

DIN EN ISO 12569



ICS 91.120.10

Ersatz für
DIN EN ISO 12569:2013-03

**Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden und Werkstoffen –
Bestimmung des spezifischen Luftvolumenstroms in Gebäuden –
Indikatorgasverfahren (ISO 12569:2017);
Deutsche Fassung EN ISO 12569:2017**

Thermal performance of buildings and materials –
Determination of specific airflow rate in buildings –
Tracer gas dilution method (ISO 12569:2017);
German version EN ISO 12569:2017

Performance thermique des bâtiments et des matériaux –
Détermination du débit d'air spécifique dans les bâtiments –
Méthode de dilution de gaz traceurs (ISO 12569:2017);
Version allemande EN ISO 12569:2017

Gesamtumfang 62 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 12569:2017) 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 von SIS (Schweden) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-56-93 AA „Luftdichtheit (SpA zu ISO/TC 163/SC 1/WG 10)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 12569:2013-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Auswahl der Messverfahren eingeschränkt auf das Verfahren mit konstanter Konzentration;
- b) redaktionelle Änderungen.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 12569: 2001-03, 2013-03

Deutsche Fassung

Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden und Werkstoffen —
Bestimmung des spezifischen Luftvolumenstroms in Gebäuden —
Indikatorgasverfahren
(ISO 12569:2017)

Thermal performance of buildings and materials —
Determination of specific airflow rate in buildings —
Tracer gas dilution method
(ISO 12569:2017)

Performance thermique des bâtiments et des matériaux —
Détermination du débit d'air spécifique dans
les bâtiments —
Méthode de dilution de gaz traceurs
(ISO 12569:2017)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 6. Juli 2017 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 CEN-CENELEC-Management-Zentrum 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, Serbien, 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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Messverfahren und dessen Auswahl	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Verfahren mit abfallender Konzentration	11
4.2.1 Kurzbeschreibung	11
4.2.2 2-Punkt-Abklingverfahren	11
4.2.3 Mehrpunkt-Abklingverfahren	12
4.2.4 Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration	12
4.2.5 Impulsverfahren	13
4.3 Verfahren mit konstanter Injektion	14
4.3.1 Kurzbeschreibung	14
4.3.2 Verfahren mit mittlerer Umkehrkonzentration	14
4.3.3 Verfahren mit mittlerer Konzentration	15
4.3.4 Verfahren mit stationärer Konzentration	16
4.4 Verfahren mit konstanter Konzentration	16
4.5 Art des Indikatorgases	17
4.6 Messausrüstung	18
4.6.1 Allgemeines	18
4.6.2 Dosiervorrichtung für das Indikatorgas	19
4.6.3 Probenahmeeinrichtung für das Indikatorgas	19
4.6.4 Gasanalysegerät	20
5 Durchführung	20
5.1 Vorbereitung des Gebäudes	20
5.2 Unterstützende Messungen	20
5.3 Verfahren mit abfallender Konzentration	21
5.3.1 Berechnung des 2-Punkt- und des Mehrpunktverfahrens	21
5.3.2 Durchführung des 2-Punkt- und des Mehrpunktverfahrens	22
5.3.3 Berechnung für das Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration und das Impulsverfahren	23
5.3.4 Durchführung des Verfahrens mit abklingender Abluftkonzentration und des Impulsverfahrens	25
5.4 Verfahren mit konstanter Injektion	28
5.4.1 Berechnung des Verfahrens mit mittlerer Umkehrkonzentration	28
5.4.2 Durchführung des Verfahrens mit mittlerer Umkehrkonzentration	29
5.4.3 Berechnung des Verfahrens mit mittlerer Konzentration	30
5.4.4 Verfahren mit mittlerer Konzentration	31
5.4.5 Berechnung des Verfahrens mit stationärer Konzentration	32
5.4.6 Durchführung des Verfahrens mit stationärer Konzentration	32
5.5 Verfahren mit konstanter Konzentration	34
5.5.1 Berechnung des Verfahrens mit konstanter Konzentration	34

