

DIN EN 14626



ICS 13.040.20

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

**Luftqualität –
Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Kohlenmonoxid
mit nicht-dispersiver Infrarot-Photometrie;
Deutsche Fassung EN 14626:2005**

Ambient air quality –
Standard method for the measurement of the concentration of carbon monoxide by
nondispersive infrared spectroscopy;
German version EN 14626:2005

Qualité de l'air ambiant –
Méthode normalisée de mesurage de la concentration en monoxyde de carbone par la
méthode à rayonnement infrarouge non-dispersif;
Version allemande EN 14626:2005

Gesamtumfang 84 Seiten

Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN - Normenausschuss

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	4
1 Anwendungsbereich.....	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Symbole und Abkürzungen.....	9
5 Kurzbeschreibung.....	12
5.1 Allgemeines	12
5.2 Messprinzip.....	12
5.3 Eignungsprüfung	13
5.4 Feldbetrieb und Qualitätskontrolle.....	13
6 Probenahmeeinrichtung.....	13
6.1 Allgemeines	13
6.2 Probenahmeort.....	14
6.3 Probeneinlass und Probenahmeleitung	14
6.4 Partikelfilter.....	14
6.5 Steuerung und Regelung des Probendurchflusses	15
6.6 Pumpe für den Probengasverteiler	15
7 Messgerät.....	15
7.1 Allgemeines	15
7.2 Störungen durch Infrarotstrahlung absorbierende Gase	15
7.2.1 Allgemeines	15
7.2.2 Wasserdampf.....	15
7.2.3 Kohlendioxid.....	15
7.2.4 Kohlenwasserstoffe	16
7.3 Details zum Messgerät	16
7.4 Druckmessung	16
7.5 Durchflussanzeiger	16
7.6 Probengaspumpe des Messgeräts.....	16
8 Eignungsanerkennung von NDIR-Messgeräten.....	16
8.1 Allgemeines	16
8.2 Relevante Leistungskenngrößen und Leistungskriterien	17
8.3 Änderungen am Messgerät	18
8.4 Verfahren zur Bestimmung der Leistungskenngrößen bei der Laborprüfung	18
8.4.1 Allgemeines	18
8.4.2 Prüfbedingungen.....	19
8.4.3 Einstellzeit.....	20
8.4.4 Kurzzeitdrift	22
8.4.5 Wiederholstandardabweichung.....	22
8.4.6 „Lack of fit“ (Abweichung von der Linearität)	23
8.4.7 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks.....	23
8.4.8 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur	24
8.4.9 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur	24
8.4.10 Empfindlichkeitskoeffizient der Spannung	25
8.4.11 Störungen	26
8.4.12 Mittelungsprüfung.....	26
8.4.13 Differenz Proben-/Kalibriereingang.....	28
8.5 Bestimmung der Leistungskenngrößen bei der Feldprüfung	28
8.5.1 Allgemeines	28
8.5.2 Auswahl der Messstation.....	28
8.5.3 Betriebsanforderungen	29
8.5.4 Langzeitdrift.....	30

8.5.5	Vergleichstandardabweichung unter Feldbedingungen	30
8.5.6	Kontrollintervall	31
8.5.7	Verfügbarkeit des Messgeräts	31
8.6	Berechnung der erweiterten Messunsicherheit	32
9	Feldbetrieb und laufende Qualitätskontrolle	32
9.1	Allgemeines	32
9.2	Eignungsbewertung	32
9.2.1	Allgemeines	32
9.2.2	Messgerät für eine Messstation oder Messaufgabe	33
9.3	Erstinstallation	33
9.4	Laufende Qualitätskontrolle	34
9.4.1	Allgemeines	34
9.4.2	Häufigkeit der Prüfungen und Kalibrierungen	34
9.5	Kalibrierung des Messgeräts	35
9.6	Prüfungen	36
9.6.1	Prüfgase	36
9.6.2	Null- und Spanprüfungen	36
9.6.3	„Lack of fit“ (Abweichung von der Linearität)	37
9.6.4	Prüfung des Probengasverteilers	38
9.7	Wartung	39
9.7.1	Wechsel der Partikelfilter	39
9.7.2	Wechsel von Verbrauchsmaterialien	39
9.7.3	Regelmäßige Wartung von Komponenten des Messgeräts	39
9.8	Datenhandhabung und Datenbericht	40
10	Angabe der Ergebnisse	40
11	Prüfberichte und Dokumentation	40
11.1	Eignungsprüfung	40
11.2	Feldbetrieb	41
11.2.1	Eignungsbewertung	41
11.2.2	Dokumentation	41
11.2.3	Berichte über Luftqualitätsdaten	41
Anhang A (normativ)	Berechnung des „lack of fit“ (Abweichung von der Linearität)	42
Anhang B (informativ)	Probenahmeeinrichtung	44
Anhang C (informativ)	Lokale Probenahme	46
Anhang D (informativ)	Schematische Darstellung eines NDIR-Spektrometers	47
Anhang E (informativ)	Vorrichtung zur Prüfung des Probengasverteilers	49
Anhang F (normativ)	Eignungsanerkennung	50
Anhang G (normativ)	Berechnung der Unsicherheit im Feldbetrieb beim 8-Stunden-Grenzwert	70
Literaturhinweise		82

Vorwort

Dieses Dokument (EN 14626:2005) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 264 „Luftbeschaffenheit“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis September 2005, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis September 2005 zurückgezogen werden.

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

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt ein kontinuierliches Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Kohlenmonoxid in Luft nach dem nicht-dispersiven Infrarot-Messprinzip (NDIR) fest. Dieses Dokument gibt die Leistungskenngrößen an und legt die relevanten Mindestanforderungen für die Eignungsprüfung von NDIR-Photometern fest. Es schließt auch die Bewertung der Eignung eines Messgeräts zur Anwendung an einer spezifischen Messstelle hinsichtlich der Anforderungen der EU-Richtlinien an die Datenqualität und hinsichtlich der Anforderungen für Probenahme, Kalibrierung und Qualitätssicherung ein.

Das Verfahren ist anwendbar zur Bestimmung der Massenkonzentration von Kohlenmonoxid in Luft im Bereich von 0 mg/m³ bis 100 mg/m³. Dieser Konzentrationsbereich entspricht dem Zertifizierungsbereich für die Eignungsprüfung.

ANMERKUNG 1 0 mg/m³ bis 100 mg/m³ CO entspricht 0 µmol/mol bis 86 µmol/mol CO.

Das Verfahren umfasst die Bestimmung der Konzentration von Kohlenmonoxid in Gebieten, die als ländliche Gebiete, Gebiete mit städtischem Hintergrund und verkehrsbezogene Standorte klassifiziert sind.

ANMERKUNG 2 Für Messsysteme an ländlichen Standorten zur Überwachung von Ökosystemen können andere Messbereiche verwendet werden.

Die Ergebnisse werden in mg/m³ (bei 293 K und 101,3 kPa) angegeben.

Wenn diese Norm für andere als in der EU-Richtlinie festgelegte Zwecke eingesetzt wird, brauchen die Anforderungen hinsichtlich Anwendungsbereich und Unsicherheit nicht zur Geltung kommen.

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, *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen*

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

ISO 6143, *Gas analysis — Comparison methods for determining and checking the composition of calibration gas mixtures*.

ISO 6144, *Gas analysis — Preparation of calibration gas mixtures — Static volumetric method*

ISO 6145 (alle Teile), *Gas analysis — Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Luft

Luft der Troposphäre, mit Ausnahme der Luft an Arbeitsplätzen¹⁾

1) Laut Festlegung in der relevanten EU-Gesetzgebung

3.2

Probengastemperatur

Temperatur am Probeneinlass außerhalb der Messstation

3.3

Verfügbarkeit des Messgeräts

Anteil der gesamten Zeitspanne, für den valide Konzentrationsmessdaten eines Messgeräts verfügbar sind

3.4

Kalibrierung

Vergleich des Signals des Messgeräts mit einer bekannten Gaskonzentration, deren Unsicherheit bekannt ist

3.5

Zertifizierungsbereich

Konzentrationsbereich, für den das Messgerät eignungsgeprüft ist

3.6

kombinierte Standardunsicherheit

Ergebnis der rechnerischen Kombination der Unsicherheiten aller in diesem Dokument festgelegten Leistungskenngrößen gemäß dem in diesem Dokument vorgeschriebenen Verfahren

3.7

Erweiterungsfaktor

Zahlenfaktor, mit dem die kombinierte Standardunsicherheit multipliziert wird, um eine erweiterte Messunsicherheit zu erhalten

3.8

benannte Stelle

Stelle, die durch die zuständige Behörde in den Mitgliedstaaten für eine spezifische Aufgabe (Eignungsprüfungen und/oder Qualitätssicherungs-/Qualitätskontrollmaßnahmen im Feld) benannt wurde

ANMERKUNG Die benannte Stelle sollte für die spezifische Aufgabe nach EN ISO/IEC 17025 [2] akkreditiert sein.

