

DIN EN ISO 16911-1

Diese Norm ist Bestandteil des VDI/DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft, Band 5.

ICS 13.040.40

Einsprüche bis 2011-12-24

Entwurf

**Emissionen aus stationären Quellen –
Manuelle und automatische Bestimmung der Geschwindigkeit und des
Volumenstroms in Abgaskanälen –
Teil 1: Manuelles Referenzverfahren (ISO/DIS 16911-1:2011);
Deutsche Fassung prEN ISO 16911-1:2011**

Stationary source emissions –
Manual and automatic determination of velocity and volumetric flow in ducts –
Part 1: Manual reference method (ISO/DIS 16911-1:2011);
German version prEN ISO 16911-1:2011

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2011-10-17 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an krdl@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder in Papierform an die Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL, 40002 Düsseldorf, Postfach 10 11 39 (Hausanschrift: VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf).

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 80 Seiten

Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 16911-1:2011) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 264 „Luftbeschaffenheit“ (Sekretariat: DIN, Deutschland) in Zusammenarbeit mit dem Unterkomitee SC 1 „Stationary source emissions“ des Technischen Komitees ISO/TC 146 „Air quality“ erarbeitet. An der Erstellung dieser Norm waren deutsche Experten des Fachbereichs IV „Umweltmesstechnik“ der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL – beteiligt.

Das Ausgabedatum des Europäischen Norm-Entwurfs stand zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses DIN-EN-ISO-Entwurfs noch nicht fest; der prEN ISO wird jedoch vom CCMC unter der angegebenen prEN-Nummer demnächst zur CEN-Umfrage verteilt. Um der deutschen Öffentlichkeit eine möglichst lange Einspruchsfrist einzuräumen, wurde dieser Norm-Entwurf bereits vorab veröffentlicht.

Emissionen aus stationären Quellen — Manuelle und automatische Bestimmung der Geschwindigkeit und des Volumenstroms in Abgaskanälen — Teil 1: Manuelles Referenzverfahren (ISO/DIS 16911-1:2011)

Élément introductif — Élément central — Partie 1 : Élément complémentaire (ISO/DIS 16911-1:2011)

Stationary source emissions — Manual and automatic determination of velocity and volumetric flow in ducts — Part 1: Manual reference method (ISO/DIS 16911-1:2011)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.4c

Inhalt

Seite

Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe	6
4 Symbole und Abkürzungen	8
4.1 Symbole	8
4.2 Abkürzungen	10
5 Grundlagen.....	11
5.1 Allgemeines	11
5.2 Grundlagen der Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit an einem Punkt im Abgaskanal.....	12
5.3 Prinzip der Messung des Volumenstroms	12
6 Wahl des Überwachungsansatzes	14
6.1 Ziel der Überwachung	14
6.2 Auswahl der Technik zum Bestimmen der punktuellen Strömungsgeschwindigkeit.....	15
6.3 Auswahl des Verfahrens zur Bestimmung des Volumenstroms und der mittleren Strömung	16
7 Messmittel	17
7.1 Allgemeines	17
7.2 Messung der Abgaskanal-Fläche.....	17
8 Verfahrenskenngrößen und Anforderungen.....	17
9 Messverfahren.....	18
9.1 Standortanalyse vor der Prüfung.....	18
9.2 Bestimmung des Messquerschnitts und der Anzahl der Messpunkte	18
9.3 Kontrollen vor der Probenahme.....	19
9.4 Qualitätskontrolle	20
9.5 Messung der Strömung an Stellen innerhalb des Messquerschnitts	21
9.6 Qualitätskontrolle nach Durchführung der Messungen	21
10 Berechnung der Ergebnisse.....	21
10.1 Messung der lokalen Geschwindigkeit v_l	22
10.2 Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit	22
10.3 Umrechnung zwischen Volumenstrom und mittlerer Geschwindigkeit	22
10.4 Umrechnung der Ergebnisse auf Normbedingungen	22
11 Bestimmung der Messunsicherheit der Ergebnisse.....	23
12 Bewertung des Verfahrens	24
Anhang A (normativ) Messung der Geschwindigkeit mit differenzdruckbasierten Techniken	25
Anhang B (informativ) Flügelrad-Anemometer	33
Anhang C (normativ) Bestimmung des Volumenstroms und der mittleren Geschwindigkeit mit dem Indikatorgasverfahren.....	34
Anhang D (normativ) Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit mit Hilfe des Laufzeit-Indikatorgasverfahrens	38
Anhang E (normativ) Berechnung des Abgas-Volumenstroms aus dem Energieverbrauch	49

Anhang F (informativ) Beispiel einer für Messungen der Geschwindigkeit und des Volumenstroms mit einer Staudrucksonde aufgestellten Unsicherheitsbilanz	54
Anhang G (informativ) Beschreibung von Validierungsstudien	66
Anhang H (informativ) Differenzdruckmessung	74
Anhang I (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Internationalen Norm und den grundlegenden Anforderungen von EU-Richtlinien	77
Literaturhinweise	78

Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 16911-1:2011) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 264 „Luftbeschaffenheit“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 146 „Air quality“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang I, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

ISO 16911 besteht unter dem allgemeinen Titel *Emissionen aus stationären Quellen — Manuelle und automatische Bestimmung der Geschwindigkeit und des Volumenstroms in Abgaskanälen* aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Manuelles Referenzverfahren
- Teil 2: Kontinuierliche Messverfahren

Einleitung

Diese Internationale Norm beschreibt ein Verfahren zur periodischen Bestimmung der Axialgeschwindigkeit und des Volumenstroms von Gasen in Abgaskanälen und –schächten sowie zur Kalibrierung von fest im Schacht eingebauten automatisierten Durchfluss-Überwachungssystemen.

Diese Internationale Norm stellt ein Verfahren zur Verfügung, das zum Bestimmen des Strömungsprofils sowie des mittleren Durchflusses und des Volumenstroms Punktmessungen der Strömungsgeschwindigkeit verwendet. Sie bietet außerdem alternative Verfahren an, die auf der Injektion von Indikatorgas beruhen und verwendet werden können, um eine Routinekalibrierung für automatisierte Durchfluss-Überwachungssysteme zur Verfügung zu stellen; außerdem wird ein Verfahren beschrieben, das auf der Berechnung von Prozessbedingungen basiert. Die Norm bietet eine Orientierungshilfe, wann diese alternativen Verfahren verwendet werden können.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm, die ein Verfahren zur periodischen Bestimmung der Axialgeschwindigkeit und des Volumenstroms von Gasen in Abgaskanälen und –schächten beschreibt, gilt für die Anwendung in runden oder rechteckigen Abgaskanälen mit Messstellen, die den Anforderungen von EN 15259 entsprechen. Die minimalen und maximalen Kanalmaße sind durch praktische Erwägungen in Bezug auf die in dieser Norm beschriebenen Messgeräte bedingt.

Diese Norm fordert, dass für sämtliche Durchflussmessungen eine metrologische Rückführbarkeit auf nationale oder internationale Primärnormale nachgewiesen werden kann.

Um als ein Standard-Referenzverfahren angewendet zu werden, muss der Anwender nachweisen, dass die Kenngrößen des Verfahrens im Vergleich zu den in dieser Internationalen Norm definierten Kenngrößen gleichwertig oder besser sind, und dass die Gesamtunsicherheit des Verfahrens, angegeben mit einem Vertrauensniveau von 95 %, bestimmt und berichtet wird. Dieses Verfahren kann typischerweise Messungen mit einer Messunsicherheit von 5 % bei Strömungsgeschwindigkeiten von $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ erzielen.

Anstelle dieses Verfahrens dürfen alternative Verfahren angewendet werden, vorausgesetzt der Anwender kann auf Grundlage der Grundsätze der Technischen Spezifikation CEN/TS 14793 [1] die Gleichwertigkeit dieser Verfahren nachweisen.

