Ventilatoren

Leistungsmessung Normprüfstände

DIN 24 163 Teil 2

Fans; performance testing, standardized airways

Maße in mm

Inhalt

		Seite
1	**Anwendungsbereich und Zweck**	1
2	**Begriffe**	1
3	**Benennungen, Formelzeichen, Einheiten**	2
4	**Aufbau der Normprüfstände**	3
4.1	Allgemeines	3
4.2	Prüfstandsarten	3
5	**Form und Abmessung der Prüfstandsteile**	7
5.1	Volumenstrom-Meßeinrichtung	7
5.2	Übergangs- und Anschlußstücke	9
5.3	Hilfsventilator	11
5.4	Regeleinrichtung	11
5.5	Kammer-Meßstrecke	13
5.6	Rohrmeßstrecke	17
5.7	Ventilatoren mit druckseitiger Ausgleichsstrecke	19
5.8	Störungsfreie Ausblas-Zone	19
6	**Meßverfahren und Meßgeräte**	19
6.1	Messung der Zustandsgrößen	19
6.2	Druckmessung	19
6.3	Drehzahlmessung	20
6.4	Messung der Antriebsleistung	20
7	**Kontrollmessungen**	20
7.1	Überprüfen normähnlicher Volumenstrom-Meßeinrichtungen	20
7.2	Nachregulieren der Regeleinrichtung	20
7.3	Geschwindigkeitsverteilung an der Druckmeßstelle	20
7.4	Druckverlustmessung	23
8	**Auswertung, Darstellung der Meßergebnisse**	23
8.1	Auswertung der Meßergebnisse	23
8.2	Meßunsicherheit	26
8.3	Umrechnung der Meßergebnisse entsprechend den Katalogangaben	27
8.4	Anwendungsbeispiel	27

1 Anwendungsbereich und Zweck

Diese Norm gilt für Ventilatoren nach Abschnitt 2 im Zusammenhang mit DIN 24 163 Teil 1.

Zweck dieser Norm ist es, den Aufbau von Prüfständen zur Ermittlung von Ventilatorkennlinien nach DIN 24 163 Teil 1 (Normkennlinien) festzulegen. Damit wird es möglich, Ventilatorkennlinien nach einheitlichen Prüfverfahren entsprechend den in DIN 24 163 Teil 1 *), Abschnitt 5, aufgeführten Bedingungen zu bestimmen.

2 Begriffe

2.1 Ventilator

Ein Ventilator ist eine Strömungsmaschine mit Gehäuse (z. B. auch Wandringventilator), die zur Förderung von Luft oder anderen Gasen dient und deren Druckverhältnis (p_{t2}/p_{t1}) 1,30 nicht überschreitet.

Ventilatoren, deren Nennvolumenstrom $\dot{V}_N$ kleiner als 300×10^{-3} m^3/s und deren Druckverhältnis (p_{st2}/p_{st1}) kleiner als 1,03 ist, sind Kleinventilatoren. Die Leistung von Kleinventilatoren wird nach DIN 24 163 Teil 3 bestimmt.

*) Ausgabe Januar 1985

Fortsetzung Seite 2 bis 35

Normenausschuß Maschinenbau (NAM) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

NormCD - Stand 2007-03

Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag GmbH, Berlin 30
01.85

3 Benennungen, Formelzeichen, Einheiten

Die nachfolgenden Benennungen, Formelzeichen und Einheiten stehen im Zusammenhang mit DIN 24 163 Teil 1.

Tabelle 1.

Lfd. Nr	Benennung	Formelzeichen	Einheit	Bemerkung
	Maße: Ventilator, Prüfstand			
1	Durchmesser	d	m, mm	
2	Durchmesser des Laufrades	D	m, mm	
3	Hydraulischer Durchmesser	d_h	m, mm	
4	Durchmesserabweichung	Δd	mm	
5	Höhe (Kanal; Spiralgehäuse)	h	m, mm	
6	Breite (Kanal; Spiralgehäuse; störungsfreie Zone)	b	m, mm	
7	Abstand, Länge oder Radius einer störungsfreien Zone	a	m, mm	
8	Länge (von Prüfstandeinbauten)	l	mm	
9	Wanddicke von Prüfstandeinbauten	s	mm	
10	Abrundungsradius	r	mm	
11	Lichte Maschenweite	m	mm	
12	Querschnittsfläche	A	m^2	
13	Öffnungswinkel des Diffusors	2β	o	
14	Verjüngungswinkel des Konfusors	2α	o	
	Meßgrößen und Zustandsgrößen			
15	Luftdruck im Versuchsraum	p_a	mbar	
16	Dampfdruck des Wasserdampfes	p_D	mbar	
17	Sättigungsdampfdruck	p_S	mbar	
18	Relative Luftfeuchte	φ_F	–	
19	Kinematische Zähigkeit	ν	m^2/s	
20	Druckdifferenz, am Prüfstand gemessen	Δp	Pa	
21	Wirkdruck der Durchflußmessung	Δp_o	Pa	
22	Druckverlust der Prüfstandeinbauten	Δp_v	Pa	
23	Drehmoment	M	Nm	
24	Netzspannung	U	V	
25	Netzfrequenz	f	Hz	
	Kenngrößen			
26	Reynoldszahl	Re	–	$Re = (\bar{c} \cdot D)/\nu$
27	Durchflußzahl des Drosselmeßgerätes	α_o	–	
28	Expansionszahl des Drosselmeßgerätes	ϵ_o	–	
29	Verhältnis der spezifischen Wärmekapazität	κ	–	$\kappa = c_p/c_v$
30	Öffnungsverhältnis des Drosselmeßgerätes	m_o	–	$m_o = (d_o/d_{o1})^2$
31	Versperrungsfaktor von Sieb und Lochblech	ϕ_7	–	Siehe Bild 18
32	Widerstandszahl	ζ	–	
33	Relative Meßunsicherheit der Meßgröße (i)	$e_{(i)}$	%	

Indizes

o	Durchflußmessung, Drosselmeßgerät	7	Lochplatte, Bremssieb	tr	trocken (Temperatur)
o1	Einlauf Blendenmeßstrecke	a	außen bzw. Umgebung (lfd. Nr 15)	VM	Vergleichsmeßstrecke
o2	Auslauf Blendenmeßstrecke	Anz	Geräte-Anzeige		Meßunsicherheit,
oL	Ringleitung der Druckabnahme	B	Bohrung der Druckabnahme	(n)	– Drehzahl
1	Ventilator-Eintritt	D	Dampf (lfd. Nr 16)	(Δp)	– Druckerhöhung
2	Ventilator-Austritt	F	feucht (Temperatur)	(P)	– Förder- bzw. Antriebsleistung
3	Übergangsstück, Eintritt	K	Katalog-Angabe		
4	Übergangsstück, Austritt	N	Nenn-(z.B.-Volumenstrom)	(V)	– Volumenstrom
5	Meßstrecke (Kammer/Rohr)	R	Regeldrossel	(η)	– Wirkungsgrad
6	Gleichrichter	s	Druckmeßsonde	(ϱ)	– Dichte

NormCD - Stand 2007-03

4 Aufbau der Normprüfstände

4.1 Allgemeines

Betriebsverhalten und Kennlinienverlauf eines Ventilators werden von den saugseitigen Zuström- bzw. Anschlußbedingungen beeinflußt [1, 2 3, 4]. Die nachstehend beschriebenen Normprüfstände gewährleisten bei der Messung eines Ventilators eine drallfreie, gleichmäßige Zuströmung für jeden Betriebspunkt der Ventilatorkennlinie und damit reproduzierbare Meßergebnisse.

Die Prüfstände werden mit Hilfe von Austausch- und Anbauteilen aufgebaut, so daß auf einem Prüfstand unterschiedliche Ventilatortypen untersucht werden können. Form und Abmessung der Einrichtungen zur Volumenstrommessung und -regelung und die meisten Zubehörteile sind für die genormten Prüfstandsarten gleich. Die Normkennlinie kann gegebenenfalls in ihrem gesamten Bereich gemessen werden.

4.2 Prüfstandsarten

Diese Norm behandelt den Aufbau von Kammerprüfständen, die dem Ventilator saugseitig vorgeschaltet werden (saugseitige Kammerprüfstände), sowie den Aufbau von Rohrprüfständen, die sowohl an der Ansaugseite als auch an der Druckseite des Ventilators angeschlossen werden (saug- oder druckseitige Rohrprüfstände).

Druckseitige Kammerprüfstände sind zwar grundsätzlich möglich (siehe DIN 24 163 Teil 1 und Teil 3), werden jedoch in diesem Teil der Norm wegen der zwangsläufig sehr großen Abmessungen nicht behandelt.

Beim Aufbau von Ventilatorprüfständen ist sicherzustellen, daß

- die Zu- und Abströmung des Ventilators nicht durch die Einbauten des Prüfstandes verändert wird,
- im Bereich der Meßstellen für Volumenstrom und Druck eine gleichförmige Strömung vorliegt und
- diese nicht durch Einwirkung des Ventilators, der Regeldrossel oder des Hilfsventilators gestört wird.

Der grundsätzliche Aufbau saug- und druckseitiger Ventilatorprüfstände ist in Bild 1 bzw. Bild 2 gezeigt.

4.2.1 Kammerprüfstand

Kammerprüfstände (siehe Bild 3) bestehen aus folgenden Bauteilen:

- Blendenmeßstrecke (Blende im Einlauf, Einlaufmeßdüse)
- Regeleinrichtung (Regeldrossel, gegebenenfalls mit regelbarem Hilfsventilator)
- Kammermeßstrecke mit Siebeinbauten und Druckabnahme
- Ventilatoranschluß
- gegebenenfalls nachgeschaltete Rohrstrecke

Durch diese Anordnung wird am Ventilatoreintritt eine symmetrische Zuströmung sichergestellt, wie sie beim Ansaugen des Ventilators aus dem freien Raum entsteht (Senkenströmung). An der Druckmeßstelle in der Kammer stellt sich eine drallfreie, achsparallele Strömung ein. Die Kammer kann sowohl einen Kreis- als auch Rechteckquerschnitt haben.

4.2.2 Rohrprüfstand

Saugseitige Rohrprüfstände
(siehe Bild 4) bestehen aus folgenden Bauteilen:

- Durchflußmeßstrecke (z. B. Blende im Einlauf, Einlaufmeßdüse)
- Regeleinrichtung (Regeldrossel, gegebenenfalls mit regelbarem Hilfsventilator)

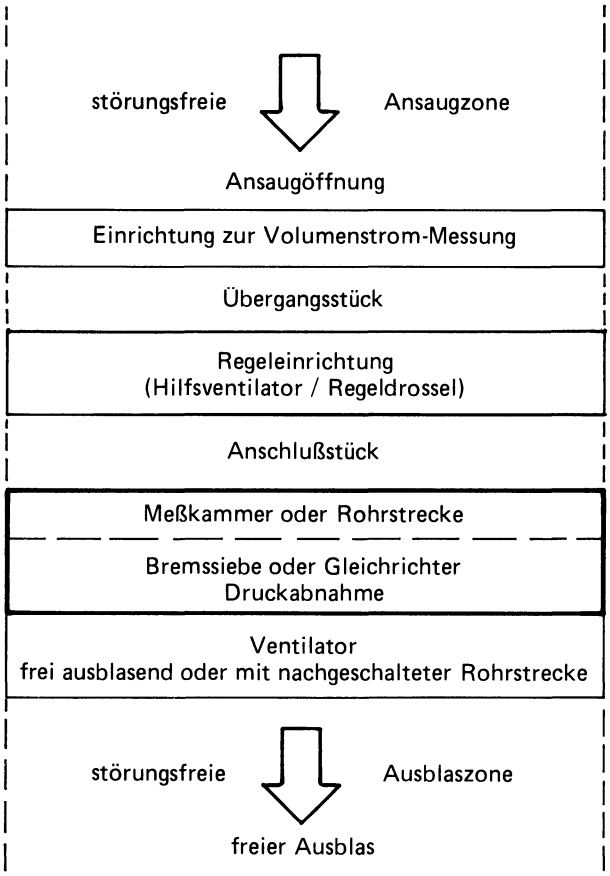


Bild 1. Saugseitiger Ventilatorprüfstand (Schema)

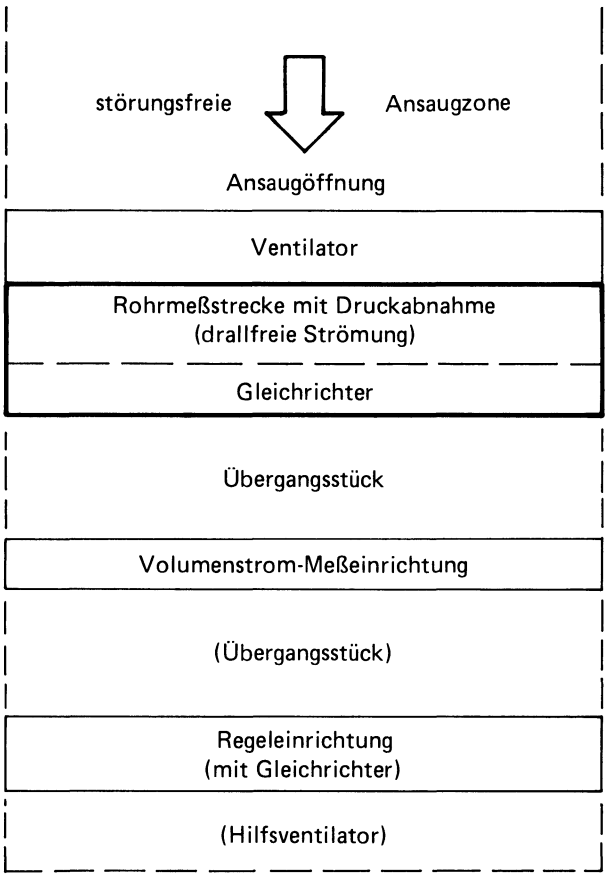


Bild 2. Druckseitiger Ventilatorprüfstand (Schema)

NormCD - Stand 2007-03

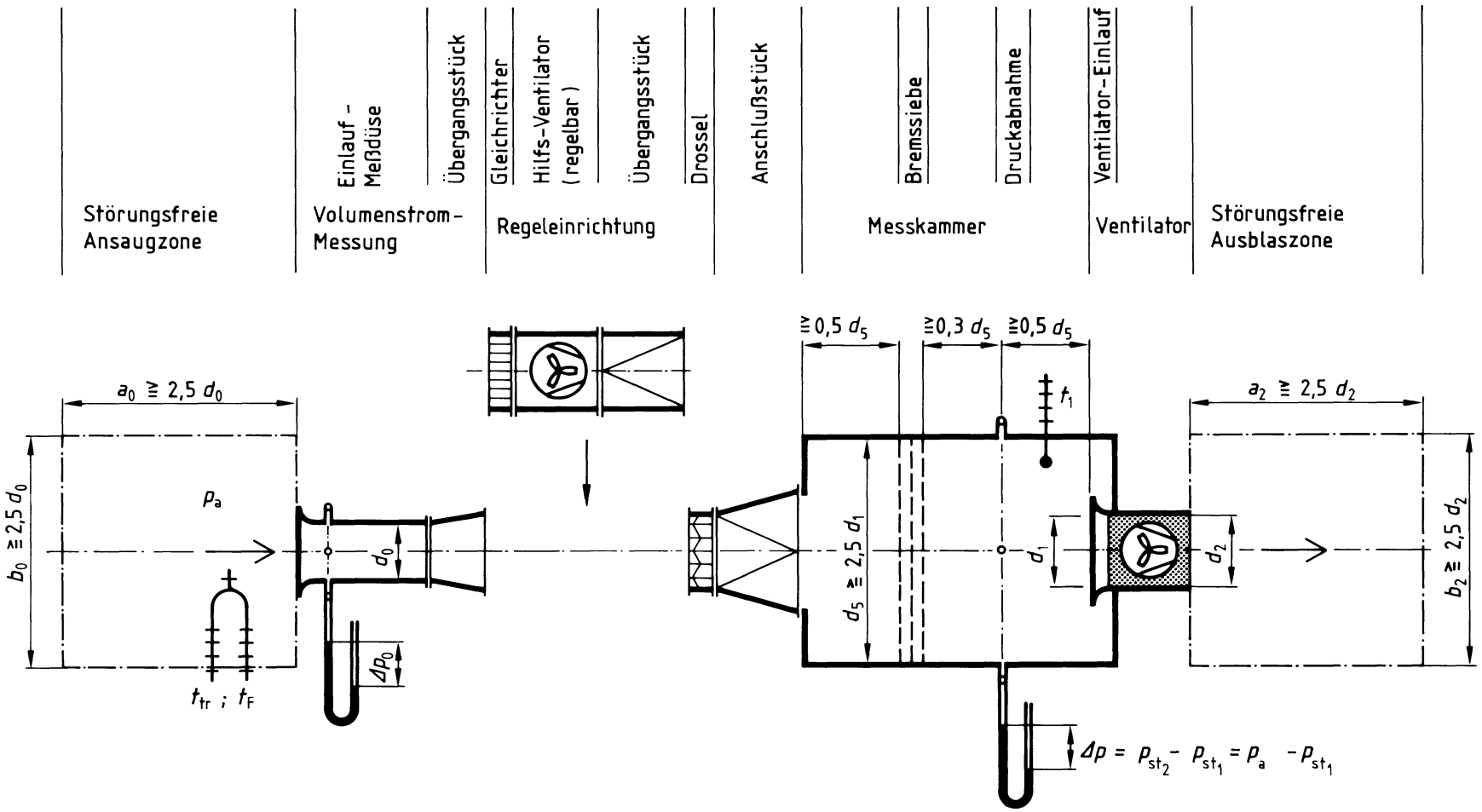


Bild 3. Kammerprüfstand — Anordnung und Hauptabmessungen

NormCD - Stand 2007-03

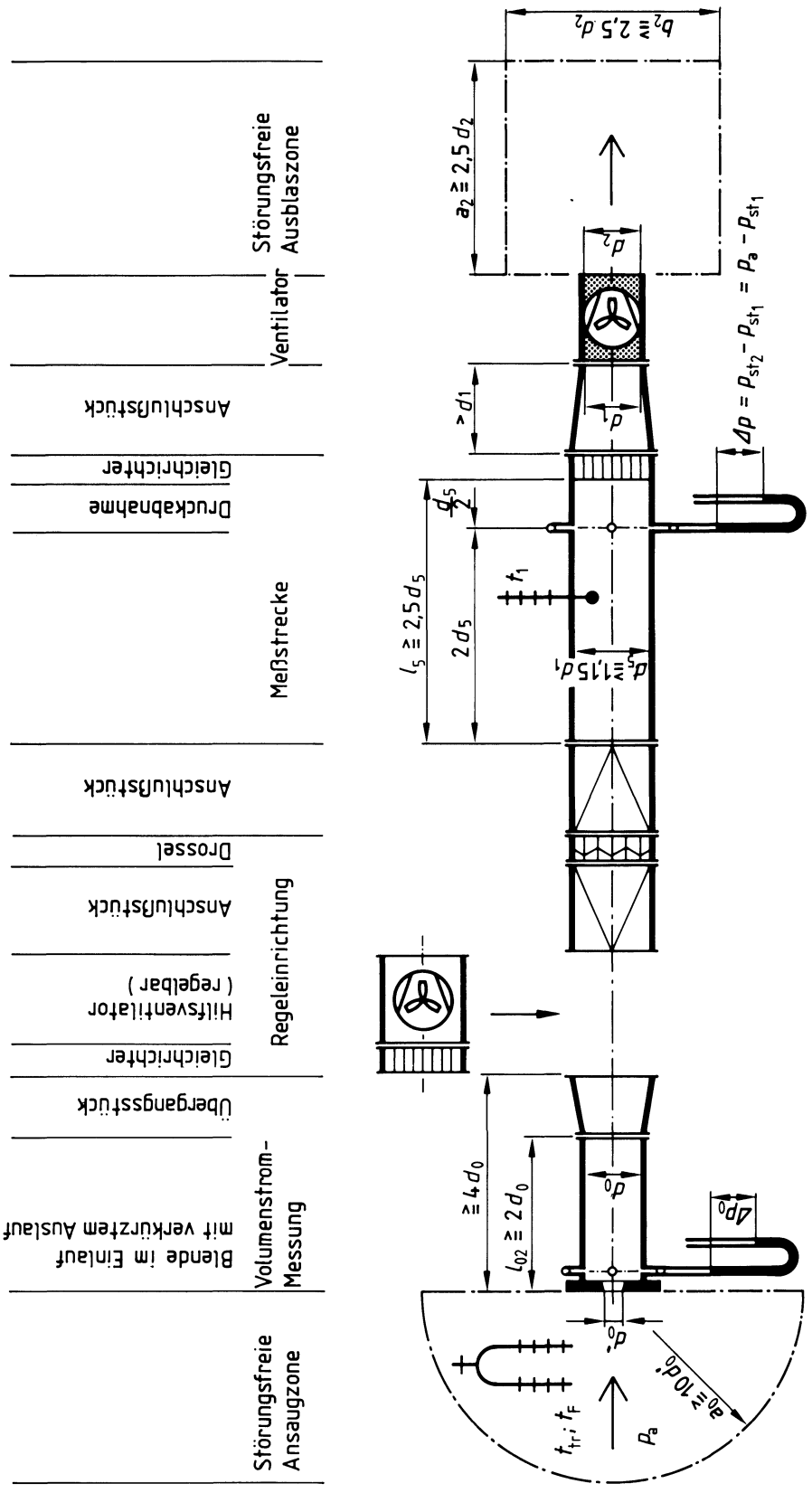


Bild 4. Rohrprüfstand saugseitig — Anordnung und Hauptabmessungen

NormCD - Stand 2007-03

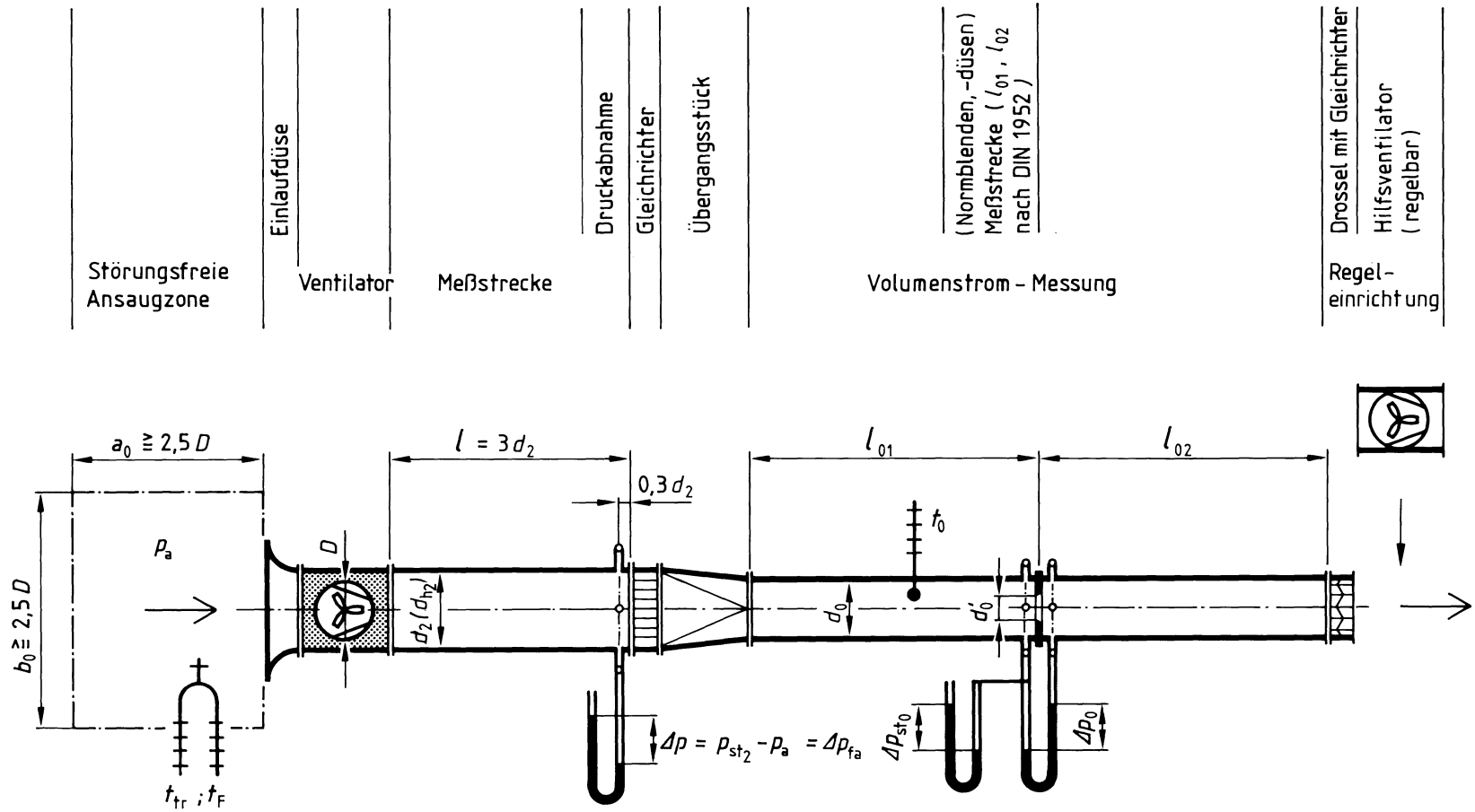


Bild 5. Rohrprüfstand druckseitig — Anordnung und Hauptabmessungen

NormCD - Stand 2007-03

- Rohrmeßstrecke mit Gleichrichter und Druckabnahme
- Ventilatoranschluß
- gegebenenfalls nachgeschaltete Rohrstrecke

