

DIN EN ISO 12569



ICS 91.120.10

Ersatz für
DIN EN ISO 12569:2001-03

**Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden und Werkstoffen –
Bestimmung des spezifischen Luftvolumenstroms in Gebäuden –
Indikatorgasverfahren (ISO 12569:2012);
Deutsche Fassung EN ISO 12569:2012**

Thermal performance of buildings and materials –
Determination of specific airflow rate in buildings –
Tracer gas dilution method (ISO 12569:2012);
German version EN ISO 12569:2012

Performance thermique des bâtiments et des matériaux –
Détermination du débit d'air spécifique dans les bâtiments –
Méthode de dilution de gaz traceurs (ISO 12569:2012);
Version allemande EN ISO 12569:2012

Gesamtumfang 61 Seiten

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

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 12569:2012) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 163/SC 1 „Test and measurement methods“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“ (Sekretariat: SIS, Schweden) unter deutscher Mitwirkung erarbeitet.

Der für die deutsche Mitarbeit zuständige Arbeitsausschuss im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist der als Spiegelausschuss zu CEN/TC 89 eingesetzte Arbeitsausschuss NA 005-56-93 AA „Luftdichtheit“ des Normenausschusses Bauwesen (NABau).

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 12569:2001-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Aufnahme des Abschnittes 3 „Messverfahren und dessen Auswahl“;
- b) Aufnahme des Abschnittes 4.4.2 „Durchführung des Verfahrens mit mittlerer Umkehrkonzentration“;
- c) Aufnahme des Anhangs B „Verfahren zur gleichzeitigen Abschätzung der Luftwechselrate Q_v und des Volumens der effektiven Mischzone V_{emz} “;
- d) Aufnahme des Anhangs C „Überlegungen zur Messung der Luftwechselrate von großen Räumen“;
- e) Aufnahme des Anhangs D „Auswirkungen der Differenz zwischen der Innen- und der Außentemperatur, der Temperaturänderungen sowie der Änderung der Außenluftkonzentration während der Messung“;
- f) Aufnahme des Anhangs E „Verfahren der Minimierung des Schätzfehlers bei dem 2-Punkt- und Mehrpunktverfahren“;
- g) weiterreichende Ergänzung durch ausführliche Gleichungen;
- h) Ergänzung durch Bilder und Tabellen.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 12569: 2001-03

Deutsche Fassung

Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden und
Werkstoffen —
Bestimmung des spezifischen Luftvolumenstroms in
Gebäuden —
Indikatorgasverfahren (ISO 12569:2012)

Thermal performance of buildings and materials —
Determination of specific airflow rate in buildings —
Tracer gas dilution method (ISO 12569:2012)

Performance thermique des bâtiments et des matériaux —
Détermination du débit d'air spécifique dans
les bâtiments —
Méthode de dilution de gaz traceurs (ISO 12569:2012)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 17. November 2012 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Begriffe	6
3 Messverfahren und dessen Auswahl	7
3.1 Allgemeines	7
3.2 Indikatorgasverfahren mit abfallender Konzentration	10
3.3 Indikatorgasverfahren mit konstanter Injektion	12
3.4 Indikatorgasverfahren mit konstanter Konzentration	15
3.5 Art des Indikatorgases	16
3.6 Messausrüstung	17
4 Durchführung	19
4.1 Vorbereitung des Gebäudes	19
4.2 Unterstützende Messungen	19
4.3 Indikatorgasverfahren mit abfallender Konzentration	19
4.4 Verfahren mit konstanter Injektion	26
4.5 Indikatorgasverfahren mit konstanter Konzentration	32
5 Genauigkeit	34
5.1 Dosierungsverfahren des Indikatorgases und Verteilung der Raumkonzentration	35
5.2 Probenahme des Indikatorgases und Lagerung dieses Gases	35
5.3 Geräte zur Messung der Indikatorgaskonzentration	35
5.4 Änderungen bei Wind und Außenlufttemperatur sowie Zeitschema der RLT-Anlage	36
6 Prüfbericht	36
6.1 Allgemeines	36
6.2 Alle zur Identifizierung der geprüften Simulierung erforderlichen Einzelheiten	37
6.3 Einzelheiten zu Heiz- und Lüftungsanlagen	37
6.4 Prüfbedingungen und -geräte	37
6.5 Zusammengetragene Daten und Ergebnisse	38
6.6 Datum der Prüfung	38
Anhang A (normativ) Vertrauensintervalle	39
A.1 Allgemeines	39
A.2 Mehrpunkt-Abkling-Verfahren	39
A.3 Verfahren mit mittlerer Konzentration	41
A.4 Verfahren mit konstanter Konzentration	41
Anhang B (normativ) Verfahren zur gleichzeitigen Abschätzung der Luftwechselrate Q_V und des Volumens der effektiven Mischzone V_{emz} [3,4]	42
B.1 Allgemeines	42
B.2 Vor- und Nachteile des intermittierenden Verfahrens	42
B.3 Modell der Grundgleichung	43
B.4 Erarbeitung der Gleichung für die Mehrfachregressionsanalyse	43
B.5 Verfahren zur Berechnung der Variablen für das Mehrfachregressionsmodell	44
B.6 Verfahren unter Anwendung eines bestehenden Rechenprogramms der Mehrfachregressionsanalyse	45
Anhang C (informativ) Überlegungen zur Messung der Luftwechselrate von großen Räumen	48

