

7 Berechnung der Messreihe 2 mit n=2400 1/min

7.1 Luftdruck, Raumtemperatur, Luftfeuchtigkeit:

Luftdruck im Versuchsraum: $p_a = 999 \text{ mbar} = 99900 \text{ Pa}$

Raumtemperatur: $t_a = 23^\circ\text{C}$

Luftfeuchtigkeit: $f_R = 50\%$

7.2 Statische Drücke an den Messstellen 0, 1, und 2:

mit $\rho_{H_2O} = 997,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, bei $t_a = 23^\circ\text{C}$

$$\Delta p_0 = -0,3 \text{ mmWS} = \rho_{H_2O} \cdot h \cdot g = 997,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (-0,0003 \text{ m}) \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = -2,94 \text{ Pa}$$

$$p_0 = p_a + \Delta p_0 = 99900 \text{ Pa} - 2,94 \text{ Pa} = 99897 \text{ Pa}$$

$$p_1 = p_a + \Delta p_1 = 99900 \text{ Pa} - 0,03 \cdot 10^{-3} \cdot 10^5 \text{ Pa} = 99897 \text{ Pa}$$

$$p_2 = p_a + \Delta p_2 = 99900 \text{ Pa} + 2 \cdot 21,8 \cdot 10^{-3} \cdot 10^5 \text{ Pa} = 104260 \text{ Pa}$$

7.3 Temperatur:

$$T_0 = t_a + 273,15 \text{ K} = 23 \text{ K} + 273,15 \text{ K} = 296,15 \text{ K}$$

$$T_1 = t_a + 273,15 \text{ K} = 23 \text{ K} + 273,15 \text{ K} = 296,15 \text{ K}$$

$$T_2 = t_2 + 273,15 = 31,5 \text{ K} + 273,15 \text{ K} = 304,65 \text{ K}$$

7.4 Gaskonstante der feuchten Luft:

$$R_F = \frac{R_L}{1 - 0,377 \cdot f_r \cdot \frac{\rho_s}{\rho_a}} = \frac{287,2 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}}{1 - 0,377 \cdot 0,50 \cdot \frac{2828 \text{ Pa}}{99900 \text{ Pa}}} = 288,74 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

7.5 Dichte der Luft an den Messstellen 0, 1 und 2:

$$\rho_0 = \frac{p_0}{R_F \cdot T_0} = \frac{99897 \text{ Pa}}{288,74 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 296,15 \text{ K}} = 1,168 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_1 = \frac{p_1}{R_F \cdot T_1} = \frac{99897 \text{ Pa}}{288,74 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 296,15 \text{ K}} = 1,168 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_2 = \frac{p_2}{R_F \cdot T_2} = \frac{104260 \text{ Pa}}{288,74 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 304,65 \text{ K}} = 1,185 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

7.6 Mittlere Luftdichte:

$$\rho_m = \frac{(\rho_1 + \rho_2)}{2} = \frac{(1,168 + 1,185)}{2} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1,177 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

7.7 Volumenstrom bestimmt mittels Einlaufdüse:

$$\dot{V}_0 = \alpha_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |\Delta p_0|}{\rho_0}} = 0,99 \cdot 1,000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,2^2 \text{ m}^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |-3 \text{ Pa}|}{1,168 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 0,07 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

7.7.1 Expansionszahl ε an der Einlaufdüse (für $\Delta p_0 \leq 2000 \text{ Pa}$):

$$\varepsilon_0 \approx 1 - 0,55 \cdot \frac{\Delta p_0}{p_a} = 1 - 0,55 \cdot \frac{-3 \text{ Pa}}{99900 \text{ Pa}} = 1,000$$

7.7.2 Durchflusszahl α_0 für die Einlaufdüse:

$$\alpha_0 = 0,99$$

7.7.3 Massenstrom:

$$\dot{m} = \dot{V}_0 \cdot \rho_0 = 0,07 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,168 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,081 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