Durch den zwischen Druckabnahme und Ventilatoranschluß angeordneten Gleichrichter und durch das Anschlußstück wird sichergestellt, daß die durch den Ventilator hervorgerufenen Störungen im Einlauf sich nicht an der Druckmeßstelle auswirken und dort die Messung beeinflussen.

Druckseitige Rohrprüfstände
(siehe Bild 5) bestehen aus folgenden Bauteilen:

- Ventilator mit zugehöriger Einlaufdüse bzw. zugehörigem Anschluß-Rohrstück
- Ausblasstrecke mit Gleichrichter und Druckabnahme
- Übergangsstück zum Anschluß der Durchflußmeßstrecke
- Volumenstrom-Meßstrecke
- Regeldrossel mit Gleichrichter
- Hilfsventilator

Druckseitige Rohrprüfstände können zur Messung von Ventilator-Kennlinien verwendet werden, wenn die Abströmung des zu untersuchenden Ventilators nahezu drallfrei ist. Nur bei drallfreier Abströmung wird hinter dem zu prüfenden Ventilator eine nahezu gleichförmige Verteilung des statischen Drucks erreicht. Damit bleibt eine vergleichbare Leistungsmessung von Ventilatoren mit Hilfe eines druckseitigen Rohrprüfstandes in den weitaus meisten Fällen nur auf einen Teilbereich der Kennlinie beschränkt (siehe auch DIN 24 163 Teil 1 *), Bild 1).

Der hinter dem Anschluß-Rohrstück angeschlossene Gleichrichter stellt sicher, daß die Zuströmung zur Volumenstrom-Meßstrecke gleichmäßig ist. Um Störungen der Volumenstrommessung zu vermeiden, wird die anschließende Regeldrossel mit einem Gleichrichter kombiniert, so daß auch ein Hilfsventilator unmittelbar daran angeschlossen werden kann, ohne die Messung zu beeinflussen (siehe DIN 24 163 Teil 1 *), Bild 1).

5 Form und Abmessung der Püfstandsteile

5.1 Volumenstrom-Meßeinrichtung

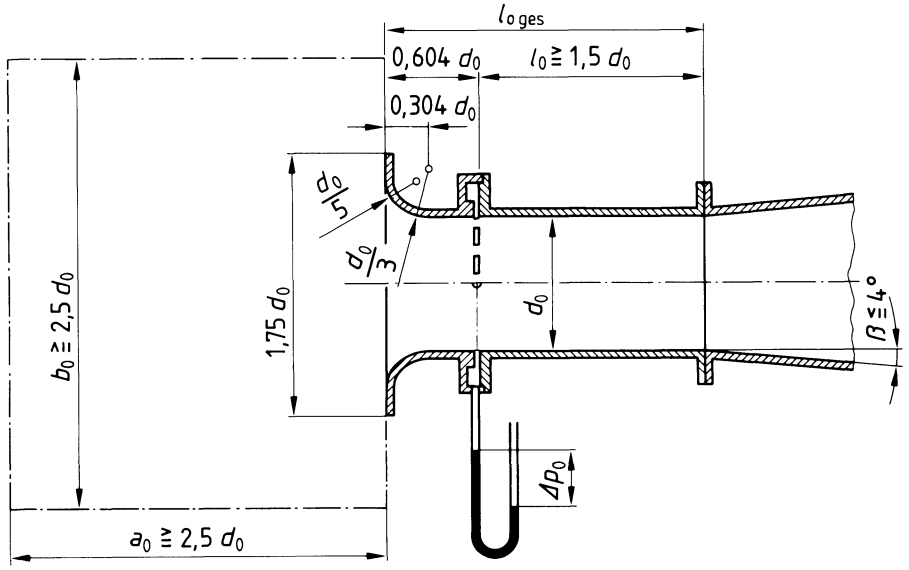
Zur Bestimmung des vom Ventilator angesaugten Volumenstroms $\dot{V}_1$ sind die nachfolgend angegebenen Meßverfahren mit Hilfe von Blenden oder Düsen anzuwenden.

Normähnliche Volumenstrom-Meßeinrichtungen – also solche, die in dieser Norm nicht enthalten sind – sind vor Inbetriebnahme des Prüfstandes zu kalibrieren, wobei auf drallfreie Zuströmung und ablösungsfreie Abströmung zu achten ist. Üblicherweise geschieht dies mit einer der Norm entsprechenden Meßeinrichtung, bei größeren Durchmessern mit Hilfe einer Netzmessung, beispielsweise nach VDI 2044 oder VDI/VDE 2640 Blatt 3.

Bei Prüfständen für größere Ventilatoren, deren Volumenstrom mit Normblenden oder -düsen nach DIN 1952 nicht zu messen ist, werden im allgemein normähnliche Meßeinrichtungen wie Blenden im Einlauf (meist mit verkürzter Nachlaufstrecke) nach VDI/VDE 2041 oder Einlauf-Meßdüsen gemäß Bild 6 verwendet.

5.1.1 Normblende und -düse nach DIN 1952

Für Ventilatorprüfstände kann eine Normblenden- oder Normdüsen-Meßstrecke nach DIN 1952 mit einem konischen Einlaufstück verwendet werden. Ein störungsfreier Raum vor dem Einlauf muß sichergestellt sein. Die Länge der Meßstrecken und die Abmessungen der Blenden und Düsen sind entsprechend DIN 1952 und DIN 19 205 festzulegen.



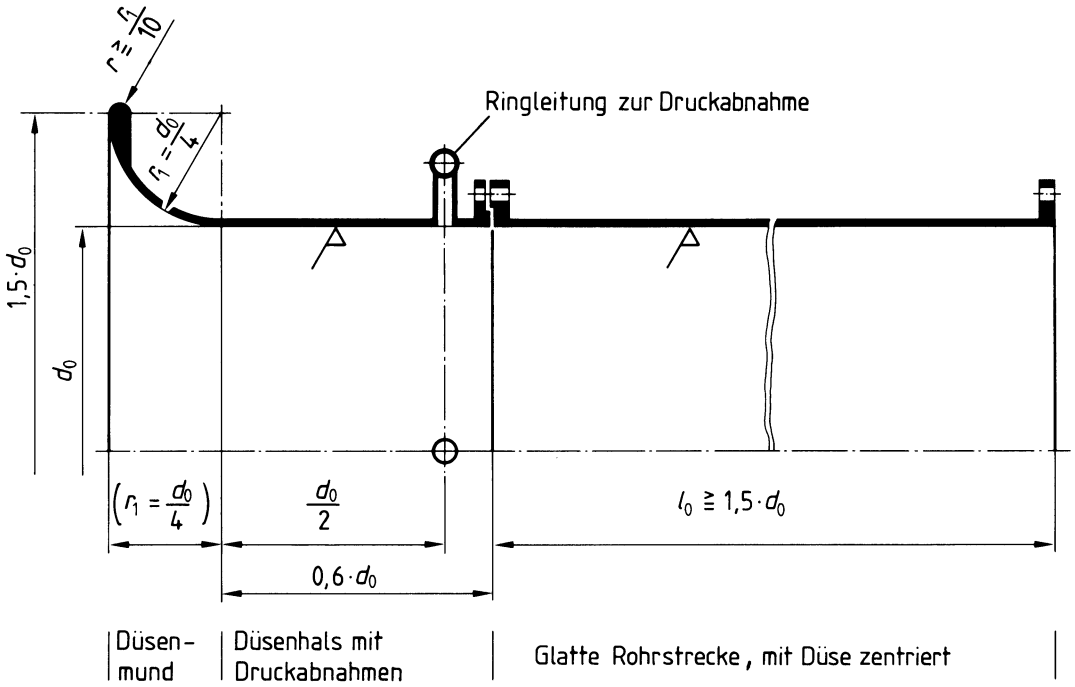
Anmerkung:
Maximaler Öffnungswinkel β siehe Abschnitt 5.2

Gesamtlänge	$l_{o\,ges}$	$\geq 2{,}1 \cdot d_o$
Störungsfreier Raum	a_o	$\geq 2{,}5 \cdot d_o$; $b_o \geq 2{,}5 \cdot d_o$
Durchflußzahl	α_o	$= 0{,}99 \pm 0{,}01$
Gültigkeitsbereich nach VDI 2041	Re_o	$= \frac{\bar{c}_o \cdot d_o}{\nu} \geq 10^5$; $d_o \geq 50$ mm (untersucht bis $d_o = 500$ mm)
Expansionszahl	ϵ_o	nach DIN 1952 für $m_o = 0$; $\kappa = 1{,}40$
	ϵ_o	$\approx 1 - 0{,}55\ \frac{\Delta p_o}{p_a}$ (Näherung bis $\Delta p_o = 2000$ Pa)

Bild 6. Einlauf-Meßdüse, Form nach DIN 1952

*) Ausgabe Januar 1985

NormCD - Stand 2007-03



Gesamtlänge $\geq 2{,}35 \cdot d_o$

Störungsfreier Raum $a_o \geq 2{,}5 \cdot d_o$; $b_o \geq 2{,}5 \cdot d_o$

Durchflußzahl $\alpha_o = 1 - 0{,}004 \cdot \sqrt{\frac{10^6}{Re_o}} \pm 0{,}003$ für $\alpha_o \leq 1{,}000$ mit $Re_o = \frac{\bar{c}_o \cdot d_o}{\nu} \geq 1 \cdot 10^5$

Expansionszahl $\epsilon_o \approx 1 - 0{,}55 \cdot \frac{\Delta p_o}{p_a}$ für $\kappa = 1{,}40$; $\Delta p_o \leq 2000$

Bild 7. Viertelkreis-Einlaufmeßdüse (FLT-Düse) [8]

5.1.2 Blende im Einlauf nach VDI/VDE 2041 **)

Für saugseitig angeschlossene Kammer- und Rohrprüfstände können Blenden im Einlauf nach VDI/VDE 2041**) eingesetzt werden.

Bei Verwendung einer Blende im Einlauf eines Ventilatorprüfstandes muß aus einem freien Raum vor der Blende angesaugt werden. Innerhalb dieses Raumes dürfen sich keine die Zuströmung störenden Einbauten befinden; drallbehaftete Zuströmung ist zu vermeiden.

Die Stirnfläche der Blende soll glatt sein, d. h. es dürfen z. B. keine hervorstehenden Schraubenköpfe die Zuströmung stören.

Bei einer Blendenmeßstrecke mit verkürztem Nachlauf sollte hinter dem gegebenenfalls konischen Übergangsstück ein Bremssieb oder ein Gleichrichter angeordnet werden, wie dies ohnehin z. B. beim Einbau eines Hilfsventilators oder einer Klappendrossel notwendig ist.

5.1.3 Einlauf-Meßdüse

Im allgemeinen wird für saugseitig angeordnete Ventilatorprüfstände eine Einlauf-Meßdüse bevorzugt. Angaben über Abmessungen, Einbau, Durchfluß- und Expansionszahlen der Einlauf-Meßdüsen sind der Literatur [5, 6] zu entnehmen. Die wesentlichen Daten sind in Bild 6 zusammengestellt.

Die Einlauf-Meßdüse entspricht einer Normdüse mit verlängertem zylindrischen Rohrstück, das glatt und mit definierter Genauigkeit ausgedreht ist. Damit ist sichergestellt, daß die Strömung in den unmittelbar an das Rohr angeschlossenen Leitungsteilen die Meßbedingungen am Düsenmund nicht beeinflußt. Gegebenenfalls erforderliche Querschnittserweiterungen des Prüfstandes sind erst im Anschluß an das zylindrische Rohr der Einlauf-Meßdüse vorzusehen.

Die Druckabnahme kann mit Hilfe von Anbohrungen, die über eine Ringleitung oder über eine Ringkammer verbunden sind, durchgeführt werden.

Die Werte für die untere Grenze des Gültigkeitsbereichs der Einlauf-Meßdüse sind in Tabelle 2 angegeben [5, 6, 7].

Eine einfacher herzustellende Viertelkreis-Einlauf-Meßdüse mit einer Druckabnahme im Abstand $d_o/2$ hinter dem Düsenmund ist in Bild 7 dargestellt (FLT-Düse) [8].

Wie genauere Untersuchungen mit dieser Düse gezeigt haben, ist die Durchflußzahl α_o von der Reynoldszahl der Düsenströmung geringfügig abhängig. Es gilt:

$$\alpha_o = 1{,}000 - 0{,}004 \cdot \sqrt{\frac{10^6}{Re_o}} \quad \text{für } Re_o \geq 1 \cdot 10^5$$

Für die relative Meßunsicherheit gilt:

$e_{(\alpha_o)} = \pm 0{,}003$ für $\alpha_o \leq 1{,}000$

**) Z. Z. Entwurf

NormCD - Stand 2007-03

Bei Ventilatoruntersuchungen kommt praktisch der Reynoldszahlbereich $Re_o = 1 \cdot 10^5$ bis $1 \cdot 10^7$ in Frage, so daß vereinfacht für eine mittlere Durchflußzahl $\alpha_o = 0{,}992$ mit einer relativen Unsicherheit $e_{(\alpha o)} = \pm 0{,}008$ angegeben werden kann.

Für die Herstellungstoleranzen und den unteren Gültigkeitsbereich der Düse gelten die gleichen Richtwerte wie für die in Bild 6 dargestellte Einlauf-Meßdüse (siehe auch Tabelle 2).

Tabelle 2. **Einlauf-Meßdüsen, Gültigkeitsbereich**

d_o in mm	$\Delta p_{o\,min}$ in Pa	$\dot{V}_{o\,min}$ in m^3/s
200	36	0,236
300	16	0,353
400	9	0,471
500	5,7	0,589
600	4,0	0,706
700	2,9	0,825
800	2,2	0,942
1000	1,4	1,178

Die untere Grenze des Gültigkeitsbereichs $Re_{o\,min} = 1 \cdot 10^5$ für Luft entspricht bei der kinematischen Zähigkeit $\nu = 15 \cdot 10^{-6}\ m^2/s$

$$\Delta p_{o\,min} = 1{,}435 \cdot \frac{1}{d_o{}^2}\ (Pa)$$

$$\dot{V}_{o\,min} = 1{,}5 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_o\ (m^3/s)$$

Andere Einlauf-Meßdüsen, deren Durchfluß- und Expansionszahlen in Normen und Richtlinien festgelegt sind und die den Anforderungen nach Abschnitt 5.1 genügen, können ebenfalls für Ventilatorprüfstände verwendet werden (siehe z. B. [9]).

5.1.4 Störungsfreier Raum vor Einlaufdüsen, Einlauf-Meßdüsen und Blenden im Einlauf

Vor Einlaufdüsen, insbesondere Einlauf-Meßdüsen, von Ventilatorprüfständen ist ein störungsfreier Raum vorzusehen, in dem sich keinerlei Zwischenwände oder sonstige die Zuströmung zum Einlauf beeinflussende Einbauten befinden.

Die Mindestabmessungen des störungsfreien, rechteckigen Raumes um den Mittelpunkt des Einlaufs sind von der Größe des Düsendurchmessers d_o abhängig:

$$a_o = b_o \geq 2{,}5 \cdot d_o$$

Diese Mindestabstände sind auch dann einzuhalten, wenn die Einlaufdüse sich in Wand- bzw. Bodennähe befindet bzw. allseitig von Wänden umgeben ist [6].

Bei Blenden im Einlauf ist der störungsfreie Raum entsprechend den Angaben der VDI/VDE 2041 (z. Z. Entwurf) zu bemessen.

5.2 Übergangs- und Anschlußstücke

Übergangsstücke für Kreisrohre wie z. B. Diffusoren und Konfusoren (siehe Bild 8), die auf Prüfständen als Verbindungsstücke bei Querschnittsänderungen dienen, sollten nach Bild 8 bis Bild 11 ausgelegt sein [10, 11, 12, 13]. Sind bei Konfusoren aus besonderen Gründen kürzere Verbindungsstücke notwendig, so sollte ein Verjüngungswinkel von $2\alpha = 30^o$ nicht überschritten werden (siehe Bild 8).

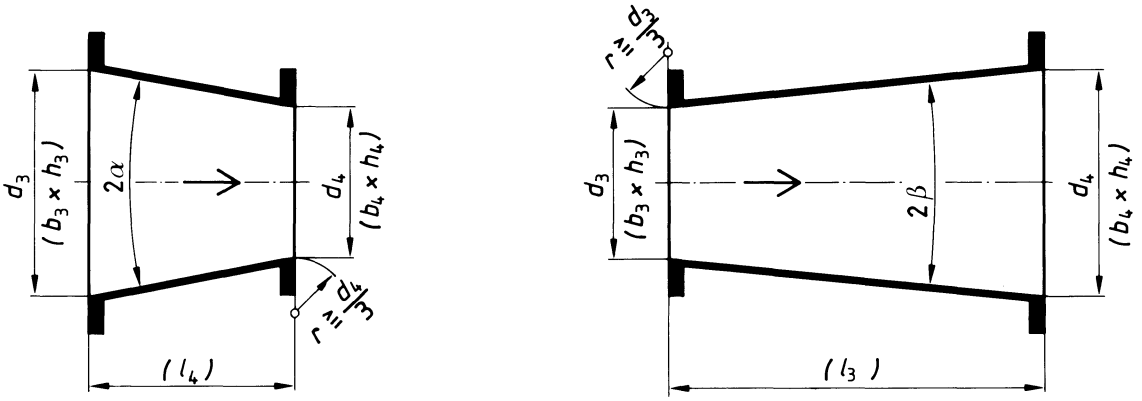


Bild 8. Übergangsstücke: Konfusor und Diffusor
(Auslegung: Kreisquerschnitt nach Bild 10; Rechteckquerschnitt nach Bild 11)

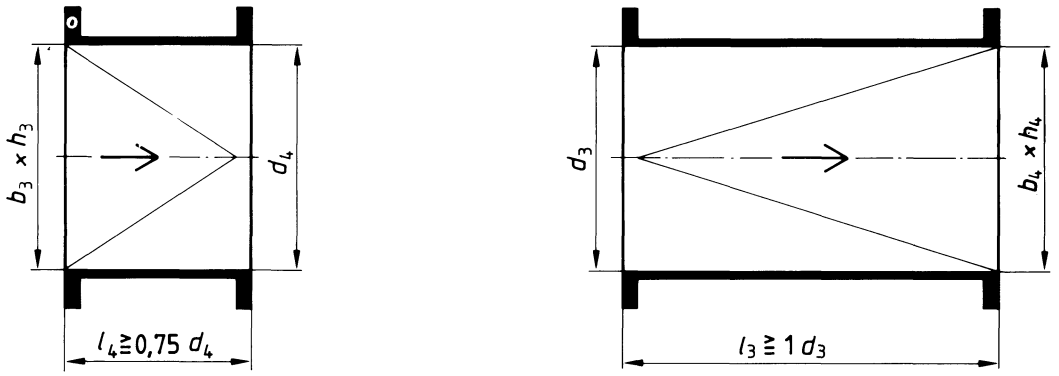


Bild 9. Übergangsstücke: Kreis – Quadrat; Mindestabmessungen

NormCD - Stand 2007-03

Bei Übergangsstücken von Kreis- auf Rechteckquerschnitt (oder umgekehrt) sollte beachtet werden:

- Der größte Erweiterungswinkel einer Seitenfläche soll die Werte der Kurve nach Bild 10 nicht wesentlich überschreiten.
- Bei einem Öffnungsverhältnis $> 1 : 1{,}5$ ist es zweckmäßig, eine Erweiterung vom Kreis- auf quadratischen Querschnitt mit einer Seitenlänge, die dem Kreisdurchmesser entspricht ($d_3 = b_4$), vorzunehmen. Erst dann ist vom Quadrat auf den gewünschten Rechteckquerschnitt (z. B. nach Bild 11) überzugehen [12].