5.5.2	Durchführung des Verfahrens mit konstanter Konzentration.....	34
6	Genauigkeit.....	35
6.1	Allgemeines	35
6.2	Verfahren zur Dosierung des Indikatorgases und Verteilung der Raumkonzentration	36
6.3	Verfahren zur Probenahme und Lagerung des Indikatorgases	36
6.4	Geräte zur Messung der Indikatorgaskonzentration.....	36
6.4.1	Allgemeines	36
6.4.2	Auflösung.....	36
6.4.3	Drift des Indikatorgas-Analysegeräts.....	36
6.4.4	Genauigkeit des Indikatorgas-Analysegeräts	37
6.4.5	Kalibrierung des Indikatorgas-Analysegeräts.....	37
6.4.6	Konzentration des Standardgases.....	37
6.5	Änderungen des Windes in der Außenumgebung und der Außenlufttemperatur sowie Zeitschema der RLT-Anlage.....	37
7	Prüfbericht.....	38
7.1	Allgemeines	38
7.2	Zur Identifizierung der geprüften Simulierung erforderliche Einzelheiten	38
7.3	Einzelheiten zu Heiz- und Lüftungsanlagen.....	38
7.4	Prüfbedingungen und -geräte.....	38
7.5	Erfasste Daten und Ergebnisse.....	39
7.6	Datum der Prüfung	39
	Anhang A (normativ) Vertrauensintervalle	40
	Anhang B (normativ) Verfahren zur gleichzeitigen Abschätzung der Luftwechselrate Q_v und des Volumens der wirksamen Mischzone V_{emz} [3][4].....	43
	Anhang C (informativ) Überlegungen bei der Messung der Luftwechselrate von großen Räumen	49
	Anhang D (informativ) Auswirkungen der Differenz zwischen Innen und Außentemperatur, der Temperaturänderung sowie der Änderung der Außenluftkonzentration während der Messdauer	50
	Anhang E (informativ) Verfahren der Minimierung des Schätzfehlers bei 2-Punkt- und Mehrpunkt-Abklingverfahren	54
	Anhang F (informativ) Analyse der Fehlerfortpflanzung	58
	Literaturhinweise.....	60

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 12569:2017) 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 von SIS gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis März 2018, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2018 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 12569:2012.

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, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 12569:2017 wurde von CEN als EN ISO 12569:2017 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Im Besonderen sollten die für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten notwendigen Annahmekriterien beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen, sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 163, *Thermal performance and energy use in the built environment*, Unterkomitee SC 1, *Test and measurement methods* erarbeitet.

Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe (ISO 12569:2012), die technisch überarbeitet wurde.

Einleitung

Das Ziel der Lüftung besteht darin, einen angemessenen hygienischen Zustand im Raum aufrechtzuerhalten, indem Außenluft eingeführt wird, wodurch im Raum erzeugte Verunreinigungen, Wärme, Feuchte oder 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 so weit 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

Dieses Dokument legt Verfahren zur Bestimmung der Luftwechselrate oder des spezifischen Luftvolumenstroms in einem Raum eines Gebäudes (der als aus einer einzelnen Zone bestehend angesehen wird) mittels eines Indikatorgases fest.

Diese Messverfahren gelten für Räume, in denen die kombinierten Bedingungen zur gleichmäßigen Indikatorgaskonzentration, eine Messung der Abgaskonzentration, eine wirksame Mischzone und/oder ein Luftwechsel vorliegen.

Dieses Dokument umfasst drei Messverfahren, bei denen Indikatorgas zum Einsatz kommt: Verfahren mit abfallender Konzentration, Verfahren mit konstanter Injektion und Verfahren mit konstanter Konzentration.

ANMERKUNG Die spezifischen Messbedingungen sind in Tabelle 1 angegeben.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

— IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>

— ISO Online browsing platform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1 einzelne Zone

V

Raum, in dem ein Luftaustausch nur mit der Umgebung erfolgt

3.2 wirksame Mischzone

V_{emz}

Raum innerhalb einer einzelnen Zone (3.1), mit Ausnahme verschlossener Möbel oder Lagerbereiche, in dem das in die Zone abgegebene Indikatorgas (3.6) als gleichmäßig verteilt angesehen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: In Kubikmeter gemessen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Häufig ist eine Zwangsmischung der Luft in der Zone erforderlich, um eine gleichmäßige Indikatorgaskonzentration aufrechtzuerhalten.

3.3 Luftwechselrate

Q_v

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Gemessen in m^3/s oder m^3/h .

