

DIN EN ISO 5801

ICS 23.120

Ersatz für
DIN EN ISO 5801:2010-12

**Industrieventilatoren –
Leistungsmessung auf genormten Prüfständen (ISO 5801:2007,
einschließlich Cor 1:2008);
Deutsche Fassung EN ISO 5801:2008**

Industrial fans –

Performance testing using standardized airways (ISO 5801:2007, including Cor 1:2008);
German version EN ISO 5801:2008

Ventilateurs industriels –

Essais aérauliques sur circuits normalisés (ISO 5801:2007, Cor 1:2008 inclus);
Version allemande EN ISO 5801:2008

Gesamtumfang 256 Seiten

Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN

Nationales Vorwort

Diese Norm beinhaltet die Deutsche Fassung des vom Technischen Komitee ISO/TC 117 „Fans“ (Sekretariat BSI, Großbritannien) in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 156 „Lüftung von Gebäuden“ im Europäischen Komitee für Normung (Sekretariat BSI, Großbritannien) ausgearbeiteten EN ISO 5801:2008.

Die nationalen Interessen bei der Erarbeitung wurden vom Fachbereich Allgemeine Lufttechnik des Normenausschusses Maschinenbau (NAM) im DIN wahrgenommen. Zuständiges Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 060-09-11 AA „Ventilatoren“. Vertreter der interessierten Kreise, darunter Hersteller von Ventilatoren, Anwender, Forschungs- und Prüfinstitute waren an der Erarbeitung beteiligt.

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 5167-1	siehe	DIN EN ISO 5167-1
ISO 5168	siehe	DIN V 19218
IEC 60034-2:1972	siehe	DIN EN 60034-2 (VDE 0530-2):1998-09
IEC 60051-2	siehe	DIN EN 60051-2
IEC 60051-3	siehe	DIN EN 60051-3
IEC 60051-4	siehe	DIN EN 60051-4

ANMERKUNG 1 DIN EN ISO 5801 wird die Deutschen Normen DIN 24163-1, DIN 24163-2 und DIN 24163-3 ersetzen. Um deren technischen Inhalt weiter verfügbar zu haben, ist vorgesehen, die Inhalte in VDMA-Einheitsblätter zu überführen.

ANMERKUNG 2 ISO 5801 ist in der Fachwelt nicht zuletzt aufgrund ihres technischen Inhaltes und des Umfanges nicht unumstritten. Deutschland hat im ISO/TC 117 „Fans“ die Überarbeitung der ISO 5801 anstoßen, welche gegenwärtig von der Arbeitsgruppe ISO/TC 117 WG 7 durchgeführt wird. In Vorbereitung darauf wurde im Auftrag der Forschungsvereinigung Luft- und Trocknungstechnik e. V. (FLT), Frankfurt am Main, an der Universität Karlsruhe ein Forschungsvorhaben durchgeführt. Ziel war es, den Nachweis über die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Leistungsmessungen für definierte Prüflinge auf verschiedenen, in ISO 5801 enthaltenen Prüfstandskonfigurationen zu führen. Die Ergebnisse der Vorbereitungsstudie fließen in die aktuelle Normüberarbeitung ein.

Änderungen

Gegenüber DIN 24163-1:1985-01, DIN 24163-2:1985-01 und DIN 24163-3:1985-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Norm wurde auf internationaler Ebene grundlegend neu überarbeitet und strukturiert.

Gegenüber DIN EN ISO 5801:2010-12 wurden folgende Korrekturen vorgenommen:

- a) Aktualisierung der Anmerkung 2 im nationalen Vorwort.
- b) Berichtigung der Formel in der Anmerkung 2 zu Bild 19.
- c) Berichtigung der Formel zugehörig zu Bild 44 c).

Frühere Ausgaben

DIN 24163-1: 1985-01
DIN 24163-2: 1985-01
DIN 24163-3: 1985-01
DIN EN ISO 5801: 2010-12

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 5167-1, *Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt — Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Anforderungen*

DIN V 19218, *Durchflussmessung von Fluiden — Verfahren zur Unsicherheitsermittlung*

DIN EN 60034-2 (VDE 0530-2):1998-09, *Drehende elektrische Maschinen — Teil 2: Verfahren zur Bestimmung der Verluste und des Wirkungsgrades von drehenden elektrischen Maschinen aus Prüfungen (ausgenommen Maschinen für Schienen- und Straßenfahrzeuge) (IEC 60034-2:1972 + IEC 60034-2A:1974 + A1:1995 + A2:1996); Deutsche Fassung EN 60034-2:1996 + A1:1996 + A2:1996*

DIN EN 60051-2, *Direkt wirkende anzeigende elektrische Messgeräte und ihr Zubehör — Messgeräte mit Skalanzeige — Teil 2: Spezielle Anforderungen für Strom- und Spannungs-Messgeräte*

DIN EN 60051-3, *Direkt wirkende anzeigende elektrische Messgeräte und ihr Zubehör — Messgeräte mit Skalanzeige — Teil 3: Spezielle Anforderungen für Wirk- und Blindleistungs-Messgeräte*

DIN EN 60051-4, *Direkt wirkende anzeigende elektrische Messgeräte und ihr Zubehör — Messgeräte mit Skalanzeige — Teil 4: Spezielle Anforderungen für Frequenz-Messgeräte*

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Industrieventilatoren —
Leistungsmessung auf genormten Prüfständen
(ISO 5801:2007, einschließlich Cor 1:2008)

Industrial fans —
Performance testing using standardized airways
(ISO 5801:2007 including Cor 1:2008)

Ventilateurs industriels —
Essais aérauliques sur circuits normalisés
(ISO 5801:2007, Cor 1:2008 inclus)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 2. Oktober 2008 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	8
Einleitung.....	9
1 Anwendungsbereich	11
2 Normative Verweisungen	11
3 Begriffe	11
4 Einheiten und Symbole	27
4.1 Symbole	27
4.2 Indizes	31
5 Allgemeines	31
6 Ausrüstung für die Druckmessung.....	32
6.1 Barometer	32
6.2 Manometer	33
6.3 Dämpfung von Manometern	33
6.4 Prüfung der Manometer	33
6.5 Position des Manometers	34
7 Bestimmung des mittleren Druckes eines Prüfstandes	34
7.1 Messverfahren.....	34
7.2 Anwendung von Druckmessbohrungen	34
7.3 Konstruktive Ausführung der Druckmessbohrungen (Entnahmestellen)	34
7.4 Lage und Anschlüsse.....	35
7.5 Überprüfung der Übereinstimmung.....	35
7.6 Anwendung von Staudruckrohren.....	36
8 Temperaturmessung	36
8.1 Thermometer	36
8.2 Einbaustelle des Thermometers	36
8.3 Feuchte	37
9 Messung der Drehzahl	37
9.1 Drehzahl der Ventilatorwelle.....	37
9.2 Zulässige Messgeräte	37
10 Bestimmung der Leistungsaufnahme	37
10.1 Messgenauigkeit.....	37
10.2 Wellenleistung des Ventilators.....	37
10.2.1 Dynamometer	37
10.2.2 Drehmomentmessgerät.....	38
10.3 Bestimmung der Wellenleistung des Ventilators durch elektrische Messungen	38
10.3.1 Gesamtsumme der Verluste	38
10.3.2 Kalibrierte Motoren	38
10.3.3 Elektrische Messgeräte	38
10.4 Laufradleistung	38
10.5 Übertragungssysteme	39
11 Überprüfung der Maße und Flächenbestimmung	39
11.1 Durchflussmessgeräte	39
11.2 Toleranzen für Abmessungen	39
11.3 Bestimmung der Querschnittsfläche.....	39
11.3.1 Dimensionsmessung.....	39
11.3.2 Runde Abschnitte	39
11.3.3 Rechteckige Abschnitte	39

12	Bestimmung der Luftdichte, Gaskonstante von feuchter Luft und Viskosität	40
12.1	Luftdichte im Prüfraum im Abschnitt x	40
12.2	Bestimmung des Dampfdruckes	41
12.3	Bestimmung der Luftviskosität.....	44
13	Bestimmung der Durchflussrate.....	44
13.1	Allgemeines	44
13.2	Inline-Durchflussmessgerät (Standard-Primärgeräte).....	44
13.3	Netzmessungen	46
14	Berechnung der Prüfergebnisse.....	48
14.1	Allgemeines	48
14.2	Einheiten.....	48
14.3	Temperatur	48
14.4	Machzahl und Bezugsbedingungen	50
14.4.1	Allgemeines	50
14.4.2	Bezugsmachzahl	50
14.4.3	Machzahl eines Abschnitts x , Ma_x	50
14.4.4	Berechnung der Dichte ρ_x im Abschnitt x und der mittleren Geschwindigkeit v_{mx}	53
14.5	Ventilatordruck	54
14.6	Berechnung des Staudruckes in einem Bezugsabschnitt des Ventilators anhand des im Abschnitt x einer Prüfrohrleitung gemessenen Überdrucks p_{ex}	56
14.7	Volumenstrom am Eintritt.....	58
14.8	Förderleistung und Wirkungsgrad des Ventilators	58
14.8.1	Berechnung der Förderleistung und des Wirkungsgrades des Ventilators aus der Förderarbeit	58
14.8.2	Berechnung der Förderleistung und des Ventilatorwirkungsgrades aus dem Volumenstrom und dem Druck des Ventilators	59
14.8.3	Konventioneller statischer Wirkungsgrad	63
14.8.4	Bestimmung des kinetischen Index am Ventilatoreintritt, i_{k1} oder am Ventilatoraustritt, i_{k2}	64
14.8.5	Bezugsmachzahl Ma_{2ref} kleiner als 0,15 und Ventilatordruck p_f kleiner als 2 000 Pa	64
15	Umrechnungsregeln für die Prüfergebnisse	66
15.1	Ähnlichkeitsgesetze von Ventilatoren.....	67
15.1.1	Geometrische Ähnlichkeit	67
15.1.2	Ähnlichkeit der Reynolds-Zahl.....	67
15.1.3	Machzahl und Ähnlichkeit der Geschwindigkeitsdreiecke	67
15.2	Umrechnungsregeln.....	68
15.2.1	Umrechnungsregeln für die kompressible Strömung	70
15.2.2	Vereinfachte Umrechnungsregeln für die inkompressible Strömung	71
15.2.3	Wellenleistung und Leistung des Ventilatorlaufrades	71
16	Ventilator Kennlinien	72
16.1	Allgemeines	72
16.2	Verfahrensweisen der graphischen Darstellung.....	72
16.3	Kennlinien bei konstanter Geschwindigkeit.....	72
16.4	Kennlinien bei inhärenter Drehzahl (Nennndrehzahl).....	72
16.5	Kennlinien für einen Ventilator mit einstellbarer Leistung	73
16.6	Vollständige Ventilator Kennlinie	74
16.7	Prüfung bezüglich einer festgelegte Leistung	75
17	Analyse der Unsicherheit	76
17.1	Grundsätze	76
17.2	Analyse vor und nach der Prüfung.....	76
17.3	Analysenverfahren	76
17.4	Fortpflanzung von Unsicherheiten	77

	Seite
17.5	Auswertung der Unsicherheiten 77
17.6	Maximal zulässige Messunsicherheiten.....77
17.7	Maximal zulässige Unsicherheit von Ergebnissen 78
18	Auswahl der Prüfverfahren 79
18.1	Klassifizierung 79
18.2	Kategorien entsprechend der Einbauart 79
18.3	Prüfbericht 80
18.4	Anlagen des Anwenders 80
18.5	Alternative Verfahren 80
18.6	Nachbildung einer Rohrleitung 80
19	Einbau des Ventilators und von Prüfständen 81
19.1	Eintritte und Austritte 81
19.2	Prüfstände 81
19.3	Prüfraum 81
19.4	Anpassung von Ventilator und Prüfstand 81
19.5	Austrittsfläche 81
20	Durchführung der Prüfung 82
20.1	Fördermedium 82
20.2	Drehzahl 82
20.3	Stationärer Betrieb 82
20.4	Umgebungsbedingungen 82
20.5	Druckmesswerte 82
20.6	Prüfungen bezüglich einer festgelegten Leistung 82
20.7	Prüfungen zur Bestimmung einer Ventilator Kennlinie.....83
20.8	Betriebsbereich 83
21	Bestimmung der Durchflussrate 83
21.1	Mehrfachdüsen 83
21.2	Konischer oder trichterförmiger Eintritt.....83
21.3	Messblende 83
21.4	Netzmessung mit Staudrucksonden (siehe ISO 3966 und ISO 5221).....83
22	Bestimmung der Durchflussrate mit Mehrfachdüsen 83
22.1	Aufbau 83
22.2	Geometrische Form 83
22.3	Eintrittsbereich.....85
22.4	Kenndaten von Mehrfachdüsen 85
22.5	Unsicherheit 88
23	Bestimmung der Durchflussrate mit konischem oder trichterförmigem Eintritt 88
23.1	Geometrische Form 88
23.2	Zusätzlicher Siebboden 89
23.3	Eintrittsbereich.....91
23.4	Durchfluss am konischen Eintritt 91
23.5	Durchfluss am trichterförmigen Eintritt 91
23.6	Unsicherheiten 93
24	Bestimmung des Durchflusses mit einer Messblende 93
24.1	Einbau 93
24.2	Messblende 93
24.3	Rohrleitungen.....98
24.4	Druckmessbohrungen.....98
24.5	Berechnung des Massenstroms 99
24.6	Reynolds-Zahl 99
24.7	Blende in Rohrleitung mit Druckmessbohrungen bei D und $D/2$ [siehe Bild 20 a) und ISO 5167-1].....100
24.8	Austrittsblende mit Druckmessbohrungen [siehe Bild 20 c) und e)].....103

