

7 Ventilatoren

7.1 Definition

Unter Ventilatoren versteht man Strömungsmaschinen zur Förderung von Luft oder anderen Gasen bis zu einem Druckverhältnis $p_2/p_1 = 1,3$ [7.1, 7.2]. Bei größeren Druckverhältnissen als 1,3 spricht man von Verdichtern.

Die Begriffe *Gebälse* oder *Lüfter* sollten in Anlehnung an die neueren Normen und Richtlinien nicht mehr gebraucht werden!

In ISO/DIS 13349 [7.3] ist ein Ventilator als kontinuierlich fördernde 1- oder mehrstufige Strömungsmaschine für Luft oder andere Gase definiert, deren totale spezifische Förderarbeit Y_t kleiner als 25 kJ/kg ist.

Ventilatoren werden hinsichtlich ihrer Einbauart, Funktion, Strömungsführung und Betriebsart noch näher definiert. Im allgemeinen enthalten Ventilatoren keine saug- und druckseitigen Rohrstücke außerhalb der Ein- und Austrittsquerschnitte.

7.2 Betriebsdaten

Von den vielen Betriebsdaten eines Ventilators werden nur die wichtigsten in [7.1, 7.2 und 7.4] aufgeführten Begriffe zitiert, weniger wichtige Grundgrößen müssen der Fachliteratur entnommen werden.

7.2.1 Volumenstrom \dot{V}

Der Volumenstrom (Förderstrom) ist die zeitlich durch den Ventilator geförderte Gasmenge, die übliche Einheit ist m^3/s . Zweckmäßig bezieht man das Gasvolumen auf den Gaszustand am Eintritt (Druck $p_{st,1}$ und Temperatur T_1) und kennzeichnet diesen Volumenstrom mit dem Index 1.

Zur Erfassung des Förderstromes genügt auch die einzige Angabe des Massenstromes \dot{M} ohne Spezifizierung des Gaszustandes.

7.2.2 Druckerhöhung des Ventilators

In [7.1] sind 2 Arten der Druckerhöhung definiert:

- Druckerhöhung des frei ausblasenden Ventilators:

$$\Delta p_{fa} = p_{st,2} - p_{t,1} \quad (\text{Gl. 7.1})$$

$p_{st,2}$ statischer Druck am Ventilatoraustritt A_2

$p_{t,1}$ Totaldruck am Ventilatereintritt A_1
 $p_{t,1} = p_{st,1} + p_{d,1}$

$$p_{d,1} = \frac{\rho_1}{2} \cdot \bar{w}_1^2$$

$$\bar{w}_1 = \frac{\dot{V}_1}{A_1}$$

- Totaldruckerhöhung des Ventilators

$$\Delta p_t = p_{t,2} - p_{t,1} \triangleq \Delta p_{fa} + p_{d,2} \quad (\text{Gl. 7.2})$$

$p_{t,2}$ Totaldruck am Ventilatoraustritt A_2
 $p_{t,1}$ Totaldruck am Ventilatereintritt A_1

$$p_{d,2} = \frac{\rho_2}{2} \cdot \bar{w}_2^2$$

$$\bar{w}_2 = \frac{\dot{V}_2}{A_2}$$

Statische und dynamische Drücke sind Mittelwerte, die bei exakten Messungen durch Integration der im allgemeinen Fall beliebig über den Querschnitten A_1 und A_2 verteilten Einzelwerte zu bestimmen sind. Drücke und Druckerhöhungen werden i. a. in Pa angegeben.

7.2.3 Spezifische Förderarbeit

Die spezifische Förderarbeit ist die auf den Massenstrom \dot{M} bezogene Förderleistung.

Nach [7.1] kann folgende vereinfachte Definition zugrunde gelegt werden:

- spezielle Förderarbeit des frei ausblasenden Ventilators

$$Y_{fa} = \frac{\Delta p_{fa}}{\varrho_m} \quad (\text{Gl. 7.3})$$

Δp_{fa} s. (Gl. 7.1)
 ϱ_m mittlere Dichte; $\varrho_m = \frac{\varrho_1 + \varrho_2}{2}$

- Spezifische totale Förderarbeit des Ventilators

$$Y_t = \frac{\Delta p_t}{\varrho_m} = Y_{fa} + \frac{\bar{w}_2^2}{2} \quad (\text{Gl. 7.4})$$

$\Delta p_t =$ s. (7.2)

