E DIN EN ISO 16911-1:2025-09 (D/E)

Erscheinungsdatum: 2025-08-08

Emissionen aus stationären Quellen - Manuelle und automatische Bestimmung der Geschwindigkeit und des Volumenstroms in Abgaskanälen - Teil 1: Manuelles Referenzverfahren (ISO/DIS 16911-1:2025); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 16911-1:2025

Stationary source emissions - Manual and automatic determination of velocity and volume flow rate in ducts - Part 1: Manual reference method (ISO/DIS 16911-1:2025); German and English version prEN ISO 16911-1:2025

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort ... 10

Vorwort ... 11

Einleitung ... 13

1 Anwendungsbereich ... 14

2 Normative Verweisungen ... 14

3 Begriffe ... 14

4 Symbole und Abkürzungen ... 17
4.1 Symbole ... 17
4.2 Abkürzungen ... 20

5 Kurzbeschreibung ... 20
5.1 Allgemeines ... 20
5.2 Messaufgaben ... 21
5.3 Grundlagen der Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit an einem Punkt im Abgaskanal ... 21
5.4 Prinzip der Messung des Volumenstroms ... 22
5.4.1 Allgemeines ... 22
5.4.2 Prinzip der Bestimmung des Volumenstroms aus punktuellen Geschwindigkeitsmessungen ... 22
5.4.3 Bestimmung des Volumenstroms mit Tracergasverdünnungsmessungen ... 23
5.4.4 Bestimmung des Volumenstroms aus der Wärmeleistung der Anlage ... 24

6 Auswahl des Messverfahrens ... 24
6.1 Messaufgabe ... 24
6.2 Auswahl des Messverfahrens zum Bestimmen der punktuellen Strömungsgeschwindigkeit ... 25
6.3 Auswahl des Messverfahrens zur Bestimmung des Volumenstroms und der mittleren Strömung ... 27

7 Messgeräte ... 27
7.1 Allgemeines ... 27
7.2 Messung der Abgaskanal-Fläche ... 28

8 Verfahrenskenngrößen und Anforderungen für Differenzdruckmessgeräte und Flügelrad-Anemometer ... 29
8.1 Allgemeines ... 29
8.2 Differenzdruckmessgeräte ... 29
8.3 Flügelrad-Anemometer ... 32

9 Messdurchführung ... 34

9.1 Messstrategie ... 34
9.1.1 Standortanalyse vor der Messung ... 34
9.1.2 Zeitliche Korrektur in Verbindung mit der Strömungsänderung für die Charakterisierung eines Geschwindigkeitsprofils ... 34
9.1.3 Berücksichtigung der Baugruppenfläche für die Strömungsmessung im Bezug auf die Fläche des Messquerschnitts ... 35
9.2 Bestimmung des Messquerschnitts und der Anzahl der Messpunkte ... 35
9.3 Kontrollen vor der Messdurchführung ... 35
9.3.1 Allgemeines ... 35
9.3.2 Vorprüfung auf Dichtheit ... 36
9.3.3 Kontrolle der Druckentnahmestellen für Stau- und Referenzdruck (Staudrucksonde Typ S) ... 37
9.3.4 Prüfungen der Wiederholpräzision an einem einzelnen Punkt ... 37
9.3.5 Drallströmung/Zyklonale Strömung ... 37
9.4 Qualitätssicherung ... 38
9.5 Messung der Strömungsgeschwindigkeit an Messpunkten innerhalb des Messquerschnitts ... 38
9.6 Qualitätskontrolle nach Durchführung der Messungen ... 39

10 Berechnung der Ergebnisse ... 39
10.1 Allgemeines ... 39
10.2 Messung der Geschwindigkeit ... 39
10.3 Messung der Geschwindigkeit ... 40
10.4 Korrektur der mittleren Geschwindigkeit für Wandeffekte ... 40
10.5 Berechnung des Volumenstrom aus der mittleren Geschwindigkeit ... 41
10.6 Umrechnung der Ergebnisse auf Normbedingungen ... 41
10.6.1 Allgemeines ... 41
10.6.2 Umrechnung des Volumenstroms auf Normbedingungen ... 41
10.6.3 Trockener Volumenstrom bei Normbedingungen ... 41
10.6.4 Umrechnung des Volumenstroms in eine Norm-Sauerstoffkonzentration ... 42