24.8.1	Messblende mit Druckmessbohrung in der Prüfkammer [siehe Bild 20 e) und f)]	103
24.8.2	Eintrittsblende mit Druckmessbohrungen [siehe Bild 20 d) und e)]	105
25	Bestimmung der Durchflussrate durch Netzmessung mit Staudrucksonden	105
25.1	Allgemeines	105
25.2	Staudrucksonde	105
25.3	Grenzen der Luftgeschwindigkeit.....	110
25.4	Lage der Messpunkte	110
25.5	Bestimmung des Durchflusses.....	111
25.6	Durchflusszahl	112
25.7	Messunsicherheit	112
26	Kategorien für Einbau und Prüfaufbau	112
26.1	Kategorie A: frei ansaugend, frei ausblasend	112
26.2	Kategorie B: frei ansaugend, in eine Rohrleitung ausblasend	113
26.3	Kategorie C: saugseitig an eine Rohrleitung angeschlossen und frei ausblasend	113
26.4	Kategorie D: saugseitig an eine Leitung angeschlossen und druckseitig in eine Leitung ausblasend	113
26.5	Typ des Prüfaufbaus	114
27	Strömungsgleichrichter	114
27.1	Typen von Strömungsgleichrichtern.....	114
27.1.1	AMCA-Zellengleichrichter.....	114
27.1.2	Sternförmiger Strömungsgleichrichter	115
27.2	Regeln für den Einsatz von Strömungsgleichrichtern	116
28	Einfache Rohrleitungssegmente für an Rohrleitungen angeschlossene Ventilatoren.....	117
28.1	Einfache Segmente	117
28.2	Einfaches Rohrsegment am Ventilatoraustritt	117
28.3	Einfaches Rohrsegment am Ventilatoreintritt	119
28.4	Nachbildung einer Austrittsrohrleitung	121
28.5	Nachbildung einer Eintrittsrohrleitung	122
28.5.1	Runder Ventilatoreintritt	122
28.5.2	Rechteckiger Ventilatoreintritt	122
28.6	Verlustzuschläge für genormte Prüfstände	122
28.6.1	Verlustzuschläge für in 28.2.1, 28.2.2 und 28.2.3 beschriebene gerade, einfache Austrittssegmente	124
28.6.2	Verlustzuschläge für in 28.2 beschriebene einfache Austrittssegmente	124
28.6.3	Zuschläge für den Energieverlust bei einer in 28.2.5 beschriebenen kurzen Austrittsrohrleitung	125
28.6.4	Zuschläge für den Energieverlust bei einem in 28.3 beschriebenen einfachen Eintrittssegment	125
28.6.5	Zuschläge für den Energieverlust bei Nachbildung einer in 28.5 beschriebenen Eintrittsrohrleitung	125
29	Genormte Prüfkammern	126
29.1	Prüfkammer.....	126
29.1.1	Maße.....	126
29.1.2	Druckmessbohrungen	130
29.1.3	Raster für die Strömungsberuhigung	130
29.1.4	Mehrfachdüsen	130
29.1.5	Messblende in der Kammer.....	131
29.2	Variable Zuluft- und Abluftsysteme	131
29.2.1	Drosseleinrichtungen.....	131
29.2.2	Hilfsventilatoren	131
29.3	Genormte saugseitige Prüfkammern	131
29.3.1	Prüfkammer.....	131
29.3.2	Zu prüfender Ventilator.....	133
29.4	Genormte druckseitige Prüfkammer	134

29.4.1	Prüfkammer (siehe Bild 39).....	134
29.4.2	Zu prüfender Ventilator	137
30	Normprüfverfahren mit Prüfkammern — Einbauarten entsprechend Kategorie A.....	137
30.1	Arten des Ventilatoraufbaus.....	137
30.2	Saugseitige Prüfkammern	137
30.2.1	Bestimmung des Durchflusses	137
30.2.2	Während der Prüfungen durchzuführende Messungen (siehe Abschnitt 20)	140
30.2.3	Allgemeines Verfahren für den Durchfluss eines kompressiblen Fördermediums	141
30.2.4	Vereinfachtes Verfahren	148
30.2.5	Ventilatorleistung unter Prüfbedingungen	150
30.3	Druckseitige Prüfkammer	150
30.3.1	Bestimmung des Durchflusses	150
30.3.2	Während der Prüfungen durchzuführende Messungen (siehe Abschnitt 20)	151
30.3.3	Allgemeines Verfahren für kompressible Fluidströmungen	152
30.3.4	Ventilatorleistung unter Prüfbedingungen	156
31	Normprüfverfahren mit Prüfrohrleitungen am Austritt — Einbauarten entsprechend Kategorie B.....	156
31.1	Arten des Ventilatoraufbaus.....	156
31.2	Prüfrohrleitung am Austritt mit Strömungsgleichrichter	156
31.2.1	Bestimmung des Massenstroms.....	156
31.2.2	Während der Prüfungen durchzuführende Messungen (siehe Abschnitt 20)	159
31.2.3	Allgemeines Verfahren für kompressible Fluidströmung	159
31.2.4	Vereinfachtes Verfahren	167
31.2.5	Ventilatorleistung unter Prüfbedingungen	168
31.3	Prüfrohrleitung am Austritt der Kammer ohne Strömungsgleichrichter	169
31.3.1	Bestimmung des Massenstroms.....	169
31.3.2	Während der Prüfungen durchzuführende Messungen (siehe Abschnitt 20)	169
31.3.3	Allgemeines Verfahren für kompressible Fluidströmungen	170
31.3.4	Vereinfachtes Verfahren	175
31.3.5	Ventilatorleistung unter Prüfbedingungen	177
32	Normprüfverfahren mit Prüfrohrleitungen oder -kammern am Eintritt — Einbauarten entsprechend Kategorie C	177
32.1	Arten des Ventilatoraufbaus.....	177
32.2	Prüfrohrleitungen am Eintritt.....	177
32.2.1	Bestimmung des Massenstroms.....	177
32.2.2	Während der Prüfungen durchzuführende Messungen (siehe Abschnitt 20)	181
32.2.3	Allgemeines Verfahren für kompressible Fluidströmungen	182
32.2.4	Vereinfachtes Verfahren	189
32.2.5	Ventilatorleistungen unter Prüfbedingungen	191
32.3	Prüfkammern an der Eintrittsseite	192
32.3.1	Bestimmung des Massenstroms.....	192
32.3.2	Während der Prüfung durchzuführende Messungen (siehe Abschnitt 20).....	192
32.3.3	Allgemeines Verfahren für kompressible Fluidströmungen	194
32.3.4	Vereinfachtes Verfahren	200
32.3.5	Ventilatorleistung unter Prüfbedingungen	202
33	Normverfahren mit einer Prüfrohrleitung am Eintritt und am Austritt — Einbauarten entsprechend Kategorie D	203
33.1	Arten des Ventilatoraufbaus.....	203
33.2	Einbauart entsprechend Kategorie B mit Strömungsgleichrichter am Austritt und mit zusätzlicher Eintrittsrohrleitung oder Nachbildung einer Eintrittsrohrleitung	207
33.2.1	Bestimmung des Massenstroms.....	207
33.2.2	Während der Prüfungen durchzuführende Messungen (siehe Abschnitt 20)	208
33.2.3	Allgemeines Verfahren für kompressible Fluidströmungen	208
33.2.4	Vereinfachtes Verfahren	212

33.3	Einbauart entsprechend Kategorie B ohne Strömungsgleichrichter am Austritt und ohne einfaches Rohrsegment, verändert mit zusätzlicher Eintrittsrohrleitung oder Nachbildung einer Eintrittsrohrleitung	214
33.3.1	Bestimmung des Durchflusses.....	214
33.3.2	Während der Prüfungen durchzuführende Messungen (siehe Abschnitt 20)	214
33.3.3	Allgemeines Verfahren für kompressible Fluidströmungen.....	214
33.3.4	Vereinfachtes Verfahren	215
33.4	Einbauart entsprechend Kategorie C mit gemeinsamer Eintrittsrohrleitung, verändert durch ein zusätzliches einfaches Rohrsegment mit Strömungsgleichrichter am Austritt.....	216
33.4.1	Bestimmung des Massenstroms	216
33.4.2	Während der Prüfungen durchzuführende Messungen, (siehe Abschnitt 20)	217
33.4.3	Allgemeines Verfahren für kompressible Fluidströmungen.....	217
33.4.4	Vereinfachtes Verfahren	219
33.5	Einbauart entsprechend Kategorie C, verändert durch die Ergänzung einer nachgebildeten Ausgangsrohrleitung ohne Strömungsgleichrichter	221
33.5.1	Bestimmung des Massenstroms	221
33.5.2	Während der Prüfungen durchzuführende Messungen (siehe Abschnitt 20)	222
33.5.3	Allgemeines Verfahren für kompressible Flüssigkeiten	222
33.5.4	Vereinfachtes Verfahren	226
Anhang A (normativ)	Ventilatordruck und Kategorie entsprechend der Einbauart	229
A.1	Allgemeines	229
A.2	Ventilatordruck	229
A.3	Berechnung.....	230
A.3.1	Kategorie A	230
A.3.2	Kategorie B	231
A.3.3	Kategorie C	232
A.3.4	Kategorie D	232
Anhang B (normativ)	Dachventilatoren	233
Anhang C (informativ)	Verfahren zur Dichtheitsprüfung der Kammer.....	235
C.1	Allgemeines	235
C.2	Druckabfall-Verfahren	235
C.2.1	Berechnungen	235
C.2.2	Verfahren	238
C.3	Verfahren mit Durchflussmessgerät	238
C.4	Zweiphasen-Verfahren	238
C.4.1	Erste Phase	239
C.4.2	Zweite Phase.....	239
Anhang D (informativ)	Auslaufkrümmer am Ventilator im Falle einer nicht horizontalen Ausblasachse	241
Anhang E (informativ)	Durch eine Ventilatoreinrichtung verbrauchte elektrische Eingangsleistung... 244	
E.1	Einleitung	244
E.2	Berechnungen der Leistungsaufnahme.....	245
E.3	Erforderlicher Netzstrom	249
E.4	Spezifische Ventilatorleistung	250
Anhang F (informativ)	Bevorzugte Verfahren zur Leistungsprüfung	251
Literaturhinweise		252

Vorwort

Der Text von ISO 5801:2007 einschließlich Corrigendum 1:2008 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 117 „Industrieventilatoren“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als EN ISO 5801:2008 durch das Technische Komitee CEN/TC 156 „Lüftung von Gebäuden“ übernommen, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2009, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2009 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 5801:2007 einschließlich Cor 1:2008 wurde vom CEN als EN ISO 5801:2008 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Einleitung

Diese Internationale Norm ist das Ergebnis aus über nahezu 30 Jahre lang geführten Diskussionen, Vergleichsprüfungen und detaillierten Analysen, vorgenommen von weltweit führenden Spezialisten aus Industrie und Forschungsorganisationen.

Es zeigte sich schon seit vielen Jahren, dass die Regeln zur Leistungsprüfung von Ventilatoren, die in verschiedenen Ländern aufgestellt wurden, nicht immer zu den gleichen Ergebnissen führen.

Die Notwendigkeit einer Internationalen Norm bestand schon seit einiger Zeit und das Technische Komitee ISO/TC 117 begann seine Arbeit im Jahr 1963. Mit den Jahren wurden entscheidende Fortschritte erzielt und, obwohl die Internationale Norm noch nicht erschienen war, führten die aufeinander folgenden Überarbeitungen der unterschiedlichen nationalen Normen zu einer immer besser werdenden Verständigung untereinander.

Jetzt wurde es möglich, diese Internationale Norm durch ein Abkommen bezüglich bestimmter Kernpunkte zu vervollständigen. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Prüfausrüstung, besonders die für große Ventilatoren, sehr kostspielig ist. Deshalb war es erforderlich, zahlreiche Aufbauarten aus den verschiedenen nationalen Regelwerken in diese Internationale Norm zu integrieren, um ihre künftige Anwendung zuzulassen. Das erklärt auch den Umfang dieses Dokuments.

Die grundlegenden Bestandteile dieser Internationalen Norm sind folgende:

a) Kategorien entsprechend der Einbauart

Da der Anschluss einer Rohrleitung an einen Ventilatoraustritt (Ventilatorauslass) oder -eintritt (Ventilatoreinlass) dessen Leistung verändert, wurde vereinbart, dass vier der Einbauart entsprechende Normkategorien berücksichtigt werden sollten (siehe 18.2).

Wenn ein Ventilator in mehr als eine der Einbauart entsprechende Kategorie eingeordnet werden kann, besitzt er auch mehr als ein genormtes Leistungsmerkmal. Die Anwender sollten dann die der Einbauart entsprechende Kategorie auswählen, die am besten für die Anwendung zutrifft.

b) Gemeinsame Teile

Die Unterschiede, die sich bei Prüfung desselben Ventilators nach unterschiedlichen Prüfrichtlinien ergeben, hängen hauptsächlich vom Strömungsmuster am Ventilatoraustritt ab und können, wenn sie häufig auch nur minimal sind, doch eine entscheidende Rolle spielen. Es besteht Einigkeit darin, dass es zwingend notwendig ist, dass alle genormten Prüfstände für den Einsatz mit Ventilatoren neben dem Ventilatoreintritt und/oder -austritt genügend gemeinsame Teile aufweisen, um eine einheitliche Bestimmung des Ventilatordrucks sicherzustellen.

Geometrische Variationen dieser gemeinsamen Teile werden stark eingeschränkt.

Es wurde jedoch für bestimmte Fälle eine Vereinbarung getroffen:

- 1) Bei Ventilatoren, bei denen der Austrittsdrall kleiner als 15° ist, d. h. bei Radial-, Querstrom- oder Axialventilatoren, ist es möglich, zur Ableitung in die Atmosphäre oder in einen Prüfraum ein vereinfachte Rohrleitung ohne Strömungsgleichrichter zu anzuwenden. Bei Unsicherheit über den Grad der Drallbildung sollte eine Prüfung durchgeführt werden.
- 2) Bei großen Ventilatoren (Durchmesser am Austritt von über 800 mm), kann es bei der Durchführung der Prüfungen mit genormten Prüfständen am Austritt mit einem Strömungsgleichrichter zu Schwierigkeiten kommen. In diesem Fall kann nach Vereinbarung zwischen den Vertragspartnern die Ventilatorleistung mit einem Rohr mit einer Länge von $3D$ am Ventilatoraustritt gemessen werden. Die mit dieser Verfahrensweise erzielten Ergebnisse können bis zu einem gewissen Maß von denen abweichen, die normalerweise mit dem für Kategorie D angewendeten Prüfaufbau erzielt werden, besonders wenn der Ventilator einen starken Drall erzeugt. Die Untersuchungen zu einer Aufstellung von möglichen Differenzwerten sind noch nicht abgeschlossen.

c) Berechnungen

Der Ventilatorruck ist festgelegt als Unterschied zwischen dem Staudruck am Ventilatoraustritt und dem Staudruck am Ventilatoreintritt. Wenn hohe Genauigkeit verlangt wird, ist die Kompressibilität der Luft zu berücksichtigen. Es können jedoch vereinfachte Verfahren angewendet werden, wenn die Referenz-Machzahl 0,15 nicht überschreitet.

