

DIN EN 16211



ICS 17.120.10; 91.140.30

Einsprüche bis 2023-06-07
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 16211:2015-09

Entwurf

**Lüftung von Gebäuden –
Luftvolumenstrommessung in Lüftungssystemen –
Verfahren;
Deutsche und Englische Fassung prEN 16211:2023**

Ventilation for buildings –
Measurement of air flow rates on site –
Methods;
German and English version prEN 16211:2023

Ventilation des bâtiments –
Mesurages des débits d'air sur site –
Méthodes;
Version allemande et anglaise prEN 16211:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-04-07 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nhrs@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumlufttechnik sowie deren Sicherheit (NHRs), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 131 Seiten

DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumlufttechnik sowie deren Sicherheit (NHRs)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16211:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 156 „Lüftung von Gebäuden“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 041-02-52 AA „Komponenten (SpA CEN/TC 156/WG 3 und 4)“ im DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumlufttechnik sowie deren Sicherheit (NHRS).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 16211:2015-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) das zuvor in EN 12599:2012 beschriebene Verfahren zur Messung des Luftdurchsatzes in Lüftungskanälen aufgenommen;
- b) die Tracergas-Methode in den Anhang A verschoben;
- c) zwei neue Methoden zur Messung des Volumenstroms am Abgas- und Ansauggitter in Anhang A aufgenommen;
- d) die Teile, die sich mit der Messunsicherheit befassen, durch Anhang B ersetzt;
- e) die Anforderungen an die Messgeräte werden nun in MPME (Maximum Permissible Measurement Error) ausgedrückt;
- f) Norm redaktionell überarbeitet.

**Lüftung von Gebäuden – Luftvolumenstrommessung in Lüftungssystemen –
Verfahren**

Ventilation for buildings – Measurement of air flow rates on site – Methods

Ventilation des bâtiments – Mesurages des débits d'air sur site – Méthodes

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	8
5 Angabe des Luftvolumenstroms	11
5.1 Hydraulischer Durchmesser	11
5.2 Strömungsstörungen	11
5.3 Stabilität der Durchflussmenge	12
5.4 Luftdichte	12
5.5 Umrechnung des dynamischen Drucks in Luftgeschwindigkeit	12
5.6 Korrektur und Umrechnung des gemessenen Luftvolumenstroms	13
5.6.1 Allgemein	13
5.6.2 Korrektur des Luftvolumenstroms	13
5.6.3 Umrechnung des Luftvolumenstroms	14
6 Anforderungen an Messgeräte	15
6.1 Allgemein	15
6.2 Messgeräte für den Luftvolumenstrom	15
6.3 Differenzdruckmessgeräte	15
6.4 Luftgeschwindigkeitsmessgeräte	15
6.4.1 Allgemein	15
6.4.2 Anemometer	15
6.4.3 Statisches Pitotrohr	16
6.5 Geräte zur Temperaturmessung	17
6.6 Messgeräte für den atmosphärischen Druck	17
7 Messverfahren für Luftvolumenströme	17
7.1 Übersicht der beschriebenen Verfahren	17
7.2 Mehrpunktmessung im Querschnitt der Luftleitung – mit Messebenenkriterien (ID1)	18
7.2.1 Kurzbeschreibung	18
7.2.2 Prüfeinrichtung	19
7.2.3 Messverfahren	19
7.2.4 Angabe der Ergebnisse	24
7.3 Mehrpunktmessung im Querschnitt der Luftleitung – ohne Messebenenkriterien (ID2)	26
7.3.1 Kurzbeschreibung	26
7.3.2 Prüfeinrichtung	26
7.3.3 Messverfahren	27
7.3.4 Angabe der Ergebnisse	33
7.4 Feste Geräte für die Luftvolumenstrom-Messung (ID3, ST1 und ET1)	38
7.4.1 Kurzbeschreibung	38
7.4.2 Prüfeinrichtung	39
7.4.3 Messverfahren	39
7.4.4 Angabe der Ergebnisse	39
7.5 Messung des Luftvolumenstroms mit einem Kunststoffbeutel an Zuluft ATD (ST2)	40
7.5.1 Kurzbeschreibung	40
7.5.2 Prüfeinrichtung	41
7.5.3 Messverfahren	41
7.5.4 Angabe der Ergebnisse	42
7.6 Messung des Luftvolumenstroms mit einer Strömungshaube (ST3 und ET2)	42
7.6.1 Kurzbeschreibung	42
7.6.2 Prüfeinrichtung	43

7.6.3	Messverfahren	44
7.6.4	Angabe der Ergebnisse	46
Anhang A (informativ) Zusätzliche Verfahren		47
A.1	Indikatorgasmessung (ID4)	47
A.1.1	Kurzbeschreibung	47
A.1.2	Prüfeinrichtung	47
A.1.3	Messverfahren — Bedingungen für ein homogenes Mischen von Indikatorgas	48
A.1.4	Angabe des Ergebnisses — Berechnung des Luftvolumenstroms	49
A.2	Messung mit einem Anemometer am Lufteinlass (IN1) oder Luftauslass (EX1)	50
A.2.1	Kurzbeschreibung	50
A.2.2	Prüfeinrichtung	50
A.2.3	Messverfahren	50
A.2.4	Angabe der Ergebnisse	51
A.3	Punktmessungen mithilfe von thermischen Anemometern an rechteckigen Einlass- (IN2) und Auslassgittern (EX2) an Wänden	52
A.3.1	Kurzbeschreibung	52
A.3.2	Messgeräte	52
A.3.3	Messverfahren	52
A.3.4	Standardmessunsicherheit	54
Anhang B (informativ) Messunsicherheit		55
B.1	Unsicherheit eines Messergebnisses	55
B.2	Bewertung der Standardunsicherheit des Typs B	55
B.3	Kombinierte Standardunsicherheit	57
B.4	Erweiterte Unsicherheit	57
B.5	Beispiele	58
Literaturhinweise		63

Bilder

Bild 1	Messprinzip des statischen Pitotrohrs	16
Bild 2	Fall A und Fall B — Querschnitt einer horizontalen Luftleitung — ein Bogen anströmseitig in horizontaler oder vertikaler Ebene	21
Bild 3	Zusammenhang zwischen der Mindestluftgeschwindigkeit v und dem Sondendurchmesser D_{SO}	27
Bild 4	Unterteilung eines rechteckigen Querschnitts in Messflächen gleicher Größe	28
Bild 5	Unterteilung eines runden Querschnitts in Ringe mit gleicher Fläche	30
Bild 6	Beispiel für Messstellen auf einem kreisförmigen Querschnitt	33
Bild 7	Unterteilung des Luftleitungsquerschnitts zur Berechnung des arithmetischen Mittels der Geschwindigkeit für eine rechteckige Luftleitung	35
Bild 8	Unterteilung des Luftleitungsquerschnitts zur Berechnung des arithmetischen Mittels der Geschwindigkeit für eine kreisförmige Luftleitung	36
Bild 9	Empirische Beziehung zwischen der Unregelmäßigkeit I in % in Prozent des Profils und dem relativen Abstand a/D_h der Messstelle zu der Störung.	36
Bild 10	Beispiel einer Messung mit Verfahren ET1	39
Bild 11	Prinzipien des Messbeutel-Verfahrens	41
Bild 12	Beispiel einer Messung mit Verfahren ST31	43
Bild 13	Strömungshaube mit Zusatzventilator (ST32)	44
Bild 14	Positionierung der Strömungshaube	45
Bild A.1	Indikatorgas-Messvorrichtung	48
Bild A.2	Düsenvorrichtung für die Injektion von Indikatorgas	48
Bild A.3	Messung der Windgeschwindigkeit	50
Bild A.4	Messmuster — Für kreisförmige und rechteckige Gitter	51
Bild A.5	Lage der Messstellen	52

Tabellen

Tabelle 1 — Symbole und abgekürzte Begriffe	8
Tabelle 2 — Zusammenfassung der in diesem Dokument beschriebenen Verfahren	17
Tabelle 3 — Verfahren ID1 für die Messung von Luftvolumenströmen	18
Tabelle 4 — Erforderliche gerade Abschnitte vor und hinter der Messebene	20
Tabelle 5 — Messstellen bei Luftleitungen mit kreisförmigem Querschnitt	22
Tabelle 6 — Messstellen bei Luftleitungen mit rechteckigem Querschnitt an der größeren Abmessung: L_2 — Gleichungen	22
Tabelle 7 — Messstellen bei Luftleitungen mit rechteckigem Querschnitt an der größeren Abmessung L_2 — Werte	23
Tabelle 8 — Messstellen für Luftleitungen mit rechteckigem Querschnitt an der kleineren Abmessung, L_1 — Bilder	24
Tabelle 9 — Korrekturfaktor für die Form der Luftleitung, e k_2 , für kreisförmige Luftleitungen .	25
Tabelle 10 — Korrekturfaktor für die Form der Luftleitung, k_2 , für rechteckige Luftleitungen .	25
Tabelle 11 — Verfahren ID2 für die Messung von Luftvolumenströmen in der Luftleitung	26
Tabelle 12 — Erforderliche Anzahl an Messstellen in Abhängigkeit von dem relativen Abstand a/D_h zu einer Störung und der kombinierten Unsicherheit	28
Tabelle 13 — Relativer Wandabstand der Messstellen in einer rechteckigen Luftleitung	29
Tabelle 14 — Unterteilung des runden Querschnitts in Ringe mit gleicher Fläche — Relativer Wandabstand des Rings auf der Schwerlinienachse des Ringraums $\frac{y_i}{D}$	31
Tabelle 15 — Unterteilung des runden Querschnitts in Ringe mit gleicher Fläche — Relativer Ring auf der Schwerlinienachse des Ringraums $\frac{D_i}{D}$	32
Tabelle 16 — Geschätzte Standardunsicherheit der Messung aufgrund des Messorts in Abhängigkeit von der Anzahl der Messstellen	37
Tabelle 17 — Standardunsicherheit des Verfahrens	38
Tabelle 18 — Messverfahren für Zuluftströmungen an ATD	40
Tabelle 19 — Messverfahren für Zuluftströmungen an ATD	42
Tabelle A.1 — Messverfahren mit Indikatorgas	47
Tabelle A.2 — Erforderliche Mischstrecke (L), um die Standardunsicherheit des Verfahrens unter 5 % und 10 % zu senken	49
Tabelle A.3 — Abstand zu den Seiten des rechteckigen Auslass- oder Einlassgitters	52
Tabelle A.4 — Faktorkorrektur k für einen Leitschaufelwinkel von 0°	53
Tabelle A.5 — Faktorkorrektur k für einen Leitschaufelwinkel von 30°	53
Tabelle A.6 — Faktorkorrektur k für einen Leitschaufelwinkel von 45°	54

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16211:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 156 „Lüftung von Gebäuden“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 16211:2015 ersetzen.

Zusätzlich zu einer Reihe von redaktionellen Überarbeitungen wurden im Hinblick auf EN 16211:2015 folgende wesentliche Änderungen vorgenommen:

- das gesamte Dokument wurde neu strukturiert;
- in EN 12599:2012 beschriebene Verfahren zur Messung des Luftvolumenstroms in Luftleitungen wurden eingebunden;
- das Indikatorgasverfahren wurde in Anhang A (informativ) verschoben;
- zwei neue Verfahren zur Messung der Durchflussmenge am Auslass- und Einlassgitter wurden in Anhang A (informativ) hinzugefügt;
- Teile, die die Unsicherheit behandeln, wurden durch Anhang B (informativ) ersetzt;
- Anforderungen an Messgeräte werden jetzt in MPME (maximal zulässige Messabweichung, en: maximum permissible measurement error) angegeben.

