Gebläsekennlinie

Labor für Thermische Verfahrenstechnik
Prof. Dr.-Ing. C. Schönfelder

BEUTH HOCHSCHULE FÜR TECHNIK BERLIN
University of Applied Sciences

1. Grundlagen

Gebläse, Lüfter oder Ventilatoren sind vielseitig eingesetzte Arbeitsmaschinen, die der Förderung von Luft, Abluft oder anderen Gasen bei niedrigen Drücken dienen. Beispiele sind die Absaugung schadstoffhaltiger Luft aus einem Abzug oder einer Werkhalle, Be- oder Entlüftung bei Klimaanlagen, Förderung von Verbrennungsgasen (Kraftwerk, Müllverbrennung) durch Gasreinigungsanlagen. Auswahl und Auslegung von Gebläsen können wesentlich über die Funktionsfähigkeit der gesamten Anlage und über deren Effektivität (Aufwand an Elektroenergie) bestimmen. Notwendig sind deshalb Kenntnisse über die Funktionsweise als auch Kenntnisse über die zu beachtenden Randbedingungen für den Einsatz.

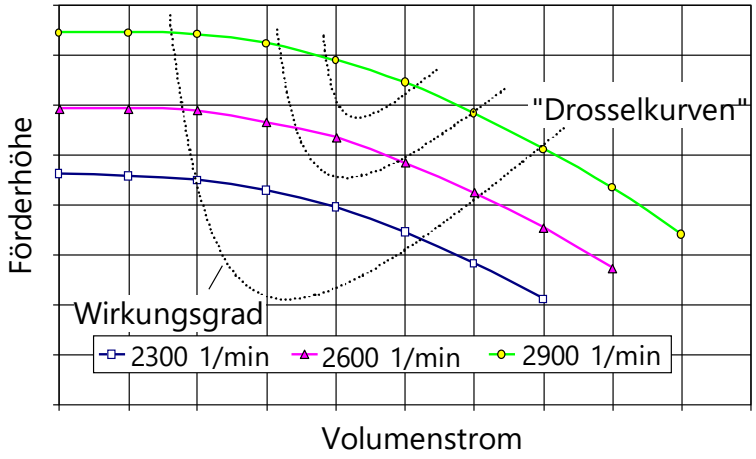

Abb. 1: Drosselkurven: Förderhöhe bzw. Druckerhöhung in Abhängigkeit vom Volumenstrom

Zur Vorbereitung des Versuches sollten Sie die folgenden Fragestellungen bearbeiten: Was ist der Arbeits-/Betriebspunkt einer Anlage / eines Gebläses? Was ist der Wirkungsgrad eines Gebläses? Was ist eine Kennlinie? Wie misst man Volumenströme von Gasen oder Flüssigkeiten?

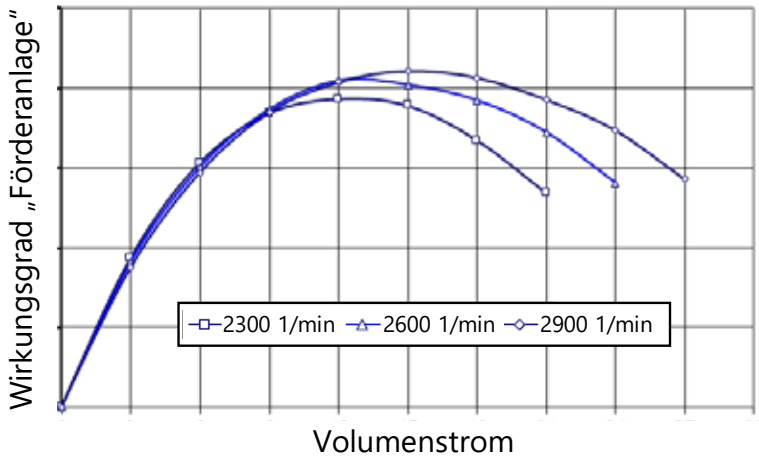

Abb. 2: Gesamtwirkungsgrad einer Pumpe bzw. eines Gebläses in Abhängigkeit von Drehzahl und Volumenstrom

Qualitative Vorstellungen vom „Aussehen" eines Kennliniendiagramms vermittelt die Abb. 1. Aufgetragen ist die Druckerhöhung - bei Pumpen spricht man häufig von der Förderhöhe - über dem geförderten Volumenstrom. Diese hier dargestellten Messdaten sind allerdings bei der Förderung von Wasser erhalten worden. Die Kurven heißen „Drosselkurven", weil bei der Messung für eine konstante Drehzahl der Volumenstrom durch eine Klappe oder eine andere Absperrarmatur gedrosselt wird.