Ein von der Ad-Hoc-Gruppe des Unterkomitees 1 von ISO/TC 117 stammendes Berechnungsverfahren für den Staudruck und den Druck des Fördermediums oder des statischen Druck innerhalb eines Bezugsabschnitts des Ventilators ist in Anhang C angegeben.

Zur Berechnung der Ventilatorleistung am Austritt und des Wirkungsgrades werden drei Verfahren vorgeschlagen. Alle drei Berechnungsverfahren führen zu sehr ähnlichen Ergebnissen (Unterschiede in der Größenordnung von wenigen Tausendstels bei Druckverhältnissen gleich 1,3).

d) Durchflussmessung

Die Bestimmung der Durchflussmessung wurde vollständig von der Bestimmung des Ventilatordrucks abgetrennt. Es gibt eine Reihe von genormten Verfahren, die angewendet werden können.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm behandelt die Leistungsmessung von Ventilatoren aller Art, mit Ausnahme von Ventilatoren, die nur zur Luftumwälzung eingesetzt werden, wie z. B. Wand- oder Tischventilatoren.

Vorgesehen sind Abschätzungen zur Messunsicherheit, und es werden innerhalb festgelegter Grenzen Umrechnungsregeln für die Prüfergebnisse bei Drehzahländerungen, Veränderungen des geförderten Gases und, bei Modellversuchen, der Maße gegeben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 3966, *Measurement of fluid flow in closed conduits — Velocity area method using Pitot static tubes*

ISO 5167-1, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 1: General principles and requirements*

ISO 5168, *Measurement of fluid flow — Procedures for the evaluation of uncertainties*

ISO 5221, *Air distribution and air diffusion — Rules to methods of measuring air flow rate in an air handling duct*

IEC 60034-2:1972, *Rotating electrical machines — Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)*

IEC 60051-2, *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories — Part 2: Special requirements for ammeters and voltmeters*

IEC 60051-3, *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories — Part 3: Special requirements for wattmeters and varmeters*

IEC 60051-4, *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories — Part 4: Special requirements for frequency meters*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 5168 und die folgenden Begriffe.

ANMERKUNG Alle in dieser Internationalen Norm verwendeten Symbole sind in Abschnitt 4 zusammen mit ihren Einheiten aufgelistet.

3.1

Querschnittsfläche der Rohrleitung

A_x

Querschnittsfläche der Rohrleitung in einem Abschnitt x

3.2

Fläche am Ventilatoreintritt

A_1

Oberflächenebene, die durch die äußeren Abmessungen der Luft fördernden Einrichtung am Eintritt begrenzt wird

ANMERKUNG Die Fläche am Ventilatoreintritt wurde vereinbarungsgemäß als Gesamtfläche der Eintrittsebene innerhalb des Gehäuses festgelegt.

3.3

Fläche am Ventilatoraustritt

A_2

Oberflächenebene, die durch die äußeren Abmessungen der Luft fördernden Einrichtung am Austritt begrenzt wird

ANMERKUNG Die Fläche am Ventilatoraustritt wurde vereinbarungsgemäß als Gesamtfläche der Austrittsebene innerhalb des Gehäuses festgelegt.

3.4

Temperatur

T

Temperatur der Luft oder des Fördermediums, die mit Hilfe eines Temperaturmessfühlers gemessen wird

ANMERKUNG Die Temperatur wird in Grad Celsius angegeben.

3.5

absolute Temperatur

θ

thermodynamische Temperatur

$$\theta = T + 273,15$$

ANMERKUNG In diesem Dokument steht θ für die absolute Temperatur in Kelvin und T für die Temperatur in Grad Celsius.

3.6

spezifische Gaskonstante

R

für ein ideales trockenes Gas lautet die Zustandsgleichung

$$\frac{p}{\rho} = R\theta$$

ANMERKUNG Bei trockener Luft, $R = 287 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

3.7

isentropischer Exponent

κ

für ein ideales Gas und einen isentropischen Prozess ist

$$\kappa = \gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

$$\frac{p}{r^\kappa} = \text{constant}$$

ANMERKUNG Für atmosphärische Luft $\kappa = 1,4$.

3.8

spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck

c_p

eines idealen Gases ist

$$c_p = \frac{k}{k-1} R$$

ANMERKUNG Normalerweise wird die spezifische Wärmekapazität in Joule je (Kilogramm Kelvin) angegeben.

3.9 spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen

c_V
eines idealen Gases ist

$$c_V = \frac{1}{\kappa - 1} R$$

ANMERKUNG Normalerweise wird die spezifische Wärmekapazität in Joule je (Kilogramm Kelvin) angegeben.

3.10 Kompressibilitätsfaktor

Z

ANMERKUNG 1 Für ein ideales Gas ist $Z = 1$.

ANMERKUNG 2 Für ein reales Gas ist

$$Z = \frac{p}{\rho R \Theta}$$

dabei ist

Z eine Funktion der Verhältnisse p/p_c und Θ/Θ_c , dabei ist:
 p_c der kritische Druck eines Gases;
 Θ_c die kritische Temperatur eines Gases.

3.11 Stagnationstemperatur an einem Punkt

Θ_{sg}

absolute Temperatur, die an einem isentropischen Stagnationspunkt für einen idealen Gasfluss vorliegt, ohne Zuführung von Energie oder Wärme

ANMERKUNG 1 Die Stagnationstemperatur ist über den Prüfstand konstant und, für eine Eintrittsrohrleitung, gleich der absoluten Umgebungstemperatur innerhalb des Prüfraums.

ANMERKUNG 2 Die Stagnationstemperatur wird in Grad Celsius angegeben

ANMERKUNG 3 Für Machzahlen unter 0,122, die für Normalluft mit Luftgeschwindigkeiten von weniger als 40 m/s erreicht werden, ist die Stagnationstemperatur praktisch gleich der Gesamttemperatur.

3.12 Temperatur des Fördermediums an einem Punkt statische Temperatur an einem Punkt

Θ

die durch einen Thermomessfühler, der mit Geschwindigkeit des Fördermediums bewegt wird, erfasste absolute Temperatur

ANMERKUNG 1 Für einen realen Gasfluss ist

$$\Theta = \Theta_{sg} - \frac{v^2}{2c_p}$$

mit v als Geschwindigkeit des Fördermediums an einem Punkt, in Meter je Sekunde.

ANMERKUNG 2 Diese Temperaturen werden in Grad Celsius angegeben.

ANMERKUNG 3 Wenn sich die Geschwindigkeit in einer Rohrleitung erhöht, fällt die statische Temperatur.

3.13

Trockenkugelttemperatur

T_d

mit einem trockenen Temperaturmessfühler im Prüfraum, nahe dem Ventilatoreintritt oder dem Eintritt in den Prüfstand, gemessene Lufttemperatur

ANMERKUNG Diese Temperatur wird in Grad Celsius angegeben.

3.14

Feuchtkugelttemperatur

T_w

Lufttemperatur, gemessen mit einem Temperaturfühler, der mit einem mit Wasser befeuchteten Docht umgebenen und einer Luftbewegung ausgesetzt ist

ANMERKUNG 1 Bei korrekter Messung wird ein genauer Näherungswert der Temperatur der adiabatischen Sättigung erhalten.

ANMERKUNG 2 Diese Temperatur wird in Grad Celsius angegeben.

3.15

Stagnationstemperatur in einem Abschnitt x

Stillstandstemperatur in einem Abschnitt x

θ_{sgx}

zeitlicher Mittelwert der Stagnationstemperatur, die über den Abschnitt des vorgegebenen Querschnitts des Prüfstandes gemittelt ist

ANMERKUNG Diese Temperatur wird in Kelvin angegeben.

3.16

statische Temperatur oder Temperatur des Fördermediums in einem Abschnitt x

θ_x

zeitlicher Mittelwert der statischen oder der Temperatur des Fördermediums, die über den Abschnitt des vorgegebenen Querschnitts des Prüfstandes gemittelt ist

ANMERKUNG Diese Temperatur wird in Kelvin angegeben.

3.17

Absolutdruck an einem Punkt

Absolutdruck

p

Druck, gemessen in Hinblick auf den absoluten Nulldruck, der auf einen Ruhepunkt relativ zur ihn umgebenden Luft ausgeübt wird

ANMERKUNG Der Druck wird im Allgemeinen in Pascal angegeben.

3.18

Atmosphärendruck

p_a

Absolutdruck der freien Atmosphäre bei mittlerer Höhenlage des Ventilators

ANMERKUNG Dieser Druck wird im Allgemeinen in Pascal angegeben.

3.19

Überdruck

p_e

Druckwert, wenn der Druck der Bezugshöhe am Messpunkt gleich dem Atmosphärendruck ist

ANMERKUNG 1 Der Überdruck kann positiv oder negativ sein

$$p_e = p - p_a$$

ANMERKUNG 2 Dieser Druck wird im Allgemeinen in Pascal angegeben.

3.20

absoluter Staudruck an einem Punkt

p_{sg}

Absolutdruck, der an einem Punkt eines strömenden Gases gemessen würde, wenn dies durch einen durch die folgende Gleichung beschriebenen isentropischen Prozess zum Stillstand gebracht worden wäre:

$$p_{sg} = p \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} Ma^2 \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}$$

ANMERKUNG 1 Ma ist die Machzahl in diesem Punkt (siehe 3.23).

ANMERKUNG 2 Dieser Druck wird im Allgemeinen in Pascal angegeben.

ANMERKUNG 3 Wird bei Strömungsgeschwindigkeiten von weniger als 40 m/s in Rohrleitungen für Normalluft eine Machzahl kleiner 0,122 erhalten, kann der Stagnationsdruck dem Gesamtdruck gleichgesetzt werden.

3.21

Mach-Faktor

f_{Mx}

für den dynamischen Druck an einem Punkt angewendeter Korrekturfaktor, der sich aus folgendem Ausdruck ergibt

$$f_{Mx} = \frac{p_{sg} - p}{p_d}$$

ANMERKUNG Der Mach-Faktor kann berechnet werden mit:

$$f_{Mx} = 1 + \frac{Ma^2}{4} + \frac{(2 - \kappa)Ma^4}{24} + \frac{(2 - \kappa)(3 - 2\kappa)Ma^6}{192} + \dots$$

3.22

dynamischer Druck an einem Punkt

p_d

Druck, berechnet aus der Geschwindigkeit v und der Dichte ρ der Luft an einem Punkt, berechnet nach folgender Gleichung:

$$p_d = \rho \frac{v^2}{2}$$

ANMERKUNG Dieser Druck wird im Allgemeinen in Pascal angegeben.

3.23

Machzahl an einem Punkt

Ma

Verhältnis der Gasgeschwindigkeit an einem Punkt zur Schallgeschwindigkeit, berechnet nach folgender Gleichung:

$$Ma = \frac{v}{\sqrt{\kappa R_w \Theta}} = \frac{v}{c}$$

dabei ist

c die Schallgeschwindigkeit,

$$c = \sqrt{\kappa R_w \Theta}$$

R_w die Gaskonstante eines feuchten Gases.

3.24

Stauüberdruck an einem Punkt

p_{esg}

Differenz zwischen dem absoluten Staudruck p_{sg} , und dem Atmosphärendruck p_a , berechnet nach folgender Gleichung:

$$p_{\text{esg}} = p_{\text{sg}} - p_a$$

ANMERKUNG Dieser Druck wird im Allgemeinen in Pascal angegeben.

3.25

Massenstrom

Massendurchfluss

q_m

zeitlicher Mittelwert der Luftmasse, die eine festgelegte Querschnittsfläche des Prüfstandes je Zeiteinheit durchströmt

ANMERKUNG 1 Der Massenstrom ist an allen Querschnitten innerhalb des Ventilator-Prüfstandes gleich, mit Ausnahme von Leckagen.

ANMERKUNG 2 Der Massenstrom wird in Kilogramm je Sekunde angegeben.

3.26

mittlerer Überdruck in einem Abschnitt x

p_{ex}

zeitlicher Mittelwert des Überdrucks, der über einer festgelegten Querschnittsfläche des Prüfstandes gemittelt wurde

ANMERKUNG Dieser Druck wird normalerweise in Pascal angegeben.

3.27

mittlerer Absolutdruck in einem Abschnitt x

p_x

zeitlicher Mittelwert des Absolutdrucks, der über einer festgelegten Querschnittsfläche des Prüfstandes gemittelt wurde und nach folgender Gleichung berechnet wird:

$$p_x = p_{\text{ex}} + p_a$$

ANMERKUNG Dieser Druck wird im Allgemeinen in Pascal angegeben.

3.28

mittlere Dichte in einem Abschnitt x

ρ_x

Dichte des Fördermediums, berechnet aus dem Absolutdruck p_x und der statischen Temperatur ϑ_x

$$\rho_x = \frac{p_x}{R_w \vartheta_x}$$

wobei R_w die Gaskonstante des feuchten Gases ist.

ANMERKUNG Die Dichte wird in Kilogramm je Kubikmeter angegeben.

3.29

Volumenstrom in einem Abschnitt x

q_{Vx}

Massenstrom in einem festgelegten Querschnitt des Prüfstandes, geteilt durch den entsprechenden zeitlichen Mittelwert der mittleren Dichte in diesem Abschnitt, berechnet nach folgender Gleichung:

$$q_{Vx} = \frac{q_m}{\rho_x}$$

ANMERKUNG Der Volumenstrom wird in Kubikmeter je Sekunde angegeben.

3.30

mittlere Geschwindigkeit in einem Abschnitt x

v_{mx}

Volumenstrom in einem festgelegten Querschnitt des Prüfstandes, geteilt durch die Querschnittsfläche A_x , berechnet nach folgender Gleichung:

$$v_{mx} = \frac{q_{Vx}}{A_x}$$

ANMERKUNG 1 Das ist der zeitliche Mittelwert der Durchschnittskomponente der für diesen Abschnitt normalen Gasgeschwindigkeit.

ANMERKUNG 2 Die mittlere Geschwindigkeit wird in Metern je Sekunde angegeben.