Das Übergangsstück Kreis – Quadrat ($d_3 = b_4$) soll mindestens $l_3 = d_3$ lang sein (siehe Bild 9). Sollte bei einem Übergangsstück Quadrat – Kreis ($b_3 = d_4$) ein Rohrstück geringerer Länge notwendig sein, so darf dessen Baulänge l_4 nicht kleiner als $0{,}75 \cdot d_4$ sein (max. Verjüngungswinkel $\leq 30°$).

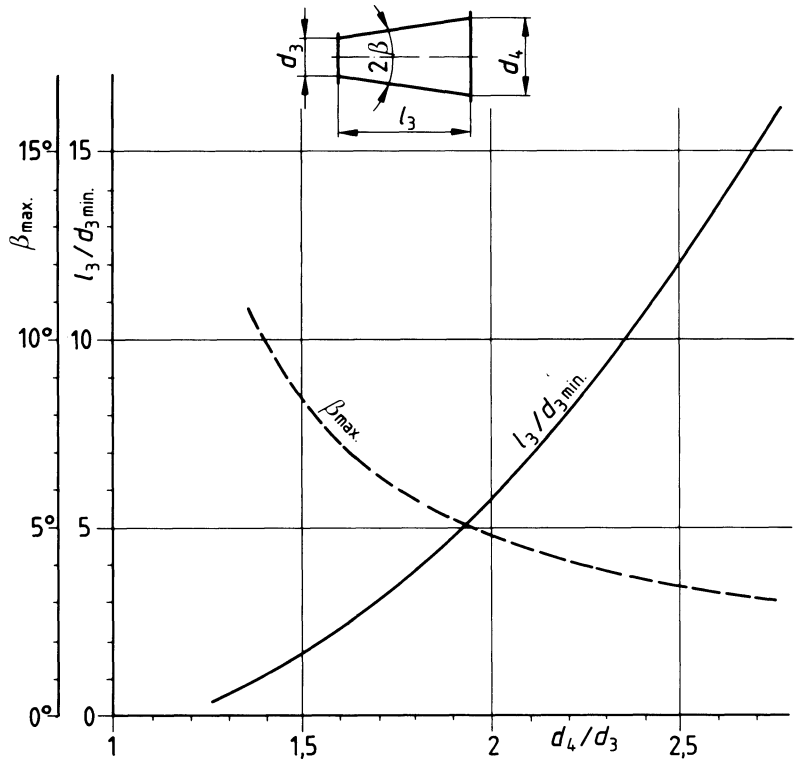


Bild 10. Mindestlänge l_3/d_3 und maximaler Öffnungswinkel β_{max} von Kreis-Diffusoren in Abhängigkeit vom Durchmesserverhältnis d_4/d_3 [10, 11, 12]

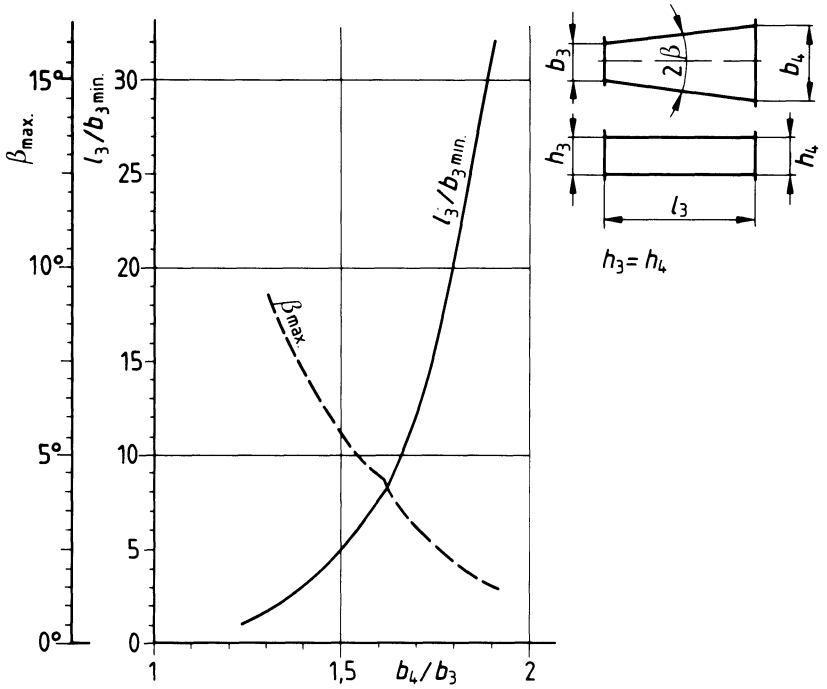


Bild 11. Mindestlänge l_3/b_3 und maximaler Öffnungswinkel β von ebenen Diffusoren in Abhängigkeit vom Breitenverhältnis b_4/b_3 [10, 11, 12]

NormCD - Stand 2007-03

5.3 Hilfsventilator

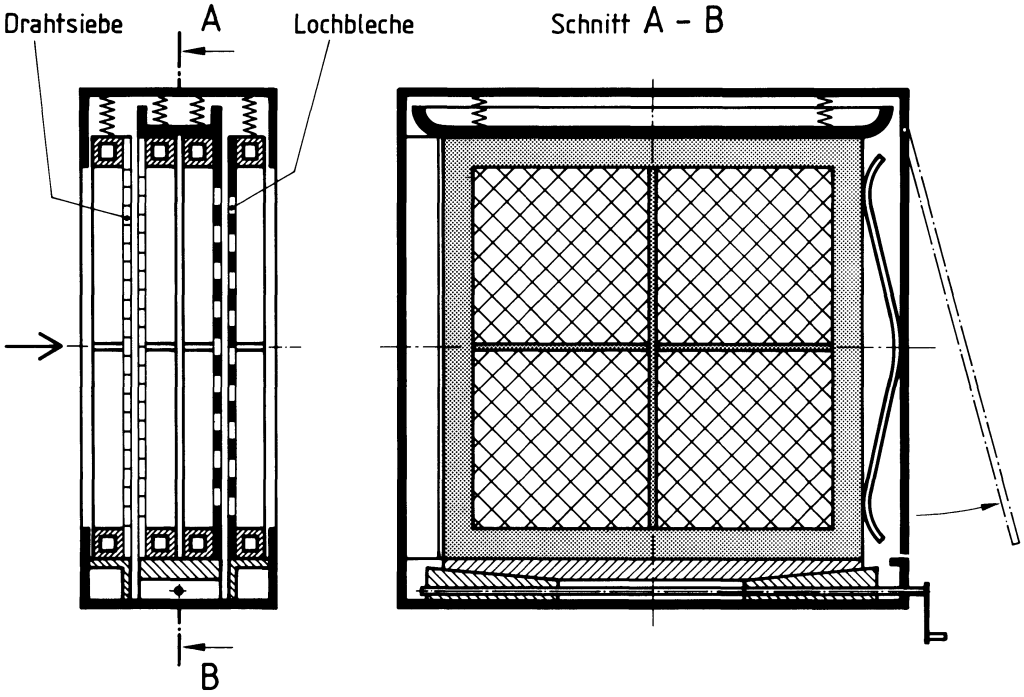
Um auf einem Ventilatorprüfstand den Betriebspunkt „$\dot{V} = \dot{V}_{max}$; $\Delta p = 0$" des zu untersuchenden Ventilators messen zu können, benötigt man einen Hilfsventilator. Der Hilfsventilator soll regelbar sein. Er ist so zu bemessen, daß er bei dem größten zu erwartenden Volumenstrom einen Totaldruck erzeugt, der mindestens dem Eigenwiderstand Δp_v des Prüfstandes bei voll geöffneter Drossel einschließlich dem dabei zu erwartenden Ausblasverlust p_{d2} entspricht. Als Hilfsventilatoren sind Axial- oder Radialventilatoren zu verwenden, deren Kennlinie in dem verlangten Bereich stabil ist und die eine möglichst gleichförmige Abströmung haben. Wird der zu untersuchende Ventilator bei der Messung der Kennlinie stark gedrosselt oder im Bereich seiner Abreißgrenze gemessen, so ist der Hilfsventilator abzuschalten.

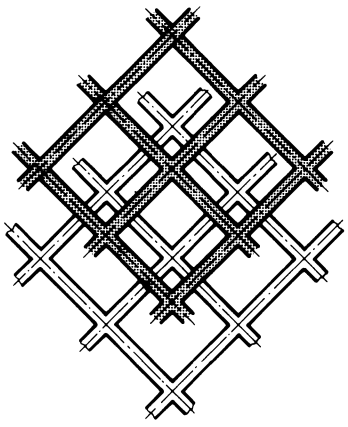
Um bei der Volumenstrommessung Störungen durch den Betrieb des Hilfsventilators zu vermeiden, ist beim saugseitigen Rohr- und Kammerprüfstand am Ende des Übergangsstücks ein Gleichrichter (siehe Abschnitt 5.6.3) anzuordnen. Eine gegebenenfalls vom Laufrad des Hilfsventilators ausgehende, entgegen der Hauptströmungsrichtung sich ausbreitende Drallströmung wird damit gegenüber der Volumenstrom-Meßeinrichtung abgeschirmt. Die Nachlaufströmung des Hilfsventilators muß entweder durch einen zweiten nachgeschalteten Gleichrichter oder durch gleichrichterähnliche Leitvorrichtungen (siehe z. B. Bild 13), die im Zusammenhang mit der Regeldrossel ohnehin notwendig sind, ausgeglichen werden.

5.4 Regeleinrichtung

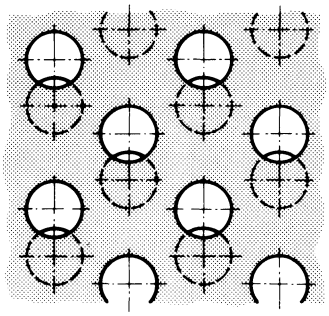
Ventilator-Prüfstände sollen grundsätzlich mit Regeleinrichtungen ausgerüstet sein, die

- eine stetige, gleichmäßige Regelung des Volumenstroms zulassen,
- eine über den Drosselquerschnitt möglichst gleichmäßig verteilte Drosselung von Teilströmen ermöglichen,





Schema: Drahtsiebverstellung



Schema: Lochblechverstellung

Bild 12. Sieb-Lochblech-Drossel mit stetiger Verstellung (Konstruktionsbeispiel)

NormCD - Stand 2007-03

- in relativ kurzem Abstand von der Abströmseite auch bei starker Drosselung eine gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung in der anschließenden Meßstrecke (Kammer oder Rohr) haben,
- auch bei starker Drosselung auf der Zuströmseite keine Störungen im Geschwindigkeitsfeld erzeugen, die gegebenenfalls die Volumenstrommessung beeinflussen,
- keine mechanisch schwingenden Bauteile haben,
- bei voll geöffneter Einstellung einen möglichst geringen Eigenwiderstand haben.

5.4.1 Sieb-, Lochblechdrossel

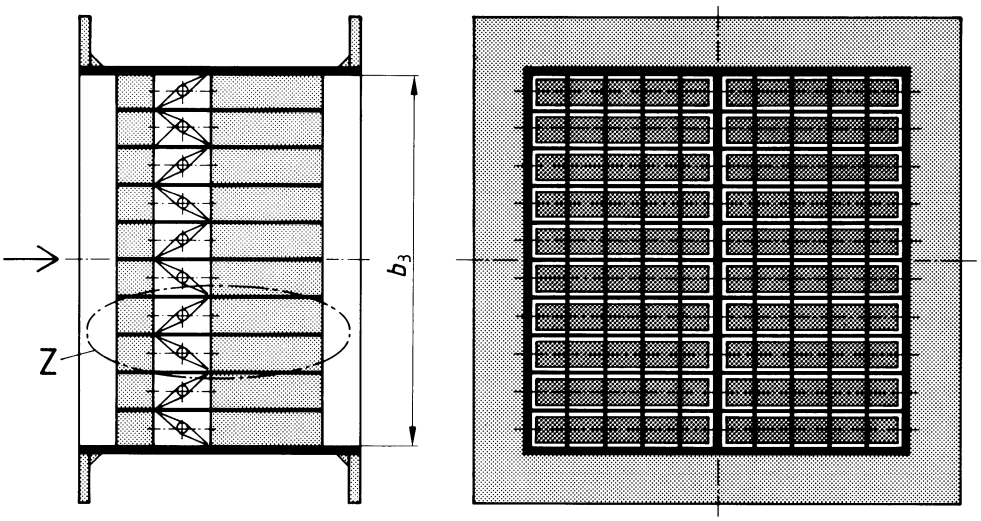
In einem Wechselrahmen werden je 2 Siebe bzw. Lochbleche in einem Führungsgehäuse so gegeneinander gestellt, daß jeweils eins davon durch eine Feingewindespindel und gegenläufige Keile sehr fein einstellbar gegen das andere bewegt werden kann (siehe Bild 12). Durch entsprechende Auslegung von einem Drahtsiebpaar (z. B. Widerstandszahl $\zeta \approx 0{,}5$ bis 6) und Dazuschalten zweier Lochplatten (Widerstandszahl $\zeta \approx 6$ bis ∞ ist eine abgestufte kontinuierliche Regelung möglich.

Wird der Sieb-/Lochblechdrossel ein Hilfsventilator vorgeschaltet, so muß ein Gleichrichter vor dem Anschluß des Übergangsstücks eingebaut werden. In Bild 12 ist als Beispiel die Verstellung zueinander passender Drahtgitter und Lochblechmuster dargestellt.

5.4.2 Gegenläufige Klappendrossel

Um eine gleichförmige, in jeder Klappenstellung achsparallele Abströmung hinter einer Klappendrossel (siehe Bild 13) zu erzielen, ist es notwendig, Leitbleche zwischen jeder Klappe anzuordnen [6]. Die Breite der Teilkanäle sollte $b_R = b_3/6$ nicht überschreiten. Damit die Leitbleche genügend versteift sind und gleichzeitig eine gute Vereinheitlichung der Geschwindigkeitsverteilung erzielt wird, sollen auf der Anströmseite der Drossel die Leitflächen nach Art eines kurzen Kastengleichrichters ($l \geq 1 \cdot b_R$), auf der Abströmseite nach Art eines längeren Kastengleichrichters ($l \geq 3 \cdot b_R$) versteift werden. Die Länge der Drosselklappen ($l \approx 1{,}5 \cdot b_R$) muß so bemessen sein, daß sie im geschlossenen Zustand in einem Winkel von etwa 45° zur Strömungsrichtung stehen. Im Schließzustand müssen die Klappen gleichmäßig einjustiert sein (siehe Abschnitt 7.2). Bei großen Drosseln ($b_3 \geq 500$ mm) sollten die Klappen zur Versteifung profiliert sein.

Anschlußstücke (Kreis – Quadrat) – beim Anschluß an eine Kammer kann gegebenenfalls das abströmseitige Übergangsstück entfallen – sind entsprechend Bild 9 vorzusehen.



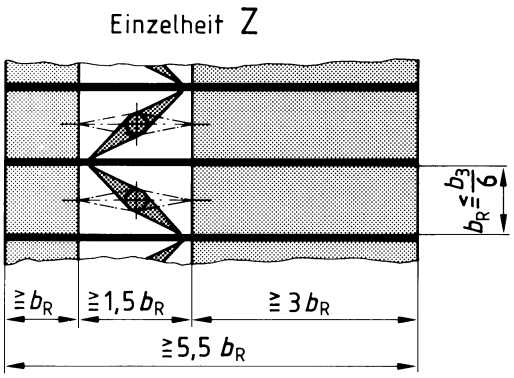


Bild 13. Gegenläufige Klappendrossel mit Leitflächen (Kastengleichrichter) (Konstruktionsbeispiel) (Anschlußstücke nach Bild 8, [6])

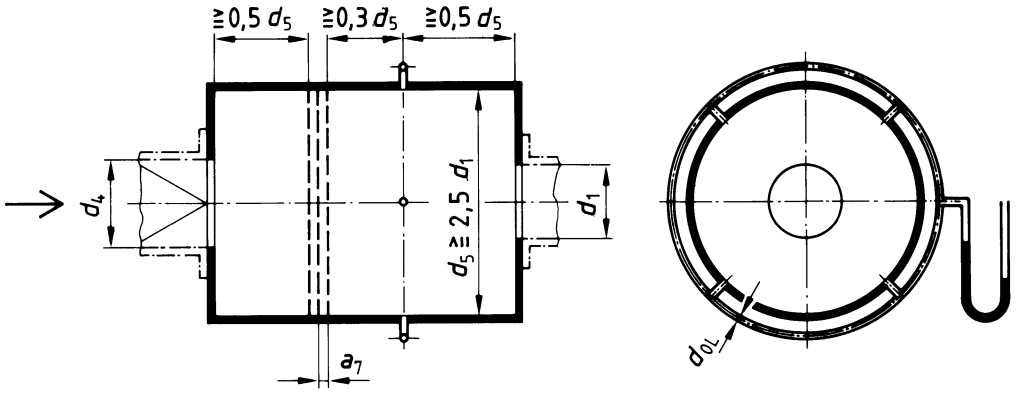
NormCD - Stand 2007-03

5.5 Kammer-Meßstrecke

Zweck der Kammer-Meßstrecke (siehe Bild 14) ist es, eine dem Ansaugen aus dem freien Raum entsprechende, gleichmäßige Zuströmung zum Ventilator (Senkenströmung) zu gewährleisten. Im Meßquerschnitt der Druckabnahme vor dem Ventilatoreintritt wird eine drallfreie, achsparallele Strömung mit einem nahezu rechteckigen Geschwindigkeitsprofil verlangt. Deshalb werden in bestimmtem Abstand vor der Druckabnahme Lochplatten, Gleichrichter und/oder Stausiebe angeordnet.

Bei Ventilatoren mit einem saugseitigen Antrieb oder bei 2-flutigen Ventilatoren wird ein entsprechender Mindestabstand zwischen Druckabnahme und dem am nächsten gelegenen Teil des Ventilators in der Meßkammer verlangt, d. h. man muß je nach Einbaubedingungen eine gegenüber den Mindestabmessungen verlängerte Meßkammer verwenden. Eventuell erforderliche Stützkonstruktionen sind so in der Meßkammer anzuordnen, daß sie in der Projektion außerhalb des Einlaufquerschnitts und symmetrisch zu diesem liegen.

Beim 2-flutigen Ventilator muß die Mindestbreite der Meßkammer der zweiseitigen Zuströmung Rechnung tragen. Es ist zweckmäßig, eine Kammer mit quadratischem oder rechteckigem Querschnitt zu wählen, deren Gesamtbreite b_5 sich aus der Ventilatorbreite b_{ges} und einem freien Raum um die beiden Ansaugöffnungen entsprechend einer Halbkugel mit dem Radius $a_1 = 1{,}25 \cdot d_1$ ergibt. Im allgemeinen genügt damit auch bei einer verlängerten Meßkammer eine Gesamtbreite von 1,5 bis $2 \cdot d_5$ (siehe Bilder 15 und 16).



