

DIN EN ISO 5801

ICS 23.120

Ersatz für
DIN EN ISO 5801:2011-11**Ventilatoren –
Leistungsmessung auf genormten Prüfständen (ISO 5801:2017);
Deutsche Fassung EN ISO 5801:2017**

Fans –
Performance testing using standardized airways (ISO 5801:2017);
German version EN ISO 5801:2017

Ventilateurs –
Essais aérauliques sur circuits normalisés (ISO 5801:2017);
Version allemande EN ISO 5801:2017

Gesamtumfang 155 Seiten

DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM)

Nationales Vorwort

Diese Norm beinhaltet die Deutsche Fassung der vom Technischen Komitee ISO/TC 117 „Fans“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 156 „Lüftung von Gebäuden“ im Europäischen Komitee für Normung (CEN) ausgearbeiteten EN ISO 5801:2017.

Die nationalen Interessen bei der Erarbeitung wurden vom Ausschuss NA 060-09-11 AA „Ventilatoren“ im Fachbereich „Allgemeine Lufttechnik“ des DIN-Normenausschusses Maschinenbau (NAM) wahrgenommen. Vertreter der Hersteller und Anwender von Ventilatoren, aus der Forschung und Lehre sowie von Prüfinstituten waren an der Erarbeitung beteiligt.

Die im Abschnitt 2 und den Literaturhinweisen zitierten Internationalen Normen sind, sofern diese gleichzeitig als Europäische Normen übernommen worden sind, als DIN-EN-ISO-Normen mit gleicher Zählnummer veröffentlicht.

Für die zitierten Internationalen Normen und Dokumente, sofern sie nicht als DIN-ISO-Normen mit gleicher Zählnummer veröffentlicht sind, gibt es keine nationalen Entsprechungen.

Diese Norm enthält neben den gesetzlichen Einheiten auch die Einheiten „foot (ft)“, „mmHg“ und „Zoll“, die in Deutschland nicht zugelassen sind („mmHg“ nur in der Heilkunde). Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Anwendung dieser Einheiten im nationalen amtlichen und geschäftlichen Verkehr auf Grund des Gesetzes über Einheiten im Messwesen und die Zeitbestimmung (EinhZeitG) nicht zulässig ist. Die Angabe dieser Einheiten dient lediglich als Hilfe im amtlichen und geschäftlichen Verkehr (z. B. bei Einfuhr und Ausfuhr) mit solchen Staaten, die diese Einheiten anwenden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 5801:2011-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Gesamtdokument: umfassende inhaltliche Neustrukturierung;
- b) Gesamtdokument: übersichtliche Darstellung und Festlegung aller in den genormten Prüfständen vorkommenden und zu verwendenden Einzelteile;
- c) Anhang F (informativ) „Bevorzugte Verfahren zur Leistungsprüfung“ entfallen;
- d) Anhang E (informativ) „Berechnung der Eingangsleistung für am Auslegungspunkt betriebene Ventilatoren“ neu aufgenommen;
- e) Anhang F (informativ) „Von einem Frequenzumrichter gespeister Motor“ neu aufgenommen;
- f) Anhang G (informativ) „Axialventilatoren ohne Austrittsleitschaufeln“ neu aufgenommen;
- g) Anhang H (informativ) „Dampfdruck p_v “ neu aufgenommen;
- h) Anhang I (informativ) „Abstände“ neu aufgenommen;
- i) Anhang J (normativ) „Polytroper Ansatz zur Berechnung von p_{fc} aus p_{fTe} “ neu aufgenommen;
- j) Anhang K (informativ) „Beispiele für Prüfanordnungen“ neu aufgenommen.

Frühere Ausgaben

DIN 24163-1: 1985-01
DIN 24163-2: 1985-01
DIN 24163-3: 1985-01
DIN EN ISO 5801: 2010-12, 2011-11

Deutsche Fassung

Ventilatoren —
Leistungsmessung auf genormten Prüfständen
(ISO 5801:2017)

Fans —
Performance testing using standardized airways
(ISO 5801:2017)

Ventilateurs —
Essais aérauliques sur circuits normalisés
(ISO 5801:2017)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 18. Mai 2017 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 CEN-CENELEC-Management-Zentrum 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, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	7
Vorwort	8
Einleitung	9
1 Anwendungsbereich	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe	10
4 Symbole, Abkürzungen und Indizes.....	20
4.1 Symbole und Abkürzungen	20
4.2 Indizes.....	23
5 Allgemeines.....	24
6 Kategorien für Einbau und Prüfaufbau.....	25
6.1 Allgemeines.....	25
6.2 Anordnung der Kategorie A	25
6.3 Anordnung der Kategorie B	25
6.4 Anordnung der Kategorie C.....	25
6.5 Anordnung der Kategorie D	25
6.6 Eintritte und Austritte.....	26
6.7 Ventilatoren mit starker Drallbildung.....	26
6.8 Prüfstände	26
6.9 Prüfraum.....	26
6.10 Leckage	26
6.11 Prüfbericht	26
7 Durchführung der Prüfung.....	27
7.1 Fördermedium.....	27
7.2 Drehzahl.....	27
7.3 Stationärer Betrieb	27
7.4 Umgebungsbedingungen.....	27
7.5 Druckmesswerte	27
7.6 Prüfung bezüglich einer festgelegten Leistung.....	27
7.7 Prüfung zur Bestimmung einer Ventilatorkennlinie.....	27
7.8 Betriebsbereich	27
8 Elemente für die Nachbildung von Rohrleitungen	28
8.1 Allgemeines.....	28
8.2 Einfache Segmente am Ventilatoreintritt (iCS).....	28
8.3 Nachbildung einer Eintrittsrohrleitung (iDS)	29
8.4 Einfaches Segment am Ventilatoraustritt (oCS)	30
8.5 Nachbildung einer Austrittsrohrleitung (oDS)	32
8.6 Lange Rohrleitung (LD)	32
8.7 Verlustzuschläge für genormte Prüfstände	33
8.7.1 Verlustzuschläge für ein einfaches Eintrittssegment (iCS)	34
8.7.2 Verlustzuschläge für Nachbildungen einer Rohrleitung am Eintritt (iDS).....	34
8.7.3 Verlustzuschläge für einfache Austrittssegmente (oCS)	34
8.7.4 Verlustzuschläge für Nachbildungen einer Rohrleitung am Austritt (oDS).....	35
8.7.5 Verlustzuschläge für eine lange Rohrleitung (LD)	35

9	Genormte Prüfkammern.....	36
9.1	Allgemeines.....	36
9.2	Druckmessbohrungen	36
9.3	Mittel zur Strömungsberuhigung.....	36
9.3.1	Allgemeines.....	36
9.3.2	Überprüfung mit einem Piezometerring	36
9.3.3	Überströmprüfung zur Verifizierung.....	37
9.3.4	Austrittskammer-Rückstromprüfung zur Verifizierung	37
9.4	Genormte saugseitige Prüfkammern (iTC)	37
9.4.1	Prüfkammern.....	37
9.4.2	Zu prüfender Ventilator	41
9.5	Genormte druckseitige Prüfkammern (oTC)	41
9.5.1	Prüfkammern.....	41
9.5.2	Zu prüfender Ventilator	42
10	Verschiedene Bestandteile eines Prüfstandes.....	43
10.1	Allgemeines.....	43
10.2	Variables Zuluftsystem.....	43
10.2.1	Allgemeines.....	43
10.2.2	Drosseleinrichtung	43
10.2.3	Hilfsventilator	43
10.3	Strömungsgleichrichter.....	43
10.3.1	Allgemeines.....	43
10.3.2	Wabengleichrichter	43
10.3.3	Sternförmiger Gleichrichter	44
10.4	Übergangsstücke.....	45
10.4.1	Allgemeines.....	45
10.4.2	Übergangsstück von rechteckigem Querschnitt zu rundem Querschnitt.....	46
10.4.3	Übergangsstück von rundem Querschnitt zu rundem Querschnitt.....	46
10.4.4	Anschlussstück für Ventilatoren mit beidseitigem Eintritt.....	47
11	Standardkategorien für Einbau und Prüfaufbau	48
11.1	Elemente	48
11.2	Durchflussmessung.....	52
11.3	Standardanordnungen Kategorie A.....	53
11.4	Standardanordnungen Kategorie B.....	54
11.5	Standardanordnungen Kategorie C.....	55
11.6	Standardanordnungen Kategorie D.....	55
12	Messungen.....	56
12.1	Kalibrierung	56
12.2	Abmessungen und Querschnittsflächen.....	56
12.2.1	Toleranzen für Abmessungen	56
12.2.2	Querschnittsfläche	56
12.3	Drehzahl.....	57
12.4	Leistungsaufnahme	57
12.4.1	Allgemeines.....	57
12.4.2	Eingangsleistung des Motors.....	57
12.4.3	Wellenleistung des Ventilators.....	58
12.4.4	Lauftradleistung	59
12.4.5	Transmissionssysteme	59
12.5	Massenstrom	59
12.6	Temperatur.....	60
12.6.1	Allgemeines.....	60
12.6.2	Genauigkeit der Temperaturmessung.....	60
12.6.3	Korrektur bei hohen Geschwindigkeiten	60
12.7	Feuchte	61

12.8	Druck.....	61
12.8.1	Barometer.....	61
12.8.2	Manometer.....	62
12.8.3	Dämpfung von Manometern.....	62
12.8.4	Prüfung von Manometern.....	62
12.8.5	Lage der Manometer.....	62
12.8.6	Mittlerer Druck in einem Prüfstand.....	63
12.8.7	Konstruktive Ausführung von Druckmessbohrungen.....	63
12.8.8	Lage und Anschlüsse.....	64
12.8.9	Messverfahren.....	64
12.8.10	Überprüfung der Übereinstimmung.....	64
12.8.11	Anwendung von Staudruckrohren.....	65
12.9	Eigenschaften der Luft.....	65
12.9.1	Allgemeines.....	65
12.9.2	Luftdichte im Abschnitt x.....	65
12.9.3	Luftviskosität.....	66
12.9.4	Standardbedingungen für Luft.....	66
13	Bezugsbedingungen.....	66
14	Allgemeine Regeln für die Umrechnung von Prüfergebnissen.....	67
14.1	Allgemeines.....	67
14.2	Ähnlichkeitsgesetze von Ventilatoren.....	68
14.2.1	Allgemeines.....	68
14.2.2	Geometrische Ähnlichkeit.....	68
14.2.3	Ähnlichkeit der Reynolds-Zahl.....	68
14.2.4	Machzahl und Ähnlichkeit der Geschwindigkeitsdreiecke.....	68
15	Berechnungen.....	69
15.1	Prüfergebnisse.....	69
15.1.1	Allgemeines.....	69
15.1.2	Temperatur.....	69
15.1.3	Druck.....	71
15.1.4	Gleichungen.....	71
15.1.5	Vereinfachte Gleichungen für $v_{2,ref} \leq 65$ m/s.....	73
15.1.6	Ventilatordruck.....	74
15.1.7	Statischer Ventilatordruck.....	74
15.1.8	Volumenstrom des Ventilators.....	75
15.1.9	Luftleistung und Wirkungsgrad des Ventilators.....	75
15.2	Wirkungsgrade.....	78
15.2.1	Allgemeines.....	78
15.2.2	Statische Luftleistung des Ventilators und statischer Wirkungsgrad.....	78
15.3	Umrechnungsregeln.....	79
15.3.1	Allgemeines.....	79
15.3.2	Wellenleistung und Leistung des Ventilatorlaufrades.....	79
16	Ventilator Kennlinien.....	80
16.1	Grafische Darstellung.....	80
16.2	Kennlinien bei konstanter Geschwindigkeit.....	80
16.3	Kennlinien bei inhärenter Drehzahl (Nenndrehzahl).....	81
16.4	Vollständige Ventilator Kennlinie.....	81
16.5	Prüfung bezüglich einer festgelegten Leistung.....	82
16.6	Spezifische Ventilator typen.....	82
17	Analyse der Unsicherheit.....	83
17.1	Kurzbeschreibung.....	83
17.2	Analyse vor und nach der Prüfung.....	83
17.3	Analyseverfahren.....	83

17.4	Fortpflanzung von Unsicherheiten.....	84
17.5	Auswertung der Unsicherheiten	84
17.6	Maximal zulässige Messunsicherheiten	84
17.7	Maximal zulässige Unsicherheit von Ergebnissen.....	85
Anhang A (normativ) Bestimmung der Luftdurchflussrate.....		87
A.1	Allgemeines.....	87
A.2	Inline-Durchflussmessgeräte (genormtes Primärgerät).....	87
A.3	Netzmessungen.....	88
A.4	Bestimmung der Durchflussrate mit Mehrfachdüsen.....	89
A.4.1	Aufbau.....	89
A.4.2	Geometrie	89
A.4.3	Berechnung des Massenstroms	91
A.4.4	Kenndaten von Mehrfachdüsen.....	91
A.4.5	Unsicherheit	93
A.5	Bestimmung der Durchflussrate mit konischem oder trichterförmigem Eintritt.....	93
A.5.1	Aufbau.....	93
A.5.2	Geometrie	93
A.5.3	Zusätzlicher Siebboden	94
A.5.4	Berechnung des Massenstroms	96
A.5.5	Unsicherheiten	97
A.6	Bestimmung des Durchflusses mit einer Messblende	98
A.6.1	Aufbau.....	98
A.6.2	Geometrie	98
A.6.3	Rohrleitungen	100
A.6.4	Berechnung des Massenstroms	101
Anhang B (informativ) Dachventilatoren.....		104
Anhang C (informativ) Verfahren zur Dichtheitsprüfung der Kammer		105
C.1	Allgemeines.....	105
C.2	Druckabfall-Verfahren.....	105
C.2.1	Berechnungen	105
C.2.2	Durchführung.....	108
C.3	Verfahren mit Durchflussmessgerät	108
C.4	Zweiphasen-Verfahren	109
C.4.1	Allgemeines.....	109
C.4.2	Erste Phase.....	109
C.4.3	Zweite Phase.....	109
Anhang D (informativ) Ausblasseitiger Krümmer am Ventilator im Falle einer nicht horizontalen Ausblasachse		111
Anhang E (informativ) Berechnung der Eingangsleistung für am Auslegungspunkt betriebene Ventilatoren.....		114
E.1	Allgemeines.....	114
E.2	Berechnung der Leistungsaufnahme.....	114
E.2.1	Allgemeines.....	114
E.2.2	Laufleistung	115
E.2.3	Wellenleistung des Ventilators.....	115
E.2.4	Reibleistung der Wälzlager.....	115
E.2.5	Transmissionsleistung	118
E.2.6	Motorleistung.....	118
E.2.7	Steuerungs-/Leistungsverluste	120
E.3	Erforderlicher Netzstrom	122
E.4	Vorstellung der Ergebnisse für einen typischen Motor und Frequenzumrichter beim Antrieb eines Ventilators.....	123

Anhang F (informativ) Von einem Frequenzumrichter gespeister Motor	124
Anhang G (informativ) Axialventilatoren ohne Austrittsleitschaufeln	125
Anhang H (informativ) Dampfdruck p_v	127
Anhang I (informativ) Abstände	128
Anhang J (normativ) Polytroper Ansatz zur Berechnung von p_{fc} aus p_{fte}	130
Anhang K (informativ) Beispiele für Prüfanordnungen	132
Anhang L (informativ) Messung von Ventilatoren mit freilaufendem Laufrad und Einbauventilatoren	142
Anhang M (informativ) Vergleich der NEMA-Methodik für die Berechnung des Motorwirkungsgrades mit IEC	144
Anhang N (informativ) Prüfbericht und Prüfergebnisse	145
N.1 Prüfbericht	145
N.2 Beispiel	146
Literaturhinweise	153

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 5801:2017) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 117 „Fans“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 156 „Lüftung von Gebäuden“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2018, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2018 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 5801:2008.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 5801:2017 wurde von CEN als EN ISO 5801:2017 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen, sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 117, *Fans* erarbeitet.

Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe (ISO 5801:2007), die technisch überarbeitet wurde. Sie enthält auch die Technische Berichtigung ISO 5801:2007/Cor.1:2008.

Einleitung

Dieses Dokument ist das Ergebnis von fast 50 Jahren von Diskussionen, Vergleichsprüfungen und detaillierten Analysen, vorgenommen von weltweit führenden Spezialisten aus Industrie und Forschungsorganisationen.

Es zeigte sich schon vor 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.

Seit 1997 wurde es möglich, dieses Dokument durch ein Abkommen bezüglich bestimmter Kernpunkte zu vervollständigen. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Prüfausrüstung, besonders die für große Ventilatoren, sehr kostspielig ist, so dass es erforderlich war, zahlreiche Aufbauarten aus den verschiedenen nationalen Regelwerken in dieses Dokument zu integrieren, um ihre künftige Anwendung zuzulassen. Das erklärt auch den Umfang der ersten Ausgabe dieses Dokuments (ISO 5801:1997).

Die zweite Ausgabe (ISO 5801:2007) dieses Dokuments war das Ergebnis einer Studie von ISO-Mitgliedern, in der die am seltensten angewendeten Verfahren weggelassen wurden. Dadurch hat sich die Seitenzahl der Norm beträchtlich verringert.

Für die dritte Ausgabe wurde der Inhalt umstrukturiert, um alle möglichen Anordnungen der definierten Einzelteile als genormte Prüfstände festzulegen und zuzulassen. Eine weitere beträchtliche Verringerung des Umfangs wurde durch eine Verschlinkung des Inhalts erreicht.

Die grundlegenden Bestandteile dieses Dokuments sind folgende:

— **Kategorien für Einbauart und Prüfanordnungen** (siehe Abschnitt 5 und Abschnitt 6).

Da der Anschluss einer Rohrleitung an einen Ventilatoreinlass und/oder -auslass die Leistung des Ventilators verändert, müssen eine Reihe von Einbauarten und Prüfanordnungen berücksichtigt werden.

— **Einfache Segmente** (siehe Abschnitt 8).

Es ist zwingend notwendig, dass alle genormten Ventilatorprüfstände neben dem Ventilatoreinlass und/oder -auslass genügend einfache Segmente aufweisen müssen, um eine einheitliche Bestimmung des Ventilatordrucks sicherzustellen.

Geometrische Variationen dieser einfachen Segmente werden stark eingeschränkt.

— **Durchflussmessung** (siehe 12.5 und Anhang A).

Die Bestimmung der Durchflussrate wurde von der Bestimmung des Ventilatordrucks getrennt. Es gibt eine Reihe genormter Verfahren, die angewendet werden dürfen.

— **Prüfergebnisse** (siehe Abschnitt 15).

Es wurden Verfahren zur Messung und Berechnung der Durchflussrate, des Ventilatordrucks und des Wirkungsgrades des Ventilators festgelegt, die alle Auswirkungen der Kompressibilität der Luft berücksichtigen. Bei einem Ventilatordruck von weniger als 2 000 Pa ist es zulässig, die Änderung der Dichte zwischen dem Ventilatoreinlass und dem Ventilatorauslass zu vernachlässigen. Sonstige Kompressibilitätseffekte dürfen bei Bezugsgeschwindigkeiten von nicht mehr als 65 m/s vernachlässigt werden (siehe Abschnitt 13).

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Verfahren für die Bestimmung der Leistung von Ventilatoren aller Art fest, mit Ausnahme von Ventilatoren, die nur zur Luftumwälzung eingesetzt werden, z.B. Decken- und Tischventilatoren. Die Prüfung von Strahlventilatoren ist in ISO 13350 beschrieben.

Dieses Dokument enthält 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 Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 5136, *Acoustics — Determination of sound power radiated into a duct by fans and other air-moving devices — In-duct method*

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 5802, *Industrial fans — Performance testing in situ*

ISO 13347 (alle Teile), *Industrial fans — Determination of fan sound power levels under standardized laboratory conditions*

ISO 13348, *Industrial fans — Tolerances, methods of conversion and technical data presentation*

ISO 13349, *Fans — Vocabulary and definitions of categories*

ISO 13350, *Fans — Performance testing of jet fans*

IEC 60034-1:2010, *Rotating electrical machines — Part 1: Rating and performance*

IEC 60034-2-1:2014, *Rotating electrical machines — Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency 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*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 13349 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

Luft

Arbeitsmedium für Prüfungen auf genormten Prüfständen ist atmosphärische Luft

3.2

Luft bei Standardbedingungen

Luft (3.1) mit einer Dichte von 1,2 kg/m³

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 12.9.4.

3.3

Anströmseite

Richtung, aus der der Luftstrom kommt

3.4

Abströmseite

Richtung, in die der Luftstrom abströmt

3.5

Querschnittsfläche

A

in einer Grenze enthaltene Fläche

3.6

Fläche am Ventilatoreintritt

A_1

Querschnittsfläche (3.5) des Ventilatoreintritts wie in ISO 13349 festgelegt

3.7

Fläche am Ventilatoraustritt

A_2

Querschnittsfläche (3.5) des Ventilatoraustritts wie in ISO 13349 festgelegt

3.8

hydraulischer Durchmesser

D_h

das Vierfache der Querschnittsfläche, geteilt durch den Umfang, der die Fläche umgibt

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{P_{\square}}$$

3.9

hydraulischer Radius

H_h

Querschnittsfläche, geteilt durch den Umfang, der die Fläche umgibt

$$H_h = \frac{A}{P_{\square}}$$

3.10 **absolute Temperatur**

θ

in Kelvin angegebene Temperatur, berechnet aus der relativen Gastemperatur in Grad Celsius plus der thermodynamischen Temperatur nach ISO 13349 über dem absoluten Nullpunkt

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

3.11 **absolute Temperatur der bewegten Luft**

θ

absolute Temperatur (3.10), die von einem Wärmemessfühler theoretisch registriert wird, der sich mit Luftgeschwindigkeit bewegt, berechnet nach folgender Gleichung:

$$\theta = \theta_{sg} / \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} \cdot Ma^2 \right)$$

oder

$$\theta = \theta_{sg} - \frac{v^2}{2 \cdot c_p}$$

3.12 **Stagnationstemperatur**

θ_{sg}

absolute Temperatur (3.10), gemessen an einem isentropischen Stagnationspunkt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Stagnationstemperatur ist über den Prüfstand konstant ohne Austausch von Energie oder Wärme.

3.13 **spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck**

c_p

Menge der Wärmeenergie, die erforderlich ist, um die Temperatur der Luft je Masseneinheit bei konstantem Druck zu erhöhen

3.14 **spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen**

c_v

Menge der Wärmeenergie, die erforderlich ist, um die Temperatur der Luft je Masseneinheit bei konstantem Volumen zu erhöhen

3.15 **isentropischer Exponent** **Isentropenexponent**

κ

Verhältnis der spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Druck zur spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Volumen

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

3.16

spezifische Gaskonstante

R

Differenz aus der spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Druck und der spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Volumen

$$R = c_p - c_v$$

mit

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

Dabei ist

ρ die Luftdichte (3.18), in kg/m³;

p der absolute Druck (3.27), in Pa;

θ die absolute Temperatur (3.10), in K.

Für trockene Luft: $R_{\text{dry}} = 287,058 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.

3.17

spezifische Gaskonstante für feuchte Luft

R_{wet}

Atmosphärendruck, geteilt durch die Luftdichte multipliziert mit der absoluten Umgebungstemperatur

$$R_{\text{wet}} = \frac{p_a}{\rho \cdot \theta_a}$$

3.18

Luftdichte

ρ

Luftdichte, berechnet aus dem Absolutdruck p (3.27) und der Lufttemperatur θ

$$\rho = \frac{p}{R_{\text{wet}} \cdot \theta}$$

3.19

Stagnationsdichte

ρ_{sg}

Luftdichte (3.18), berechnet aus dem Staupunktdruck p_{sg} (3.29) und der Stagnationstemperatur θ_{sg} (3.12)

$$\rho_{\text{sg}} = \frac{p_{\text{sg}}}{R_{\text{wet}} \cdot \theta_{\text{sg}}}$$

3.20

mittlere Dichte

ρ_m

Mittelwert der Luftdichten des Ventilators

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

3.21 mittlere Stagnationsdichte

ρ_{sgm}

Mittelwert der Stagnationsdichten des Ventilators

$$\rho_{\text{sgm}} = \frac{\rho_{\text{sg1}} + \rho_{\text{sg2}}}{2}$$

3.22 Massenstrom

q_m

Mittelwert der Masse der Luft im Zeitverlauf, die je Zeiteinheit durch den Prüfstand hindurch strömt

3.23 Volumenstrom

q_{V1}

Massenstrom (3.22), geteilt durch die Dichte am Ventilatoreintritt

$$q_{V1} = \frac{q_m}{\rho_1}$$

3.24 Volumenstrom bei Stagnationsbedingungen

$q_{V\text{sg1}}$

Massenstrom (3.22), geteilt durch die Stagnationsdichte (3.19) am Ventilatoreintritt

$$q_{V\text{sg1}} = \frac{q_m}{\rho_{\text{sg1}}}$$

3.25 mittlere Geschwindigkeit

v

Massenstrom, geteilt durch die Querschnittsfläche multipliziert mit der Luftdichte

$$v = \frac{q_m}{\rho \cdot A}$$

3.26 Bezugsgeschwindigkeit

$v_{2.\text{ref}}$

Geschwindigkeit, berechnet am Ventilatoraustritt A_2 für den maximalen Massenstrom (3.22) des Ventilators $q_{m,\text{max}}$ und für die Bezugsdichte bei Luft bei Standardbedingungen (3.2), $\rho_{\text{ref}} = 1,200 \text{ kg/m}^3$

$$v_{2.\text{ref}} = \frac{q_{m,\text{max}}}{\rho_{\text{ref}} \cdot A_2}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 12.9.3.

3.27 Absolutdruck

p

Druck, gemessen im Hinblick auf den absoluten Nulldruck

3.28

mittlerer Überdruck

Differenzdruck, gemessen im Hinblick auf den Umgebungsdruck $p_e = p - p_a$

3.29

Staupunktdruck

p_{sg}

Absolutdruck (3.27), wenn die Luft durch einen isentropischen Prozess zum Stillstand gebracht worden wäre

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

3.30

dynamischer Druck

p_d

Druck, berechnet aus der Geschwindigkeit v und der Dichte ρ

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

3.31

Gesamtdruck

p_{tot}

Druck, berechnet aus dem Absolutdruck (3.27) und dem dynamischen Druck (3.30)

$$p_{tot} = p + p_d$$

3.32

dynamischer Ventilatorruck

p_{fd}

dynamischer Druck (3.30) des Ventilators, festgelegt am Ventilatoraustritt bei mittlerer Geschwindigkeit (3.25)

$$p_{fd} = p_{d2} = p_2 \cdot \frac{v_2^2}{2}$$

3.33

Ventilatorruck

p_f

Differenz aus dem Staupunktdruck (3.29) am Ventilatoraustritt und dem Staupunktdruck am Ventilatoreintritt

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

oder Differenz aus den Gesamtdrücken (3.31) am Ventilatoraus- und -eintritt

$$p_f = p_{tot2} - p_{tot1}, \text{ zulässig, wenn } v_{2,ref} \leq 65 \text{ m/s}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Bezüglich der Festlegung des Wertes 65 m/s, siehe Abschnitt 13.

3.34 statischer Ventilatordruck

p_{fs}
Differenz aus dem statischen Druck am Ventilatoraustritt und dem Staupunktdruck (3.29) am Ventilatoreintritt

$$p_{fs} = p_2 - p_{sg1} = p_{sg2} - p_{d2} \cdot f_{M2} - p_{sg1} = p_f - p_{fd} \cdot f_{M2}$$

oder Differenz aus dem statischen Druck am Ventilatoraustritt und dem Gesamtdruck (3.31) am Ventilatoreintritt

$$p_{fs} = p_2 - p_{tot1} = p_{tot2} - p_{d2} - p_{tot1} = p_f - p_{fd}, \text{ zulässig, wenn } v_{2,ref} \leq 65 \text{ m/s}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Bezüglich der Festlegung des Wertes 65 m/s, siehe Abschnitt 13.

3.35 Druckverhältnis des Ventilators

r
Verhältnis des mittleren absoluten Staupunktdrucks (3.29) am Ventilatoraustritt zum Druck im Eintrittsbereich des Ventilators, nach folgender Gleichung angegeben

$$r = \frac{p_{sg2}}{p_{sg1}}$$

Anmerkung 1 zu Begriff: Das Druckverhältnis des Ventilators ist dimensionslos.