Anhang D (informativ) Auswirkungen der Differenz zwischen der Innen- und der Außentemperatur, der Temperaturänderungen sowie der Änderung der Außenluftkonzentration während der Messung	49
D.1 Bei homogener Temperatur und Indikatorgaskonzentration in einer einzelnen Zone	49
D.2 Bei nicht homogener Temperatur und Indikatorgaskonzentration in einer einzelnen Zone	51
Anhang E (informativ) Verfahren der Minimierung des Schätzfehlers bei dem 2-Punkt- und Mehrpunktverfahren	53
E.1 Allgemeines	53
E.2 Abschätzung des spezifischen Luftvolumenstroms mit der Methode der kleinsten Quadrate	53
E.3 Abklingdauer zur Minimierung der Auswirkungen der Fehler bei der Konzentrationsmessung.....	54
Anhang F (informativ) Analyse der Fehlerfortpflanzung	57
F.1 2-Punktverfahren	57
F.2 Prüfverfahren mit mittlerer Umkehrkonzentration	57
F.3 Prüfverfahren mit konstanter Konzentration	58
Literaturhinweise	59

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 12569:2012) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 163 „Thermal performance and energy use in the built environment“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom SIS gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2013 und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2013 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 12569:2000.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 12569:2012 wurde vom CEN als EN ISO 12569:2012 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Einleitung

Das Ziel der Lüftung besteht darin, einen angemessenen hygienischen Zustand im Raum aufrechtzuerhalten, indem Außenluft in den Raum eingeführt wird wodurch im Raum erzeugte Verunreinigungen, Wärme, Feuchte sowie Gerüche verdünnt und entfernt werden. Hinsichtlich der Energieeinsparung ist es auch von Bedeutung, die erforderliche Luftwechselrate einzuhalten, um Wärmeverluste sowie Wärmegewinne bei Einsatz von RLT-Anlagen soweit wie möglich zu verringern. Die Messung der Luftvolumenströme ist häufig erforderlich, beispielsweise um zu überprüfen, ob eine Lüftungsanlage die bestimmungsgemäße Leistung aufweist, um die Quellenstärke der Verunreinigungen zu beurteilen, um sicherzustellen, dass die Verunreinigungen angemessen entfernt werden usw. Die hier beschriebenen Verfahren können angewendet werden, um die Luftwechselrate oder den spezifischen Luftvolumenstrom zu messen.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm beschreibt die Anwendung des Indikatorverfahrens zur Bestimmung der Luftwechselrate/des spezifischen Luftvolumenstroms in einem Raum eines Gebäudes, der als aus einer einzelnen Zone bestehend angesehen wird.

Dieses Messverfahren gilt für Räume, in denen die kombinierten Bedingungen zur gleichmäßigen Konzentration des Indikatorgases, eine Messung der Abgaskonzentration, eine wirksame Mischzone und/oder ein Luftwechsel vorliegen.

Diese Internationale Norm umfasst drei Messverfahren, bei denen Indikatorgas zum Einsatz kommt: (1) Verfahren mit abfallender Konzentration, (2) Verfahren mit konstanter Injektion und (3) Verfahren mit konstanter Konzentration.

ANMERKUNG Die spezifischen Messbedingungen sind in Tabelle 1 angegeben.

2 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

2.1

einzelne Zone

V

Raum, in dem die Luftwechselrate/der spezifische Luftvolumenstrom gemessen wird ist und ein Luftaustausch nur mit der Umgebung erfolgt

ANMERKUNG 1 In Kubikmeter gemessen.

ANMERKUNG 2 Die für die Messung erforderlichen Bedingungen sind für jedes Prüfverfahren unterschiedlich, Einzelheiten werden in Abschnitt 4 angegeben.

2.2

wirksame Mischzone

V_{emz}

Raum innerhalb einer einzelnen Zone, mit Ausnahme verschlossener Möbel oder Lagerbereiche, in dem das in die Zone abgegebene Indikatorgas als gleichmäßig verteilt angesehen wird

ANMERKUNG 1 In Kubikmeter gemessen.

ANMERKUNG 2 Häufig ist eine Zwangsmischung der Luft in der Zone erforderlich, um eine gleichmäßige Konzentration des Indikatorgases aufrechtzuerhalten.

2.3

Luftwechselrate

Q_v

gesamtes Luftvolumen, das von einer Zone an die Außenluft je Zeiteinheit tritt

ANMERKUNG Gemessen in m^3/s oder m^3/h .

2.4

spezifischer Luftvolumenstrom

N

Verhältnis von Q_v zum Volumen der wirksamen Mischzone [in 1/s oder 1/h]

2.5

Gebäudehülle

Umfassungsfläche, die das Innenvolumen eines Gebäudes von der Umgebung trennt

2.6

Indikatorgas

Gas, das mit Luft gemischt werden kann und in einer sehr geringen Konzentration gemessen wird, um die Luftrate zu prüfen

ANMERKUNG Das Indikatorgasvolumen ist als der in die Dichte umgewandelte Wert der Ablufttemperatur definiert. Wenn die Raumluft gut durchmischt ist, entspricht die Raumtemperatur ungefähr der Ablufttemperatur.

2.7

Verfahren mit abfallender Konzentration

Verfahren, bei dem der spezifische Luftvolumenstrom aus der abfallenden Konzentrationskurve bestimmt wird, die nach dem Ende der Injektion des Indikatorgases beobachtet wird

2.8

Verfahren mit konstanter Injektion

Verfahren, bei dem die Luftwechselrate aus der Konzentration bestimmt wird, die sich aus einer kontinuierlichen Erzeugung oder Injektion des Indikatorgases ergibt

2.9

Verfahren mit konstanter Konzentration

Verfahren, bei dem die Luftwechselrate aus der Injektionsrate des Indikatorgases bestimmt wird, das für eine konstante Konzentration im Raum dosiert ist