3.9

erweiterte Messunsicherheit

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

ANMERKUNG Im Sinne dieses Dokuments ist die erweiterte Messunsicherheit die mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$ multiplizierte, kombinierte Standardunsicherheit, d. h. ein Intervall mit einem Vertrauensniveau von 95 %.

3.10

Abfallzeit

Differenz zwischen Einstellzeit (Abfall) und Totzeit (Abfall)

3.11

unabhängige Messung

Einzelmessung, die nicht durch eine vorausgehende Einzelmessung beeinflusst ist, da diese durch mindestens vier Einstellzeiten voneinander getrennt sind

3.12

Einzelmessung

über eine der Einstellzeit des Messgeräts entsprechende Zeitspanne gemittelte Messung

3.13**Einflussgröße**

eine das Messergebnis beeinflussende Größe, die nicht die Messgröße ist (VIM 2.7), sondern entweder der Einfluss einer Störkomponente (d. h. die Konzentration einer Substanz in der untersuchten Luft, die nicht die Messgröße ist), oder eine externe Einflussgröße (d. h. eine Messgröße, die weder Messgröße noch die Konzentration einer Substanz in der untersuchten Luftmasse ist)

ANMERKUNG

Beispiele sind:

- Anwesenheit eines störenden Gases in der Abgasmatrix (Einfluss der Störkomponente);
- Temperatur der Umgebungsluft (externe Einflussgröße);
- Luftdruck (externe Einflussgröße);
- Probengasdruck (externe Einflussgröße).

3.14**Störung**

Signal des Messgeräts gegenüber Störkomponenten

3.15**Störkomponente**

Komponente der Luftprobe (außer der Messgröße), die das Ausgangssignal beeinflusst

3.16**Totzeit**

Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt einer sprunghaften Änderung der Probenkonzentration am Einlass des Messgeräts und dem Zeitpunkt, an dem die Messwertanzeige einen Wert erreicht, der 10 % der stabilen Messwertanzeige entspricht

3.17**Totzeit (Abfall)**

Totzeit für eine negative sprunghafte Änderung

3.18**Totzeit (Anstieg)**

Totzeit für eine positive sprunghafte Änderung

3.19**Grenzwert**

Wert, der aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnis mit dem Ziel festgelegt wird, schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt insgesamt zu vermeiden, zu verhüten oder zu verringern, und der innerhalb eines bestimmten Zeitraums erreicht werden muss und danach nicht überschritten werden darf

3.20**„lack of fit“ (Abweichung von der Linearität)**

größte Abweichung des Mittelwerts einer Reihe von bei gleicher Konzentration durchgeführten Messungen von der Regressionsgeraden

3.21**Langzeitdrift**

Differenz der Messwertanzeigen für Null- bzw. Spangas über eine bestimmte Zeitspanne (z. B. Kontrollintervall)

3.22**Messstation**

Räumlichkeit im Feld, in dem ein Kohlenmonoxid-Messgerät so installiert ist, dass sein Leistungsvermögen und seine Betriebsweise den vorgegebenen Anforderungen entsprechen

3.23

Parallelmessung

zwei Messungen mit verschiedenen Messgeräten am selben Probengasverteiler, die zur gleichen Zeit beginnen und zur gleichen Zeit enden

3.24

Leistungskenngröße

einer der der Messeinrichtung zugeordneten Parameter, die ihre Leistungsfähigkeit definieren

3.25

Leistungskriterium

einer Leistungskenngröße zugeordneter begrenzender quantitativer numerischer Wert, dessen Einhaltung geprüft wird

3.26

Kontrollintervall

Zeitspanne, über die die Drift innerhalb des Leistungskriteriums für die Langzeitdrift liegt

3.27

Wiederholpräzision (von Messergebnissen)

Ausmaß der gegenseitigen Annäherung zwischen Ergebnissen aufeinander folgender Einzelmessungen derselben Messgröße, ausgeführt unter denselben Bedingungen [1]

ANMERKUNG

Diese Bedingungen werden Wiederholbedingungen genannt und umfassen:

- dieselbe Messdurchführung;
- denselben Beobachter;
- dasselbe Messgerät, benutzt unter denselben Bedingungen;
- denselben Ort;
- Wiederholung innerhalb einer kurzen Zeitspanne.

3.28

Vergleichpräzision unter Feldbedingungen

Ausmaß der gegenseitigen Annäherung zwischen Ergebnissen gleichzeitiger Messungen von Luft mit zwei Messgeräten, ausgeführt unter denselben Bedingungen

ANMERKUNG 1

Diese Bedingungen werden Wiederholbedingungen genannt und umfassen:

- dieselbe Messdurchführung;
- zwei identische Messgeräte, benutzt unter denselben Bedingungen;
- dieselbe Messstation;
- das Kontrollintervall.

ANMERKUNG 2

In diesem Dokument wird die Vergleichpräzision im Feld als ein Wert mit einem Vertrauensniveau von 95 % angegeben.

3.29

Einstellzeit

Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt einer sprunghaften Änderung der Probenkonzentration am Einlass des Messgeräts und dem Zeitpunkt, an dem die Messwertanzeige ein Niveau erreicht, das 90 % der stabilen Messwertanzeige entspricht

3.30

Einstellzeit (Abfall)

Einstellzeit bei einer negativen sprunghaften Änderung

ANMERKUNG

Die Einstellzeit (Abfall) ist die Summe aus Totzeit (Abfall) und Abfallzeit.

3.31

Einstellzeit (Anstieg)

Einstellzeit bei einer positiven sprunghaften Änderung

ANMERKUNG

Die Einstellzeit (Anstieg) ist die Summe aus Totzeit (Anstieg) und Anstiegszeit.

3.32**Anstiegszeit**

Differenz zwischen Einstellzeit (Anstieg) und Totzeit (Anstieg)

3.33**Probenluft**

Luft, die durch den Probeneinlass und das Probenahmesystem als Probe genommen wurde

3.34**Probeneinlass**

Eingang einer Vorrichtung am Anfang eines Probenahmesystems, an dem die Probenluft eintritt

3.35**Kurzzeitdrift**

Differenz der Messwertanzeigen für Null- bzw. Spangas zu Beginn und am Ende einer Zeitspanne von 12 h

3.36**Standardunsicherheit**

als Standardabweichung ausgedrückte Unsicherheit eines Messergebnisses

[ENV 13005]

3.37**Umgebungstemperatur**

Temperatur der das Messgerät direkt umgebenden Luft (Temperatur innerhalb der Messstation oder des Labors)

3.38**Eignungsanerkennung**

Entscheidung einer benannten Stelle, dass das Baumuster eines Messgeräts den in diesem Dokument festgelegten Anforderungen entspricht

3.39**Eignungsprüfung**

Untersuchung von zwei oder mehr Messgeräten desselben Baumusters, die einer benannten Stelle von einem Hersteller zur Verfügung gestellt wurden; diese Untersuchung beinhaltet die zur Eignungsanerkennung notwendige Prüfung des Baumusters

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen.