11 Bestimmung der Messunsicherheit der Ergebnisse ... 42

12 Bewertung des Verfahrens ... 43

Anhang A (normativ) Messung der Geschwindigkeit unter Verwendung von differenzdruckbasierten Verfahren ... 44
A.1 Prinzip der differenzdruckbasierten Geschwindigkeitsbestimmung ... 44
A.2 Messgeräte ... 44
A.2.1 Staudrucksonden ... 44
A.2.2 Differenzdruck-Messgeräte zur Strömungsmessung ... 50
A.3 Berechnung ... 53
A.3.1 Bestimmung der Geschwindigkeit mit Differenzdruckmessgeräten ... 53
A.3.2 Dichte des Abgases ... 54
A.3.3 Absolutdruck des Gases ... 54
A.3.4 Molmasse des Gases ... 55

Anhang B (informativ) Flügelrad-Anemometer ... 57
B.1 Prinzip des Flügelrad-Anemometers ... 57
B.2 Berechnung ... 58
B.2.1 Hintergrund ... 58
B.2.2 Untere Messbereichsgrenze ... 59
B.2.3 Obere Messbereichsgrenze ... 59
B.3 Berechnung der Unsicherheit; Kalibrierungen ... 60
B.3.1 Allgemeines ... 60
B.3.2 Beispiel ... 61

Anhang C (normativ) Bestimmung des Volumenstroms und der mittleren Geschwindigkeit durch das Tracergas-Verdünnungsverfahren ... 62
C.1 Tracergas mittels Verdünnung ... 62
C.1.1 Prinzip der Verwendung einer Tracergas-Injektion ... 62

C.1.2 Injektion von Tracergas ... 63
C.1.3 Messung der Tracergaskonzentration ... 64
C.1.4 Tracergas-Kalibrierungseinrichtung ... 64
C.2 Unsicherheit des Kalibrierungsergebnisses ... 67
C.2.1 Allgemeines ... 67
C.2.2 Unsicherheit der Konzentrationsmessung ... 67
C.2.3 Messunsicherheit beim Mischen des Indikatorgases ... 67
C.2.4 Unsicherheit der Indikatorinjektionsrate ... 68
C.2.5 Messunsicherheit des Abgas-Volumenstroms ... 69

Anhang D (normativ) Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit mit Hilfe des Laufzeit-Tracergasverfahrens ... 70
D.1 Vorhandene Normen ... 70
D.2 Laufzeitverfahren ... 70
D.2.1 Kurzbeschreibung des Verfahrens ... 70
D.2.2 Auswahl des Tracer ... 70
D.2.3 AMS-Durchfluss-Kalibrierungsverfahren ... 71
D.2.4 Berechnung des Volumenstroms ... 71
D.2.5 Festlegungen für den Messplatz ... 71
D.2.6 Strömungszustand ... 72
D.3 Mindestanforderungen ... 72
D.3.1 Tracer ... 72
D.3.2 Durchmischung ... 72
D.3.3 Messstrecke ... 72
D.3.4 Messung der Tracerkonzentration ... 72
D.4 Leistungsanforderungen ... 72
D.4.1 Injektion ... 72
D.4.2 Messung des Tracer-Impulses ... 73
D.4.3 Berechnung der Laufzeit ... 73
D.4.4 Berechnung des Volumenstroms ... 74
D.5 Messunsicherheit des Kalibrierungsergebnisses ... 74
D.5.1 Berechnungsgrundlage ... 74
D.5.2 Messunsicherheit der Volumenbestimmung und der Zeitmessung ... 74
D.6 Numerisches Beispiel für die Berechnung der Messunsicherheit bei der Abgasströmungskalibrierung ... 75
D.6.1 Messunsicherheit von qV, ref ... 75
D.6.2 Erweitere Messunsicherheit ... 76