3.31

konventioneller dynamischer Druck in einem Abschnitt x

p_{dx}

aus der mittleren Geschwindigkeit und der mittleren Dichte an einer bestimmten Querschnittsfläche des Prüfstandes berechneter dynamischer Druck, berechnet nach folgender Gleichung:

$$p_{dx} = \rho_x \frac{v_{mx}^2}{2} = \frac{1}{2\rho_x} \left(\frac{q_m}{A_x} \right)^2$$

ANMERKUNG 1 Der konventionelle dynamische Druck ist kleiner als der mittlere dynamische Druck über dem Abschnitt.

ANMERKUNG 2 Der dynamische Druck wird in Pascal angegeben.

3.32

Machzahl in einem Abschnitt x

Ma_x

mittlere Gasgeschwindigkeit geteilt durch die Schallgeschwindigkeit in dem bestimmten Querschnitt des Prüfstandes, berechnet nach folgender Gleichung:

$$Ma_x = v_{mx} / \sqrt{\kappa R_w \Theta_x}$$

ANMERKUNG Die Machzahl hat keine Einheit.

3.33

mittlerer Staudruck in einem Abschnitt x

p_{sgx}

Summe des konventionellen dynamischen Druckes p_{dx} korrigiert durch den Mach-Faktor-Koeffizienten f_{Mx} in dem Abschnitt und dem mittleren Absolutdruck p_x , berechnet nach folgender Gleichung:

$$p_{sgx} = p_x + p_{dx} f_{Mx}$$

ANMERKUNG 1 Der mittlere Staudruck kann nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$p_{sgx} = p_x \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} Ma_x^2 \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}$$

ANMERKUNG 2 Der mittlere Staudruck wird in Pascal angegeben.

3.34

Stauüberdruck in einem Abschnitt x

p_{esgx}

Differenz des mittleren Staudruckes p_{sgx} , in einem Abschnitt und dem Atmosphärendruck p_a , berechnet nach folgender Gleichung:

$$p_{esgx} = p_{sgx} - p_a$$

ANMERKUNG Der Stauüberdruck wird in Pascal angegeben.

3.35

Stagnationstemperatur am Eintritt

Θ_{sg1}

absolute Temperatur in der Prüfkammer nahe dem Ventilatoreintritt in einem Bereich, in dem die Gasgeschwindigkeit unter 25 m/s liegt

ANMERKUNG 1 In diesem Fall ist es möglich, die Stagnationstemperatur der Umgebungstemperatur Θ_a , gleich zu setzen; die Stagnationstemperatur wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\Theta_{sg1} = \Theta_a = T_a + 273,15$$

ANMERKUNG 2 Die absolute Stagnationstemperatur am Eintritt wird in Kelvin angegeben.

3.36

Staudichte

ρ_{sg1}

Dichte, berechnet aus dem Staudruck am Eintritt p_{sg1} , und der Stagnationstemperatur am Eintritt θ_{sg1} , nach folgender Gleichung:

$$\rho_{sg1} = \frac{p_{sg1}}{R_w \theta_{sg1}}$$

ANMERKUNG Die Staudichte wird in Kilogramm je Kubikmeter angegeben.

3.37

Stauvolumenstrom am Eintritt

q_{Vsg1}

Massenstrom geteilt durch die Staudichte am Eintritt, berechnet mit folgender Gleichung:

$$q_{Vsg1} = \frac{q_m}{\rho_{sg1}}$$

ANMERKUNG Der Stauvolumenstrom wird in Kubikmeter je Sekunde angegeben.

3.38

Ventilatordruck

p_f

Differenz aus Staudruck am Ventilatoraustritt und Staudruck am Ventilatoreintritt, berechnet nach folgender Gleichung:

$$p_f = p_{sg2} - p_{sg1}$$

ANMERKUNG 1 Wenn die Machzahl kleiner als 0,15 ist, kann folgende Beziehung angewendet werden:

$$p_f = p_{tf} = p_{t2} - p_{t1}$$

ANMERKUNG 2 Es ist möglich, den Ventilatordruck auf die Kategorien entsprechend der Einbauart A, B, C oder D zu beziehen.

ANMERKUNG 3 Der Ventilatordruck wird in Pascal angegeben.

3.39

dynamischer Druck am Ventilatoraustritt

p_{d2}

konventioneller dynamischer Druck am Ventilatoraustritt, berechnet aus dem Massenstrom, der mittleren Gasdichte am Austritt und der Austrittsfläche des Ventilators

$$p_{d2} = \rho_2 \frac{v_{m2}^2}{2} = \frac{1}{2\rho_2} \left(\frac{q_m}{A_2} \right)^2$$

ANMERKUNG Der dynamische Druck wird in Pascal angegeben.

3.40

statischer Ventilatordruck

p_{sf}

konventionelle Größe, definiert als Ventilatordruck minus dem dynamischen Ventilatordruck, korrigiert durch den Mach-Faktor, und berechnet nach folgender Gleichung:

$$p_{sf} = p_{sg2} - p_{d2} \times f_{M2} - p_{sg1} = p_2 - p_{sg1}$$

ANMERKUNG 1 Es ist möglich, den statischen Druck des Ventilators auf die Kategorien entsprechend der Einbauart A, B, C oder D zu beziehen.

ANMERKUNG 2 Der statische Druck des Ventilators wird in Pascal angegeben.

3.41 mittlere Dichte

ρ_m
arithmetischer Mittelwert der Dichten am Eintritt und am Austritt

$$\rho_m = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$$

ANMERKUNG Die mittlere Dichte wird in Kilogramm je Kubikmeter angegeben.

3.42 mittlere Staudichte

ρ_{msg}
arithmetischer Mittelwert der Staudichten am Eintritt und am Austritt, berechnet nach folgender Gleichung:

$$\rho_{msg} = \frac{\rho_{sg1} + \rho_{sg2}}{2}$$

ANMERKUNG Die mittlere Staudichte wird in Kilogramm je Kubikmeter angegeben.

3.43 spezifische Förderarbeit des Ventilators

W_m
Zunahme der mechanischen Energie je Masseneinheit des durch den Ventilator strömenden Fördermediums, berechnet nach folgender Gleichung:

$$W_m = \frac{p_2 - p_1}{\rho_m} + \alpha_{A2} \frac{v_{m2}^2}{2} - \alpha_{A1} \frac{v_{m1}^2}{2}$$

ANMERKUNG 1 Es ist möglich, W_m wie in 3.47, nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$W_m = \frac{P_u}{q_m}$$

ANMERKUNG 2 Der erhaltene Wert unterscheidet sich nur um einige Tausendstel von dem mit der obigen Gleichung ermittelten Wert.

ANMERKUNG 3 Es ist möglich, die spezifische Förderarbeit auf die Kategorien entsprechend der Einbauart A, B, C oder D zu beziehen.

ANMERKUNG 4 Die spezifische Förderarbeit des Ventilators wird in Joule je Kilogramm angegeben.

3.44 statische Förderarbeit des Ventilators

W_{ms}
Zunahme der mechanischen Energie je Masseneinheit eines durch den Ventilator strömenden Fördermediums, abzüglich der auf das Fördermedium übertragenen kinetischen Energie je Masseneinheit, berechnet mit folgender Gleichung:

$$W_{ms} = \frac{p_2 - p_1}{\rho_m} - \alpha_{A1} \frac{v_{m1}^2}{2}$$

ANMERKUNG 1 Es ist möglich, die statische Förderarbeit des Ventilators auf die der Einbauart entsprechenden Kategorien A, B, C oder D zu beziehen.

ANMERKUNG 2 Die statische Förderarbeit des Ventilators wird in Joule je Kilogramm ausgedrückt.

3.45

Druckverhältnis des Ventilators

r

Verhältnis des mittleren absoluten Staudruckes am Ventilatoraustritt zum mittleren absoluten Staudruck am Ventilatoreintritt, berechnet nach folgender Gleichung:

$$r = p_{sg2} / p_{sg1}$$

ANMERKUNG Das Druckverhältnis des Ventilators ist dimensionslos.

3.46

Kompressibilitätskoeffizient

k_p

Verhältnis der vom Ventilator auf die Luft übertragenen mechanischen Arbeit zur Arbeit, die auf ein inkompressibles Fördermedium mit gleichem Massenstrom, gleicher Dichte am Eintritt und gleichem Druckverhältnis übertragen würde; k_p wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$k_p = \frac{Z_k \log_{10} r}{\log_{10} [1 + Z_k (r - 1)]}$$

dabei ist

$$Z_k = \frac{\kappa - 1}{\kappa} \times \frac{\rho_{sg1} p_r}{q_m p_f}$$

ANMERKUNG 1 Die geleistete Arbeit wird hergeleitet von der Laufradleistung unter der Annahme eines polytropischen Kompressionsdruckes ohne Wärmeaustausch durch das Ventilatorgehäuse.

ANMERKUNG 2 k_p und ρ_{ms1}/ρ_{msg} unterscheiden sich durch weniger als 2×10^{-3} .

ANMERKUNG 3 Der Kompressibilitätskoeffizient ist dimensionslos.

ANMERKUNG 4 30.2.3.4.2, Abschnitt b), beschreibt ein zweites Berechnungsverfahren.

3.47

Förderleistung des Ventilators

P_u

konventionelle Ausgangsleistung als Produkt des Massenstroms q_m und der spezifischen Förderarbeit des Ventilators W_m , oder des Produkts des Eintrittsvolumenstroms q_{Vsg1} , des Kompressibilitätskoeffizienten k_p und des Ventilatordrucks p_f , berechnet nach folgender Gleichung:

$$P_u = q_m W_m = q_{Vsg1} \times p_f \times k_p$$

ANMERKUNG 1 Es ist möglich, die Förderleistung des Ventilators auf die der Einbauart entsprechenden Kategorien A, B, C oder D zu beziehen.

ANMERKUNG 2 Die Förderleistung des Ventilators wird in Watt angegeben, wenn q_m in Kilogramm je Sekunde und W_m in Joule je Kilogramm angegeben sind.

ANMERKUNG 3 Die Förderleistung des Ventilators wird in Watt angegeben, wenn q_{Vsg1} in Kubikmeter je Sekunde und p_f in Pascal angegeben sind.

3.48

statische Förderleistung des Ventilators

P_{us}

konventionelle Ausgangsleistung als Produkt des Massenstroms q_m und der statischen Förderarbeit des Ventilators W_{ms} , oder des Produkts des Eintrittsvolumenstroms $q_{V\text{sg}1}$, des Kompressibilitätskoeffizienten k_{ps} und dem statischen Ventilatordruck p_{sf} ; k_{ps} wird berechnet mit $r = p_2/p_{\text{sg}1}$

$$P_{\text{us}} = q_m W_{\text{ms}} = q_{V\text{sg}1} \times k_{\text{ps}} \times p_{\text{sf}}$$

ANMERKUNG 1 Es ist möglich, die statische Förderleistung des Ventilators auf die der Einbauart entsprechenden Kategorien A, B, C oder D zu beziehen.

ANMERKUNG 2 Die statische Förderleistung des Ventilators wird in Watt angegeben, wenn q_m in Kilogramm je Sekunde und W_{ms} in Joule je Kilogramm angegeben sind.

3.49

Lauftradleistung

P_r

an das Ventilatorlaufrad abgegebene Antriebsleistung

ANMERKUNG Die Lauftradleistung wird in Watt angegeben.

3.50

Wellenleistung des Ventilators

P_a

an die Ventilatorwelle abgegebene Antriebsleistung

ANMERKUNG Die Wellenleistung wird in Watt angegeben.

3.51

Ausgangsleistung des Motors

P_o

Wellenleistung des Motorausgangs oder einer anderen Antriebsmaschine

ANMERKUNG Die Ausgangsleistung des Motors wird in Watt angegeben.

3.52

Eingangsleistung des Motors

P_e

elektrische Leistung, die an den Anschlussklemmen eines elektrischen Motorantriebs abgegeben wird

ANMERKUNG Die Eingangsleistung des Motors wird in Watt angegeben.

3.53

Drehzahl des Ventilatorlaufrades

N

Anzahl der Umdrehungen eines Ventilatorlaufrades je Minute

3.54

Drehfrequenz des Ventilatorlaufrades

n

Anzahl der Umdrehungen eines Ventilatorlaufrades je Sekunde

3.55

Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades

v_p

äußere Umfangsgeschwindigkeit der Laufradschaufelenden

ANMERKUNG Die Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades wird in Metern je Sekunde angegeben.

3.56

Umfangsmachzahl

Ma_u

dimensionsloser Parameter gleich dem Verhältnis der Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades zur Schallgeschwindigkeit im Gas bei Stagnationsbedingungen am Ventilatoreintritt, berechnet nach folgender Gleichung:

$$Ma_u = u / \sqrt{\kappa R_w \varrho_{sg1}}$$

3.57

Wirkungsgrad des Ventilatorlaufrades

η_r

Förderleistung des Ventilatorlaufrades geteilt durch die Laufradleistung P_r :

$$\eta_r = \frac{P_u}{P_r}$$

ANMERKUNG 1 Es ist möglich, den Wirkungsgrad des Ventilatorlaufrades auf die der Einbauart entsprechenden Kategorien A, B, C oder D zu beziehen.

ANMERKUNG 2 Der Wirkungsgrad des Ventilatorlaufrades kann als Anteil von Eins oder als Prozentsatz angegeben werden.

3.58

statischer Wirkungsgrad des Ventilatorlaufrades

η_{sr}

statische Förderleistung des Ventilatorlaufrades geteilt durch die Laufradleistung, berechnet nach folgender Gleichung:

$$\eta_{sr} = \frac{P_{us}}{P_r}$$

ANMERKUNG 1 Es ist möglich, den statischen Wirkungsgrad des Ventilatorlaufrades auf die Kategorien entsprechend der Einbauart A, B, C oder D zu beziehen.

ANMERKUNG 2 Der statische Wirkungsgrad des Ventilatorlaufrades kann als Anteil von Eins oder als Prozentsatz angegeben werden.

3.59

Wellenwirkungsgrad des Ventilators

η_a

Ventilatorleistung geteilt durch die Wellenleistung des Ventilators, berechnet nach folgender Gleichung:

$$\eta_a = \frac{P_u}{P_a}$$

ANMERKUNG 1 Im Gegensatz zur Laufradleistung des Ventilators berücksichtigt die Wellenleistung des Ventilators Verluste durch Lager.

ANMERKUNG 2 Es ist möglich, den Wellenwirkungsgrad des Ventilators auf die der Einbauart entsprechenden Kategorien A, B, C oder D zu beziehen.