3.4

spezifischer Luftvolumenstrom

N

Verhältnis der Luftwechselrate (3.3) einer Zone zum Volumen der wirksamen Mischzone (3.2), je Sekunde oder je Stunde

3.5

Gebäudehülle

Umfassungsfläche, die das Innenvolumen eines Gebäudes von der Umgebung trennt

3.6

Indikatorgas

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

3.7

Verfahren mit abfallender Konzentration

Verfahren, bei dem der spezifische Luftvolumenstrom (3.4) aus der abfallenden Konzentrationskurve bestimmt wird, die nach dem Ende der Injektion des Indikatorgases (3.6) beobachtet wird

3.8

Verfahren mit konstanter Injektion

Verfahren, bei dem die Luftwechselrate (3.3) aus der Konzentration bestimmt wird, die sich aus einer kontinuierlichen Erzeugung oder Injektion des Indikatorgases (3.6) ergibt

3.9

Verfahren mit konstanter Konzentration

Verfahren, bei dem die Luftwechselrate (3.3) aus der Injektionsrate des Indikatorgases (3.6) bestimmt wird, das für eine konstante Konzentration im Raum dosiert ist

4 Messverfahren und dessen Auswahl

4.1 Allgemeines

Die Auswahl eines dieser Messverfahren und die Datenverarbeitung hängen von der Gebäudestruktur, der Lüftungsanlage und dem angewendeten Messgerät ab. Eines der drei Messverfahren (Verfahren mit abfallender Konzentration, Verfahren mit konstanter Injektion und Verfahren mit konstanter Konzentration) wird zur Abschätzung der Luftwechselrate oder des spezifischen Luftvolumenstroms verwendet. Das Verfahren mit abfallender Konzentration weist eine begrenzte Messzeit von bis zu 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 oder des spezifischen Luftvolumenstroms zu verbessern, ist es manchmal erforderlich, Maßnahmen zu entwickeln, die sich den für die Messverfahren verlangten Vorbedingungen annähern. Insbesondere gilt, wenn ein Messverfahren angewendet würde, bei dem in der wirksamen Mischzone eine gleichmäßige Konzentration erforderlich ist, dass die Innenluft vorzugsweise durch Zwangsmischung gemischt werden sollte. Im Allgemeinen hat die Zwangsmischung der Innenluft nur einen geringen Einfluss auf die Luftwechselrate oder den spezifischen Luftvolumenstrom, aber es besteht das Risiko, dass die Zwangsmischung die gemessene Luftwechselrate beeinflusst, wenn aufgrund von Temperaturunterschieden eine natürliche Lüftung überwiegt und die Temperatur im Raum sehr unterschiedlich verteilt ist, oder wenn ein zum Zwecke der Durchmischung der Luft von einem Ventilator abgegebener Luftstrom direkt auf die undichten Stellen in Gebäuden gerichtet ist. In diesen Fällen muss das Mischsystem verbessert werden, oder es wird empfohlen, ein Messverfahren auszuwählen, das die Gleichmäßigkeit der Konzentration ohne Durchmischung sicherstellen könnte.

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 die Zwangsmischung 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 eine kontinuierliche Zwangsmischung der Luft in der wirksamen Mischzone zu bevorzugen. Wird jedoch das Verfahren mit konstanter Konzentration angewendet, und wird die Konzentration durch Injektion des Indikatorgases an verschiedenen Stellen geregelt und erfolgt die Luftprobenahme an mehreren Stellen, kann davon ausgegangen werden, dass die Konzentration auch ohne Durchmischung gleichmäßig ist.
- Die „mittlere Abluftkonzentration kann gemessen werden“ kann entweder Fälle bedeuten, in denen die Konzentration in einer wirksamen Mischzone mittels Durchmischung 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 der 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, ist für die Abschätzung des Volumens einer wirksamen Mischzone eine hohe Genauigkeit nicht erforderlich, wenn die Luftwechselrate ausreichend lange bewertet wird.
- 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 oder der spezifische Luftvolumenstrom sich mit der Zeit nicht ändert.
- 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.
- Zusätzlich zu den Messverfahren in Tabelle 1 besteht ein Verfahren mit intermittierender Injektion, das die gleichzeitige Messung des Volumens der wirksamen Mischzone und der Luftwechselrate zulässt.
- Ist das Volumen einer wirksamen Mischzone bekannt, kann die Messung der Luftwechselrate neben den anderen Messungen erfolgen, indem das Volumen der wirksamen Mischzone mit dem spezifischen Luftvolumenstrom multipliziert und dann in die Luftwechselrate umgewandelt wird.