3 Messverfahren und dessen Auswahl

3.1 Allgemeines

Zur Messung von Luftwechselrate/spezifischem Luftvolumenstrom wird eines der drei Prüfverfahren (Verfahren mit abfallender Konzentration, Verfahren mit konstanter Injektion, Verfahren mit konstanter Konzentration) angewendet. Die Auswahl eines dieser Messverfahren und die Datenverarbeitung hängen von der Gebäudestruktur, der Lüftungsanlage und dem angewendeten Messgerät ab. Das Verfahren mit abfallender Konzentration weist eine begrenzte Messzeit von bis mehreren Stunden auf, während die Verfahren mit konstanter Injektion und konstanter Konzentration längere Messzeiten von bis zu mehreren Wochen aufweisen können. Die Anleitung zur Auswahl des Verfahrens sowie die mit dem Verfahren gemessenen Größen sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Um die Genauigkeit bei der Messung der Luftwechselrate/des Luftvolumenstroms zu verbessern, sind manchmal besondere Maßnahmen erforderlich, um die für die Messverfahren erforderlichen Bedingungen annähernd zu erreichen. Insbesondere gilt, wenn ein Messverfahren angewendet würde, bei dem in der wirksamen Mischzone eine gleichmäßige Konzentration erforderlich ist, dass die Innenluft vorzugsweise durch Zwangsmischen gemischt werden sollte. Im Allgemeinen hat das Zwangsmischen der Innenluft nur einen geringen Einfluss auf die Luftwechselrate/den spezifischen Luftvolumenstrom, aber es besteht das Risiko, dass es die gemessene Luftwechselrate beeinflusst, wenn aufgrund von Temperaturunterschieden natürliche Lüftung überwiegt und die Temperatur im Raum sehr unterschiedlich verteilt ist, oder wenn ein zum Zwecke des Durchmischens der Luft von einem Ventilator abgegebener Luftstrom direkt auf die undichten Stellen im Gebäude gerichtet ist. In diesen Fällen muss das Mischsystem verbessert werden, oder es wird empfohlen, ein Messverfahren auszuwählen, das ohne Notwendigkeit des Mischens eine gleichmäßige Konzentration sicherstellen kann.

In Tabelle 1 werden die Spezifikationen für die verschiedenen Anwendungen wie folgt beschrieben:

- Die „Raumkonzentration kann nur in der Anfangsphase gleichmäßig gehalten werden“ bedeutet, dass die Konzentration in der wirksamen Mischzone beim Zuführen des Indikatorgases in die Zone durch ein Verfahren wie das Zwangsmischen gleichmäßig gestaltet wird, wobei sich die Konzentration im Prinzip jedoch im Laufe der Messung verteilen kann.
- Sofern festgelegt ist, dass die „Raumkonzentration zu allen Zeiten gleichmäßig gehalten werden kann“, ist ein kontinuierliches Zwangsmischen der Luft in der wirksamen Mischzone zu bevorzugen. Wird jedoch das Verfahren mit konstanter Konzentration angewendet, und wird die Konzentration durch Injizieren des Indikatorgases an verschiedenen Stellen geregelt und erfolgt die Luftprobenahme an mehreren Stellen, kann davon ausgegangen werden, dass die Konzentration auch ohne Mischen gleichmäßig ist.
- Die „mittlere Abluftkonzentration kann gemessen werden“ kann entweder Fälle bedeuten, in denen die Konzentration in einer wirksamen Mischzone durch Mischen gleichmäßig gestaltet wird, oder Fälle, in denen der Druck innerhalb einer Zone durch Anwendung der genutzten Lüftungsanlage geringer gehalten wird als außerhalb dieser Zone, oder aber Fälle, in denen die Leckage extrem niedrig ist, sodass die Exfiltrationsrate ignoriert werden kann und die Abluftwege zuvor festgelegt werden können.

- Bei Anwendung von Messverfahren, bei denen das „bekannte Volumen einer wirksamen Mischzone“ erforderlich ist, kann das Volumen der wirksamen Mischzone unter Verwendung der Raummaße geschätzt werden. Wird jedoch das entsprechende Verfahren mit mittlerer Umkehrkonzentration und mit mittlerer Konzentration angewendet, und wird die Luftwechselrate ausreichend lange bewertet, ist für die Abschätzung des Volumens einer wirksamen Mischzone eine hohe Genauigkeit nicht erforderlich.
- Messverfahren, die in Fällen angewendet werden können, in denen die „Schwankungen in der Luftwechselrate ignoriert werden können“, sind auf der Annahme ausgelegt, dass die Luftwechselrate/der spezifische Luftvolumenstrom sich mit der Zeit nicht ändert.