Mindestabmessungen der Kammer (siehe auch [9]):

Kammerdurchmesser	d_5	$\geq 2{,}5 \cdot d_1$
Kreisquerschnitt	A_5	$= \frac{\pi}{4} \cdot d_5^2$
Quadratischer Querschnitt	A_5	$= d_5^2$
Rechteckiger Querschnitt	A_5	$= h_5 \cdot b_5$
Gleichwertiger Kammerdurchmesser	d_5	$= \sqrt{h_5 \cdot b_5} \geq 2{,}5 \cdot d_1$
	($h_{5\,min}$	$\geq 2 \cdot d_1$)
	($b_{5\,max}$	$\leq 1{,}5 \cdot h_5$)

Mindestabstand:

Kammeranschluß bis Lochplatte	$\geq 0{,}5 \cdot d_5$
Sieb bis Druckabnahme	$\geq 0{,}3 \cdot d_5$
Druckabnahme bis Ventilatoreinlauf bzw. dem nächstgelegenen Bauteil	$\geq 0{,}5 \cdot d_5$

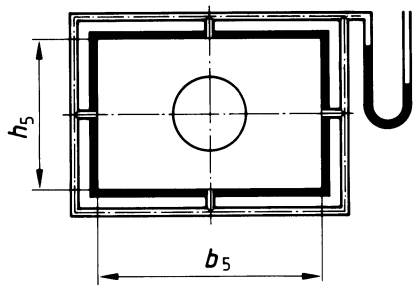


Bild 14. Kammer-Meßstrecke; Mindestabmessungen

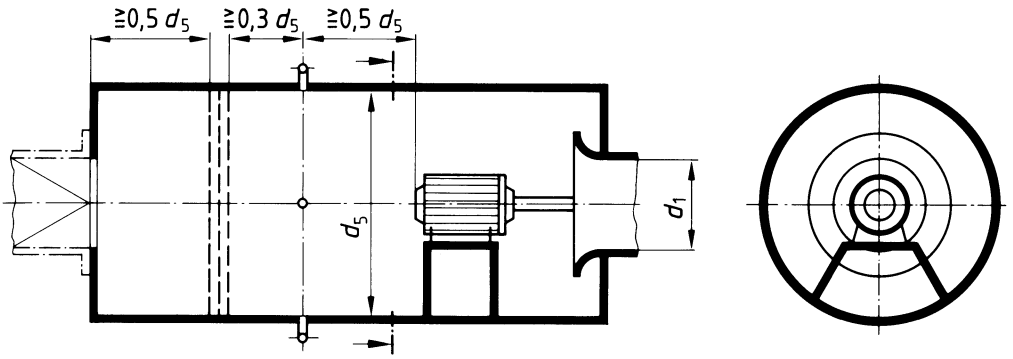


Bild 15. Verlängerte Kammer-Meßstrecke; Mindestabmessungen bei saugseitigem Antrieb

NormCD - Stand 2007-03

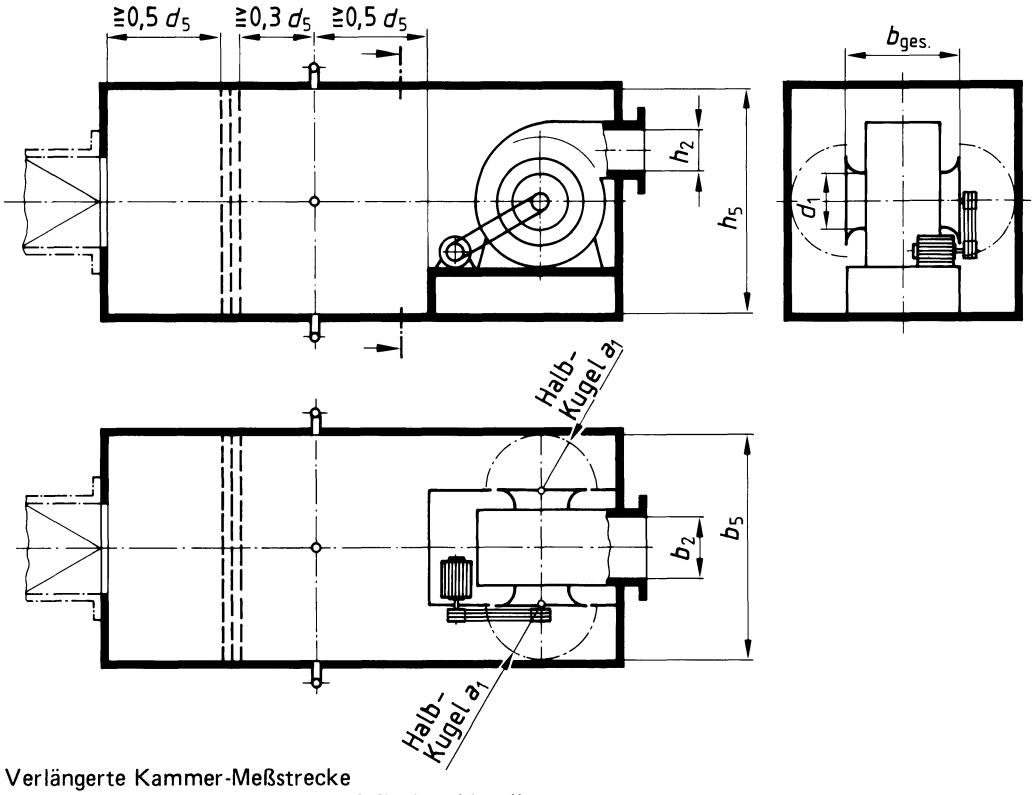


Bild 16. Verlängerte Kammer-Meßstrecke
Mindestabmessungen bei Einbau 2-flutiger Ventilatoren

5.5.1 Prallplatte

Am Einlauf der Meßkammer kann zur Vereinheitlichung der Strömung eine praktisch als „durchlässige Prallplatte" wirkende Lochplatte oder ein Stausieb angeordnet sein (siehe Bild 17). Der Anschluß des Einlaufs an die Meßkammer muß abgerundet sein (Abrundungsradius $r_4 \geq 0{,}2 \cdot d_4$). Dabei soll bei kreisförmigem Anschluß der Durchmesser des Stausiebes – bzw. bei quadratischem Anschlußquerschnitt dessen Kantenlänge – $1{,}4 \cdot d_4$ betragen.

Der Abstand $y \cdot d_4$ des Stausiebes von der Stirnseite der Meßkammer soll den im Diagramm $y = f\,(d_5/d_4)$ angegebenen Werten (siehe Bild 17) entsprechen.

Die Widerstandszahl ζ_7 des Stausiebes soll den im Diagramm $\zeta_7 = f\,(d_5/d_4)$ angegebenen Zahlenwerten entsprechen. Für Runddrahtsiebe können die Widerstandszahlen ζ_7 entsprechend Abschnitt 5.5.2 mit guter Näherung berechnet werden.

Das Stausieb ist so zu versteifen, daß auch bei großen Zuströmgeschwindigkeiten keine Schwingungen auftreten. Es kann vorteilhaft sein, die Stauplatte auf einem Gitterrost zu befestigen, der seinerseits mit Streben an der Stirnseite der Meßkammer befestigt ist. Der Abstand zwischen Prallplatte und Bremssieb der Meßkammer soll mindestens

$$\frac{d_5 - 1{,}4 \cdot d_4}{2}$$

betragen.

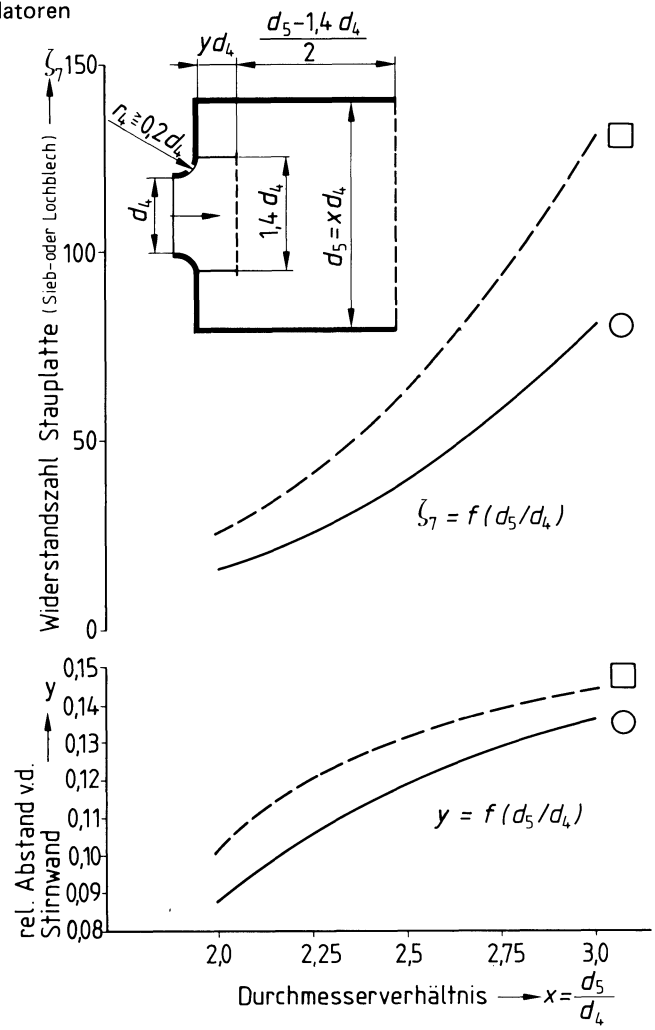
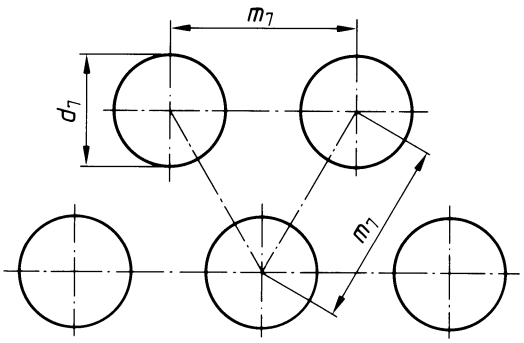


Bild 17. Prallplatten-Stausieb, Eintritt Meßkammer, für runde und quadratische Meßkammern

NormCD - Stand 2007-03

Lochplatte



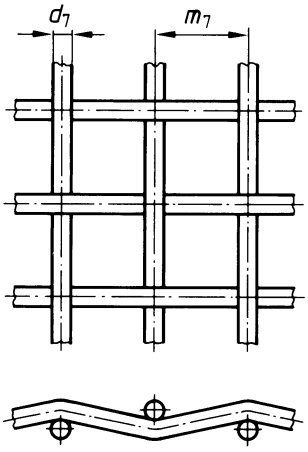
Versperrungsfaktor: $\phi_7 = 1 - \frac{A_{o7}}{A_{t7}}$

$$\phi_7 = 1 - \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{3}} \left(\frac{d_7}{m_7}\right)^2$$

d_7 Lochdurchmesser

m_7 Lochabstand

Runddrahtgitter und -sieb



A_{o7} = freier Querschnitt

A_{t7} = Gesamt-Querschnitt

$$\phi_7 = 1 - \left(1 - \frac{d_7}{m_7}\right)^2$$

d_7 Drahtdurchmesser

m_7 Maschenweite

Reynoldszahl der Lochplatten- bzw. Siebströmung: $Re_7 = \frac{\bar{c}_5 \cdot d_7}{\nu \cdot (1 - \phi_7)}$

Druckabfallzahl einer Lochplatte bzw. eines Siebes:

$$\zeta_7 = \frac{\Delta p_7}{\frac{\varrho}{2} \cdot \bar{c}_5^{\,2}} = \left(\frac{1}{C_{cL}\,(1 - \phi_7)} - 1\right)^2$$

nach [15]

$C_{cL} = f(\phi_7)$ Kontraktionszahl der Strömung durch dünne Lochplatten

$$\zeta_7 = 6 \cdot \frac{\phi_7}{(1 - \phi_7)^2} \cdot Re_7^{-\frac{1}{3}} \quad \text{nach [14]}$$

$$\zeta_7 = \left(\frac{1}{C_{cs} \cdot (1 - \phi_7)} - 1\right)^2 \quad \text{nach [15]}$$

$$\zeta_7 = \frac{\phi_7}{(1 - \phi_7)^2} \cdot c_w \quad \text{nach [16]}$$

$C_{cs} = f(\phi_7)$ Kontraktionszahl der Strömung durch Runddrahtgitter und Siebe

$c_w = f(Re_7)$ Widerstandszahl für Runddrahtsiebe

Bild 18. Kenngrößen von Lochplatten, Runddrahtgittern und -sieben

5.5.2 Lochblech, Bremssieb

Zur Vergleichmäßigung der Zuströmung zur Kammer ist im Abstand des halben Kammerdurchmessers d_5 bzw. der halben Kammerbreite b_5 hinter dem Anschluß der Regeleinrichtung ein Lochblech anzuordnen, dessen Abmessungen folgende Bedingungen erfüllen:

Lochdurchmesser d_7	$3 \geq d_7 \geq \frac{d_5}{200}$	mm
Versperrungsfaktor ϕ_7	0,3 bis 0,4	

Danach sollten zur weiteren Vereinheitlichung der Strömung Bremssiebe im Abstand $a_7 \geq 10 \cdot m_7$ mit einem Versperrungsfaktor $\phi_7 \leq 0{,}5$ angeordnet sein. Dabei sind Siebe mit einer Maschenweite $m_7 \geq 3$ mm zu verwenden, um während des Betriebs ein allmähliches Zusetzen durch Staub zu vermeiden.

Um einen guten Ausgleich der Strömung zu erreichen, sollte die Widerstandszahl aller Siebe in der Kammer etwa in der Größenordnung von $\zeta_7 = 2$ bis 3 sein. Die Siebe sollen in der Kammer fest verspannt sein, so daß sie während des Betriebs nicht flattern.

Anmerkung: Druckverlustzahlen für Lochplatten, Runddrahtgitter und -siebe sind aus den anderen Unterlagen [14, 15, 16] in den Bildern 18 und 19 zusammengestellt.

Die Widerstandszahl mehrerer hintereinander angeordneter Siebe entspricht etwa der Summe der Widerstandszahlen der einzelnen Siebe [14].

NormCD - Stand 2007-03

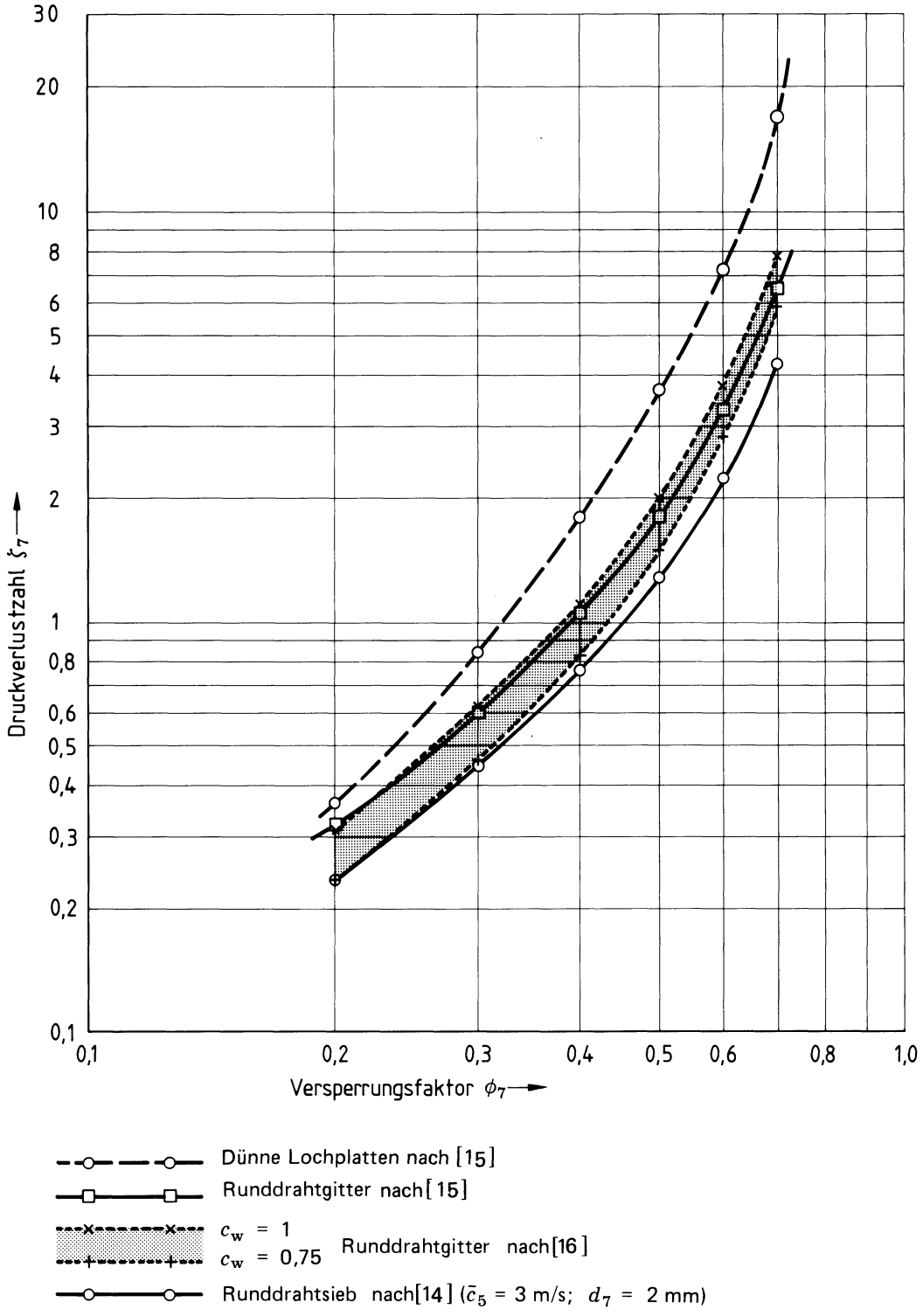


Bild 19. Druckverlustzahl einzelner Lochbleche, Runddrahtgitter und Siebe nach [14, 15, 16]

NormCD - Stand 2007-03

5.5.3 Druckabnahme über Wandanbohrung

Die Druckabnahme an der Meßkammer erfolgt mit mindestens 4 Wandbohrungen, die gleichmäßig über den Umfang verteilt sind:

Bohrungsdurchmesser d_B = 1 bis 3 mm

Schlauchanschlußdurchmesser $d'_B \geq 2 \cdot d_B$

Ausführung scharfkantig und gratfrei, senkrecht zur glatten Innenwand

Länge der Bohrung $l_B = 2 \cdot d_B$

(siehe Bild 20).

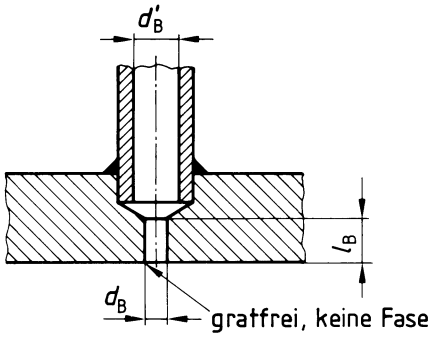
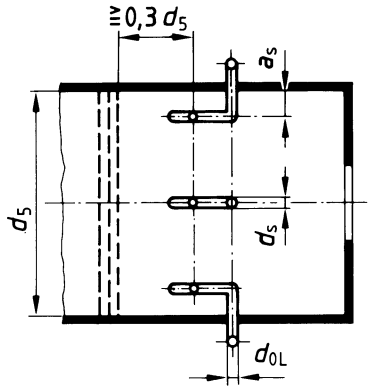
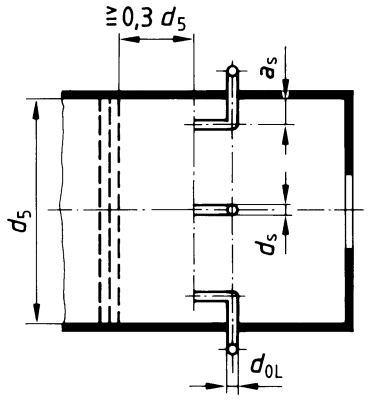


Bild 20. Druckabnahme über Wandanbohrung



a) Statische Druckmessung



b) Totaldruckmessung

Bild 21. Druckabnahme mit Sonden

Sondendurchmesser: $d_s \leq 0{,}01\, d_5$

Wandabstand der Sonde: $a_s = \frac{d_5}{8}$

Die Druckabnahmebohrungen werden untereinander mit einer Ringleitung verbunden, deren Durchmesser $d_{0L} \geq 4 \cdot d_B$ ist. Der Anschluß zum Druckmeßgerät erfolgt zwischen zwei Druckabnahmeanschlüssen der Ringleitung (siehe Bild 14). Die Anschlüsse sollten abnehmbar sein, um gegebenenfalls Einzeldruckmessungen durchführen zu können.

5.5.4 Druckabnahme mit Sonden

Sind die Wände der Meßkammer nicht ausreichend glatt, so sollen achsparallel ausgerichtete Sonden zur Abnahme des statischen Drucks oder des Totaldrucks an den vorgesehenen Stellen im Meßquerschnitt der Kammer fest eingebaut werden. Der Sondendurchmesser sollte $d_s \leq 0{,}01 \cdot d_5$ sein. Die Sonden werden im Abstand $a_s = 1/8 \cdot d_5$ von der Wand aus so eingebaut, daß deren Bohrungen in Höhe des Meßquerschnitts ($0{,}3 \cdot d_5$ Abstand vom letzten Sieb) liegen (siehe Bild 21). Die Sonden sind durch eine abnehmbare Ringleitung zu verbinden; der Druckmeßgerätanschluß liegt zwischen zwei Sondenanschlüssen (siehe Bild 14).

5.5.5 Ventilator-Anschluß und -einbau

Der Einbau des Ventilators an der Stirnseite der Meßkammer hat dem für den Ventilatortyp vorgeschriebenen Wandanschluß zu entsprechen (siehe Bild 22). Dies kann sowohl durch eine Befestigung der Einlaufdüse auf der Wand (Bild 22 a) oder durch eine am Ventilator vorgesehene Befestigungsplatte (Bilder 22 b und 22 d) als auch durch Befestigung am Austrittsflansch auf der Wand (Bild 22 c) geschehen. Bei Ventilatoren, die aus dem freien Raum ansaugen und deren Einlauf nicht mit der Wand abschließt (Bild 22 c), muß der Einlauf im Abstand $a_1 \leq d_1/2$ vor der Stirnseite der Meßkammer angeordnet sein [3, 4].

Ventilatoren, die zum Einbau in Rohrleitungen bestimmt sind und ohne eine vom Hersteller festgelegte Einlaufdüse geliefert werden, sollen, falls nicht anders vereinbart, mit einer Einlaufdüse mit einem Abrundungsradius $r_1 \geq d_1/5$ auf dem Prüfstand untersucht werden. Dabei soll die Einlaufdüse mit der Stirnwand der Kammer abschließen (siehe Bild 22 a).

5.6 Rohrmeßstrecke

5.6.1 Meßstrecke für saugseitigen Rohrprüfstand

Die Meßstrecke (siehe Bild 4) besteht aus dem Meßrohr mit Druckabnahme, Gleichrichter und Anschlußstück für den Ventilator. Der Durchmesser d_5 der Meßstrecke muß mindestens ebenso groß oder größer als das 1,15fache des Einlaufdurchmessers d_1 des zu messenden Ventilators sein. Bei Ventilatoren mit rechteckigem Einlaufquerschnitt muß der Durchmesser d_5 mindestens ebenso groß wie die Länge der Diagonalen des Rechteckquerschnitts gewählt werden. Überschreitet das Durchmesserverhältnis d_5/d_1 der Rohrstrecke den Wert 2,5, so ist eine Kammermeßstrecke vorzuziehen.

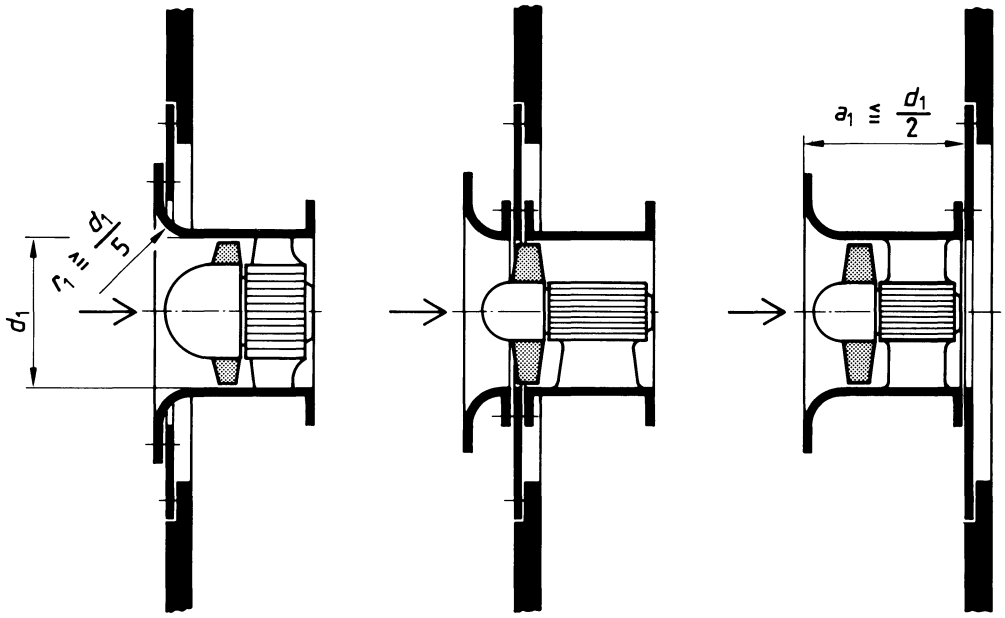
5.6.1.1 Meßrohr

Das Meßrohr soll aus einem zylindrischen, glattwandigen Rohr hergestellt sein, daß $l_5 \geq 2{,}5 \cdot d_5$ lang ist und dessen Durchmesser nicht mehr als um $\Delta d/d_5 = \pm 0{,}005$ abweicht.