ANMERKUNG 3 Der Wellenwirkungsgrad kann als Anteil von Eins oder als Prozentsatz angegeben werden.

3.60

Wellenwirkungsgrad des Ventilatormotors

η_o
Förderleistung des Ventilators P_u geteilt durch die Ausgangsleistung des Motors P_o , berechnet nach folgender Gleichung:

$$\eta_o = \frac{P_u}{P_o}$$

ANMERKUNG 1 Es ist möglich, den Wellenwirkungsgrad des Ventilatormotors auf die der Einbauart entsprechenden Kategorien A, B, C oder D zu beziehen.

ANMERKUNG 2 Der Wellenwirkungsgrad des Ventilatormotors kann als Anteil von Eins oder als Prozentsatz angegeben werden.

3.61

Gesamtwirkungsgrad

η_e
Förderleistung des Ventilators geteilt durch die Motoreingangsleistung für die Kombination Ventilator und Motor, berechnet nach folgender Gleichung:

$$\eta_e = \frac{P_u}{P_e}$$

ANMERKUNG 1 Es ist möglich, den Gesamtwirkungsgrad auf die der Einbauart entsprechenden Kategorien A, B, C oder D zu beziehen.

ANMERKUNG 2 Der Gesamtwirkungsgrad kann als Anteil von Eins oder als Prozentsatz angegeben werden.

3.62

Verhältnis von Eintrittsdichte zu mittlerer Dichte

k_ρ
Dichte des Fördermediums am Ventilatereintritt geteilt durch die mittlere Dichte des Fördermediums im Ventilator, berechnet nach folgender Gleichung:

$$k_\rho = \frac{2\rho_1}{\rho_1 + \rho_2}$$

ANMERKUNG k_ρ ist dimensionslos.

3.63

kinetischer Energiefaktor in einem Abschnitt x

α_{Ax}
dimensionsloser Koeffizient gleich dem zeitgemittelten kinetischen Energiefluss durch die betrachtete Fläche A_x geteilt durch die der mittleren Strömungsgeschwindigkeit der Luft durch diese Fläche entsprechenden kinetischen Energie, berechnet nach folgender Gleichung:

$$\alpha_{Ax} = \frac{\iint_{A_x} (\rho v_n^2) dA_x}{q_m v_{mx}^2}$$

dabei ist

- v die örtliche absolute Geschwindigkeit, in Meter je Sekunde;
- v_n die für den Querschnitt normale örtliche Geschwindigkeit, in Meter je Sekunde.

3.64

kinetischer Index im Abschnitt x

i_{kx}

dimensionsloser Koeffizient gleich dem Verhältnis der kinetischen Energie je Masseneinheit in einem Abschnitt x und der spezifischen Förderarbeit des Ventilators, berechnet nach folgender Gleichung:

$$i_{kx} = \frac{v_{mx}^2}{2W_m}$$

3.65

Reynolds-Zahl eines Abschnitts x

Re_{Dx}

dimensionsloser Parameter, der den Entwicklungszustand einer Strömung festlegt und als Skalierungsparameter verwendet wird

ANMERKUNG Die Reynolds-Zahl ist das Produkt aus örtlicher Geschwindigkeit, örtlicher Dichte und der relevanten Skalenlänge (Rohrdurchmesser, Flügeltiefe), geteilt durch die dynamische Viskosität, und wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$Re_{Dx} = \frac{v_{mx} D_x}{\nu_x} = \frac{4q_m}{\pi \mu D_x}$$

3.66

Reibungsverlustkoeffizient

$(\xi_{x-y})_y$

dimensionsloser Koeffizient für Reibungsverluste zwischen den Ebenen x und y eines Rohres, berechnet für die Geschwindigkeit und die Dichte eines Abschnitts y ; für eine inkompressible Strömung, dargestellt in folgender Gleichung:

$$\Delta p_{xy} = \frac{1}{2} \rho_y v_{my}^2 (\xi_{x-y})_y$$

3.67

hydraulischer Durchmesser

D_h

hydraulischer Durchmesser eines rechteckigen Abschnitts einer Rohrleitung, berechnet nach folgender Gleichung:

$$D_h = \frac{4A}{2(b+h)}$$

dabei ist

- A die Querschnittsfläche;
- b die Breite des rechteckigen Abschnitts;
- h die Höhe des rechteckigen Abschnitts.

3.68

Durchflusszahl

Φ

dimensionslose Zahl die nach folgender Gleichung berechnet wird:

$$\Phi = \frac{q_m}{\rho_m D_r^2 u}$$

3.69

Druckkoeffizient

ψ

dimensionslose Zahl, die nach folgender Gleichung berechnet wird:

$$\psi = \frac{p_f}{\rho_m u^2}$$

3.70

Ventilatorleistungskoeffizient

λ

dimensionslose Zahl, die nach folgender Gleichung berechnet wird:

$$\lambda = \frac{\phi \psi}{\eta}$$

4 Einheiten und Symbole

4.1 Symbole

Für die Anwendung dieser Internationalen Norm gelten die folgenden Einheiten und Symbole.

Symbol	Dargestellte Größe	Definition siehe	SI-Einheit
A_x	Querschnittsfläche der Rohrleitung in einem Abschnitt x	3.1	m ²
a	Durchmesser der Druckmessbohrungen in der Wand	—	mm
b	Breite eines rechteckigen Bereiches einer Rohrleitung	—	m
C	Ausblaskoeffizient	—	—
c	Schallgeschwindigkeit	3.23	m/s
c_p	Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	3.8	J/kg/K
c_V	Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen	3.9	J/kg/K
d	Durchmesser einer Blende oder einer Düse	—	m
d_i	Durchmesser des Staudruckloches eines Staudruckrohres	—	mm
D	Innendurchmesser einer runden Rohrleitung auf der Anströmseite eines nachgeschalteten Durchflussmessgeräts	—	m
D_h	Hydraulischer Durchmesser eines rechteckigen Abschnitts einer Rohrleitung	3.67	m
D_x	Innendurchmesser einer runden Rohrleitung im Abschnitt x	—	m
D_r	Außendurchmesser des Ventilatorlaufrades	—	m
f_{Mx}	Mach-Faktor zur Korrektur des dynamischen Druckes eines Abschnitts x	3.21	—
g	Erdbeschleunigung	—	m/s ²
h	Höhe eines rechteckigen Abschnitts einer Rohrleitung	—	m
h_u	Relative Feuchte p_V/p_{sat}	—	—
i_{Kx}	Kinetischer Index im Abschnitt x	3.64	—
k_c	Resultierender Koeffizient, der zur Umrechnung der Prüfergebnisse verwendet wird	—	—
k_{cs}	Resultierender Koeffizient, der zur Umrechnung des Prüfergebnisses des statischen Druckes verwendet wird	—	—
k_ρ	Verhältnis von Eintrittsdichte und mittlerer Dichte	3.62	—
k_p	Kompressibilitätskoeffizient zur Berechnung der Förderleistung des Ventilators P_u	3.46	—
k_{ps}	Kompressibilitätskoeffizient zur Berechnung der statischen Förderleistung des Ventilators	—	—
Ma	Machzahl	3.23	—
Ma_x	Machzahl im Abschnitt x	3.32	—
$Ma_{x,\text{ref}}$	Bezugsmachzahl im Abschnitt x bei Stagnationsbedingungen am Eintritt	—	—

Symbol	Dargestellte Größe	Definition siehe	SI-Einheit
Ma_u	Umfangsmachzahl	3.56	—
m	Flächenverhältnis einer Blende $(d/D)^2$	—	—
n	Drehfrequenz des Ventilatorlaufrades	—	U/s
N	Drehzahl des Laufrades	—	U/min
p	Absolutdruck des Fördermediums	3.17	Pa
p_a	Atmosphärendruck des Ventilators in mittleren Höhenlagen	3.18	Pa
p_e	Überdruck	3.19	Pa
p_{sg}	Absoluter Staudruck an einem Punkt	3.20	Pa
p_{esg}	Stauüberdruck an einem Punkt	3.24	Pa
p_{esgx}	Stauüberdruck in einem Abschnitt x	3.34	Pa
p_d	Dynamischer Druck an einem Punkt	3.22	Pa
p_x	Mittlerer Absolutdruck in einem Abschnitt x	3.27	Pa
p_{ex}	Mittlerer Überdruck in einem Abschnitt x	3.26	Pa
p_{sgx}	Mittlerer Staudruck in einem Abschnitt x	3.33	Pa
p_{dx}	Konventioneller dynamischer Druck in einem Abschnitt x	3.31	Pa
p_{sat}	Sättigungsdampfdruck	12.2	Pa
p_v	Wasserdampfpartialdruck	12.2	Pa
p_f	Ventilatordruck	3.38	Pa
p_{sf}	Statischer Ventilatordruck	3.40	Pa
p_{d2}	Dynamischer Druck am Ventilatoraustritt	3.39	Pa
p_u	Mittlerer Absolutdruck auf der Anströmseite eines nachgeschalteten Durchflussmessgeräts	—	Pa
p_{do}	Mittlerer Absolutdruck auf der Abströmseite eines nachgeschalteten Durchflussmessgeräts	—	Pa
P_a	An die Ventilatorwelle abgegebene Antriebsleistung	3.50	W
P_e	Eingangsleistung des Motors	3.52	W
P_o	Ausgangsleistung des Motors	3.51	W
P_r	An das Ventilatorlaufrad abgegebene Antriebsleistung	3.49	W
P_u	Förderleistung des Ventilators	3.47	W
P_{us}	Statische Förderleistung des Ventilators	3.48	W
q_m	Massenstrom (Massendurchfluss)	3.25	kg/s
q_V	Volumenstrom (Volumendurchfluss)	—	m ³ /s
q_{Vsg1}	Stauvolumenstrom am Eintritt	3.37	m ³ /s
q_{Vx}	Volumenstrom in einem Abschnitt x	3.29	m ³ /s
r	Druckverhältnis des Ventilators	3.45	—

Symbol	Dargestellte Größe	Definition siehe	SI-Einheit
r_d	Druckverhältnis eines Durchflussmessgeräts $r_d = p_{do}/p_u$	—	—
$r_{\Delta p}$	$\Delta p/p_{do}$ eines Durchflussmessgeräts	—	—
R	Gaskonstante für trockene Luft oder trockenes Gas	3.6	J/kg/K
R_w	Gaskonstante für feuchte Luft oder feuchtes Gas	—	J/kg/K
Re_{Dx}	Reynolds-Zahl eines Abschnitts x	3.65	—
T_a	Umgebungstemperatur	—	°C
T_b	Barometertemperatur	—	°C
T_d	Trockenkugelttemperatur	3.13	°C
T_w	Feuchtkugelttemperatur	3.14	°C
T_x	Statische Temperatur eines Abschnitts x	—	°C
T_{sgx}	Stagnationstemperatur eines Abschnitts x	—	°C
u_x	Relative Unsicherheit von x	—	%
U_x	Absolute Unsicherheit von x	—	gleich X
v	Gasgeschwindigkeit an einem Punkt	—	m/s
v_{mx}	Mittlere Gasgeschwindigkeit in einem Abschnitt x	3.30	m/s
v_p	Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades	3.55	m/s
W_m	Spezifische Förderarbeit des Ventilators	3.43	J/kg
W_{ms}	Statische Förderarbeit des Ventilators	3.44	J/kg
Z	Kompressibilitätsfaktor in einer Zustandsgleichung	3.10	—
Z_k	Zur Berechnung des Kompressibilitätsfaktors k_p verwendeter Koeffizient (erstes Verfahren)	—	—
Z_p	Zur Berechnung des Kompressibilitätsfaktors k_p verwendeter Koeffizient (zweites Verfahren)	—	—
z_x	Mittlere Höhe über NN eines Abschnitts x	—	m
α	Durchflusskoeffizient eines nachgeschalteten Durchflussmessgeräts	—	—
α_{Ax}	Koeffizient des kinetischen Energieflusses einer Fläche A_x in einem Abschnitt x ; α_{Ax} wird als gleich 1 angenommen	3.63	—
β	Verhältnis des Innendurchmessers einer Blende oder Düse zum anströmseitigen Durchmesser einer Rohrleitung d/D	—	—
β'	Verhältnis des Innendurchmessers einer Ausflussöffnung oder Düse zum abströmseitigen Durchmesser einer Rohrleitung	—	—
Δp	Differenzdruck	—	Pa
Δz_b	Höhendifferenz von Barometer und der mittleren Höhe über NN des Ventilators	—	m
ε	Expansionszahl	—	—

Symbol	Dargestellte Größe	Definition siehe	SI-Einheit
$(\xi_{x-y})_y$	Für einen Abschnitt y berechneter konventioneller Reibungsverlustkoeffizient zwischen den Ebenen x und y	3.66	—
η	Wirkungsgrad	—	—
η_s	Statischer Wirkungsgrad	—	—
η_a	Wellenwirkungsgrad des Ventilators	3.59	—
η_e	Gesamtwirkungsgrad	3.61	—
η_o	Wellenwirkungsgrad des Ventilormotors	3.60	—
η_r	Wirkungsgrad des Ventilatorlaufrades	3.57	—
η_{sr}	Statischer Wirkungsgrad des Ventilatorlaufrades	3.58	—
θ_{sgx}	Stagnationstemperatur im Abschnitt x	3.15	K
θ_x	Statische Temperatur oder Temperatur des Fördermediums im Abschnitt x	3.16	K
θ_a	Umgebungstemperatur	—	K
θ_u	Temperatur auf der Anströmseite eines nachgeschalteten Durchflussmessgerätes	—	K
κ	Isentropischer Exponent für ein ideales Gas	3.7	—
Λ	Spezifischer Reibungsverlustkoeffizient für die eine Länge eines Durchmessers einer geraden Rohrleitung	—	—
μ	Dynamische Viskosität	—	Pa·s
ρ	Gasdichte	—	kg/m ³
ρ_x	Mittlere Gasdichte im Abschnitt x	3.28	kg/m ³
ρ_m	Mittlere Dichte eines Gases im Ventilator	3.41	kg/m ³
Φ	Durchflusszahl	3.68	—
Ψ	Druckzahl	3.69	—
λ	Leistungszahl	3.70	—
ω	Winkelgeschwindigkeit	—	rad/s
ν	Kinematische Viskosität	12.3	m/s

4.2 Indizes

- 1 Eintritt des Prüfventilators
- 2 Austritt des Prüfventilators
- 3 Abschnitt für die Druckmessung auf der Eintrittsseite des Prüfstandes
- 4 Abschnitt für die Druckmessung auf der Austrittsseite des Prüfstandes
- 5 Druckmessbohrung für Δp am Hals oder auf der Abströmseite für eine Messung am Eintritt
- 6 Druckmessbohrung für Δp und p_u für eine Messung am Austritt
- 7 Anströmseitige Entnahmestelle von Δp und p_u für eine Messung am Eintritt
- 8 Druckmessbohrung für Δp am Hals oder auf der Abströmseite für eine Messung am Austritt
- a Umgebungsatmosphäre im Prüfraum
- b Barometer
- c Mittelpunkt des Prüfabschnittes
- do Abströmseite eines Durchflussmessgeräts
- f Ventilator
- Gu Garantiert im Hinblick auf die vertraglich festgelegten Kenndaten
- n Bezugsebene des Ventilators; $n = 1$ am Eintritt, $n = 2$ am Austritt
- s Statische Bedingungen
- sat Sättigungsbedingungen
- sg Stagnationszustand
- Te Geprüft in Hinblick auf die vertraglich festgelegten Kenndaten
- u Bedingungen für die Referenzluft auf der Anströmseite eines Durchflussmessgeräts
- $x-y$ Länge des Prüfstandes von Ebene x bis Ebene y

5 Allgemeines

Die obere Grenze der Förderarbeit des Ventilators beträgt 25 000 J/kg, was einem Anstieg des Ventilator-drucks von ungefähr 30 000 Pa bei einer mittleren Dichte im Ventilator von 1,2 kg/m³ entspricht.

