

Tabelle für Ebene 7

	$C_{i,L}$ in $\frac{m}{s}$	$C_{i,R}$ in $\frac{m}{s}$	C_i in $\frac{m}{s}$	$C_i \times A_i$
1	34,2	34,2	34,2	41960,42
2	32,5	32,6	32,55	39985,78
3	31,6	31,6	31,6	38860,86
4	30,6	30,8	30,7	37684,81
5	29,6	29,8	29,7	36508,75
6	28,6	28,8	28,7	35281,57
7	27,6	27,8	27,7	34054,38
8	26,3	26,6	26,45	32520,4
9	24,6	24,8	24,7	30321,7
10	15,8	16	15,9	19532,69

$$C_m = \frac{\sum_{i=1}^{10} C_i \cdot \Delta A_i}{A} = \underline{\underline{28,2526 \frac{m}{s}}}$$

Der Corioliskoeffizient α

	<u>Messstrecke Y4</u>		<u>Messstrecke Y7</u>	
	C_{i4} in $\frac{m}{s}$	$C_{i4}^3 \cdot \Delta A_i$ in $\frac{m^3 \cdot mm^2}{s^3}$	C_{i7} in $\frac{m}{s}$	$C_{i7} \cdot \Delta A_i$ in $\frac{m^3 \cdot mm^2}{s^3}$
1	33,650	$4,68 \cdot 10^7$	34,200	$4,91 \cdot 10^7$
2	32,950	$4,35 \cdot 10^7$	32,550	$4,23 \cdot 10^7$
3	31,800	$3,95 \cdot 10^7$	31,600	$3,97 \cdot 10^7$
4	30,750	$3,57 \cdot 10^7$	30,700	$3,55 \cdot 10^7$
5	29,650	$3,20 \cdot 10^7$	29,700	$3,21 \cdot 10^7$
6	28,400	$2,81 \cdot 10^7$	28,700	$2,90 \cdot 10^7$
7	27,200	$2,47 \cdot 10^7$	27,700	$2,61 \cdot 10^7$
8	25,900	$2,11 \cdot 10^7$	26,700	$2,34 \cdot 10^7$
9	23,900	$1,69 \cdot 10^7$	24,700	$1,95 \cdot 10^7$
10	15,900	$4,93 \cdot 10^6$	15,900	$4,93 \cdot 10^6$
Σ	—	<u>$29,293 \cdot 10^7$</u>	—	<u>$29,963 \cdot 10^7$</u>

$$\text{Allg.} : \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n C_{i3}^3 \cdot \Delta A_i}{C_m^3 \cdot A}$$

Messstrecke Y4:

$$C_{m4}^3 \cdot A = 26,946 \cdot 10^7 \frac{m^3 \cdot mm^2}{s^3}$$

$$\alpha_4 = \frac{29,293 \cdot 10^7}{26,946 \cdot 10^7}$$

$$\alpha_4 = \underline{\underline{1,0867}}$$

Messstrecke Y7:

$$C_{m7}^3 \cdot A = 27,674 \cdot 10^7 \frac{m^3 \cdot mm^2}{s^3}$$

$$\alpha_7 = \frac{29,963 \cdot 10^7}{27,674 \cdot 10^7}$$

$$\alpha_7 = \underline{\underline{1,0827}}$$

α -Werte sind er. hoch. Man vergleicht
 mit den Literaturwerten in Bild 2.
 Die C_m -Werte sind ev. zu gering!

Bestimmung des Profilexponenten n in Ebene 7

- Rechnung für Meßstelle 1 in folgender Tabelle

$$\frac{c}{c_{\max}} = \frac{22,521}{34,192} = 0,6587$$

$$\frac{y}{R} = \frac{2,5}{62,5} = 0,04$$

Die errechneten Werte sind in folgender Tabelle zu finden:

c in $\frac{m}{s}$	$\frac{c}{c_{\max}}$	y in mm	$\frac{y}{R}$
22,521	0,6587	2,5	0,04
24,879	0,7276	5	0,08
27,031	0,7906	10	0,16
28,351	0,8292	15	0,24
31,305	0,9156	30	0,48
33,171	0,9701	45	0,72
34,192	1	62,5	1,0
33,365	0,9758	45	0,72
31,305	0,9156	30	0,48
28,426	0,8314	15	0,24
27,111	0,7929	10	0,16
25,051	0,7327	5	0,08
22,521	0,6587	2,5	0,04