Einleitung

Die Messung des Luftvolumenstrom in einem Lüftungssystem ist von allgemeinem Interesse, das nicht mit einem spezifischen Betrieb oder einer Phase (z. B. Installation, Inspektion, Inbetriebnahme oder Übergabe) verbunden ist. Es wurde daher vereinbart, die gleichzeitige Überarbeitung von EN 16211:2015 und EN 12599:2012 zu nutzen, um dieses Thema in einem einzigen Dokument (prEN 16211:2023) zu behandeln, anstatt es in mehreren Dokumenten zu streuen oder zu wiederholen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Verfahren für die Messung von Luftvolumenströmen vor Ort fest. Es enthält eine Beschreibung der Verfahren für die Messung von Luftvolumenströmen und wie Messungen innerhalb der für das Verfahren vorgeschriebenen Toleranzen durchgeführt werden. Es enthält die notwendigen Messbedingungen (z. B. Länge der geraden Luftleitung, gleichmäßiges Geschwindigkeitsprofil) zur Erreichung der vorgegebenen Messunsicherheiten.

Die Verfahren zur Messung des Luftvolumenstroms in Luftleitungen sind nicht anwendbar für:

- Luftleitungen, die nicht kreisförmig oder rechteckig sind (z B. längliche Luftleitungen);
- flexible Luftleitungen.

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).

EN 12792, *Lüftung von Gebäuden — Symbole, Terminologie und graphische Symbole*

EN 14277, *Lüftung von Gebäuden — Luftdurchlässe — Verfahren zur Messung des Luftstroms durch kalibrierte Fühler in oder in der Nähe von Luftdurchlässen/Überdruckkammern*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 12792 und die folgenden Begriffe.

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

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

3.1

Messintervall

Reihe von Werten der gleichen Art, die durch ein gegebenes Messinstrument oder Messsystem mit festgelegter Instrumenten-Messunsicherheit unter definierten Bedingungen gemessen werden können

Anmerkung 1 zum Begriff: In einigen Feldern lautet der Begriff „Messbereich“.

[QUELLE: JCGM 200:2012, 4.7, modifiziert – Anmerkung 2 wurde nicht wiederholt]

3.2

maximal zulässige Messabweichung

Extremwert einer Messabweichung in Bezug auf einen bekannten Bezugsgrößenwert; durch Spezifikationen oder Vorschriften zugelassen für eine Messung, ein Messgerät oder ein Messsystem

Anmerkung 1 zum Begriff: Weitere Informationen zur Anwendung der maximal zulässigen Messabweichungen in der Messunsicherheit sind in Anhang B enthalten.

[QUELLE: JCGM 200:2012, 4.26, modifiziert – die akzeptierten Begriffe „maximale zulässiger Fehler“ und „Fehlergrenze“ wurden entfernt, ANMERKUNG 1 und ANMERKUNG 2 wurden entfernt, und eine Anmerkung 1 zum Begriff wurde hinzugefügt]

3.3

Standardunsicherheit

Messunsicherheit, ausgedrückt als eine Standardabweichung

Anmerkung 1 zum Begriff: Weitere Informationen zur Anwendung der Standardunsicherheit in der Messunsicherheit sind in Anhang B enthalten.

[QUELLE: JCGM 200:2012, 2.30, modifiziert – Der bevorzugte Begriff und der erste akzeptierte Begriff wurden entfernt und eine Anmerkung 1 zum Begriff wurde hinzugefügt]

3.4

Kalibrierung

Tätigkeit, die unter festgelegten Bedingungen in einem ersten Schritt eine Beziehung zwischen den durch Messnormen zur Verfügung gestellten Größenwerten den entsprechenden Anzeigen mit ihren zugehörigen Messunsicherheiten herstellt und in einem zweiten Schritt diese Informationen verwendet, um eine Beziehung herzustellen, mit deren Hilfe ein Messergebnis aus einer Anzeige erhalten wird

[QUELLE: JCGM 200:2012, 2.39]

3.5

Korrektur

Ausgleich für einen geschätzten systematischen Einfluss

[QUELLE: JCGM 200:2012, 2.53]

3.6

hypothetisch

<Wert>, der durch Aufstellen einer Hypothese zu den bestehenden Bedingungen ermittelt wird

3.7

dynamischer Druck

Geschwindigkeitsdruck

Druckäquivalent der kinetischen Energie der Flüssigkeit an einem Punkt

3.8

statischer Druck

ausgeübter Druck in einer beweglichen Flüssigkeit auf ein Element, das sich mit der gleichen Geschwindigkeit wie die Flüssigkeit bewegt

3.9

Gesamtdruck

gesamter Überdruck

Summe des statischen Überdrucks und des *dynamischen Drucks* (3.6) an jedem Punkt einer Flüssigkeit

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in Tabelle 1 angegebenen Symbole und abgekürzten Begriffe.

Tabelle 1 — Symbole und abgekürzte Begriffe

Symbol Abkürzungen	SI-Einheit	Einheit
a/D_h	Relativer Abstand	—
A	Querschnittsfläche	m^2
A_K	Freie Querschnittsfläche der Luftleitung	m^2

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol Abkürzungen	SI-Einheit	Einheit
A_g	Effektive Querschnittsfläche der Messsonde	m ²
W	Breite der Luftleitung	mm
C_i	Anfangskonzentration des Indikatorgases	ppm
C_s	Indikatorgas-Konzentration im Probenahmequerschnitt	ppm
D	Durchmesser	m
D_h	Hydraulischer Durchmesser	m
D_i	Ring auf der Schwerlinienachse des Ringraums	
D_{so}	Messsondendurchmesser	mm
e	Vom Hersteller angegebener Durchflussexponent des Geräts (üblicherweise 0,5)	—
H	Höhe der Luftleitung	mm
i	Ordnungszahl der Messstelle (auf einer geraden Messlinie)	—
I	Unregelmäßigkeit des Geschwindigkeitsprofils	—
k (k-Faktor)	Charakteristik des festen Geräts in Abhängigkeit von seiner Einstellung	—
k	Erweiterungsfaktor	—
k	Korrekturfaktor (für Verfahren IN2 und EX2)	—
k_1	Korrekturfaktor für Dichte	—
k_2	Korrekturfaktor für die Form der Luftleitung	—
l	Länge	m
L_1	Kleineres Maß einer Luftleitung mit rechteckigem Querschnitt	mm
L_2	Größeres Maß einer Luftleitung mit rechteckigem Querschnitt	mm
$MPME(p_d)$	Maximal zulässige Messabweichung bei dem gemessenen dynamischen Druck	—
n	Anzahl der Messstellen oder Messungen	—
n	Anzahl der Ringe im Ringraum	—
n_{L1}	Anzahl der Messstellen entlang der kleineren Abmessung	—
n_{L2}	Anzahl der Messstellen entlang der größeren Abmessung	—
p_{atm}	Atmosphärischer Druck	Pa
$p_{atm,act}$	Atmosphärischer Druck unter den tatsächlichen Bedingungen	Pa
$p_{atm,hyp}$	Atmosphärischer Druck bei der hypothetischen Gerätebedingung	Pa
$p_{atm,std}$	Atmosphärischer Druck unter Normbedingungen (101 325 Pa)	Pa
p_d	Dynamischer Druck	Pa
p_s	Statischer Druck	Pa
p_t	Gesamtdruck	Pa
P	Umfang des Querschnitts	m
q	Luftvolumenstrom	m ³ /s, l/s

Tabelle 1 (*fortgesetzt*)

Symbol Abkürzungen	SI-Einheit	Einheit
q_s	Indikatorgasdurchfluss	$\text{m}^3/\text{s}, \text{l/s}$
$q_{s\vartheta_{\text{duct}}}$	Indikatorgasdurchfluss bei Luftleitungs-Temperatur	$\text{m}^3/\text{s}, \text{l/s}$
$q_{s\vartheta_{\text{tracer}}}$	Indikatorgasdurchfluss bei Rotameter-Temperatur	$\text{m}^3/\text{s}, \text{l/s}$
$q_{v,\text{act}}$	Tatsächlicher Luftvolumenstrom (unter tatsächlichen Bedingungen)	m^3/h
$q_{v,\text{hyp}}$	Hypothetischer Luftvolumenstrom bei angenommen Standardbedingungen des Geräts	m^3/h
$q_{v,\text{m}}$	Gemessener Luftvolumenstrom	m^3/s
$q_{v,\text{std}}$	Genormter Luftvolumenstrom (unter Normbedingungen)	m^3/h
Re	Reynolds-Zahl	—
t	Zeit	s
T_{act}	Lufttemperatur unter tatsächlichen Bedingungen	K
T_{hyp}	Lufttemperatur unter Standardbedingungen des Geräts	K
T_{std}	Lufttemperatur unter Normbedingungen (293,15 K)	K
u_c	Kombinierte Standardunsicherheit	—
U	Erweiterte Unsicherheit	—
v	Luftgeschwindigkeit	m/s
v_{act}	Tatsächliche Luftgeschwindigkeit	m/s
v_g	Luftgeschwindigkeits-Messwert	m/s
v_k	Luftgeschwindigkeit für die Messstelle k	m/s
v_m	Mittlere Luftgeschwindigkeit	m/s
v_{max}	Höchstwert des arithmetischen Mittels der Geschwindigkeiten in einem Viertel des Querschnitts oder bei einem Radius	m/s
v_{min}	Mindestwert des arithmetischen Mittels der Geschwindigkeiten in einem Viertel des Querschnitts oder bei einem Radius	m/s
V	Volumen	m^3
x_i	Koordinate der Messstelle	—
y_i	Koordinate der Messstelle	—
y_i	Abstand zur Wand	mm
W	Breite der Luftleitung	mm
θ_{act}	Lufttemperatur unter tatsächlichen Bedingungen ($= T_{\text{act}} - 273,15$)	°C
ρ	Luftdichte	kg/m^3
ρ_{act}	Luftdichte unter tatsächlichen Bedingungen	kg/m^3
ρ_{hyp}	Luftdichte unter Standardbedingungen des Geräts	kg/m^3
ρ_{std}	Luftdichte unter Normbedingungen	kg/m^3
ϑ	Lufttemperatur	°C
ϑ_{duct}	Temperatur in der Luftleitung	°C

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol Abkürzungen	SI-Einheit	Einheit
$\vartheta_{\text{tracer}}$	Indikatorgas-Temperatur	°C
ATD	Luftdurchlässe	—
MPME	Maximal zulässige Messabweichung	—
RH	Relative Luftfeuchte	—

5 Angabe des Luftvolumenstroms

5.1 Hydraulischer Durchmesser

Der hydraulische Durchmesser D_h ist der Durchmesser einer runden Luftleitung, in der derselbe Druckabfall bei gleicher Luftgeschwindigkeit und gleichem Rauheitsfaktor herrschen würde, wie in der betrachteten Luftleitung, und ist durch die Gleichung (1) definiert.

$$D_h = 4 \cdot \frac{A}{P} \quad (1)$$

Dabei ist

A die Querschnittsfläche in m^2 ;

P der Umfang des Querschnitts in m.

Für die rechteckige Luftleitung wird Gleichung (1) zu Gleichung (2).

$$D_h = 2 \cdot \frac{L_1 \cdot L_2}{(L_1 + L_2)} \quad (2)$$

Dabei ist

L_1 die kleinere Abmessung der rechteckigen Luftleitung in mm;

L_2 die größere Abmessung der rechteckigen Luftleitung in mm.

Für eine runde Luftleitung wird Gleichung (1) zu Gleichung (3).

$$D_h = D \quad (3)$$

5.2 Strömungsstörungen

Störungen innerhalb des Luftvolumenstroms führen zu unregelmäßigen Geschwindigkeitsprofilen. Ein unregelmäßiges Geschwindigkeitsprofil kann zusätzliche Messfehler induzieren und die Komplexität der Messung erhöhen. In Abwesenheit von Störungen wird das Geschwindigkeitsprofil zunehmend regelmäßiger. Für einige Verfahren werden Anforderungen hinsichtlich der Position der Messeinrichtung im Verhältnis zu Strömungsstörungen festgelegt.

ANMERKUNG Der Durchfluss weist, außer nach langen, geraden Abschnitten, selten ein symmetrisches Erscheinungsbild auf. Die Symmetrie wird häufig durch unterschiedlichen Widerstand gestört, zum Beispiel nach einem Bogen, einer Verringerung oder einer Vergrößerung des Querschnitts. Das Geschwindigkeitsprofil wird außerdem durch eine Drosselvorrichtung, ein T-Stück sowie vor und nach einem Ventilator gestört.