2 Normative Verweisungen

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

ENV 13005:1999, *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen*

EN ISO 14956, *Luftbeschaffenheit — Beurteilung der Eignung eines Messverfahrens durch Vergleich mit einer geforderten Messunsicherheit (ISO 14956:2002)*

EN 14790, *Emissionen aus stationären Quellen — Bestimmung von Wasserdampf in Leitungen*

EN 14789, *Emissionen aus stationären Quellen — Bestimmung der Volumenkonzentration von Sauerstoff (O_2) — Referenzverfahren — Paramagnetismus*

EN 15259, *Luftbeschaffenheit — Messung von Emissionen aus stationären Quellen — Anforderungen an Messstrecken und Messplätze und an die Messaufgabe, den Messplan und den Messbericht*

EN ISO 20988, *Luftbeschaffenheit — Leitlinien zur Schätzung der Messunsicherheit (ISO 20988:2007)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1
Staudrucksonde
Gerät zum Messen der Strömungsgeschwindigkeit an einem Punkt, das nach dem Prinzip der Differenzdruckmessung funktioniert. Es können mehrere Konstruktionsweisen von Staudrucksonden verwendet werden; dazu zählen Standard-, L-Typ-, S-Typ- und 3d- Staudrucksonden. In Anhang A sind mehrere der gegenwärtig in Europa verwendeten Konstruktionsweisen von Staudrucksonden beschrieben

3.2
Messachse
Linie auf einem Messquerschnitt durch den Abgaskanal, entlang der Durchflussmessungen erfolgen, um das Strömungsgeschwindigkeitsprofil oder den mittleren Volumenstrom zu bestimmen

3.3

Messquerschnitt

zur Mittelachse des Abgaskanals senkrechte Fläche am Ort der Probenahme, auf der die Messung der Strömungsgeschwindigkeit oder des Volumenstroms erforderlich ist

3.4

Volumenstrom

axial durch einen Abgaskanal geflossenes Volumen eines Gases, angegeben in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Falls nicht ausdrücklich angegeben, kann damit der mittlere Volumenstrom, der durch den Messquerschnitt strömt, bezeichnet werden

ANMERKUNG In einigen Fällen wird der Volumenstrom in der Einheit $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ angegeben.

3.5

punktueller Strömungsgeschwindigkeit

örtliche Gasgeschwindigkeit an einem Punkt im Abgaskanal, angegeben in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Sofern nicht anders festgelegt, kann diese als die Axialgeschwindigkeit an der Messstelle angesehen werden

3.6

mittlere Strömungsgeschwindigkeit

mittlere Axialgeschwindigkeit des Gases, das durch den Messquerschnitt strömt. Normalerweise als der Mittelwert sämtlicher repräsentativen Messungen der Strömungsgeschwindigkeit berechnet, die im Messquerschnitt durchgeführt wurden

3.7

Normbedingungen

Referenzwert bei einem Druck von 101,325 kPa und einer Temperatur von 273,15 K

3.8

Messunsicherheit

dem Messergebnis zugeordneter Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die vernünftigerweise der Messgröße zugeordnet werden könnte

3.9

Unsicherheitsbilanz

Tabelle, die alle Unsicherheitsquellen nach EN ISO 14956 oder ENV 13005 zusammenfasst, um die Gesamtunsicherheit des Verfahrens bei einem bestimmten Wert zu berechnen

3.10

Standardmessunsicherheit

Unsicherheit des Messergebnisses, angegeben als Standardabweichung

3.11

erweiterte Messunsicherheit

Kennwert, der einen Vertrauensbereich um das Messergebnis kennzeichnet, von dem erwartet werden kann, dass er einen bestimmten Anteil der Verteilung der Werte umfasst, die der Messgröße vernünftigerweise zugeordnet werden könnten

ANMERKUNG In dieser Internationalen Norm wird die erweiterte Messunsicherheit mit einem Erweiterungsfaktor $k = 2$ und einem Vertrauensniveau von 95 % berechnet.

3.12

Gesamtmessunsicherheit

dem Messergebnis zugeordnete erweiterte kombinierte Standardmessunsicherheit, berechnet nach ENV 13005

3.13

Drallströmung

zyklonale Strömung

Tangentialkomponente des Strömungsvektors, die ein Maß für die nicht-axiale Strömung im Messquerschnitt darstellt

3.14

automatische Messeinrichtung (AMS)

Messeinrichtung, die zwecks kontinuierlicher Strömungsüberwachung ständig vor Ort installiert und in Teil 2 dieser Internationalen Norm definiert ist

4 Symbole und Abkürzungen

4.1 Symbole

ρ	Gasdichte, in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
V	Gasgeschwindigkeit, in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Q	Gas-Volumenstrom, in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
A	Innenfläche des Abgasschachtes oder –kanals im Messquerschnitt, in m^2
p	Druck, in Pa
Δp	Differenzdruck/Wirkdruck — Differenz zwischen den Öffnungen zur Messung des statischen und dynamischen Drucks, in Pa
K	Pitot-Beiwert
Γ	Gamma, Quadratwurzel des Pitot-Beiwerts

ANMERKUNG Gamma wird häufig in US-EPA-Messverfahren verwendet und kann in diesen Verfahren als „ K “ bezeichnet werden. Im europäischen Kontext steht K vereinbarungsgemäß in der Quadratwurzel der Pitot-Gleichung. Es sollte darauf geachtet werden, die Kalibrierfaktoren nicht im falschen Kontext zu interpretieren.

a	Achsenabschnitt der Kalibrierfunktion
$\hat{a}$	bester Schätzwert von a
b	Steigung der Kalibrierfunktion
$\hat{b}$	bester Schätzwert von b
c	Konzentration, Wert des Referenzmaterials
D_i	Differenz zwischen den gemessenen SRM-Werten y_i und den Werten $\hat{y}_i$ der kalibrierten AMS
D_{AVG}	Mittelwert von D_i
D	Anpassungsbetrag, um den die AMS bei Feststellung einer Drift korrigiert werden muss
d_t	Differenz zwischen der aktuellen Geräteanzeige der AMS und dem Referenzwert
d_{t-1}	Differenz zwischen dem vorherigen Messsignal der AMS und dem Referenzwert

ELV	Emissionsgrenzwert
h_s	Prüfwert zur Erkennung einer Abnahme der Präzision
h_x	Prüfwert zur Erkennung einer Drift
k_s	Konstante zur Berechnung der vorläufigen Summe für die Standardabweichung
k_v	Prüfwert für die Variabilität (basierend auf einem χ^2 -Test, mit einem β -Wert von 50 % und einer Anzahl N von Messwertepaaren)
k_x	Konstante zur Berechnung der vorläufigen Summe der positiven und negativen Differenzen und zur Berechnung der erforderlichen Korrektur der AMS
L_{AVG}	der gewichtete Mittelwert der Geschwindigkeit über die linke Hälfte des Durchmessers in der Diagrammzeichnung
$L_{12\%}$	die an einem Punkt bei 12 % des Durchmessers von der Schachtwand in der linken Seite der Diagrammzeichnung gemessene Geschwindigkeit
n	Anzahl der Wertepaare der Vergleichsmessungen
P	Prozentwert
R_{AVG}	der gewichtete Mittelwert der Geschwindigkeit über die rechte Hälfte des Durchmessers in der Diagrammzeichnung
$R_{12\%}$	die an einem Punkt bei 12 % des Durchmessers von der Schachtwand in der rechten Seite der Diagrammzeichnung gemessene Geschwindigkeit
R^2	Bestimmtheitsmaß aus einer linearen Regression
$R_{f,abs}$	absolute Reproduzierbarkeit
s_p	vorläufige normierte Summe der Standardabweichungen der AMS (QAL3)
s_t	vorläufige normierte Summe der Standardabweichungen der AMS zum Zeitpunkt t (QAL3)
s_{t-1}	vorläufige normierte Summe der Standardabweichungen der AMS zum Zeitpunkt $t-1$ (QAL3)
s_D	Standardabweichung der Differenzen D_i der Vergleichsmessungen
$t_{n-1; 0,95}$	zweiseitiger Student-t-Faktor bei einem Vertrauensniveau von 95 % mit $n-1$ Freiheitsgraden
$t_{n-1; 0,05}$	zweiseitiger Student-t-Faktor bei einem Vertrauensniveau von 0,05 mit $n-1$ Freiheitsgraden
u_c	kombinierte Standardmessunsicherheit
u_{inst}	Unsicherheit auf Grund von Instabilität (ausgedrückt als Standardabweichung)
u_{temp}	Unsicherheit auf Grund von Temperatureinflüssen (ausgedrückt als Standardabweichung)
u_{pres}	Unsicherheit auf Grund von Druckeinflüssen (ausgedrückt als Standardabweichung)