7.8 Volumenstrom an der Messstelle 1:

$$\dot{V}_1 = \frac{\rho_0}{\rho_1} \cdot \dot{V}_0 = \frac{1,168 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1,168 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot 0,07 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,07 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

7.9 Volumenstrom an der Messstelle 2:

$$\dot{V}_2 = \frac{\rho_0}{\rho_2} \cdot \dot{V}_0 = \frac{1,168 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1,185 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot 0,07 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,069 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

7.10 Mittlere Geschwindigkeit der Luft an der Messstelle 1:

$$c_1 = \frac{\dot{V}_1}{A_1} = \frac{0,07 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\frac{0,2^2 \text{ m}^2 \cdot \pi}{4}} = 2,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

7.11 Mittlere Geschwindigkeit der Luft an der Messstelle 2:

$$c_2 = \frac{\dot{V}_2}{A_2} = \frac{0,069 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,126 \text{ m} \cdot 0,24 \text{ m}} = 2,27 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

7.12 Antriebsleistung:**7.12.1 Mechanische Antriebsleistung des Laufrades:**

$$P_L = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n = 4,41 \text{ N} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{2400}{60 \text{ s}} = 1109 \text{ W}$$

7.12.2 Drehmoment des Motors:

$$a = 0,500 \text{ m}$$

$$M = F \cdot a = 0,9 \cdot 9,80665 \text{ N} \cdot 0,500 = 4,41 \text{ Nm}$$

7.13 Totaldruckerhöhung des Ventilators:

$$\begin{aligned} \Delta p_t &= p_2 - p_1 + (c_2^2 - c_1^2) \cdot \frac{\rho_m}{2} + \Delta p_V^{A-2} + \Delta p_V^{1-E} \\ &= 104260 \text{ Pa} - 99897 \text{ Pa} + (2,27^2 - 2,22^2) \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \frac{1,177 \text{ kg}}{2 \text{ m}^3} + 0,23 \text{ Pa} + 3,4 \text{ Pa} = 4366 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$\xi_{R1} = 2,3 \cdot (0,005 + 0,42 \cdot \text{Re}_1^{-0,3}) = 2,3 \cdot (0,005 + 0,42 \cdot 28590^{-0,3}) = 0,056$$

$$\xi_{Gl} = 0,95 \cdot \text{Re}_1^{-0,12} = 0,95 \cdot 28590^{-0,12} = 0,277$$

$$\xi_K = 1,0632 \cdot 0,4518 \frac{\text{Re}_1}{10^5} = 1,0632 \cdot 0,4518 \frac{28590}{100000} = 0,848$$

$$\xi_1 = \xi_{R1} + \xi_{Gl} + \xi_K = 0,056 + 0,277 + 0,848 = 1,181$$

$$\Delta p_V^{1-E} = \xi_1 \cdot \frac{\rho_1}{2} \cdot c_1^2 = 1,181 \cdot \frac{1,168 \text{ kg}}{2 \text{ m}^3} \cdot 2,22^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 3,4 \text{ Pa}$$

$$\xi_2 = 3 \cdot (0,005 + 0,42 \cdot \text{Re}_2^{-0,3}) = 3 \cdot (0,005 + 0,42 \cdot 23990^{-0,3}) = 0,0759$$

$$\Delta p_V^{A-2} = \xi_2 \cdot \frac{\rho_2}{2} \cdot c_2^2 = 0,0759 \cdot \frac{1,185 \text{ kg}}{2 \text{ m}^3} \cdot 2,27^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 0,23 \text{ Pa}$$

7.13.1 Reynoldszahl an der Messstelle 1:

$$\text{Re}_1 = \frac{c_1 \cdot D}{v_1} = \frac{2,23 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,2 \text{ m}}{1,56 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 28590$$