Anhang E (normativ) Berechnung des Abgas-Volumenstroms aus dem Energieverbrauch ... 78
E.1 Kurzbeschreibung ... 78
E.2 Brennstofffaktor ... 79
E.2.1 Festgesetzte Faktoren für im Handel erhältliche fossile Brennstoffe ... 79
E.2.2 Für den spezifischen Heizwert korrigierte Faktoren ... 80
E.2.3 Aus der Zusammensetzung des Brennstoffs abgeleitete Faktoren ... 81
E.3 Energieverbrauch ... 81
E.4 Berechnung des Abgas-Volumenstroms ... 82
E.5 Leistungsanforderungen ... 83
E.6 Beispiel der Berechnung der Unsicherheit ... 84
E.6.1 Beispiel 1 — Kohlekraftwerk ... 84
E.6.2 Beispiel 2 — Biomasse-Heizkraftwerk ... 85
E.6.3 Beispiel 3 — Erdgasbetriebenes Gasturbinenkraftwerk ... 86

Anhang F (informativ) Anwendung der Messeinrichtungen für die Laufzeittechnik auf der Grundlage von moduliertem Laserlicht ... 87

Anhang G (informativ) Beispiel einer für Messungen der Geschwindigkeit und des Volumenstroms mit einer Staudrucksonde aufgestellten Unsicherheitsbilanz ... 88
G.1 Prozess der Schätzung der Messunsicherheit ... 88
G.1.1 Allgemeines ... 88
G.1.2 Bestimmung der Modellfunktion ... 88

G.1.3 Quantifizierung der Messunsicherheitskomponenten ... 88
G.1.4 Berechnung der kombinierten Messunsicherheit ... 88
G.1.5 Weitere Fehlerquellen ... 89
G.2 Beispiel für die Berechnung der Messunsicherheit ... 90
G.2.1 Berechnung der physikochemischen Eigenschaften des Abgases ... 92
G.2.2 Berechnung der mit der Bestimmung von lokalen Geschwindigkeiten verbundenen Messunsicherheit ... 94
G.2.3 Berechnung der mit der mittleren Geschwindigkeit verbundenen Messunsicherheit ... 102
G.2.4 Berechnung der Messunsicherheit bei gemeldeten Werten ... 102

Anhang H (informativ) Beschreibung von Validierungsstudien ... 104
H.1 Überblick über Validierungsstudien ... 104
H.1.1 Allgemeines ... 104
H.1.2 Abfallverbrennungsanlage in Dänemark ... 104
H.1.3 Kohlekraftwerk in Deutschland ... 104
H.2 Ergebnisse der Laborvalidierung ... 105
H.3 Ergebnisse der Feld-Validierungsstudien ... 107
H.3.1 Wiederholpräzision und Unsicherheit von manuellen Verfahren in der ersten Feld-Validierungsstudie ... 107
H.3.2 Wiederholpräzision und Messunsicherheit von manuellen Verfahren in der zweiten Feld-Validierungsstudie ... 110

Anhang I (informativ) Prüfung der Gültigkeit der Kalibrierung einer Staudrucksonde ... 113
I.1 Strömungserzeugende Einrichtung ... 113
I.2 Kalibrierungsprüfverfahren ... 113

Anhang J (informativ) Differenzdruckmessung ... 115
J.1 Allgemeines ... 115
J.2 Flüssigkeitsmanometer ... 116
J.3 Digitalmanometer und andere elektronische Messgeräte ... 116
J.3.1 Allgemeines ... 116
J.3.2 Typen von Drucksensoren ... 117
J.3.3 Differenzdruck-Manometer ... 117

Anhang K (informativ) Beispiel für ein Verfahren zur Bestimmung von Drallströmung ... 118