u_{volt}	Unsicherheit auf Grund von Einflüssen der elektrischen Spannung (ausgedrückt als Standardabweichung)
u_{others}	jede andere Unsicherheit, die die Geräteanzeige bei Aufgabe von Referenzmaterial am Null- und Referenzpunkt beeinflussen kann (ausgedrückt als Standardabweichung)
V_{PEAK}	der über einen Durchmesser gemessene Maximalwert der Geschwindigkeit
V_{AVG}	der über einen Durchmesser gewichtete Mittelwert der Geschwindigkeit
x	unter AMS-Messbedingungen ermitteltes Messsignal der AMS
x_i	unter AMS-Messbedingungen ermitteltes i -tes Messsignal der AMS
x_{AVG}	Mittelwert der Messsignale x_i der AMS
x_{1i}	das i -te Messergebnis von Messgerät 1
x_{2i}	das i -te Messergebnis von Messgerät 2
x_t	Bezugswert zum Zeitpunkt t (QAL3)
y	mit dem Standardreferenzmessverfahren (SRM) ermitteltes Ergebnis
y_{AVG}	Mittelwert der SRM-Werte y_i
$y_{i,s}$	SRM-Wert y_i unter Normbedingungen
$y_{s,\text{min}}$	kleinster SRM-Wert unter Normbedingungen
$y_{s,\text{max}}$	größter SRM-Wert unter Normbedingungen
y_{cal}	bester Schätzwert des „wahren Wertes“, der mit Hilfe der Kalibrierfunktion aus dem Messsignal x der AMS berechnet wird
s_{AMS}	in QAL3 verwendete Standardabweichung der AMS
α	Signifikanzniveau
ε_i	Abweichung zwischen y_i und dem Erwartungswert
σ_0	aus Anforderungen der Gesetzgebung abgeleitete Messunsicherheit

4.2 Abkürzungen

AMS	automatische Messeinrichtung
AST	jährliche Funktionsprüfung nach EN 14181
ELV	Emissionsgrenzwert
SRM	Standardreferenzmessverfahren
QA	Qualitätssicherung

- QAL1 erste Qualitätssicherungsstufe nach EN 14181
- QAL2 zweite Qualitätssicherungsstufe nach EN 14181
- QAL3 dritte Qualitätssicherungsstufe nach EN 14181

5 Grundlagen

5.1 Allgemeines

Diese Internationale Norm stellt ein Verfahren zur Bestimmung der Gasgeschwindigkeit und des Volumenstroms in einem Abgaskanal zur Verfügung. Sie beschreibt ein Verfahren zum Bestimmen des Geschwindigkeitsprofils der Gasgeschwindigkeit an einem Punkt im Abgaskanal und ein Verfahren zum Bestimmen des Gesamtvolumenstroms in einem Messquerschnitt im Abgaskanal, das auf einem Raster von punktuellen Geschwindigkeitsmessungen beruht, die im Messquerschnitt durchgeführt werden. Außerdem werden alternative Verfahren zur Bestimmung des Volumenstroms beschrieben, die auf der Messung von Indikatorverdünnung, Indikator-Laufzeit sowie auf der Berechnung aus Verbrennungsparametern beruhen.

Die Techniken zur Bestimmung der Gasgeschwindigkeit an einem Punkt erfordern ein kalibriertes Differenzdruckmessgerät (Staudrucksonde) oder ein Flügelrad-Anemometer. In Abschnitt 6 sind die Auswahlkriterien für die Verwendung unterschiedlicher Bauarten von Staudrucksonden und für das Flügelrad-Anemometer angegeben. Es liegt jedoch in der Verantwortung des Anwenders sicherzustellen, dass das für eine gegebene Anwendung ausgewählte Verfahren den in dieser Internationalen Norm definierten Leistungskriterien entspricht. Die Bestimmung des Volumenstroms in einem Abgaskanal erfolgt durch Messen der axialen Gasgeschwindigkeit im Kanal in einer Reihe von Punkten entlang von Messachsen durch den Kanal in einem einzelnen Messquerschnitt. Die Anzahl der erforderlichen Messachsen und Messpunkte hängt von der Form und Größe des Abgaskanals ab. Die Anzahl der Messpunkte beruht auf dem Prinzip gleich großer Flächensegmente, wie in EN 15259 definiert. Der Volumenstrom wird aus der mittleren Axialgeschwindigkeit und der Kanalfläche im Messquerschnitt berechnet. Es wird eine Korrektur vorgenommen, um Wandeffekte zu berücksichtigen.

Bei der Durchführung von Messungen zur Bestimmung des Strömungsprofils im Abgaskanal werden im Fall von zeitlichen Schwankungen der Strömungsbedingungen parallele Geschwindigkeitsmessungen an einem festen Punkt angewendet, um zeitliche Änderungen der Gasgeschwindigkeit zu messen und zu korrigieren.

Außerdem werden drei alternative Verfahren zum Bestimmen des Volumenstroms und der mittleren Strömungsgeschwindigkeit beschrieben. Diese sind in Anhängen dieser Norm beschrieben:

- in Anhang C wird ein Verfahren beschrieben, das auf Indikatorverdünnungs-Messungen beruht. Bei diesem Verfahren wird der Volumenstrom aus der Verdünnung einer bekannten Konzentration von injiziertem Indikator bestimmt;
- in Anhang D wird ein Verfahren beschrieben, das auf einem Messverfahren der Indikator-Laufzeit beruht. Der Volumenstrom wird anhand der Zeitdauer bestimmt, die ein Impuls eines Indikatorgases benötigt, um die Strecke zwischen zwei Messstellen zu durchlaufen;
- in Anhang E wird ein Verfahren zur Bestimmung des Volumenstroms beschrieben, das einen Ansatz auf der Grundlage von Berechnungen verwendet, um den Volumenstrom aus den gemessenen Parametern eines Verbrennungsprozesses herzuleiten.

Diese Internationale Norm stellt Qualitätskontrollen zur Verfügung, um die Bedingungen für genaue Messungen zu verifizieren.

Der Volumenstrom kann bei Abgaskanal-Bedingungen oder bei Normbedingungen (273,15 K und 101,325 kPa) sowohl auf feuchter als auch auf trockener Basis angegeben werden.

5.2 Grundlagen der Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit an einem Punkt im Abgaskanal

Die axiale Strömungsgeschwindigkeit an einem Punkt im Abgaskanal wird durch Anwendung eines der beiden in dieser Norm beschriebenen Verfahren bestimmt, basierend auf der Messung des Differenzdrucks mittels Staudrucksonden und durch Flügelrad-Anemometrie. In Anhängen dieser Norm sind die Verfahren detailliert beschrieben; Anhang A bietet eine Beschreibung der Differenzdruck-Verfahren, Anhang B beschreibt das Flügelrad-Anemometer.

Die Strömungsgeschwindigkeit wird als Axialgeschwindigkeit im Abgaskanal an jedem Punkt bestimmt.

Die differenzdruckbasierten Verfahren beruhen auf dem in ISO 3966 [3] definierten Prinzip der Staudrucksonde. Eine Sonde mit einer oder mehreren Druckentnahmestellen wird in die Strömung gebracht. Das Grundprinzip besteht darin, dass auf eine Druckentnahmestelle das strömende Gas einwirkt und eine oder mehrere weitere Druckentnahmestellen dem statischen Druck im Abgaskanal ausgesetzt sind. Die Sondenanordnung überträgt die resultierende Druckdifferenz zwischen diesen Stellen an ein externes Differenzdruckmessgerät.