7.13.2 Reynoldszahl an der Messstelle 2:

$$D_h = \frac{2 \cdot b \cdot h}{(b + h)} = \frac{2 \cdot 0,126 \text{ m} \cdot 0,24 \text{ m}}{(0,126 \text{ m} + 0,24 \text{ m})} = 0,1652 \text{ m}$$

$$\text{Re}_2 = \frac{c_2 \cdot D_h}{v_2} = \frac{2,28 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,1652 \text{ m}}{1,57 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 23990$$

7.13.3 Dynamische Viskosität

$$\eta_1 = (17,1 + 0,048 \cdot t_1) \cdot 10^{-6} = (17,1 + 0,048 \cdot 23) \cdot 10^{-6} = 1,82 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$v_1 = \frac{\eta_1}{\rho_1} = \frac{1,82 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}}{1,168 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1,56 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\eta_2 = (17,1 + 0,048 \cdot t_2) \cdot 10^{-6} = (17,1 + 0,048 \cdot 31,5) \cdot 10^{-6} = 1,86 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$v_2 = \frac{\eta_2}{\rho_2} = \frac{1,86 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}}{1,185 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1,57 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

7.13.4 Dynamischer Druck an der Messstelle 1:

$$p_{d1} = \frac{\rho_1}{2} \cdot c_1^2 = \frac{1,168 \text{ kg}}{2 \text{ m}^3} \cdot 2,22^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 2,9 \text{ Pa}$$

7.13.5 Dynamischer Druck an der Messstelle 2:

$$p_{d2} = \frac{\rho_2}{2} \cdot c_2^2 = \frac{1,185 \text{ kg}}{2 \text{ m}^3} \cdot 2,27^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 3,1 \text{ Pa}$$

7.14 spezifische Förderarbeit:

7.14.1 spez. totale Förderarbeit des Ventilators:

$$Y_t = \frac{\Delta p_t}{\rho_m} = \frac{4366 \text{ Pa}}{1,177 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 3709 \frac{\text{Nm}}{\text{kg}}$$

7.15 Förderleistung:

7.15.1 Totale Förderleistung:

$$P_t = \dot{m} \cdot Y_t = 0,081 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 3709 \frac{\text{Nm}}{\text{kg}} = 300 \text{ W}$$

7.16 Wirkungsgrad des Ventilators:

$$\eta_{tL} = \frac{P_t}{P_L} = \frac{300 \text{ W}}{1109 \text{ W}} = 0,27$$

7.17 Diskussion des Versuchs

Radialventilatoren sind Strömungsmaschinen, die Dämpfe bzw. Luft befördern.

Durch Umlenkung des Fluids an der Beschaufelung wird mechanische Energie in kinetische bzw. Druckenergie umgewandelt.