Tabelle 1 — Verfahren, Anwendung und Messgrößen

Verfahren		Anwendung und Messgrößen						
		Anwendung					Folgendes wird gemessen	
		Raumkonzentration kann nur in der Anfangsphase gleichmäßig gehalten werden	Raumkonzentration kann zu allen Zeiten gleichmäßig gehalten werden	Die mittlere Abluftkonzentration kann gemessen werden	Bekanntes Volumen der wirksamen Mischzone	Schwankungen in der Luftwechselrate können ignoriert werden	Luftwechselrate oder spezifischer Luftvolumenstrom	Flexibilität gegenüber einer transienten Luftwechselrate
Verfahren mit abfallender Konzentration	2-Punkt-Abklingverfahren		○				Spezifischer Luftvolumenstrom	Δ
	Mehrpunkt-Abklingverfahren		○			○	Spezifischer Luftvolumenstrom	
	Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration	○		○		○	Spezifischer Luftvolumenstrom	
	Impulsverfahren			○		○	Luftwechselrate	
Verfahren mit konstanter Injektion	Verfahren mit mittlerer Umkehrkonzentration		○		○		Luftwechselrate	Δ
	Verfahren mit mittlerer Konzentration		○		○	○	Luftwechselrate	
	Verfahren mit stationärer Konzentration			○		○	Luftwechselrate	
Verfahren mit konstanter Konzentration			○				Luftwechselrate	○
ANMERKUNG Zusätzlich zu den vorstehend angegebenen Messverfahren besteht ein Verfahren mit intermittierender Dosierung, das die gleichzeitige Messung des Volumens der wirksamen Mischzone und der Luftwechselrate zulässt. Ist das Volumen einer wirksamen Mischzone bekannt, kann die Bestimmung der Luftwechselrate neben den weiteren Bestimmungen erfolgen, indem das Volumen der wirksamen Mischzone mit dem spezifischen Luftvolumenstrom multipliziert und dann in die Luftwechselrate umgewandelt wird. Die Messverfahren, die in der Spalte „Flexibilität gegenüber einer transienten Luftwechselrate“ mit „Δ“ gekennzeichnet sind, sind grundsätzlich auf die Fälle anwendbar, in denen Änderungen der Luftwechselrate/des spezifischen Luftvolumenstroms nicht ignoriert werden können; da die Messung jedoch auf der zeitlich gemittelten Luftwechselrate/dem zeitlich gemittelten spezifischen Luftvolumenstrom beruht, weist die Kennzeichnung darauf hin, dass diese Messung nicht der Messung der transienten Luftwechselrate/des transienten spezifischen Luftvolumenstroms entspricht. Die Kennzeichnung der Verfahren mit konstanter Konzentration mit einem „○“ bedeutet, dass diese Verfahren der Messung der transienten Luftwechselrate entsprechen, wenn die Dosis des Indikator-gases genau der transienten Luftwechselrate entspricht, bei der die interne Konzentration auf einer konstanten Stufe gehalten wird.								

3.2 Indikatorgasverfahren mit abfallender Konzentration

3.2.1 Allgemeines

Zu Beginn der Messung wird das Indikatorgas der zu messenden Zone zugeführt, und die Luftwechselrate/der spezifische Luftvolumenstrom wird auf der Grundlage der erhaltenen Daten zum Konzentrationsabfall bewertet. Im Falle des Zwangsmischens zum Zwecke der gleichmäßigen Verteilung oder wenn die mittlere Abluftkonzentration gemessen werden kann, kann die Anzahl der Messstellen auf eine begrenzt werden. Die Menge des für eine Messung erforderlichen Indikatorgases ist sehr gering, und es ist mit Ausnahme des Impulsverfahrens nicht erforderlich, die Menge des injizierten Gases genau zu messen.

Die Grundgleichung, die auf alle Verfahren angewendet werden kann, ist wie folgt:

$$\frac{dV_{\text{gas}}(t)}{dt} = -c_E(t)Q_V(t) \quad [\text{m}^3/\text{h} \text{ oder } \text{m}^3/\text{s}] \quad (1)$$

Dabei ist

t die Zeit [h oder s];

$V_{\text{gas}}(t)$ das Gesamtvolumen des Indikatorgases in einer Zone zum Zeitpunkt „ t “ ($= \iiint_V C(x, t) dV$) [m³];

x die Stelle innerhalb einer Zone;

$C(x, t)$ die Konzentration zum Zeitpunkt „ t “, „ x “ in einer Zone [m³/m³];

$Q_V(t)$ die Luftwechselrate zum Zeitpunkt „ t “ [m³/h];

$C_E(t)$ die mittlere Abluftkonzentration zum Zeitpunkt „ t “ [m³/m³].

ANMERKUNG Bei Gleichung (1) wird davon ausgegangen, dass die Dichtedifferenz zwischen Innen- und Außenluft, die sich vorwiegend aus der Temperaturdifferenz ergibt, vernachlässigt werden kann.

3.2.2 2-Punkt-Abklingverfahren

Wenn die Konzentration in einer wirksamen Mischzone dauerhaft gleichmäßig gestaltet wurde, wird die zeitlich gemittelte Luftwechselrate vom Anfangs- bis zum Endpunkt der Messung berechnet. Der spezifische Luftvolumenstrom muss während der Messung nicht konstant sein.

Aus den vorstehenden Bedingungen wird folgende Gleichung abgeleitet:

$$\begin{aligned} V_{\text{gas}}(t) &= V_{\text{emz}} \cdot C(t) \\ C_E(t) &= C(t) \end{aligned} \quad (2)$$

Dabei ist

$C(t)$ die Konzentration in einer wirksamen Mischzone (gleichmäßige Verteilung) zum Zeitpunkt t [m³/m³];

V_{emz} das Volumen einer wirksamen Mischzone (unter der Annahme, dass keine zeitbezogenen Änderungen auftreten) [$= \iiint_V C(x, t) dV / C_E(t)$] [m³];

Gleichung (1) und Gleichung (2) ergeben Gleichung (3), aus der Gleichung (4) abgeleitet werden kann.

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{dC}{C(t)} = - \int_{t_1}^{t_2} \frac{Q(t)}{V_{\text{emz}}} dt \quad (3)$$

$$\bar{N} = \frac{1}{t_2 - t_1} \log_e \frac{C(t_1)}{C(t_2)} \quad (4)$$

Dabei ist

t die Zeit (t_1 : Anfangspunkt der Messung, t_2 : Endpunkt der Messung) [h];

$\bar{N}$ der zeitlich gemittelte spezifische Luftvolumenstrom ($= \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{Q(t)}{V_{\text{emz}}} dt$) [1/h];

Auf der Grundlage der zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten erhaltenen Messdaten zur Konzentration wird der zeitlich gemittelte spezifische Luftvolumenstrom für diese Periode berechnet. Während der Messperiode muss die Konzentration in der wirksamen Mischzone gleichmäßig gehalten werden. Für die genaue Messung des spezifischen Luftvolumenstroms muss die Konzentrationsdifferenz zwischen Anfangs- und Endpunkt der Messung ausreichend oberhalb des Fehlers bei der Konzentrationsmessung liegen.