5.3 Stabilität der Durchflussmenge

Die in diesem Dokument beschriebenen Messverfahren basieren auf der Annahme, dass sich der Luftvolumenstrom während der Dauer der Messung nicht verändert.

ANMERKUNG Schwankungen des Luftvolumenstroms erhöhen die Messunsicherheit.

5.4 Luftdichte

Die Dichte von trockener Luft ρ , variiert proportional zum atmosphärischen Druck und der Temperatur entsprechend der Gleichung (4).

$$\rho = 1,293 \cdot \frac{p_{\text{atm}}}{101\,325} \cdot \frac{273,15}{273,15 + \vartheta} \quad (4)$$

Dabei ist

p_{atm} der atmosphärische Druck, in Pa;

ϑ die Lufttemperatur, in °C.

ANMERKUNG Weitere Informationen können CEN/TS 17153 entnommen werden.

Die relative Luftfeuchte (RH) hat einen sehr geringen Einfluss auf die Luftdichte bei Raumtemperatur. Die Dichte von mit Wasserdampf gesättigter Luft bei 20 °C und 101 325 Pa ist nur ungefähr 1 % geringer als die der äquivalenten trockenen Luft.

In einem Niederdrucksystem ist es selten erforderlich, den Einfluss des statischen Drucks auf die Luftdichte zu berücksichtigen. In einem Hochdrucksystem kann es jedoch notwendig sein. Die Berechnung erfolgt anschließend anhand der Gleichung (5).

$$\rho = 1,293 \cdot \frac{p_{\text{atm}} + p_s}{101\,325} \cdot \frac{273,15}{273,15 + \vartheta} \quad (5)$$

Dabei ist

p_s der statische Druck in den Luftleitungen, in Pa;

p_{atm} der atmosphärische Druck, in Pa.

5.5 Umrechnung des dynamischen Drucks in Luftgeschwindigkeit

Der dynamische Druck in einem Luftvolumenstrom kann mit einem statischen Pitotrohr, das an ein Manometer angeschlossen ist (siehe Bild 1 in 6.4.3) gemessen werden.

Die Luftgeschwindigkeit kann mithilfe der Gleichung (6) anhand des dynamischen Drucks berechnet werden.

$$v_{\text{act}} = \sqrt{\frac{2p_d}{\rho_{\text{act}}}} \quad (6)$$

Dabei ist

v_{act} die tatsächliche Luftgeschwindigkeit (unter den vorherrschenden Bedingungen);

p_d der dynamische Druck;

ρ_{act} die Luftdichte unter den vorherrschenden Bedingungen.

5.6 Korrektur und Umrechnung des gemessenen Luftvolumenstroms

5.6.1 Allgemein

Messungen des Luftvolumenstroms vor Ort werden im Allgemeinen unter den tatsächlichen Bedingungen (d. h. den an einem bestimmten Ort und zu einem bestimmten Zeitpunkt vorherrschenden Bedingungen) durchgeführt.

Die tatsächlichen Bedingungen beziehen sich auf den Ort, an dem die Messungen vorgenommen werden. Für Messungen in Luftleitungen darf der atmosphärische Druck aus praktischen Gründen außerhalb der Luftleitung gemessen werden. In diesem Fall sollte der statische Druck in der Luftleitung dem atmosphärischen Druck zu Berechnungszwecken hinzugefügt werden. Wenn der statische Druck in der Luftleitung weniger als 2 000 Pa absolut beträgt, darf er vernachlässigt werden.

Je nach Einstellungen können einige Messsysteme jedoch:

- den unkorrigierten Luftvolumenstrom, $q_{v,hyp}$, angeben, indem die Hypothese aufgestellt wird, dass die Luft den Standardgerätebedingungen (z. B. 1,204 kg/m³ entsprechend 293,15 K und 101 325 Pa) unterliegt. Dieser hypothetische Luftvolumenstrom ist weder der tatsächliche Luftvolumenstrom, noch der genormte Luftvolumenstrom, und die in 5.6.2 angegebenen Korrekturen müssen angewendet werden;
- die Mengenwerte automatisch berechnen oder in andere als die tatsächlichen Bedingungen (z. B. Normbedingungen) umrechnen. In diesem Fall muss die Umrechnung in tatsächliche Bedingungen nach 5.6.3 angewendet werden.

In jedem Fall sollte das technische Datenblatt konsultiert werden, um zu ermitteln, welchen Bedingungen (tatsächlich, genormt usw.) die angegebenen Größenwerte entsprechen und wie sie in tatsächliche Bedingungen korrigiert oder umgerechnet werden.

5.6.2 Korrektur des Luftvolumenstroms

Die Gleichung zur Umrechnung des hypothetischen Luftvolumenstroms in den tatsächlichen Luftvolumenstrom (bei tatsächlichen Bedingungen auftretender Luftvolumenstrom) hängt von der verwendeten Messeinrichtung ab.

Um den tatsächlichen Luftvolumenstrom zu ermitteln, muss der Anwender die Spezifikationen des Herstellers beachten, um zu bestimmen, ob:

- die Korrektur automatisch erfolgt, in diesem Fall sind keine weiteren Korrekturen erforderlich, der Messwert entspricht dem tatsächlichen Wert; oder
- der Anwender die Korrektur vornehmen muss.

Falls die Spezifikationen des Herstellers Gleichungen für die Korrektur enthalten, sollten diese verwendet werden.

Falls die Korrektur nicht automatisch erfolgt und die Spezifikationen des Herstellers keine Korrekturgleichungen enthalten, sollten die folgenden Korrekturen angewendet werden:

- Wenn der Luftvolumenstrom umgekehrt proportional zur Quadratwurzel der Luftdichte variiert (z. B. bei statischen Pitotrohren oder festen Messeinrichtungen mit Exponent [Verweisung auf das Messverfahren ID3X]), muss die Gleichung (7) angewendet werden.

$$q_{v,act} = q_{v,hyp} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{hyp}}{\rho_{act}}} = q_{v,hyp} \sqrt{\left(\frac{p_{atm,hyp}}{p_{atm,act}}\right) \left(\frac{T_{act}}{T_{hyp}}\right)} = q_{v,hyp} \sqrt{\left(\frac{p_{atm,hyp}}{p_{atm,act}}\right) \left(\frac{\theta_{act} + 273,15}{T_{hyp}}\right)} \quad (7)$$

- Wenn der Luftvolumenstrom umgekehrt proportional zur Luftdichte variiert, (z. B. bei Hitzdrahtanemometern), muss Gleichung (8) angewendet werden.

$$q_{v,act} = q_{v,hyp} \cdot \frac{\rho_{hyp}}{\rho_{act}} = q_{v,hyp} \left(\frac{p_{atm,hyp}}{p_{atm,act}} \right) \left(\frac{T_{act}}{T_{hyp}} \right) = q_{v,hyp} \left(\frac{p_{atm,hyp}}{p_{atm,act}} \right) \left(\frac{\theta_{act} + 273,15}{T_{hyp}} \right) \quad (8)$$

Dabei ist

- $q_{v,hyp}$ der hypothetische Luftvolumenstrom bei angenommen Standardbedingungen des Geräts, in m^3/h ;
- $q_{v,act}$ der tatsächliche Luftvolumenstrom (unter tatsächlichen Bedingungen), in m^3/h ;
- ρ_{hyp} die Luftdichte unter Standardbedingungen des Geräts, in kg/m^3 ;
- ρ_{act} die Luftdichte unter tatsächlichen Bedingungen, in kg/m^3 ;
- $p_{atm,hyp}$ der atmosphärische Druck unter Standardbedingungen des Geräts, in Pa;
- $p_{atm,act}$ der atmosphärische Druck unter den tatsächlichen Bedingungen des Geräts, in Pa;
- T_{hyp} die Lufttemperatur unter Standardbedingungen des Geräts, in K;
- T_{act} die Lufttemperatur unter tatsächlichen Bedingungen des Geräts, in K;
- θ_{act} die Lufttemperatur unter tatsächlichen Bedingungen, in $^{\circ}C$.

ANMERKUNG Der Multiplikator von $q_{v,hyp}$ wird manchmal als „ k_1 “ formuliert.

- Für Flügelradanemometer sind keine Korrekturen erforderlich. In diesem Fall entspricht der hypothetische Luftvolumenstrom dem tatsächlichen Luftvolumenstrom.

5.6.3 Umrechnung des Luftvolumenstroms

Der genormte Luftvolumenstrom (in Normbedingungen umgerechneter Luftvolumenstrom) kann anhand der Gleichung (9) in den tatsächlichen Luftvolumenstrom (Luftvolumenstrom unter tatsächlichen Bedingungen) umgerechnet werden.

$$q_{v,act} = q_{v,std} \cdot \frac{\rho_{std}}{\rho_{act}} = q_{v,std} \left(\frac{p_{atm,std}}{p_{atm,act}} \right) \left(\frac{T_{act}}{T_{std}} \right) = q_{v,std} \left(\frac{p_{atm,std}}{p_{atm,act}} \right) \left(\frac{\theta_{act} + 273,15}{T_{std}} \right) \quad (9)$$

Umgekehrt kann der tatsächliche Luftvolumenstrom anhand der Gleichung (10) in den genormten Luftvolumenstrom umgerechnet werden.

$$q_{v,std} = q_{v,act} \cdot \frac{\rho_{act}}{\rho_{std}} = q_{v,act} \left(\frac{p_{atm,act}}{p_{atm,std}} \right) \left(\frac{T_{std}}{T_{act}} \right) = q_{v,act} \left(\frac{p_{atm,act}}{p_{atm,std}} \right) \left(\frac{T_{std}}{\theta_{act} + 273,15} \right) \quad (10)$$

Dabei ist

- $q_{v,std}$ der genormte Luftvolumenstrom (unter Normbedingungen), in m^3/h ;
- $q_{v,act}$ der tatsächliche Luftvolumenstrom (unter tatsächlichen Bedingungen), in m^3/h ;
- ρ_{std} die Luftdichte unter Normbedingungen, in kg/m^3 ;
- ρ_{act} die Luftdichte unter tatsächlichen Bedingungen, in kg/m^3 ;

$p_{\text{atm,std}}$ der atmosphärische Druck unter Normbedingungen (101 325 Pa), in Pa;

$p_{\text{atm,act}}$ der atmosphärische Druck unter den tatsächlichen Bedingungen, in Pa;

T_{std} die Lufttemperatur unter Normbedingungen (293,15 K), in K;

T_{act} die Lufttemperatur unter tatsächlichen Bedingungen des Geräts, in K;

θ_{act} die Lufttemperatur unter tatsächlichen Bedingungen, in °C.

6 Anforderungen an Messgeräte

6.1 Allgemein

Der vorliegende Abschnitt enthält Werte aus anerkannten Praktiken für die MPME von Messgeräten. Für die Schätzung der allgemeinen Unsicherheit siehe Anhang B und darüber hinaus ist der Zweck der Prüfung zu beachten.

Um die Messunsicherheit zu reduzieren, sollten Messgeräte mit einer Mittelwert-Berechnungsfunktion (z. B. in Übereinstimmung mit EN 13182) verwendet werden.

BEISPIEL Geräte können den Mittelwert aus 15 Messungen mit einem Abstand von 0,1 s berechnen.

6.2 Messgeräte für den Luftvolumenstrom

Die MPME eines Luftvolumenstrom-Messgeräts, das den Luftvolumenstrom direkt angibt (wie etwa eine Strömungshaube), sollte nicht mehr als $3,6 \text{ m}^3/\text{h} + 5 \%$ des Messwerts für das Messintervall, das den gemessenen Größenwert beinhaltet, betragen.

6.3 Differenzdruckmessgeräte

Die MPME von Manometern sollte nicht mehr als $0,4 \text{ Pa} + 3 \%$ des Messwerts für das Messintervall, das den gemessenen Größenwert beinhaltet, betragen.