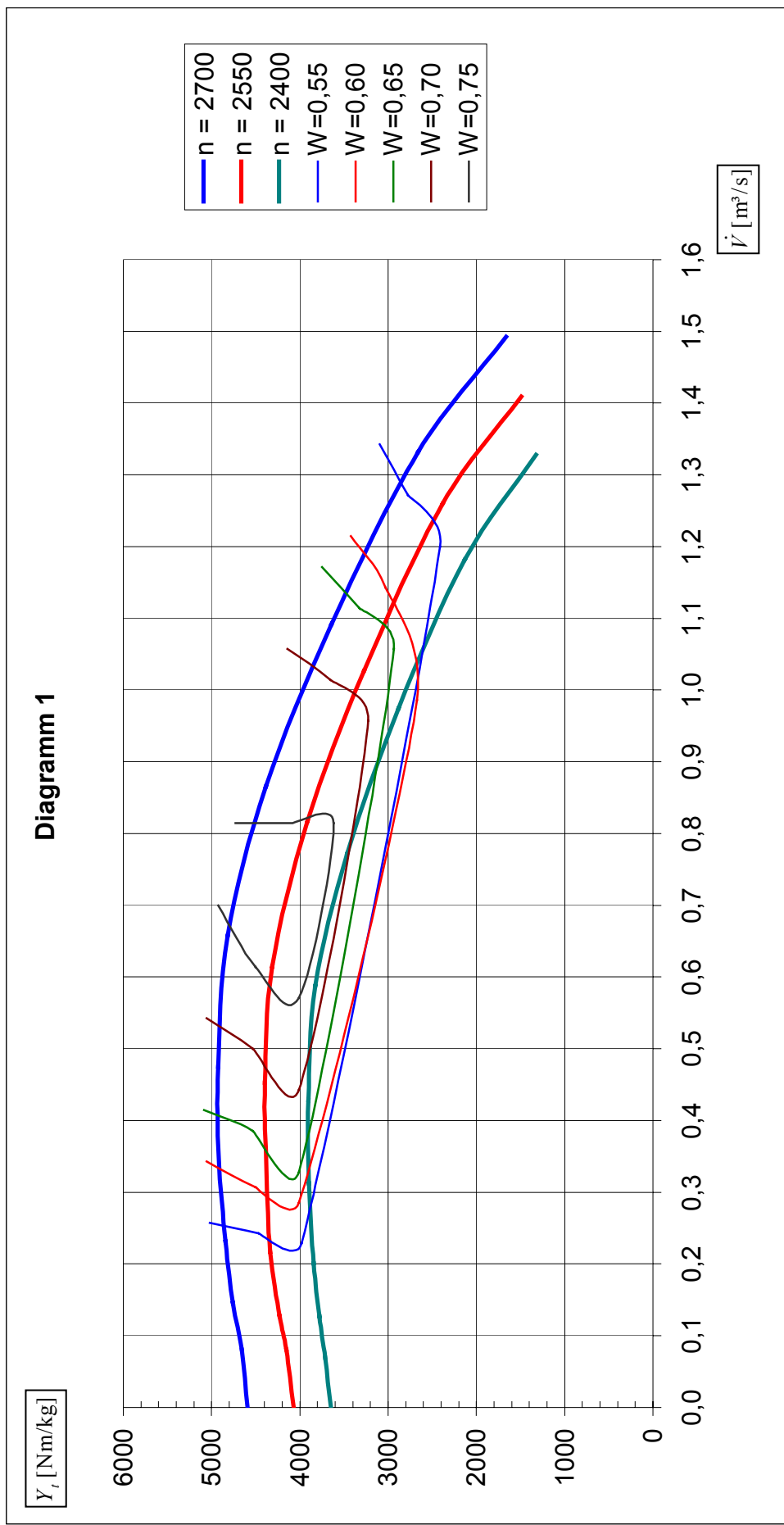
Dabei werden große Volumenströme bei kleinen Druckänderungen (unter 0,3 bar) erreicht.