3.2.3 Mehrpunkt-Abklingverfahren

Der spezifische Luftvolumenstrom wird berechnet, wenn die Konzentrationsverteilung in einer wirksamen Mischzone gleichmäßig gehalten wird und die Luftwechselrate mit der Zeit nicht schwankt.

Gleichung (5) ergibt sich, wenn die Luftwechselrate in Gleichung (3) konstant gehalten und die Gleichung umgewandelt wird.

$$\log_e C(t) = \log_e C(t_1) - N(t - t_1) \quad (5)$$

Dabei ist

N der spezifische Luftvolumenstrom [1/h].

Die Luftwechselrate wird mit den Messdaten der Konzentration unter Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate auf eine Gerade nach Gleichung (5) berechnet. Die Bedingung, dass der spezifische Luftvolumenstrom über die Zeit nicht schwankt, ist bestätigt, wenn $\log_e C(t)$ gegen t abgebildet wird und sich dabei eine lineare Beziehung ergibt. Ergibt sich keine lineare Beziehung, weist dies darauf hin, dass die Luftwechselrate nicht konstant ist, damit handelt es sich bei dem mit diesem Verfahren erhaltenen spezifischen Luftvolumenstrom nicht um den zeitlich gemittelten spezifischen Luftvolumenstrom. In diesem Fall sollte das 2-Punkt-Abklingverfahren angewendet werden.

3.2.4 Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration

Der spezifische Luftvolumenstrom wird berechnet, wenn die mittlere Abluftkonzentration messbar ist, die Konzentrationsverteilung in einer wirksamen Mischzone am Anfangspunkt der Messung gleichmäßig ist und die Luftwechselrate über die Zeit nicht schwankt. Das Verfahren kann auch angewendet werden, wenn die Konzentration nach dem Beginn der Messung verteilt wird. Eine gleichzeitige Messung ist mit der mittleren Verteilung möglich.

Wenn die Zeit bis ∞ integriert wird, indem die Luftwechselrate in Gleichung (1) konstant gehalten wird, ergibt sich Gleichung (6):

$$\int_{t_1}^{\infty} dV_{\text{gas}}(t) = Q_v \int_{t_1}^{\infty} C_E(t) dt \quad (6)$$

Wenn die Konzentration in einer wirksamen Mischzone am Anfangspunkt der Messung gleichmäßig gestaltet wird, ergibt sich als Ergebnis

$$V_{\text{gas}}(t_1) = V_{\text{emz}} \cdot C(t_1)$$

nach einer ausreichenden Zeit ist das Ergebnis $V_{\text{gas}}(\infty) = 0$

woraus sich Gleichung (7) ergibt:

$$N = \frac{C(t_1)}{\int_{t_1}^{\infty} C_E(t) dt} \quad (7)$$

Das heißt, dass der Kehrwert des mittleren lokalen Luftalters im Abluftauslass der spezifische Luftvolumenstrom im Raum ist. Liegen mehrere Abluftauslässe vor, wird die mittlere Abluftkonzentration angewendet, die in Abhängigkeit von dem an jedem Abluftauslass gemessenen Abluftvolumenstrom gewichtet wurde.

ANMERKUNG Sofern die Differenz zwischen der Abluft- und der Raumtemperatur nicht ignoriert werden kann, ist auf Anhang F Bezug zu nehmen.

3.2.5 Impulsverfahren

Die Luftwechselrate wird berechnet, wenn die mittlere Abluftkonzentration messbar ist und die Luftwechselrate über die Zeit nicht schwankt. Das am Anfangspunkt der Messung zugeführte Indikatorgasvolumen muss genau bewertet werden, die Konzentrationsverteilung in einer Zone muss jedoch nicht gleichmäßig sein.

In diesem Fall ist $V_{\text{gas}}(t_1)$ in Gleichung (6) bereits bekannt, und nach einer ausreichenden Zeit wird das Ergebnis $V_{\text{gas}}(\infty) = 0$, woraus sich Gleichung (8) ergibt:

$$Q_v = \frac{V_{\text{gas}}(t_1)}{\int_{t_1}^{\infty} C_E(t) dt} \quad (8)$$

Dabei ist

$V_{\text{gas}}(t)$ das Volumen des Indikatorgases (= zugeführtes Volumen des Indikatorgases), das zum Anfangspunkt der Messung t_1 im Raum zurückgehalten wird [m^3].

ANMERKUNG Für das Volumen des Indikatorgases wird der in die Dichte umgewandelte Wert der Ablufttemperatur angesetzt.

3.3 Indikatorgasverfahren mit konstanter Injektion

3.3.1 Allgemeines

Wird das Indikatorgas der Zone kontinuierlich zugeführt, wird die Luftwechselrate auf der Grundlage der Dosiermenge und der Messdaten zur Konzentration gemessen. Wird ein Prüfverfahren angewendet, das über die gesamte wirksame Mischzone, der das Indikatorgas zugeführt wird, eine gleichmäßig verteilte Konzentration erfordert, sind üblicherweise mehrere Stellen für die Überwachung der Konzentration erforderlich, um die gleichmäßige Verteilung der Konzentration zu verifizieren. Die zugeführte Menge an Indikatorgas nimmt mit der Messdauer zu, dennoch kann das Verfahren auf lange andauernde Messungen angewendet werden. Die passive Messung, bei der das durch das Ausatmen der im Raum befindlichen Bewohner entstehende Kohlendioxid als Indikatorgas verwendet wird, stellt ebenfalls ein Verfahren mit kontinuierlicher Konzentration dar.