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	Mittlere Abluftkonzentration kann gemessen werden	Bekanntes Volumen der wirksamen Mischzone	Schwankungen in der Luftwechselrate können ignoriert werden	Luftwechselrate oder spezifischer Luftvolumenstrom	Flexibilität gegenüber einer wesentlichen 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	Δ
Die Kennzeichnung „•“ weist auf die notwendige Bedingung für die Anwendung zur Messung der Menge nach jedem Verfahren hin. Die Kennzeichnung „—“ weist darauf hin, dass keine notwendige Bedingung für jedes anzuwendende Verfahren vorliegt. Die Kennzeichnung „Δ“ weist auf eine angemessene Anwendbarkeit hin, da die Grundgleichung zum Ableiten des Messverfahrens eine zeitliche Änderung der Luftwechselrate zulässt. Die Kennzeichnung „□“ weist auf eine Schwierigkeit hin, da bei der Grundgleichung zum Ableiten des Messverfahrens von einer konstanten Luftwechselrate ausgegangen wird.								

4.2 Verfahren mit abfallender Konzentration

4.2.1 Kurzbeschreibung

Zu Beginn der Prüfung wird das Indikatorgas der Zone zugeführt, in der die Luftwechselrate auf der Grundlage der erhaltenen Daten zum Konzentrationsabfall bewertet wird. Im Falle der Zwangsmischung zum Zwecke der gleichmäßigen Verteilung oder wenn die mittlere Abluftkonzentration gemessen werden kann, kann die Anzahl der Messpunkte auf einen 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 Gleichung (1), angegeben in m³/h oder m³/s:

$$\frac{dV_{\text{gas}}(t)}{dt} = -C_E(t)Q_v(t) \quad (1)$$

Dabei ist

t die Zeit, in h oder s;

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

x die Stelle innerhalb einer Zone;

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

$Q_v(t)$ die Luftwechselrate zum Zeitpunkt t , in m³/h;

$C_E(t)$ die mittlere Abluftkonzentration zum Zeitpunkt t , in 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.

4.2.2 2-Punkt-Abklingverfahren

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

Aus den vorstehenden Bedingungen wird Gleichung (2) 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 , in m³/m³;

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

t_1 der Anfangspunkt der Messung, in h;

t_2 der Endpunkt der Messung, in h;

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

Auf der Grundlage der zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten erhaltenen Messdaten zur Konzentration wird der zeitlich gemittelte spezifische Luftvolumenstrom während der Messdauer für diese Periode berechnet. Während der Messdauer 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.

4.2.3 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, in h.

Der spezifische Luftvolumenstrom 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 mit der 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.

4.2.4 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 mit der Zeit nicht schwankt. Das Verfahren kann auch angewendet werden, wenn die Konzentration nach dem Beginn der Messung verteilt wird. Eine gleichzeitige Messung mit dem mittleren Alter der Luftverteilung ist möglich.

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

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

Wenn die Konzentration in einer wirksamen Mischzone am Anfangspunkt der Messung gleichmäßig gestaltet wird, ist das Ergebnis

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

und nachdem eine ausreichende Zeit verstrichen ist, 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, wird auf Anhang F Bezug genommen.

4.2.5 Impulsverfahren

Die Luftwechselrate wird berechnet, wenn die mittlere Abluftkonzentration messbar ist und die Luftwechselrate mit der 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 nachdem eine ausreichende Zeit verstrichen ist, ist 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 Indikatorgasvolumen (= zugeführtes Volumen des Indikatorgases), das zum Anfangspunkt der Messung t_1 im Raum zurückgehalten wird, in m^3 .

ANMERKUNG Für das Indikatorgasvolumen wird der in die Dichte umgewandelte Wert der Ablufttemperatur angewendet.