Manometer sollten vor jeder Messsequenz entsprechend den Anweisungen des Herstellers auf Null zurückgesetzt werden.

6.4 Luftgeschwindigkeitsmessgeräte

6.4.1 Allgemein

Die Luftgeschwindigkeit wird üblicherweise mit Anemometern oder statischen Pitotrohren gemessen.

Die MPME von Luftmessgeräten darf nicht mehr als $0,1 \text{ m/s} + 5 \%$ des Messwerts für das Messintervall, das den gemessenen Größenwert beinhaltet, betragen.

Für Messungen in Luftleitungen sollte die projizierte Fläche des Geräts, das die Durchgangsfläche der Luftleitung blockiert, nicht mehr als $1/10$ der Querschnittsfläche der Luftleitung betragen.

Richtsonden müssen in Strömungsrichtung ausgerichtet werden.

6.4.2 Anemometer

Anemometer, z. B. Hitzdrahtanemometer oder Flügelradanemometer ermöglichen eine direkte Messung der Luftgeschwindigkeit.

Die MPME des Messgeräts muss der in 6.4.1 angegebenen MPME entsprechen.

Hitzdrahtanemometer weisen üblicherweise eine bessere Genauigkeit bei geringeren Geschwindigkeiten auf, während Flügelradanemometer weniger temperaturabhängig sind und eine bessere Genauigkeit bei höheren Geschwindigkeiten aufweisen. Die Geschwindigkeit, bei der ein Übergang zwischen den beiden Gerätetypen stattfindet, liegt üblicherweise im Bereich zwischen 1 m/s und 3 m/s. Diese Information ist in den Anweisungen des Herstellers enthalten.

6.4.3 Statisches Pitotrohr

Statische Pitotrohre werden in EN ISO 16911-1 und ISO 3966 beschrieben. Die Prinzipien zur Durchführung von Messungen mit einem statischen Pitotrohr sind in Bild 1 dargestellt.

Statische Pitotrohre werden mit einem Manometer nach 6.3 angewendet, um den dynamischen oder statischen Druck in der Luftleitung zu messen. Anhand der dynamischen Druckmessung kann die Luftgeschwindigkeit wie in 5.5 beschrieben berechnet werden.

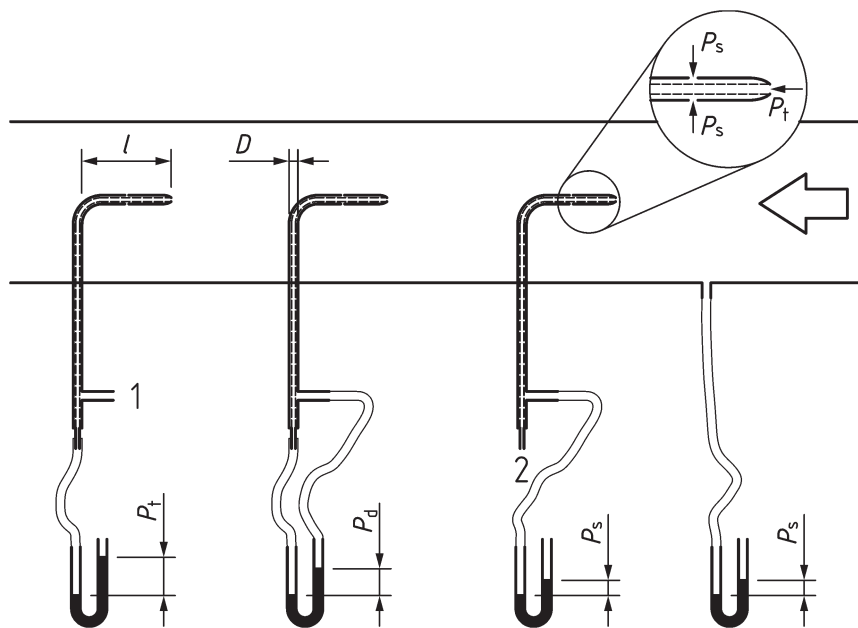
Die abgeleitete MPME der Luftgeschwindigkeit muss mit der MPME der Luftgeschwindigkeitsmessgeräte in 6.4.1 konsistent sein und dies muss anhand der Gleichung (11) geprüft werden.

$$MPME(p_d) \leq 0,1 \cdot \rho \cdot v + 0,05 \cdot \rho \cdot v^2 \quad (11)$$

Dabei ist

$MPME(p_d)$ die maximal zulässige Messabweichung bei dem gemessenen dynamischen Druck.

Statische Pitotrohre eignen sich im Allgemeinen am besten zur Messung von Geschwindigkeiten ab 2 m/s und höher, wenn die MPME des Manometers nicht unter der in 6.3 angegebenen Abweichung liegt.



Legende

- 1 Anschluss für den statischen Druck
- 2 Anschluss für den Gesamtdruck
- l Länge des Kopfes
- D Durchmesser des Rohrs

- P_t Gesamtdruck
- P_d dynamischer Druck
- P_s statischer Druck

Bild 1 — Messprinzip des statischen Pitotrohrs

Einige Messgeräte zeigen die Geschwindigkeit oder den Luftvolumenstrom direkt während der Messung des dynamischen Drucks an.

6.5 Geräte zur Temperaturmessung

Thermometer müssen eine MPME von ± 1 °C für das Messintervall, das den gemessenen Größenwert enthält, beinhalten.

Die Messdauer sollte mit der Ansprechzeit des Thermometers konsistent sein.

6.6 Messgeräte für den atmosphärischen Druck

Barometer müssen eine MPME von ± 5 hPa für das Messintervall, das den gemessenen Größenwert beinhaltet, haben.

7 Messverfahren für Luftvolumenströme

7.1 Übersicht der beschriebenen Verfahren

Die in diesem Dokument beschriebenen Verfahren sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2 — Zusammenfassung der in diesem Dokument beschriebenen Verfahren

Messverfahren	Bezeichnung der Messstelle						Abschnitt(e)/ Unterab- schnitt(e) dieser Europäischen Norm
	In der Luft- leitung	An der Zufuhr	Am Abzug	Am Ventila- tor	An der Abluft- öffnung	An der Zuluft- öffnung	
Mehrpunktmessung im Querschnitt der Luftleitung – mit Messebenenkriterien	ID1XX						7.2
Mehrpunktmessung im Querschnitt der Luftleitung – ohne Messebenenkriterien	ID2XX						7.3
Feste Geräte für die Luftvolumenstrom-Messung	ID3X	ST1XX	ET1X	ID31			7.4
Messung mit Kunststoffbeutel		ST2					7.5
Messung mit Strömungshaube		ST3X	ET2X				7.6
Messung mit Indikatorgas	ID4						Anhang A (informativ)

Tabelle 2 (fortgesetzt)

Messverfahren	Bezeichnung der Messstelle						Abschnitt(e)/ Unterab- schnitt(e) dieser Europäischen Norm
	In der Luft- leitung	An der Zufuhr	Am Abzug	Am Ventila- tor	An der Abluft- öffnung	An der Zuluft- öffnung	
Messung an Zuluftöffnungen oder Abluftöffnungen					EX1	IN1	Anhang A (informativ)
Punktmessung mit einem Hitzdrahtanemometer an rechteckigen Gittern					EX2	IN2	Anhang A (informativ)

Um die Messbedingungen des Lüftungssystems zu bestimmen, sollten die Lufttemperatur und der atmosphärische Druck gemessen werden. Für die Messung in der Luftleitung sollte der statische Druck in der Luftleitung (in der Messebene) gemessen werden.

Weitere Informationen wie etwa die Windgeschwindigkeit und die Außentemperatur könnten für die Bewertung der Unsicherheit ebenfalls von Interesse sein.

7.2 Mehrpunktmessung im Querschnitt der Luftleitung – mit Messebenenkriterien (ID1)

7.2.1 Kurzbeschreibung

Bei dem Verfahren ID1 wird der Luftvolumenstrom anhand einer Reihe von durch Messungen im Querschnitt der Luftleitung bestimmten Windgeschwindigkeiten berechnet. Die Bestimmung der Geschwindigkeit erfolgt unter Verwendung eines statischen Pitotrohrs oder eines Anemometers.

Der Luftvolumenstrom wird anschließend durch Multiplizieren der mittleren Luftgeschwindigkeit mit der Fläche der Luftleitung und den Korrekturfaktoren (nach 5.6) berechnet.

Tabelle 3 enthält die Verfahrenszahlen entsprechend der Art der Luftleitungen und der Art des Messgeräts zusammen mit der Standardunsicherheit des Verfahrens.

Tabelle 3 — Verfahren ID1 für die Messung von Luftvolumenströmen

Verfahren/Messgerät/Art der Luftleitung	Verfahrens- nummer	Standardunsicherheit des Verfahrens^a
Mehrpunktmessung im Querschnitt der Luftleitung – mit Messebenenkriterien	ID1	
Druckmessungen mit einem statischen Pitotrohr	ID11	
a) Kreisförmiger Querschnitt	ID111	4 % (Fall A) 6 % (Fall B)
b) Rechteckiger Querschnitt	ID112	4 %
Geschwindigkeitsmessung mit einem Hitzdraht- oder mechanischen Anemometer	ID12	

Tabelle 3 (fortgesetzt)

Verfahren/Messgerät/Art der Luftleitung	Verfahrensnummer	Standardunsicherheit des Verfahrens ^a
a) Kreisförmiger Querschnitt	ID121	4 % (Fall A) 6 % (Fall B)
b) Rechteckiger Querschnitt	ID122	4 %
^a Siehe Anhang B für die Definition der Standardunsicherheit.		

Es können zufällige Verfahrensunsicherheiten auftreten, z. B. infolge eines geneigten Geschwindigkeitsprofils im Messquerschnitt und schräger Ausrichtung der Sonde. Die Standardunsicherheit des Verfahrens mit einer Überdeckungswahrscheinlichkeit von etwa 68 % im Fall A ist in Tabelle 3 angegeben.

7.2.2 Prüfeinrichtung

Die folgende Ausrüstung muss für alle Verfahren verwendet werden:

- ein Thermometer;
- ein Barometer;

und für:

- ID11 ein Manometer mit statischem Pitotrohr;
- ID12 ein Anemometer.

In beiden Fällen muss das statische Pitotrohr oder das Anemometer folgendes anzeigen:

- Einführungstiefe;
- Strömungsrichtung.

7.2.3 Messverfahren

7.2.3.1 Am Ort der Messung durchzuführende Vorbereitungen

7.2.3.1.1 Auswahl der Messebene

Das Strömungsprofil hat nach bestimmten Störungen des Durchflusses ein verzerrtes Erscheinungsbild, z. B. Veränderung des Querschnitts, nach Bögen oder Drosselvorrichtungen. Falls Messungen direkt hinter einer Störung der Strömung erfolgen, besteht die Gefahr von geringer Genauigkeit.

Die Messebene wird akzeptiert, wenn sie die folgenden Kriterien erfüllt:

- die Abschnitte der Luftleitung sind frei von Störungen für eine Strecke vor und hinter der Messebene: siehe Werte in Tabelle 4;
- der höchste dynamische Druck (ID11) in der Messebene:
 - liegt mehr als $0,1 D_h$ von allen Luftleitungswänden entfernt;
 - beträgt in der Mitte weniger als das Doppelte des dynamischen Drucks;
- die höchste Geschwindigkeit (ID12) in der Messebene:

- liegt mehr als $0,1 D_h$ von allen Luftleitungswänden entfernt;
- beträgt in der Mitte weniger als das 1,4-Fache der Geschwindigkeit;
- die Wahrscheinlichkeit eines Rückflusses in den Querschnitt ist gering.

Falls diese drei Kriterien nicht erfüllt sind, muss eine neue Messebene gewählt und geprüft werden.

Um festzustellen, ob ein Risiko eines Rückflusses in den Querschnitt besteht, wird das Anemometer in der Luftleitung in der Messebene eingeführt und langsam geschwenkt, um die Position des Höchstwerts zu ermitteln. Wenn negative Werte oder Werte nahe null festgestellt werden, besteht eine hohe Rückflusswahrscheinlichkeit.