Die Druckerhöhung durch das Gebläse kann für den vorliegenden Fall mit einer vereinfachten Gleichung berechnet werden. Bei gleichem Eintritts-/Austrittsquerschnitt sowie bei Vernachlässigung von „hydrostatischen" Druckdifferenzen und Druckverlusten in Saug- und Druckleitung bis zu den Messstellen ergibt sich:

$$\Delta p_{ges} = \Delta p_{gemessen} + \frac{\dot{m}^2}{2 \cdot A^2} \cdot \left(\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_1} \right) \tag{1}$$

Setzt man den Energiegewinn für die geförderte Luft ins Verhältnis zur zugeführten mechanischen Leistung (Wellenleistung), so erhält man den Wirkungsgrad der Pumpe. Energie geht hier verloren, weil es Reibung in Lagern und Dichtungen gibt, weil es Reibung im strömenden Medium gibt und weil bereits geförderte Luft durch den Spalt zwischen Laufrad und Gehäuse zurückströmt. Benutzt man als Bezugsbasis dagegen die aufgenommene elektrische Leistung, so erhält man den – für den Anwender sicher interessanteren – Gesamtwirkungsgrad. Dieser schließt zusätzlich die Verluste im Motor und gegebenenfalls bei der Energieübertragung vom Motor zur Pumpe ein.

$$\eta_{ges} = \frac{P_{eff}}{P_{el}} \tag{2}$$

Dabei berechnet sich die effektive, dem Gasstrom zugeführte (Nutz)-Leistung zu

$$P_{eff} = \dot{V} \cdot \Delta p_{ges} \tag{3}$$

Die zweite Grafik zeigt beispielhaft die Abhängigkeit des Gesamtwirkungsgrades vom geförderten Volumenstrom. Für die hier zu untersuchende Anlage liegen die Ergebnisse im Anfangsbereich der dargestellten Kurven.

Die durchzuführenden Versuche haben das Ziel, die oben genannten Kenntnisse über die Funktionsweise und die zu beachtenden Randbedingungen für den Einsatz von Gebläsen (und Pumpen) zu erwerben.

2. Versuchsdurchführung

Angaben zur Anlage

Die Skizze der Versuchsanlage (s. Anlage) zeigt schematisch Aufbau und Instrumentierung der für die Übung verwendeten Anlage. Ein Datenblatt mit den notwendigen Informationen zur Messblende liegt im Labor zur Einsicht bereit.

Durchmesser der Rohrleitung = 110 / 100 mm

Gebläsetyp: Radiallüfter der Ventilatorenfabrik Berlin Britz

Gebläsedaten: max. Drehzahl = 2600 U/min

max. Volumenstrom = 0,27 m^3/s

max. Druckdifferenz = 2,49 kPa

Kennlinien

Es werden drei Versuchsreihen durchgeführt – d. h. es werden Messreihen bei drei jeweils konstant zu haltenden Gebläsedrehzahlen aufgenommen. Die Gebläsedrehzahl wird über die Frequenz der Wechselspannung eingestellt, sie muss während des Versuches kontrolliert und gegebenenfalls nachgestellt werden. Für die Messreihen wird mittels Drosselklappe der Volumenstrom variiert. Zwischen minimalem und maximalem Volumenstrom (völlig zu bis völlig offen) sind 4 Messwerte beim

„Hochfahren“ und noch einmal 4 beim „Runterfahren“ des Volumenstromes aufzunehmen. Zu messen sind dabei:

- Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrmitte (thermisches Anemometer)
- Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrmitte (Prandtl-Rohr)
- Druckdifferenz Messblende (zur Berechnung des Volumenstromes)
- Druckerhöhung am Gebläse (Differenzdruck vor / hinter dem Gebläse sowie Einzelwerte für die Differenzdrücke von Druck- und Saugseite zur Atmosphäre)
- Elektrische Leistungsaufnahme
- Temperaturen

Dazu kommen zu Versuchsbeginn und zum Versuchsende die Werte Lufttemperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit.