A_a	Verfügbarkeit des Messgeräts;
a_v	mittlere Konzentration der Messgröße während der Feldprüfung;
b_{gp}	Empfindlichkeitskoeffizient des Messgeräts hinsichtlich der Änderung des Probengasdrucks;
b_{gt}	Empfindlichkeitskoeffizient des Messgeräts hinsichtlich der Änderung der Probengastemperatur;
b_{st}	Empfindlichkeitskoeffizient des Messgeräts hinsichtlich der Änderung der Umgebungstemperatur;
b_v	Empfindlichkeitskoeffizient des Messgeräts hinsichtlich der Änderung elektrischen Spannung;
C	CO-Konzentration des Messgases;
C_{p1}	mittlere Konzentration der Messungen beim Probengasdruck P_1 ;

C_{P2}	mittlere Konzentration der Messungen beim Probengasdruck P_2 ;
$C_{s,1}$	mittlere Konzentration der Messungen beim Spannniveau zu Beginn der Driftzeitspanne;
$C_{s,2}$	mittlere Konzentration der Messungen beim Spannniveau am Ende der Driftzeitspanne;
c_i	Prüfgaskonzentration;
C_{T1}	mittlere Konzentration der Messungen bei der Probengastemperatur T_1 ;
C_{T2}	mittlere Konzentration der Messungen bei der Probengastemperatur T_2 ;
C_{V1}	mittlere Konzentration der Messungen bei der Spannung V_1 ;
C_{V2}	mittlere Konzentration der Messungen bei der Spannung V_2 ;
$C_{z,1}$	mittlere Konzentration der Messungen des Nullgases zu Beginn der Driftzeitspanne;
$C_{z,2}$	mittlere Konzentration der Messungen des Nullgases am Ende der Driftzeitspanne;
C_{const}^{av}	Mittelwert von mindestens vier unabhängigen Messungen während der Zeitspanne konstanter Konzentration (t_c);
C_{var}^{av}	Mittelwert von mindestens vier unabhängigen Messungen während der Zeitspanne variabler Konzentration (t_v);
$\overline{d_f}$	mittlere Differenz von Parallelmessungen;
$d_{f,i}$	i -te Differenz einer Parallelmessung;
$D_{l,s}$	Langzeitdrift bei der Span-Konzentration c_i ;
$D_{l,z}$	Langzeitdrift bei null;
$D_{s,s}$	Kurzzeitdrift beim Spannniveau;
$D_{s,z}$	Kurzzeitdrift bei null;
D_{sc}	Differenz Proben-/Kalibriereingang;
E_{ss}	Wirkungsgrad des Probenahmesystems;
F_r	Responsefaktor des Messgeräts, angegeben als Konzentration je Spannungseinheit;
P_1	Probengasdruck P_1 ;
P_2	Probengasdruck P_2 ;
R_d	mittleres Signal des Messgeräts gegenüber dem Prüfgas bei direkter Probenahme durch das Messgerät;
R_m	mittleres Signal des Messgeräts gegenüber dem Prüfgas bei Probenahme über den Probengasverteiler;
$s_{r,z}$	Wiederholstandardabweichung bei null;
$s_{r,ct}$	Wiederholstandardabweichung bei der Konzentration c_i ;

$s_{r,f}$	Vergleichstandardabweichung unter Feldbedingungen;
s_l	Wiederholstandardabweichung;
T	Umgebungstemperatur;
T_1	Probengastemperatur T_1 ;
T_2	Probengastemperatur T_2 ;
T_l	Umgebungstemperatur im Labor;
t_d	relative Differenz zwischen Einstellzeit (Anstieg) und Einstellzeit (Abfall);
t_f	Einstellzeit (Abfall);
$t_{n-1, 0,05}$	zweiseitiger Studentfaktor bei einem Vertrauensniveau von 0,05, mit $n - 1$ Freiheitsgraden;
t_r	Einstellzeit (Anstieg);
t_t	Zeitspanne für die Feldprüfung, abzüglich der Zeit für Kalibrierung, Konditionierung und Wartung;
t_u	gesamte Zeitspanne mit validen Messdaten;
t_V	Gesamtzahl von t_{CO^-} und t_{zero} -Paaren;
V_1	vom Hersteller angegebene Mindestspannung V_{min} (V);
V_2	vom Hersteller angegebene Höchstspannung V_{max} (V);
$\bar{x}$	Mittelwert der Messungen;
x_1	erster Mittelwert der Messungen bei T_l direkt nach der Kalibrierung;
x_2	zweiter Mittelwert der Messungen bei T_l direkt vor der Kalibrierung;
x_{ct}	Mittelwert der Messungen bei der Konzentration c_i ;
X_{av}	Mittelungseinfluss;
x_c	Mittelwert der Messungen bei Verwendung des Kalibriereingangs;
$X_{CO_2,z,ct}$	Störeinfluss von CO_2 der Konzentration 500 $\mu\text{mol/mol}$;
$X_{H_2O,z,ct}$	Störeinfluss von H_2O der Konzentration 19 mmol/mol ;
x_i	i -te Messung;
$X_{int,ct}$	Störeinfluss der Störkomponente bei der Konzentration c_i ;
$X_{int,z}$	Störeinfluss der Störkomponente bei null;
X_l	„lack of fit“ (größte Abweichung von der linearen Regressionsfunktion);
$X_{NO,z,ct}$	Störeinfluss von NO der Konzentration 1 $\mu\text{mol/mol}$;
$X_{N_2O,z,ct}$	Störeinfluss von N_2O der Konzentration 50 nmol/mol ;

x_s	Mittelwert der Messungen bei Verwendung des Probeneingangs;
X_s	Differenz zwischen den Geräteanzeigen der letzten Null-Prüfung und der letzten Kalibrierung;
x_T	Mittelwert der Messungen bei $T_{\min}$ oder $T_{\max}$;
X_z	Differenz zwischen den Geräteanzeigen bei zwei aufeinander folgenden Null-Prüfungen;
$(x_{1,i})_i$	i -tes Messergebnis von Messgerät 1;
$(x_{2,i})_i$	i -tes Messergebnis von Messgerät 2 zum selben Zeitpunkt wie die Messung von Messgerät 1;
Z_1	Geräteanzeige der ersten Null-Prüfung;
Z_2	Geräteanzeige der zweiten Null-Prüfung;
ΔP_m	gemessener, durch die Pumpe des Probengasverteilers hervorgerufener Druckabfall;
ΔR_a	Änderung des Messgerätsignals durch den Einfluss des durch die Pumpe des Probengasverteilers hervorgerufenen Druckabfalls, angegeben in Prozent.

5 Kurzbeschreibung

5.1 Allgemeines

Dieses Dokument beschreibt das Verfahren zur Messung der Konzentration von Kohlenmonoxid in Luft mit nicht-dispersiver Infrarotspektrometrie. Die Anforderungen, die spezifischen Bauteile des NDIR-Spektrometers und sein Probenahmesystem werden beschrieben. Die relevanten Leistungskenngrößen und die zugehörigen Mindestanforderungen werden angegeben. Die tatsächlichen Werte dieser Leistungskenngrößen für einen bestimmten Messgerätetyp müssen mit einer Eignungsprüfung bestimmt werden; die Prüfverfahren hierfür werden beschrieben. Die Eignungsprüfung umfasst Prüfungen im Labor und im Feld. Die Auswahl eines eignungsgeprüften Messgeräts für eine spezifische Messaufgabe im Feld basiert auf der Berechnung der erweiterten Messunsicherheit des Messverfahrens. Zur Berechnung dieser erweiterten Messunsicherheit werden die tatsächlichen Werte der verschiedenen Leistungskenngrößen des eignungsgeprüften Messgeräts und die lokalen Bedingungen an der Messstation herangezogen. Die erweiterte Messunsicherheit muss die Anforderungen der EU-Gesetzgebung erfüllen. Anforderungen und Empfehlungen zur Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle für Messungen im Feld werden angegeben (siehe 9.4).

5.2 Messprinzip

Die CO-Konzentration in der Luft wird mit dem nicht-dispersiven Infrarot-Verfahren gemessen. Die Abschwächung von infrarotem Licht bei der Passage durch eine Probenküvette ist nach dem Lambert-Beerschen Gesetz ein Maß für die CO-Konzentration in der Küvette. Nicht nur CO, sondern auch die meisten heteroatomogenen Moleküle absorbieren infrarotes Licht. Insbesondere Wasser und CO₂ weisen breite Banden auf, die die Messung von CO stören können. Verschiedene technische Lösungen wurden entwickelt, um Querempfindlichkeiten, Instabilität und Drift zu unterdrücken, so dass geeignete kontinuierliche Messsysteme zur Verfügung stehen. Zum Beispiel:

- Messung der IR-Absorption einer spezifischen Wellenlänge (4,7 μm für CO);
- Zwei-Küvetten-Messgeräte mit einer mit reiner Luft gefüllten Referenzküvette (Kompensation der Drift);
- Gasfilterkorrelation, Messung über einen Bereich von Wellenlängen.

Es ist besonders auf Infrarotstrahlung absorbierende Gase wie z. B. Wasserdampf, Kohlendioxid, Stickstoffdioxid und Kohlenwasserstoffe zu achten.

Die Konzentration von Kohlenmonoxid wird in Volumen/Volumen-Einheiten gemessen (falls das Messgerät mit einem Volumen/Volumen-Standard kalibriert wurde). Die Endergebnisse im Messbericht werden in mg/m^3 angegeben, wobei Standardumrechnungsfaktoren (siehe Abschnitt 10) verwendet werden.