Die Grundgleichung, die auf alle Verfahren angewendet werden kann, ist wie folgt:

$$\frac{dV_{\text{gas}}(t)}{dt} = m(t) - C_E(t)Q_V(t) \quad (9)$$

Dabei ist

$m(t)$ die Dosierung des Indikatorgases zum Zeitpunkt „t“ [m³/h].

3.3.2 Verfahren mit mittlerer Umkehrkonzentration

Der zeitlich gemittelte spezifische Luftvolumenstrom wird vom Beginn bis zum Ende der Messung berechnet, wobei die Konzentrationsverteilung in der wirksamen Mischzone gleichmäßig gehalten wird. Die Luftwechselrate während der Messung muss nicht konstant sein, jedoch ist die Bestimmung der Momentankonzentration während der Messung, der Momentandosierung des Indikatorgases sowie des Volumens der wirksamen Mischzone erforderlich.

Auf der Grundlage der angenommenen Bedingungen wird folgende Gleichung abgeleitet:

$$\begin{aligned} V_{\text{gas}}(t) &= V_{\text{emz}} \cdot C(t) \\ C_E(t) &= C(t) \end{aligned} \quad (10)$$

Dabei ist

$C(t)$ die Konzentration in einer wirksamen Mischzone (gleichmäßige Verteilung) zum Zeitpunkt t [m³/m³];

V_{emz} das Volumen einer wirksamen Mischzone [m³].

Gleichung (9) und Gleichung (10) ergeben Gleichung (11), aus der Gleichung (12) abgeleitet werden kann.

$$V_{\text{emz}} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dC}{C(t)} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{m(t)}{C(t)} dt - \int_{t_1}^{t_2} Q_V(t) dt \quad (11)$$

$$\bar{Q}_V = \left[\frac{m}{C} \right] + \frac{V_{\text{emz}}}{t_2 - t_1} \log_e \frac{C(t_1)}{C(t_2)} \quad (12)$$

Dabei ist

t die Zeit (t_1 : Anfangspunkt der Messung, t_2 : Endpunkt der Messung) [h];

$\bar{Q}_V$ der zeitlich gemittelte spezifische Luftvolumenstrom ($= \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} Q_V(t) dt$) [m³/h];

$$\left[\frac{m}{C} \right] = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{m(t)}{C(t)} dt \quad [\text{m}^3/\text{h}].$$

(m/C) weicht im Allgemeinen von $(\bar{m}/\bar{C})$ ab. Wenn die Dosis m des Indikatorgases während der Messung konstant ist, wird (m/C) durch $m(\bar{1}/\bar{C})$ ersetzt. Ist die Messdauer ausreichend lang, verringern sich die Auswirkungen des zweiten Terms auf der rechten Seite von Gleichung (12), sodass in diesem Fall dieses Verfahren auch auf Fälle angewendet werden kann, in denen keine ausreichende Genauigkeit für die Abschätzung des Volumens der wirksamen Mischzone erhalten wird. Unmittelbar nach dem Beginn der Dosierung des Indikatorgases ist die Konzentration im Allgemeinen gering; hieraus ergibt sich eine Neigung zu einer starken Verzögerungswirkung auf das Ansprechverhalten des Konzentrationsmesssystems, einschließlich des Probenahmesystems, und zur Verursachung von Fehlern im gemessenen Konzentrationswert; daher dürfen an dieser Stelle die Daten nicht für die Berechnung der Luftwechselrate verwendet werden.

3.3.3 Indikatorgasverfahren mit mittlerer Konzentration

Es wird die Luftwechselrate berechnet, die nicht mit der Zeit schwankt, wenn die Konzentrationsverteilung in einer wirksamen Mischzone dauerhaft gleichmäßig gestaltet wurde. Ist die Messdauer ausreichend lang, ist die Berechnung mit nur der zeitlich gemittelten Indikatorgasdosierung und der zeitlich gemittelten Konzentration während der Messung möglich.

Sobald Gleichung (10) zu Gleichung (9) ins Verhältnis gesetzt wird, ergibt die Integration der Messzeit Gleichung (13).

$$\int_{t_1}^{t_2} C(t) Q(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} m(t) dt - V_{\text{emz}} \int_{t_1}^{t_2} dC \quad (13)$$

Sofern $Q_v(t) = Q_v$ ist, ohne dass sich die Luftwechselrate über die Zeit ändert, ergibt sich Gleichung (14).

$$Q = \frac{\bar{m}}{\bar{C}} - \frac{V_{\text{emz}}}{t_2 - t_1} \left[\frac{C(t_2) - C(t_1)}{\bar{C}} \right] \quad (14)$$

Dabei ist

$$\bar{m} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} m(t) dt \quad [\text{m}^3/\text{h}];$$

$$\bar{C} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} C(t) dt \quad [\text{m}^3/\text{m}^3].$$

Wenn die Messdauer ausreichend lang ist, sind die Auswirkungen des zweiten Terms von Gleichung (14) relativ gering und können ignoriert werden. Ändert sich die Luftwechselrate jedoch über die Zeit, würde sich für den Fall, dass der Mittelwertsatz nach Gleichung (13) angewendet wird, Gleichung (15) ergeben.

$$Q_v(\xi) = \frac{\bar{m}}{\bar{C}} - \frac{V_{\text{emz}}}{t_2 - t_1} \left[\frac{C(t_2) - C(t_1)}{\bar{C}} \right], \quad t_1 \leq \xi \leq t_2 \quad (15)$$

Die nach Gleichung (15) ermittelte Luftwechselrate ist die zu einem bestimmten Zeitpunkt während der Messung erhaltene Luftwechselrate, nicht jedoch die zeitlich gemittelte Luftwechselrate. Die nach Gleichung (15) ermittelte Luftwechselrate ist in Fällen geeignet, in denen es darum geht, mit Hilfe der Indikatorgasdosierung die Erzeugung der verunreinigenden Substanz im Raum zu simulieren und die zeitlich gemittelte Konzentration abzuschätzen, der der Bewohner ausgesetzt ist. Wenn es möglich ist, die Momentankonzentration und die Momentandosierung des Indikatorgases zum Zwecke der Bestimmung der mittleren Luftwechselrate zu messen, sollte daher das Verfahren mit Umkehrkonzentration angewendet werden.