3.36 Drehfrequenz des Ventilatorlaufrades

n
Anzahl der Umdrehungen eines Ventilatorlaufrades je Sekunde

3.37 Geschwindigkeit der Blattspitzen des Laufrades

u
Umfangsgeschwindigkeit der Blattspitzen des Laufrades

$$u = \pi \cdot n \cdot D_r$$

3.38 Schallgeschwindigkeit

c
von einer sich durch Luft ausbreitenden Schallwelle zurückgelegte Strecke je Zeiteinheit

$$c = \sqrt{\kappa \cdot R_{wet} \cdot \theta}$$

3.39 Machzahl

Ma
Verhältnis der Luftgeschwindigkeit zur Schallgeschwindigkeit (3.38)

$$Ma = \frac{v}{c}$$

3.40

Umfangsmachzahl

Ma_u

Verhältnis der Geschwindigkeit der Blattspitzen des Laufrades zur Schallgeschwindigkeit (3.38) bei Stagnationsbedingungen am Ventilatoreintritt

$$Ma_u = \frac{u}{\sqrt{\kappa \cdot R_{\text{wet}} \cdot \theta_{\text{sg1}}}}$$

3.41

Machfaktor

f_M

Korrekturfaktor, der auf den dynamischen Druck (3.30) angewendet wird

$$f_M = \frac{p_{\text{sg}} - p}{p_d}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Machfaktor f_M kann wie folgt berechnet werden:

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

3.42

Arbeit des Ventilators je Masseneinheit

y_f

Zunahme der Energie je Masseneinheit der durch den Ventilator strömenden Luft

$$y_f = \frac{p_2 - p_1}{\rho_m} + \frac{1}{2} \cdot f_{M2} \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot f_{M1} \cdot v_1^2$$

3.43

Luftleistung des Ventilators

P_u

Massenstrom, multipliziert mit der spezifischen Förderarbeit des Ventilators

$$P_u = q_m \cdot y_f = q_{V\text{sg1}} \cdot p_f \cdot k_P$$

3.44

Kompressibilitätskoeffizient

k_p

Verhältnis der kompressiblen zur inkompressiblen Bestimmung der Ausgangsleistung des Ventilators der bewegten Luft bei gleicher Luftdichte am Ventilatoreintritt, gleichem Druckverhältnis und gleichem Massenstrom (3.22)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Ausgangsleistung des Ventilators wird hergeleitet unter der Annahme einer polytropen Verdichtung ohne Wärmeaustausch über das Ventilatorgehäuse.

3.45

Laufradleistung

P_r

an das Ventilatorlaufrad abgegebene mechanische Leistung

3.46**Wellenleistung des Ventilators** P_a

an die Ventilatorwelle abgegebene mechanische Leistung

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei der Wellenleistung des Ventilators werden Lagerreibungsverluste einbezogen, bei der Laufradleistung (3.45) des Ventilators hingegen nicht.

3.47**Ausgangsleistung des Motors** P_o

Wellenleistung des Motorausgangs oder einer anderen Antriebsmaschine

3.48**Eingangsleistung des Motors** P_e

elektrische Eingangsleistung, die an den Anschlussklemmen eines elektrischen Motorantriebs ohne Drehzahlregelung abgegeben wird

3.49**elektrische Eingangsleistung der Antriebssteuerung** P_{ed}

elektrische Eingangsleistung, gemessen an den Eingangs-Anschlussklemmen zur Drehzahlregelung eines Motors

3.50**Wirkungsgrad des Ventilatorlaufrades** η_r

Luftleistung des Ventilators (3.43), geteilt durch die Laufradleistung (3.45)

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

3.51**Wellenwirkungsgrad des Ventilators** η_a

Luftleistung des Ventilators (3.43), geteilt durch die Wellenleistung des Ventilators (3.46)

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

3.52**Wellenwirkungsgrad des Ventilormotors** η_o

Luftleistung des Ventilators (3.43), geteilt durch die Ausgangsleistung des Motors (3.47)

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Weicht infolge der Transmissionsverluste von der Wellenleistung des Ventilators (3.46) um die Menge der Transmissionsverluste ab.

3.53**Gesamtwirkungsgrad für einen Ventilator ohne Drehzahlregelung** η_e

Luftleistung des Ventilators (3.43), geteilt durch die Eingangsleistung des Motors (3.48) für einen Ventilator ohne Drehzahlregelung

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

3.54

Gesamtwirkungsgrad für einen Ventilator mit Drehzahlregelung

η_{ed}

Luftleistung des Ventilators (3.43), geteilt durch die elektrische Eingangsleistung der Antriebssteuerung (3.49) für einen Ventilator mit Drehzahlregelung

$$\eta_{ed} = \frac{P_u}{P_{ed}}$$

3.55

Wirkungsgrad des Motors

η_{mot}

Ausgangsleistung des Motors (3.47), geteilt durch die Eingangsleistung des Motors (3.48)

$$\eta_{mot} = \frac{P_o}{P_e}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Anhang F.

3.56

Wirkungsgrad der Drehzahlregelung

η_c

Eingangsleistung des Motors (3.48), geteilt durch die elektrische Eingangsleistung der Antriebssteuerung (3.49)

$$\eta_c = \frac{P_e}{P_{ed}}$$

3.57

kinetischer Energiefaktor in einem Abschnitt x

α_{Ax}

dimensionsloser Koeffizient gleich dem zeitgemittelten kinetischen Energiefluss durch die betrachtete Querschnittsfläche A_x , geteilt durch die der mittleren Strömungsgeschwindigkeit der Luft durch diese Fläche entsprechende kinetische Energie

$$\alpha_{Ax} = \frac{\iint A_x (\rho \cdot v_n \cdot v^2) dA}{q_m \cdot v_x^2}$$

Dabei ist v_n die für den Querschnitt übliche örtliche Geschwindigkeit.

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Einfachheit halber ist nach Vereinbarung in diesem Dokument davon auszugehen, dass $\alpha_{Ax} = 1$ ist, wobei eine gewisse physikalische Verzerrung der Ergebnisse in Kauf genommen wird.

3.58

auf dem Außendurchmesser beruhende Reynolds-Zahl

Re_d

Verhältnis zwischen Trägheits- und Zähigkeitskräften

$$Re_d = 0,95 \cdot \varepsilon \cdot d \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot \rho_{up} \cdot \Delta p}}{\mu_{up}}$$

4 Symbole, Abkürzungen und Indizes

4.1 Symbole und Abkürzungen

Symbol	Dargestellte Größe	Verweis auf Definition	SI-Einheit
iCS	Einfaches Segment an der Eintrittsseite des zu prüfenden Ventilators	8.1	—
iDS	Nachbildung einer Rohrleitung an der Eintrittsseite des zu prüfenden Ventilators	8.2	—
iLD	Lange Rohrleitung an der Eintrittsseite des zu prüfenden Ventilators	8.5	—
iTC	Prüfkammer an der Eintrittsseite des zu prüfenden Ventilators	9.3	—
iTS	Freier Prüfraum an der Eintrittsseite des zu prüfenden Ventilators	6.9	—
oCS	Einfaches Segment an der Austrittsseite des zu prüfenden Ventilators	8.3	—
oDS	Nachbildung einer Rohrleitung an der Austrittsseite des zu prüfenden Ventilators	8.4	—
oLD	Lange Rohrleitung an der Austrittsseite des zu prüfenden Ventilators	8.5	—
oTC	Prüfkammer an der Austrittsseite des zu prüfenden Ventilators	9.4	—
oTS	Freier Prüfraum an der Austrittsseite des zu prüfenden Ventilators	6.9	—
F, Ventilator	Zu prüfender Ventilator	11	—
VSS	Variables Zuluftsystem	10.1	—
iNZ	Eintrittsdüse	A.5	—
dNZ	Düse in einer Rohrleitung	ISO 5167-1	—
mNZ	Mehrfachdüse	A.4	—
cOR	Messblende in der Kammer	A.6.4.5	—
dOR	Messblende in der Rohrleitung	ISO 5167-1	—
iOR	Blende am Eintritt	A.6.4.4	—
oOR	Blende am Austritt	A.6.4.3	—
<i>b</i>	Breite des rechteckigen Bereiches einer Rohrleitung	—	m
<i>c</i>	Schallgeschwindigkeit an einem Punkt	3.38	m/s
<i>c_p</i>	Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	3.13	J/kg/K
<i>C_v</i>	Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen	3.14	J/kg/K
<i>C</i>	Ausblaskoeffizient	Anhang A	—
<i>d</i>	Durchmesser, z. B. Durchmesser einer Blende oder Düse	Anhang A	m
<i>D</i>	Durchmesser	—	m

Symbol	Dargestellte Größe	Verweis auf Definition	SI-Einheit
D_h	Hydraulischer Durchmesser	3.8	m
f_M	Machfaktor zur Korrektur des dynamischen Drucks	3.41	—
f_θ	Recoveryfaktor zur Korrektur der Temperaturmessung	12.6.2	—
g	Erdbeschleunigung	12.8.1	m/s ²
h	Höhe des rechteckigen Abschnitts einer Rohrleitung	12.2.2.2	m
h_{rel}	Relative Luftfeuchte	12.9.1	—
H_h	Hydraulischer Radius	3.9	m
k_p	Kompressibilitätskoeffizient zur Berechnung der Luftleistung des Ventilators P_u	15.1.8	—
L	Länge einer Rohrleitung	—	m
Ma	Machzahl	3.39	—
Ma_u	Umfangsmachzahl	3.40	—
m	Flächenverhältnis einer Blende $(d/D)^2$	Anhang A	—
n	Drehfrequenz des Ventilatorlaufrades	3.36	U/s
n_n	Polytropischer Exponent	Anhang J	—
N	Laufraddrehzahl	E.2.4	U/min
p	Absolutdruck	3.27	Pa
p_e	Mittlerer Überdruck	3.28	Pa
p_f	Ventilatordruck	3.33	Pa
p_{fd}	Dynamischer Ventilatordruck	3.32	Pa
p_{fs}	Statischer Ventilatordruck	3.34	Pa
P_a	An die Ventilatorwelle abgegebene mechanische Leistung	3.46	W
P_e	Eingangsleistung des Motors	3.48	W
P_{ed}	elektrische Eingangsleistung der Antriebssteuerung	3.49	W
P_o	Ausgangsleistung des Motors	3.47	W
P_r	An das Ventilatorlaufrad abgegebene mechanische Leistung	3.45	W
P_u	Luftleistung des Ventilators	3.43	W
$P_\square$	Umfang	3.8 und 3.9	m
q_m	Massenstrom	3.22	kg/s
q_{Vsg1}	Volumenstrom des Ventilators unter Stagnationsbedingungen	3.24	m ³ /s
q_{V1}	Volumenstrom des Ventilators	3.23	m ³ /s
r_d	Druckverhältnis eines Durchflussmessgeräts $r_d = p_{do}/p_{up}$	Anhang A	—
$r_{\Delta p}$	Druckverhältnis eines Durchflussmessgeräts $r_{\Delta p} = \Delta p/p_{do}$	Anhang A	—
R	Spezifische Gaskonstante	3.16	J/kg/K

Symbol	Dargestellte Größe	Verweis auf Definition	SI-Einheit
Re_d	Reynolds-Zahl beim Innendurchmesser eines nachgeschalteten Durchflussmessgeräts	3.58	—
Re_D	Reynolds-Zahl	8.6	—
Re_u	Umfangs-Reynolds-Zahl	14.2.3	—
t	Zeit	Anhang C	s
t_m	Abtriebs-Drehmoment des Motors	E.4	Nm
T	Temperatur	—	°C
v	Mittlere Luftgeschwindigkeit	3.25	m/s
u	Geschwindigkeit der Blattspitzen des Laufrades	3.37	m/s
y_f	Arbeit des Ventilators je Masseneinheit	3.42	J/kg
y_{fs}	Statische Arbeit des Ventilators je Masseneinheit	15.1.9	J/kg
z	Höhe über NN	—	m
Z_k und Z_p	Hilfsgrößen	15.1.8	—
α	Durchflusskoeffizient eines nachgeschalteten Durchflussmessgeräts	Anhang A	—
α_{Ax}	Koeffizient des kinetischen Energieflusses einer Fläche A_x im Abschnitt x	3.57	—
β	Verhältnis des Innendurchmessers einer Blende oder Düse zum anströmseitigen Durchmesser der Rohrleitung d/D	Anhang A	—
β'	Verhältnis des Innendurchmessers einer Blende oder Düse zum abströmseitigen Durchmesser der Rohrleitung	Anhang A	—
Δp	Differenzdruck	Anhang A	Pa
ε	Expansionszahl	Anhang A	—
ξ	Energieverlustkoeffizient	—	—
$(\xi_n - x)_x$	Für einen Abschnitt x berechneter Energieverlustkoeffizient zwischen den Ebenen n und x	—	—
η	Wirkungsgrad	15.2	—
θ	Absolute Temperatur	3.10	K
θ_{ind}	Vom Messfühler angezeigte Messtemperatur ($\theta < \theta_{ind} < \theta_{sg}$)	12.6.2	K
κ	Isentropischer Exponent	3.15	—
λ	Reibungsverlustkoeffizient für eine gerade Rohrleitung	—	—
μ	Dynamische Viskosität	12.9.2	Pa·s
ρ	Dichte der Luft	3.18	kg/m ³

4.2 Indizes

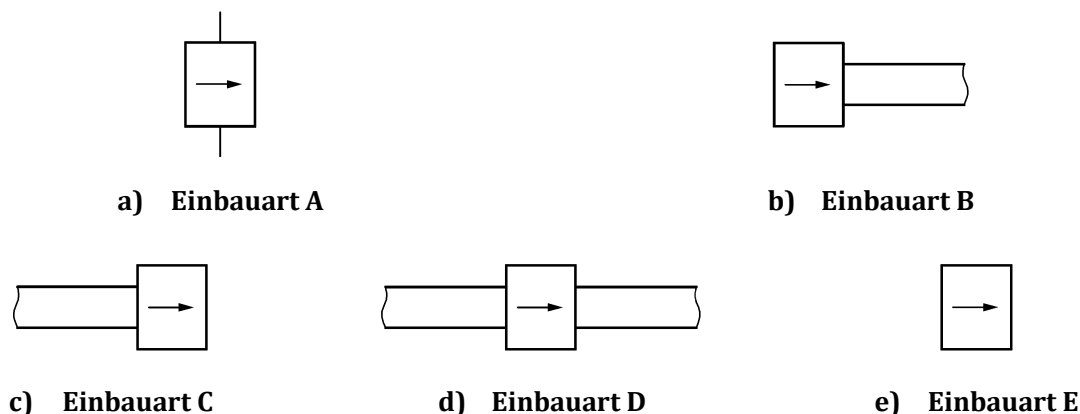
1	Eintritt des Prüfventilators
2	Austritt des Prüfventilators
3	Abschnitt für die Druckmessung auf der Eintrittsseite des Prüfstandes
4	Abschnitt für die Druckmessung auf der Austrittsseite des Prüfstandes
5	Messbohrung für Δp am Hals oder auf der Abströmseite für eine Durchflussmessung am Eintritt
6	Anströmseitige Messbohrung für Δp und Messbohrung für p_{up} für eine Durchflussmessung am Austritt
7	Anströmseitige Entnahmestelle für Δp und Messbohrung für p_{up} für eine Durchflussmessung am Eintritt
8	Messbohrung für Δp am Hals oder auf der Abströmseite für eine Durchflussmessung am Austritt
a	Umgebungsatmosphäre im Prüfraum/bezüglich Wellenwirkungsgrad
aux	Hilfs-
b	Barometer
C	umgerechnet
d	dynamisch
do	Abströmseite eines Durchflussmessgeräts
dry	Trockenkugel-
eq	äquivalent
f	Ventilator
h	hydraulisch
L	groß
m	arithmetischer Mittelwert zwischen dem Eintritts- und Austrittsquerschnitt des zu prüfenden Ventilators
mot	Motor
max	maximal
min	mindestens
n	Bezugsebene des Ventilators; $n = 1$ am Eintritt, $n = 2$ am Austritt (siehe 15.1.2)
r	Rotor/Laufrad
ref	Bezug
s	statische Bedingungen
S	klein
sat	Sättigungsbedingungen
sg	Stagnationsbedingungen
T	Übergang
Te	geprüft
tot	gesamt
up	Anströmseite eines Durchflussmessgeräts
v	Dampf
wet	Feuchtkugel-
x	Abschnitt und Mittelwert im Zeitverlauf, gemittelt über die Fläche des Prüfstand-Querschnitts

5 Allgemeines

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

Das Arbeitsmedium für die Prüfung auf genormten Prüfständen ist Luft, wobei Druck und Temperatur im üblichen atmosphärischen Bereich liegen müssen.