In [7.2] wird eine thermodynamisch exakte Formulierung für die Förderarbeit angegeben:

$$Y_t = Y_{st} + Y_d \quad (\text{Gl. 7.5})$$

Geht man von einer polytropen Kompression aus, wird Y_{st} :

$$Y_{st} = \int_1^2 \frac{dp_{st}}{\varrho} = \frac{p_{st,1}}{\varrho_1} \cdot \frac{n}{n-1} \cdot \left(\left(\frac{p_{st,2}}{p_{st,1}} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) \quad (\text{Gl. 7.6})$$

mit dem Polytropenexponenten n :

$$n = \frac{\ln\left(\frac{p_{st,2}}{p_{st,1}}\right)}{\ln\left(\frac{\varrho_2}{\varrho_1}\right)} \quad (\text{Gl. 7.7})$$

Der dynamische Anteil beträgt:

$$Y_d = \frac{\bar{w}_2^2 - \bar{w}_1^2}{2} \quad (\text{Gl. 7.8})$$

Die Verwendung des Begriffes der Förderarbeit sollte auf Ventilatoren mit großen Druck- und Temperaturänderungen beschränkt werden.

7.2.4 Förderleistung

Als Förderleistung eines Ventilators wird das Produkt aus Massenstrom \dot{M} und spez. Förderarbeit Y_t verstanden:

$$P_t = \dot{M} \cdot Y_t = \varrho_1 \cdot \dot{V}_1 \cdot Y_t \quad (\text{Gl. 7.9})$$

7.2.5 Wellenleistung

Die Antriebsleistung eines Ventilators erhält man aus Drehmoment M_d , Winkelgeschwindigkeit ω bzw. aus Motorleistung P_M und Übertragungswirkungsgraden:

$$P_W = M_d \cdot \omega = P_M \cdot \eta_{Motor} \cdot \eta_{Getr.} \quad (\text{Gl. 7.10})$$

Bei direkt mit dem Ventilator (Laufrad) gekoppeltem Motor wird der Wirkungsgrad $\eta_{Getr.}$ zu 1,0!

7.2.6 Wirkungsgrad

Unter Wirkungsgrad versteht man wie bei allen Arbeitsmaschinen das Verhältnis aus Nutzleistung \triangleq Förderleistung und Antriebsleistung:

$$\eta_{t,W} = \frac{P_t}{P_W} \quad (\text{Gl. 7.11})$$

Bei dieser Definition werden die Lagerreibungsverluste P_R dem Ventilator zugeordnet, Energieverluste in Riementrieben oder Zahnradgetrieben dem Antrieb.

DIN 24 163/Teil [7.1] unterscheidet 5 Leistungs- und 6 Wirkungsgraddefinitionen.

Als einziges Regelwerk weist VDI 2044 [7.2] auf den Wirkungsgrad des Ventilators einschließlich weiterer Teile der Anlage, den sogenannten **Einbauwirkungsgrad** η_{Einbau} und die sog. nutzbare Druckerhöhung hin. Die zusätzlichen Zu- und Abströmverluste im Einbauzustand verringern grundsätzlich den Wirkungsgrad, insbesondere durch eine Reduzierung der Druckerhöhung bei gleichbleibender Antriebsleistung [7.5].

7.2.7 Dimensionslose Kennzahlen

Im Ventilatorenbau sind folgende dimensionslose Kennzahlen des Strömungsmaschinenbaus in Verwendung:

Volumenzahl φ :

$$\varphi = \frac{4 \cdot \dot{V}_1}{\pi^2 \cdot D^3 \cdot n} \quad (\text{Gl. 7.12})$$

\dot{V} Ansaugvolumenstrom in m^3/s
 D Laufradaußendurchmesser in m
 n Drehzahl in s^{-1}

Druckzahl des frei ausblasenden Ventilators:

$$\psi_{\text{fa}} = \frac{2 \cdot Y_{\text{fa}}}{(\pi \cdot D \cdot n)^2} \quad (\text{Gl. 7.13})$$

Y_{fa} spezifische Förderarbeit des frei ausblasenden Ventilators

Totaldruckzahl:

$$\psi_t = \frac{2 \cdot Y_t}{(\pi \cdot D \cdot n)^2} \quad (\text{Gl. 7.14})$$

Y_t spezifische totale Förderarbeit

Leistungszahl λ nach DIN 24 163:

$$\lambda = \frac{8 \cdot P_L}{\rho_1 \cdot \pi^4 \cdot D^5 \cdot n^3} \quad (\text{Gl. 7.15})$$

P_L = Antriebsleistung – Laufrad

nach VDI 2044:

$$\lambda = \frac{8 \cdot P_W}{\rho_1 \cdot \pi^4 \cdot D^5 \cdot n^3} \quad (\text{Gl. 7.16})$$