ANMERKUNG Ein statisches Pitotrohr kann üblicherweise keine Geschwindigkeiten unterhalb ungefähr 0,5 m/s erkennen und ein erwärmtes Anemometer kann die Strömungsrichtung nicht erkennen.

Bei rechteckigen Luftleitungen ist die „Mitte“ der Schnittpunkt der beiden Diagonalen.

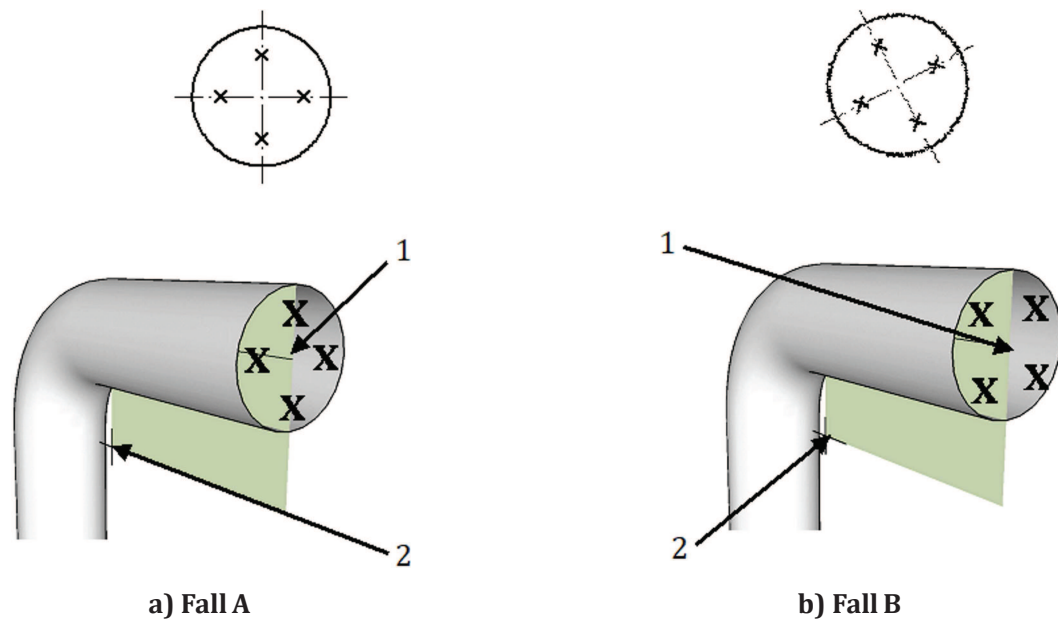
Tabelle 4 — Erforderliche gerade Abschnitte vor und hinter der Messebene

Lage des geraden Abschnitts	Abschnitts der Luftleitung	
	Kreisförmig	Rechteckig
Vor der Messebene	$a \geq 5 \cdot D$	$a \geq 6 \cdot D_h$
Hinter der Messebene	$a \geq 2 \cdot D$ Mindestens 150 mm ab der Verbindung der Luftleitung	$a \geq 2 \cdot D_h$ Mindestens 50 mm ab der Verbindung der Luftleitung

7.2.3.1.2 Vorbereitungsverfahren

- a) Der Ort der Messebene wird entsprechend 7.2.3.1.1 unter Berücksichtigung der erforderlichen geraden Abschnitte ausgewählt.
- b) Die Außenisolierung wird an der Messstelle entfernt.
- c) Es werden Löcher in die Luftleitung gebohrt, sodass die Messungen entlang der Linien im Querschnitt durchgeführt werden können:
 - 1) der Querschnitt muss senkrecht zu Ausrichtung der Luftleitung liegen;
 - 2) für Luftleitungen mit kreisförmigem Querschnitt müssen die zwei Linien senkrecht zueinander liegen:
 - i) Fall A (bevorzugt, geringere Unsicherheit): eine der Punktklinien wird in der Ebene der Achse der Luftleitung platziert und der Mittelpunkt des Bogens anströmseitig der Luftleitung;
 - ii) Fall B (höhere Unsicherheit): zwei rechtwinklige Linien im Querschnitt anders als im Fall A werden verwendet (z. B. im Fall von Zugangsbeschränkungen).

Es ist zu beachten, dass die Unsicherheit im Fall B größer ist. Der Grund für die größere Unsicherheit im Fall B liegt darin, dass das Strömungsprofil sich von dem im Fall A unterscheidet, und dass die Positionierung einer Sonde komplizierter als im Fall A ist. In Bild 2 sind die Fälle A und B für eine horizontale Luftleitung mit horizontalen oder vertikalen anströmseitigen Luftleitungen dargestellt.



Legende

- 1 Achse der Luftleitung
- 2 Mitte des Bogens
- X Messstellen

Bild 2 — Fall A und Fall B — Querschnitt einer horizontalen Luftleitung — ein Bogen anströmseitig in horizontaler oder vertikaler Ebene

7.2.3.2 Verfahren

Das statische Pitotrohr oder das Anemometer (sofern nur in eine Richtung) wird parallel zur Strömungsrichtung gehalten (bei Ausrichtung schräg zur Strömung führt dies entweder zu zu geringen oder zu hohen Messwerten) und an der korrekten Messstelle gehalten.

Zuerst wird die Geschwindigkeitsverteilung wie nachstehend beschrieben ermittelt:

- die Messebene nach 7.2.3.1.1 wird geprüft, wenn die drei Bedingungen erfüllt sind, wird die Ebene zugelassen, andernfalls wird eine neue Ebene ausgewählt;
- Der dynamische Druck (ID11) oder die Luftgeschwindigkeit (ID12) an den nach Tabelle 5 für runde Luftleitungen und Tabelle 6 bis Tabelle 8 für rechteckige Luftleitungen ausgewählten Stellen wird gemessen. Messungen an von innen isolierten Luftleitungen sollten sorgfältig vermieden werden, da es schwierig ist, den Ort der Messstelle genau zu bestimmen. Wenn Messungen an von innen isolierten Luftleitungen vorgenommen werden, müssen die inneren Durchmesser oder rechteckigen Abmessungen (innerhalb der Isolationsschicht) zur Berechnung der Messstellen verwendet werden;
- die Lufttemperatur in der Luftleitung wird gemessen;
- der atmosphärische Druck wird gemessen.

Wenn eine Öffnung nicht mehr benötigt wird, wird sie versiegelt (z. B. mit einem Kunststoffstopfen) und die Wärmeisolierung wird wieder eingesetzt.

Tabelle 5 — Messstellen bei Luftleitungen mit kreisförmigem Querschnitt

Maße in mm

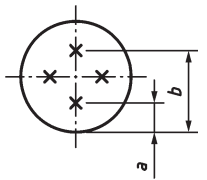
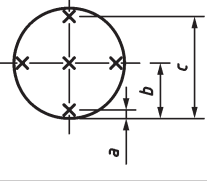
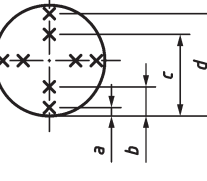
Nenn- durchmes- ser ^a <i>D</i>	Position von Messstellen	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	Bild
100 125 160	$a = 0,29 \cdot D$ $b = 0,71 \cdot D$	29 36 46	71 89 114			
200 250 315 400	$a = 0,10 \cdot D$ $b = 0,50 \cdot D$ $c = 0,90 \cdot D$	20 25 32 40	100 125 158 200	180 225 283 360		
500 630 800 1 000 1 250	$a = 0,043 \cdot D$ $b = 0,290 \cdot D$ $c = 0,710 \cdot D$ $d = 0,957 \cdot D$	22 27 34 43 54	145 185 230 290 360	355 445 570 710 890	478 603 766 957 1 196	
^a Nach EN 1506.						

Tabelle 6 — Messstellen bei Luftleitungen mit rechteckigem Querschnitt an der größeren Abmessung: L_2 — Gleichungen

Größere Abmessung L_2	Position von Messstellen
$150 \text{ mm} \leq L_2 \leq 300 \text{ mm}$	$a = 0,08 \cdot L_2$ $b = 0,43 \cdot L_2$ $c = 0,57 \cdot L_2$ $d = 0,92 \cdot L_2$
$300 \text{ mm} < L_2 \leq 2\,000 \text{ mm}$	$a = 0,060 \cdot L_2$ $b = 0,235 \cdot L_2$ $c = 0,430 \cdot L_2$ $d = 0,570 \cdot L_2$ $e = 0,765 \cdot L_2$ $f = 0,940 \cdot L_2$

Tabelle 7 — Messstellen bei Luftleitungen mit rechteckigem Querschnitt an der größeren Abmessung
 L_2 — Werte

Maße in mm

Größere Abmessung L_2	a	b	c	d	e	f
150	12	65	85	138	—	—
200	16	85	115	184	—	—
250	20	110	140	230	—	—
300	25	130	170	275	—	—
400	25	95	170	230	305	380
500	30	120	215	285	380	470
600	35	140	260	340	460	565
800	50	190	345	455	610	750
1 000	60	235	430	570	765	940
1 200	70	280	515	685	920	1 130
1 400	85	330	600	800	1 070	1 315
1 600	95	375	690	910	1 225	1 505
1 800	110	420	775	1 025	1 380	1 690
2 000	120	470	860	1 140	1 530	1 880

Tabelle 8 — Messstellen für Luftleitungen mit rechteckigem Querschnitt an der kleineren Abmessung, L_1 — Bilder

Kleinere Abmessung L_1	Bild
$100 \text{ mm} \leq L_1 \leq 400 \text{ mm}$	
$400 \text{ mm} < L_1 \leq 800 \text{ mm}$	
$800 \text{ mm} < L_1 \leq 2\,000 \text{ mm}$	

7.2.4 Angabe der Ergebnisse

Die mittlere Luftgeschwindigkeit wird anhand der Gleichung (12) berechnet.

$$v_m = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad (12)$$

Dabei ist

v_m die mittlere Luftgeschwindigkeit, in m/s;

v_i die Luftgeschwindigkeit für die Messstelle i , in m/s;

n die Anzahl der Messstellen.

Der Luftvolumenstrom wird durch Multiplizieren der mittleren Luftgeschwindigkeit mit der Querschnittsfläche der Luftleitung berechnet und für die Form der Luftleitung anhand der Gleichung (13) korrigiert.

$$q_{v,m} = k_2 \cdot v_m \cdot A \quad (13)$$

Dabei ist

$q_{v,m}$ die gemessene Durchflussmenge, in m^3/s ;

A die Querschnittsfläche, in m^2 ;

k_2 der Korrekturfaktor für die Form der Luftleitung (siehe folgender Absatz).

Der Korrekturfaktor für die Form der Luftleitung, k_2 , ist zu entnehmen:

- vorzugsweise aus Labormessungen in einer Messebene nach 7.2.3.1.1 (kann dem Benutzerhandbuch entnommen werden) oder
- Aus Tabelle 9 und Tabelle 10.

Tabelle 9 — Korrekturfaktor für die Form der Luftleitung, k_2 , für kreisförmige Luftleitungen

Durchmesser der Luftleitung D mm	Korrekturfaktor k_2
$D \leq 160$	0,89
$160 < D \leq 400$	0,95
$400 < D \leq 1\,250$	0,98

Tabelle 10 — Korrekturfaktor für die Form der Luftleitung, k_2 , für rechteckige Luftleitungen

Art der Luftleitung ^a	Korrekturfaktor k_2
Stehende Luftleitung $H > W$	0,94
Liegende Luftleitung $H < W$	0,98
Quadratischer Querschnitt oder vertikale Luftleitung	0,96
^a Breite der Luftleitung, W , und Höhe der Luftleitung, H .	

ANMERKUNG 1 Weitere Informationen zu k_2 Faktoren in kreisförmigen Luftleitungen können dem folgenden Dokument entnommen werden: Report Slutrapport, Nordtest Prosj 1463-99 des Norges Byggeforskningsinstitut Rev 2001.05.23.