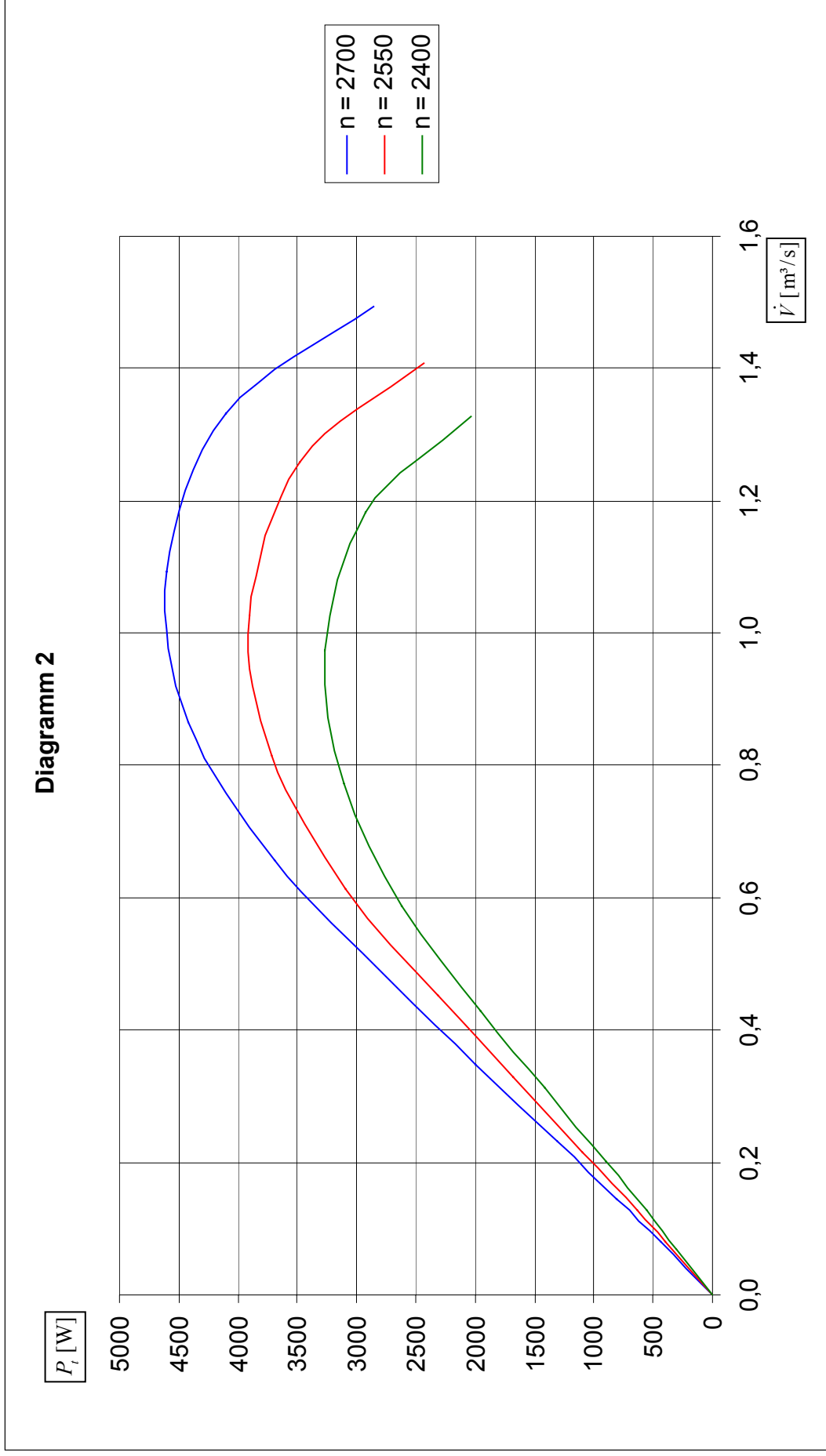
Der untersuchte Radialventilator besitzt den größten Wirkungsgrad bei einem Volumenstrom von $0,65 \text{ m}^3/\text{s}$, während die maximale Förderleistung des Ventilators bei einem Volumenstrom von ca. $1,05 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht wird.