In ISO 13349 wurden 5 Kategorien entsprechend der Einbauart festgelegt, siehe Bild 1.



Legende

- A Einbau mit freier Ansaugung und freier Ausblasung
- B Einbau mit freier Ansaugung und rohrleitungsgeführter Ausblasung
- C Einbau mit rohrleitungsgeführter Ansaugung und freier Ausblasung
- D Einbau mit rohrleitungsgeführter Ansaugung und rohrleitungsgeführter Ausblasung
- E Einbau mit freier Ansaugung und freier Ausblasung ohne eine Scheidewand

Bild 1 — Kategorien entsprechend der Einbauart

In der vorstehenden Klassifizierung haben die Begriffe folgende Bedeutung.

Freie Ansaugung oder freie Ausblasung bedeutet, dass die Luft in den Ventilator direkt und ungehindert aus einer freien Atmosphäre eintritt oder aus diesem direkt und ungehindert in eine freie Atmosphäre austritt. Rohrleitungsgeführte Ansaugung oder rohrleitungsgeführte Ausblasung bedeutet, dass die Luft in den Ventilator durch eine direkt angeschlossene Rohrleitung eintritt bzw. aus diesem durch eine solche austritt.

In diesem Dokument wird eine Reihe von Prüfanordnungen festgelegt (siehe Abschnitt 6), die den in ISO 13349 festgelegten Einbauart-Kategorien A, B, C und D entsprechen. Die Einbauart-Kategorie E wird nach ISO 13350 (Strahlventilatoren) oder anderen einschlägigen Normen (z. B. ISO 27327-2 für Luftschleier) geprüft.

Der zu prüfende Ventilator muss in eine der zuvor festgelegten Einbauart-Kategorien A, B, C oder D eingeordnet werden. Im Prüfbericht muss die Einbauart-Kategorie, für die der Ventilator geprüft wurde, angegeben werden. Wenn ein Ventilator in mehr als eine der Einbauart entsprechende Kategorie und Prüfanordnung eingeordnet werden kann, weist er auch mehrere Leistungen auf.

Außerdem kann sich die Leistung des Ventilators durch den anströmseitigen Luftstrom ändern, z. B. wenn das Geschwindigkeitsprofil gestört wird oder eine Drallbildung vorliegt.

Die ausblasseitige Strömung kann im Allgemeinen die Strömung durch das Laufrad nicht beeinflussen, aber durch eine Rohrleitung am Austritt des Ventilators kann sich dessen Leistung ändern, und die Verluste in der abströmseitigen Rohrleitung können durch den Luftstrom am Ventilatoraustritt verändert werden.

In diesem Dokument werden Verfahren zur Messung und Berechnung der Durchflussraten, der Ventilator-drücke und der Wirkungsgrade des Ventilators festgelegt, die alle Auswirkungen der Kompressibilität der Luft berücksichtigen. Bei einem Ventilatordruck von weniger als 2 000 Pa kann die Änderung der Dichte zwischen dem Ventilatoreintritt und dem Ventilatoraustritt vernachlässigt werden. Sonstige Kompressibilitätseffekte können bei Bezugsgeschwindigkeiten von nicht mehr als 65 m/s vernachlässigt werden (siehe Abschnitt 13).

6 Kategorien für Einbau und Prüfaufbau

6.1 Allgemeines

Das Laboratorium muss den Ventilator im Lieferzustand prüfen; die Organisation, die den Ventilator an das Labor liefert, trägt die Verantwortung dafür, dass alle für den Verwendungszweck erforderlichen Zubehörteile mitgeliefert werden. Der Prüfbericht muss alle Angaben zum Messaufbau enthalten, d. h. zu Form und Lage der verwendeten Zubehörteile.

6.2 Anordnung der Kategorie A

Für eine Qualifizierung der Einbauart nach Kategorie A muss der Ventilator ohne eine Eintritts- oder Austrittsrohrleitung geprüft werden, die mit dem Ventilator mitgelieferten Zubehörteile, d. h. Berührungsschutz, Einströmdüse usw., dürfen jedoch bei der Prüfung angebracht werden.

In diesem Fall wird eine saugseitige oder druckseitige Prüfkammer in Übereinstimmung mit 9.4 und 9.5 angewendet.

6.3 Anordnung der Kategorie B

Es ist eine Rohrleitung an der Austrittsseite, die die Bedingungen einer Rohrleitung nachbildet, zu verwenden, und der Ventilator darf mit den mit ihm mitgelieferten Zubehörteilen geprüft werden.

Wenn der Druck am Austritt des Ventilators in der Austrittsrohrleitung gemessen wird, ist ein einfaches Segment am Ventilatoraustritt zu verwenden (siehe 8.4). Siehe Anhang G für Empfehlungen zur Anwendung dieser Anordnung bei Ventilatoren mit beträchtlicher Drallbildung.

6.4 Anordnung der Kategorie C

Es ist eine Rohrleitung an der Eintrittsseite, die die Bedingungen einer Rohrleitung nachbildet, zu verwenden, und der Ventilator darf mit den mit ihm mitgelieferten Zubehörteilen geprüft werden.

Wenn der Druck am Eintritt des Ventilators in der Eintrittsrohrleitung gemessen wird, ist ein einfaches Segment am Ventilatoreintritt zu verwenden (siehe 8.2).

6.5 Anordnung der Kategorie D

Es sind eine Eintritts- und eine Austrittsrohrleitung, die Rohrleitungsbedingungen nachbilden, zu verwenden und der Ventilator darf mit den mit ihm mitgelieferten Zubehörteilen geprüft werden.

Wenn der Druck am Austritt des Ventilators in der Austrittsrohrleitung gemessen wird, ist ein einfaches Segment am Ventilatoraustritt zu verwenden (siehe 8.4). Siehe Anhang G für Empfehlungen zur Anwendung dieser Anordnung bei Ventilatoren mit beträchtlicher Drallbildung.

Wenn der Druck am Eintritt des Ventilators in der Eintrittsrohrleitung gemessen wird, ist ein einfaches Segment am Ventilatoreintritt zu verwenden (siehe 8.2).

6.6 Eintritte und Austritte

Die Querschnittsflächen für den Ein- und Austritt sind in ISO 13349 festgelegt.

6.7 Ventilatoren mit starker Drallbildung

Die Leistung eines Ventilators für eine festgelegte Kategorie entsprechend der Einbauart wird mit den genormten Prüfständen nach diesem Dokument innerhalb einer vorgegebenen Unsicherheit ordnungsgemäß bestimmt (siehe Abschnitt 17). Ventilatoren mit beträchtlicher Drallbildung (wie z. B. Axialventilatoren ohne Austrittsleitschaufeln) in der Einbauart-Kategorie B und D haben möglicherweise eine zusätzliche Unsicherheit. Diese zusätzliche Unsicherheit hängt von der Konstruktion des Ventilators, vom Betriebspunkt und vom Prüfaufbau ab (siehe Anhang G). Im Prüfbericht muss die Geometrie der Rohrleitung am Ventilatoraustritt eindeutig angegeben werden.

6.8 Prüfstände

Alle Rohrleitungen von Prüfständen müssen gerade sein. Die Verbindungen zwischen den einzelnen Abschnitten des Prüfstandes müssen gut ausgerichtet und frei von inneren Vorsprüngen sein. Falls Vorkehrung zur Einführung und Handhabung von Messgeräten getroffen wurden, ist hier besonders darauf zu achten, dass Leckagen und die Versperrung des Strömungsweges auf ein Mindestmaß verringert werden.

6.9 Prüfraum

Der Aufbau des Ventilators mit dessen Prüfstand muss so gelegen sein, dass, wenn der Ventilator außer Betrieb ist, in der näheren Umgebung des Eintritts oder Austritts des Aufbaus kein Luftzug mit einer Geschwindigkeit von mehr als 1 m/s auftritt.

Es ist darauf zu achten, dass keine Hindernisse vorhanden sind, durch die die Luftströmung am Eintritt oder Austritt des zu prüfenden Ventilators oder der Prüfanordnung erheblich verändert werden kann. Zu Einzelheiten siehe 9.4.1 und 9.5.1.

Sonstige hindernisfreie Räume am Ein- und Austritt von Durchflussmessgeräten sind mit diesen Geräten angegeben. Die zugehörigen Abmessungen der Prüfkammern sind in 9.4.1 und 9.5.1 festgelegt.

6.10 Leckage

Die Leckage der Prüfeinrichtung zwischen der Ebene der Durchflussmessung und dem zu prüfenden Ventilator muss im Vergleich zum maximalen Durchfluss des zu prüfenden Ventilators vernachlässigbar gering sein.

Vor der ersten Verwendung und danach in regelmäßigen Abständen ist eine Dichtheitsprüfung durchzuführen, wobei erforderlichenfalls Korrekturmaßnahmen zu treffen sind. Siehe Anhang C zu empfohlenen Prüfverfahren für die Dichtheitsprüfung.

6.11 Prüfbericht

Alle Leistungsangaben eines Ventilators, die in Übereinstimmung mit diesem Dokument gemacht werden, müssen auch die Prüfanordnung angeben, auf die sie sich beziehen. Bei der Berichterstattung über eine Prüfung ist die in Abschnitt 11 festgelegte Prüfanordnung anzugeben.

7 Durchführung der Prüfung

7.1 Fördermedium

Das Fördermedium für Prüfungen in genormten Prüfständen muss atmosphärische Luft sein.

7.2 Drehzahl

Um Kennlinien bei konstanter Drehzahl zu erhalten, ist der Ventilator vorzugsweise bei einer Drehzahl zu betreiben, die nahe am festgelegten Wert liegt. Wenn die Drehzahl stark abweicht oder wenn der Ventilator zum Einsatz mit einem anderen Gas als Luft oder mit einer anderen Dichte bestimmt ist, sind die Bestimmungen von Abschnitt 14 und 15.3 anzuwenden.

Bei inhärentem Drehzahlverhalten, wie in 16.4 festgelegt, muss der Motor des Ventilators bei den für den Motor oder die Antriebsmaschine zulässigen Nenn- oder Bemessungs-Versorgungsbedingungen betrieben werden.

7.3 Stationärer Betrieb

Vor der Durchführung von Messungen in irgendeinem Punkt der Durchflussleistungskennlinie des Ventilators muss der Ventilator solange betrieben werden, bis ein stationärer Betrieb erreicht wird. Ist ein stationärer Betrieb nicht möglich, darf eine Prüfung durchgeführt werden und die Instabilität muss im Prüfbericht vermerkt werden.

7.4 Umgebungsbedingungen

Die Werte für den Atmosphärendruck, die Trockenkugeltemperatur und die Feuchtkugeltemperatur sind im Prüfraum im Rahmen der zur Ermittlung der Ventilatorkennlinien erforderlichen Beobachtungsreihe abzulesen. Wenn sich die Umgebungsbedingungen verändern, ist eine ausreichende Anzahl von Werten abzulesen, um (für jeden Prüfpunkt auf der Kennlinie durch Mittelung) einen Wert zu erhalten, der mit der in diesem Dokument festgelegten Genauigkeit der Messungen kompatibel ist.

7.5 Druckmesswerte

Der Druck in den Rohrleitungen des Prüfstands muss mindestens 1 min für jeden Punkt auf der Ventilatorkennlinie beobachtet werden. Schnelle Schwankungen müssen am Manometer gedämpft werden, und wenn die abgelesenen Werte weiter zufällige Schwankungen aufweisen, ist eine ausreichende Anzahl an Werten aufzuzeichnen, um die Erzielung eines zeitgemittelten Wertes sicherzustellen, der innerhalb der in diesem Dokument angegebenen Genauigkeitsgrenzen liegt.

7.6 Prüfung bezüglich einer festgelegten Leistung

Prüfungen für eine bestimmte Leistung müssen mindestens an drei Prüfpunkten durchgeführt werden, mit denen ein kurzes Teilstück der Ventilatorkennlinie, einschließlich der festgelegten Leistung, festgelegt wird. Die gemessenen Punkte müssen in der Kurve gekennzeichnet werden.

7.7 Prüfung zur Bestimmung einer Ventilatorkennlinie

Prüfungen zur Bestimmung von Ventilatorkennlinien müssen eine ausreichende Anzahl von aufgetragenen Prüfpunkten umfassen, um das Auftragen der Kennlinie gegen den Nennbetriebsbereich zu ermöglichen. Nahe nebeneinander liegende Punkte sind erforderlich, wenn es Anzeichen abrupter Wechsel des Verlaufes der Kennlinie gibt.

7.8 Betriebsbereich

Prüfpunkte außerhalb des üblichen Betriebsbereiches dürfen aufgezeichnet werden, und die vollständige Ventilatorkennlinie darf dann lediglich zu Informationszwecken aufgetragen werden. Prüfungen außerhalb des üblichen Betriebsbereiches haben nicht zwangsläufig die gleiche Genauigkeit, wie bei Prüfungen innerhalb des üblichen Betriebsbereiches erwartet wird.