4.3 Verfahren mit konstanter Injektion

4.3.1 Kurzbeschreibung

Wird das Indikatorgas der Zone kontinuierlich zugeführt, wird die Luftwechselrate auf der Grundlage der Dosiermenge und der Messdaten zur Konzentration gemessen. Wird ein Messverfahren angewendet, das über die gesamte wirksame Mischzone, der das Indikatorgas zugeführt wird, eine gleichmäßig verteilte Konzentration erfordert, sind üblicherweise mehrere Punkte 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 in Gleichung (9) angegeben:

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

Dabei ist

$m(t)$ die Dosierung des Indikatorgases zum Zeitpunkt t , in m^3/h .

4.3.2 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 Gleichung (10) 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 , in m^3/m^3 ;

V_{emz} das Volumen einer wirksamen Mischzone, in m^3 .

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

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

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

Dabei ist

t die Zeit, in h;

t_1 der Anfangspunkt der Messung, in h;

t_2 der Endpunkt der Messung, in h;

$\overline{Q_v}$ der zeitlich gemittelte spezifische Luftvolumenstrom $\left[= \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} Q_v(t) dt \right]$, in m³/h;

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

$\overline{(m/C)}$ weicht im Allgemeinen von $(\overline{m}/\overline{C})$ ab. Wenn die Indikatorgasdosis m während der Messung konstant ist, wird $\overline{(m/C)}$ durch $(1/\overline{C})$ ersetzt. Ist die Messdauer ausreichend lang, verringert sich die Auswirkung 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 Indikatorgasdosierung ist die Konzentration im Allgemeinen gering; hieraus ergibt sich eine Neigung zu einer starken Verzögerungswirkung auf das Ansprechverhalten des Konzentrationsmesssystems, einschließlich des Probenahme-systems, und zur Verursachung von Fehlern im gemessenen Konzentrationswert; daher dürfen an dieser Stelle die Daten nicht für die Berechnung der Luftwechselrate verwendet werden.

4.3.3 Verfahren 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 Indikatorgasdosis und der zeitlich gemittelten Konzentration während der Messung möglich.

Sobald Gleichung (10) zu Gleichung (9) ins Verhältnis gesetzt wird, ergibt die Integration der Messdauer 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 mit der Zeit ändert, ergibt sich Gleichung (14):

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

Dabei ist

$$\overline{m} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} m(t) dt, \quad \text{in m}^3/\text{h};$$

$$\overline{C} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} C(t) dt, \quad \text{in m}^3/\text{m}^3.$$

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

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

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 der Zweck darin besteht, mithilfe 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.

4.3.4 Verfahren 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 vorliegen:

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

Dabei ist

m die Indikatorgasdosis, in m^3/h ;

C_E die mittlere Abluftkonzentration, in m^3/m^3 .

Das heißt, dass die Luftwechselrate durch Teilung der konstanten Konzentration durch die Indikatorgasdosis erhalten wird.

4.4 Verfahren mit konstanter Konzentration

Um die Konzentration in einer wirksamen Zone so zu gestalten, dass sie regelmäßig konstant beim angezielten Wert liegt, sollte die Indikatorgasdosis geregelt und die Luftwechselrate auf der Grundlage der Indikatorgasdosierung 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 anzuwendende Grundgleichung ist durch Gleichung (17) angegeben (zum leichteren Verständnis wurde die Hintergrundkonzentration mit 0 angesetzt):

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

Dabei ist

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

$Q_v(t)$ die Luftwechselrate zum Zeitpunkt t , in m^3/h ;

$m(t)$ die Indikatorgasdosis zum Zeitpunkt t , in m^3/h .

Entsprechend wird die Luftwechselrate nach Gleichung (18) berechnet:

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

4.5 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
Messverfahren	GC-TCD	Infrarot-Gasabsorption	GC-ECD	Infrarot-Gasabsorption	GC	GC-ECD	Infrarot-Gasabsorption und FID und 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 vorstehenden Gasen können auch Stickstoff, Kohlenmonoxid, Ethan, Methan, Isobuten (2-Methylpropen), Octafluorocyclobutan, Trifluorbrommethan, Dichlordifluormethan und Dichlortetrafluorethan 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 Treibhauseffektpotential je Masseinheit, bezogen auf Kohlendioxid.

ANMERKUNG 4 Die Infrarot-Gasabsorption umfasst sowohl Transmissionsspektroskopie (TS) als auch photoakustische Spektroskopie (PAS).

^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 diese CO₂-Emissionsrate unbekannt, kann 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 großer 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.