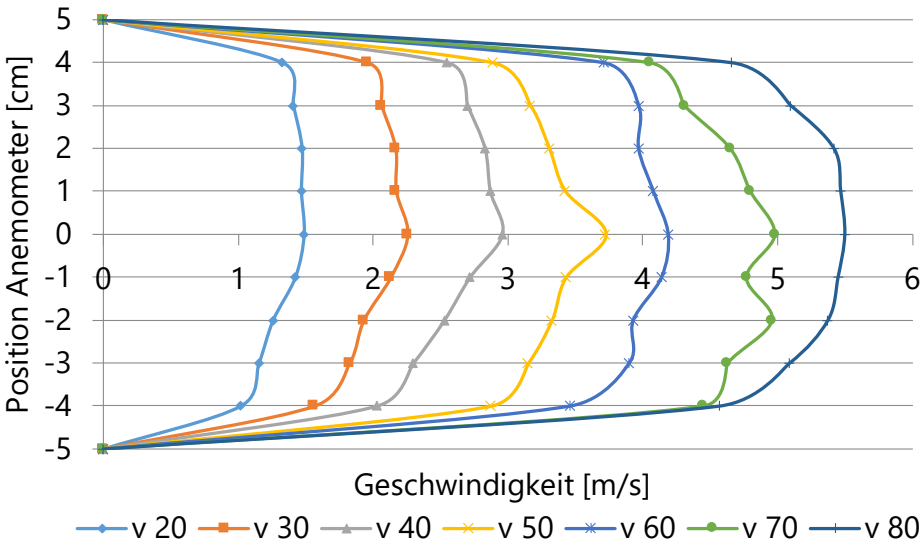

Abb. 3: Radiale Geschwindigkeitsprofile bei verschiedenen Gebläseleistungen

Aus der gemessenen Druckdifferenz der Normblende kann der Volumenstrom berechnet werden:

$$\dot{V} = A_{Rohr} \cdot m \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{2\frac{\Delta p}{\rho}} \tag{4}$$

Dabei ist α die Durchflusszahl (häufig vom Hersteller bereits angegeben), berechnet aus Druckverlustbeiwert und Öffnungsverhältnis m

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta-m^2}} \tag{5}$$

$$m = \left(\frac{d_{Blende}}{d_{Rohr}}\right)^2 \tag{6}$$

Gegebenenfalls müsste noch – bei kompressiblem Verhalten des strömenden Mediums – die Expansionszahl ε berechnet und berücksichtigt werden. Bei inkompressiblem Verhalten gilt $\varepsilon = 1$.

$$\varepsilon = f\left(\frac{p_1}{p_2}, \kappa\right) = 1-(0{,}351+0{,}256\cdot m^4+0{,}93\cdot m^8)\cdot\left(1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{1/\kappa}\right) \tag{7}$$

Geschwindigkeitsprofil

Bei voll geöffneter Drosselklappe ist für die drei Gebläseleistungen / Drehzahlen das Strömungsprofil über den Querschnitt der Rohrleitung aufzunehmen, dafür sollte vorzugsweise das thermische Anemometer verwendet werden. Eine Vorstellung vom möglichen Ergebnis vermittelt Abb. 3.

Für die Messungen kann das bereitgestellte Protokollblatt verwendet werden. Gegebenenfalls notwendige Ergänzungen sind vorzunehmen.