8 Elemente für die Nachbildung von Rohrleitungen

8.1 Allgemeines

Genormte Prüfstände für rohrleitungsgeführte Ventilatoreinbauarten der Kategorie B, C oder D müssen über Rohrleitungsnachbildungen für den Ventilatoreintritt und/oder -austritt verfügen, die in diesem Abschnitt beschrieben werden.

8.2 Einfache Segmente am Ventilatoreintritt (iCS)

Dieses Rohrsegment umfasst den Abschnitt an der Eintrittsseite des Prüfstandes, der an den Ventilator angrenzt, und enthält eine Reihe von Druckmessbohrungen in Übereinstimmung mit 12.8, wie in Bild 2 dargestellt.

Zum Anpassen von unterschiedlichen Flächen und/oder Formen, die innerhalb der angegebenen Grenzen liegen, kann ein Übergangsstück benutzt werden (siehe Bild 2):

$$0,95 < A_3/A_1 < 2,25 \quad \text{wenn } A_1 \text{ rund ist;}$$

$$0,95 < A_3/A_1 \quad \text{wenn } A_1 \text{ rechteckig ist, gibt es für } A_3 \text{ oder das Aspektverhältnis } b/h \text{ (wobei } b > h) \text{ keine Obergrenze, jedoch darf der Öffnungswinkel der Aufweitung zwischen den kurzen Seiten } 15^\circ \text{ und der Öffnungswinkel der Verengung zwischen den langen Seiten } 30^\circ \text{ nicht überschreiten;}$$

$$L_{T1}/D_{h3} = 1 \quad \text{wenn } A_1 \text{ rechteckig ist, ist } L_{T1}/D_{h3} \geq 1 \text{ möglich (siehe obige Anmerkung zu } A_3/A_1 \text{).}$$

Wenn gleichzeitig mit den Leistungsprüfungen des Luftstroms akustische Innenrohrmessungen durchgeführt werden, muss das Übergangsstück auch die Anforderungen von ISO 5136 erfüllen (zitiert in 10.4). Für andere Messaufbauten müssen die relevanten Teile von ISO 13347 (alle Teile) verwendet werden.

Der sich an den Ventilatoreintritt anschließende Abschnitt hat den gleichen Querschnitt wie der Ventilatoreintritt, an dem er befestigt ist, und seine Länge L_{S1} berechnet sich nach Gleichung (1):

$$L_{S1} = D_{h1} \quad (1)$$

Dabei ist

$$D_{h1} \quad \text{der hydraulische Durchmesser am Ventilatoreintritt.}$$

Wenn die Luft in das einfache Segment direkt aus der unbehinderten freien Atmosphäre eintritt, oder wenn das einfache Segment abströmseitig einer Eintrittsprüfkammer als Rohrleitungsnachbildung eingebaut ist, so ist an seinem Eintrittsende ein trichterförmiger Eintritt zu verwenden (siehe Bild 3).

Wenn auf der Anströmseite des einfachen Segments eine Drosseleinrichtung oder ein Hilfsventilator eingebaut ist, so ist anströmseitig des einfachen Segments ein Strömungsgleichrichter (siehe 10.3) zu verwenden, damit die Messebene 3 drallfreie Bedingungen für eine zuverlässige Druckmessung aufweist.

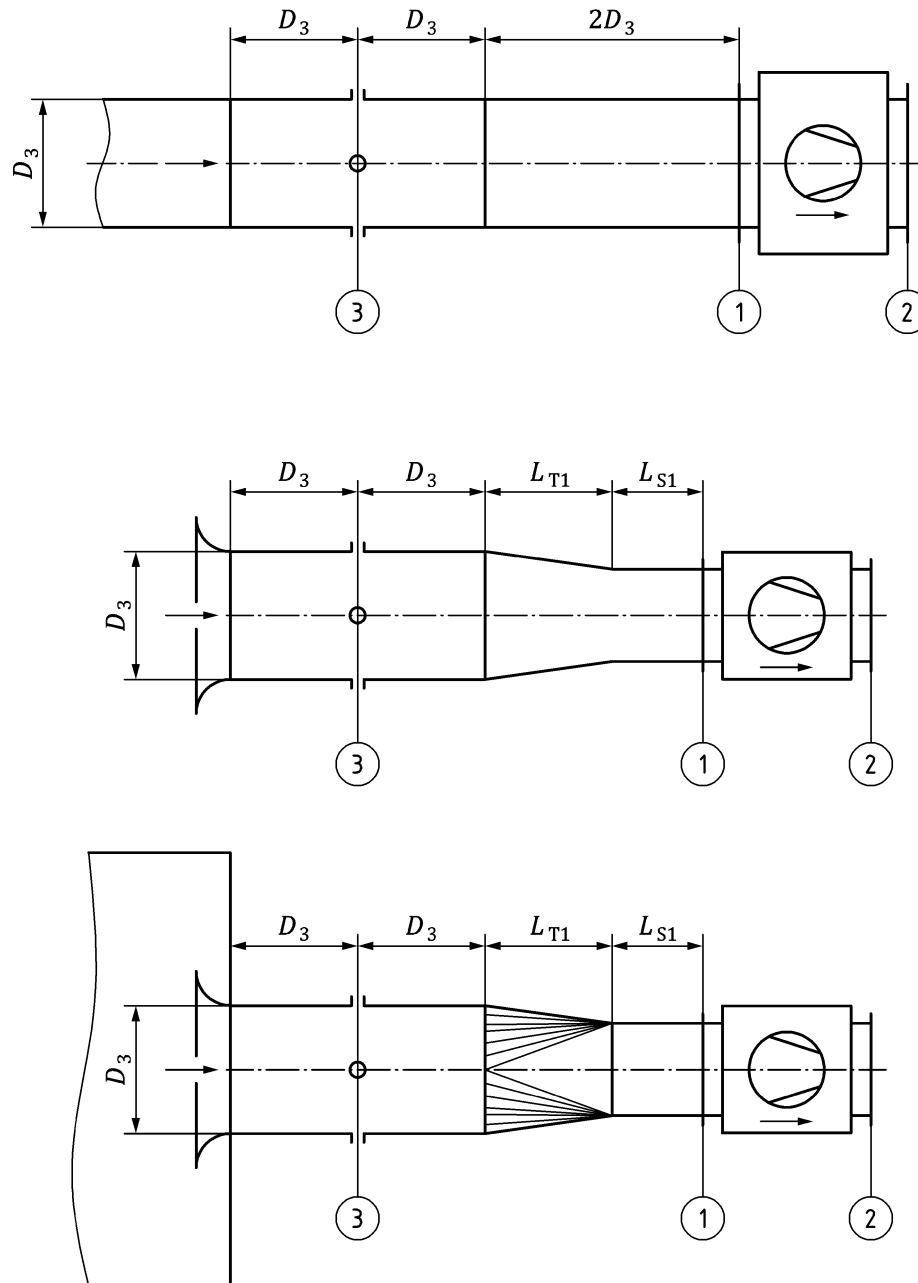


Bild 2 — Einfaches Segment am Ventilatoreintritt

8.3 Nachbildung einer Eintrittsrohrleitung (iDS)

Ein Ventilator, der bestimmungsgemäß mit freier Ansaugung geprüft wird, aber auch an Rohrleitungen am Eintritt angeschlossen werden kann, darf für die Prüfung von der bestimmungsgemäßen Anwendung für die letztere Anwendung umgebaut werden, indem ein nachgebildeter Abschnitt der Eintrittsrohrleitung an dessen Eintritt angebracht wird.

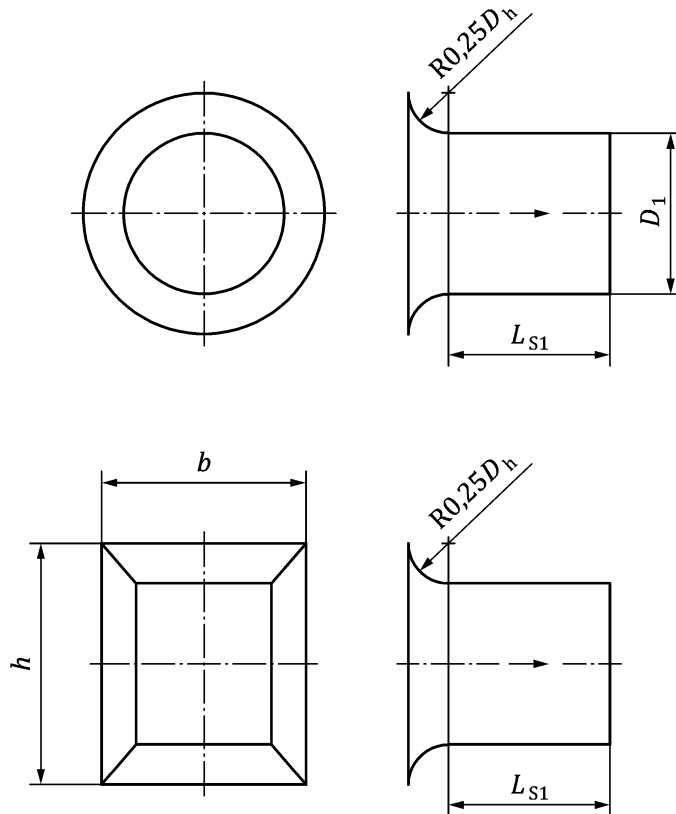


Bild 3 — Nachbildung einer Eintrittsrohrleitung mit trichterförmigem Eintritt

Die Nachbildung des Abschnitts muss den gleichen Querschnitt wie der Ventilatoreintritt besitzen, an den er angeschlossen wird, und seine Länge L_{S1} ergibt sich nach Gleichung (2):

$$L_{S1} \geq D_{h1} \quad (2)$$

Es ist ein trichterförmiger Eintritt mit der in Bild 3 dargestellten Geometrie zu montieren.

Das übliche Verhältnis ist eine Eintrittslänge gleich L_{S1} , und sie ergibt eine echte Ventilator Kennlinie für jeden an Rohrleitungen angeschlossenen Ventilator über den gesamten üblichen Arbeitsbereich. In bestimmten Fällen ist jedoch eine längere Rohrleitung erforderlich, damit der Ventilator seinen vollen saugseitigen Druck bei oder nahezu bei Null-Volumenstrom aufbauen kann. In Fällen, in denen eine vollständige Ventilator Kennlinie verlangt wird, ist es zulässig, dieses Element nach Bedarf zu erweitern oder ein einfaches Rohrsegment nach 8.2 mit trichterförmigem Eintritt am Ende des Eintritts einzusetzen.

8.4 Einfaches Segment am Ventilatoraustritt (oCS)

Dieses Rohrsegment umfasst den Abschnitt an der Austrittsseite des Prüfstandes, der an den Ventilator angrenzt. Im mittigen zylindrischen Abschnitt enthält es einen genormten sternförmigen Strömungsgleichrichter nach 10.3.3, und außerdem eine Reihe von Druckmessbohrungen in Übereinstimmung mit 12.8.

Zum Anpassen von unterschiedlichen Flächen und/oder Formen, die innerhalb der angegebenen Grenzen liegen, kann ein Übergangsstück benutzt werden (siehe Bild 4):

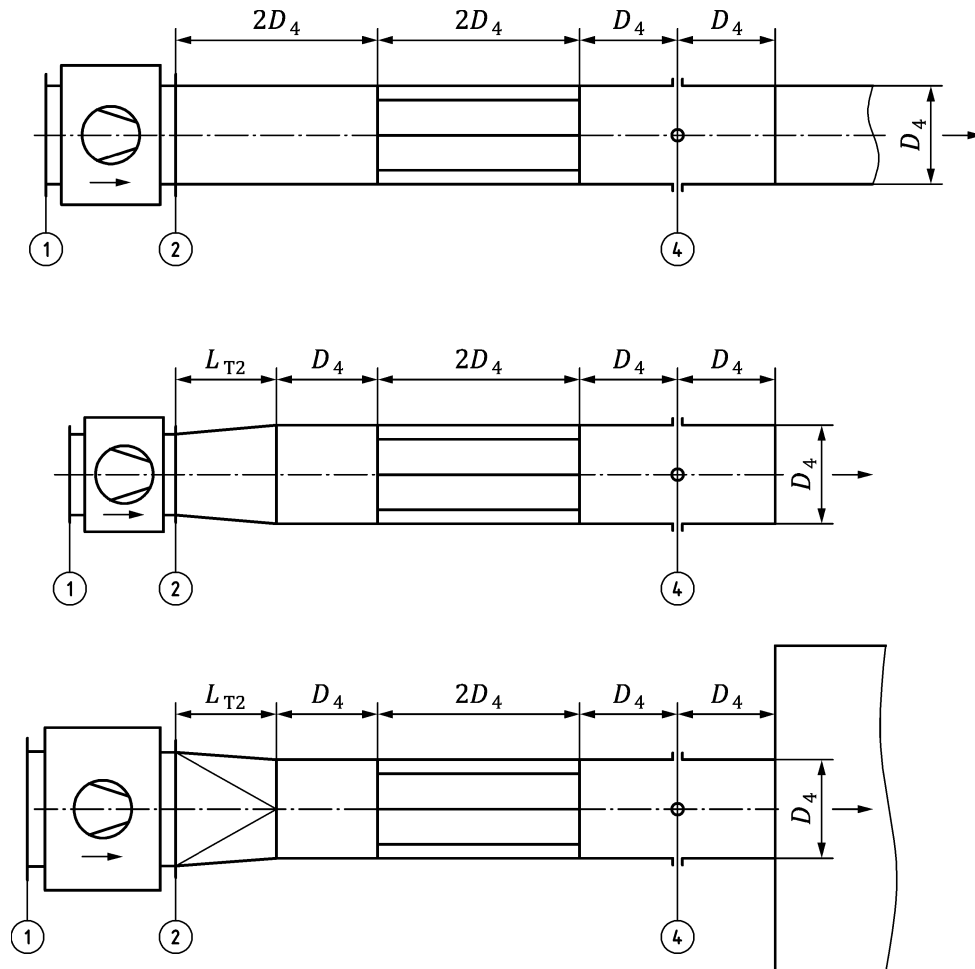
$$0,95 < A_4/A_2 < 1,07 \quad \text{für alle } A_2\text{-Formen}$$

$$L_{T2}/D_4 = 1 \quad \text{für alle } A_2\text{-Formen, außer für rechteckige } A_2 \text{ mit}$$

$$b_2/h_2 > 4/3 : L_{T2}D_4 = 3/4 \cdot b_2/h_2$$

Wenn gleichzeitig mit den Leistungsprüfungen des Luftstroms akustische Messungen in der Rohrleitung durchgeführt werden, muss das Übergangsstück auch die Anforderungen von ISO 5136 erfüllen (zitiert in 10.4). Für andere Messaufbauten müssen die relevanten Teile von ISO 13347 (alle Teile) verwendet werden.