ANMERKUNG 2 Der k_2 Faktor variiert je nach Eigenschaft der Strömung einschließlich der Reynolds-Zahl. Diese Schwankung ist zum Teil für die Unsicherheit des Verfahrens verantwortlich.

Der gemessene Luftvolumenstrom wird anschließend nach 5.6 korrigiert.

7.3 Mehrpunktmessung im Querschnitt der Luftleitung – ohne Messebenenkriterien (ID2)

7.3.1 Kurzbeschreibung

Wie für ID1 wird der Luftvolumenstrom durch Mehrpunktmessungen der Luftgeschwindigkeit im Querschnitt einer Luftleitung bestimmt. Die Luftgeschwindigkeit wird direkt durch Verwendung eines Anemometers bestimmt oder mithilfe eines statischen Pitotrohrs aus dem dynamischen Druck berechnet.

Die Messstellen sind gleichmäßig über Querschnitte mit gleicher Fläche verteilt. Der Luftvolumenstrom wird durch Multiplizieren der mittleren Luftgeschwindigkeit mit der Querschnittsfläche der Luftleitung berechnet.

Das Verfahren kann in Messebenen in kürzeren Abständen zu Störungen als das Verfahren ID1 angewendet werden. Es verwendet eine variable Anzahl an Messstellen im Querschnitt auf der Grundlage des Abstands zu Störungen und der angestrebten Messunsicherheit. Es wird jedoch empfohlen, eine Messebene in geraden Luftleitungsabschnitten nach Tabelle 4 auszuwählen.

Ein Überblick über die empfohlenen Verfahren ist in Tabelle 11 angegeben:

Tabelle 11 — Verfahren ID2 für die Messung von Luftvolumenströmen in der Luftleitung

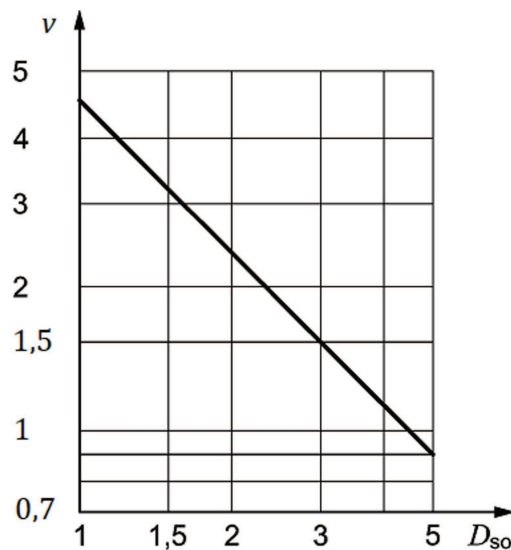
Verfahren/Messgerät/Art der Luftleitung	Verfahrensnummer	Standardunsicherheit des Verfahrens ^a
Mehrpunktmessung im Querschnitt der Luftleitung – mit Messebenenkriterien	ID2	Variabel in Abhängigkeit von der Anzahl der Messstellen und der Störung in der Strömung, siehe 7.3.4.2.
Druckmessungen mit einem statischen Pitotrohr	ID21	
d) Kreisförmiger Querschnitt	ID211	
e) Rechteckiger Querschnitt	ID212	
Geschwindigkeitsmessung mit einem Hitzdraht- oder mechanischen Anemometer	ID22	
f) Kreisförmiger Querschnitt	ID221	
g) Rechteckiger Querschnitt	ID222	
^a Siehe Anhang B für die Definition der Standardunsicherheit.		

7.3.2 Prüfeinrichtung

Die zu verwendende Ausrüstung besteht aus einem statischen Pitotrohr oder einem Anemometer.

Für das statische Pitotrohr muss der Sondendurchmesser so ausgewählt werden, dass:

- der Abstand zwischen der Mitte der Sonde und der Wand größer ist, als das Doppelte des Sondendurchmessers;
- die Reynolds-Zahl über 300 ($Re > 300$) bleibt, die notwendige Mindestluftgeschwindigkeit in Abhängigkeit von dem Sondendurchmesser, um dies für trockene Luft zu erreichen (20 °C, 1 bar), ist in Bild 3 angegeben.



Legende

v die Mindest-Luftgeschwindigkeit, in m/s
 D_{so} Sondendurchmesser, in mm

Bild 3 — Zusammenhang zwischen der Mindestluftgeschwindigkeit v und dem Sondendurchmesser D_{so}

Für Messungen in Luftleitungen, in denen das Verhältnis der effektiven Querschnittsfläche der Sonde zu der Querschnittsfläche der Luftleitung mehr als 0,01 beträgt, muss eine Korrektur anhand der folgenden Gleichung (14) vorgenommen werden.

$$v = \frac{A_K - A_g}{A_K} \cdot v_g \quad (14)$$

Dabei ist

v die Luftgeschwindigkeit des uneingeschränkten Luftstroms, in m/s;

v_g der Messwert der Luftgeschwindigkeit, in m/s;

A_K die freie Querschnittsfläche der Luftleitung, in m^2 ;

A_g die effektive Querschnittsfläche der Sonde, in m^2 .

Sofern nicht von dem Hersteller angegeben, wird die gesamte Querschnittsfläche des eingetauchten Teils der Sonde angenommen.

7.3.3 Messverfahren

7.3.3.1 Vorbereitung

Die Anzahl der Messstellen wird durch die angestrebte Messunsicherheit bestimmt, die sich in der Nähe von Störungen erhöht. Die Unsicherheit kann durch eine höhere Anzahl an Messstellen reduziert werden.

Tabelle 12 enthält die Mindestanzahl der Messstellen für die Ziel-Unsicherheit von 10 % und 15 % einschließlich einer erweiterten Unsicherheit von 5 % (10/5 oder 15/5) oder von 10 % (15/10) für das Messgerät in Abhängigkeit von dem relativen Abstand a/D_h . Die Ziel-Unsicherheit entspricht der kombinierten erweiterten Unsicherheit.

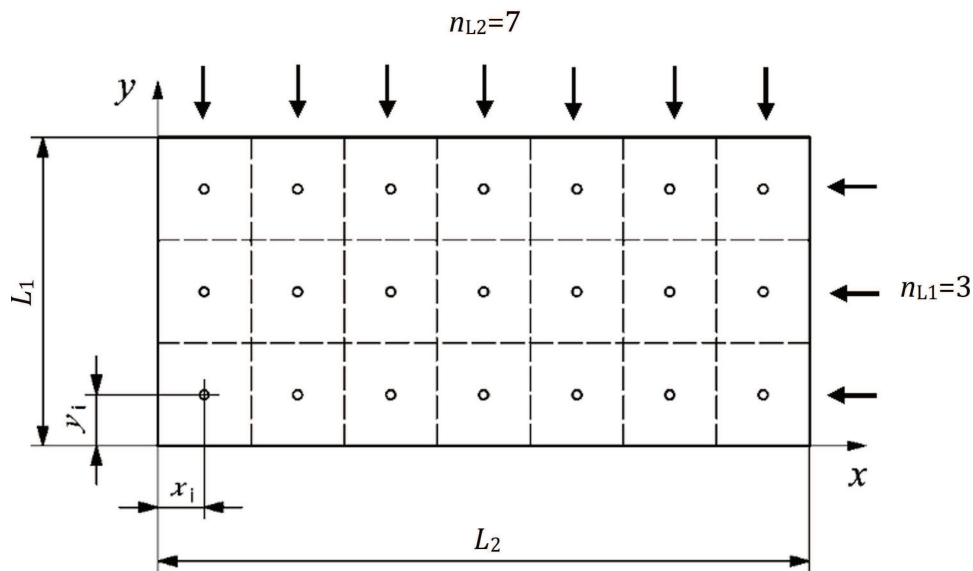
ANMERKUNG Die effektive erweiterte Unsicherheit wird am Ende des Verfahrens berechnet und wird von dem Strömungsmuster in der Messebene abhängen.

Der relative Abstand a/D_h ergibt sich aus dem Verhältnis des Abstands a zwischen dem Messquerschnitt und der vorgelagerten Störung und dem hydraulischen Durchmesser D_h der Luftleitung in der Messebene.

Tabelle 12 — Erforderliche Anzahl an Messstellen in Abhängigkeit von dem relativen Abstand a/D_h zu einer Störung und der kombinierten Unsicherheit

Relativer Abstand a/D_h	Erforderliche Anzahl der Messstellen „Zielunsicherheit in %/erweiterte Unsicherheit des Messgeräts in %“		
	„10/5“	„15/5“	„15/10“
1,6	—	30	44
2,0	50	21	30
2,5	34	16	24
3,0	25	12	18
4,0	16	8	12
5,0	12	6	9
6,0	9	4	6

In rechteckigen Luftleitungen sollte der Messquerschnitt in Elemente mit gleicher Fläche unterteilt werden (siehe Bild 4).



Legende

- x_i Koordinate der Messstelle
- y_i Koordinate der Messstelle
- L_1 kleinere Abmessung der rechteckigen Luftleitung
- L_2 größere Abmessung der rechteckigen Luftleitung
- n_{L1} Anzahl der Messstellen entlang der kleineren Abmessung der rechteckigen Luftleitung
- n_{L2} Anzahl der Messstellen entlang der größeren Abmessung der rechteckigen Luftleitung

Bild 4 — Unterteilung eines rechteckigen Querschnitts in Messflächen gleicher Größe

Der relative Abstand zwischen der Messstelle und der Wand der Luftleitung ist dann durch die folgende Gleichung (15) und (16) gegeben.

$$\frac{y_i}{L_1} = \frac{2i - 1}{2n_{L1}} \quad (15)$$

$$\frac{x_i}{L_2} = \frac{2i - 1}{2n_{L2}} \quad (16)$$

Dabei ist

- x_i die Koordinate der Messstelle;
- y_i die Koordinate der Messstelle;
- L_1 die kleinere Abmessung der Luftleitung;
- L_2 die größere Abmessung der Luftleitung;
- i die Ordnungszahl der Messstelle (auf einer geraden Messlinie);
- n_{L1} die Anzahl der Messstellen entlang der kleineren Abmessung;
- n_{L2} die Anzahl der Messstellen entlang der größeren Abmessung.

Die Anzahl der Messstellen in dem Querschnitt ist durch die Gleichung (17) gegeben.

$$n = n_{L1} \cdot n_{L2} \quad (17)$$

Die relativen Abstände entsprechend der Gleichung (15) und (16) sind für bis zu 10×10 Messstellen in Tabelle 13 angegeben.

Tabelle 13 — Relativer Wandabstand der Messstellen in einer rechteckigen Luftleitung

Anzahl der Messstellen für jede gemessene gerade Linie $n (n_{L1} \text{ oder } n_{L2})$	Messstelle i $\frac{x_i}{L_2}$ oder $\frac{y_i}{L_1}$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	0,167	0,500	0,833							
4	0,125	0,375	0,625	0,875						
5	0,100	0,300	0,500	0,700	0,900					
6	0,083	0,250	0,417	0,583	0,750	0,917				
7	0,071	0,214	0,357	0,500	0,643	0,786	0,929			
8	0,062	0,187	0,312	0,438	0,563	0,688	0,813	0,938		
9	0,056	0,167	0,278	0,389	0,500	0,611	0,722	0,833	0,944	
10	0,050	0,150	0,250	0,350	0,450	0,550	0,650	0,750	0,850	0,950

BEISPIEL 1 In einer Luftleitung mit einer kleineren Abmessung $L_1 = 600$ mm und einer größeren Abmessung $L_2 = 800$ mm wird die Messung an $n = 12$ Messstellen vorgenommen, dabei ist:

— $n_{L1} = 3$ Messstelle in Richtung der kleineren Abmessung; und

— $n_{L2} = 4$ Messstelle in Richtung der größeren Abmessung.