Es sind unterschiedliche Ausführungen dieses Differenzdruck-Ansatzes verfügbar. Dazu zählen Standard-, L-förmige, S-förmige und mehrachsige Staudrucksonden (3d- und 2d- Staudrucksonden). Jede Ausführung hat ihre eigenen speziellen Vor- und Nachteile, und diese werden in der Internationalen Norm beschrieben. Die angewendeten Verfahren beruhen auf den in ISO 10780 [2] und ISO 3966 [3] festgelegten Verfahren sowie auf US EPA Method 2. Es werden Leistungsanforderungen und Qualitätssicherungs-Verfahren angewendet, um die in dieser Internationalen Norm festgelegten Messunsicherheiten zu erreichen.

5.3 Prinzip der Messung des Volumenstroms

Der Volumenstrom kann aus einer Reihe von Messungen der punktuellen Geschwindigkeit in einem Abgaskanal bestimmt werden, die über den Messquerschnitt durchgeführt werden, oder durch alternative Verfahren wie Indikatorverdünnung, Indikator-Laufzeit oder mittels Berechnung aus Prozessbedingungen. Die Anhänge C, D und E enthalten Einzelheiten zu diesen alternativen Herangehensweisen.

5.3.1 Prinzip der Bestimmung des Volumenstroms aus punktuellen Geschwindigkeitsmessungen

Der Volumenstrom wird aus einer Anzahl von Punktmessungen der axialen Strömungsgeschwindigkeit über einen Messquerschnitt bestimmt. Es werden genügend Punktmessungen durchgeführt, um Ungleichmäßigkeiten im Strömungsprofil zu beschreiben. Die Messpunkte über den Messquerschnitt werden so ausgewählt, dass sie für Bereiche gleicher Teilflächen repräsentativ sind. Die mittlere Geschwindigkeit des den Messquerschnitt durchströmenden Gases wird aus dem Mittelwert der punktuellen Strömungsmessungen berechnet. Zum Bestimmen der Messpunkte für runde und rechteckige Abgaskanäle werden die Verfahren nach EN 15259 angewendet. Für runde Abgaskanäle wird das Tangentialverfahren nach EN 15259 angewendet, wie in dieser Norm beschrieben.

ANMERKUNG 1 Der Grund dafür, dass von den beiden, in EN 15259 zur Verfügung gestellten Modellen zur Bestimmung gleicher Teilflächen für runde Abgaskanäle das Tangentialverfahren bevorzugt wird, besteht darin, dass dieses Modell über Punkte verfügt, die Größenwerte des mittleren Volumenstroms in jeder gleichgroßen Teilfläche liefern. Der Punkt in der Mitte des Abgaskanals beim allgemeinen Verfahren liefert keinen Größenwert des mittleren Volumenstroms im Zentralbereich, sondern den Höchstwert. Das kann zum Rekonstruieren des Strömungsprofils von Nutzen sein, ist aber für die Bestimmung des mittleren Volumenstroms im Abgaskanal nicht empfehlenswert.

Der Messquerschnitt wird so gewählt, dass er für den erforderlichen Volumenstrom im Abgaskanal repräsentativ ist und sich in einem Bereich befindet, in dem eine voll entwickelte Strömung erwartet wird. Wenn im Messquerschnitt aufgrund der Geometrie des Abgaskanals oder anderer Anströmbedingungen eine nicht axiale Strömung (Drallströmung oder zyklonale Strömung) erwartet wird, dann wird der Verwirbelungsgrad durch Messungen mittels S-förmigen, 3d- oder 2d- Staudrucksonden bestimmt, und wenn er signifikant ist, wie in dieser Norm definiert, dann wird er durch die Anwendung zusätzlicher Messverfahren berücksichtigt oder es wird ein anderer Messquerschnitt gewählt.

Eine verbesserte Messgenauigkeit in den Ergebnissen wird erforderlichenfalls durch Berücksichtigung von Wandeffekten erreicht, wobei eine Verfahrensweise angewendet wird, die für runde Abgaskanäle auf US EPA Method 2H und für rechteckige Abgaskanäle auf US EPA CTM-041 beruht.

Der Volumenstrom Q wird durch Multiplizieren der mittleren Geschwindigkeit mit der Fläche des Messquerschnitts bestimmt (d. h. der Innenfläche des Abgaskanals im Messquerschnitt).

$$Q = \bar{v} \cdot A \quad (1)$$

Dabei ist:

- $\bar{v}$ der Mittelwert der punktuellen Geschwindigkeitsmessungen;
- A die Fläche des Messquerschnitts.

ANMERKUNG 2 Es ist außerdem möglich, einen Bereich von Volumenströmen zu bestimmen, bestimmt aus den Punktmessungen in jeder gleichgroßen Teilfläche, multipliziert mit der Fläche, die durch jeden Messpunkt repräsentiert wird. Jede Messpunktfläche ist, per definitionem, gleich der Fläche des Messquerschnitts geteilt durch die Anzahl der Messpunkte. Der Volumenstrom ist dann:

$$Q = \sum_{i=1}^N v_i \cdot \frac{A}{N} \quad (2)$$

Dabei ist:

- v_i die i-te Punktmessung;
- A die Fläche des Messquerschnitts;
- N die Anzahl der Messpunkte.

Dies entspricht Gleichung (1).

Diese Gleichung wird deshalb verwendet, weil sie die Berechnung von Massenemissionen eines Schadstoffs in jeder gleichgroßen Teilfläche ermöglicht, die eine repräsentativere Bestimmung der Massenemission liefert, wenn der gemessene Schadstoff eine inhomogene Verteilung im Abgaskanal aufweist; siehe Anhang I.

5.3.2 Bestimmung des Volumenstroms mit Indikatorverdünnungsmessungen

Zum Messen des Volumenstroms wird die Indikatorgas-Injektion verwendet, indem die Verdünnung des injizierten Indikatorgases (Tracergases) durch den Abgasstrom bestimmt wird. Ein bekannter, nachweisbarer Massenstrom von kalibriertem Indikatorgas wird in den Abgaskanal injiziert. Nachdem eine vollständige Vermischung des Indikators mit dem Abgas erfolgt ist, wird die Konzentration dieses Indikatorgases an einer Stelle stromabwärts gemessen, die für den Messquerschnitt repräsentativ ist. Die Verdünnung des Indikatorgases durch das Abgas ermöglicht eine Messung des Volumenstroms, vorausgesetzt dass:

- das Indikatorgas sich vollständig mit dem Abgas vermischt hat;
- vor der Injektion kein Indikatorgas im Abgas vorhanden ist oder die Hintergrundkonzentration gemessen und exakt subtrahiert werden kann.

5.3.3 Bestimmung des Volumenstroms mit Indikator-Laufzeit-Messungen

Eine geringe Menge des Indikatormaterials wird schnell in den Abgasstrom injiziert, um einen kurzen Indikator-Impuls zu erzeugen. Nachdem sich der Indikator-Impuls über den Querschnitt der Strömung verteilt hat, wird dessen Laufzeit zwischen zwei Messpunkten auf einem geeigneten geraden Abschnitt im Abgaskanal gemessen. Der Volumenstrom wird berechnet, indem das Volumen des Abgaskanals zwischen den Messpunkten durch die Laufzeit geteilt wird. Der mit Hilfe dieses Verfahrens ermittelte Volumenstrom ist für einen Bereich des Abgaskanals repräsentativ, der durch die Stellen der Impulsmessung definiert ist, und diese werden als für den erforderlichen Messquerschnitt repräsentativ angesehen.

5.3.4 Bestimmung des Volumenstroms aus den Prozessbedingungen der Anlage

Für bestimmte Verbrennungsquellen kann der Volumenstrom berechnet werden. Der Volumenstrom wird aus dem stöchiometrischen Gasvolumen bestimmt, das aus der Geschwindigkeit der Brennstoffzufuhr und der Kenntnis der Brennstoffzusammensetzung oder dem Wärmewert und erforderlichenfalls der Sauerstoffkonzentration im Messquerschnitt bestimmt wird, die verwendet wird, um jegliche Verdünnungsluft zu bestimmen und zu berücksichtigen. Die Brennstoffzufuhr wird mit rückführbaren Volumen- oder Massemessungen gemessen und die Sauerstoffkonzentration wird unter Anwendung von EN 14789 bestimmt. Wenn die Messungen des Brennstoffvolumens und des Sauerstoffs auf der Grundlage von Trockengas durchgeführt werden, dann wird bei diesem Ansatz der Volumenstrom auf einer Trockengasbasis bestimmt. Dieses Verfahren ermöglicht auch Messungen mit Sauerstoff-Referenzwerten, ohne dass die Bestimmung der Sauerstoffzusammensetzung im Abgaskanal erforderlich ist.