Das Arbeitsmedium für die Prüfung auf genormten Prüfständen ist Normalluft, wobei Druck und Temperatur im normalen atmosphärischen Bereich liegen sollten.

Es gibt vier Kategorien entsprechend der Einbauart:

- Einbauart A: Einbau mit freier Ansaugung und freier Ausblasung;
- Einbauart B: Einbau mit freier Ansaugung und rohrleitungsgeführter Ausblasung;
- Einbauart C: Einbau mit rohrleitungsgeführter Ansaugung und freier Ausblasung;
- Einbauart D: Einbau mit rohrleitungsgeführter Ansaugung und rohrleitungsgeführter Ausblasung.

Auf diese Kategorien werden die vier Leistungskennndaten bezogen.

Die Ventilatorleistung kann nicht als konstant angesehen werden. Die Ventilatorkennlinie, die das Verhältnis von Ventilatordruck zum Volumenstrom zeigt, kann durch die saugseitige Strömung, wenn z. B. das Geschwindigkeitsprofil gestört wird oder eine Drallbildung vorliegt, beeinflusst werden.

Obwohl die ausblasseitige Strömung keine Auswirkungen auf die Strömung durch das Laufrad hat, können die Verluste in der druckseitigen Rohrleitung durch die Strömung am Ventilatoraustritt verändert werden.

Die Mess- und Berechnungsverfahren für Volumenstrom, Ventilatordruck und Wirkungsgrad des Ventilators sind in den Abschnitten 14 bis 27 von Anhang A festgelegt. Sie wurden für eine kompressible Strömung unter Berücksichtigung der Auswirkungen durch die Machzahl und Dichteschwankung aufgestellt. Außerdem ist ein vereinfachtes Verfahren für Bezugsmachzahlen kleiner als 0,15 und/oder Ventilatordrücke von weniger als 2 000 Pa angegeben.

Für die Zwecke dieser Internationalen Norm wurde vereinbart, dass die Berechnungen mit Absolutdrücken und -temperaturen durchgeführt werden, es werden jedoch auch die entsprechenden Bezeichnungen bei Verwendung des Überdruckes genannt.

Es wurde vereinbart, dass:

- für Ventilatoren entsprechend Einbauart C und D ein einfaches Rohrsegment des Prüfstandes auf der Anströmseite des Ventilators bereitgestellt werden sollte, um eine lange, gerade Eintrittsrohrleitung zu simulieren;
- für Ventilatoren nach Einbauart B und D ein einfaches Rohrsegment des Prüfstandes (einschließlich eines genormten Strömungsgleichrichters: einem Gleichrichter mit acht radialen Leitschaufeln oder einem Wabengleichrichter) nach dem Ventilatoraustritt vor dem Ausgangsdruckmessbereich vorhanden sein sollte, um eine lange, gerade Austrittsrohrleitung zu simulieren.

Wenn die Einbauart C vor Ort mit einer kurzen, in die Atmosphäre ausblasenden Rohrleitung nachgebildet werden soll, sollte der Prüfventilator mit einer Rohrleitung ausgestattet sein, die die gleiche Form des Ventilatoraustritts hat und deren Länge zwei äquivalenten Durchmessern entspricht.

Für große Ventilatoren nach Einbauart D (Durchmesser von 800 mm oder mehr) kann die Durchführung der Prüfungen mit genormten Prüfständen am Austritt, einschließlich der Gleichrichter, schwierig sein. In diesem Fall kann zwischen den beteiligten Parteien vereinbart werden, dass die Leistungsmessung des Ventilators mit dem in 28.2.5 beschriebenen Prüfaufbau mit einer Länge der Rohrleitung an der Austrittsseite von $3D$ durchgeführt wird. Die hiermit erhaltenen Ergebnisse können bis zu einem gewissen Grad von denen auf normalen Prüfständen auf der Eintritts- und Austrittsseite abweichen, besonders, wenn der Ventilator einen starken Drall erzeugt.

Es wurde vereinbart, die kinetischen Energiefaktoren α_{A1} , α_{A2} am Ventilatoreintritt und -austritt gleich 1 zu setzen.

Die in den Bildern für jeden Prüfaufbau gezeigten Prüfventilatoren sind vom gleichen Typ (z. B. ein Axialventilator). Als Prüfventilator könnte jedoch auch ein anderer Ventilatortyp eingesetzt werden.

6 Ausrüstung für die Druckmessung

6.1 Barometer

Der atmosphärische Druck im Prüfraum muss bei mittlerer Höhenlage zwischen dem Zentrum von Ventilatoreintritts- und -austrittsabschnitten mit einer Unsicherheit unter $\pm 0,2 \%$ bestimmt werden. Die Werte sollten auf direkt anzeigenden Barometern auf 100 Pa (1 mmbars) oder 1 mmHg abgelesen werden. Die Barometer sollten kalibriert werden und hinsichtlich der Abweichungen bei der Quecksilberdichte von den Normalwerten, aller Änderungen der Skalenlänge durch die Temperatur und dem örtlichen Wert für g korrigiert werden.

Eine Korrektur könnte unnötig sein, wenn die Skala für den regionalen Wert von g (innerhalb $\pm 0,01 \text{ m/s}^2$) und für die Raumtemperatur (innerhalb $\pm 5 \text{ °C}$) voreingestellt wurde.

Es können Aneroidbarometer oder Barometer vom Typ Druckaufnehmer eingesetzt werden, vorausgesetzt, dass sie eine kalibrierte Genauigkeit von $\pm 200 \text{ Pa}$ aufweisen und die Kalibrierung zum Zeitpunkt der Prüfung geprüft wurde.

Im Prüfraum sollte das Barometer in mittlerer Höhenlage zwischen Ventilatoreintritt und -austritt platziert werden. Für jede Abweichung von mehr als 10 m von der mittleren Höhenlage sollte eine Korrektur, $\rho_a g(z_b - z_m)$, in Pascal, vorgenommen werden;

dabei ist

- z_b die Höhenlage des Barometerbehälters oder des Druckaufnehmers;
- z_m die mittlere Höhenlage zwischen Ventilatoreintritt und -austritt;
- g der örtlicher Wert für die Erdbeschleunigung;
- ρ_a die Dichte der Umgebungsluft.

6.2 Manometer

Zur Messung der Druckdifferenz eingesetzten Manometer müssen bei konstantem Druck und nach Anwendung jeglicher Kalibrierkorrekturen (einschließlich der Korrektur für den Temperaturunterschied von der Kalibriertemperatur und der für den g -Wert) eine Unsicherheit von weniger als $\pm 1 \%$ des maßgeblichen Druckes oder 1,5 Pa, je nachdem, welcher Wert höher ist, aufweisen.

Der maßgebliche Druck sollte als Staudruck des Ventilators bei Nennbetrieb oder als Druckdifferenz bei der Messung des Nenn-Volumenstroms in Übereinstimmung mit der Arbeitsweise des Manometers genommen werden. Der Nennbetrieb liegt normalerweise nahe dem Punkt des optimalen Wirkungsgrades auf der Ventilator Kennlinie.

Normalerweise werden vertikale Manometer oder Schrägrohrmanometer eingesetzt; die Verwendung von Druckaufnehmern mit Anzeige- oder Aufzeichnungsmessgeräten mit gleicher Genauigkeit, die die Kalibrieranforderungen erfüllen, ist jedoch auch möglich.

Die Kalibrierung sollte mit einer Reihe konstanter Drücke, sowohl steigende, als auch fallende, durchgeführt werden, um jede Abweichung zu überprüfen.

Als Bezugsmessgerät sollte ein Präzisionsmanometer oder ein Mikromanometer mit einer Ablesegenauigkeit von $\pm 0,25 \%$ oder 0,5 Pa, je nachdem, welcher Wert höher liegt, eingesetzt werden.

6.3 Dämpfung von Manometern

Schnelle Schwankungen der Manometerwerte sollten durch eine Dämpfung begrenzt werden, damit eine Einschätzung der mittleren Ablesung zwischen $\pm 1 \%$ des maßgeblichen Druckes möglich ist. Die Dämpfung kann in den Luftverbindungen zum Manometer oder im Flüssigkeitskreis des Messgeräts erfolgen. Sie sollte linear sein und einen gleichmäßigen Widerstand zu Bewegungen in allen Richtungen sicherstellen. Die Dämpfung sollte nicht so hoch sein, dass eine genaue Anzeige von langsameren Wechseln verhindert wird. Falls das der Fall ist, sollte eine ausreichend hohe Anzahl an Ablesungen erfolgen, um den Mittelwert innerhalb $\pm 1 \%$ des maßgeblichen Druckes bestimmen zu können.

6.4 Prüfung der Manometer

Flüssigkeitsmanometer sollten direkt am Ort der Prüfung überprüft werden, um deren Kalibrierung nahe dem maßgeblichen Druck zu bestätigen. Schrägrohrmanometer sollten häufiger in Hinblick auf den Flüssigkeitsstand überprüft und, bei eventuellen Störungen, erneut kalibriert werden. Die Nullstellung aller Manometer ist vor und nach jeder Ablesereihe ohne Störungen des Messgeräts zu überprüfen.

6.5 Position des Manometers

Die Höhenlage des Nullpegels von Manometern oder Druckaufnehmern sollte die mittlere Höhenlage des Abschnitts für die Druckmessung sein (siehe Bild 1).

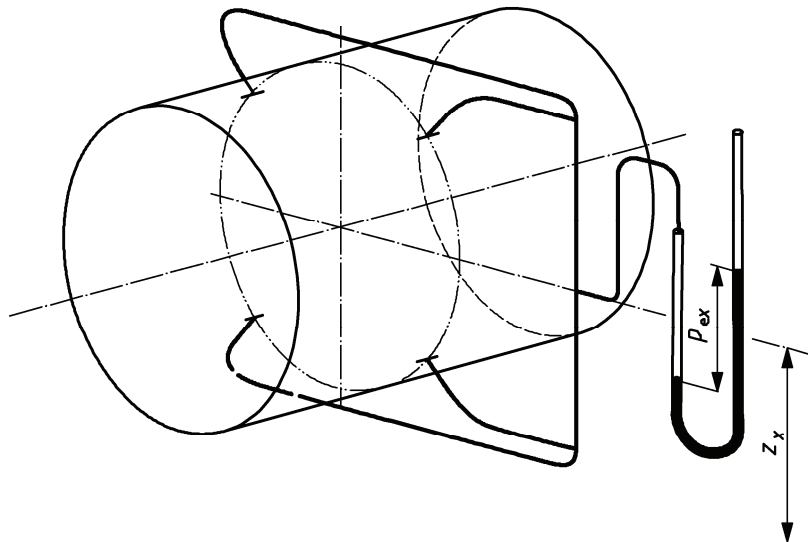


Bild 1 — Entnahmestellen zur Erlangung des mittleren statischen Druckes und die Höhenlage des Manometers

7 Bestimmung des mittleren Druckes eines Prüfstandes

7.1 Messverfahren

Es ist ein Differenzdruckmesser in Übereinstimmung mit den Festlegungen in 6.2 bis 6.5 einzusetzen, dessen eine Seite entweder mit den Entnahmestellen in der Wand oder mit den Druckanschlüssen einer Reihe von Staudruckrohren in der Ebene der Druckmessung verbunden ist.

Um den mittleren statischen Druck dieser Ebene zu bestimmen, muss die andere Seite des Manometers in Richtung des Atmosphärendruckes im Prüfraum geöffnet sein.

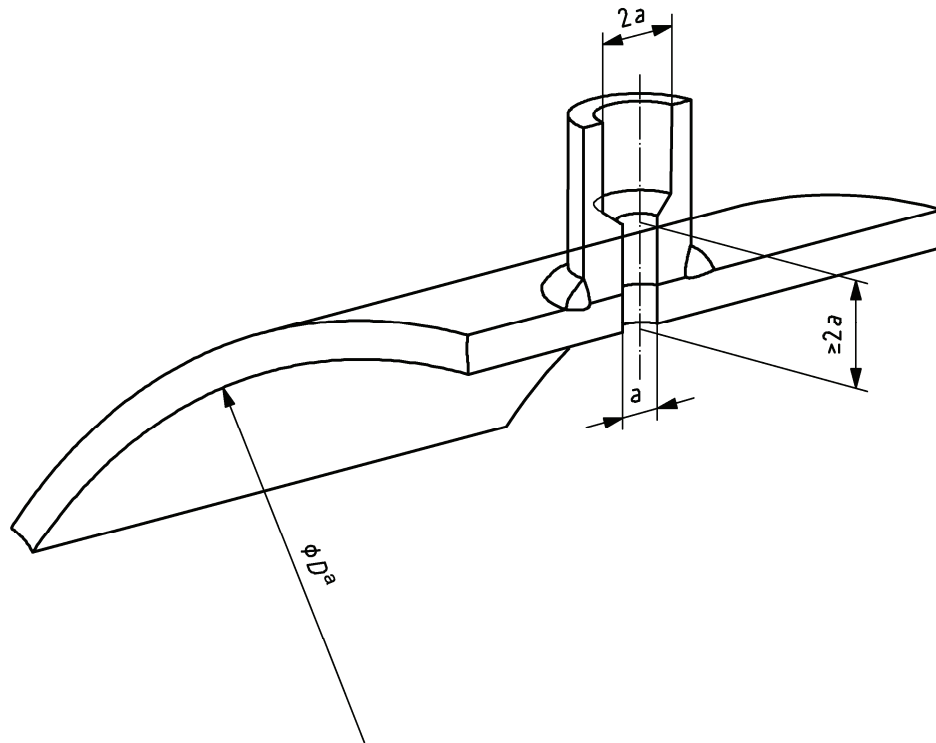
Um die Druckdifferenz zwischen den Ebenen für die Druckmessung an gegenüberliegenden Seiten des Ventilators zu bestimmen, können eine oder beide Seiten des Manometers zwischen vier Entnahmestellen, die in Übereinstimmung mit den Empfehlungen in 7.4 angebracht sind, verbunden werden.