Die Messung erfolgt durch Öffnungen in den größeren Abmessungen der Luftleitung. Die Öffnungen werden an $n_{L2} = 4$ Stellen positioniert. Entsprechend Tabelle 13 betragen die Abstände zu einer Seite der Luftleitung 100 mm ($0,125 \times W$), 300 mm ($0,375 \times L_2$), 500 mm ($0,625 \times L_2$) und 700 mm ($0,875 \times L_2$).

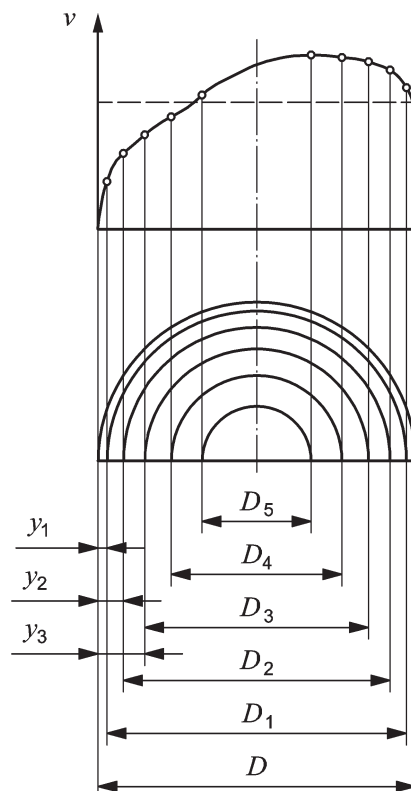
Die Sonde wird in jeder Messöffnung an $n_H = 3$ Stellen platziert. Entsprechend Tabelle 13 liegen die Stellen in einem Abstand von 100 mm ($0,167 \times L_1$), 300 mm ($0,500 \times L_1$) und 500 mm ($0,833 \times L_1$) zu der Öffnung.

In runden Luftleitungen muss das Geschwindigkeitsprofil mindestens an zwei Achsen im rechten Winkel zueinander bestimmt werden. Die Messstellen werden so gewählt, dass:

- der Querschnitt der Luftleitung in Ringe mit gleicher Fläche unterteilt wird;
- an jeder Messachse zwei Messstellen an jedem Ring mit gleicher Fläche bestehen;
- die Messstellen an dem Ring auf der Schwerlinienachse des Ringraums mit gleicher Fläche liegen (siehe Bild 5).

ANMERKUNG 1 Wenn die Geschwindigkeitsverteilung linear ist, liegt die repräsentative Geschwindigkeit nicht an der Mittellinie, sondern dem Ring auf der Schwerlinienachse des Ringraums.

ANMERKUNG 2 Da die Messstellen in dem Ring auf der Schwerlinienachse des Ringraums liegen, bestehen keine Messstellen in der Mitte der Luftleitung.



Legende

D_i Ring auf der Schwerlinienachse des Ringraums

y_i Abstand zur Wand

v Geschwindigkeit

Bild 5 — Unterteilung eines runden Querschnitts in Ringe mit gleicher Fläche

Der Durchmesser D_i des Ringraums i oder der Abstand des Rings auf der Schwerlinienachse des Ringraums zu der Wand der Luftleitung y_i muss anhand der Gleichung (18) und (19) berechnet werden.

$$\frac{D_i}{D} = \sqrt{1 - \frac{2i - 1}{2n}} \quad (18)$$

$$\frac{y_i}{D} = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2i - 1}{2n}} \right) \quad (19)$$

Dabei ist

D der Durchmesser des äußeren Kreises;

i die Ordnungszahl des Rings, beginnend von der Außenseite;

n die Anzahl der Ringe.

Der Durchmesser des Rings auf der Schwerlinienachse des Ringraums D_i oder der Abstand zur Wand y_i ist in Tabelle 14 und Tabelle 15 in Abhängigkeit von der Anzahl der ausgewählten Ringe zusammengefasst.

Tabelle 14 — Unterteilung des runden Querschnitts in Ringe mit gleicher Fläche — Relativer Wandabstand des Rings auf der Schwerlinienachse des Ringraums $\frac{y_i}{D}$

Anzahl der Ringe auf der Schwerlinienachse des Ringraums n	Ordnungszahl des Rings auf der Schwerlinienachse des Ringraums ^a i									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,146 4									
2	0,067 0	0,250 0								
3	0,043 6	0,146 4	0,295 9							
4	0,032 3	0,104 7	0,193 8	0,323 2						
5	0,025 7	0,081 7	0,146 4	0,226 1	0,341 9					
6	0,021 3	0,067 0	0,118 1	0,177 3	0,250 0	0,355 7				
7	0,018 2	0,056 8	0,099 1	0,146 4	0,201 2	0,268 5	0,366 4			
8	0,015 9	0,049 3	0,085 4	0,125 0	0,169 3	0,220 5	0,283 5	0,375 0		
9	0,014 1	0,043 6	0,075 1	0,109 1	0,146 4	0,188 2	0,236 5	0,295 9	0,382 1	
10	0,012 7	0,039 0	0,067 0	0,096 9	0,129 2	0,164 6	0,204 2	0,250 0	0,306 4	0,388 2

^a Von der Außenseite aus gezählt.

Tabelle 15 — Unterteilung des runden Querschnitts in Ringe mit gleicher Fläche — Relativer Ring auf der Schwerlinienachse des Ringraums $\frac{D_i}{D}$

Anzahl der Ringe auf der Schwerlinienachse des Ringraums n	Ordnungszahl des Rings auf der Schwerlinienachse des Ringraums ^a i									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,707 1									
2	0,866 0	0,500 0								
3	0,912 9	0,707 1	0,408 2							
4	0,935 4	0,790 6	0,612 4	0,353 6						
5	0,948 7	0,836 7	0,707 1	0,547 7	0,316 2					
6	0,957 4	0,866 0	0,763 8	0,645 5	0,500 0	0,288 7				
7	0,963 6	0,886 4	0,801 8	0,707 1	0,597 6	0,462 9	0,267 3			
8	0,968 2	0,901 4	0,829 2	0,750 0	0,661 4	0,559 0	0,433 0	0,250 0		
9	0,971 8	0,912 9	0,849 8	0,781 7	0,707 1	0,623 6	0,527 0	0,408 2	0,235 7	
10	0,974 7	0,922 0	0,866 0	0,806 2	0,741 6	0,670 8	0,591 6	0,500 0	0,387 3	0,223 6

^a Von der Außenseite aus gezählt.

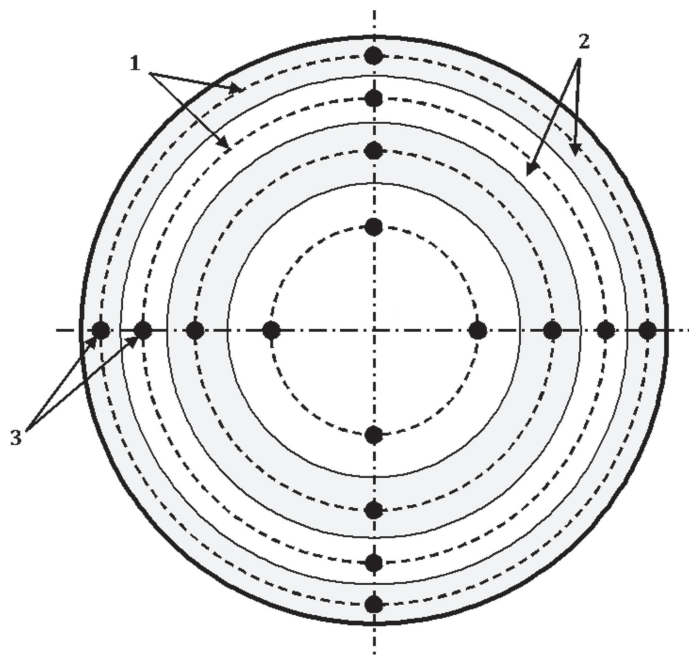
BEISPIEL 2 In einer Luftleitung mit einem Durchmesser $D = 500$ mm wird die Messung für $N = 12$ Messstellen durchgeführt. An jeder senkrechten Achse befinden sich 6 Messstellen. Der Querschnitt der Luftleitung ist in 3 Ringe mit gleicher Fläche unterteilt.

Entsprechend Tabelle 14 beträgt der Abstand der Messstellen für $n = 3$ zu den Wänden der Luftleitung für beide Seiten der Luftleitung und beide Achsen 21,8 mm ($0,043 6 \times D$), 73,2 mm ($0,146 4 \times D$) und 148,0 mm ($0,295 9 \times D$). Die Sonde wird in einer Tiefe von 21,8 mm, 73,2 mm, 148 mm, 352 mm, 426,8 mm und 478,2 mm in der Luftleitung platziert.

Es wird keine Messung in der Mitte der Luftleitung vorgenommen.

Entsprechend Tabelle 15 betragen die Durchmesser der Ringe auf der Schwerlinienachse des Ringraums für $n = 3$ 456,5 mm ($0,912 9 \times D$), 353,6 mm ($0,707 1 \times D$), 204,1 mm ($0,408 2 \times D$).

Bild 6 zeigt ein Beispiel für Messstellen auf einem kreisförmigen Querschnitt, der in Ringe mit gleicher Fläche unterteilt ist.



Legende

- 1 Schwerlinienachse
- 2 Ring mit gleicher Fläche
- 3 Messstellen

Bild 6 — Beispiel für Messstellen auf einem kreisförmigen Querschnitt

7.3.3.2 Verfahren

Die Messung wird sequentiell an den ausgewählten Messstellen durchgeführt.

Die anderen Öffnungen für die Sonde müssen versiegelt werden.

Die Messungen werden anhand des arithmetischen Mittelwerts der einzelnen Geschwindigkeitsmessungen in den Messbereichen bewertet.

Die Messeinrichtungen sollten so konstruiert sein, dass sie einschließlich ihrer Halterung nur einen vernachlässigbaren Teil des gesamten Strömungsquerschnitts blockieren.

Bei einigen Messeinrichtungen müssen Mindestabstände zu den Wänden der Luftleitung oder vor- oder nachgelagerten Hindernissen eingehalten werden, um sicherzustellen, dass das Strömungsmuster um die Messeinrichtung dem Muster während der Kalibrierung entspricht. Ein Flügelradanemometer muss daher mindestens 1,5 Flügelraddurchmesser hinter einem Filter oder Wärmetauscher platziert werden.

Messeinrichtungen, die durch die Wand der Luftleitung eingeführt werden, müssen über Vorrichtungen verfügen, die eine korrekte Positionierung und genaue Richtungsführung sicherstellen. Die Öffnungen um die Sonde müssen versiegelt werden. Diese Maßnahme ist besonders nützlich, wenn beispielsweise der Druck in der Luftleitung geringer ist als auf der Außenseite.

7.3.4 Angabe der Ergebnisse

7.3.4.1 Berechnung des Luftvolumenstroms

Die mittlere Luftgeschwindigkeit wird anhand der Gleichung (20) berechnet.

$$v_m = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad (20)$$

Dabei ist

v_m die mittlere Luftgeschwindigkeit, in m/s;

v_i die Luftgeschwindigkeit für die Messstelle i , in m/s;

n die Anzahl der Messstellen.

Der Luftvolumenstrom wird durch Multiplizieren der mittleren Luftgeschwindigkeit mit der Querschnittsfläche der Luftleitung nach Gleichung (21) berechnet.

$$q_{v,m} = v_m \cdot A \quad (21)$$

Dabei ist

$q_{v,m}$ der gemessene Luftvolumenstrom, in m³/s;

A die Querschnittsfläche, in m².

7.3.4.2 Messunsicherheit

Hinter den Hindernissen werden Trennungen oder Störungen der Strömung auftreten und die Geschwindigkeitsprofile sind unregelmäßig. Diese zählen zu den Haupteinflussfaktoren, die Messunsicherheiten verursachen.