Der Reibungsverlustkoeffizient des Übergangsstücks ist gleich dem einer Rohrleitung mit einem Durchmesser von D_4 und einer Länge von L_{T2} .



ANMERKUNG Alternativ kann der Druckabgriff (4) wie in Bild 10 dargestellt angebracht werden.

**Bild 4 — Einfaches Rohrsegment am Ventilatoraustritt mit Strömungsgleichrichter
[hier: sternförmiger Gleichrichter]]**

Bei Radial-, Querstrom- oder Axialventilatoren (ohne nennenswerten Drall) darf eine vereinfachte Austrittsrohrleitung (8.5) alternativ montiert werden, um eine Anordnung vom Typ B oder D zu erhalten, wenn der Ventilator in die Atmosphäre (oTS) oder in eine Prüfkammer an der Austrittsseite (oTC) ausbläst.

Für große Ventilatoren (Austrittsdurchmesser 800 mm oder größer) kann die Durchführung von Prüfungen auf genormten Prüfständen mit einfachen Segmenten auf der Austrittsseite, einschließlich eines Strömungsgleichrichters, schwierig sein. In diesem Fall darf zwischen den beteiligten Parteien vereinbart werden, dass die Ventilatorleistung mittels einer Rohrleitungsnachbildung an der Austrittsseite gemessen wird (8.5). Die so erhaltenen Ergebnisse können von den mittels eines einfachen Segments am Ventilatoraustritt (8.4) erzielten Ergebnissen in gewissem Maß abweichen, besonders, wenn der Ventilator einen starken Drall erzeugt.

8.5 Nachbildung einer Austrittsrohrleitung (oDS)

Ein Ventilator, der bestimmungsgemäß mit freier Ausblasung geprüft wird, aber auch an Rohrleitungen am Austritt angeschlossen werden kann, darf für die Prüfung von der bestimmungsgemäßen Anwendung für die letztere Anwendung umgebaut werden, indem ein nachgebildeter Abschnitt der Austrittsrohrleitung an dessen Austritt angebracht wird (siehe Bild 5).

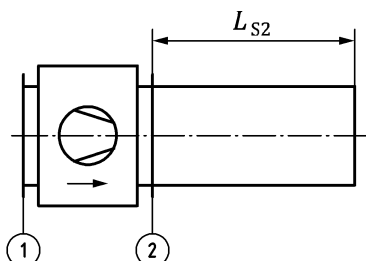


Bild 5 — Nachbildung einer Rohrleitung am Ventilatoraustritt

Der Querschnitt der Rohrleitungsnachbildung am Austritt muss gleich dem des Ventilatoraustritts sein und die Länge ist anhand der in Gleichung (3) angegebenen Bedingung zu bestimmen:

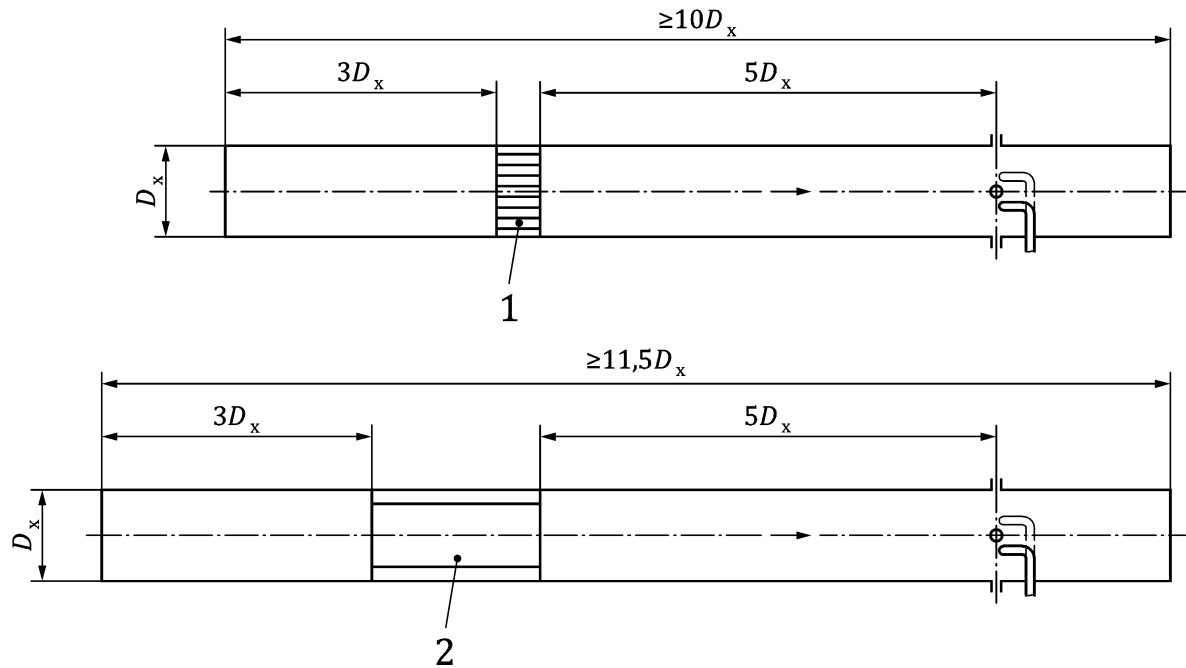
$$2 \leq L_{s2}/D_{h2} \leq 4 \quad (3)$$

Die Nachbildung einer Rohrleitung am Ventilatoraustritt kann mit einer Prüfkammer am Austritt (oTC) nach 9.5 oder einem Prüfraum an der Austrittsseite (oTS) verwendet werden.

Der statische Druck am Austritt des zu prüfenden Ventilators wird nicht in dieser Rohrleitung gemessen, sondern dem statischen Druck im Prüfraum an der Austrittsseite (oTS) oder der Prüfkammer an der Austrittsseite (oTC) gleichgesetzt.

8.6 Lange Rohrleitung (LD)

Eine lange Rohrleitung muss gerade sein und einen gleichmäßigen runden Querschnitt besitzen. Die Länge der Rohrleitung zwischen dem Gleichrichter und dem Staudruckrohr darf nicht kleiner sein als $5D_x$.



Legende

- 1 Wabengleichrichter
- 2 sternförmiger Gleichrichter

Bild 6 — Lange Rohrleitung

8.7 Verlustzuschläge für genormte Prüfstände

Die in diesem Unterabschnitt angegebenen gebräuchlichen Zuschläge müssen bei Prüfungen auf genormten Prüfständen für den Reibungsverlust des Prüfstandes eingesetzt werden.

Die Koeffizienten für den Reibungsverlustzuschlag können entweder auf dem hydraulischen Durchmesser oder dem hydraulischen Radius basieren. Es sollte sichergestellt werden, dass der richtige Wert des Koeffizienten für den Reibungsverlustzuschlag angewendet wird. In Bild 7 sind Werte für glatte Rohrleitungen angegeben.

Der Reibungsverlustkoeffizient kann nach Gleichung (4) bestimmt werden:

$$\lambda = 0,005 + 0,42 (Re_{D3})^{-0,3} \quad (4)$$

wobei λ der Reibungsverlustkoeffizient für eine Länge von einem Durchmesser einer geraden Rohrleitung ist.

Diese Zuschläge hängen von der Reynolds-Zahl Re_D des Durchflusses im Prüfstand ab, und sie basieren auf einer voll entwickelten Strömung in glatten Rohrleitungen, unabhängig vom tatsächlichen durch den Ventilator erzeugten Strömungsmuster.

Die Zuschläge werden für die in 8.2 beschriebenen einfachen Rohrsegmente am Eintritt, die in 8.4 beschriebenen einfachen Rohrsegmente am Austritt und für die langen Rohrleitungen nach 8.6 zwischen dem Ventilator und der Ebene der Druckmessung berechnet. Beim Einsatz von Übergangsstücken müssen die gleichen Zuschläge angewendet werden.

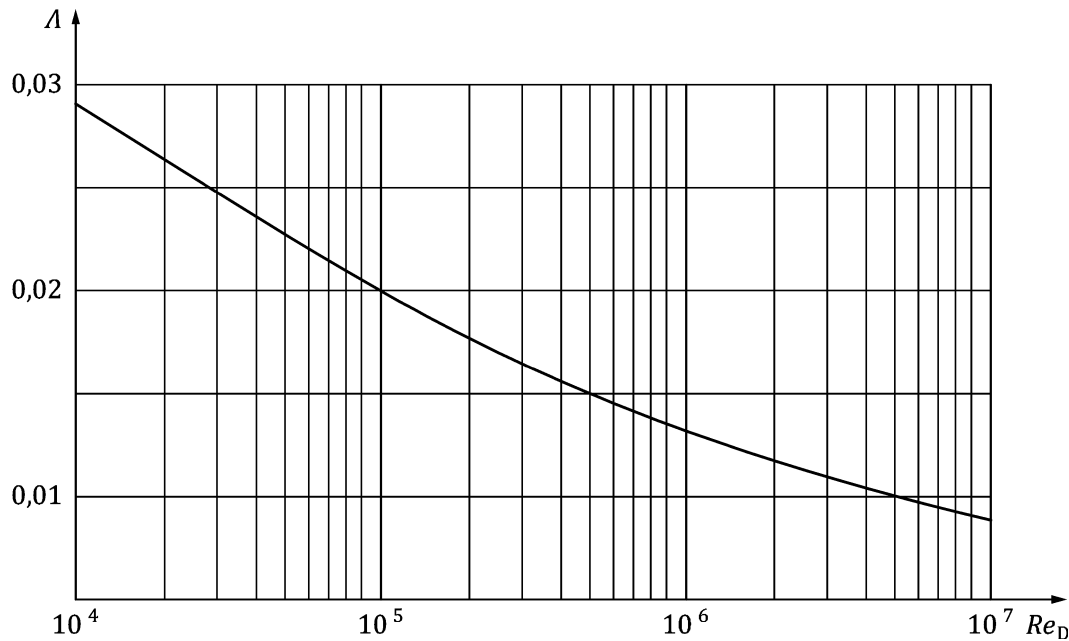


Bild 7 — Reibungsverlustkoeffizient für eine Länge von einem Durchmesser einer geraden Rohrleitung

8.7.1 Verlustzuschläge für ein einfaches Eintrittssegment (iCS)

Der übliche Verlustkoeffizient $(\xi_{3-1})_3$ zwischen Ebene 3 und Eintritt ergibt sich nach Gleichung (5):

$$(\xi_{3-1})_3 = 0,015 + 1,26 (Re_{D3})^{-0,3} \quad (5)$$

mit

$$Re_{D3} = \frac{v_{m3} D_3 \rho_3}{\mu_3} \approx \frac{v_{m3} D_3}{15} \cdot 10^6$$

für Normalluft.

Die Energieverluste zwischen Ebene 3 und Ebene 1 ergeben sich nach Gleichung (6):

$$\Delta p_{3-1} = (\xi_{3-1})_3 \frac{\rho_3 v_{m3}^2}{2} f_{M3} \quad (6)$$

8.7.2 Verlustzuschläge für Nachbildungen einer Rohrleitung am Eintritt (iDS)

Für diese Eintrittsrohrleitung sind keine Verluste zulässig.

8.7.3 Verlustzuschläge für einfache Austrittssegmente (oCS)

8.7.3.1 Mit einem sternförmigen Gleichrichter (oCS)_{star}

Der übliche Verlustkoeffizient des sternförmigen Gleichrichters einschließlich der äußeren Rohrleitung ergibt sich nach Gleichung (7):

$$\xi_{\text{star}} = 0,95 \cdot (Re_{D4})^{-0,12} \quad (7)$$

mit

$$Re_{D4} = \frac{4 \cdot q_m}{\pi \cdot D_4 \cdot \mu_4}$$

Der übliche Verlustkoeffizient $(\xi_{2-4})_4$ zwischen Ventilatoraustritt 2 und der Messebene 4 ergibt sich nach Gleichung (8):

$$(\xi_{2-4})_{4.\text{star}} = \lambda \cdot \frac{L_{2-4}}{D_{h4}} + \xi_{\text{star}} \quad (8)$$

Dabei ist

L_{2-4} die Länge der Rohrleitung zwischen dem Ventilatoraustritt 2 und der Messebene 4;

λ der Reibungsverlustkoeffizient für eine Länge von einem Durchmesser einer geraden Rohrleitung, der sich ergibt aus: $\lambda = 0,005 + 0,42 \cdot (Re_{D4})^{-0,3}$ und gegen die Reynolds-Zahl in Bild 7 aufgetragen wird.

8.7.3.2 Mit einem Wabengleichrichter (oCS)_{cell}

Der Reibungsverlustkoeffizient λ für eine Länge von einem Durchmesser einer geraden Rohrleitung ist in 8.7.3.1 angegeben.

Das Verhältnis der äquivalenten Länge L_{eq} eines Wabengleichrichters zum hydraulischen Durchmesser D_h ergibt sich nach Gleichung (9):

$$\frac{L_{\text{eq}}}{D_h} = \frac{15,04}{\left[1 - 26,65 \cdot \frac{e}{D_h} + 184,6 \cdot \left(\frac{e}{D_h}\right)^2\right]^{1,83}} \quad (9)$$

Dabei ist

e die Dicke der Leitschaufeln.

Der übliche Verlustkoeffizient $(\xi_{2-4})_{4.\text{cell}}$ ergibt sich nach Gleichung (10):

$$(\xi_{2-4})_{4.\text{cell}} = \lambda \cdot \left[\frac{L_{2-4}}{D_{h4}} + \frac{L_{\text{eq}}}{D_{h4}} \right] \quad (10)$$

Dabei ist

L_{2-4} die Länge der Rohrleitung zwischen dem Ventilatoraustritt 2 und der Messebene 4.

8.7.4 Verlustzuschläge für Nachbildungen einer Rohrleitung am Austritt (oDS)

Für diese Austrittsrohrleitung sind keine Verluste zulässig.

8.7.5 Verlustzuschläge für eine lange Rohrleitung (LD)

8.7.5.1 Mit einem sternförmigen Gleichrichter (LD)_{star}

Es gelten die Berechnungen nach 8.7.3.1.

8.7.5.2 Mit einem Wabengleichrichter (LD)_{cell}

Es gelten die Berechnungen nach 8.7.3.2.