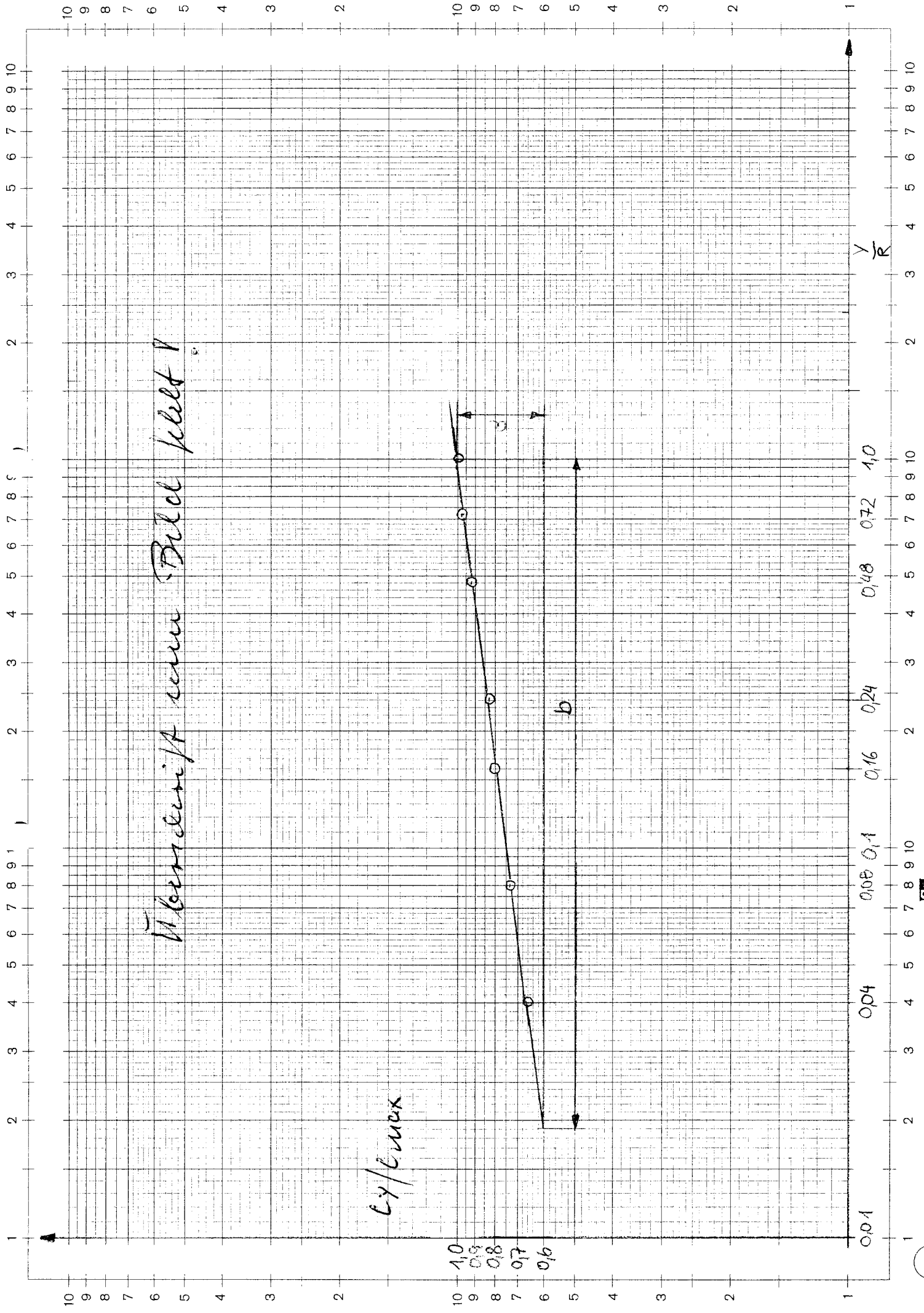
Trägt man die ermittelten Werte $\frac{c}{c_{max}}$ über $\frac{y}{R}$ in ein Diagramm logarithmisch auf, läßt sich der Profilexponent n daraus bestimmen.

n entspricht der Steigung der entstehenden Gerade:

$$n_y = \frac{b}{a} = \frac{\Delta \frac{c}{c_{max}}}{\Delta \frac{y}{R}}$$

$$\underline{\underline{n_y}} = \frac{143,5}{18,5} = \underline{\underline{7,757}}$$

$n_y = 7,757$ ist der Wert aus dem Diagramm für die Meßebeene 7.



Bewertung der Geschwindigkeitsprofile in den Messebenen 1 und 7.

1.) Berechnung der Reynoldszahl:

$$Re = \frac{c_m \cdot D}{\gamma}$$

$$\gamma \cdot p_A = 1,5 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad \text{aus Dilli Bohl (Anlage 1) Tafel 8}$$

$$\Rightarrow \gamma = \frac{1,5 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{99900 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = \underline{1,5015 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$Re = \frac{28,2526 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,125 \text{m}}{1,5015 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = \underline{\underline{235203}}$$

Im Diagramm Linie für $Re = 100000$ gewählt (für Messebene 7). Für Messebene 1 wurde die gleiche Linie gewählt, weil sich der Unterschied der mittleren Geschwindigkeit Δc_m in der Rechnung nicht bemerkbar macht.