5.3 Eignungsprüfung

Die Eignungsprüfung beruht auf der Bewertung von Leistungskenngrößen, die mit vorgeschriebenen Prüfverfahren bestimmt werden. In diesem Dokument werden Prüfverfahren zur Bestimmung der Leistungskenngrößen von mindestens zwei Messgeräten in der Laborprüfung und zwei Messgeräten in der Feldprüfung beschrieben. Diese Prüfungen müssen von einer benannten Stelle durchgeführt werden. Die Bewertung für die Eignungsanerkennung eines Messgeräts beruht auf der Berechnung der erweiterten Messunsicherheit, die aus den numerischen Werten der geprüften Leistungskenngrößen abgeleitet und mit einer vorgegebenen maximal zulässigen Unsicherheit verglichen wurde.

Die Eignungsanerkennung eines Messgeräts sowie die nachfolgenden Qualitätssicherungs- und Qualitätskontrollmaßnahmen belegen, dass die in den relevanten EU-Richtlinien hinsichtlich der Datenqualität definierten Anforderungen erfüllt werden können.

Der experimentelle Nachweis muss durch

- Eignungsprüfungen, die unter den Bedingungen des beabsichtigten Einsatzes des festgelegten Messverfahrens durchgeführt werden, und
- die Berechnung der erweiterten Messunsicherheit unter Bezug auf ENV 13005

erfolgen.

5.4 Feldbetrieb und Qualitätskontrolle

Vor der Installation und dem Betrieb eines eignungsgeprüften Messgeräts in einer Messstation muss die erweiterte Messunsicherheit mit den bei der Eignungsprüfung ermittelten Leistungskenngrößen und den lokalen Bedingungen an der Messstation berechnet werden. Mit dieser Berechnung ist die Eignung eines eignungsgeprüften Messgeräts für seinen Einsatz unter den in dieser spezifischen Messstation geltenden Randbedingungen nachzuweisen.

Nach der Installation des eignungsgeprüften Messgeräts in der Messstation ist sein ordnungsgemäßer Betrieb zu prüfen.

Um sicherzustellen, dass die Unsicherheit der im Feld ermittelten Messergebnisse den zulässigen Wert einhält, werden die Anforderungen zur Qualitätssicherung und -kontrolle beim Betrieb und bei der Wartung des Probenahmesystems und des Messgeräts angegeben.

6 Probenahmeeinrichtung

6.1 Allgemeines

Für das NDIR-Messgeräts in der Messstation kann ein individueller Probeneinlass verwendet werden. Alternativ kann die Probenahme aus einem gemeinsamen Probeneinlass mit einem Probengasverteiler, an den auch andere Geräte angeschlossen werden können, erfolgen. Die Betriebsbedingungen und die Bauweise der Probenahmeeinrichtung tragen zur erweiterten Messunsicherheit bei; um diesen Beitrag zu minimieren, werden in den folgenden Abschnitten Leistungskriterien für die Probenahmeeinrichtung sowie die erforderlichen Probenahmebedingungen angegeben.

ANMERKUNG ^s In Anhang B sind unterschiedliche Probenahmeeinrichtungen schematisch dargestellt.

6.2 Probenahmeort

Der Ort der Probenahme und Analyse wird nicht vorgegeben, da dieser von den Messanforderungen abhängt (z. B. Messungen in ländlichen Gebieten oder in einem Gebiet mit städtischem Hintergrund).

ANMERKUNG Leitlinien für die Auswahl von lokalen Probenahmestellen sind im Anhang C angegeben.

6.3 Probeneinlass und Probenahmeleitung

Das Probenahmeverfahren oder die Probenahmeeinrichtung werden hier nicht im Detail beschrieben; stattdessen werden Mindestanforderungen für die Probenahmeeinrichtung angegeben.

Der Probeneinlass muss so konstruiert sein, dass nicht Regenwasser in das Probenahmesystem eindringen kann. Die Probenahmeleitung muss so kurz wie praktisch möglich sein, um die Verweilzeit zu minimieren.

Das Material des Probeneinlasses und der Probenahmeleitung (oder des -systems) kann die Zusammensetzung der Probe beeinflussen. Deshalb müssen Materialien wie Polytetrafluorethen (PTFE), Perfluorethylenpropylen (FEP), Borsilikatglas oder nicht rostender Stahl verwendet werden. Der durch Verluste hervorgerufene Einfluss des Probenahmesystems auf die gemessene Kohlenmonoxidkonzentration muss kleiner als 2 % sein.

ANMERKUNG Die Probenahmeleitung kann mäßig beheizt werden, um Kondensationen zu vermeiden. Kondensationen können bei hoher Außentemperatur und/oder Feuchte auftreten.

Der Einfluss des durch die Probenahmeleitung einschließlich des Filters verursachte Druckabfall muss kleiner als 1 % des Ausgangssignals des Messgeräts sein.

Falls ein Probengasverteiler eingesetzt wird, ist eine zusätzliche Pumpe mit ausreichender Leistung erforderlich, um die in den vorhergehenden Abschnitten festgelegten Anforderungen an die Probenahme zu erfüllen (siehe auch Anhang B).

Je nach Anordnung des Partikelfilters im Probenahmesystem (siehe 6.4) kann die Probenahmeleitung durch Staubablagerungen verunreinigt werden, was zu CO-Verlusten in der Probenahmeleitung führen kann. Die Häufigkeit der Reinigung des Probenahmesystems (siehe 9.4.2) hängt von den lokalen Bedingungen ab.

Die Probenahmeleitung, der Probengasverteiler und das Filter müssen (bei der Erstinstallation und nach jeder Reinigung) konditioniert werden, um eine vorübergehende Abnahme der gemessenen CO-Konzentration zu vermeiden. Probenahmeleitung und Filter müssen mit Außenluft über eine Zeitspanne von mindestens 30 min beim Nenndurchfluss des Probengases konditioniert werden. Die während dieser Zeitspannen gemessenen Konzentrationen dürfen nicht in die Berechnung der Stunden- oder Jahresmittel eingehen.

Die Zeit für die Konditionierung darf nicht in die Berechnung der Verfügbarkeit des Messgeräts während der Eignungsprüfung (8.5.7) und während des Betriebs im Feld (11.2.3) eingehen. Die Konditionierung der Bauteile kann auch bereits im Labor vor der Installation im Probenahmesystem erfolgen.

6.4 Partikelfilter

Das Partikelfilter muss in der Probenahmeleitung vor dem Probeneinlass des Messgeräts angeordnet werden. Es muss alle Partikel zurückhalten, die die Leistung des Messgeräts beeinträchtigen könnten. Es muss aus PTFE sein. Das Material des Filtergehäuses muss gegenüber CO chemisch inert sein.

ANMERKUNG 1 Filter mit einer Porengröße von 5 µm erfüllen üblicherweise diese Anforderung.

ANMERKUNG 2 Geeignete Materialien für das Filtergehäuse sind z. B. PTFE, PFA, FEP und Borsilikatglas.

Das Partikelfilter muss regelmäßig ausgewechselt werden, wobei die Häufigkeit des Wechsels von der Staubbelastung an der Probenahmestelle abhängt (siehe 9.4.2). Das Filtergehäuse ist mindestens alle sechs Monate zu reinigen. Eine Überladung des Partikelfilters kann Kohlenmonoxidverluste durch Adsorption auf den Partikeln verursachen und den Druckabfall in der Probenahmeleitung vergrößern.

6.5 Steuerung und Regelung des Probendurchflusses

Der Probendurchfluss muss den Angaben des Geräteherstellers entsprechen.

6.6 Pumpe für den Probengasverteiler

Bei Verwendung eines Probengasverteilers ist eine Pumpe (oder Ventilator) zur Probenahme der Luft und zum Durchsaugen der Probenluft durch den Probengasverteiler erforderlich. Der Einlass der Pumpe (oder des Ventilators) muss am Ende des Probengasverteilers angeordnet sein (siehe Anhang B). Die Pumpe oder der Ventilator muss eine ausreichende Leistung aufweisen, um sicherzustellen, dass alle an den Probengasverteiler angeschlossenen Messgeräte mit der erforderlichen Luftmenge versorgt werden und dass die Verweilzeit der Probe vom Einlass bis zum Eintritt in das Messgerät weniger als 5 Sekunden beträgt. Um die Funktion dieser Pumpe zu überwachen, wird die Installation eines Durchflussalarmsystems empfohlen. Ein Beispiel für einen Probengasverteiler ist im Anhang B gegeben.