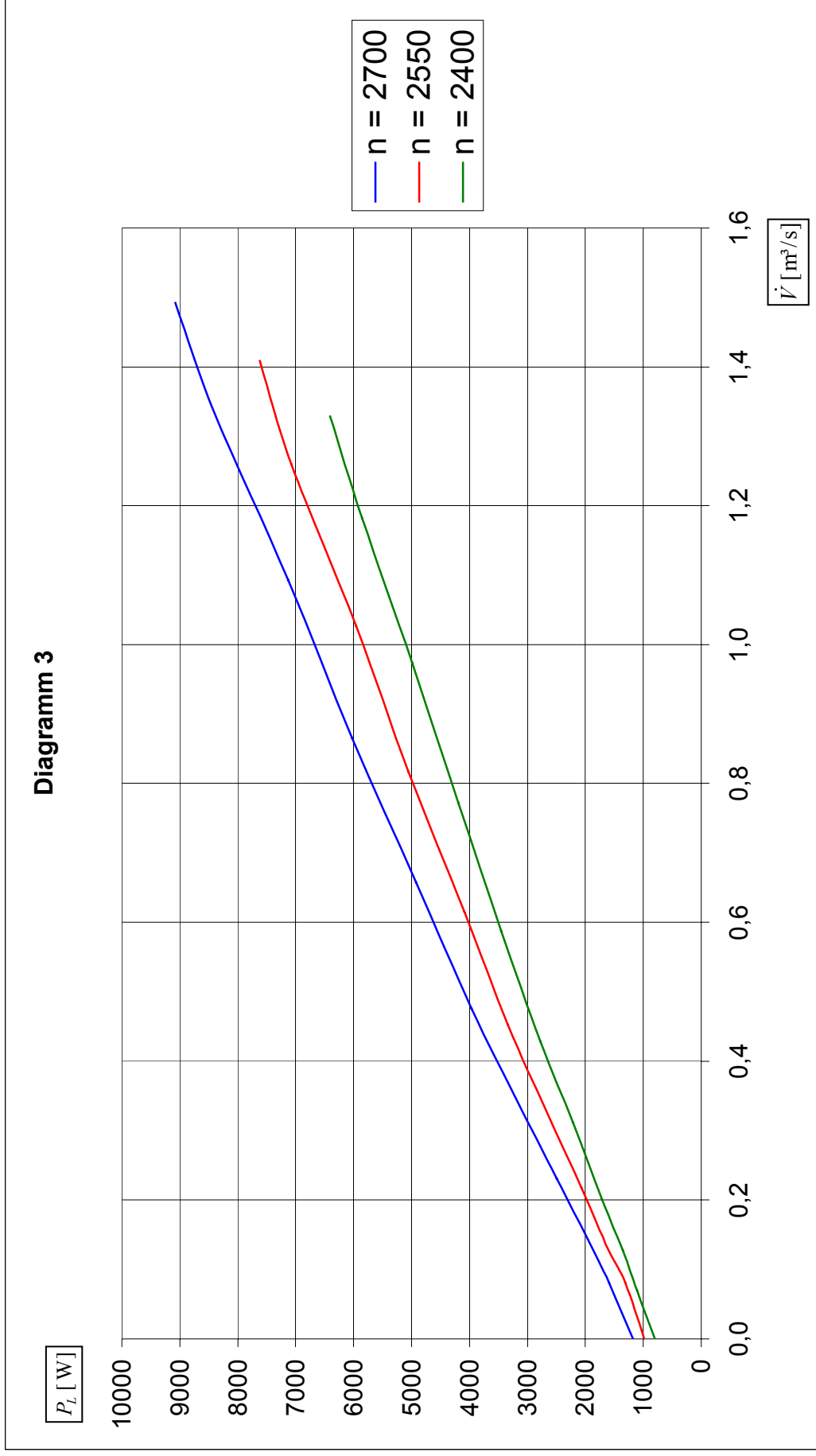
Die Differenzdrücke Δp_o und Δp_1 wurden bei geschlossener Klappe in der Auswertung