3.3.4 Indikatorgasverfahren mit stationärer Konzentration

Die Luftwechselrate wird berechnet, wenn sie keinen zeitlichen Schwankungen unterliegt, wobei Bedingungen vorliegen müssen, unter denen die mittlere Abluftkonzentration messbar ist. Das Verfahren kann auch angewendet werden, wenn die Konzentration in einer Zone verteilt ist.

Gleichung (16) ergibt sich, wenn ein stationärer Zustand erreicht ist und in Gleichung (9) keine zeitlichen Änderungen angesetzt werden.

$$Q_v = \frac{m}{C_E} \quad (16)$$

Dabei ist

m die Indikatorgasdosis [m^3/h];

C_E die mittlere Abluftkonzentration [m^3/m^3].

Damit wird die Luftwechselrate durch Teilen der konstanten Konzentration durch die Indikatorgasdosis erhalten.

3.4 Indikatorgasverfahren mit konstanter Konzentration

Um die Konzentration in einer wirksamen Mischzone so zu gestalten, dass sie regelmäßig konstant beim angezielten Wert liegt, sollte die Indikatorgasdosis geregelt werden und die Luftwechselrate auf der Grundlage dieser Dosis bewertet werden. Selbst wenn die Innenluft nicht gleichmäßig durchmischt ist, kann durch Bestimmen mehrerer Indikatorgas-Dosierungspunkte und Messpunkte die Konzentrationsverteilung gleichmäßig gestaltet werden. Für die Regelung der Indikatorgasdosis ist eine Spezialausrüstung erforderlich.

Die Grundgleichung hierfür ist wie folgt (zum leichteren Verständnis wurde die Hintergrundkonzentration mit 0 angesetzt).

$$0 = \frac{dV_{\text{gas}}(t)}{dt} = m(t) - C_{\text{target}} Q_v(t) \quad (17)$$

Dabei ist

C_{target} die Zielkonzentration für das Verfahren mit konstanter Konzentration [m^3/m^3];

$Q_v(t)$ die Luftwechselrate zum Zeitpunkt t [m^3/h];

$m(t)$ die Indikatorgasdosis zum Zeitpunkt t [m^3/h].

Entsprechend wird die Luftwechselrate nach folgender Gleichung berechnet:

$$Q_v(t) = \frac{m(t)}{C_{\text{target}}} \quad (18)$$

3.5 Art des Indikatorgases

Zur Messung der Luftwechselrate in einer Zone werden sechs Arten von Indikatorgas entsprechend Tabelle 2 angewendet.

Tabelle 2 — Arten des Indikatorgases

Gasart	Helium ^a	Kohlendioxid ^b		Schwefelhexafluorid ^c		Perfluorkohlenstoff ^d	Ethylen ^e	Stickstoffmonoxid ^f
Chemisches Symbol	He	CO ₂ ^b		SF ₆ ^c		CF ₄ (PFC-14) C ₂ F ₆ (PFC-16)	C ₂ H ₄	N ₂ O
Prüfverfahren	GC-TCD	Infrarot-Gasabsorption	GC-ECD	Infrarot-Gasabsorption	GC	GC-ECD	Infrarot-Gasabsorption & FID & GC	Infrarot-Gasabsorption
Beispiel der unteren Nachweisgrenze	300 × 10 ⁻⁶	1 × 10 ⁻⁶	70 × 10 ⁻⁶	0,001 × 10 ⁻⁶		—	0,1 × 10 ⁻⁶	0,1 × 10 ⁻⁶
Zulässige Konzentration	—	5 000 × 10 ⁻⁶		1 000 × 10 ⁻⁶		—	—	25 × 10 ⁻⁶
Relative Dichte in Bezug auf Luft [-]	0,138	1,545		5,302		Beispiel: PFC-14 : 3,06 PFC-16 : 4,80	0,974	1,53
Treibhauspotential (GWP)	—	1		23 900		Beispiel: PFC-14 : 6 500 PFC-16 : 9 200	—	310

ANMERKUNG 1 Zusätzlich zu den vorstehend angegebenen Gasen können auch Stickstoff, Kohlenmonoxid, Ethan, Methan, Isobuten (2-Methylpropan), Octafluorocyclobutan, Trifluorbrommethan, Dichlordifluormethan und Dichlortetrafluormethan als Indikatorgas verwendet werden.

ANMERKUNG 2 Das GC in der Tabelle steht allgemein für Gaschromatographie, das GC-TCD für Gaschromatographie mit Wärmeleitfähigkeitsdetektor und GC-ECD für Gaschromatographie mit Elektroneneinfangdetektor.

ANMERKUNG 3 Das Treibhauspotential ist definiert als relatives Treibhauspotential je Masseinheit, bezogen auf Kohlendioxid.

ANMERKUNG 4 Die Infrarotabsorption umfasst sowohl TS (Transmissionsspektroskopie) als auch PAS (photoakustische Spektroskopie).

^a Helium ist chemisch stabil.