Der Einfluss des durch diese Pumpe verursachten Druckabfalls auf die gemessene Konzentration muss $< 1 \%$ sein.

7 Messgerät

7.1 Allgemeines

Im Anhang D sind 2 Typen von NDIR-Messgeräten schematisch dargestellt.

Das NDIR-Messgerät besteht aus den in 7.3 bis 7.6 beschriebenen Hauptkomponenten.

7.2 Störungen durch Infrarotstrahlung absorbierende Gase

7.2.1 Allgemeines

Da verschiedene Gase Infrarotstrahlung absorbieren, können Störungen durch diese Gase auftreten, wenn ihre IR-Absorptionsbanden mit denen von CO übereinstimmen oder überlappen. Der Grad der Störung unterscheidet sich bei den verschiedenen NDIR-Photometern. Im Allgemeinen sind Gaskorrelations-Spektrophotometer weniger empfindlich gegenüber dem Einfluss von Störungen (siehe 5.2).

7.2.2 Wasserdampf

Die Haupt-Störkomponente ist Wasserdampf.

ANMERKUNG Die Störung durch Wasserdampf kann durch Anwendung einer oder mehrerer der folgenden Maßnahmen minimiert werden:

- Trocknen der Probenluft mit einer semipermeablen Membran oder einem ähnlichen Trockenmittel;
- Aufrechterhalten einer konstanten Feuchte in der Probe und den Prüfgasen durch Kühlen oder Sättigen und Durchführen einer Volumenkorrektur für konstante feuchte;
- Verwendung von engbandigen optischen Filtern.

7.2.3 Kohlendioxid

Kohlendioxid (CO₂) kann Störungen verursachen.

ANMERKUNG Der Einfluss von CO₂ ist bei den normalerweise in Luft vorhandenen Konzentrationen minimal; 340 µmol/mol Volumenanteil können ein Signal des Messgeräts hervorrufen, das 0,2 µmol/mol Volumenanteilen CO₂ entspricht [3]. Sofern erforderlich, kann das CO₂ mit Natronkalk entfernt werden.

7.2.4 Kohlenwasserstoffe

Kohlenwasserstoffe stören bei den normalerweise in Luft vorhandenen Konzentrationen üblicherweise nicht.

ANMERKUNG 500 µmol/mol Volumenanteil Methan können ein Signal des Messgeräts hervorrufen, das 0,5 µmol/mol Volumenanteilen CO₂ entspricht [3].

7.3 Details zum Messgerät

Die Hauptkomponenten des Messgeräts sind eine Infrarotquelle, eine oder zwei Absorptionsküvetten, ein Infrarotdetektor sowie ein Chopperrad zur Modulation der auf den IR-Detektor gerichteten Strahlung.

Im Allgemeinen besteht die Infrarotquelle aus einer Glühwendel mit einer Optik zur Aufteilung des IR-Strahls in zwei Strahlen gleicher Intensität im Falle von Zwei-Küvetten-Messgeräten.

Der IR-Detektor kann beispielsweise ein pneumatischer Detektor sein, der die von der Probenküvette und der Referenzküvette (im Falle eines Zwei-Küvetten-Messgeräts) kommende Strahlung selektiv registriert. Dieser Detektor besteht aus einer mit CO in hoher Konzentration gefüllten Küvette, die mit einer Kompensationsküvette (siehe 5.2) verbunden ist.

Die IR-Quelle, die Absorptionsküvetten und der Detektor müssen schwingungsfrei montiert sein.

Die in dem Messgerät verwendeten Materialien müssen gegenüber Korrosion inert sein.

7.4 Druckmessung

Das Ausgangssignal des Messgeräts ist proportional zur Dichte von CO (Anzahl der CO-Moleküle) in der Absorptionsküvette und hängt vom Druck in der Absorptionsküvette ab. Änderungen des inneren Drucks müssen gemessen und das Signal entsprechend korrigiert werden.

7.5 Durchflussanzeiger

Das Messgerät muss mit einem Durchflussanzeiger ausgestattet sein.

7.6 Probengaspumpe des Messgeräts

Die Probengaspumpe ist am Auslass des Messgeräts angeordnet und saugt die Probenluft durch das Messgerät. Sie kann ein eigenständiges Gerät oder ein Bauteil des Messgeräts sein. Auf jeden Fall muss sie den vom Gerätehersteller angegebenen Durchflussanforderungen genügen und bei den für die NDIR-Absorptionsküvette erforderlichen Druckbedingungen betrieben werden können.

8 Eignungsanerkennung von NDIR-Messgeräten

8.1 Allgemeines

Bei der Bestimmung der Konzentration von Kohlenmonoxid in Luft muss die von der EU-Gesetzgebung vorgegebene maximal zulässige Messunsicherheit eingehalten werden. Um zu erreichen, dass die Unsicherheit kleiner (oder gleich) diesem zulässigen Wert ist, muss das UV-Photometer alle Kriterien für die in dieser Norm angegebenen Leistungskenngrößen erfüllen. Diese ausgewählten Leistungskenngrößen werden mit Labor- und Feldprüfungen ermittelt. Durch Berechnung der Unsicherheit aus der Kombination dieser Leistungskenngrößen kann beurteilt werden, ob ein UV-Photometer das Kriterium der maximal zulässigen Unsicherheit einhält.

Das Verfahren der Beurteilung der Leistungskenngrößen (Eignungsprüfung) umfasst Labor- und Feldprüfungen sowie die Berechnung der erweiterten Messunsicherheit. Mindestens zwei Messgeräte sind im Labor und zwei Messgeräte desselben Typs sind im Feld zu prüfen. Alle geprüften Messgeräte müssen die Prüfung bestehen.

Die Eignungsprüfungen werden durch eine benannte Stelle durchgeführt. Die Eignungsanerkennung wird von oder im Auftrag der zuständigen Behörde ausgesprochen.

ANMERKUNG Das benannte Laboratorium sollte für diese Aktivitäten nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert sein.

8.2 Relevante Leistungskenngrößen und Leistungskriterien

Die bei den Labor- und Feldprüfungen zu bestimmenden Leistungskenngrößen sowie die Leistungskriterien sind in Tabelle 1 angegeben. Die Leistungskenngrößen müssen von einem benannten Laboratorium nach den in 8.4 und 8.5 beschriebenen Verfahren bestimmt werden.

Tabelle 1 — Relevante Leistungskenngrößen und Leistungskriterien

Nr.	Leistungskenngröße	Symbol	Abschnitt	Labor	Feld	Leistungskriterium für CO
1	Wiederholstandardabweichung bei null	$s_{r,z}$	8.4.5	x		$\leq 1,0 \mu\text{mol/mol}$
2	Wiederholstandardabweichung bei der Konzentration c_i (beim Niveau des 8-Stunden-Grenzwerts)	$s_{r,ct}$	8.4.5	x		$\leq 3,0 \mu\text{mol/mol}$
3	„lack of fit“ (Abweichung von der linearen Regressionsfunktion)		8.4.6	x		
3a	Größte Abweichung von der linearen Regressionsfunktion bei Konzentrationen größer als null	X_l		x		$\leq 4,0 \%$ des Messwerts
3b	Abweichung bei null	$x_{l,z}$		x		$\leq 0,20 \mu\text{mol/mol}$
4	Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks	b_{gp}	8.4.7	x		$\leq 0,70 \mu\text{mol/mol/kPa}$
5	Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur	b_{gt}	8.4.8	x		$\leq 0,30 \mu\text{mol/mol/K}$
6	Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur	b_{st}	8.4.9	x		$\leq 0,30 \mu\text{mol/mol/K}$
7	Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung	b_v	8.4.10	x		$\leq 0,30 \mu\text{mol/mol/V}$
8	Störkomponenten bei null und der Konzentration c_i (beim Niveau des 8-Stunden-Grenzwerts) ^a		8.4.11			
8a	H ₂ O, Konzentration 19 mmol/mol ^d	$X_{\text{H}_2\text{O},z,ct}$		x		$\leq 1,0 \mu\text{mol/mol}$
8b	CO ₂ , Konzentration 500 $\mu\text{mol/mol}$	$X_{\text{CO}_2,z,ct}$		x		$\leq 0,50 \mu\text{mol/mol}$
8c	NO, Konzentration 1 $\mu\text{mol/mol}$	$X_{\text{NO},z,ct}$		x		$\leq 0,50 \mu\text{mol/mol}$
8d	N ₂ O, Konzentration 50 nmol/mol	$X_{\text{N}_2\text{O},z,ct}$		x		$\leq 0,50 \mu\text{mol/mol}$
9	Mittelungseinfluss	X_{av}	8.4.12	x		$\leq 7,0 \%$ des Messwerts
10	Vergleichsstandardabweichung unter Feldbedingungen	$s_{r,f}$	8.5.5		x	$\leq 5,0 \%$ des Mittels über eine Zeitspanne von drei Monaten
11	Langzeitdrift bei null	$D_{l,z}$	8.5.4		x	$\leq 0,50 \mu\text{mol/mol}$