P_W = Antriebsleistung – Eingang Kupplung oder Riemenscheibe

Laufzahl σ :

$$\sigma = \frac{\varphi^{1/2}}{\psi_t^{3/4}} = n \cdot \sqrt[4]{\frac{\dot{V}_1^2}{(2 \cdot Y_t)^3}} \cdot 2 \cdot \sqrt{\pi} \quad (\text{Gl. 7.17})$$

Durchmesserzahl δ :

$$\sigma = \frac{\psi_t^{1/4}}{\varphi^{1/2}} = D \cdot \sqrt[4]{\frac{2 \cdot Y_t}{\dot{V}_1^2}} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{2} \quad (\text{Gl. 7.18})$$

Reynoldszahl Re :

$$Re = \frac{D \cdot u}{\nu} = \frac{D^2 \cdot \pi \cdot n}{\nu} \quad (\text{Gl. 7.19})$$

ν kinematische Viskosität des Gases
 (z. B. Luft von 20 °C: $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$)

7.2.8 Betriebsgeräusch

Als Maß für das Betriebsgeräusch wird i. a. der A-Schalleistungspegel in dB(A) verwendet.

Nach DIN 45 635, Teil 38 [6] werden 8 unterschiedliche Schalleistungspegel definiert:

1. L_{W1} Ventilator-Gesamtschalleistungspegel
2. L_{W2} Gehäuse-Schalleistungspegel
3. L_{W3} Ansaug-Kanalschalleistungspegel
4. L_{W4} Ausblas-Kanalschalleistungspegel
5. L_{W5} Freiansaug-Schalleistungspegel
6. L_{W6} Freiausblas-Schalleistungspegel
7. L_{W7} Gehäuse- und Freiansaug-Schalleistungspegel
8. L_{W8} Gehäuse- und Freiausblas-Schalleistungspegel

Bei Ventilatoren gibt es also keine einfache, allgemeine Aussage über den Schallleistungspegel, sondern nur speziell definierte Werte.

Hinweise zur Vorausabschätzung von Schallwerten von Ventilatoren finden sich u. a. in [7.7].

7.3 Einbauarten und Druckverlauf

ISO 5801 und DIN 2413 kennen 4 Einbauarten (Tabelle 7.1):

Tabelle 7.1 Einbauarten von Ventilatoren

Einbauart	Beschreibung der Einbauart	
	Saugseite des Ventilators	Druckseite des Ventilators
A	frei ansaugend	frei ausblasend
B	frei ansaugend	druckseitig angeschlossen
C	saugseitig angeschlossen	frei ausblasend
D	saugseitig angeschlossen	druckseitig angeschlossen

Je nach Einbauart ergibt sich eine besondere Druckverteilung im Bereich des Ventilators und zugeschnittene Formel für die Druckerhöhung gemäß Abschnitt 7.2.2.

In ISO 5801/5802 oder in [7.8 und 7.9] ist der Druckverlauf für die 4 Einbauarten dargestellt (Bilder 7.1 bis 7.4). In die Bilder sind u. a. auch die Schnittstellen A_1 und A_2 sowie die zugehörigen Drücke eingetragen.

Die für eine bestimmte Einbauart ermittelten Betriebswerte oder gar Kennfelder dürfen nicht ohne weiteres auf eine andere Einbauart übertragen werden!

7.4 Bauarten

In lufttechnischen Anlagen werden üblicherweise folgende Ventilatorbauarten eingesetzt:

Axialventilatoren
Radialventilatoren
Querstromventilatoren

Diagonalventilatoren finden sich noch selten in lufttechnischen Geräten und Anlagen.

In Tabelle 7.2 sind die Bauarten der Ventilatoren mit ihren wichtigsten Kennzahlen zusammengestellt [7.10], in Tabelle 7.3 ist eine ähnliche Tabelle aus [7.11] wiedergegeben, die noch weitere Kennzahlen enthält.

7.5 Kennfelder

7.5.1 Allgemeines

Nach Einführung von DIN 24 163 und 24 166 sowie der Neufassung von VDI 2044 ist einheitlich festgelegt, was man unter einer Ventilator Kennlinie zu verstehen hat, nämlich mindestens den funktionellen Zusammenhang zwischen Totaldruckerhöhung Δp_t und angesaugtem Volumenstrom \dot{V}_1 (Bild 7.5). Ferner gehören noch die Kurven für den Leistungsbedarf und den Wirkungsgrad dazu, häufig auch eine Kurve zur Geräuschemission. Manchmal wurden auch die Kurven für die freiblasende Druckerhöhung mit angegeben. Selten sind Kennfelder mit Angaben der spezifischen Förderarbeit oder mit dimensionslosen Kennzahlen.