Die Unregelmäßigkeit, I , des Geschwindigkeitsprofils ist eine Messgröße und kann aus den gemessenen Geschwindigkeiten in dem Querschnitt berechnet werden. Die Unregelmäßigkeit, I , wird anhand der Gleichung (22) berechnet.

$$I = \frac{v_{\max} - v_{\min}}{2 \cdot v_m} \quad (22)$$

Dabei ist

v_m die arithmetische mittlere Geschwindigkeit über den gesamten Querschnitt, in m/s;

$v_{\min}$ der Mindestwert des arithmetischen Mittels der Geschwindigkeiten in einem Viertel des Querschnitts oder bei einem Radius, in m/s;

$v_{\max}$ der Höchstwert des arithmetischen Mittels der Geschwindigkeiten in einem Viertel des Querschnitts oder bei einem Radius, in m/s.

Im Fall eines rechteckigen Querschnitts werden die Höchst- und Mindestwerte des arithmetischen Mittels der Geschwindigkeit aus den Vierteln des Gesamtquerschnitts mit einer Seitenlänge entsprechend der Hälfte der Seitenlänge der Luftleitung ausgewählt und anhand der Gleichung (23) und (24) berechnet.

$$v_{\min} = \min(\bar{v}_{q1}, \bar{v}_{q2}, \bar{v}_{q3}, \bar{v}_{q4}) \quad (23)$$

$$v_{\max} = \max(\bar{v}_{q1}, \bar{v}_{q2}, \bar{v}_{q3}, \bar{v}_{q4}) \quad (24)$$

Für das Beispiel in Bild 7 werden die arithmetischen Mittel der Geschwindigkeiten des Viertels Q1 anhand der Gleichung (25) berechnet.

$$\bar{v}_{q1} = \frac{v_1 + v_2 + \frac{1}{2} \cdot v_3 + v_6 + v_7 + \frac{1}{2} \cdot v_8}{5} \quad (25)$$

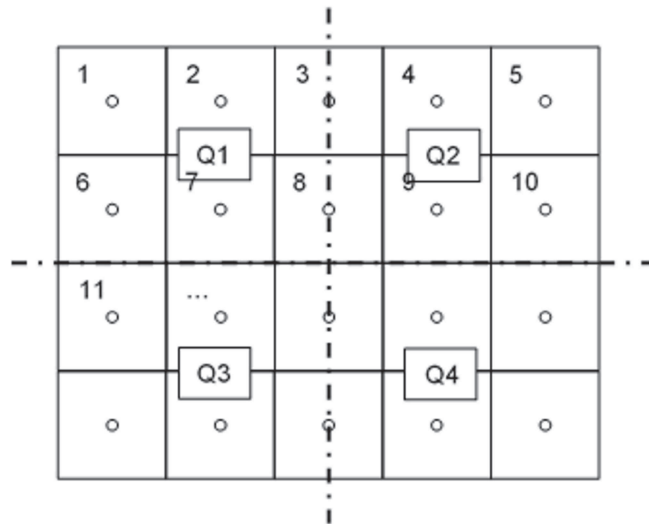


Bild 7 — Unterteilung des Luftleitungsquerschnitts zur Berechnung des arithmetischen Mittels der Geschwindigkeit für eine rechteckige Luftleitung

Im Fall eines kreisförmigen Querschnitts werden die Mittelwerte aus den vier Messradien im rechten Winkel zueinander genommen und anhand der Gleichung (26) und (27) berechnet.

$$v_{\min} = \min(\bar{v}_{r1}, \bar{v}_{r2}, \bar{v}_{r3}, \bar{v}_{r4}) \quad (26)$$

$$v_{\max} = \max(\bar{v}_{r1}, \bar{v}_{r2}, \bar{v}_{r3}, \bar{v}_{r4}) \quad (27)$$

Für das Beispiel in Bild 8 werden die arithmetischen Mittel der Geschwindigkeiten des Radius R1 anhand der Gleichung (28) berechnet.

$$\bar{v}_{r1} = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5}{5} \quad (28)$$

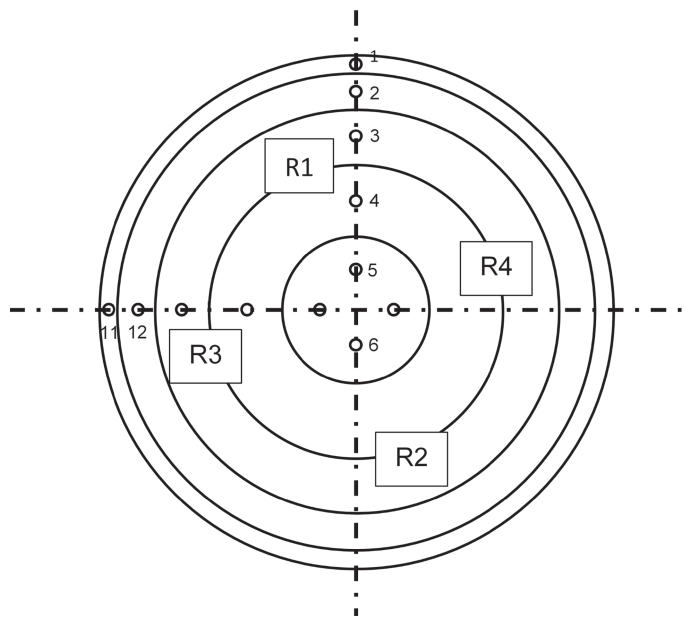
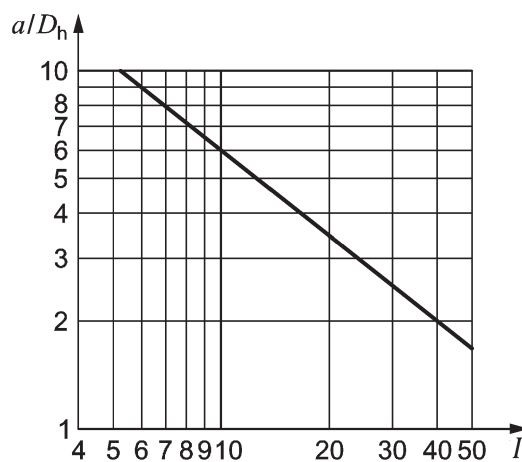


Bild 8 — Unterteilung des Luftleitungsquerschnitts zur Berechnung des arithmetischen Mittels der Geschwindigkeit für eine kreisförmige Luftleitung

Bild 9 zeigt die empirische Beziehung zwischen dem relativen Abstand a/D_h , der sich aus dem Verhältnis des Abstands a zwischen dem Messpfad und der vorgelagerten Störung und dem hydraulischen Durchmesser D_h der Luftleitung in der Messebene ergibt, und der Unregelmäßigkeit I des Geschwindigkeitsprofils.

Wenn keine gemessenen Daten verfügbar sind, darf Bild 9 verwendet werden, um die erwartete Unregelmäßigkeit eines Profils zu finden.

Bild 9 gilt für Störungen, die die gesamte Luftleitung gleichmäßig betreffen, z. B. nach einer Einlassöffnung, einer einzelnen Klappe, einem Bogen, einem Ventilator oder einer Abzweigung.



Legende

a/D_h relativer Abstand
 I Unregelmäßigkeit, in %

Bild 9 — Empirische Beziehung zwischen der Unregelmäßigkeit I in % in Prozent des Profils und dem relativen Abstand a/D_h der Messstelle zu der Störung.

Mehrere gleichmäßig über den gesamten Querschnitt verteilte Störungen verhalten sich analog. In diesem Fall wird jedoch der Modul (charakteristische Dimension der Störung) anstelle des hydraulischen Durchmessers der Luftleitung verwendet, um den relativen Abstand zu dem Störungspunkt zu bilden, z. B. im Fall von Wärmetauschern, Gegenstromklappen, Leitschaukeln und ähnlichen Komponenten.

Störungen hinter der Messstelle haben einen geringeren Einfluss als Störungen vor der Messstelle. Ungeachtet dessen müssen sie berücksichtigt werden, insbesondere wenn sie einen dynamischen Druckaufbau verursachen.

Die Messunsicherheit dieses Verfahrens ist von der ausgewählten Messebene (Unregelmäßigkeit der Luftströmung) und der Anzahl der Messstellen abhängig.

Für eine Luftvolumenstrommessung in einem definierten Querschnitt mit einer gegebenen Unregelmäßigkeit des Geschwindigkeitsprofils hängt die Messunsicherheit hauptsächlich von der Anzahl der Messstellen in dem Querschnitt ab. Für eine parallele Strömung gibt Tabelle 16 die geschätzte Standardunsicherheit der Messung an, wobei eine geeignete Verteilung der Messstellen angenommen wird.

Tabelle 16 — Geschätzte Standardunsicherheit der Messung aufgrund des Messorts in Abhängigkeit von der Anzahl der Messstellen

Anzahl der Messstellen <i>n</i>	Geschätzte Standardunsicherheit der Messung aufgrund des Messorts					
	<i>u_l</i> %					
	Unregelmäßigkeit des Profilquerschnitts <i>I</i> (in %)					
	2	10	20	30	40	50
4	3,0	5,9	9,5	13,1	16,7	20,3
5	2,6	5,2	8,4	11,6	14,9	18,1
6	2,3	4,6	7,6	10,6	13,5	16,5
8	1,8	3,9	6,5	9,0	11,6	14,2
10	1,6	3,4	5,7	8,0	10,3	12,6
20	1,0	2,3	3,9	5,5	7,2	8,8
30	0,7	1,8	3,1	4,5	5,8	7,1
50	0,5	1,3	2,4	3,4	4,4	5,4
100	0,3	0,9	1,6	2,3	3,1	3,8
200	0,2	0,6	1,1	1,6	2,1	2,6
ANMERKUNG In EN 12599:2012 enthielt diese Tabelle die erweiterte Unsicherheit des Messorts mit einem Faktor 2.						

Die Unsicherheit des Messorts u_l in Tabelle 16 ist eine anhand der Gleichung (29) berechnete Schätzung.

$$u_l = 1,15 \cdot I \cdot n^{-0,55} - 0,45 \cdot I \cdot n^{-0,68} + 6,75 \cdot n^{-0,78} \quad (29)$$

Wird Gleichung (29) nicht verwendet, darf eine lineare Interpolation für die Bestimmung der Unsicherheit der Messposition für Werte von n und I , die nicht in Tabelle 16 angegeben sind, verwendet werden.

Die Standardverfahrensunsicherheit ist die Quadratsumme der Unsicherheit des Messorts und der Unsicherheit der Abmessung der Luftleitung (sofern letztere nicht vernachlässigbar ist).

7.4 Feste Geräte für die Luftvolumenstrom-Messung (ID3, ST1 und ET1)

7.4.1 Kurzbeschreibung

Dieses Verfahren verwendet eine Messung der Druckdifferenz zwischen festen Geräten innerhalb des Lüftungssystems zur Bestimmung des Luftvolumenstroms. Um verwendet zu werden, müssen diese Geräte eine definierte Beziehung zwischen dem Luftvolumenstrom und der Druckdifferenz aufweisen.

Solche festen Geräte können:

- Geräte in der Luftleitung sein wie etwa Ventile, Drosseln, Ventilatorgehäuse, Einlasstrichter, Wärmetauscher, Schalldämpfer, perforierte Metallbleche (ID);
- Zuluft- oder Abluftdurchlässe (ST und ET) sein; ein Messbeispiel ist in Bild 10 angegeben.

Die Standardunsicherheit des Verfahrens ist in Tabelle 17 angegeben.

Tabelle 17 — Standardunsicherheit des Verfahrens

Art der Messung	Verfahren	Standardunsicherheit des Verfahrens ^a
Feste Messgeräte für den Luftvolumenstrom: a) ohne Drossel b) mit Drossel	ID3 ID31 ID32	5 % (Allgemein angewendet unter Verwendung von Durch das Prüfverfahren erhaltenen Installationsmessungen)
Messung des Referenzdrucks	ST1	5 % (Mit durch das Kalibrierungsverfahren ermittelten Anforderungen an den geraden Abschnitt)
Messung des Referenzdrucks Unter Verwendung der Sonde Mit ortsfestem Messausgang	ET1 ET11 ET12	 5 % 5 %
^a Siehe Anhang B für die Definition der Standardunsicherheit.		