7.2 Anwendung von Druckmessbohrungen

In jedem der Abschnitte der Druckmessung in genormten Prüfständen, die in den Abschnitten 21 bis 25 und 30 bis 33 festgelegt sind, ist der mittlere statische Druck aus dem Mittelwert aus Druckmessungen an vier in Übereinstimmung mit 7.3 konstruktiv ausgeführten Druckmessbohrungen zu bestimmen.

7.3 Konstruktive Ausführung der Druckmessbohrungen (Entnahmestellen)

Jede Entnahmestelle hat die Form einer Bohrung durch den Prüfstand mit den in Bild 2 angegebenen Grenzmaßen. Zusätzliche Grenzwerte für Druckmessbohrungen für Durchflussmessgeräte sind in den Abschnitten 22 bis 26 festgelegt. Es ist wichtig, dass jede Bohrung sorgfältig ausgeführt ist, damit die Bohrung lotrecht zur inneren Oberfläche des Prüfstandes verläuft und bündig zu dieser abschließt, ohne innere Vorsprünge aufzuweisen. Ein Verrunden des Bohrungsrandes bis maximal $0,1 a$ ist zulässig.



a Durchmesser des Prüfstandes (D)

Bild 2 — Konstruktive Ausführung von Druckmessbohrungen

Der Bohrungsdurchmesser a , darf nicht kleiner als 1,5 mm, nicht größer als 5 mm und nicht größer als 0,1 D sein.

Besondere Sorgfalt ist erforderlich, wenn die Geschwindigkeit im Prüfstand mit der an Ventilatereintritt und -austritt vergleichbar ist. In diesen Fällen sollte die Druckmessbohrung in einem Abschnitt des Prüfstandes angeordnet sein, der frei von Verbindungsstellen oder sonstigen Unregelmäßigkeiten ist, und zwar auf der Anströmseite auf einer Strecke D und auf der Abströmseite auf einer Strecke $D/2$, dabei ist D der Durchmesser des Prüfstandes. In sehr großen Prüfständen ist diese Bedingung möglicherweise nicht einzuhalten. Dann dürfen die in 7.6 beschriebenen Staudruckrohre angewendet werden.

7.4 Lage und Anschlüsse

Bei runden Prüfständen sollten die vier Entnahmestellen in gleichmäßigem Abstand über den Umfang verteilt sein. Bei rechteckigen Prüfständen sollten sie jeweils in der Mitte der vier Seiten liegen. Bei vier gleichartigen Entnahmestellen ist eine Verbindung mit Anschluss zu einem einzigen Manometer zulässig. Die Verbindung sollte entsprechend Bild 1 ausgeführt sein.

7.5 Überprüfung der Übereinstimmung

Es ist sicherzustellen, dass alle Rohrleitungen und Verbindungen frei von Hindernissen oder Leckagen sind und keine Flüssigkeiten enthalten. Vor Beginn aller Beobachtungen sollte der Druck an allen seitlichen Entnahmestellen einzeln mit einer Strömungsgeschwindigkeit, die an den Höchstwert der Prüfreihe heranreicht, gemessen werden. Wenn an einer der seitlichen Entnahmestellen Werte außerhalb eines Bereiches von 5 % für $p_{ex} < 1\,000\text{ Pa}$ oder 2 % für $1\,000\text{ Pa} < p_{ex} < 30\,000\text{ Pa}$, mit p_{ex} als mittlerer Überdruck, gemessen werden, sind die Entnahmestellen und die Manometerverbindungen auf Fehler zu untersuchen. Werden keine Fehler festgestellt, sollten acht gleichmäßig verteilte Druckmessbohrungen angewendet werden.

ANMERKUNG „Mittlerer Überdruck“ bezeichnet hier den Druck über einer Düse oder einer Blendenöffnung bei Nennvolumenstrom im Fall von Durchflussmessungen oder bei Nenn-Ventilatorruck im Fall von Druckmessungen.

7.6 Anwendung von Staudruckrohren

An der geeigneten Druckmessebene eines runden Prüfstandes sollten mindestens vier Punkte ausgewählt werden, die gleichmäßig und symmetrisch um eine Achse im Abstand von der Wand, der ungefähr einem Achtel des Durchmessers des Prüfstandes entspricht, oder bei einem rechteckigen Prüfstand im Abstand vom Mittelpunkt jeder Wand, der einem Achtel der Breite der Rohrleitung entspricht, verteilt sind. Bei konstanten Strömungsbedingungen sollte der statische Druck an jedem Punkt abgelesen und der Mittelwert berechnet werden.

Alternativ dazu können, wenn gewünscht, die Anschlüsse der statischen Druckmessbohrungen von vier getrennten Staudruckrohren verbunden werden, um nur eine Ablesung in der in 7.4 und Bild 1 beschriebenen Art und Weise zu erhalten.

8 Temperaturmessung

8.1 Thermometer

Die zur Temperaturmessung verwendeten Messinstrumente müssen eine Genauigkeit von $\pm 0,5\text{ °C}$ nach Anwendung aller Kalibrierkorrekturen aufweisen.

8.2 Einbaustelle des Thermometers

Wenn eine Messfühler zur Temperaturmessung in den Prüfstand eingebracht wird, ist die Messgenauigkeit eine Funktion der Geschwindigkeit des Fördermediums.

Die gemessene Temperatur, bei der es sich weder um die Stagnationstemperatur noch um die statische Temperatur handelt, ist ein Wert, der zwischen beiden liegt und der normalerweise näher am Wert der Stagnationstemperatur liegt.

Bei einer Luftgeschwindigkeit gleich 25 m/s beträgt der Unterschied zwischen Stagnationstemperatur und statischer Temperatur $0,31\text{ °C}$; bei 35 m/s beträgt der gleiche Unterschied $0,61\text{ °C}$ (bei einer statischen Temperatur von 293,15 K).

Wenn die Messung in einem Abschnitt durchgeführt wird, in dem die Luftgeschwindigkeit unter 25 m/s liegt, wird die gemessene Temperatur gleich der Stagnationstemperatur und der statischen Temperatur angesehen.

Es wird daher empfohlen, dass die Messung der Stagnationstemperatur anströmseitig des Ventilatoreintritts oder des Eintritts zum Prüfstand, entweder in einem Abschnitt, in dem die Luftgeschwindigkeit zwischen 0 m/s und 25 m/s liegt, oder in der saugseitigen Prüfkammer durchgeführt wird.

Um die mittlere Stagnationstemperatur zu messen, sind ein oder mehrere Messfühler in dem entsprechenden Abschnitt unterzubringen, eingebaut an einem vertikalen Durchmesser in unterschiedlichen Höhenlagen, die symmetrisch um den Mittelpunkt des Durchmessers angeordnet sind. Die Messfühler sind gegen Strahlung von aufgeheizten Oberflächen abzuschirmen.

Lassen sich diese Anforderungen nicht erfüllen, können die Messfühler auch innerhalb eines Prüfstandes entlang eines horizontalen Durchmessers in einem Abstand von mindestens 100 mm oder einem Drittel des Prüfstanddurchmessers von den Wänden, je nach dem, welcher Wert geringer ist, angebracht werden.

8.3 Feuchte

Die Trockenkugeltemperatur und die Feuchtkugeltemperatur innerhalb des Prüfstandes sollten an einem Punkt gemessen werden, an dem der Zustand der in den Prüfstand eintretenden Luft gemessen werden kann. Die Messgeräte sind gegen Strahlung von aufgeheizten Oberflächen abzuschirmen.

Das Feuchtkugelthermometer sollte in einem Luftstrom untergebracht werden, in dem eine Geschwindigkeit von mindestens 3 m/s herrscht. Die Schutzhülse sollte sauber sein und guten Kontakt mit der Thermometerkugel haben und ständig mit reinem Wasser benetzt werden.

Die relative Feuchte kann direkt gemessen werden, vorausgesetzt, dass das eingesetzte Messgerät eine Genauigkeit von $\pm 2 \%$ aufweist.

9 Messung der Drehzahl

9.1 Drehzahl der Ventilatorwelle

Die Drehzahl der Ventilatorwelle muss in regelmäßigen Zeitabständen während der gesamten Prüfung an jedem Prüfpunkt gemessen werden, um so die mittlere Drehzahl während jedes Zeitabstands mit einer Unsicherheit von weniger als $\pm 0,5 \%$ bestimmen zu können.

Die Drehzahl des zu prüfenden Ventilators oder dessen Leistung sollte von keinem der eingesetzten Messgeräte wesentlich beeinträchtigt werden.

9.2 Zulässige Messgeräte

Die Messgeräte sollten eine Unsicherheit von höchstens 0,5 % haben (d. h., Index der Genauigkeitsklasse 0,5 nach IEC 60051-4).

10 Bestimmung der Leistungsaufnahme

10.1 Messgenauigkeit

Die Leistungsaufnahme des Ventilators über dem festgelegten Leistungsbereich, einschließlich der Mittelung einer ausreichenden Anzahl an Messwerten an jedem Prüfpunkt, muss nach einem Verfahren bestimmt werden, mit dem sich ein Ergebnis mit einer Unsicherheit von $\pm 2 \%$ erreichen lässt.

10.2 Wellenleistung des Ventilators

Wenn die zu bestimmende Leistung die an die Ventilatorwelle abgegebene Leistung ist, können folgende Verfahren angewendet werden.

10.2.1 Dynamometer

Das Drehmoment wird mit Hilfe einer Pendelmaschine oder einem Dynamometer für Anziehdrehmomente gemessen. Die Gewichte müssen für eine Genauigkeit von $\pm 0,2 \%$ zertifiziert sein. Die Länge Drehmomentstütze ist mit einer Genauigkeit von $\pm 0,2 \%$ zu bestimmen.

Der Ausgleich des Null-Drehmoments (Netto-Drehmoment) muss vor und nach jeder Prüfung überprüft werden. Der Unterschied darf nicht mehr als 0,5 % vom höchsten während der Prüfung gemessenen Wert abweichen.

10.2.2 Drehmomentmessgerät

Das Drehmoment wird mit einem Drehmomentmessgerät mit einer Unsicherheit von weniger oder gleich 2,0 % des zu messenden Drehmoments gemessen. Für die Kalibrierung benutzten Gewichtsstücke müssen mit einer Genauigkeit von $\pm 0,2$ % zertifiziert sein. Die Länge der Drehmomentstütze ist mit einer Genauigkeit von $\pm 0,2$ % zu bestimmen.

Der Ausgleich des Null-Drehmoments (Netto-Drehmoment) und das System für den Ablesebereich sind vor und nach jeder Prüfung zu überprüfen. Der Unterschied darf nicht größer als 0,5 % vom höchsten während der Prüfung gemessenen Wert sein.

10.3 Bestimmung der Wellenleistung des Ventilators durch elektrische Messungen

10.3.1 Gesamtsumme der Verluste

Die Ausgangsleistung eines Elektromotors für einen Direktantrieb wird hergeleitet aus dessen elektrischer Anschlussleistung mit dem Verfahren des Summierens von Verlusten, festgelegt in IEC 60034-2. Deshalb sind die Messungen von Spannung, Strom, Drehzahl und, bei Wechselstrommotoren, die Eingangsleistung, und bei Induktionsmotoren, der Schlupf, an jedem Prüfpunkt zu messen, und außerdem sind die Nulllast-Verluste des Motors im vom Ventilator abgekoppelten Zustand zu messen.

10.3.2 Kalibrierte Motoren

Die Ausgangsleistung eines Elektromotors für einen Direktantrieb wird festgelegt durch eine Wirkungsgradkalibrierung, die sowohl für den Hersteller als auch für den Käufer akzeptabel ist. Der Motor sollte ausreichend lange unter Last laufen, um sicherzustellen, dass dessen normale Betriebstemperatur erreicht ist. Die elektrische Versorgung sollte innerhalb der vorgeschriebenen Grenzwerte liegen, d. h.

- Spannung: ± 6 %;
- Frequenz: ± 1 %.

10.3.3 Elektrische Messgeräte

Die bei den in 10.3.1 oder 10.3.2 beschriebenen Ventilatorprüfungen an den Motor abgegebene elektrische Eingangsleistung ist mit einem der folgenden Verfahren zu messen:

- a) bei Wechselstrommotoren: mit dem Zwei-Wattmeter-Verfahren oder mit einem integrierendem Wattmeter;
- b) bei Gleichstrommotoren: durch Messung der Eingangsspannung und der Stromstärke.

Das für die Leistungsmessung auf genormten Prüfständen angewendete Verfahren muss dem Index der Genauigkeitsklasse 0,5 nach IEC 60051-2 und IEC 60051-3 entsprechen, auf den die Kalibrierkorrekturen angewendet werden oder, alternativ dazu, dem Index der Genauigkeitsklasse 0,2, für den keine Kalibrierkorrektur erforderlich ist.