3. Auswertung der Messungen

Tragen Sie die gemessenen Strömungsprofile über dem Querschnitt der Rohrleitung auf. Berechnen Sie aus diesem Geschwindigkeitsprofil die mittlere Geschwindigkeit und daraus den Volumenstrom. Ermitteln Sie den Faktor k zur Berechnung des Volumenstromes, ausgehend von der in der Mitte gemessenen Strömungsgeschwindigkeit.

$$\dot{V} = \sum_i \dot{V}_i = \sum_i \left(A_i \cdot v_i \right) \tag{8}$$

$$\dot{V} = A_{Rohr} \cdot \overline{v} = k \cdot A_{Rohr} \cdot v_{max} \tag{9}$$

Entspricht das erhaltene Geschwindigkeitsprofil einer laminaren oder einer turbulenten Strömung? Berechnen Sie die Re-Zahl und vergleichen Sie!

$$Re = \frac{\overline{v} \cdot d \cdot \rho}{\eta} \tag{10}$$

Berechnen Sie für jeden Messpunkt die notwendigen Stoffdaten (Dichten), die Volumenströme aus den Messdaten der Messblende, des Prandtl-Rohres und des thermischen Anemometers sowie die Druckerhöhung durch das Gebläse. Überlegen Sie vorher, wie stark ihre Parameter Druck und Temperatur in der Anlage variieren und wie sich dies auf die zu berechnenden Stoffwerte auswirkt. Bewerten Sie die verschiedenen Werte für den Volumenstrom! Welches ist der sicherste Messwert? Tragen Sie den berechneten Wert für die gesamte Druckerhöhung über dem Volumenstrom in ein Diagramm ein.

Berechnen Sie für jeden Messpunkt den Gesamtwirkungsgrad! Tragen Sie die berechneten Werte für den Wirkungsgrad ebenfalls über dem Volumenstrom auf.

Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit den oben angegebenen Diagrammen. Interpretieren Sie die erhaltenen Kurven.

Ermitteln Sie aus dem zweiten Diagramm die Durchflusswerte für ausgewählte Wirkungsgrade und tragen Sie diese Punkte in das erste Diagramm ein, um ein zweites Linienfeld für Linien gleichen Wirkungsgrades zu erhalten. Diese Wirkungsgradlinien können manuell in die Excel-Diagramme eingetragen werden.

Wie groß ist der Fehler bei Annahme inkompressiblen Verhaltens der geförderten Luft? Das heißt, wie groß ist die maximal auftretende Dichteänderung in der Versuchsanlage?

4. Formeln zur Berechnung feuchter Luft

$p = p_D + p_L$	DALTON´sches Gesetz
$\varphi = \frac{p_D}{p_{D,S}}$ mit $p_{D,S} = f(T)$	relative Luftfeuchtigkeit
$\rho_{fL} = \frac{1}{R \cdot T} \cdot [(p - p_D) \cdot M_L + p_D \cdot M_W]$	Dichte feuchter Luft in Abhängigkeit vom Wasserdampfpartialdruck
$\rho_{fL} = \frac{0{,}3482}{T}(p - 0{,}3785 \cdot p_D)$	p in [mbar], T in [K], ρ in $\left[kg/m^3\right]$
$\rho_{fL} = \frac{p}{RT}(1+X) \cdot \frac{M_L \cdot M_W}{M_L \cdot X + M_W}$	Dichte feuchter Luft in Abhängigkeit von der absoluten Feuchte
$X = \frac{m_D}{m_L} = \frac{p_D}{p - p_D} \cdot \frac{M_W}{M_L} = \frac{0{,}6215 \cdot p_D}{p - p_D}$	Beladung der Luft mit Wasserdampf, absolute Feuchte
$\rho_2 = \rho_1 \cdot \frac{p_2 \cdot T_1}{p_1 \cdot T_2}$	Umrechnung der Dichte auf andere Drücke und Temperaturen
M_L = 28,97 g/mol	mittlere Molmasse trockener Luft
R = 8,314 J/mol K	allgemeine Gaskonstante

5. Literatur

- VDI-Wärmeatlas
- W. Fratzscher, H.-P. Picht: Stoffdaten und Kennwerte der Verfahrenstechnik, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1993
- W. Bohl: Technische Strömungslehre, Verlag Vogel, Würzburg 1998
- und andere Tabellenbücher bzw. Lehrbücher zur Strömungslehre