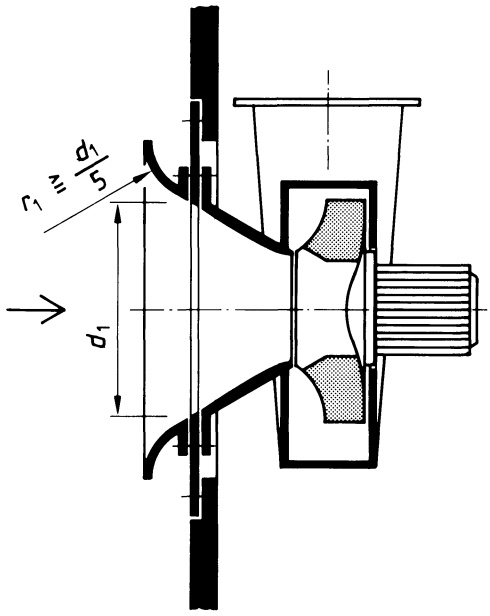
5.6.1.2 Druckabnahme

Die Meßebene für die Wanddruckabnahme soll im Abstand $2 \cdot d_5$ hinter der Regeleinrichtung angeordnet sein. Die Druckabnahme ist nach Abschnitt 5.5.3 durchzuführen (siehe Bild 20).

NormCD - Stand 2007-03



a) b) c)



d)

Bild 22. Anschluß des Ventilatoreinlaufs an die Meßkammer

NormCD - Stand 2007-03

5.6.1.3 Gleichrichter

Der Gleichrichter hat die Aufgabe, die Strömung an der Druckmeßstelle gegen die gegebenenfalls vom Ventilator ausgehenden, der Zuströmung entgegengerichteten Wirbelsysteme abzuschirmen. Es sollen Waben-Gleichrichter mit möglichst dünnen Zwischenwänden verwendet werden, die folgende Mindestabmessungen haben:

Wabendurchmesser $d_6 \leq 0{,}1 \cdot d_5$

Längenverhältnis $\frac{l_6}{d_6} \geq 5$

Bei großen Gleichrichtern sollte zusätzlich das

Wanddickenverhältnis $\frac{s_6}{d_6} \leq 0{,}02$

oder die Wanddicke $s_6 \leq 2$ mm sein.

5.6.2 Meßstrecke für druckseitigen Rohrprüfstand

Die Meßstrecke (siehe Bild 5) besteht aus dem Meßrohr mit Druckabnahme, Gleichrichter und einem Übergangsstück zur Anpassung an die Volumenstrom-Meßeinrichtung.

5.6.2.1 Meßrohr

Die Querschnittsform des Meßrohrs muß dem Ausblasquerschnitt des zu prüfenden Ventilators entsprechen. Die Mindestlänge des Meßrohrs beträgt:

$l_2 \geq 3 \cdot d_2$ bzw. $l_2 \geq 3 \cdot d_{h2}$

Es soll möglichst glattwandig sein. Abweichungen der Querschnittsabmessungen ($\Delta\, d/d$ bzw. $\Delta\, b/b$; $\Delta\, h/h$) sollen den Wert ± 0,005 nicht überschreiten.

5.6.2.2 Druckabnahme

Der Meßquerschnitt für die Wanddruckabnahme ist im Abstand $0{,}3 \cdot d_5$ vor dem Gleichrichter anzuordnen. Die Druckabnahme ist entsprechend Abschnitt 5.5.3 einzurichten.

5.6.2.3 Gleichrichter

Der Gleichrichter hat die Aufgabe, eine drallfreie, gleichmäßige Zuströmung zur Volumenstrom-Meßstrecke sicherzustellen. Abmessungen siehe Abschnitt 5.6.1.3.

5.7 Ventilatoren mit druckseitiger Ausgleichsstrecke

Werden Ventilatoren druckseitig an Rohrleitungen angeschlossen (siehe DIN 24 163 Teil 1 *), Abschnitt 4), so kann die Normkennlinie des Systems „Ventilator und druckseitige Ausgleichsstrecke" auf einem saugseitigen Kammerprüfstand ermittelt werden [1, 2, 17]. Dabei ist zu beachten:

a) Das Rohrstück ist zentrisch am Ventilatoraustritt anzuschließen.
b) Die Durchmesser- bzw. Breiten- und Höhenabweichungen des Rohrstücks gegenüber dem Ventilatoraustritt sollen nicht mehr als 0,5 % betragen.
c) Für die Mindestlänge l_2 der druckseitigen Ausgleichsstrecke gelten die Beziehungen nach DIN 24 163 Teil 1*), Abschnitt 7.2.3.2.

5.8 Störungsfreie Ausblas-Zone

Bei saugseitigen Prüfstandsanordnungen soll der Luftstrom des frei ausblasenden Ventilators bzw. des Ventilators mit druckseitiger Ausgleichsstrecke in einen Raum austreten, der frei von Einbauten und Störkörpern ist. Folgende Abmessungen soll diese störungsfreie Zone haben (siehe auch Bild 3 und Bild 4):

$a_2 = b_2 \geq 2{,}5 \cdot d_2$ bzw. $a_2 = b_2 \geq 2{,}5 \cdot d_{h2}$

*) Ausgabe Januar 1985

6 Meßverfahren und Meßgeräte

Bei der Messung der einzelnen Betriebspunkte des zu untersuchenden Ventilators ist grundsätzlich die Ablesung der Meßgeräte erst dann vorzunehmen, wenn der Beharrungszustand erreicht ist.

6.1 Messung der Zustandsgrößen

Der Zustand der vom Ventilator geförderten Luft ist durch Druck, Temperatur und Feuchte bestimmt.

6.1.1 Luftdruck

Der Luftdruck im Versuchsraum wird mit einem Barometer gemessen. Statische Drücke der Luft an Meßstellen des Prüfstandes werden durch Messen des Druckunterschieds $\Delta\, p$ an der Meßstelle gegenüber dem Luftdruck im Versuchsraum mit Hilfe eines Differenzdruck-Meßgerätes erfaßt.

6.1.2 Temperatur

Temperaturmessungen werden entsprechend VDI/VDE 3511 durchgeführt.

6.1.3 Feuchte

Der Feuchtegehalt der vom Ventilator geförderten Luft wird z. B. mit Hilfe eines Assmannschen Aspirationspsychrometers im Versuchsraum vor der Einlaufmeßdüse bestimmt.

6.2 Druckmessung

Zur Bestimmung des Volumenstroms und der Druckerhöhung des Ventilators müssen Wirkdrücke an Drosselmeßgeräten und Druckdifferenzen in den Kammer- bzw. Rohrmeßstrecken gegenüber dem Luftdruck im Versuchsraum gemessen werden.

6.2.1 Messung von Wirkdrücken

Bei den bei Ventilatorprüfständen üblichen Durchflußmessungen mit Einlaufmeßdüsen (oder auch Drosselmeßgeräten anderer Bauart) werden Wirkdrücke im Bereich von $\Delta\, p_o$ = 0 bis 500 Pa, gelegentlich bis zu 1000 Pa erfaßt.

Dazu werden zweckmäßigerweise Mikrodruckmeßgeräte verwendet, z. B.:

- Betz-Projektions-Schwimmer-Manometer, Meßbereich 0 bis 3930 Pa, auch mit Umsetzer für Digital-Anzeige
- Recknagel-Schrägrohrmanometer mit einstellbarem Meßbereich, max. Meßbereich 0 bis 1 500 Pa, min. Meßbereich 0 bis 75 Pa
- Schrägrohrdruckmeßgeräte mit festem Meßbereich

Werden Wirkdrücke z. B. mit Hilfe elektronischer Differenzdruckmeßgeräte oder z. B. mit Schrägrohrdruckmeßgeräten erfaßt, so ist es zweckmäßig, deren Justierung vor der Messung statisch zu überprüfen. Dazu können außer den obengenannten folgende Meßgeräte verwendet werden:

- Aksania-Minimeter, Meßbereich 0 bis 1 500 Pa
- Debro-Miniskop, Meßbereich 0 bis 2 500 Pa
- Betzsches Hebelmanometer, Meßbereich 0 bis 25 Pa

NormCD - Stand 2007-03

6.2.2 Messung der Druckerhöhung

Die Messung der Druckerhöhung des zu untersuchenden Ventilators hat entsprechend DIN 24 163 Teil 1*), Abschnitt 7.2 zu erfolgen. Dazu sind außer den für die Wirkdruckmessung geeigneten Geräten zur Bestimmung größerer Druckerhöhungen folgende Meßgeräte geeignet:

- Betz-Projektions-Schwimmer-Manometer, gegebenenfalls mit Umsetzer zur digitalen Anzeige, Meßbereich 0 bis 7 860 Pa
- Einschenkel-Flüssigkeits-Druckmeßgerät mit optischer Ablese-Einrichtung (Meßbereich: je nach Druckmeßgerätflüssigkeit 0 bis 1000 mm Flüssigkeitssäule)
- Differenzdruck-Druckmeßgerät mit evakuierten Dosen oder Bourdon-Spirale, mechanische Anzeige: Zeiger mit Mehrfachumlauf, elektronische Anzeige: Digital mit elektrischem Verstärkersystem
- Elektronischer Differenzdruckaufnehmer mit entsprechendem, gegebenenfalls einregelbarem Verstärkersystem

Bei Verwendung der beiden letztgenannten Meßgeräte ist eine statische Prüfung der Anzeige, z. B. durch Vergleich mit der Anzeige von Flüssigkeitsdruckmeßgeräten, zu empfehlen.

6.3 Drehzahlmessung

Die Drehzahl des zu untersuchenden Ventilators ist für jeden Betriebspunkt seiner Kennlinie zu messen. Drehzahlmessungen sind mit einer zulässigen Abweichung von höchstens 1‰ durchzuführen.

6.4 Messung der Antriebsleistung

Die Antriebsleistung eines Ventilators ist im allgemeinen dessen Leistungsbedarf an der Welle. Ist die unmittelbare Messung der dem Laufrad zugeführten Leistung nicht möglich, so ist dies in den Katalogangaben zu vermerken bzw. es ist anzugeben, wo und wie die zugeführte Leistung gemessen wurde. Gegebenenfalls ist dabei auch anzugeben, wie der Leistungsverlust zwischen der Meßstelle und der Ventilatorwelle berücksichtigt wurde.

6.4.1 Mechanische Antriebsleistung: Eingang Laufrad P_L Eingang Kupplung (Riemenscheibe) P_w

Man mißt die mechanische Antriebsleistung unmittelbar mit Hilfe eines zwischen Antriebseinrichtung und Ventilatorwelle geschalteten Dynamometers oder mit Hilfe eines Pendelmotors, gegebenenfalls auch mittels geeichter, unmittelbar gekuppelter Elektromotoren. Dabei muß die Eichung ohne wesentliche Erhöhung der Meßunsicherheit auf die vorliegenden Betriebsbedingungen anwendbar sein.

Bei Verwendung eines Torsionsdynamometers ist gegebenenfalls dessen Ventilationsarbeit zu berücksichtigen.

Die Meßunsicherheit der Einrichtung zur Leistungsmessung soll bei Antriebsleistungen

$$P_M \leq 10\ \text{kW}: \quad \Delta P/P = \pm 1{,}5\ \%$$

$$P_M > 10\ \text{kW}: \quad \Delta P/P = \pm 1{,}0\ \%$$

nicht überschreiten; die Anzeige soll durch einfache Meßverfahren überprüfbar sein.

6.4.2 Elektrische Antriebsleistung: Eingang Motor P_M

Die dem Elektromotor bei Betrieb des Ventilators zugeführte elektrische Leistung wird mit Hilfe geeigneter Leistungsmesser bestimmt. Bei Messungen mit fertig geschalteten Leistungsmessern sind Geräte mindestens der Klasse 1,0 zu verwenden. Die Messung der Spannung, Stromstärke und Netzfrequenz dient zur Überwachung der Antriebsbedingungen. Es gilt jeweils das arithmetische Mittel der abgelesenen Werte für Spannung und Stromstärke. Im übrigen sind die einschlägigen VDE-Vorschriften zu beachten.

*) Ausgabe Januar 1985

7 Kontrollmessungen

7.1 Überprüfen normähnlicher Volumenstrom-Meßeinrichtungen

Zur Überprüfung der Volumenstrom-Meßeinrichtung eines Prüfstandes wird anstelle des zu prüfenden Ventilators eine Norm-Meßstrecke eingebaut. Als Antrieb dient ein regelbarer Ventilator, der über einen Gleichrichter mit der Meßstrecke verbunden ist (siehe Bild 23).

Durch Vergleich der Wirkdrücke, Zustandsgrößen und der Querschnittsverhältnisse wird die Durchflußzahl der normähnlichen Meßeinrichtung bei verschiedenen Volumenströmen ermittelt. Die Durchflußzahl der normähnlichen Durchfluß-Meßeinrichtung ist:

$$\alpha_o = \alpha_{VM} \cdot \frac{\epsilon_{VM}}{\epsilon_o} \left(\frac{d'_{VM}}{d_o}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{\varrho_{VM}}{\varrho_o}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_{VM}}{\Delta p_o}}$$

Die Auslegung der Vergleichsmeßstrecke sollte so erfolgen, daß deren Konstanzbereich nach Möglichkeit unterhalb des Konstanzbereichs der zu untersuchenden Meßeinrichtung liegt. Die Einstellung der Meßpunkte sollte dabei entweder durch Regelung des Ventilators selbst oder durch eine zweite dem Ventilator nachgeschaltete Drossel erfolgen.

Zur Beurteilung des Anzeigeverhaltens der zu untersuchenden Meßeinrichtung ist der Verlauf der Durchflußzahl α_o über der Reynoldszahl $Re_o = \frac{\bar{c}_o \cdot d_o}{\nu}$ oder dem Volumenstrom $\dot{V}_o$ aufzutragen.

7.2 Nachregulieren der Regeleinrichtung

Bei Verwendung einer Klappendrossel ist es notwendig, die Einstellung der einzelnen Klappen durch Abtasten der Geschwindigkeitsverteilung auf der Abströmseite der Drossel zu überprüfen (siehe Bild 24). Beim Kammerprüfstand ist die Geschwindigkeitsverteilung hinter der Klappendrossel am Ende des Anschlußstücks zur Kammer – unmittelbar vor dem Eintritt in die Kammer – zu messen.

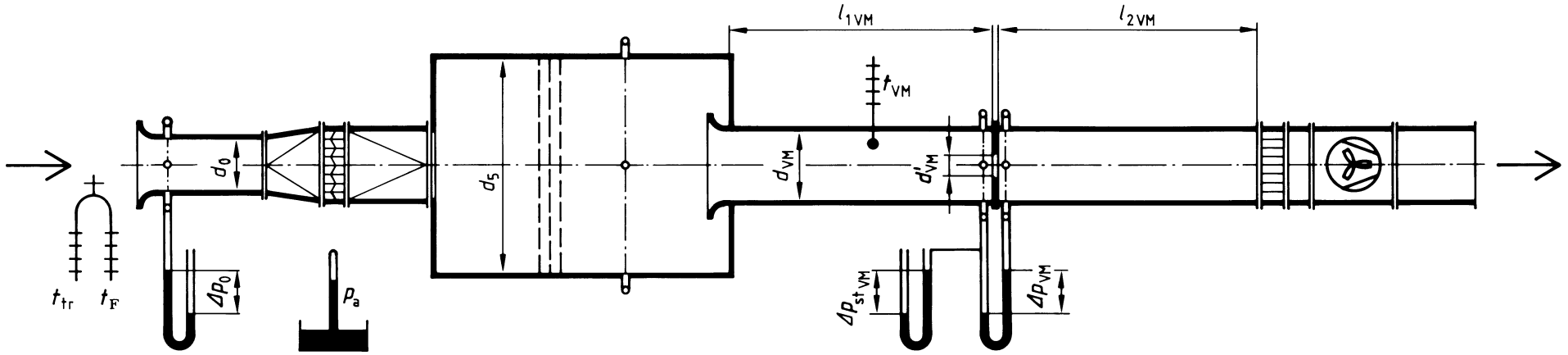
In jedem Fall sollte dabei das Geschwindigkeitsprofil, insbesondere in der Ebene quer zur Drehachse der Drosselklappen, symmetrisch sein und dem Profil einer turbulenten Anlaufströmung entsprechen. Andernfalls sind die Klappen einzeln nachzujustieren.

7.3 Geschwindigkeitsverteilung an der Druckmeßstelle

Die Geschwindigkeitsverteilung an der Druckmeßstelle soll gleichförmig sein. Sie ist durch Abtasten der Geschwindigkeit im Meßquerschnitt zu überprüfen. Bei Kammerprüfständen ist die Geschwindigkeitsverteilung in der Ebene der Druckabnahmestelle bei kleinen Luftgeschwindigkeiten zu messen. Dies kann mit Hilfe geeigneter elektrischer Thermoanemometer oder mit Stauklappen-Anemometern mit Sonden geschehen, die in einem Windkanal vorher kalibriert sein müssen.

Im allgemeinen genügt es, eine Geschwindigkeitsverteilung im Bereich kleiner, mittlerer und maximaler Volu-

NormCD - Stand 2007-03



l_{1VM} entspr. DIN 1952 und
l_{2VM} DIN 19 205

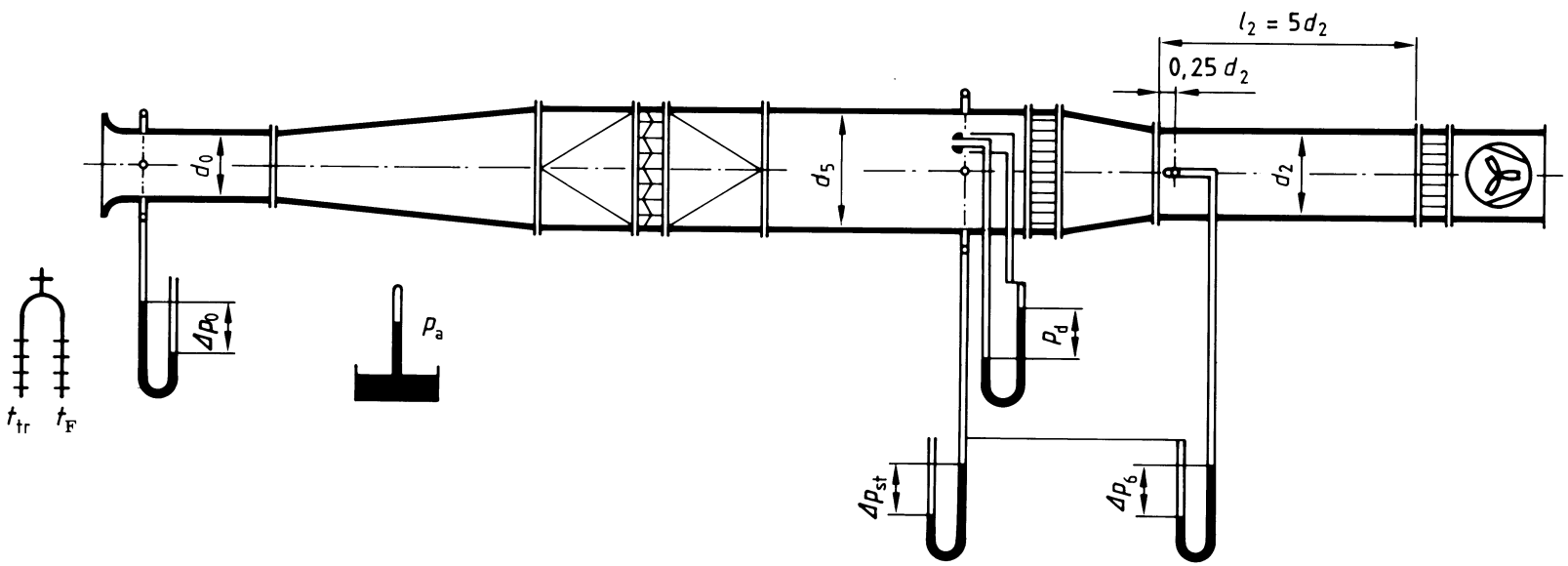
$$\dot{V}_o \cdot \varrho_o = \alpha_o \cdot \epsilon_o \cdot \frac{\pi}{4} d_o^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \varrho_o \cdot \Delta p_o} = \dot{V}_{VM} \cdot \varrho_{VM} = \alpha_{VM} \cdot \epsilon_{VM} \frac{\pi}{4} d'^2_{VM} \cdot \sqrt{2 \cdot \varrho_{VM} \cdot \Delta p_{VM}}$$

$$\alpha_o = \alpha_{VM} \cdot \frac{\epsilon_{VM}}{\epsilon_o} \cdot \left(\frac{d'_{VM}}{d_o}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{\varrho_{VM}}{\varrho_o} \cdot \frac{\Delta p_{VM}}{\Delta p_o}}$$

$$\varrho_o = \frac{p_a}{R_F \cdot T_{tr}}; \qquad \epsilon_o = 1 - \frac{1}{2 \cdot \kappa} \cdot \frac{\Delta p_o}{p_a}; \qquad \varrho_{VM} = \frac{p_a - p_{st\,VM}}{R_F \cdot T_{VM}}; \qquad \left[\epsilon_{VM} = \epsilon \left(\left(\frac{d'_{VM}}{d_{VM}}\right)^2; \frac{\Delta p_{VM}}{p_a - p_{st\,VM}}\right); \quad \alpha_{VM} = \alpha \left(\left(\frac{d'_{VM}}{d_{VM}}\right)^2; Re_{VM}\right) \text{ nach DIN 1952}\right]$$

Bild 23. Vergleichsmeßstrecke zur Überprüfung einer normähnlichen Durchfluß-Meßeinrichtung mit Hilfe eines Kammerprüfstandes

NormCD - Stand 2007-03



$$\Delta p_{v6} = \zeta_6 \cdot \frac{\varrho_5}{2} \cdot c_5^2 \quad \text{mit} \quad \zeta_6 = \frac{\Delta p_6}{\Delta p_o} \cdot \left(1 - \frac{\Delta p_{st}}{p_a}\right) \cdot \left(\frac{d_5}{d_o}\right)^4 \cdot \frac{1}{(\alpha_o \cdot \epsilon_o)^2} - \left[\left(\frac{d_5}{d_2}\right)^4 - 1\right]; \qquad \frac{\varrho_5}{2} \cdot c_5^2 = \frac{1}{1 - \frac{\Delta p_{st}}{p_a}} \cdot \left(\frac{d_o}{d_5}\right)^4 (\alpha_o \cdot \epsilon_o)^2 \cdot \Delta p_o$$

Bild 24. Kontrolle der Geschwindigkeitsverteilung und des Einlaufverlustes (Beispiel: Rohrprüfstand)

NormCD - Stand 2007-03

menströme, die der Auslegung des Prüfstands entsprechen, in zwei zueinander orthogonalen Ebenen zu messen und dimensionslos aufzutragen.