6 Wahl des Überwachungsansatzes

6.1 Ziel der Überwachung

Diese Internationale Norm stellt Verfahren zur Verfügung, die für mehrere unterschiedliche Ziele angewendet werden können. Der Anwender dieses Verfahrens muss das Ziel der Messaufgabe kennen, bevor die Messungen, wie durch EN 15259 gefordert, durchgeführt werden, weil die Auswahl des anzuwendenden Verfahrens, von der Messaufgabe abhängig sein kann.

Zu den Messaufgaben zählen:

- a) Messung der Geschwindigkeit an einem Punkt im Abgaskanal; das kann als Teil eines anderen Messverfahrens erforderlich sein, zum Beispiel bei der isokinetischen Probenahme von Partikeln;
- b) Messung des Strömungsprofils über einen Querschnitt im Abgaskanal;
- c) Bestimmung von Drallströmung;
- d) Kalibrierung einer Strömungs-AMS; diese Kalibrierung kann durch Volumenstrom oder Geschwindigkeit erfolgen;
- e) periodische Bestimmung des Volumenstroms, der einen Messquerschnitt durchquert.

In der folgenden Tabelle 1 sind die Verfahren skizziert, die zum Erfüllen der in 6.1 umrissenen Messaufgaben angewendet werden können.

Tabelle 1 — Auswahl des Messverfahrens

Ziel der Messung	Geeignetes Verfahren zum Durchführen der Messung
Messung des Strömungsprofils	Punktmessung: — Differenzdruckmessgeräte — Flügelrad-Anemometer
Strömungsprofilmessung	Punktmessung: — Differenzdruckmessgeräte — Flügelrad-Anemometer
Bestimmung von Drallströmung im Messquerschnitt	Differenzdruckmessgerät, mit dem die Strömungsrichtung bestimmt werden kann — S-förmige Staudrucksonde — 3d- oder 2d- Staudrucksonde

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Ziel der Messung	Geeignetes Verfahren zum Durchführen der Messung
Periodische Messung der mittleren Geschwindigkeit im Abgaskanal	Netz von punktuellen Geschwindigkeitsmessungen Indikatorverdünnungsverfahren Indikator-Laufzeit-Verfahren Berechnungsansatz auf der Grundlage von Prozessbedingungen
Kalibrierung von AMS für mittlere Geschwindigkeit oder Volumenstrom	Netz von punktuellen Geschwindigkeitsmessungen Indikatorverdünnungsverfahren Indikator-Laufzeit-Verfahren

Die in dieser Norm beschriebenen Verfahren für punktuelle Geschwindigkeitsmessungen können angewendet werden, um jede der oben genannten Aufgaben zu erfüllen, sofern die Leistungsanforderungen dieses Verfahrens erfüllt werden.

Die in dieser Internationalen Norm beschriebenen alternativen Verfahren können angewendet werden, um den Volumenstrom zu bestimmen und für die Kalibrierung von automatischen Strömungs-Messeinrichtungen, vorausgesetzt es werden die spezifischen Anforderungen erfüllt, unter denen sie angewendet werden können. Diese sind in 6.3 detailliert beschrieben.

Vor der Auswahl des Überwachungsansatzes sollte das Ziel der Strömungsmessung klar definiert sein. Insbesondere die erforderliche Grundlage der Messungen, Abgas- oder Referenzbedingungen auf feuchter oder trockener Basis sollten bekannt sein, da die Auswahl des Messverfahrens durch diese beeinflusst werden kann.

ANMERKUNG Wenn zum Beispiel die Strömungsmessungen zum Kalibrieren einer AMS dienen, die die Strömung unter Abgaskanalbedingungen misst, dann sollte die Strömung unter diesen Bedingungen bestimmt werden, um zusätzliche Messunsicherheiten zu vermeiden, die beim Umrechnen zwischen unterschiedlichen Bedingungen entstehen. In ähnlicher Weise werden Strömungswerte dann vorzugsweise direkt unter trockenen Bedingungen bestimmt, wenn Massenemissionsraten unter Verwendung von Konzentrationsdaten zu berechnen sind, die auf trockener Basis ermittelt wurden. Da es nicht immer möglich ist, dies zu erreichen, bietet diese Norm Verfahren zum Umrechnen der Daten auf unterschiedliche Bezugsbedingungen.

6.2 Auswahl der Technik zum Bestimmen der punktuellen Strömungsgeschwindigkeit

Um die Aufgaben a bis c in 6.1 zu erfüllen, muss eine Technik angewendet werden, mit der die punktuelle Geschwindigkeit bestimmt werden kann. Diese Techniken können auch eingesetzt werden, um alle anderen Messaufgaben zu erfüllen. Diese Internationale Norm gestattet die Verwendung von Differenzdruckmessgeräten oder Flügelrad-Anemometern, um die punktuelle Strömungsgeschwindigkeit zu bestimmen.

Im Folgenden werden einige allgemeine Ratschläge zur Auswahl der Punktüberwachungstechnik gegeben. Das Urteil von Sachverständigen und spezielle Bedingungen werden jedoch die Auswahl der Technik im Einzelfall beeinflussen.

Es gibt mehrere unterschiedliche Bauarten von Staudrucksonden, die für dieses Verfahren verwendet werden können. In Anhang A ist die Anwendung dieser Techniken beschrieben. Dazu zählen L-förmige, S-förmige sowie 2d- und 3d- Staudrucksonden. Es dürfen unterschiedliche Bauarten von Staudrucksonden verwendet werden, vorausgesetzt sie genügen unter Einsatzbedingungen den in dieser Norm festgelegten Leistungsanforderungen. Für bestimmte Abgaskanal- und Messbedingungen sind jedoch bestimmte Bauarten von Staudrucksonden eher geeignet.

Eine Flügelrad-Anemometer-Technik darf unter der Voraussetzung angewendet werden, dass die in dieser Internationalen Norm festgelegten Leistungsanforderungen erfüllt werden. Anhang B bietet ein Verfahren zur Anwendung dieser Technik.

Die Aufgabe besteht darin, die Axialgeschwindigkeit an einem oder mehreren Punkten im Abgaskanal zu bestimmen. Die meisten Punktmessgeräte messen, wenn sie auf die Achse des Abgaskanals ausgerichtet werden, den Betrag des Strömungsgeschwindigkeitsvektors, wenn der Winkel der Strömung zur Achse klein ist (bei Laborvalidierungsstudien werden typischerweise weniger als 20° beobachtet). Das bedeutet, dass diese Geräte die Axialgeschwindigkeit um einen Faktor überschätzen könnten, der dem Kosinus des Winkels der Strömungsgeschwindigkeit zur Achse entspricht.

Wenn die Strömung im Abgaskanal eine signifikante Drallströmung aufweist, ist vorzugsweise die 3d-Staudrucksonde zu verwenden. 9.3.6 bietet ein Verfahren zur Bestimmung der Drallströmung sowie Kriterien, um zu bestimmen, ob die Drallströmung signifikant ist.

ANMERKUNG In den Normen EN ISO 10780 und EN 13284 wird gesagt, dass die Staudrucksonde vom Typ S in Bezug auf die Ausrichtung zum Strömungsvektor empfindlicher sei als die Sonde vom Typ L. Bei der für diese Internationale Norm durchgeführten Laborprüfung konnte dies jedoch nicht beobachtet werden. Sowohl bei der Staudrucksonde vom Typ L als auch bei diejenigen vom Typ S konnte bei einer fehlerhaften Ausrichtung gegenüber dem Strömungsvektor eine ähnliche Reaktion beobachtet werden. In beiden Fällen konnte die fehlerhafte Ausrichtung der Staudrucksonden 15° bis 20° betragen, ohne dass eine signifikante Änderung (< 1 %) bei der Ablesung der Geschwindigkeit auftrat.