^b CO₂ löst sich in Wasser und kann an Baustoffen oder Möbeln adsorbiert werden und ist daher nicht für eine genaue Messung geeignet. Ist für die Messung jedoch keine kritische Genauigkeit erforderlich, wird häufig CO₂ verwendet. Das durch Anwesenheit oder einer anderen im Inneren vorhandenen Quelle erzeugte CO₂ muss berücksichtigt werden. Ist die CO₂-Emission unbekannt, darf CO₂ nicht als Indikatorgas verwendet werden.

^c SF₆ hat ein hohes Treibhauspotential und sollte daher nicht in großen Mengen eingesetzt werden. SF₆ ist ein inaktives Gas. Wenn es auf 500 °C erwärmt wird, erzeugt es toxische Gase. Daher sollte es nicht an Orten eingesetzt werden, an denen ein Heizlüfter eingesetzt wird und SF₆ durch die Wärmequelle fließt.

^d PFC hat ein hohes Treibhauspotential und sollte daher nicht in großen Mengen eingesetzt werden.

^e Ethylen ist entflammbar und sollte mit Vorsicht behandelt werden.

^f N₂O hat ein hohes Treibhauspotential und sollte daher nicht in großen Mengen eingesetzt werden. N₂O löst sich in Wasser und reagiert mit Aluminium. Es entzündet sich bei hoher Temperatur. Es muss unbedingt darauf geachtet werden, es nicht über seiner zulässigen Konzentration anzuwenden, da es gesundheitsschädlich ist.

3.6 Messausrüstung

3.6.1 Allgemeines

Die erforderlichen Messgeräte sind in Tabelle 3 entsprechend der Gruppe der in Tabelle 1 aufgeführten Messverfahren aufgelistet. Jedes Gerät wird wie folgt definiert: als Hilfsmittel zur Dosierung und Verteilung des Indikatorgases und zur Entnahme von Luftproben sowie als Analysengerät für die Messung der Gaskonzentration und mit der Funktion weiterer Messgeräte.

Tabelle 3 — Gruppe der Prüfverfahren und Messgeräte

Prüfverfahren			Messgerät				
			Indikatorgas-Generator	Indikatorgas-Verteiler	Indikatorgas-Auffangeinrichtung	Messgerät für die Indikatorgas-konzentration	Weitere Ausrüstung
Verfahren mit abfallender Konzentration	2-Punkt-Abklingverfahren		Zylinder und Ventil mit Durchfluss-messgerät ^a	Gebläse für Gemisch	Manuelles Ansaugen und Beutel aus Polyvinyliden-fluorid	Gaskonzent-rations-Detektor oder -Analyse-gerät	Lesegerät oder Aufzeichnungs-gerät
	Mehrpunkt-Abklingverfahren		Zylinder und Ventil mit Durchfluss-messgerät ^a	Gebläse für Gemisch oder Rohr zur Verteilung sowie Gitternetz an der Luftleitung	Teflonrohr und Gasansaug-pumpe	Konzentrations-analysegerät	2-Punkt-Abklingverfah-ren
	Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration		Zylinder und Ventil mit Durchfluss-messgerät ^a	Gebläse für Gemisch ^f	Teflonrohr und Gasansaug-pumpe	Konzentrations-analysegerät	Aufzeichnungs-gerät und PC
	Impulsverfahren		Behälter mit bekanntem Volumen ^c	Nicht erforderlich	Teflonrohr und Gasansaug-pumpe	Gaskonzent-rations-Analysegerät	Aufzeichnungs-gerät und PC
Verfahren mit konstanter Injektion	Verfahren mit mittlerer Umkehrkonzentration		Präzisions-Durchfluss-messgerät und Zylinder ^b	Gebläse für Gemisch	Teflonrohr und Gasansaug-pumpe	Konzentrations-analysegerät	Aufzeichnungs-gerät und PC
	Verfahren mit mittlerer Konzentration	a) Aktives Verfahren	Präzisions-Durchfluss-messgerät und Zylinder ^b	Gebläse für Gemisch	Teflonrohr und Gasansaug-pumpe	Konzentrations-analysegerät	Aufzeichnungs-gerät und PC
		b) Passives verfahren	Spezifische Generator (Dosiervor-richtung) ^d	N.A.	Spezifische Probenahme-einrichtung ^g	Konzentrations-analysegerät	N.A.
	Verfahren mit stationärer Konzentration		Präzisions-Durchfluss-messgerät und Zylinder	Nicht erforderlich	Teflonrohr und Gasansaug-pumpe	Konzentrations-analysegerät	Aufzeichnungs-gerät und PC
Verfahren mit konstanter Konzentration			Zylinder mit Rückkopplungs-regelung ^e	Gebläse für Gemisch	Teflonrohr und Gasansaug-pumpe	Konzentrations-analysegerät	Prozessregler
^a Einschließlich eines Schwebekörper-Durchflussmessgeräts.							
^b Einschließlich Feinmessventil oder (Ventil mit) elektronischem Massendurchflussregler. Im Allgemeinen sollte der Zylinder einen Druck von 1 MPa, ein Fassungsvermögen von (10 bis 15) l und eine Masse von (5 bis 10) kg aufweisen.							
^c Skalierte Spritze (auf Ex) oder Massendurchflussmessgerät mit Zeitregler.							
^d Einschließlich Aluminiumröhrchen mit der Größe eines Fingers zur Dosierung des Kohlenstoffhydrids durch allmähliches Verdampfen.							
^e Dosiervorrichtung für komprimiertes Indikatorgas mit einer Kombination aus Durchflussmessgerät und System der Rück-kopplungsregelung für die Konzentration innerhalb der Zone.							
^f Mischen ist nur in der Anfangsphase der Messung erforderlich.							
^g Aktivkohleröhrchen adsorbiert verdampftes Kohlenstoffhydrid.							