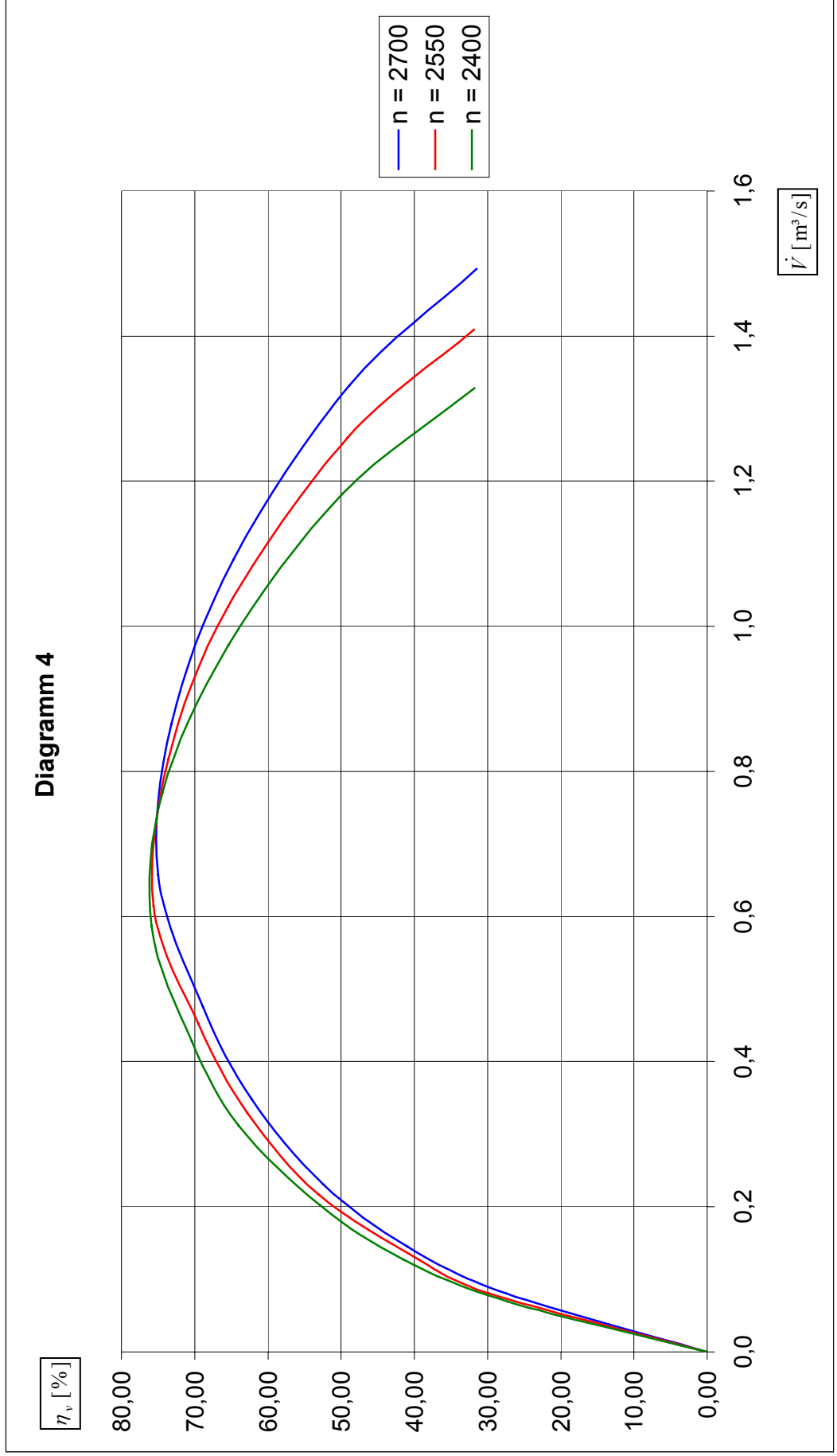
$0 < \Delta p_o, \Delta p_1 \ll 0,1$ gesetzt, da die Widerstandswerte sonst gegen unendlich gehen und somit

keine vernünftigen Ergebnisse für die Totaldruckerhöhung des Ventilators Δp_t und der spezifischen Förderarbeit Y_t möglich wären.









- /1/ Willi Bohl: Strömungsmaschinen 1**
5. Auflage, Vogel- Verlag 1990
- /2/ Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau**
19. Auflage, Springer- Verlag 1997