Bei kleinen Zugangsöffnungen und bei der Verwendung zusammen mit Probenahmesonden ist vorzugsweise die Staudrucksonde vom Typ S einzusetzen. Die Staudrucksonde vom Typ S kann für den Einsatz in Fällen geeigneter sein, in denen im Abgaskanal Tröpfchen oder eine signifikante Staubbelastung auftreten. Unter Bedingungen mit hoher Staubbelastung ist die Verwendung eines Flügelrad-Anemometers nicht empfehlenswert, da es verunreinigt werden kann, wodurch die Kalibrierung beeinträchtigt wird.

Bei Geschwindigkeiten von weniger als $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ oder Differenzdrücken von weniger als 5 Pa hat das Verfahren mit dem Flügelrad-Anemometer das Potenzial, bessere Messunsicherheiten zu liefern als das druckbasierte Verfahren.

6.3 Auswahl des Verfahrens zur Bestimmung des Volumenstroms und der mittleren Strömung

Die mittlere Geschwindigkeit kann aus dem Mittelwert eines Rasters von punktuellen Strömungsmessungen bestimmt werden. In derartigen Fällen muss der Messquerschnitt den Anforderungen von EN 15259 entsprechen. Die Anhänge C, D und E zu dieser Internationalen Norm bieten Verfahren zur Messung des Volumenstroms und der mittleren Geschwindigkeit im Abgaskanal. Diese Verfahren sind das Indikatorgasverfahren mittels Verdünnung, das Indikatorverfahren mittels Laufzeitmessung sowie die Berechnung anhand der Prozessbedingungen für Verbrennungsprozesse.

Die Indikatorgasverfahren können zur Bestimmung des Volumenstroms und der mittleren Geschwindigkeit angewendet werden sowie für die Kalibrierung von AMS-Systemen, die zum Bestimmen dieser Parameter verwendet werden.

ANMERKUNG Die Anwendung der Laufzeit von radioaktivem Indikator kann durch nationale Vorschriften zur Verwendung von radioaktiven Indikatoren eingeschränkt sein. Eine weitere Anforderung besteht darin, dass ein gerader Abschnitt im Abgaskanal vorhanden sein muss, der lang genug ist, um entsprechende Laufzeitmessungen zu ermöglichen.

Da bei Indikatorverfahren eine vollständige Mischung des injizierten Materials notwendig ist, erfordern diese Verfahren den Einbau einer Injektionsöffnung an einer geeigneten Stelle und möglicherweise eine Öffnung für das Sensorelement.

Der Berechnungsansatz ist für die Bestimmung des Volumenstroms aus Verbrennungsquellen oder anderen Prozessen geeignet, bei denen die erforderlichen Prozessinformationen verfügbar sind, wie in Anhang D definiert. Die Verfahren dürfen nicht zur parallelen Kalibrierung von automatischen Einrichtungen zur Messung der Strömung angewendet werden. Für Verbrennungsquellen ist eine stabile/homogene Brennstoffart erforderlich. Bei diesen Verfahren wird der Durchfluss auf der Grundlage von Messungen oder zugeordneten Werten für Eingangsparameter des Verbrennungsprozesses wie beispielsweise Zusammensetzung und Menge des Brennstoffs bestimmt. Wo Eingangsdaten gemessen werden, müssen die verwendeten Messeinrichtungen einer angemessenen Qualitätskontrolle unterliegen und kalibriert sein.

Verfahren zur Bestimmung des Volumenstroms können auch angewendet werden, um die mittlere Geschwindigkeit im Messquerschnitt zu ermitteln, durch Messung des Abgaskanal-Durchmessers und die Anwendung von Gleichung (2) und umgekehrt.

7 Messmittel

7.1 Allgemeines

Durchflussmessungen können, wie in Abschnitt 6 beschrieben, zur Erfüllung etlicher Aufgaben durchgeführt werden. Die eingesetzten Messmittel sind von der angewandten Technik abhängig und detailliert im entsprechenden normativen Anhang beschrieben.

7.2 Messung der Abgaskanal-Fläche

Messungen der Innenfläche des Abgaskanals sind als direkte Längenmessungen durchzuführen. Die Verwendung von technischen Zeichnungen oder Spezifikationen ist nicht gestattet. Vorsicht ist geboten, wenn zum Definieren des Innenmaßes Außenmessungen erfolgen, z. B. die Verwendung des Außenumfangs bei runden Abgaskanälen oder die Messung der Seitenlängen bei einem rechteckigen Abgaskanal. Diese Herangehensweisen sollten nur dann gewählt werden, wenn die Wand des Abgaskanals eine konstante Dicke aufweist, wohldefiniert und einwandig ist. Außerdem muss an jeder Messöffnung die Tiefe jeglicher Öffnungen und die Tiefe der Wand des Abgaskanals gemessen werden.

8 Verfahrenskenngrößen und Anforderungen

Diese Internationale Norm definiert Leistungsanforderungen an die manuelle Bestimmung der punktuellen Geschwindigkeit über einen Messquerschnitt in einem Abgaskanal. Es dürfen andere Techniken angewendet werden; in diesem Fall muss nachgewiesen werden, dass sie die in dieser Norm festgelegten Leistungsanforderungen erfüllen.

Die in Tabelle 2 definierten Verfahrenskenngrößen müssen durch Techniken zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit erfüllt werden.

Tabelle 2 — Leistungsanforderungen

Parameter	Kriterium	Bestimmungsverfahren
Wiederholpräzision der Geschwindigkeitsmessung im Laboratorium	< 1 % des Wertes	Leistungsbewertung im Windkanal bei Werten, die den gemessenen Pegel umfassen
Nichtlinearität	< 2 % des Wertes	Maximale Abweichung von der linearen Anpassung auf fünf Geschwindigkeitsniveaus im Windkanal
Unsicherheit der Kalibrierfunktion	< 2 % des vollen Skalenendwerts	Anhand des Kalibrierscheins für Messeinrichtungen
Kleinster messbarer Volumenstrom (Nachweisgrenze)	Kein Kriterium, er sollte jedoch bestimmt werden.	Dieser Parameter muss bestimmt werden, stellt jedoch keine Leistungsanforderung dar. Der Sensor darf nicht zum Messen von Volumenströmen unterhalb seiner Nachweisgrenze verwendet werden.
Innenfläche des Abgaskanals im Messquerschnitt	< 2 % des Wertes	
Empfindlichkeit gegenüber der Umgebungstemperatur	< 2 % des Bereichs je 10 K	Leistungsbewertung der Messeinrichtung

Tabelle 2 (fortgesetzt)

Parameter	Kriterium	Bestimmungsverfahren
Empfindlichkeit gegenüber Atmosphärendruck	< 2 % des Bereichs je 2 kPa	
Einfluss des Winkels des Sensors zur Strömung	< 3 % bei 15°	Leistungsbewertung der Messeinrichtung (EN 15267)

9 Messverfahren

9.1 Standortanalyse vor der Prüfung

Eine Analyse der Anlage und des Messquerschnitts vor der Messung ist notwendig, um den Zugang zum Probenahmeort zu wählen, die Anzahl und Maße der Messöffnungen, die Bedingungen am Arbeitsplatz, den Wetterschutz, Hindernisse sowie die Energieversorgung am Probenahmeort. Anhand der gesammelten Informationen ist die geeignete Probenahmeeinrichtung auszuwählen und ein Zeitplan für das Prüfverfahren festzulegen. Der Zeitplan der Messung sollte Daten, Anfangszeiten und die Dauer der Prüfperioden enthalten. Es ist sicherzustellen, dass die Betriebsbedingungen der Anlage während der Prüfperioden/Volumenstrom-Messung mit dem Wartenpersonal und der Werksleitung abgesprochen werden sollten.