Als Richtwert soll bei Kammerprüfständen ein maximales Geschwindigkeitsverhältnis von $\frac{c_{max}}{\overline{c}} \leqq 1{,}5$, bei Rohrprüfständen von $\frac{c_{max}}{\overline{c}} \leqq 1{,}2$ eingehalten werden.

7.4 Druckverlustmessung

Zur genauen Auswertung der Meßergebnisse sollten die durch die Prüfstands- und Meßstellenanordnung zusätzlich auftretenden Druck- bzw. Energieverluste bestimmt werden. Im allgemeinen entsprechen diese Verluste bei saugseitiger Prüfstandsanordnung dem Einlaufverlust.

Die Meßanordnung zur Bestimmung des Druckverlustes am Ventilatoreinlauf ist in Bild 24 dargestellt. Aus der Differenz der statischen Drücke zwischen den Druckmeßstellen im Meßrohr und dem Rohrstück, das der vorgesehenen Einlaufdüse nachgeschaltet ist, ergibt sich nach den dort angegebenen Gleichungen die Druckverlustziffer ζ_6 für eine Einlaufanordnung. ζ_6 ist gegebenenfalls in Abhängigkeit von der Reynoldszahl Re_5 bzw. dem Volumenstrom $\dot{V}$ und für verschiedene Querschnittsverhältnisse A_5/A_2 anzugeben. Aus meßtechnischen Gründen ist dabei die Druckmeßstelle im Abstand $0{,}25 \cdot d_2$ hinter dem Einlaufkonfusor anzuordnen.

8 Auswertung, Darstellung der Meßergebnisse

8.1 Auswertung der Meßergebnisse

Grundsätzlich werden für jeden Ventilator-Betriebspunkt nach Erreichen des Beharrungszustandes eine Reihe von Augenblickswerten der Drücke, Leistung, Drehzahl, Temperatur usw. abgelesen. Bei der Auswertung sind dann die arithmetischen Mittelwerte der während der Versuchsdauer gemachten Ablesungen zu errechnen und der weiteren Auswertung zugrunde zu legen.

8.1.1 Zustandsgrößen

8.1.1.1 Luftdruck

Der Luftdruck p_a im Versuchsraum wird unmittelbar gemessen. Bei der Auswertung ist die Geräteanzeige entsprechend der Meßvorschrift zu berichtigen.

Zur Bestimmung des statischen Drucks p_{st} an Meßstellen des Prüfstands ist die Differenz des statischen Drucks Δp_{st} an der betreffenden Meßstelle gegenüber dem Versuchsraum zu berücksichtigen: $p_{st} = p_a + \Delta p_{st}$

8.1.1.2 Temperaturen

Die Trocken- und Feuchttemperatur der Luft (t_{tr}; t_F) im Versuchsraum vor der Einlaufmeßdüse wird unmittelbar gemessen. Die Lufttemperatur t_1 (T_1) ist bei saugseitiger Anordnung in der Meßstrecke vor dem Ventilatoreintritt zu bestimmen. Bei druckseitiger Anordnung entspricht die Ansaugtemperatur t_1 der Lufttemperatur t_{tr} im Versuchsraum.

Zur Bestimmung der Luftdichte ϱ_o vor dem Drosselmeßgerät muß die Lufttemperatur t_o in der Durchfluß-Meßstrecke unmittelbar gemessen werden.

Die Lufttemperatur t_2 (T_2) am Ventilatoraustritt wird aus der Temperaturerhöhung ΔT der Luft im Ventilator errechnet:

$$T_2 = T_1 + \Delta T$$

Die Temperaturerhöhung ΔT kann dabei durch eine Iteration entsprechend der Beziehung

$$\Delta T = \frac{P_L}{\dot{m} \cdot c_p} = \frac{\Delta p_{fa}}{\varrho_m \cdot c_p \cdot \eta_{faL}} = \frac{\Delta p_t}{\varrho_m \cdot c_p : \eta_{tL}}$$

ermittelt werden.

Anmerkung: Die Iteration ist in folgender Form vorzunehmen:

1. $T_2 = T_1 + \Delta T$
2. $\varrho_2 = \frac{p_a}{R_F \cdot T_2}$
3. $\varrho_m = \frac{\varrho_1 + \varrho_2}{2}$ mit $\varrho_1 = \frac{p_a + \Delta p_{st}}{R_F \cdot T_1}$
4. $\eta_{tL} = \frac{\dot{m} \cdot \Delta p_t}{P_L \cdot \varrho_m}$
5. $\Delta T = \frac{\Delta p_t}{\varrho_m \cdot c_P \cdot \eta_{tL}}$

wobei T_1, P_L, $\dot{m}$, Δp_t, Δp_{st} und p_a aus der Messung ermittelt werden und die Konstanten R_F und c_p bekannt sind.

8.1.1.3 Relative Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchte φ_F kann entsprechend der Trocken- und Feuchttemperatur (t_{tr}; t_F) der Aspirations-Psychrometertafel entnommen werden [18].

Der Dampfdruck p_D des Wasserdampfes in der Luft kann mit Hilfe der Tabelle 3 entsprechend dem Sättigungsdampfdruck p_S bei der Trockentemperatur t_{tr} errechnet werden [19]:

$$p_D = \varphi_F \cdot p_S$$

8.1.1.4 Gaskonstante

Die Gaskonstante der feuchten Luft R_F wird berechnet aus

- der Gaskonstanten der trockenen Luft $R_{Luft} = 287 \frac{J}{kg \cdot K}$
- der Gaskonstanten des Wasserdampfes $R_D = 461 \frac{J}{kg \cdot K}$
- dem Dampfdruck des Wasserdampfes nach Abschnitt 8.1.1.3
- dem Luftdruck im Versuchsraum entsprechend der Beziehung

$$R_F = \frac{R_i}{1 - (1 - \frac{R_i}{R_D}) \cdot \frac{p_D}{p_a}}$$

Damit wird die Gaskonstante der feuchten Luft

$$R_F = \frac{287}{1 - 0{,}377 \cdot \varphi_F \cdot \frac{p_S}{p_a}} \cdot \frac{J}{kg \cdot K}$$

8.1.1.5 Luftdichte

Die Luftdichte ϱ_o vor der Einlaufdüse entspricht derjenigen im Versuchsraum:

$$\varrho_o = \frac{p_a}{R_F \cdot T_o}$$

Die Dichte der vom Ventilator angesaugten Luft ergibt sich bei saugseitiger Prüfstandsanordnung aus:

$$\varrho_1 = \frac{p_a - \Delta p}{R_F \cdot T_1}$$

Bei druckseitigen Rohrprüfständen ist die Luftdichte ϱ_o vor dem Drosselmeßgerät

NormCD - Stand 2007-03

Tabelle 3. Sättigungsdampfdruck p_S des Wasserdampfes, abhängig von der Feuchttemperatur t_F nach[19]

Temperatur °C	Sättigungsdampfdruck über Wasser mbar									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
−4	4,55	4,51	4,48	4,44	4,41	4,37	4,35	4,31	4,28	4,24
−3	4,89	4,87	4,83	4,79	4,76	4,72	4,68	4,65	4,61	4,59
−2	5,28	5,24	5,20	5,16	5,12	5,08	5,04	5,01	4,97	4,93
−1	5,68	5,64	5,60	5,56	5,52	5,47	5,44	5,39	5,36	5,32
−0	6,11	6,07	6,03	5,97	5,93	5,89	5,84	5,80	5,76	5,72
0	6,11	6,16	6,19	6,24	6,29	6,33	6,37	6,43	6,47	6,52
1	6,56	6,61	6,67	6,71	6,76	6,80	6,85	6,91	6,96	7,00
2	7,05	7,11	7,16	7,21	7,25	7,31	7,36	7,41	7,47	7,52
3	7,57	7,63	7,68	7,73	7,79	7,85	7,91	7,96	8,01	8,08
4	8,13	8,19	8,24	8,31	8,36	8,43	8,48	8,53	8,60	8,65
5	8,72	8,79	8,84	8,91	8,96	9,03	9,09	9,16	9,21	9,28
6	9,35	9,41	9,48	9,53	9,61	9,68	9,75	9,81	9,88	9,95
7	10,01	10,08	10,15	10,23	10,29	10,36	10,43	10,51	10,57	10,65
8	10,72	10,80	10,87	10,95	11,01	11,09	11,17	11,24	11,32	11,40
9	11,48	11,55	11,63	11,71	11,79	11,87	11,95	12,03	12,11	12,19
10	12,27	12,36	12,44	12,52	12,61	12,69	12,77	12,87	12,95	13,04
11	13,12	13,21	13,29	13,39	13,47	13,56	13,65	13,75	13,84	13,93
12	14,01	14,11	14,20	14,29	14,39	14,48	14,59	14,68	14,77	14,87
13	14,97	15,07	15,17	15,27	15,36	15,47	15,57	15,67	15,77	15,88
14	15,97	16,08	16,19	16,29	16,40	16,51	16,61	16,72	16,83	16,93
15	17,04	17,16	17,27	17,37	17,49	17,60	17,72	17,83	17,95	18,05
16	18,17	18,29	18,41	18,52	18,64	18,76	18,88	19,00	19,12	19,25
17	19,37	19,49	19,61	19,73	19,87	19,99	20,12	20,24	20,37	20,51
18	20,63	20,76	20,89	21,03	21,16	21,29	21,43	21,56	21,69	21,83
19	21,96	22,11	22,24	22,39	22,52	22,67	22,80	22,95	23,09	23,23
20	23,37	23,52	23,67	23,81	23,96	24,11	24,25	24,41	24,56	24,71
21	24,87	25,01	25,17	25,32	25,48	25,64	25,80	25,95	26,11	26,27
22	26,43	26,60	26,76	26,92	27,08	27,25	27,41	27,59	27,75	27,92
23	28,09	28,25	28,43	28,60	28,77	28,95	29,12	29,31	29,48	29,65
24	29,84	30,01	30,19	30,37	30,56	30,75	30,92	31,11	31,29	31,48
25	31,68	31,87	32,05	32,24	32,44	32,63	32,83	33,01	33,21	33,41
26	33,61	33,81	34,01	34,21	34,41	34,61	34,83	35,03	35,24	35,44
27	35,65	35,87	36,08	36,28	36,49	36,71	36,93	37,15	37,36	37,57
28	37,80	38,03	38,24	38,47	38,69	38,92	39,15	39,37	39,60	39,83
29	40,05	40,29	40,52	40,76	41,00	41,23	41,47	41,71	41,95	42,19
30	42,43	42,68	42,92	43,17	43,41	43,67	43,92	44,17	44,43	44,68
31	44,93	45,19	45,44	45,71	45,96	46,23	46,49	46,75	47,01	47,28
32	47,56	47,83	48,09	48,37	48,64	48,92	49,19	49,47	49,75	50,03
33	50,31	50,60	50,88	51,16	51,45	51,73	52,03	52,32	52,61	52,91
34	53,20	53,51	53,80	54,11	54,40	54,71	55,01	55,32	55,63	55,93
35	56,24	56,55	56,87	57,17	57,49	57,81	58,13	58,45	58,77	59,11
36	59,43	59,76	60,08	60,41	60,75	61,08	61,41	61,75	62,08	62,43
37	62,77	63,11	63,45	63,80	64,15	64,49	64,85	65,20	65,56	65,91
38	66,27	66,63	66,99	67,35	67,72	68,08	68,45	68,83	69,19	69,56
39	69,95	70,32	70,69	71,07	71,45	71,84	72,23	72,61	73,00	73,39
40	73,79	74,17	74,57	74,97	75,37	75,77	76,17	76,59	76,99	77,40
41	77,81	78,23	78,64	79,05	79,47	79,89	80,32	80,73	81,16	81,59
42	82,03	82,45	82,89	83,32	83,76	84,20	84,64	85,08	85,53	85,97
43	86,43	86,88	87,33	87,79	88,25	88,71	89,17	89,64	90,11	90,57
44	91,04	91,52	91,99	92,47	92,95	93,43	93,91	94,40	94,88	95,37
45	95,87	96,36	96,85	97,35	97,85	98,36	98,85	99,36	99,88	100,39
46	100,89	101,41	101,93	102,45	102,97	103,51	104,04	104,57	105,09	105,63
47	106,17	106,71	107,25	107,79	108,33	108,89	109,44	109,99	110,55	111,11
48	111,67	112,23	112,80	113,37	113,93	114,51	115,08	115,65	116,24	116,83
49	117,41	118,00	118,59	119,17	119,79	120,37	120,99	121,57	122,19	122,80

$$\varrho_o = \frac{p_{sto}}{R_F \cdot T_o}$$

wobei die Luftdichte ϱ_1 am Ventilatoreintritt derjenigen im Versuchsraum entspricht:

$$\varrho_1 = \frac{p_a}{R_F \cdot T_1}$$

Die Luftdichte ϱ_2 am Ventilatoraustritt ist dann entsprechend der errechneten Temperaturerhöhung ΔT:

$$\varrho_2 = \frac{p_a}{R_F \cdot (T_1 + \Delta T)}$$ bei saugseitiger Prüfstandsanordnung

$$\varrho_2 = \frac{p_a + \Delta p_{st2}}{R_F \cdot (T_1 + \Delta T)}$$ bei druckseitiger Prüfstandsanordnung

Die mittlere Luftdichte des Fördermediums im Ventilator ist definitionsgemäß (siehe DIN 24 163 Teil 1 *), Abschnitt 3, lfd. Nr 15) [20]:

$$\varrho_m = \frac{\varrho_1 + \varrho_2}{2}$$

8.1.2 Volumenstrom

Der vom Ventilator angesaugte Volumenstrom $\dot{V}_1$ ist aus der Messung des Wirkdrucks Δp_o an der Einlaufmeßdüse (bzw. Meßblende oder Meßdüse) und durch Umrechnung des Volumenstroms $\dot{V}_o$ mit der Luftdichte ϱ_o an der Durchflußmeßstelle auf die Luftdichte ϱ_1 am Ventilatoreintritt zu ermitteln.

*) Ausgabe Januar 1985

NormCD - Stand 2007-03

Der Volumenstrom $\dot{V}_o$ an der Durchflußmeßstelle ist:

$$\dot{V}_o = \alpha_o \cdot \epsilon_o \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \sqrt{\frac{2}{\varrho_o}} \cdot \sqrt{\Delta p_o}$$

Durchflußzahlen α_o und Expansionszahlen ϵ_o der Drosselmeßgeräte siehe DIN 1952 oder Normen der Reihe VDI/VDE 2040 und VDI/VDE 2041. Der vom Ventilator angesaugte Volumenstrom $\dot{V}_1$ ist danach

$$\dot{V}_1 = \frac{\varrho_o}{\varrho_1} \dot{V}_o = \frac{\varrho_o}{\varrho_1} \cdot \alpha_o \cdot \epsilon_o \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \sqrt{\frac{2}{\varrho_o}} \sqrt{\Delta p_o}$$

8.1.3 Druckerhöhung

8.1.3.1 Saugseitiger Kammerprüfstand

Die Druckerhöhung des frei ausblasenden Ventilators Δp_{fa} entspricht der Druckdifferenzmessung Δp, wenn in der Meßstrecke der Gesamtdruck p_{t1} mit Sonden direkt gemessen wird (siehe Bild 21). Es gilt (siehe DIN 24 163 Teil 1 *), Abschnitt 3, lfd. Nr 23):

$$\Delta p_{fa} = p_{st2} - p_{t1} = \Delta p$$

Nimmt man an der Meßstrecke den statischen Druck p_{st1} ab (siehe Bilder 3 und 21), so gilt entsprechend der Differenzdruckmessung:

$$\Delta p = p_{st2} - p_{st1}$$

Für die Auswertung der Druckerhöhung des Ventilators gilt

$$\Delta p_{fa} = p_{st2} - (p_{st1} + \frac{\varrho_1}{2} \cdot \overline{c}_1^2) = \Delta p - \frac{\varrho_1}{2} \cdot \overline{c}_1^2$$

mit der mittleren Geschwindigkeit $\overline{c}_1 = \frac{\dot{V}_1}{A_5}$.

Die Totaldruckerhöhung des Ventilators Δp_t ist in jedem Fall rechnerisch zu ermitteln aus

$$\Delta p_t = \Delta p_{fa} + \frac{\varrho_2}{2} \cdot \overline{c}_2^2,$$

wobei die mittlere Ausblasgeschwindigkeit $\overline{c}_2 = \frac{\dot{V}_2}{A_2}$ ist.

8.1.3.2 Saugseitiger Rohrprüfstand

Die Druckerhöhung des frei ausblasenden Ventilators Δp_{fa} entspricht dem gemessenen Druckunterschied Δp zwischen dem statischen Druck p_{st1} in der Meßstrecke und dem Luftdruck p_a im Versuchsraum, vermindert um den dynamischen Druck der mittleren Geschwindigkeit

$$p_{d1} = \frac{\varrho_1}{2} \cdot \overline{c}_1^2$$

in der Meßstrecke und zuzüglich dem Druckverlust eines Gleichrichters. Demnach ist aus der Messung auszuwerten:

$$\Delta p_{fa} = \Delta p - \frac{\varrho_1}{2} \cdot \overline{c}_1^2 \cdot (1 - \zeta_6)$$

Die Widerstandszahl ζ_6 des Gleichrichters ist entsprechend Abschnitt 7.4 (siehe auch Bild 24) vor Inbetriebnahme des Prüfstands zu bestimmen. Dabei ist für die mittlere Anströmgeschwindigkeit

$$\overline{c}_1 = \frac{\dot{V}_1}{A_5} \quad \text{einzusetzen.}$$

Die Totaldruckerhöhung des Ventilators Δp_t ist in jedem Fall rechnerisch zu ermitteln:

$$\Delta p_t = \Delta p_{fa} + \frac{\varrho_2}{2} \cdot \overline{c}_2^2,$$

wobei die mittlere Ausblasgeschwindigkeit

$$\overline{c}_2 = \frac{\dot{V}_2}{A_2} \quad \text{ist.}$$

8.1.3.3 Druckseitiger Rohrprüfstand

Die Druckerhöhung des frei ausblasenden Ventilators Δp_{fa} entspricht dem Druckunterschied Δp zwischen dem in der Meßstrecke auf der Abströmseite gemessenen statischen Druck p_{st2} und dem Luftdruck p_a im Versuchsraum (siehe Bild 5).

$$\Delta p_{fa} = \Delta p = p_{st2} - p_a = p_{st2} - p_{t1}$$

(siehe DIN 24 163 Teil 1 *), Abschnitt 2, lfd. Nr 4.1)

Die Totaldruckerhöhung des Ventilators ist dementsprechend

$$\Delta p_t = \Delta p_{fa} + p_{d2} = \Delta p_{fa} + \frac{\varrho_2}{2} \overline{c}_2^2$$

(siehe DIN 24 163 Teil 1 *), Abschnitt 3, lfd. Nr 8 und 24)

mit $\overline{c}_2 = \frac{\dot{V}_2}{A_2}$.

8.1.4 Förderleistung

Zur Auswertung wird die Förderleistung des Ventilators P_{fa} – bzw. dessen totale Förderleistung P_t – bezogen auf den Volumenstrom $\dot{V}_1$ entsprechend den Beziehungen

$$P_{fa} = \frac{\varrho_1}{\varrho_m} \cdot \dot{V}_1 \cdot \Delta p_{fa} \text{ bzw. } P_t = \frac{\varrho_1}{\varrho_m} \cdot \dot{V}_1 \cdot \Delta p_t$$

errechnet [20].

8.1.5 Antriebsleistung

8.1.5.1 Mechanische Antriebsleistung

Die dem Ventilator über die Welle zugeführte mechanische Antriebsleistung P_L (bzw. P_W) kann aus dem am Pendelmotor bzw. Dynamometer gemessenen Drehmoment M und der Drehzahl n bestimmt werden:

$$P_L = M \cdot 2\pi \cdot n$$

Je nach Meßverfahren sind Verlustleistungen bei der Auswertung zu berücksichtigen (z. B. Ventilationsarbeit bei Verwendung eines Torsionsdynamometers).

8.1.5.2 Elektrische Antriebsleistung, Eingang Motor

Im allgemeinen wird die dem Motor des Ventilators zugeführte elektrische Leistung P_M unmittelbar an Leistungsmessern abgelesen. Die Anzeige des Leistungsmessers (bzw. bei Messungen nach dem Zwei- oder Drei-Wattmeterverfahren: Die Summe der Anzeigen) ist mit den entsprechenden Geräte- und Wandlerkonstanten zu multiplizieren.

Die Leistungsaufnahme der angeschlossenen Meßgeräte einschließlich deren Zuleitungen ist gegebenenfalls zu berücksichtigen.

Soll bei Ventilatoren mit direktem Antrieb die Antriebsleistung am Laufrad P_L oder Eingang Kupplung (Riemenscheibe) P_W angegeben werden, so sind die Leistungsangaben vorher (z. B. mittels Pendelmotor) zu ermitteln (sog. Verfahren des „Eineichens des Motors"). In jedem Fall muß aus den Katalogangaben zu ersehen sein, an welchen Stellen und bei welchen Betriebsbedingungen die Antriebsleistung gemessen bzw. bestimmt wurde (siehe

*) Ausgabe Januar 1985

NormCD - Stand 2007-03

DIN 24 163 Teil 1 *), Abschnitt 3, lfd. Nr 29 bis 31).