Zur Vervollständigung müssen noch Drehzahl, Gasdichte und bestimmte Abmessungen des Ventilators angegeben werden, um das Betriebsverhalten eindeutig charakterisieren zu können.

Die Kennfelder unregelter Ventilatoren sind verhältnismäßig einfach aufgebaut (Bild 7.5), wogegen die Kennfelder geregelter Ventilatoren u. U. komplizierter werden.

Zur vollständigen Beurteilung der Kennfelder gehört unbedingt auch die Betrachtung der Bautoleranzen, z. B. nach DIN 24 166 bzw.

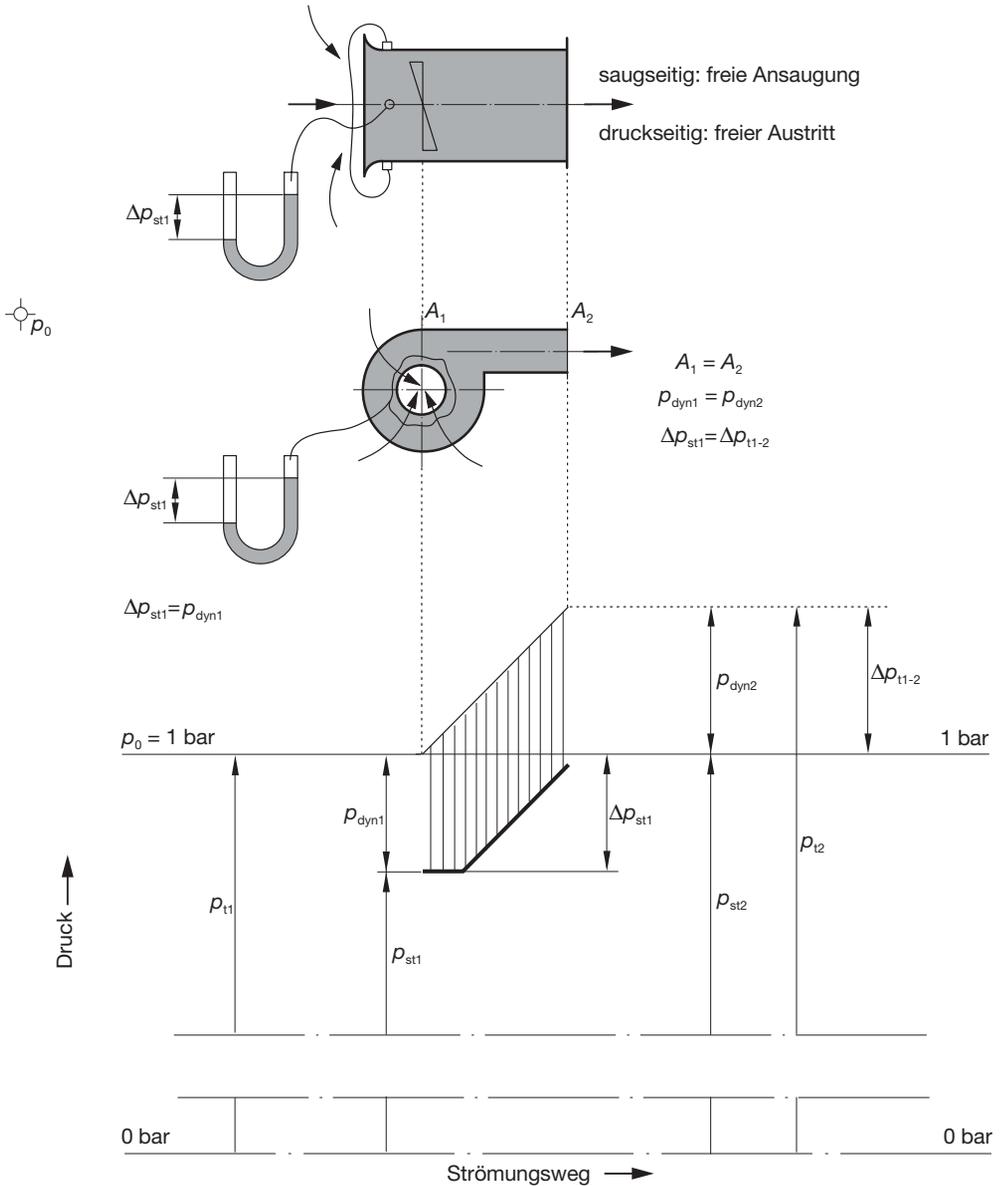


Bild 7.1 Ventilator – Einbauart A

Angaben zur Genauigkeitsklasse, was in einem strittigen Gewährleistungsfall (Bild 7.6) sehr wichtig werden kann [7.11].