Die Messung sollte möglichst nah an stationären Betriebsbedingungen durchgeführt werden. Um Betriebsbedingungen zu erreichen, die so nah wie möglich an ideale Bedingungen herankommen, ist es notwendig, den Zweck der Messung mit der Werksleitung zu besprechen. Wenn Periodizität in der Strömung erwartet wird (Scheitelwerkschwankung > 10 % der mittleren Strömungsbedingungen), sollte der Messplan so gestaltet werden, dass für diese Schwankungen der Durchschnitt ermittelt wird.

ANMERKUNG Die vollständige Durchführung einer typischen punktuellen Vermessung in einem Abgaskanal, die 20 Messstellen erfordert, könnte bis zu einer Stunde dauern. Es ist wünschenswert, dass während dieser Zeitdauer möglichst stabile Strömungsverhältnisse herrschen.

9.2 Bestimmung des Messquerschnitts und der Anzahl der Messpunkte

Die Anforderungen in diesem Unterabschnitt gelten, wenn eine Reihe von Messungen über den Messquerschnitt durchgeführt wird, um den Volumenstrom zu bestimmen.

Der Messquerschnitt zur Bestimmung des Volumenstroms muss den Anforderungen von EN 15259 entsprechen.

Der Messquerschnitt sollte sich in einem geraden Streckenabschnitt in einem idealerweise vertikalen Abgaskanal mit gleichbleibender Kontur und Querschnittsfläche und so weit wie möglich hinter jeglichem Hindernis in der Strömung befinden, das den Durchfluss beeinträchtigen oder Störungen verursachen könnte. Hindernisse durch andere Einrichtungen wie beispielsweise Probenahmesonden oder Thermoelemente müssen vermieden werden. Um ein homogenes Strömungsprofil mit annehmbarer Geschwindigkeitsverteilung zu sichern, sollte die Einlaufstrecke des geraden Kanalabschnitts idealerweise mindestens 5 hydraulische Durchmesser und die Auslaufstrecke mindestens 2 hydraulische Durchmesser betragen (wodurch sich eine gerade Länge von 7 hydraulischen Durchmessern ergibt).

Falls die Messungen durchgeführt werden, um die Strömungsbedingungen im Messquerschnitt zu charakterisieren, so muss berücksichtigt werden, dass die Strömung unter verschiedenen Prozessbedingungen (Lastbedingungen) zu bestimmen ist, da diese zu unterschiedlichen Strömungsbedingungen führen. Das gilt vor allem dann, wenn die Messungen erfolgen, um den Probenahmeort für den Einbau eines Strömungs-AMS-Systems oder für die Kalibrierung einer Strömungs-AMS zu charakterisieren.

9.3 Kontrollen vor der Probenahme

In Abhängigkeit vom Überwachungsplan sind vor dem Beginn der Probenahme die in EN 15259 geforderten vorbereitenden Inspektionen durchzuführen.

Wenn eine elektronische Druckanzeigeeinrichtung verwendet wird, muss eine Überprüfung der Kalibrierung erfolgen, indem die Ausgabe mit den Messergebnissen eines Schrägrohrmanometers verglichen wird.

Der Innendurchmesser des Abgaskanals und dessen Wanddicke im Messquerschnitt sind für jede Messachse zu messen. Die Wanddicke des Abgaskanals sollte die Tiefe der Messöffnung umfassen. Die Verwendung von technischen Zeichnungen zur Bestimmung des Innendurchmessers des Abgaskanals ist nicht ausreichend.

Die Anzahl der erforderlichen Messachsen und Messpunkte ist entsprechend dem in EN 15259, Anhang D, angegebenen Verfahren zu bestimmen, das auf dem Ansatz gleicher Teilflächen beruht. Bei runden Abgaskanälen ist der Tangentialansatz anzuwenden.

Die Position der einzuführenden Sonde sollte für jeden Punkt berechnet und die Sonde entsprechend markiert werden, wobei die Wand des Abgaskanals und die Tiefe der Messöffnung zu berücksichtigen sind.

Es ist eine geeignete Stelle zur Fixpunkt-Bestimmung der Strömung zu ermitteln. Das kann ein zweites Strömungsmessgerät sein oder ein geeignetes Strömungs-AMS-System, vorausgesetzt es befindet sich an einer geeigneten Position.

Inspektion der Messeinrichtung

Die Staudrucksonden sind vor und nach der Verwendung auf Folgendes zu kontrollieren:

- Deformationen, Grate oder Beschädigung der Staudrucksonde;
- Verstopfung der Druckentnahmestellen;
- interne Leckage zwischen statischen und dynamischen Druckentnahmestellen;
- Sauberkeit der Staudrucksonde;
- Geradheit des Stützrohrs.

Die Flügelrad-Anemometer sind vor und nach der Verwendung auf Folgendes zu kontrollieren:

- Beschädigung des Flügelrads und Gehäuses;
- Bildung von Ablagerungen auf den Flügelblättern;
- Sauberkeit des Anemometers;
- jegliches Klemmen des Flügelrads bei leichtem Anblasen.

Jegliche oben genannten Probleme machen die Kalibrierung ungültig.

9.3.1 Vorprüfung auf Dichtheit

Bei Staudrucksonden sollte vor dem Durchführen der Messungen eine Kontrolle auf Dichtheit erfolgen. Das kann dadurch erreicht werden, dass das Rohr mit einem Druck beaufschlagt wird, der mindestens so hoch ist wie der statische Druck im Abgaskanal, während gleichzeitig die Druckmessbohrungen abgedichtet werden. Die Druckanzeige sollten über eine Zeitdauer von 15 s keinen Druckabfall anzeigen.

9.3.2 Kontrolle der Druckentnahmestellen für statischen und dynamischen Druck

Bei Staudrucksonden vom Typ S ist zu kontrollieren, dass die Anzeige für statischen Druck an einem einzelnen Punkt bei Verwendung jeglicher Druckentnahmestellen dieselbe ist, indem die Staudrucksonde um 180° gedreht wird.

9.3.3 Prüfungen der Wiederholpräzision an einem einzelnen Punkt

Wenn zwei Messeinrichtungen verwendet werden, eine ortsfeste und eine verschiebbare Einrichtung, so ist eine gleichgroße Teilfläche auszuwählen und es sind mindestens 5 Doppelablesungen der Geschwindigkeit unter Verwendung beider Messeinrichtungen in derselben Teilfläche durchzuführen. Aus der Standardabweichung der Differenzen zwischen diesen Ablesungen ist die Feldwiederholpräzision zu berechnen und mit dem Kriterium für die Feldwiederholpräzision in Tabelle 2 zu vergleichen.

Wird nur eine Messeinrichtung verwendet, so ist die Wiederholpräzision aus der Standardabweichung von 5 aufeinander folgenden einminütigen Ablesungen der Strömung zu berechnen.

ANMERKUNG Die Prüfung zur Wiederholpräzision bei Verwendung von nur einem Strömungsmessgerät, wird sowohl den Einfluss von Änderungen in der Abgaskanal-Strömung als auch die Wiederholpräzision des Strömungsmessgerätes beinhalten. Das ist beabsichtigt, da bei stabilen Strömungsbedingungen nur die Verwendung eines einzigen Messgerätes vorgesehen ist.

9.3.4 Drallströmung/Zyklonale Strömung

Falls das Vorhandensein von Drallströmung entweder aus vorherigen Messungen bereits bekannt ist oder aufgrund der Geometrie oder Bedingungen im Abgaskanal erwartet wird (wie im Verfahren EPA Method 2F beschrieben), dann ist die nichtaxiale Strömung (die Wirbel innerhalb des Abgaskanals anzeigt) an jedem Messpunkt unter Verwendung von Differenzdruckmessgeräten nach den in ISO 10780 [2] festgelegten Verfahren zu beurteilen. Wenn an irgendeinem Messpunkt im Querschnitt einer der tangentialen Strömungswinkel mehr als 15° zur axialen Richtung beträgt, dann ist davon auszugehen, dass die Drallströmung einen signifikanten Einfluss auf die Messungen hat. In solchen Fällen sollte die Messung der Geschwindigkeit an jedem Punkt mit Geräten erfolgen, die an jedem Punkt die Strömungsgeschwindigkeit und den Winkel der Strömung messen können. Dazu zählen 3d- und 2d-Staudrucksonden sowie Staudrucksonden vom Typ S.