9 Genormte Prüfkammern

9.1 Allgemeines

Eine Kammer kann in einen Prüfstand zur Bereitstellung einer Messstation oder zur Nachbildung der Bedingungen, die beim Betrieb des Ventilators zu erwarten sind, oder auch aus beiden Gründen eingesetzt werden.

Der Querschnitt der Prüfkammer kann rund oder rechteckig sein.

9.2 Druckmessbohrungen

Die Druckmessbohrungen in den Messebenen müssen den Anforderungen von 12.8 entsprechen und gleichmäßig um eine zylindrische Kammer herum oder in der Mitte jeder Seite einer rechteckigen Kammer angeordnet sein.

9.3 Mittel zur Strömungsberuhigung

9.3.1 Allgemeines

Erforderlichenfalls müssen in den Kammern zur Bildung der erforderlichen Strömungsmuster Mittel für die Strömungsberuhigung eingebaut sein.

Die Wirksamkeit der Mittel für die Luftströmungsberuhigung in allen Kammern ist anhand der Prüfungen nach 9.3.2, 9.3.3 und 9.3.4 zu verifizieren.

In einigen Validierungsprüfungen wird gefordert, dass die Strömung und der Druck ermittelt werden, bevor die Wirksamkeit der Mittel für die Strömungsberuhigung nachgewiesen wird. Es kann davon ausgegangen werden, dass die in diesem Zustand durchgeführten Prüfungen (mit noch nicht verifizierter Wirksamkeit des Mittels für die Strömungsberuhigung) hinreichend genau sind, um Annahmekriterien festzulegen.

Sobald für die Mittel für die Strömungsberuhigung nachgewiesen wurde, dass alle anwendbaren Annahmekriterien erfüllt werden, darf die betreffende Kammer für alle künftigen Prüfungen innerhalb der durch die Annahmekriterien festgelegten Grenzen verwendet werden.

9.3.2 Überprüfung mit einem Piezometerring

Für jede Druckmessbohrung des Piezometerrings sind einzelne Druckmesswerte zu messen. Wenn der Mittelwert dieser abgelesenen Messwerte höchstens 1 000 Pa beträgt (4 Zoll Wassersäule), müssen alle Einzelwerte innerhalb von 5 % des Mittelwerts liegen. Wenn der Mittelwert dieser Ablesewerte größer als 1 000 Pa (4 Zoll Wassersäule) ist, müssen alle Einzelwerte innerhalb von 2 % des Mittelwerts liegen (siehe auch 12.8.10).

9.3.3 Überströmprüfung zur Verifizierung

Mit dieser Prüfung wird die Fähigkeit des Mittels für die Strömungsberuhigung beurteilt, eine im Wesentlichen gleichmäßige Luftströmung vor einer Messebene herzustellen. Für diese Prüfung werden in gleichen Abständen verteilte Messpunkte in einer Ebene $0,1 D_h$ auf der Abströmseite des Mittels für die Strömungsberuhigung angeordnet. Die Anzahl der Messpunkte muss ISO 5802 entsprechen.

Bei Prüfungen von Mitteln für die Strömungsberuhigung anströmseitig der Düsenwand sollte der Hilfs-Ventilator auf seine maximale Durchflussrate eingestellt werden, die gesamte Düse muss offen sein, der Eintritt der Kammer muss offen sein und die Eintrittsfläche muss der größten Fläche entsprechen, die der Querschnitt der Kammer zulässt.

Bei Prüfungen von Mitteln für die Strömungsberuhigung anströmseitig des zu prüfenden Ventilators muss der Hilfs-Ventilator auf seine maximale Durchflussrate eingestellt werden, die Hälfte der Düsen muss offen sein, der Austritt der Kammer muss offen sein und die Austrittsfläche muss der größten Fläche entsprechen, die der Querschnitt der Kammer zulässt.

Die Strömungsgeschwindigkeiten sind zu messen und der Mittelwert daraus ist zu bestimmen. Wenn die maximale Geschwindigkeit unter 2 m/s (400 ft/min) liegt, oder wenn der maximale Geschwindigkeitswert 125% des Durchschnitts nicht überschreitet, sind die Mittel für die Strömungsberuhigung annehmbar.

9.3.4 Austrittskammer-Rückstromprüfung zur Verifizierung

Ein Zweck der Mittel für die Strömungsberuhigung ist es, die kinetische Energie eines anströmseitigen Strahlimpulses zu absorbieren und dessen normale Ausdehnung wie in einem freien Raum zu ermöglichen. Das erfordert einen gewissen Rückstrom zur Zuführung von Luft, damit sie sich an den Strahlgrenzbereichen vermischen kann. Wenn die Mittel für die Strömungsberuhigung jedoch zu stark sind, führt das zu einem übermäßig hohen Rückstrom.

Es ist eine Prüfreihe durchzuführen, um zu verifizieren, dass der Rückstrom an der Messebene des statischen Ventilator-drucks nicht übermäßig hoch ist. Jede Prüfung ist mit einer anderen Öffnung des Kammereingangs durchzuführen, beginnend mit 11% der Kammerfläche und im weiteren Verlauf mit immer geringeren prozentualen Öffnungswerten des Kammereingangs. Bei jeder Prüfung müssen alle Düsen offen und der Hilfs-Ventilator auf seine maximale Durchflussrate eingestellt sein. Bei jeder Prüfung ist zu verifizieren, ob der statische Druck auf der Abströmseite des Mittels für die Strömungsberuhigung geringer ist als der statische Ventilator-druck der Messebene. Wenn sich die Bedingungen erstmals eingestellt haben, die die oben genannte Anforderung verifizieren, darf die Prüfreihe beendet werden.

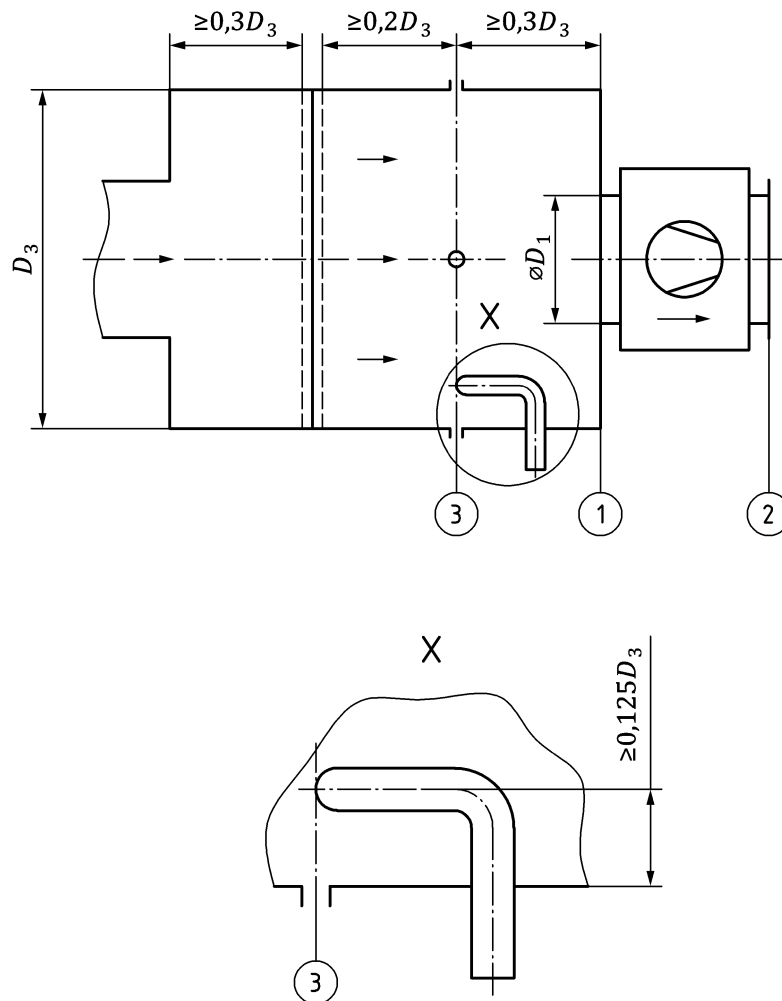
9.4 Genormte saugseitige Prüfkammern (iTC)

9.4.1 Prüfkammern

Der Querschnitt der Prüfkammer kann rund sein, mit einem Innendurchmesser D_3 oder rechteckig $b_3 \cdot h_3$ mit $2/3 < b_3/h_3 < 3/2$.

Das Maß D_3 entspricht in den folgenden Bildern dem hydraulischen Durchmesser des Querschnitts, der sich nach Gleichung (11) ergibt:

$$D_3 = D_{h3} \quad (11)$$



ANMERKUNG Druckmessbohrungen und ein Staudruckrohr können alternativ oder gemeinsam eingesetzt werden.

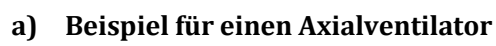
Bild 8 — Prüfkammer an der Eintrittsseite

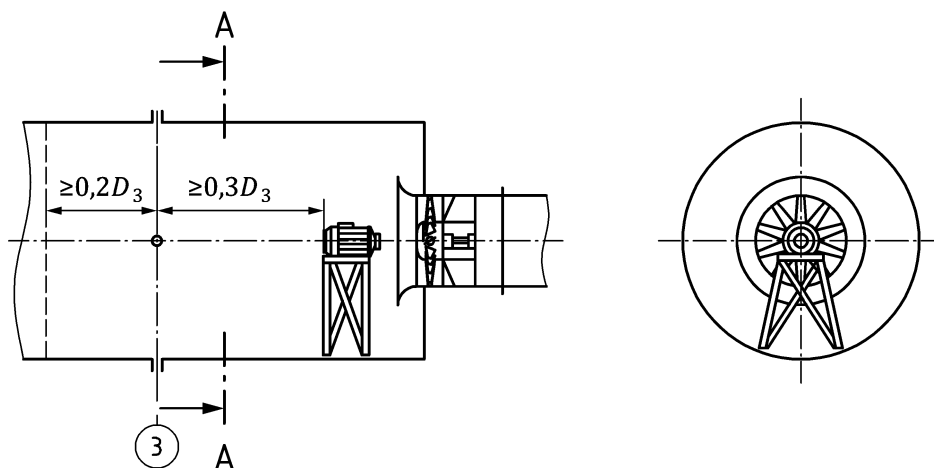
Die Länge der Kammer muss zur Aufnahme jedes zu prüfenden Ventilators ausreichen, ohne dabei von dem in Bild 8 und Bild 9 dargestellten Mindestabstand abzuweichen.

Bei Ventilatoren mit einem Antrieb auf der Eintrittsseite oder Ventilatoren mit beidseitigem Eintritt, bei denen je nach Einbaubedingungen ein entsprechender Mindestabstand in der Kammer zwischen den Druckmessbohrungen und dem folgenden Ventilatorsegment erforderlich ist, ist es notwendig, eine im Vergleich mit den Mindestmaßen verlängerte Prüfkammer, wie in Bild 9 gezeigt, zu verwenden.

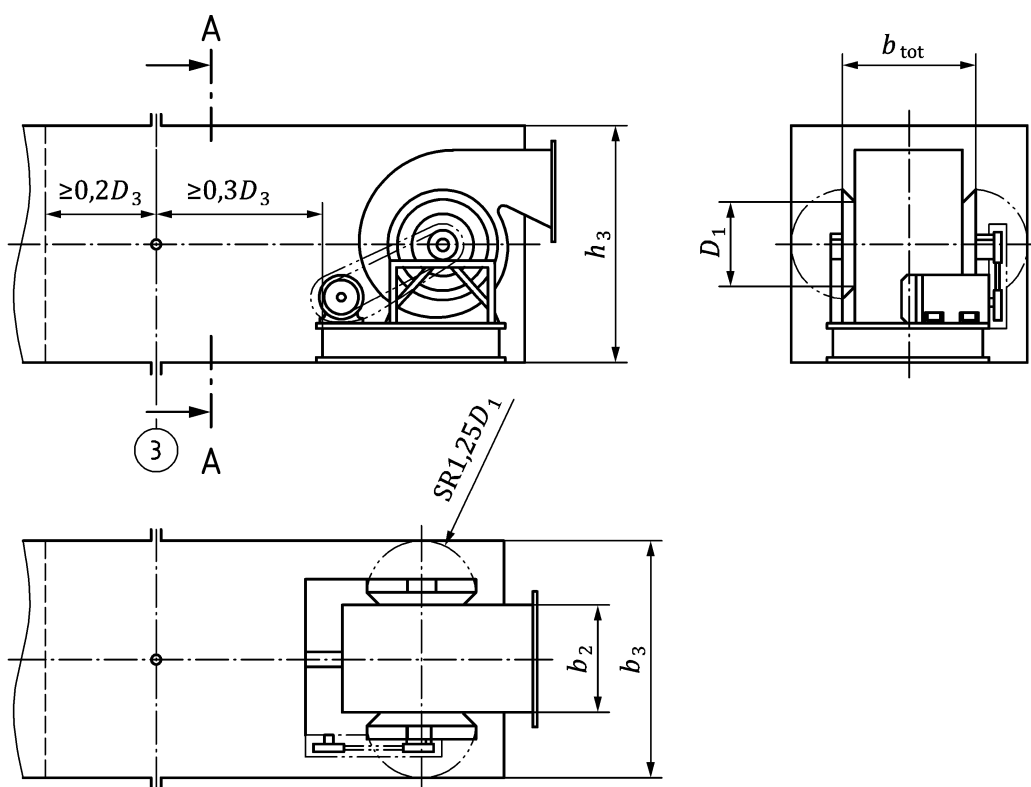
Die Druckmessebene 3 befindet sich (siehe Bild 8 und Bild 9)

- mindestens $0,3 \cdot D_3$ anströmseitig der ersten abströmseitigen Störung; und
- mindestens $0,2 \cdot D_3$ abströmseitig des Mittels für die Strömungsberuhigung.





c) Beispiel für einen Ventilator mit Motor auf der Eintrittsseite



d) Beispiel für einen Radialventilator mit beidseitigem Eintritt (SR gibt den Kugelradius an)

Legende

a Eintritt (maximale Abmessungen)

ANMERKUNG Der dargestellte Ventilator hat die maximal zulässigen Abmessungen.

Bild 9 — Beispiele für Ventilatoranordnungen bei saugseitigen Prüfkammern

9.4.2 Zu prüfender Ventilator

Saugseitige Kammern müssen eine Querschnittsfläche von mehr als dem Fünffachen der Querschnittsfläche des Ventilatoreintritts haben, wie sich nach Gleichung (12) ergibt:

$$A_3 \geq 5 \cdot A_1 \quad (12)$$

Wenn es mehrere Eintritte gibt, müssen sie so angeordnet sein, dass der Durchfluss möglichst koaxial zur Kammerachse bleibt.