2.) Beispielrechnung der relativen Abweichung ΔA :

$$\left(\frac{c(r)}{c_{\max}} \right)_{\text{ist}} = \frac{33,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{34,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \underline{0,985}$$

$$\left(\frac{c(r)}{c_{\max}} \right)_{\text{soll}} \text{ aus Diagramm entnommen} = 0,99$$

$$\Delta A = \frac{(c(r)/c_{\max})_{\text{ist}} - (c(r)/c_{\max})_{\text{soll}}}{(c(r)/c_{\max})_{\text{soll}}} \cdot 100$$

$$\Delta A = \frac{0,985 - 0,99}{0,99} \cdot 100$$

$$\Delta A = \underline{\underline{-0,505\%}}$$

Ebene 7:

r	r/R	$(C(r)/C_{max})_{ist}$	$(C(r)/C_{max})_{soll}$	$\Delta A \text{ in } \%$
0	0	1	1	0
12,5	0,2	0,985	0,99	-0,505
25	0,4	0,947	0,96	-1,354
37,5	0,6	0,892	0,91	-1,978
50	0,8	0,804	0,83	-2,158
56,25	0,9	0,734	0,76	-3,421

Ebene 1:

r	r/R	$(C(r)/C_{max})_{ist}$	$(C(r)/C_{max})_{soll}$	$\Delta A \text{ in } \%$
0	0	1	1	0
12,5	0,2	1	0,99	1,01
25	0,4	1	0,96	4,167
37,5	0,6	0,997	0,91	9,56
50	0,8	0,978	0,83	17,83
56,25	0,9	0,942	0,76	24,073

Vergleiche sollte gemacht werden für
 $r/R = 0; 0,30; 0,60; 0,80; 0,90$ und $0,95!$

Diskussion und Literaturvergleich

Im vorliegenden Versuch konnte die Veränderung des Geschwindigkeitsprofils strömender Luft über dem Verlauf des durchströmten Rohres veranschaulicht werden. Dazu wurden vier Messebenen im Abstand des 2,5-fachen, des 10-fachen, des 20-fachen und des 50-fachen Rohrdurchmessers von der Mündung des Rohres ausgewertet.

Qualitativ lässt sich zunächst feststellen, dass die Messebene, die dem Rohreinlauf am nächsten lag (2,5D), die größte Unsymmetrie des Profils aufwies. Dies ist darauf zurückzuführen, dass durch die räumlichen Gegebenheiten keine gleichmäßige Luftanströmung zu Stande kam, obwohl extra zu diesem Zweck eine Beruhigungskammer vorgeschaltet war. Diese Unsymmetrie verringerte sich bei größerem Abstand zum Rohreinlauf. Weiterhin hatte das Profil am Einlauf eine stark abgeflachte Form und bildete sich mit zunehmender Messstrecke zu einer charakteristischen Parabelform aus, wobei sich die Maximalgeschwindigkeit entlang der Rohrlänge erhöhte. Ursache dafür war der größer werdende Einfluss der Reibung auf den Luftstrom.

In der Ebene 4 ergaben die Berechnungen eine mittlere Geschwindigkeit von ca. $28,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, in der Ebene 7 dagegen $28,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Die Geschwindigkeits-

Zunahme weist auf einen (geringen) Anstieg des Volumenstromes hin. Beleg dafür ist auch die gemessene Abnahme des statischen Druckes¹⁾ im Rohrverlauf. Konstanter Massenstrom (Kontinuitätsgleichung) vorausgesetzt, hatte diese eine Erhöhung des Volumenstromes zur Folge. ¹⁾ wird durch die Dicke des Leckdichtes

Die grafisch ermittelten Coriolis-Zahlen $d_1 = 1,087$ und $d_2 = 1,080$ lagen deutlich über dem für glatte Rohre maßgeblichen Literaturwert $d_{Lit} = 1,055$. Die selbst nach 50D noch vorhandene deutliche Unsymmetrie des Geschwindigkeitsprofils führte hier zu einer Erhöhung des Wertes, der ja in der Energiebilanz (Bernoulli-Gleichung) Querbewegungen der strömenden Luft ausgleichen soll.

→ C_m -Werte prüfen!

Ebenfalls grafisch wurde ein Profillexponent von $n = 7,757$ ermittelt. Er bewegte sich damit in dem Bereich ($7 < n < 8$), der für die vorliegende Reynolds-Zahl $Re \approx 200\,000$ zu erwarten war (vgl. W. Bohl: Technische Strömungslehre, Kap. 4.5.3).

Das vorliegende Geschwindigkeitsprofil erfüllte bereits nach einer Länge von 50D die Anforderungen für Volumenstrommessungen mit Hilfe von Drosselgeräten nach EN ISO 5167. Im Rohrverlauf wurden die zulässigen Abweichungen vom Sollprofil dagegen erwartungsgemäß nicht eingehalten.



Literatur: Willi Bohle: Technische Strömungslehre
Vogel Fachbuch
11. Auflage 1998