Anhang L (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Internationalen Norm und den grundlegenden Anforderungen von EU-Richtlinien ... 119

Literaturhinweise ... 120

Bilder

Bild A.1 — Prinzip der differenzdruckbasierten Geschwindigkeitsbestimmung ... 45

Bild A.2 — Schematisches Diagramm einer Staudrucksonde Typ L ... 45

Bild A.3 — Schematisches Diagramm einer Staudrucksonde Typ S ... 46

Bild A.4 — 3D-Staudrucksonde (sphärisch) ... 47

Bild A.5 — Staudrucksonde Typ AMCA ... 48

Bild A.6 — Staudrucksonde Typ NPL ... 49

Bild A.7 — Staudrucksonde Typ CETIAT ... 50

Bild B.1 — Flügelrad-Anemometer ... 57

Bild B.2 — Prinzip des Flügelrad-Anemometers 58

Bild C.1 — Prinzip der Tracergasverdünnung 62

Bild C.2 — Typisches Tracergas-Ansprechverhalten 64

Bild D.1 — Prinzip der Strömungs-Messtechnik mittels Tracergas-Laufzeit 70

Bild D.2 — Die Bestimmung der Laufzeit 73

Bild E.1 — Prinzip der Berechnung des Abgas-Volumenstroms aus dem Energieverbrauch 78

Bild J.1 — Prinzip eines Flüssigkeitsmanometers 116

Tabellen

Tabelle 1 — Auswahl des Messverfahrens 25

Tabelle 2 — Abnahmekriterium für die erweiterte Unsicherheit der inneren Fläche des Kanals bei dem Messquerschnitt 28

Tabelle 3 — Leistungsanforderungen an Differenzdruck-Anzeigegeräte 30

Tabelle 4 — Auflösung und zugehörige Standardmessunsicherheit von Differenzdruck-Anzeigegeräten 31

Tabelle 5 — Leistungsanforderungen von Staudrucksonden 31

Tabelle 6 — Leistungsanforderungen für Dichtemessungen und Temperatur- und Druckmessgeräte 32

Tabelle 7 — Leistungsanforderungen für Flügelrad-Anemometer 33

Tabelle 8 — Leistungsanforderungen während der Feldmessungen 38

Tabelle C.1 — Verfahrenskenngrößen bei der Messung der Tracergaskonzentration 66

Tabelle D.1 — Unsicherheitsbilanz 77

Tabelle E.1 — Fossile Brennstofffaktoren 79

Tabelle E.2 — Biomasse-Brennstofffaktoren 79

Tabelle E.3 — NSE-Korrekturfaktoren 80

Tabelle E.4 — Leistungsanforderungen des Berechnungsansatzes 83

Tabelle E.5 — Leistungsanforderungen der Haupteingangsparameter 84

Tabelle H.1 — Durch lineare Regression aus Laborprüfdaten gewonnene Daten für manuelle Verfahren 105

Tabelle H.2 — Messunsicherheitsanalyse nach ISO 20988 für manuelle Verfahren der Laborbeurteilung 106

Tabelle H.3 — Lack-of-fit, bestimmt aus Laborprüfdaten für manuelle Verfahren 107

Tabelle H.4 — Gepoolte Standardabweichungen von manuellen Verfahren 108

Tabelle H.5 — Gepoolte Standardabweichung, für Typ L und Flügelrad-Anemometer 108

Tabelle H.6 — Bewertung der Messunsicherheit von manuellen Strömungsmessverfahren 110

Tabelle H.7 — Messunsicherheit der in der zweiten Validierungsstudie angewandten manuellen Doppelbestimmungsverfahren, ermittelt aus gepoolter Standardabweichung 111

Tabelle H.8 — Variabilität, bestimmt für manuelle Verfahren mit Doppelbestimmung für die zweite Feld-Validierungsstudie 112

Tabelle H.9 — Messunsicherheitsanalyse der Ergebnisse von manuellen Verfahren mit Doppelbestimmung aus der zweiten Feld-Validierungsstudie 112