8.1.6 Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad des Ventilators η_{fa} bzw. η_t wird aus der vom Ventilator abgegebenen Leistung P_{fa} bzw. P_t und der dem Ventilator zugeführten Leistung P_L bzw. P_M oder P_W errechnet (siehe DIN 24 163 Teil 1 *), Abschnitt 3, lfd. Nr 27 bis 37).

Es gilt dementsprechend:

$$\eta_{faL} = \frac{P_{fa}}{P_L} = \frac{\varrho_1}{\varrho_m} \cdot \frac{\dot{V}_1 \, \Delta p_{fa}}{P_L}; \quad \eta_{tL} = \frac{P_t}{P_L} = \frac{\varrho_1}{\varrho_m} \cdot \frac{\dot{V}_1 \, \Delta p_t}{P_L}$$

$$\eta_{faM} = \frac{P_{fa}}{P_M} = \frac{\varrho_1}{\varrho_m} \cdot \frac{\dot{V}_1 \, \Delta p_{fa}}{P_M}; \quad \eta_{tM} = \frac{P_t}{P_M} = \frac{\varrho_1}{\varrho_m} \cdot \frac{\dot{V}_1 \, \Delta p_t}{P_M}$$

$$\eta_{faW} = \frac{P_{fa}}{P_W} = \frac{\varrho_1}{\varrho_m} \cdot \frac{\dot{V}_1 \, \Delta p_{fa}}{P_W}; \quad \eta_{tW} = \frac{P_t}{P_W} = \frac{\varrho_1}{\varrho_m} \cdot \frac{\dot{V}_1 \, \Delta p_t}{P_W}$$

8.2 Meßunsicherheit

8.2.1 Meßunsicherheiten der einzelnen Meßgrößen

Die Meßunsicherheiten der einzelnen Meßgrößen liegen für die meisten Prüfstandsmessungen von Ventilatoren etwa in den in Tabelle 4 angegebenen Grenzen.

8.2.2 Meßunsicherheiten des Gesamtergebnisses

In Tabelle 5 sind die Meßunsicherheiten des Gesamtergebnisses zusammengestellt, die aufgrund des Fehlerfortpflanzungsgesetzes aus den Unsicherheiten der einzelnen Meßgrößen berechnet worden sind.

8.2.3 Streubereich der Meßergebnisse

Jedem ermittelten Betriebspunkt eines Ventilators

$$\dot{V}_1, \; \Delta p_{fa\,odert} \text{ bzw. } \dot{V}_1, \; \eta_{fa\,odert} \text{ bzw. } \dot{V}_1, \; P_M)$$

ist entsprechend den festgestellten Meßunsicherheiten $e(\dot{V})$, $e(\Delta p)$, $e(\eta)$, $e(P)$ ein Streubereich in Form eines rechteckigen Feldes zugeordnet (siehe Bild 25 und VDI 2044).

Die halben Breiten dieses Rechtecks betragen:

In Abzissenrichtung $\quad \Delta \dot{V} = e_{(\dot{V})} \cdot \dot{V}_1$

In Ordinatenrichtung z.B. $\quad \Delta(\Delta p) = e_{(\Delta p)} \cdot \Delta p$

bzw. $\quad \Delta \eta = e_{(\eta)} \cdot \eta$

oder $\quad \Delta P_M = e_{(PM)} \cdot P_M$

Unter „gemessener Kennlinie" ist eine aus mehreren Meßwerten gemittelte Kurve zu verstehen (nach der Methode der kleinsten Quadrate oder zeichnerisch gemittelte Kurve). Die rechteckigen Streubereiche beziehen sich in diesem Fall auf Punkte der gemittelten Kurve.

Tabelle 4. **Meßunsicherheit der einzelnen Meßgrößen**

Meßgröße	Zeichen	Relative Meßunsicherheit	Meßverfahren	Verwendete Meßgeräte	Bemerkungen
Volumenstrom	$\dot{V}$	$e_{(\dot{V})} = \pm 2$ %	Einlaufdüsen-messung	Mikro-Differenzdruck-messer (Betz-Schwimmer-manometer)	Die Meßunsicherheit ist kleiner, wenn $d_o < D$ für den Prüfstand gewählt wird
		$e_{(\dot{V})} = \pm 2{,}5$ %	Einlaufdüsen-messung	Schrägrohrdruckmeßgerät	Bei Betriebsmessungen üblich
Druckerhöhung des Ventilators	Δp_{fa}	$e_{(\Delta p)} = \pm 1$ %	Druckabnahme in der Meßstrecke	Betzmanometer, U-Rohr, Schrägrohrdruckmeßgerät, Einschenkeldruckmeßgerät	Parallelströmung in der Meßstrecke
Dichte	ϱ	$e_{(\varrho)} = \pm 0{,}5$ %		Stations-Quecksilber- oder Baroluxbarometer, Assmann-Psychrometer	
Drehzahl	n	$e_{(n)} < \pm 0{,}1$ %	Elektrische Abtastung	Fotozelle, Mikrowellen-diode, elektronischer Zähler	
Zugeführte elektrische Leistung	P_M	$e_{(PM)} = \pm 1$ %	2 Leistungs-messerschaltung	Leistungsmeßkoffer Meßgeräte: Klasse 0,5 Wandler: Klasse 0,2	Anzeige größer als 1/2 Endwert des Meß-gerätes
		$e_{(PM)} > \pm 1{,}5$ %	2 Leistungs-messerschaltung	Betriebs-Meßgerät	Meßunsicherheit je nach Klasse der ver-wendeten Leistungs-messer und Wandler
Drehmoment des mecha-nischen Antriebs	M_{PL}	$e_{(M)} = \pm 1$ % $P > 10$ kW	Drehmoment-Messung	Pendelmotor	Überprüfung des Drehmoments durch einfache Kontroll-messung
	M_{PW}	$e_{(M)} \geq \pm 1{,}5$ % $P < 10$ kW		Dynamometer	

*) Ausgabe Januar 1985

NormCD - Stand 2007-03

Tabelle 5 **Meßunsicherheit des Gesamtergebnisses**

Meßergebnis	Relative Meßunsicherheit	Berechnungsformel	Bemerkungen
Förderleistung P_{fa} bzw. P_t des Ventilators	$e_{(P)} = \pm 2{,}2\ \%$	$e_{(P)} = \pm \sqrt{e^2_{(\dot V)} + e^2_{(\Delta p)}}$	$e_{(\dot V)} = \pm 2\ \%$ $e_{(\Delta p)} = \pm 1\ \%$
Wirkungsgrad Eingang Motor/ Ventilator η_{faM} bzw. η_{tM}	$e_{(\eta)} = \pm 2{,}4\ \%$	$e_{(\eta)} = \pm \sqrt{e^2_{(\dot V)} + e^2_{(\Delta pt)} + e^2_{(PM)}}$	$e_{(PM)} = \pm 1\ \%$
Mechanische Antriebsleistung P_L (P_w)	$e_{(PL)} = \pm 1{,}5\ \%$ $P_L \leq 10$ kW $e_{(PL)} = \pm 1\ \%$ $P_L \geq 10$ kW	$e_{(PL)} = \pm \sqrt{e^2_{(M)} + e^2_{(n)}}$	$e_{(PM)} \geqq \pm 1{,}5\ \%$ $P_M \leq 10$ kW $e_{(PM)} = \pm 1\ \%$ $P_M \geq 10$ kW $e_{(n)} = \pm 0{,}1\ \%$
Wirkungsgrad η_{faL}; η_{tL}	$e_{(\eta)} = \pm 2{,}7\ \%$ $P_L \leq 10$ kW $e_{(\eta)} = \pm 2{,}4\ \%$ $P_L \geq 10$ kW	$e_{(\eta)} = \pm \sqrt{e^2_{(\dot V)} + e^2_{(\Delta p)} + e^2_{(PL)}}$	$e_{(\dot V)} = \pm 2\ \%$ $e_{(\Delta p)} = \pm 1\ \%$ $e_{(PL)} = \pm 1{,}5\ \%$ $P_L \leq 10$ kW $e_{(PL)} = \pm 1\ \%$ $P_L \geq 10$ kW
Kenngrößen: Durchflußzahl φ	$e_{(\varphi)} = \pm 2\ \%$	$e_{(\varphi)} = \pm \sqrt{e^2_{(\dot V)} + e^2_{(n)}}$	$e_{(\dot V)} = \pm 2\ \%$ $e_{(\Delta p)} = \pm 1\ \%$ $e_{(n)} = \pm 0{,}1\ \%$
Druckzahl ψ_{fa} bzw. ψ_t	$e_{(\psi)} = \pm 1{,}1\ \%$	$e_{(\psi)} = \pm \sqrt{e^2_{(\Delta p)} + (2\,e_{(n)})^2 + e^2_{(\varrho)}}$	$e_{(\varrho)} = \pm 0{,}5\ \%$

8.3 Umrechnung der Meßergebnisse auf Betriebsbedingungen entsprechend den Katalogangaben

Bei der Prüfung von Ventilatoren ist es in den meisten Fällen nicht möglich, die Betriebs- bzw. Antriebsbedingungen auf dem Prüfstand so einzuhalten, daß sie den Betriebsbedingungen der Katalogangaben entsprechen. Es treten deshalb bei der Messung Unterschiede auf, die beim Vergleich der Meßergebnisse mit den Katalogangaben der Ventilatorkennlinie zu berücksichtigen sind [21].

Nach den Gesetzen der Ähnlichkeitsmechanik ändern sich Volumenstrom, Druckerhöhung und zugeführte Leistung entsprechend der Drehzahl- und Dichteänderung bei der Messung im Vergleich zu den Betriebsbedingungen der Katalogangaben. Es gilt:

$$\dot V_{1K} = \dot V_1 \frac{n_K}{n}$$

$$\Delta p_K = \Delta p \frac{\varrho_{1K}}{\varrho} \cdot \left(\frac{n_K}{n}\right)^2, \quad \text{gültig für } \Delta p = \Delta p_{fa} \text{ bzw. } \Delta p = \Delta p_t$$

$$P_K = P \frac{\varrho_{1K}}{\varrho} \cdot \left(\frac{n_K}{n}\right)^3, \quad \text{gültig für } P = P_{fa} \text{ bzw. } P = P_t$$

(im allgemeinen $\varrho_{1K} = 1{,}20$ kg/m^3 für Luft).

So entspricht z. B. der für den Betriebspunkt $\dot V_1$, Δp_{fa} ermittelte Wirkungsgrad η_{faM} dem Wirkungsgrad des Betriebspunktes $\dot V_{1K}$, Δp_{faK} bei Betriebsbedingungen nach Katalogangaben.

8.4 Anwendungsbeispiel

8.4.1 Untersuchter Ventilator; Prüfstand

8.4.1.1 Untersuchter Ventilator

Elektroluttenventilator, 1stufiger Überdruck-Axialventilator mit Nachleitrad, Nabenmotor, schlagwettergeschützt, feststehende Lauf- und Leitradschaufeln.

Laufraddurchmesser	D	=	700 mm
Nennleistung	P_M	=	30 kW
Nenndrehzahl	n	=	2 940 min^{-1}
Netzspannung	U	=	500 V
Netzfrequenz	f	=	50 Hz

NormCD - Stand 2007-03

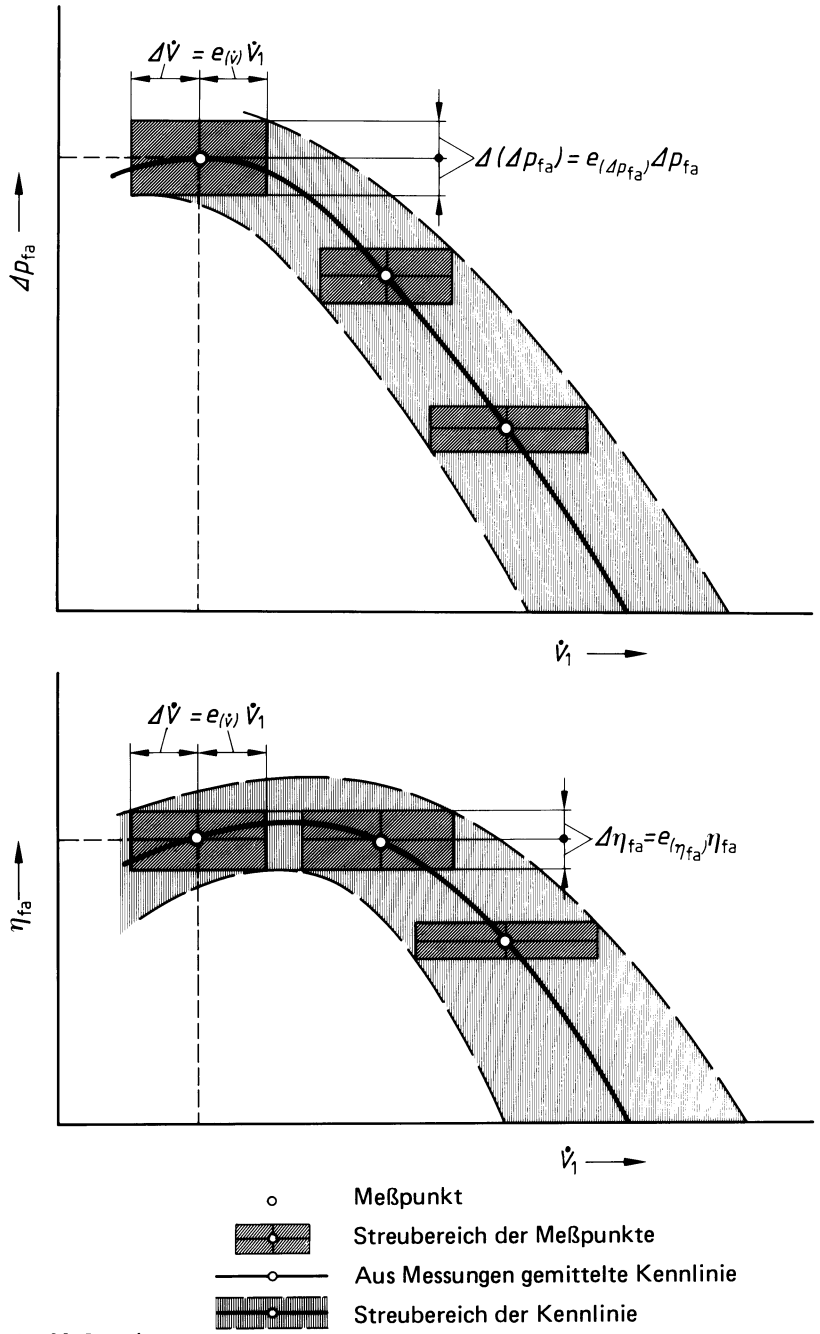


Bild 25. Streubereich der Meßpunkte

8.4.1.2 Prüfstandsanordnung

Saugseitige Rohrmeßstrecke (siehe Bild 26) als transparente PVC-Lutte

Meßstrecke:	d_5	= 800 mm
	l_5	= 4 000 mm
Druckabnahme:	4 Wandbohrungen mit Ringleitung verbunden	
Gleichrichter:	Wabengleichrichter	
	d_6	= 50 mm
	l_6	= 300 mm
Ausblasrohrstrecke:	d_2	= 700 mm
	l_2	= 2 000 mm
Regelklappendrossel:	Klappen im Kreisrohr	
	$d_R = d_o$	= 600 mm
	(siehe auch Bild 13)	

Übergangsstück, hinter Drossel	$d_o \ldots d_5$	= 600 . . . 800 mm
	l_3	= 3 000 mm
	2β	= 3,8 °
Übergangsstück Meßstrecke/Ventilator:	$d_5 \ldots d_1$	= 800 . . . 700 mm
	l_4	= 1 500 mm
	2α	= 3,8 °
Ansaugzone (störungsfrei):	a_o	> 1 500 mm
	b_o	= 4 000 mm
Ausblaszone (störungsfrei):	a_2	> 1 750 mm
	b_2	= 4 000 mm
Volumenstrommessung:	d_o	= 600 mm
	α_o	= 0,99

$$\epsilon_o \approx 1 - 0{,}55 \cdot \frac{\Delta p_o}{p_o}$$

NormCD - Stand 2007-03

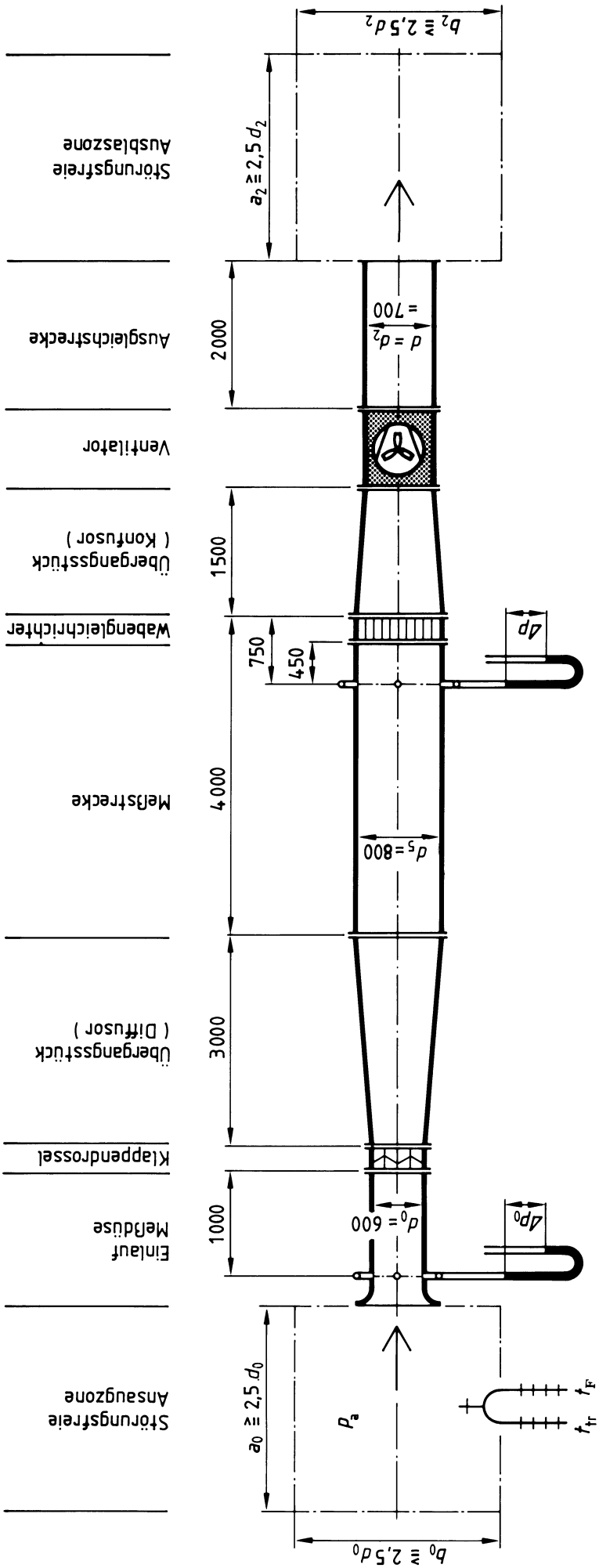


Bild 26. Prüfstandsanordnung zur Messung der Kennlinie eines Elektroluttenventilators (Anwendungsbeispiel)

NormCD - Stand 2007-03

8.4.2 Verwendete Meßgeräte

Einlauf-Meßdüse	Recknagel-Schrägrohr-Druckmeßgerät
Druckerhöhung des Ventilators	Betz-Schwimmer-Manometer
Drehzahl	Reflexionsfotozelle mit Impulszähler (Digitalanzeige)
Zugeführte elektrische Leistung	2-Wattmeter-Verfahren, eingebaute Wandlersätze
	2 Lichtmarken-Leistungsmesser, Klasse 0,1
Netzspannung	Digital-Spannungsmesser
Netzfrequenz	Zungenfrequenzmesser
Luftdruck	Dosen-Barometer mit optischer Übertragung und Anzeige
Lufttemperatur und Feuchte	Assmann-Psychrometer

8.4.3 Messung und Auswertung der Ventilatorkennlinien

Mit den Messungen [1]) wurde erst nach einer ausreichenden Einlaufzeit des Ventilators begonnen. Für jeden Betriebspunkt wurde die Ablesung erst nach Eintreten des Beharrungszustandes vorgenommen. Es wurden – je nach Größe der Schwankungen – zumindest 6 Ablesungen je Betriebspunkt den Mittelwerten der Meßwerte zugrunde gelegt.

Die Auswertung der Meßergebnisse erfolgt nach Abschnitt 8.1 und ist in Tabelle 6 zusammengestellt.