9.4 Qualitätskontrolle

Um sicherzustellen, dass bei Messungen mit Differenzdruckmessgeräten die bestmögliche Messunsicherheit erreicht wird, sind etliche Qualitätskontroll- und Qualitätssicherungsverfahren erforderlich. Diese sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3 — Leistungsanforderungen bei Feldmessungen

Parameter	Kriterium	Bestimmungsverfahren
Feldwiederholpräzision	< 2 %	Bestimmung vor den Messungen nach 9.3.4
Winkel des Strömungssensors zur Gasströmung	< 15°	Während der Messung
Messunsicherheit der Abgasdichte	< 0,05 kg · m ⁻³	Während der Feldmessung
Innenfläche des Abgaskanals	2 % des Wertes	Wird vor den Messungen bestimmt.
Position des Strömungssensors im Abgaskanal	< 10 % des Abstands zwischen benachbarten Messpunkten	Während der Feldmessung
Winkel der Sonde zum Messquerschnitt (Neigung der Sonde)	< 10° vom Messquerschnitt	Während der Feldmessung
Messunsicherheit bei der Kalibrierung des Strömungsmessgerätes	< 1 %	Anhand des Kalibrierscheins
Messunsicherheit bei der Kalibrierung des Differenzdruckmessgerätes	< 1 %	Anhand des Kalibrierscheins für Manometer oder Druckmesswertgeber

9.5 Messung der Strömung an Stellen innerhalb des Messquerschnitts

Geschwindigkeitsmessungen sind an jedem Messpunkt im Messquerschnitt durchzuführen.

Die Sonde ist in Übereinstimmung mit den in 9.3 festgelegten Messstellen bis zur markierten Einführungstiefe einzuführen. Bei Differenzdruckmessgeräten ist an jedem Punkt der mittlere Differenzdruck über eine Zeitspanne von mindestens 1 min zu bestimmen, und zwar anhand des Mittelwertes von mindestens drei momentanen Ablesungen des Differenzdrucks. Es kann ein elektronisches Manometer verwendet werden, um eine direkte Ablesung des mittleren Differenzdrucks über mindestens eine Minute zu liefern.

ANMERKUNG Bei dem Verfahren mit 3d-Staudrucksonden können die Messzeiten erheblich länger sein. In derartigen Fällen ist es wichtig sicherzustellen, dass zeitliche Schwankungen der Strömung im Abgaskanal berücksichtigt werden.

Wenn zwei Strömungs-Messgeräte verwendet werden, sind die Messergebnisse mit beiden Geräten parallel aufzuzeichnen.

Die Temperatur an jeder Messstelle ist aufzuzeichnen.

Die Messungen von Sauerstoff, Wasserdampf und CO₂ sind erforderlichenfalls aufzuzeichnen, oder die Dichte des Abgases ist auf andere Weise zu bestimmen.

Der barometrische Luftdruck ist aufzuzeichnen.

Für jede Messachse ist mindestens einmal der statische Druck aufzuzeichnen.

9.6 Qualitätskontrolle nach Durchführung der Messungen

9.6.1 Verstopfungsprüfung — erforderlich bei Differenzdruckmessgeräten

Diese Prüfung ist bei einer Staudrucksonde vom Typ S nicht erforderlich. Sie muss für jede Druckentnahmestelle einer 3d-Staudrucksonde durchgeführt werden. Sie muss mindestens nach dem Messzeitraum erfolgen. Es ist ratsam, sie nach jeder Netzmessung durchzuführen, da bei einem Nichtbestehen der Prüfung sämtliche Daten seit der vorherigen Prüfung ungültig werden.

Der Differenzdruck an einer Stelle im Abgaskanal ist aufzuzeichnen. Die Staudrucksonde ist mit Druckluft zu spülen, um die Druckentnahmestellen zu reinigen. Die Messung des Differenzdrucks ist an derselben Stelle zu wiederholen. Wenn beide Ablesewerte nicht um mehr als 5 % voneinander abweichen, sind die Daten der Netzmessung annehmbar. Die Fixpunkt-Ablesungen sind zu kontrollieren, um sicherzustellen, dass sie zwischen diesen Messungen um nicht mehr als 2 % variieren. Falls sie es tun, können die Ablesewerte der Verstopfungsprüfung korrigiert werden, um die Strömungsschwankung zu berücksichtigen.

10 Berechnung der Ergebnisse

In der folgenden Berechnung wird davon ausgegangen, dass die physikalisch-chemischen Eigenschaften an sämtlichen Punkten der Messstrecke dieselben sind.

Die Ergebnisse können unter Abgaskanal-Bedingungen oder Referenzbedingungen angegeben werden. Die Wahl der Bedingungen, unter denen die Ergebnisse angegeben werden, sollte sich nach dem vorgesehenen Zweck der Messungen und den verfügbaren Daten richten. Wenn die Messungen erfolgen, um eine automatische Strömungs-Messeinrichtung zu kalibrieren, dann sollten die Strömungsdaten in denselben Einheiten angegeben werden. Wenn die Volumenstrom-Daten zur Berechnung von Massenemissionen verwendet werden, dann sind die Daten zur Strömung und zur Konzentration unter denselben Bedingungen anzugeben. Um zusätzliche Unsicherheitskomponenten zu vermeiden, sollten unnötige Umwandlungen zwischen Bedingungen vermieden werden. Diese Anforderung bedeutet, dass zum Beispiel dann, wenn es möglich ist sowohl Konzentrationsdaten als auch Strömungsdaten unter feuchten (Abgaskanal-)Bedingungen gleichzeitig zu messen, es besser ist, so zu verfahren, da es keine Notwendigkeit gibt die Wasserdampfkonzentration zu messen, um die Messungen in Messungen unter trockenen Bedingungen umzuwandeln und die Unsicherheitskomponente infolge dieser Messung vermieden wird.

10.1 Messung der lokalen Geschwindigkeit v_i

Die Axialgeschwindigkeit v_i an jedem Punkt im Messquerschnitt wird mit dem Differenzdruckmessgerät oder dem Flügelrad-Anemometer bestimmt (siehe die Anhänge A und B).

10.2 Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit

Die mittlere Axialgeschwindigkeit $\bar{v}$ über den Messquerschnitt ist gegeben durch:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n v_i \quad (3)$$

Dabei ist:

$\bar{v}$ die mittlere Geschwindigkeit in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;

$i, i = 1 \text{ bis } n$ der i -te Messpunkt;

v_i die lokale Geschwindigkeit im Punkt i in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

10.3 Umrechnung zwischen Volumenstrom und mittlerer Geschwindigkeit

Der Volumenstrom unter den Temperatur- und Druckbedingungen des Abgaskanals und in Bezug auf Nassgas ist durch Gleichung (4) gegeben:

$$Q_{V,W} = \bar{v} \cdot A \quad (4)$$

Dabei ist:

$Q_{V,W}$ der Volumenstrom unter den Temperatur- und Druckbedingungen des Abgaskanals und für Nassgas in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;

$\bar{v}$ die mittlere Geschwindigkeit in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;

A die Innenfläche der Messstrecke in m^2 .

10.4 Umrechnung der Ergebnisse auf Normbedingungen

Falls erforderlich, wird der Volumenstrom nach den folgenden Gleichungen auf Normbedingungen umgerechnet.

10.4.1 Umrechnung des Volumenstroms auf Normbedingungen

Der Volumenstrom kann als Trockengas bei den Normbedingungen für Temperatur und Druck, d. h. 273,15 K und 101,325 Pa, angegeben werden.

Wenn der Schadstoff in Bezug auf eine Referenz-Sauerstoffkonzentration angegeben wird, so muss auch der Volumenstrom in Bezug auf dieselben Bedingungen berechnet werden.

Bei der Berechnung der in Bezug auf Normbedingungen angegebenen Messunsicherheit müssen die Messunsicherheiten in Bezug auf diese Umrechnungen berücksichtigt werden.