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Nr.	Leistungskenngröße	Symbol	Abschnitt	Labor	Feld	Leistungskriterium für CO
12	Langzeitdrift beim Spannniveau ^c	$D_{l,s}$	8.5.4		x	≤ 5,0 % des Maximums des Zertifizierungsbereichs
13	Kurzzeitdrift bei null	$D_{s,z}$	8.4.4	x		≤ 0,10 µmol/mol über 12 h
14	Kurzzeitdrift beim Spannniveau ^c	$D_{s,s}$	8.4.4	x		≤ 0,60 µmol/mol über 12 h
15	Einstellzeit (Anstieg)	t_r	8.4.3	x		≤ 180 s
16	Einstellzeit (Abfall)	t_f	8.4.3	x		≤ 180 s
17	Differenz zwischen Anstiegs- und Abfallzeit	t_d	8.4.3	x		≤ 10 % relative Differenz oder 10 s, je nachdem., welcher Wert größer ist
18	Differenz Proben-/Kalibriereingang ^d	D_{sc}	8.4.13	x		≤ 1,0 %
19	Kontrollintervall		8.5.6		x	3 Monate oder weniger, falls der Hersteller eine kürzere Zeitspanne angibt, aber nicht weniger als 2 Wochen
20	Verfügbarkeit des Messgeräts	A_a	8.5.7		x	> 90 %
^a Das Leistungskriterium gilt bei null und beim Spannniveau. ^b Eine H ₂ O-Konzentration von 19 mmol/mol entspricht etwa 80 % relativer Luftfeuchte bei 293 K und 101,3 kPa. ^c Das Spannniveau ist 70 % bis 80 % des Zertifizierungsbereichs. ^d Sofern relevant.						
ANMERKUNG µmol/mol = ppm; nmol/mol = ppb						

8.3 Änderungen am Messgerät

Der Hersteller muss die zuständige Behörde über jede Änderung des eignungsgeprüften Messgeräts informieren. Dabei sind der Grund für die Änderung sowie die erwarteten Konsequenzen hinsichtlich der in Tabelle 1 genannten Leistungskenngrößen mitzuteilen. Die zuständige Behörde entscheidet, ob neue Prüfungen erforderlich sind. Von der Berichtspflicht ausgeschlossen sind Änderungen

- am Material des Rahmens (Gehäuses);
- bei elektronischen Verbindungselementen;
- bei Schrauben, Muttern, Kabelverbindungen und anderen Befestigungsmaterialien.

8.4 Verfahren zur Bestimmung der Leistungskenngrößen bei der Laborprüfung

8.4.1 Allgemeines

Die Bestimmung der Leistungskenngrößen im Labor als Teil der Eignungsprüfung ist von einer benannten Stelle durchzuführen. Die Qualität der bei den beschriebenen Prüfverfahren benutzten Materialien und der Ausrüstung muss die in diesem Dokument angegebenen Anforderungen erfüllen. Die Laborprüfung ist mit mindestens zwei Messgeräten durchzuführen.

8.4.2 Prüfbedingungen

8.4.2.1 Allgemeines

Vor Inbetriebnahme des Messgeräts ist die Betriebsanleitung des Herstellers insbesondere hinsichtlich der Aufstellung des Geräts und der Qualität und Menge des erforderlichen Verbrauchsmaterials zu befolgen.

Vor Durchführung der Prüfungen ist die vom Hersteller festgelegte Einlaufzeit einzuhalten. Falls die Einlaufzeit nicht festgelegt ist, wird eine Mindestzeit von 4 h empfohlen.

Vor der Aufgabe von Prüfgasen auf das Messgerät muss das Prüfgassystem ausreichend lange betrieben worden sein, um stabile Konzentrationen liefern zu können.

Die meisten Messsysteme können das Ausgangssignal als fließenden Mittelwert einer einstellbaren Zeitspanne ausgeben. Einige Systeme passen diese Integrationszeit automatisch als Funktion der Frequenz der Konzentrationsschwankungen der gemessenen Komponente an. Diese Optionen werden typischerweise zur Glättung der Ausgabedaten verwendet. Es ist zu belegen, dass der eingestellte Wert für die Mittelungszeit oder die Verwendung eines aktiven Filters das Ergebnis der Prüfung der Mittelungszeit und der Einstellzeit nicht beeinflussen.

Während der Labor- und Feldprüfungen der Eignungsprüfung müssen die Geräteeinstellungen den Herstellerangaben entsprechen. Alle Einstellungen sind im Prüfbericht festzuhalten.

8.4.2.2 Parameter

Während der Prüfung für jede einzelne Leistungskenngröße müssen folgende Parameter innerhalb des in Tabelle 2 angegebenen Bereichs stabil sein.

Tabelle 2 — Festgelegte Werte und Stabilität der Prüfparameter

Parameter	Festgelegte Werte	Stabilität
Probengasdruck	Herstellerangaben (mit Ausnahme der Probengasdruckprüfung, siehe 8.4.7)	$\pm 0,2$ kPa
Probengastemperatur	20 °C bis 23 °C (mit Ausnahme der Probengastemperaturprüfung, siehe 8.4.8)	± 2 °C
Umgebungstemperatur	20 °C bis 23 °C (mit Ausnahme der Umgebungstemperaturprüfung, siehe 8.4.9)	± 2 °C
Elektrische Spannung ^a	bei Nennspannung und innerhalb der Angaben des Herstellers (mit Ausnahme der Prüfung der Spannungsabhängigkeit, siehe 8.4.10)	± 1 %
Probengasdurchfluss zum Messgerät	Herstellerangaben	± 1 %
^a Für ein mit Gleichstrom betriebenes Messgerät muss die Prüfung bezüglich der Spannungsänderung über den Bereich von ± 10 % der Nennspannung durchgeführt werden.		

8.4.2.3 Prüfgase und Verfahren

Zur Bestimmung der verschiedenen Leistungskenngrößen sind auf nationale Standards rückführbare Prüfgase ((synthetische) Luft mit einer bestimmten CO-Konzentration) zu verwenden, sofern in diesem Dokument nichts anderes festgelegt ist. Verschiedene Verfahren zur Herstellung von Prüfgasen sind in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3 — Verfahren zur Herstellung von Prüfgasen

Verfahren	Beschreibung	Norm
Gasflasche	Druckgasflasche (CO-Gasgemisch in (synthetischer) Luft)	ISO 6143
Statische Verdünnung	Herstellung durch Injektion bekannter Mengen von CO in ein bekanntes Volumen von Luft	ISO 6144
Dynamische Verdünnung	Dynamische Vermischung von Gas aus Druckgasflaschen mit (synthetischer) Luft, Nullluft	ISO 6145

Die Unsicherheiten der für die Labor- und Feldprüfungen verwendeten Null- und Spangase dürfen nicht signifikant sein. Mögliche Verunreinigungen von Null- und Spangas dürfen die Ergebnisse der Laborprüfung nicht signifikant beeinflussen. Deshalb müssen die Null- und Spangase den folgenden Anforderungen genügen:

Maximal zulässige Unsicherheit der Konzentration der für die Laborprüfung eingesetzten Gase: $\pm 3 \%$.

Die erforderliche Reinheit der Prüfgase und des Nullgases sind in Tabelle 4 als absolute Werte angegeben.

Tabelle 4a — Erforderliche Reinheit des Spangases

Verunreinigung	Konzentration
CO ₂	< 4 µmol/mol
NO	< 1 nmol/mol
N ₂ O	< 0,5 nmol/mol
Wasser	< 150 µmol/mol

Tabelle 4b — Erforderliche Reinheit des Nullgases

Verunreinigung	Konzentration
CO ₂	< 4 µmol/mol
NO	< 1 nmol/mol
N ₂ O	< 0,5 nmol/mol
Wasser	< 150 µmol/mol
CO	< 0,1 µmol/mol

ANMERKUNG Es ist ratsam, die Feldprüfung mit dem gleichen, ausschließlich für diese Prüfungen reservierten Satz von Druckgasflaschen und Nullgasgeneratoren durchzuführen. Die Stabilität von Null- und Spangas sollte über eine Zeitspanne, die länger als die Prüfzeitspanne ist, garantiert sein.