In Bild 7.7 sind die Kennfelder geregelter Ventilatoren als Prinzipbilder dargestellt:

- oben Axialventilator mit Laufradverstellung
- Mitte Radialventilator mit Vordrallregelung
- unten Ventilator mit Drehzahlregelung

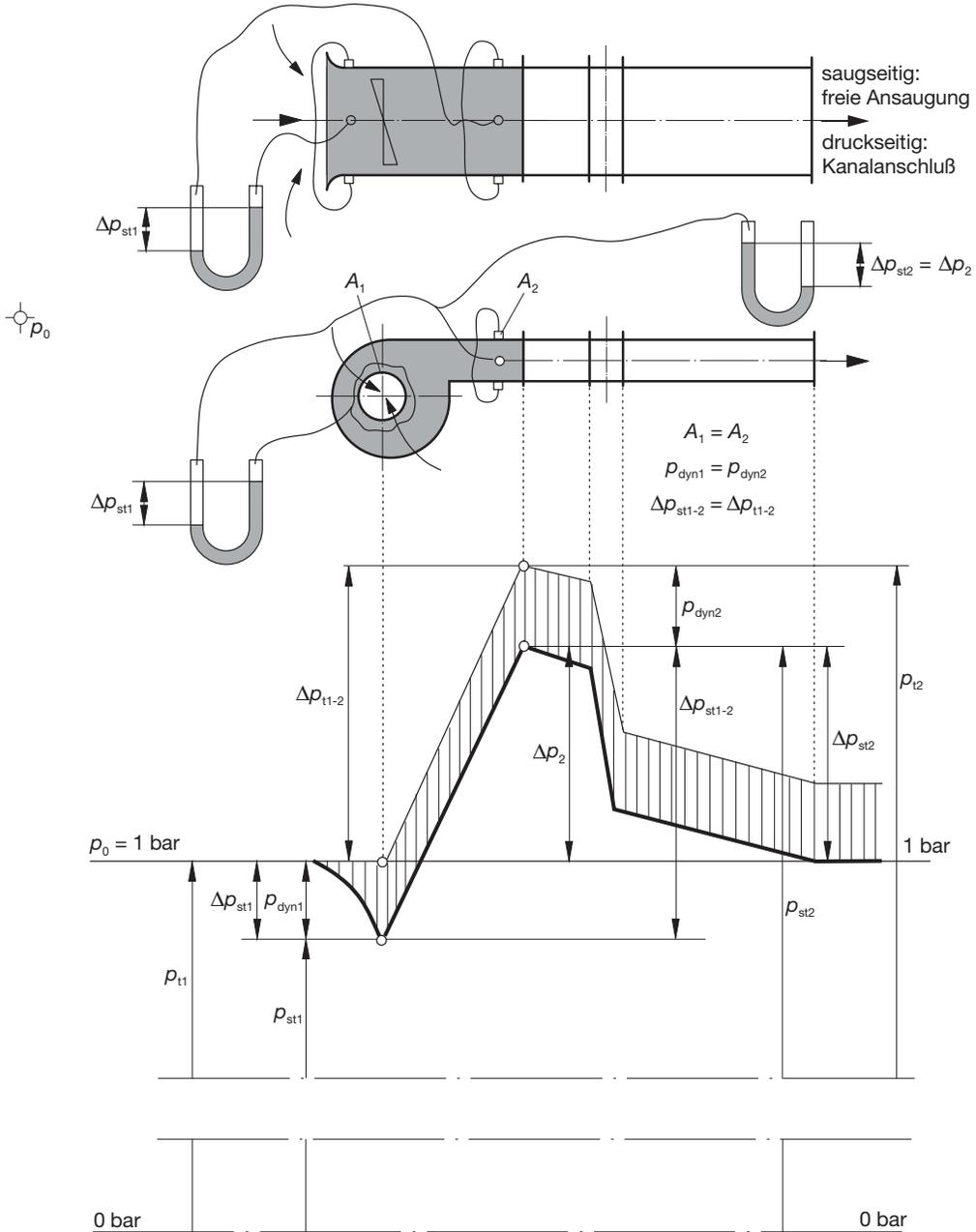


Bild 7.2 Ventilator – Einbauart B