8.4.3.1 Zustandsgrößen

a) Luftdruck $p_a = p_{Anz} + \Delta p_{Anz}$

p_{Anz} = Geräteanzeige

Δp_{Anz} = Anzeigekorrektur des Gerätes

b) Statischer Druck, Meßstelle vor Einlauf Ventilator (siehe Bild 26): $p_{st1} = p_a - \Delta p$

c) Temperaturen: t_{tr} und t_F nach Psychrometeranzeige Lufttemperatur:

Eintritt Ventilator $T_1 = 272{,}8 + t_{tr}$

Austritt Ventilator $T_2 = T_1 + \Delta T$

Temperaturdifferenz $\Delta T = \dfrac{\Delta p_t}{\varrho_m \cdot c_p \cdot \eta_{tL}}$

d) Relative Luftfeuchte:

Psychrometer-Tafel $\varphi_F = f(t_{tr}, t_F)$

Tabelle 3 $p_S = f(t_F)$

Dampfdruck des Wasserdampfes $p_D = \varphi_F \cdot p_S$

e) Gaskonstante der feuchten Luft:

$$R_F = \frac{287}{1 - 0{,}377 \dfrac{p_D}{p_a}}$$

f) Luftdichten:

Einlauf-Meßdüse $\varrho_o = \dfrac{p_a}{R_F\,(272{,}8 + t_{tr})}$

Ansaugzustand $\varrho_1 = \dfrac{p_a - \Delta p}{R_F \cdot T_1}$

Ausblaszustand $\varrho_2 = \dfrac{p_a}{R_F \cdot T_2}$

Mittlere Luftdichte $\varrho_m = \dfrac{\varrho_1 + \varrho_2}{2}$

8.4.3.2 Volumenstrom

a) Massestrom (Einlaufdüse):

$$\dot{m} = \varrho_o \cdot \dot{V}_o = 0{,}99 \cdot \epsilon_o \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \sqrt{2\,\varrho_o} \cdot \sqrt{\Delta p_o}$$

Expansionszahl $\epsilon_o \approx 1 - 0{,}55 \dfrac{\Delta p_o}{p_a}$

b) Volumenstrom, Ansaugzustand:

$$\dot{V}_1 = \frac{\varrho_o}{\varrho_1} \cdot \dot{V}_o = \frac{\dot{m}}{\varrho_1}$$

8.4.3.3 Totaldruckerhöhung

a) Meßwert: $\Delta p = p_a - p_{st1} = p_{st2} - p_{st1}$

b) Totaldruckerhöhung:

$$\Delta p_t = p_{t2} - p_{t1} = p_{st2} + p_{d2} - (p_{st1} + p_{d1}) + p_{d1} \cdot \zeta_6$$

c) Auswertung:

$$p_{d1} = \left(\frac{\dot{V}_1}{\frac{\pi}{4} d_5^2}\right)^2 \cdot \frac{\varrho_1}{2} = \frac{\varrho_o}{\varrho_1} (\alpha_o \cdot \epsilon_o)^2 \left(\frac{d_o}{d_5}\right)^4 \cdot \Delta p_o$$

$$p_{d2} = \left(\frac{\dot{V}_2}{\frac{\pi}{4} D^2}\right)^2 \cdot \frac{\varrho_2}{2} = \frac{\varrho_1}{\varrho_2} \left(\frac{d_5}{D}\right)^4 \cdot p_{d1}$$

d) Auswerteformel:

$$\Delta p_t = \Delta p + \frac{\varrho_o}{\varrho_1} (\alpha_o \cdot \epsilon_o)^2 \left(\frac{d_o}{d_5}\right)^4 \cdot \left[\frac{\varrho_1}{\varrho_2} \left(\frac{d_5}{D}\right)^4 - (1 - \zeta_6)\right] \cdot \Delta p_o$$

e) Auswertung, Prüfstand (Bild 26)

$$\Delta p_t = \Delta p + 0{,}31011 \cdot \frac{\varrho_o}{\varrho_1} \cdot \epsilon_o^2 \left[1{,}706 \cdot \frac{\varrho_1}{\varrho_2} - 0{,}91\right] \cdot \Delta p_o$$

8.4.3.4 Totale Förderleistung

$$P_t = \frac{\dot{m} \cdot \Delta p_t}{\varrho_m} = \frac{\varrho_1}{\varrho_m} \cdot \dot{V}_1 \cdot \Delta p_t$$

8.4.3.5 Zugeführte elektrische Leistung

$$P_M = P_{M1} + P_{M2}$$

2-Wattmeter-Messung mit Berücksichtigung der Wandlerkonstanten

8.4.3.6 Wirkungsgrad

$$\eta_{tM} = \frac{P_t}{P_M}$$

8.4.4 Darstellung der Ventilatorkennlinien

Die Meßwerte der Betriebspunkte der Kennlinien des Ventilators sind entsprechend Abschnitt 8.3 auf Betriebsbedingungen der Katalogangaben

$\varrho = 1{,}20$ kg/m^3

$n = 2940$ min^{-1} bei $U = 500$ V und $f = 50$ Hz

umzurechnen (siehe auch Tabelle 6).

[1]) Bei Luttenventilatoren interessiert im allgemeinen nur deren Totaldruckerhöhung mit druckseitiger Ausgleichsstrecke.

NormCD - Stand 2007-03

Tabelle 6. **Leistungsmessung an einem Elektro-Luttenventilator, Auswertung**

D = 700 mm; P = 30 kW; U = 500 V; f = 50 Hz

n_K = 2940 min^{-1} ϱ_{1K} = 1,20 kg/m^3

Messung Nr			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Luftdruck	p_a	m bar	1010,8	1010,6	1010,6	1010,5	1010,5	1010,6	1010,6	1010,6	1010,6	1010,5	1010,5
Trocken-Temperatur	t_{tr}	°C	21,4	22,4	22,7	22,9	23,4	24,2	24,4	24,6	24,8	24,9	24,9
Feucht-Temperatur	t_F	°C	14,0	14,4	14,6	14,8	15,1	15,4	15,5	15,6	15,7	15,8	15,8
Relative Feuchte	φ_F	1	0,43	0,41	0,41	0,41	0,40	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Sättigungsdampfdruck	p_S	m bar	25,48	27,08	27,59	27,92	28,77	30,19	30,56	30,92	31,29	31,48	31,48
Dampfdruck	p_D	m bar	10,96	11,10	11,31	11,45	11,51	11,77	11,61	11,75	11,89	11,96	11,96
Gaskonstante (Feuchte Luft)	R_F	$\frac{J}{kg \cdot K}$	288,2	288,2	288,2	288,2	288,2	288,3	288,2	288,3	288,3	288,3	288,3
Dichte,Versuchsraum	ϱ_o	$\frac{kg}{m^3}$	1,192	1,189	1,186	1,185	1,183	1,180	1,179	1,178	1,178	1,177	1,177
Dichte, Eintritt Ventilator	ϱ_1	$\frac{kg}{m^3}$	1,181	1,171	1,166	1,161	1,153	1,146	1,143	1,142	1,151	1,151	1,152
Dichte, Austritt Ventilator	ϱ_2	$\frac{kg}{m^3}$	1,184	1,179	1,176	1,175	1,171	1,166	1,164	1,162	1,162	1,161	1,159
Mittlere Dichte im Ventilator	ϱ_m	$\frac{kg}{m^3}$	1,182	1,175	1,171	1,168	1.162	1,156	1,154	1,152	1,157	1,156	1,155
Temperaturerhöhung	Δt	°C	2,00	2,21	2,50	2,46	3,12	3,42	3,82	4,10	3,86	4,16	4,65
Austrittstemperatur Ventilator	t_2	°C	23,40	24,61	25,20	25,36	26,52	27,62	28,22	28,70	28,66	29,06	29,55
Differenzdruck Meßstrecke	Δp	Pa	956,9	1369	1712	2065	2566	2898	3116	3136	2315	2226	2137
Total-Druck-erhöhung	Δp_t	Pa	1199	1587	1907	2237	2705	3013	3203	3213	2368	2267	2166
Wirkdruck Einlauf-Düse	Δp_o	Pa	1108,5	993,7	891,7	783,8	636,7	527,8	398,3	349,2	243,3	186,4	132,4
Volumenstrom	$\dot{V}_1$	m^3/s	12,12	11,56	10,99	10,35	9,46	8,60	7,49	7,02	5,81	5,09	4,29
Förderleistung	P_t	kW	14,51	18,28	20,87	23,01	25,39	25,69	23,76	22,36	13,69	11,49	9,27
Zugeführte Leistung Motor	P_M	kW	32,05	33,40	35,50	36,65	37,55	37,50	36,40	35,35	28,60	27,00	25,40
Wirkungsgrad	η_{tM}	1	0,453	0,547	0,589	0,628	0,676	0,685	0,653	0,633	0,479	0,426	0,365
	η_{tL}	1	0,507	0,611	0,652	0,720	0,746	0,762	0,727	0,680	0,531	0,471	0,403
Drehzahl	n	min^{-1}	2959	2952	2949	2944	2940	2939	2941	2942	2955	2959	2961
Volumenstrom Katalogbedingung	$\dot{V}_{1K}$	m^3/s	12,04	11,51	10,96	10,34	9,46	8,60	7,49	7,02	5,78	5,06	4,26
Total-Druckerhöhung Katalogbedingung	Δp_{tK}	Pa	1203	1613	1951	2306	2815	3157	3360	3372	2444	2333	2224

NormCD - Stand 2007-03

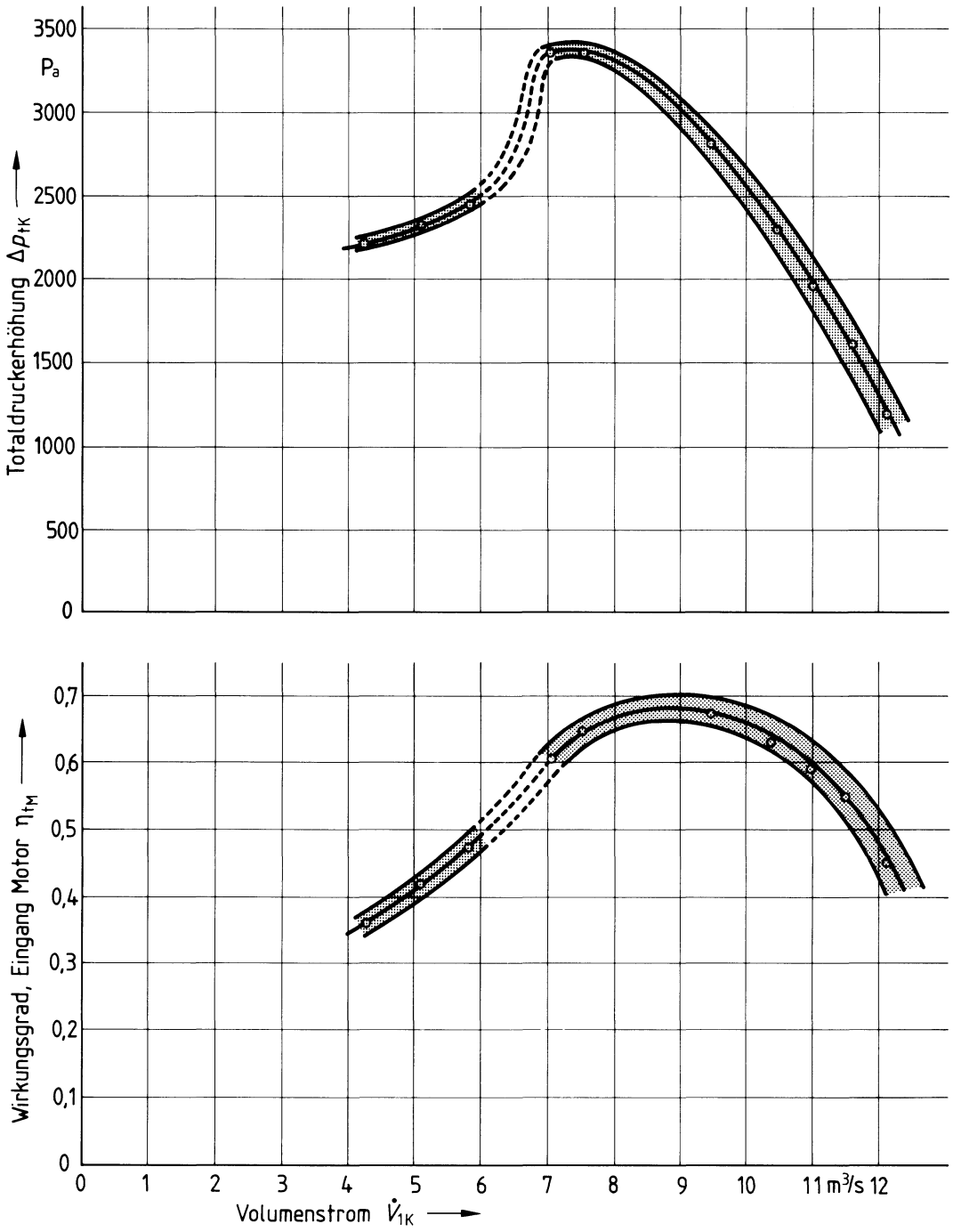


Bild 27. Kennlinien eines Elektro-Luttenventilators; Bereich der Meßunsicherheit eingezeichnet
D = 700 mm; P = 30 kW; U = 500 V; f = 50 Hz;
Dichte ϱ_1 = 1,20 kg/m^3; Drehzahl n = 2940 min^{-1}

NormCD - Stand 2007-03

Die Darstellung der Kennlinien für Industrieventilatoren erfolgt entsprechend DIN 24 163 Teil 1 *), Abschnitt 8. Dabei werden meistens

a) die Druckerhöhung Δp_{fa} oder die Totaldruckerhöhung Δp_t des Ventilators bei konstanter Drehzahl n und

b) die dem Laufrad bzw. dem Motor zugeführte mechanische oder elektrische Antriebsleistung P_L bzw. P_M oder

c) die dementsprechenden Wirkungsgrade η_{faL} bzw. η_{faM}; η_{tL} bzw. η_{tM} über dem Ansaugvolumenstrom $\dot{V}_1$

aufgetragen. Die Bezugsdichte ϱ_1 = 1,20 kg/m^3 des angesaugten Luftstroms und z. B. die Netzspannung U und die Netzfrequenz f bei Elektroantrieben sind als Betriebsbedingungen auf dem Kennlinienblatt des Ventilators mit anzugeben (siehe Bild 27).

Dementsprechend sind die auf Katalog-Betriebsbedingungen umgerechneten Ventilatorkennlinien (Normkennlinien)

$$\Delta p_{tK} = \Delta p(\dot{V}_{1K})$$

$$\eta_{tM} = \eta\ (\dot{V}_{1K})$$

in Bild 27 dargestellt.

Die relative Meßunsicherheit der vorliegenden Meßergebnisse sind folgendermaßen abzuschätzen:

a) Volumenstrom; Recknagel-Schrägrohr-Manometer an der Einlauf-Meßdüse:

$$e_{(\dot{V}1K)} = \pm 1{,}3\ \%$$

b) Totaldruckerhöhung; Betz-Schwimmer-Manometer (Meßbereich 1 200 bis 3 200 Pa, Meßunsicherheit ± 2 Pa):

$$e(\Delta p_{tK}) = \pm 0{,}3\ \%$$

c) Ventilator-Drehzahl; Fotozelle / Impulszähler

$$e_{(n)} = \pm 0{,}1\ \%$$

d) Zugeführte elektrische Leistung (30 kW); Lichtmarken-Leistungsmesser Klasse 0,1: festeingebaute Wandlersätze Klasse 0,2; (Leistungsverluste der Zuleitung mußten nicht berücksichtigt werden):

$$e_{(PM)} = \pm 0{,}5\ \%$$

e) Luftdichten; Barolux-Gerät ± 0,3 mbar; Assmann-Psychrometer ± 0,5 °C:

$$e_{(\varrho)} = \pm 0{,}5\ \%$$

f) Wirkungsgrad:

$$e_{(\eta tM)} = \pm 1{,}7\ \%$$

Dementsprechend lassen sich die Meßunsicherheiten der einzelnen Meßpunkte abschätzen, und der Streubereich der gemessenen Kennlinien kann aufgezeichnet werden.

Zitierte Normen und andere Unterlagen

DIN 1952	Durchflußmessung in Rohrleitungen mit Blenden, Düsen und Venturirohren in voll durchströmten Rohren mit Kreisquerschnitt (VDI-Durchflußmeßregeln)
DIN 19 205	Durchflußmeßtechnik; Meßstrecken und Fassungsringe für Normblenden und Normdüsen an Durchflußmeßeinrichtungen bis Nenndruck 400
DIN 24 163 Teil 1	Ventilatoren; Leistungsmessung, Normkennlinien
DIN 24 163 Teil 3	Ventilatoren; Leistungsmessung an Kleinventilatoren; Normprüfstände
VDI 2044	Abnahme- und Leistungsversuche an Ventilatoren (VDI-Ventilatorregeln)
VDI/VDE 2040 Blatt 1	(z. Z. Entwurf) Berechnungsgrundlagen für die Durchflußmessung mit Drosselgeräten; Durchflußzahlen und Expansionszahlen genormter Drosselgeräte und Abweichungen von den Normvorschriften
VDI/VDE 2040 Blatt 2	Berechnungsgrundlagen für die Durchflußmessung mit Drosselgeräten; Gebrauchsformeln und spezielle Formeln für Gase
VDI/VDE 2040 Blatt 4	(z. Z. Entwurf) Berechnungsgrundlagen für die Durchflußmessung mit Drosselgeräten; Stoffwerte
VDI/VDE 2040 Blatt 5	(z. Z. Entwurf) Berechnungsgrundlagen für die Durchflußmessung mit Drosselgeräten; Meßunsicherheiten
VDI/VDE 2041	(z. Z. Entwurf) Drosselgeräte für Sonderfälle
VDI/VDE 2640 Blatt 3	Netzmessungen in Strömungsquerschnitten; Bestimmung des Gasstroms in Leitungen mit Kreis-, Kreisring- und Rechteckquerschnitt
VDI/VDE 3511	Technische Temperaturmessungen

[1] *Marcinowski, H.:*
„Neue Untersuchungen zum Problem der Ermittlung von Ventilatorkennlinien", 1975
Forschungsbericht Nr 10 der Forschungsvereinigung für Luft- und Trocknungstechnik e. V., Frankfurt/Main

[2] *Holling, G., Marcinowski, H., Renner, K. und Vasilescu, D.:*
„Systematische Untersuchungen zum Problem der Totaldruckermittlung hinter Axialventilatoren mit Austrittsdrall", Februar 1972.
Normenausschuß Maschinenbau, Frankfurt/Main

*) Ausgabe Januar 1985

NormCD - Stand 2007-03

[3] *Richter, W.:*
„Vergleichsmessungen eines Ventilators auf verschiedenen Ventilatorprüfständen", Juli 1971
Normenausschuß Maschinenbau, Frankfurt/Main

[4] *Renner, K.:*
„Zur Frage der Zu- und Abströmbedingungen beim Entwurf einheitlicher Ventilator-Prüfstände"
Normenausschuß Maschinenbau, Frankfurt/Main

[5] *Hansen, M.:*
„Durchflußmessung"
Mitteilung Nr 348 a der Energie- und Betriebswirtschaftsstelle (Wärmestelle) des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf

[6] Normvorlage „Prüfung von Luttenlüftern, Richtlinien", Juni 1966
Normenausschuß Bergbau, Essen-Kray

[7] *Eugen, E. und Burke, O.:*
„Durchflußzahl von Normdüsen im Einlauf eines Rohres"
BWK. 12 (1960) Nr 10, S. 447 – 449, VDI-Verlag, Düsseldorf

[8] „Untersuchung einer Einlaufdüse von 400 mm Durchmesser" FLT 3/1/55/80 und Stellungnahme – Bericht FLT 3/1/20/82
Forschungsvereinigung für Luft- und Trocknungstechnik, Frankfurt/M., Okt. 1980 und Febr. 1982

[9] AMCA-Standard 210–67: Test code for Air Moving Devices
Air Movement and Control Association, 30 West University Drive/Arlington Heights, Illinois 60 004

[10] *Mc Donald, A. T. und Fox R. W.:*
„An Experimental Investigation of Incompressible Flow in Conical Diffusers"
International Journal of Mechanical Sciences Bd. 8 (1966) Heft 2, S. 125 – 139, Pergamon Press Ltd.

[11] *Sprenger, H.:*
„Experimentelle Untersuchungen an geraden und gekrümmten Diffusoren"
Mitteilungen aus dem Institut für Aerodynamik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich Bd. Nr 27 (1959), Verlag Leemann, Zürich

[12] *Kline, S. J., Abbott, D. E., Fox, R. W.:*
„Optimum Design of Straight-Walled Diffusers"
Journal of Basic Engineering 1959 (Sept.), S. 321 – 331
American Society of Mechanical Engineers (ASME), 345 East 47th St., New York, N. Y. 10 017

[13] *Prechter, H.:*
„Gesichtspunkte zur Auslegung von Diffusoren unter Berücksichtigung neuerer Forschungsergebnisse"
Der Maschinenmarkt 82 (1961), Okt. 1961, S. 19 – 26, Vogel-Verlag, Würzburg

[14] *Blass, E.:*
„Geometrische und strömungstechnische Untersuchungen an Drahtgeweben"
Chemie-Ingenieur-Technik 36 (1964) Nr 7, S. 747 – 758, VDI-Verlag, Düsseldorf

[15] *Baines, W. D.; Peterson, E. G.:*
„An Investigation of Flow through Sreens", Transactions of the ASME, Juli 1951, S. 467 – 480

[16] *Bohl, W.:*
„Technische Strömungslehre", Vogel-Verlag, Würzburg

[17] *Vasilescu, D.:*
„Ein Beitrag zur Drallströmung im Rohr hinter dem unstetigen Übergang von einem Ringquerschnitt in einen Kreisquerschnitt"
Mitteilungen des Instituts für Strömungslehre und Strömungsmaschinen der Universität Karlsruhe, Heft 23, 1978

[18] Deutscher Wetterdienst
„Aspirations-Psychrometer-Tafeln"
3. Auflage 1955, Fr. Vieweg und Sohn, Braunschweig

[19] *Weuthen und Marzilger:*
„Das hx-Diagramm für Grubenwetter im Internationalen Einheitensystem"
Glückauf-Forschungshefte 35 (1974) H.1, Glückauf-Verlag, Essen

[20] *Marcinowski, H.:*
„Berücksichtigung der Kompressibilität des Fördermediums bei der Auswertung von Ventilatorkennlinien"
Mitteilungen des Instituts für Strömungslehre und Strömungsmaschinen der Universität Karlsruhe, Heft 19, 1976

[21] *Renner, K.:*
„Lüfterkennlinien bei geänderten Betriebsbedingungen"
Bergbau-Archiv 25 (1964) Heft 1/2 S. 21/34, Glückauf-Verlag, Essen

NormCD - Stand 2007-03

Erläuterungen

Im Rahmen der ISO befaßt man sich bereits seit einigen Jahren mit der Leistungsmessung an Ventilatoren. Zuständig ist das Technische Komitee 117, das sich wie folgt aufgliedert:

ISO/TC 117/	SC 1	Leistungsmessung an Ventilatoren
	SC 2	Geräuschmessung an Ventilatoren
	SC 3	Leistungsmessung an Ventilatoren im Einbauzustand
	SC 4	Abmessungen von Ventilatoren

Die betreffenden Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen.

Parallel dazu befaßte man sich im Arbeitsausschuß Ventilatoren des Normenausschuß Maschinenbau ebenfalls mit der Leistungsmessung an Ventilatoren und beschloß, eine mehrteilige DIN-Norm zu erarbeiten. Diese DIN-Norm besteht aus folgenden Teilen:

DIN 24 163	Teil 1	Ventilatoren; Leistungsmessung, Normkennlinien
	Teil 2	Ventilatoren; Leistungsmessung, Normprüfstände
	Teil 3	Ventilatoren; Leistungsmessung an Kleinventilatoren, Normprüfstände

Diese Norm wurde unter Berücksichtigung der Arbeiten von ISO/TC 117 erstellt.

Internationale Patentklassifikation

F 04 D 17/00
F 04 D 19/00
G 01 L 3/24
G 01 F 1/42
G 01 M 15/00

NormCD - Stand 2007-03