8.4.3 Einstellzeit

8.4.3.1 Allgemeine Anforderungen

Die Einstellzeit des Messgeräts muss bei dem vom Hersteller angegebenen Nennvolumendurchfluss bestimmt werden.

Der Probendurchfluss ist entsprechend der Anforderung nach 8.4.2 ($\pm 1 \%$) während der Prüfung konstant zu halten.

8.4.3.2 Prüfverfahren

Zur Bestimmung der Einstellzeit wird die auf das Messgerät aufgegebene Konzentration sprunghaft von weniger als 20 % auf ungefähr 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereichs geändert, und umgekehrt (siehe Bild 1).

Der Wechsel von Null- auf Spangas muss unmittelbar unter Verwendung eines geeigneten Ventils durchgeführt werden. Der Ventilauslass muss direkt am Einlass des Messgeräts montiert sein und sowohl Null- als auch Spangas müssen mit dem gleichen Überschuss angeboten werden, der mit Hilfe eine T-Stücks abgeleitet wird. Die Gasdurchflüsse von Null- und Spangas müssen so gewählt werden, dass die Totzeit im Ventil und im T-Stück im Vergleich zur Totzeit des Messgeräts vernachlässigbar ist. Der sprunghafte Wechsel wird durch Umschalten des Ventils von Null- auf Spangas herbeigeführt. Dieser Vorgang muss zeitlich abgestimmt sein und ist der Startpunkt ($t = 0$) für die Totzeit (Anstieg) nach Bild 1. Wenn das Gerät 98 % der aufgegebenen Konzentration anzeigt, kann wieder auf Nullgas umgestellt werden und dieser Vorgang ist der Startpunkt ($t = 0$) für die Totzeit (Abfall). Wenn das Gerät 2 % der aufgegebenen Konzentration anzeigt, ist der in Bild 1 gezeigte Zyklus vollständig abgelaufen.

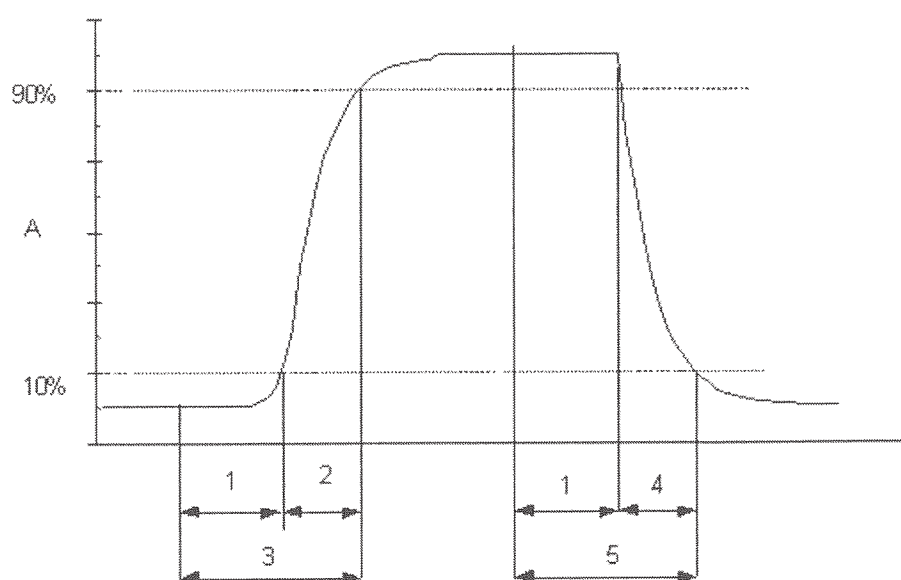
Die relative Differenz zwischen den Einstellzeiten wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$t_d = \left| \frac{t_r - t_f}{t_r} \right| \times 100 \quad (1)$$

Dabei ist

- t_d die relative Differenz zwischen Einstellzeit (Anstieg) und Einstellzeit (Abfall) (%);
- t_r die Einstellzeit (Anstieg) (Mittelwert von 4 Messungen) (s);
- t_f die Einstellzeit (Abfall) (Mittelwert von 4 Messungen) (s).

t_r , t_f und t_d müssen die in Tabelle 1 angegebenen Leistungskriterien erfüllen.



Legende

- A Signal des Messgeräts
- 1 Totzeit
- 2 Anstiegszeit
- 3 Einstellzeit (Anstieg)
- 4 Abfallszeit *
- 5 Einstellzeit (Abfall)

Bild 1 — Veranschaulichung der Einstellzeit

8.4.4 Kurzzeitdrift

Nach der zur Stabilisierung erforderlichen Zeit (8.4.2.1) wird das Messgerät beim Null- und Spanniveau (etwa 70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereichs) eingestellt. Nach der Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, werden 20 Einzelmessungen zuerst bei null und dann bei der Span-Konzentration durchgeführt. Aus diesen 20 Einzelmessungen wird jeweils der Mittelwert für das Null- und Spanniveau berechnet.

Das Messgerät ist unter den Laborbedingungen (8.4.2.2) in Betrieb zu halten. Nach einer Zeitspanne von 12 h werden Null- und Spangas auf das Messgerät aufgegeben. Nach einer Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, werden 20 Einzelmessungen zuerst bei null und dann bei der Span-Konzentration durchgeführt. Die Mittelwerte für Null- und Spanniveau werden berechnet.

ANMERKUNG Diese Prüfung zeigt, dass die Drift nicht der dominierende Faktor bei den Prüfergebnissen ist.

Die Kurzzeitdrift beim Null- und Spanniveau ist:

$$D_{s,z} = (C_{z,2} - C_{z,1}) \quad (2)$$

Dabei ist

$D_{s,z}$ die 12-Stunden-Drift beim Nullniveau ($\mu\text{mol/mol}$);

$C_{z,1}$ der Mittelwert der Nullgasmessungen zu Beginn der Driftzeitspanne (direkt nach der Kalibrierung) ($\mu\text{mol/mol}$);

$C_{z,2}$ der Mittelwert der Nullgasmessungen am Ende der Driftzeitspanne (12 h) ($\mu\text{mol/mol}$).

$D_{s,z}$ muss das in Tabelle 1 angegebene Leistungskriterium erfüllen.

$$D_{s,s} = (C_{s,2} - C_{s,1}) - D_{s,z} \quad (3)$$

Dabei ist

$D_{s,s}$ die 12-Stunden-Drift beim Spanniveau ($\mu\text{mol/mol}$);

$C_{s,1}$ der Mittelwert der Spangasmessungen zu Beginn der Driftzeitspanne (direkt nach der Kalibrierung) ($\mu\text{mol/mol}$);

$C_{s,2}$ der Mittelwert der Spangasmessungen am Ende der Driftzeitspanne (12 h) (nmol/mol).

$D_{s,s}$ muss das in Tabelle 1 angegebene Leistungskriterium erfüllen.

8.4.5 Wiederholstandardabweichung

Nach der Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, werden 20 Einzelmessungen bei der Konzentration null und einer Prüfgaskonzentration (c_t), die ähnlich dem 8-Stunden-Grenzwert ist, durchgeführt.

Die Wiederholstandardabweichung dieser Messungen bei der Konzentration null und bei der Konzentration c_t wird folgendermaßen berechnet:

$$s_r = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4)$$

Dabei ist

- s_r die Wiederholstandardabweichung ($\mu\text{mol/mol}$);
- x_i die i -te Messung ($\mu\text{mol/mol}$);
- $\bar{x}$ der Mittelwert der 20 Messungen ($\mu\text{mol/mol}$);
- n die Anzahl der Messungen ($n = 20$).

Die Wiederholstandardabweichung wird getrennt für beide Messreihen (Nullgas und Konzentration c_i) berechnet.

s_r muss das in Tabelle 1 angegebene Leistungskriterium sowohl bei der Konzentration null als auch der Prüfgaskonzentration c_i (8-Stunden-Grenzwert) erfüllen.

8.4.6 „Lack of fit“ (Abweichung von der Linearität)

Der „lack of fit“ des Messgeräts ist über den Bereich von 0 % bis 95 % des Maximums des Zertifizierungsbereichs mit mindestens sechs Konzentrationen (einschließlich des Nullpunktes) zu prüfen. Das Messgerät ist bei einer Konzentration von etwa 90 % des Maximums des Zertifizierungsbereichs einzustellen. Bei jeder Konzentration (einschließlich des Nullpunktes) werden mindestens fünf unabhängige Messungen durchgeführt.