10.4 Laufradleistung

Zur Bestimmung der Leistungsaufnahme der Laufradnabe des Ventilators ist der Abzug einer Toleranz für die Lagerverluste und für die Verluste durch jede Art von Gelenkkupplungen erforderlich, es sei denn, das Laufrad ist direkt auf die Motorwelle montiert. Das ist möglich mit der Durchführung einer weiteren Prüfung bei gleicher Drehzahl und mit von der Welle abgebautem Laufrad und Messen der Drehmomentverluste durch Lagerreibung. Falls erforderlich, kann das Ventilatorlaufrad durch eine äquivalente Masse (mit vernachlässigbarem aerodynamischen Verlust) ersetzt werden, um für vergleichbare Belastungen der Lager zu sorgen.

10.5 Übertragungssysteme

Für die Leistungsmessung auf genormten Prüfständen sollte das Zwischenschalten eines Übertragungssystems zwischen Ventilator und dem Punkt der Leistungsmessung vermieden werden, es sei denn, es ist so beschaffen, dass die Verluste durch die Übertragung unter festgelegten Betriebsbedingungen verlässlich bestimmt werden können oder dass die festgelegte Leistungsaufnahme zur Einbeziehung dieser Verluste erforderlich ist.

11 Überprüfung der Maße und Flächenbestimmung

11.1 Durchflussmessgeräte

Die Maße von zur Durchflussmessung angewendeten Düsen, Blenden und Prüfständen müssen mit den in den entsprechenden Unterabschnitten bezüglich ihrer Verwendung festgelegten Toleranzen übereinstimmen.

11.2 Toleranzen für Abmessungen

Die festgelegte Länge von Bestandteilen des Prüfstandes ist nach der Herstellung zu messen und muss den Anforderungen der Prüfverfahren innerhalb einer Toleranz von $\pm 1\%$ entsprechen, es sei denn, dass andere Werte angegeben sind.

Der festgelegte Durchmesser von Bestandteilen des Prüfstandes ist nach der Herstellung zu messen und muss den Anforderungen der Prüfverfahren innerhalb einer Toleranz von $\pm 1\%$ entsprechen, es sei denn, dass andere Werte angegeben sind.

11.3 Bestimmung der Querschnittsfläche

11.3.1 Dimensionsmessung

Über den Bezugsebenen des Prüfstandes ist eine ausreichende Anzahl an Dimensionsmessungen durchzuführen, um die Querschnittsfläche im Prüfstand und anderen, eindeutig festgelegten regelmäßigen Abschnitten innerhalb von $\pm 0,5\%$ zu bestimmen.

11.3.2 Runde Abschnitte

Bei runden Abschnitten ist der mittlere Durchmesser des Abschnittes dem arithmetischen Mittel von mindestens drei im Messabschnitt gemessenen Durchmessern gleichzusetzen. Die Durchmesser sind so zu positionieren, dass sie sich im gleichen Winkel zum Querschnitt befinden.

Wenn bei linearen Messungen der Unterschied zwischen zwei benachbarten Durchmessern mehr als 1% beträgt, ist die Anzahl der zu messenden Durchmesser zu verdoppeln. Die Fläche eines runden Abschnittes ist mit folgender Gleichung zu berechnen:

$$\pi \frac{D^2}{4}$$

dabei ist D das arithmetische Mittel der gemessenen Durchmesser.

11.3.3 Rechteckige Abschnitte

Die Messung von Breite und Höhe eines rechteckigen Abschnittes erfolgt entlang fünf, parallel zur Breite und Höhe verlaufenden Linien, die den gleichen Abstand zueinander haben. Liegt der Unterschied zwischen zwei benachbarten Breiten oder Höhen über 2% , ist die Anzahl der Messungen in dieser Richtung zu verdoppeln.

Die mittlere Breite eines Abschnittes ist als arithmetisches Mittel aller gemessenen Breiten, die mittlere Höhe des Abschnittes als arithmetisches Mittel aller gemessenen Höhen zu nehmen. Die Querschnittsfläche eines Abschnittes ist das Produkt von mittlerer Breite und mittlerer Höhe.

12 Bestimmung der Luftdichte, Gaskonstante von feuchter Luft und Viskosität

12.1 Luftdichte im Prüfraum im Abschnitt x

Die Dichte der Umgebungsluft im Prüfraum ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$\rho_a = \frac{p_a - 0,378 p_v}{287 \Theta_a}$$

dabei ist

Θ_a die absolute Umgebungstemperatur, in Kelvin, berechnet mit

$$\Theta_a = T_a + 273,15$$

dabei ist $T_a = T_d$ (Trockenkugelmperatur, in Grad Celsius);

p_a der Atmosphärendruck;

p_v der Wasserdampfdruck in der Luft, in Pascal;

287 Gaskonstante für trockene Luft, R , in Joule je (Kilogramm · Kelvin);

$$0,378 = \frac{R_v - R}{R_v}$$

dabei ist

$R_v = 461$ als Gaskonstante von Wasserdampf.

Die Gaskonstante von feuchter Luft R_w , ergibt sich damit aus

$$R_w = \frac{p_a}{\rho_a \Theta_a} = \frac{287}{1 - 0,378 \frac{p_v}{p_a}}$$

ANMERKUNG Für Normalluft:

$$\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\Theta_a = 293,15 \text{ K}$$

$$p_a = 101\,325 \text{ Pa}$$

$$h_u = 0,40$$

$$R_w = 288 \text{ J/(kg·K)}$$

Die mittlere Luftdichte in einem Abschnitt x des Prüfstandes kann nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$\rho_x = \frac{p_x}{R_w \Theta_x}$$

12.2 Bestimmung des Dampfdruckes

Der Wasserdampfpartialdruck p_v errechnet sich aus folgender Gleichung, wenn die Luftfeuchte mit einem Psychrometer (Feuchtemesser) am Ventilatoreintritt gemessen wird:

$$p_v = (p_{\text{sat}})_{T_w} - p_a A_w (T_d - T_w) \times (1 + 0,001\,15\,T_w)$$

dabei ist

T_d die Trockenkugeltemperatur, in Grad Celsius;

T_w die Feuchtkugeltemperatur, in Grad Celsius;

$A_w = 6,6 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ wenn T_w zwischen $0\,^\circ\text{C}$ und $150\,^\circ\text{C}$ liegt;

$A_w = 5,94 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ wenn T_w kleiner als $0\,^\circ\text{C}$ ist;

$(p_{\text{sat}})_{T_w}$ Sättigungsdampfdruck bei der Feuchtkugeltemperatur T_w .

Tabelle 1 enthält eine Aufzählung des Sättigungsdampfdruckes (p_{sat}) in einem Temperaturbereich von $-4\,^\circ\text{C}$ bis $+49,5\,^\circ\text{C}$.

Tabelle 1 — Sättigungsdampfdruck p_{sat} von Wasser als Funktion der Feuchtkugeltemperatur T_w

Temperatur am Feuchtkugel- thermometer T_w °C	Sättigungsdampfdruck p_{sat} von Wasser (über Wasser)									
	hPa									
	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	17,96	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

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Temperatur am Feuchtkugel- thermometer T_w °C	Sättigungsdampfdruck p_{sat} von Wasser (über Wasser)									
	hPa									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
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

p_{sat} kann zwischen 0 °C und 30 °C nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$p_{\text{sat}} = \exp \left(\frac{17,438 T_w}{239,78 + T_w} + 6,414 7 \right)$$

oder zwischen 0 °C und 100 °C:

$$p_{\text{sat}} = 610,8 + 44,442 T_w + 1,413 3 T_w^2 + 0,027 68 T_w^3 + 2,556 67 \times 10^{-4} T_w^4 + 2,891 66 \times 10^{-6} T_w^5$$

Die relative Luftfeuchte h_u kann auch direkt gemessen werden, um

$$p_v = h_u(p_{\text{sat}})_{T_d}$$

zu erhalten.

Dabei ist $(p_{\text{sat}})_{T_d}$ der Sättigungsdampfdruck des Trockenkugelthermometers T_d , berechnet mit der obigen Gleichung unter Verwendung von T_d anstelle von T_w .

12.3 Bestimmung der Luftviskosität

Die folgende Gleichung kann in einem Temperaturbereich von -20 °C bis $+100\text{ °C}$ zur Berechnung der dynamischen Viskosität, in Pascal-Sekunden, angewendet werden:

$$\mu = (17,1 + 0,048 T_x) \times 10^{-6}$$

Die kinetische Viskosität ν ergibt sich aus der folgenden Gleichung:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

13 Bestimmung der Durchflussrate

13.1 Allgemeines

Die Messung der Durchflussrate kann in Übereinstimmung mit ISO 5167-1 und ISO 3966 durchgeführt werden. Jede auf diese Art erhaltene Messung der Durchflussrate entspricht den Anforderungen dieser Internationalen Norm.

Diese Internationale Norm legt unterschiedliche Verfahren zur Durchflussmessung fest, die für den Zweck von Ventilatorprüfungen geeignet sind, und außerdem ist die jeweilige Messunsicherheit für jeden Fall angegeben.

Der Volumenstrom muss praktisch drallfrei sein. Maßnahmen zur Sicherstellung dieser Bedingung sind in den Prüfverfahren einbezogen.

Unter diesen entspannten Bedingungen sind zwei grundlegende Verfahren zur Durchflussmessung zulässig: die Verwendung eines Inline-Durchflussmessgeräts oder durch Netzmessung.

13.2 Inline-Durchflussmessgerät (Standard-Primärgeräte)

13.2.1 Es können Durchflussmessgeräte mit mehreren Venturidüsen, mit Blenden und mit konischer oder trichterförmiger Einlassöffnung angewendet werden.

Die ersten beiden können am Eintritt oder am Austritt des Prüfstandes oder zwischen zwei Abschnitten des Prüfstandes eingesetzt werden.

Eine konische oder trichterförmige Einlassöffnung kann nur am Eintritt zum Prüfstand angewendet werden, um Luft aus einem freien Raum anzusaugen. Durchflussmessgeräte mit mehreren Düsen werden nur in einem Prüfraum eingesetzt.

Die Anforderungen an diese Messgeräte und an vereinfachte Installationen, in denen diese eingesetzt werden können, enthält ISO 5167-1.

13.2.2 Der folgende Ausdruck gilt allgemein für den Massenstrom durch ein Inline-Durchflussmessgerät:

$$q_m = \frac{\alpha \varepsilon \pi d^2}{4} \sqrt{2 \rho_u \Delta p},$$

dabei ist

- q_m der Massenstrom, in Kilogramm je Sekunde;
- d der Innendurchmesser, in Meter;
- ρ_u die anströmseitige Dichte, in Kilogramm je Kubikmeter;
- Δp die Druckdifferenz, in Pascal;
- α die Durchflusszahl;
- ε die Expansionszahl.

$$\rho_u = \frac{p_u}{R_w \Theta_u}$$

Im Allgemeinen sollte Θ_u die Temperatur des Fördermediums auf der Anströmseite des Durchflussmessgeräts sein.

Wenn sich das Durchflussmessgerät auf der Anströmseite des zu prüfenden Ventilators befindet, gilt

$$\Theta_u = \Theta_{\text{sgu}} - \frac{q_m^2}{2 A_u^2 \rho_u^2 c_p} + \frac{P_{\text{rx}} \text{ oder } P_{\text{ex}}}{q_m c_p}$$

dabei ist

- P_{rx} oder P_{ex} die Leistung, die durch einen Hilfsventilator erbracht wird;
- A_u die Fläche der Rohrleitung auf der Anströmseite des Durchflussmessgeräts;
- $A_u = \infty$ bei einer Blende an der Einlassöffnung.

Wenn sich das Durchflussmessgerät am Austritt des zu prüfenden Ventilators befindet, gilt

$$\Theta_u = \Theta_{\text{sg1}} + \frac{P_{\text{r}} \text{ oder } P_{\text{e}}}{q_m c_p} - \frac{q_m^2}{2 A_u^2 \rho_u^2 c_p}$$

Den Wert für q_m wird mit einem Iterativverfahren erhalten.

Für ein bestimmtes Gerät ist ε eine Funktion des Druckverhältnisses und α eine Funktion der Reynolds-Zahl. Die Werte für diese Koeffizienten sind in den Abschnitten 22 bis 25, Tabellen 4 und 5, und in den Bildern 19 und 21 bis 23 angegeben.

13.2.3 Die Druckdifferenz über ein Inline-Durchflussmessgerät ist mit einer Unsicherheit gleich oder kleiner als $\pm 1,4$ % des beobachteten Wertes zu messen.

Die Werte für die Unsicherheiten der Durchflussszahlen für jedes Element der Durchflussmessung sind in den Abschnitten 22 bis 25 angegeben. Es muss immer möglich sein, die mit allen von den in ISO 5167-1 festgelegten Inline-Durchflussmessgeräten abweichenden Unsicherheiten zu reduzieren, und zwar durch Kalibrierung der Installation gegen ein verbessertes oder kalibriertes Normgerät in Übereinstimmung mit ISO 5167-1.

13.2.4 Bild 3 zeigt die mit jedem Typ verbundenen Verluste, um die Auswahl des Typs und der Größe des Durchflussmessgeräts zu erleichtern. Außerdem enthält es die Näherungswerte für die Druckdifferenz (angegeben als ein Vielfaches des dynamischen Druckes auf der Abströmseite des Prüfstandes), die für jedes Gerät erfasst werden.

13.2.5 Bei Venturi-Mehrfachdüsen ist der Druckverlust relativ gering und die Empfindlichkeit gegen Störungen in dem darauf zukommenden Luftstrom ist niedriger. Besonders bei Blendenöffnungen treten höhere Druckverluste auf, so dass ein Hilfsventilator erforderlich ist, wenn die Ventilatorkennlinie auf den maximalen Volumenstrom erweitert werden soll. Eine hilfreiche Eigenschaft für Prüfungen an einem oder mehreren vorgegebenen Punkten der Ventilatorkennlinie ist, dass der Druckverlust mittels einer Blendenöffnung gesteuert werden kann.

13.3 Netzmessungen

Die lokale Geschwindigkeit ist an mehreren Stellen in der Rohrleitung zu messen und die einzelnen Werte für die Geschwindigkeit sind mit einem Integrationsverfahren zu kombinieren, um so einen geschätzten Wert für die mittlere Geschwindigkeit in der Rohrleitung zu erhalten. Anhand der Messungen der Querschnittsfläche der Rohrleitung in der Netzebene kann dann der Durchfluss berechnet werden (siehe Abschnitte 11 und 25).

In genormten Prüfständen sind Staudruckrohre in Übereinstimmung mit den Anforderungen in ISO 3966 einzusetzen (siehe Bild 24).