In einer Kammer mit rechteckigem Querschnitt muss jede Seite größer als das Doppelte des Eintrittsdurchmessers sein, wie sich nach Gleichung (13) ergibt:

$$b_3 \geq 2D_1 \quad (13)$$

Bei der Prüfung eines Ventilators mit beidseitigem Eintritt muss die Mindestbreite der Kammer so groß sein, dass beide Eintritte aufgenommen werden können. Es ist sinnvoll, eine Kammer mit rechteckigem Querschnitt zu wählen, deren Breite b_3 der Summe der Breite des Ventilators b_{tot} und des die beiden Eintrittsöffnungen umgebenden offenen Raumes einer Halbkugel mit dem Radius von $1,25 \cdot D_1$ entspricht, wie in Bild 9 d) gezeigt.

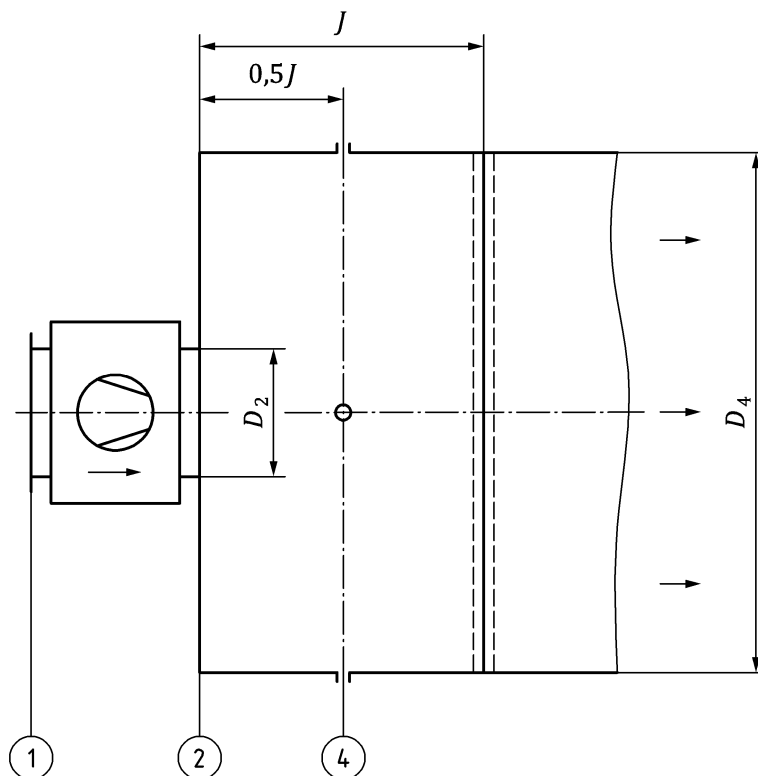
9.5 Genormte druckseitige Prüfkammern (oTC)

9.5.1 Prüfkammern

Der Querschnitt der Prüfkammer kann rund mit einem Innendurchmesser D_4 oder rechteckig $b_4 \cdot h_4$ sein, wobei $2/3 < b_4/h_4 < 3/2$ gilt.

Die Maße D_2 und D_4 entsprechen in Bild 10 dem hydraulischen Durchmesser des Querschnitts, wie sich nach Gleichung (14) ergibt:

$$D_4 = D_{h4} \quad (14)$$



ANMERKUNG 1 Der Abstand J ist bei Ventilatoren mit Drehachse senkrecht zum Ausblasstrom mindestens gleich dem Durchmesser der Austrittsrohrleitung ($J \geq D_{h2}$) und bei Ventilatoren mit Drehachse parallel zum Ausblasstrom mindestens gleich dem doppelten Durchmesser der Austrittsrohrleitung ($J \geq 2 \cdot D_{h2}$).

ANMERKUNG 2 Die Druckmessbohrung (4) kann in der Kammer, wie in Bild 10 dargestellt, bei Ventilatoren mit gleichmäßiger Strömung ohne Drall angebracht werden.

Bild 10 — Druckseitige Prüfkammern

9.5.2 Zu prüfender Ventilator

Die druckseitige Prüfkammer ist bezüglich der Ventilatorgröße sehr groß (vergleichbar mit einer großen freien Fläche).

Eine druckseitige Prüfkammer (siehe Bild 10) muss bei Ventilatoren mit Drehachse im rechten Winkel zum Ausblasstrom eine Querschnittsfläche haben, die mindestens dem Neunfachen der Austrittsfläche des Ventilators oder der Austrittsrohrleitung entspricht, wie sich nach Gleichung (15) ergibt:

$$A_4 \geq 9 \cdot A_2 \quad (15)$$

Die Querschnittsfläche der druckseitigen Prüfkammer muss bei Ventilatoren mit einer Drehachse parallel zum Ausblasstrom mindestens dem 16-Fachen der Austrittsfläche des Ventilators oder der Austrittsrohrleitung entsprechen, wie sich nach Gleichung (16) ergibt:

$$A_4 \geq 16 \cdot A_2 \quad (16)$$

10 Verschiedene Bestandteile eines Prüfstandes

10.1 Allgemeines

Ein Prüfstand ist eine Kombination aus Prüfkammern, Rohrleitungen, Vorrichtungen zur Messung des Durchflusses oder Drucks, Gleichrichtern, Übergangsstücken und einem variablen Zuluftsystem.

10.2 Variables Zuluftsystem

10.2.1 Allgemeines

Das variable Zuluftsystem wird vorzugsweise am Austritt der Prüfanordnung eingebaut oder vom zu prüfenden Ventilator und von den Durchfluss- oder Druckmessvorrichtungen mittels einer Prüfkammer oder einer Rohrleitung von mindestens $2 D$ getrennt. Es wird zum Verändern des Arbeitspunktes im Prüfstand verwendet und kann eine Drosseleinrichtung, einen Hilfsventilator oder eine Kombination von beiden umfassen.

10.2.2 Drosseleinrichtung

Drosseleinrichtungen können zur Steuerung des Arbeitspunktes des zu prüfenden Ventilators eingesetzt werden. Auf der Abströmseite der Drosseleinrichtung in einer Rohrleitung ist ein Gleichrichter zu verwenden, um Störungen der Strömung in Abschnitten mit Durchfluss- oder Druckmessungen oder am Eintritt des zu prüfenden Ventilators zu verhindern.

10.2.3 Hilfsventilator

Hilfsventilatoren können zur Steuerung des Arbeitspunktes des zu prüfenden Ventilators eingesetzt werden. Sie müssen so ausgelegt sein, dass für den gewünschten Durchfluss ein ausreichender Druck erzeugt wird, um durch den Prüfaufbau verursachte Verluste zu überwinden. Vorrichtungen zum Einstellen des Durchflusses, wie z. B. Drosselklappen, Einrichtungen zur Schaufelwinkelverstellung oder Drehzahlregelung können erforderlich sein. Hilfsventilatoren dürfen während der Prüfung keine Druckwellen oder Impulse erzeugen. Zwischen dem Hilfsventilator und jede Prüfstrecke, mit der er verbunden ist, muss ein Wabengleichrichter angeordnet werden, um Störungen der Strömung in Abschnitten mit Durchfluss- oder Druckmessungen oder am Ein- oder Austritt des zu prüfenden Ventilators zu verhindern.

10.3 Strömungsgleichrichter

10.3.1 Allgemeines

Ist ein Drall vorhanden, sind einfache Messungen des Drucks oder Volumendurchflusses nicht möglich. Deshalb muss ein Strömungsgleichrichter eingesetzt werden, wenn Prüfungen in einer Rohrleitung auf der Austrittsseite des Ventilators durchzuführen sind. Selbst bei Axialventilatoren mit Leitschaufeln muss anströmseitig einer Messebene für den statischen oder dynamischen Druck, die sich in einer Prüfrohrleitung am Ventilatoraustritt befindet, immer ein Strömungsgleichrichter eingesetzt werden.

10.3.2 Wabengleichrichter

Der Wabengleichrichter wird eingesetzt, um den Drall zu verringern. Durch ihn werden keine asymmetrischen Geschwindigkeitsverteilungen verbessert.

Der Wabengleichrichter besteht aus einem Gitternetz an Waben mit gleichem Querschnitt (hexagonal, quadratisch usw.), von denen jede die Breite w und die Länge L hat. Die Dicke der Leitschaufeln e darf $0,005 D$ nicht überschreiten (siehe Bild 11).

$$w = 0,075 D$$

$$L = 0,45 D$$

$$e \leq 0,005 D$$

Alle Abmessungen müssen innerhalb von $\pm 0,005 D$ liegen, außer e .

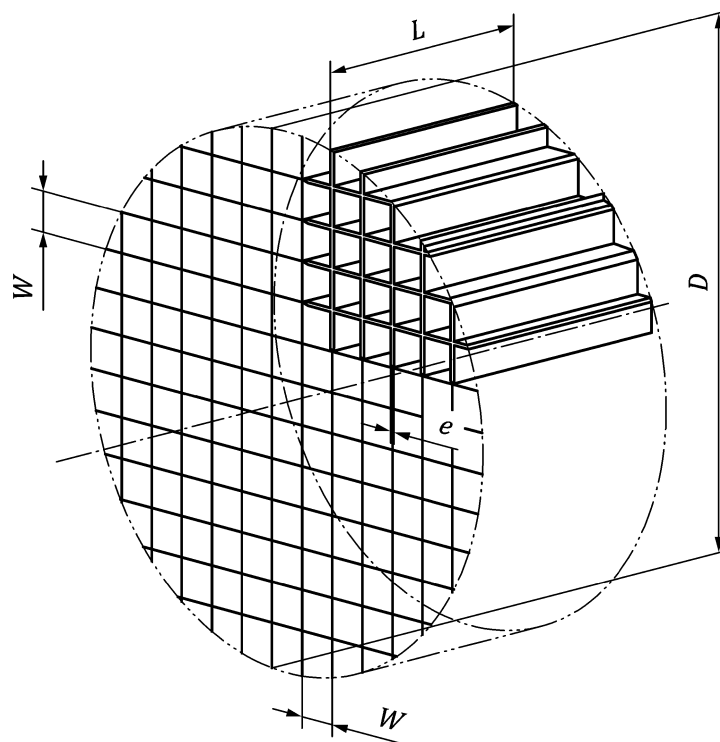


Bild 11 — Wabengleichrichter

10.3.3 Sternförmiger Gleichrichter

Der sternförmige Strömungsgleichrichter ist zur Unterbindung der Drallbildung ausgelegt, findet jedoch nur wenig Anwendung beim Ausgleich von asymmetrischen Geschwindigkeitsverteilungen. Anders als der Wabengleichrichter ermöglicht er es, dass der statische Druck radial ausgeglichen wird, wenn die Luft durch ihn hindurchströmt.

Der in Bild 12 dargestellte sternförmige Gleichrichter ist aus 8 radialen Blechen mit einer Länge von $2 D$ (mit einem Grenzabmaß von $\pm 1 \%$) aufgebaut, und seine Dicke darf aus Gründen des Druckverlustes nicht größer sein als $0,007 D$. Die Bleche sind im gleichen Abstand über den Umfang mit einer Winkelabweichung von höchstens 5° zwischen benachbarten Blechen verteilt.

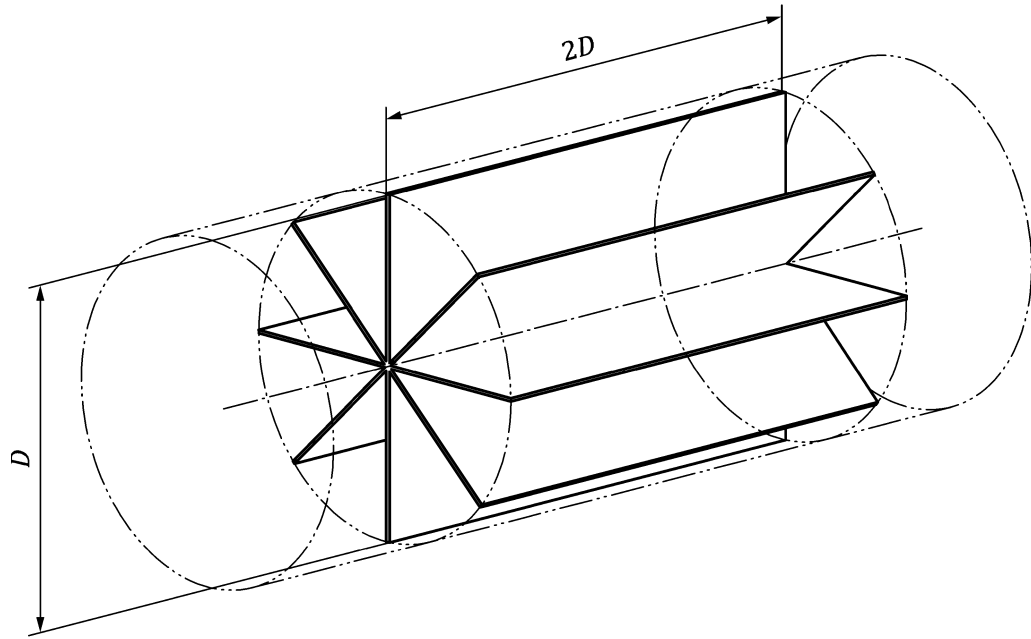


Bild 12 — Sternförmiger Gleichrichter

10.4 Übergangsstücke

10.4.1 Allgemeines

In 8.2 und 8.4 wurden Übergangsstücke für die Verbindung zwischen dem zu prüfenden Ventilator und den einfachen Segmenten festgelegt. Weitere Übergangsstücke, die in beiden Strömungsrichtungen verwendet werden können, werden benötigt, um Bestandteile des Prüfaufbaus mit unterschiedlicher Querschnittsform oder -größe miteinander zu verbinden, wobei sie die Bedingung nach Gleichung (17) erfüllen müssen:

$$L \geq 4 \cdot \left[\sqrt{\frac{4 \cdot A_L}{\pi}} - \sqrt{\frac{4 \cdot A_S}{\pi}} \right] \quad (17)$$

Dabei ist

A_L die größere Fläche des Übergangsstücks;

A_S die kleinere Fläche des Übergangsstücks.

Wenn gleichzeitig mit den Leistungsprüfungen des Luftstroms akustische Messungen in der Rohrleitung durchgeführt werden, muss das Übergangsstück auch die Anforderungen von ISO 5136 erfüllen (zitiert in 10.3). Für andere Prüfanordnungen müssen die relevanten Teile von ISO 13347 (alle Teile) verwendet werden.