Die Konzentrationen werden in folgender Reihenfolge aufgegeben: 80 %, 40 %, 0 %, 60 %, 20 % und 95 %. Nach jedem Wechsel der Konzentration sind mindestens vier Einstellzeiten abzuwarten, bevor die nächste Messung durchgeführt wird.

Die Unsicherheit der Verdünnungsverhältnisse für die aufgegebenen Konzentrationen muss in Bezug aufeinander kleiner als 0,5 % sein.

ANMERKUNG Das Konzept der Prüfung (Anzahl der Konzentrationen und Anzahl der Wiederholungen) ist so angelegt, dass die Abweichung von der linearen Funktion mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden kann. Die Prüfung ist außerdem ausreichend robust, um Nicht-Linearität zwischen null und einer Konzentration am unteren Ende des Bereichs sowie Linearität von diesem unteren Ende bis zum oberen Ende des Bereichs erkennen zu können.

Die Berechnung der linearen Regressionsfunktion und der Abweichungen wird nach Anhang A durchgeführt. Die Abweichungen von der linearen Regressionsfunktion müssen das in Tabelle 1 angegebene Kriterium erfüllen.

Der größte Wert der relativen Abweichungen wird als X_i angegeben und ist beim Nachweis der Erfüllung der Eignungsprüfungsanforderung 1 zu berücksichtigen. Der Wert der relativen Abweichung beim Niveau des 8-Stunden-Grenzwerts ist bei der Berechnung der Eignungsprüfungsanforderungen 2 und 4 zu verwenden.

8.4.7 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks

Messungen werden bei einer Konzentration von etwa 70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereichs bei absoluten Drücken von etwa $80 \text{ kPa} \pm 0,2 \text{ kPa}$ und etwa $110 \text{ kPa} \pm 0,2 \text{ kPa}$ durchgeführt. Bei jedem Druck sind nach einer Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, drei Einzelmessungen durchzuführen. Die Mittelwerte dieser Messungen bei den beiden Drücken werden berechnet.

Messungen bei verschiedenen Drücken müssen durch mindestens vier Einstellzeiten voneinander getrennt sein.

Der Einfluss des Probengasdrucks ist:

$$b_{sp} = \left| \frac{(C_{P_1} - C_{P_2})}{(P_2 - P_1)} \right| \quad (5)$$

Dabei ist

- b_{gp} der Einfluss des Probengasdrucks ($\mu\text{mol/mol/kPa}$);
- C_{P1} der Mittelwert der Messungen beim Probengasdruck P_1 ($\mu\text{mol/mol}$);
- C_{P2} der Mittelwert der Messungen beim Probengasdruck P_2 ($\mu\text{mol/mol}$);
- P_1 der Probengasdruck P_1 (kPa);
- P_2 der Probengasdruck P_2 (kPa).

b_{gp} muss das in Tabelle 1 angegebene Leistungskriterium erfüllen.

8.4.8 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur

Zur Bestimmung der Abhängigkeit von der Probengastemperatur werden Messungen bei Probengastemperaturen von $T_1 = 0^\circ\text{C}$ und $T_2 = 30^\circ\text{C}$ durchgeführt. Die Temperaturabhängigkeit wird bei einer Konzentration von etwa 70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereichs bestimmt. Nach einer Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, sind drei Einzelmessungen bei jeder Temperatur durchzuführen.

Die Probengastemperatur am Einlass des Messgeräts muss mindestens 30 min konstant sein.

Der Einfluss der Probengastemperatur ist:

$$b_{gt} = \frac{(C_{T_2} - C_{T_1})}{(T_2 - T_1)} \quad (9)$$

Dabei ist

- b_{gt} der Einfluss der Probengastemperatur ($\mu\text{mol/mol/K}$);
- C_{T1} der Mittelwert der Messungen bei der Probengastemperatur T_1 ($\mu\text{mol/mol}$);
- C_{T2} der Mittelwert der Messungen bei der Probengastemperatur T_2 ($\mu\text{mol/mol}$);
- T_1 die Probengastemperatur T_1 ($^\circ\text{C}$);
- T_2 die Probengastemperatur T_2 ($^\circ\text{C}$).

b_{gt} muss das in Tabelle 1 angegebene Leistungskriterium erfüllen.

8.4.9 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur

Der Einfluss der Umgebungstemperatur ist innerhalb des vom Hersteller angegebenen Bereichs bei folgenden Temperaturen zu bestimmen:

- 1) der niedrigsten Temperatur $T_{\min} = 273\text{ K}$;
- 2) der Labortemperatur T_l , siehe 8.4.2.2;
- 3) der höchsten Temperatur $T_{\max} = 303\text{ K}$.

Für diese Prüfungen ist eine Klimakammer erforderlich.

Der Einfluss wird bei der Konzentration null und einer Konzentration von etwa 70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereichs bestimmt. Bei jeder Temperatur sind nach einer Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, drei Einzelmessungen bei null und der Span-Konzentration durchzuführen.

Für jede Temperatur müssen die Kriterien für Einlauf- oder Stabilisierungszeit nach 8.4.2.1 erfüllt sein.

Die Messungen werden bezüglich der Temperatur in folgender Reihenfolge durchgeführt:

$$T_1, T_{\min}, T_1 \text{ und } T_1, T_{\max}, T_1$$

Bei der ersten Temperatur (T_1) wird das Messgerät bei Null- und Spanniveau (70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereichs) eingestellt. Dann werden nach einer Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, drei Einzelmessungen bei T_1 , $T_{\min}$ und wieder bei T_1 durchgeführt. Diese Vorgehensweise wird bei der Temperaturfolge T_1 , $T_{\max}$ und T_1 wiederholt.

Um eine auf andere Faktoren als die Temperatur zurückgehende Drift auszuschließen, werden die Messungen bei T_1 gemittelt; diese Mittelung wird in der folgenden Gleichung zur Berechnung des Einflusses der Umgebungstemperatur berücksichtigt:

$$b_{st} = \left| \frac{x_T - \frac{x_1 + x_2}{2}}{T - T_1} \right| \quad (7)$$

Dabei ist

- b_{st} die Abhängigkeit der Umgebungstemperatur bei null oder der Span-Konzentration und bei $T_{\min}$ oder $T_{\max}$ ($\mu\text{mol/mol/K}$);
- x_T der Mittelwert der Messungen bei $T_{\min}$ oder $T_{\max}$ ($\mu\text{mol/mol}$);
- x_1 der erste Mittelwert der Messungen bei T_1 direkt nach der Einstellung ($\mu\text{mol/mol}$);
- x_2 der zweite Mittelwert der Messungen bei T_1 direkt vor der Einstellung ($\mu\text{mol/mol}$);
- T_1 die Umgebungstemperatur im Labor ($^{\circ}\text{C}$);
- T die Umgebungstemperatur $T_{\min}$ oder $T_{\max}$ ($^{\circ}\text{C}$).

Für die Dokumentation der Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur wird der höhere der Werte der Temperaturabhängigkeit bei $T_{\min}$ und $T_{\max}$ gewählt.

b_{st} muss das in Tabelle 1 angegebene Leistungskriterium erfüllen.

8.4.10 Empfindlichkeitskoeffizient der Spannung

Die Abhängigkeit von der Netzspannung wird an den beiden Grenzen des vom Hersteller angegebenen Spannungsbereichs bei der Konzentration null und einer Konzentration von etwa 70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereichs bestimmt. Nach einer Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, werden drei Einzelmessungen bei jedem Spannungs- und Konzentrationsniveau durchgeführt.

Die Abhängigkeit von der Spannung ist:

$$b_v = \frac{(C_{V_2} - C_{V_1})}{(V_2 - V_1)} \quad (8)$$

Dabei ist

- b_v der Einfluss der Spannung ($\mu\text{mol/mol/V}$);
- C_{V_1} der Mittelwert der Messungen bei der Spannung V_1 ($\mu\text{mol/mol/V}$);
- C_{V_2} der Mittelwert der Messungen bei der Spannung V_2 ($\mu\text{mol/mol/V}$);
- V_1 die vom Hersteller angegebene niedrigste Spannung $V_{\min}$ (V);
- V_2 die vom Hersteller angegebene höchste Spannung $V_{\max}$ (V).