

DIN EN ISO 12569



ICS 91.120.10

Entwurf

Einsprüche bis 2016-03-29
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 12569:2013-03

**Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden und Werkstoffen –
Bestimmung des spezifischen Luftvolumenstroms in Gebäuden –
Indikatorgasverfahren (ISO/DIS 12569:2015);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 12569:2015**

Thermal performance of buildings and materials –
Determination of specific airflow rate in buildings –
Tracer gas dilution method (ISO/DIS 12569:2015);
German and English version prEN ISO 12569:2015

Performance thermique des bâtiments et des matériaux –
Détermination du débit d'air spécifique dans les bâtiments –
Méthode de dilution de gaz traceurs (ISO/DIS 12569:2015);
Version allemande et anglaise prEN ISO 12569:2015

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-01-29 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 119 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 12569:2015) 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 Sekretariate von SIS, Schweden gehalten werden.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-56-93 AA „Luftdichtheit (SpA zu ISO/TC 163/SC 1/WG 10)“ im DIN, Deutsches Institut für Normung e. V.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der prEN ISO 12569 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

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 vorgenommen.

Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden und Werkstoffen — Bestimmung des spezifischen Luftvolumenstroms in Gebäuden — Indikatorgasverfahren (ISO/DIS 12569:2015)

Performance thermique des bâtiments et des matériaux — Détermination du débit d'air spécifique dans les bâtiments — Méthode de dilution de gaz traceurs (ISO/DIS 12569:2015)

Thermal performance of buildings and materials — Determination of specific airflow rate in buildings — Tracer gas dilution method (ISO/DIS 12569:2015)

ICS:

Deskriptoren:

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

STD Version 2.7g

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Begriffe	7
3 Messverfahren und dessen Auswahl	8
3.1 Allgemeines	8
3.2 Verfahren mit abfallender Konzentration	10
3.2.1 Allgemeines	10
3.2.2 2-Punkt-Abklingverfahren	11
3.2.3 Mehrpunkt-Abklingverfahren	12
3.2.4 Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration	12
3.2.5 Impulsverfahren	13
3.3 Verfahren mit konstanter Injektion	13
3.3.1 Allgemeines	13
3.3.2 Verfahren mit mittlerer Umkehrkonzentration	14
3.3.3 Verfahren mit mittlerer Konzentration	15
3.3.4 Verfahren mit stationärer Konzentration	15
3.4 Verfahren mit konstanter Konzentration	16
3.5 Art des Indikatorgases	16
3.6 Messausrüstung	18
3.6.1 Allgemeines	18
3.6.2 Dosiervorrichtung für das Indikatorgas	19
3.6.3 Probenahmeeinrichtung für das Indikatorgas	19
3.6.4 Gasanalysegerät	20
4 Durchführung	20
4.1 Vorbereitung des Gebäudes	20
4.2 Unterstützende Messungen	20
4.3 Verfahren mit abfallender Konzentration	20
4.3.1 Berechnung des 2-Punkt- und des Mehrpunktverfahrens	20
4.3.2 Durchführung des 2-Punkt- und des Mehrpunktverfahrens	21
4.3.3 Berechnung für das Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration und das Impulsverfahren	22
4.3.4 Durchführung des Verfahrens mit abklingender Abluftkonzentration und des Impulsverfahrens	24
4.4 Verfahren mit konstanter Injektion	27
4.4.1 Berechnung des Verfahrens mit mittlerer Umkehrkonzentration	27
4.4.2 Durchführung des Verfahrens mit mittlerer Umkehrkonzentration	28
4.4.3 Berechnung des Verfahrens mit mittlerer Konzentration	29
4.4.4 Verfahren mit mittlerer Konzentration	30
4.4.5 Berechnung des Verfahrens mit stationärer Konzentration	31
4.4.6 Verfahren mit stationärer Konzentration	32
4.5 Verfahren mit konstanter Konzentration	33
4.5.1 Berechnung des Verfahrens mit konstanter Konzentration	33
4.5.2 Durchführung des Verfahrens mit konstanter Konzentration	34
5 Genauigkeit	35
5.1 Verfahren zur Dosierung des Indikatorgases und Verteilung der Raumkonzentration	36
5.2 Verfahren zur Probenahme und Lagerung des Indikatorgases	36

5.3	Geräte zur Messung der Indikatorgaskonzentration.....	36
5.3.1	Allgemeines	36
5.3.2	Auflösung.....	36
5.3.3	Drift des Indikatorgas-Analysegeräts.....	36
5.3.4	Genauigkeit des Indikatorgas-Analysegeräts	37
5.3.5	Kalibrierung des Indikatorgas-Analysegeräts.....	37
5.3.6	Konzentration des Standardgases.....	37
5.4	Änderungen des Windes in der Außenumgebung und der Außenlufttemperatur sowie Zeitschema der RLT-Anlage.....	37
6	Prüfbericht.....	37
6.1	Allgemeines	37
6.2	Alle zur Identifizierung der geprüften Simulierung erforderlichen Einzelheiten	38
6.3	Einzelheiten zu Heiz- und Lüftungsanlagen.....	38
6.4	Prüfbedingungen und -geräte.....	38
6.5	Erfasste Daten und Ergebnisse.....	39
6.6	Datum der Prüfung	39
	Anhang A (normativ) Vertrauensintervalle	40
A.1	Allgemeines	40
A.2	Mehrpunkt-Abklingverfahren	40
A.3	Verfahren mit mittlerer Konzentration	42
A.4	Verfahren mit konstanter Konzentration	43
	Anhang B (normativ) Verfahren zur gleichzeitigen Abschätzung der Luftwechselrate Q_V und des Volumens der wirksamen Mischzone V_{emz} [3,4]	44
B.1	Allgemeines	44
B.2	Vor- und Nachteile des Verfahrens mit intermittierender Injektion.....	44
B.3	Modell der Grundgleichung.....	45
B.4	Erarbeitung der Gleichung für die Mehrfach-Regressionsanalyse	45
B.5	Verfahren zur Berechnung der Variablen für das Mehrfach-Regressionsmodell	45
B.6	Verfahren unter Anwendung eines bestehenden Rechenprogramms der Mehrfach- Regressionsanalyse	46
	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
D.1	Bei homogener Temperatur und Indikatorgaskonzentration in einer einzelnen Zone	50
D.2	Bei nicht homogener Temperatur und Indikatorgaskonzentration in einer einzelnen Zone	52
	Anhang E (informativ) Verfahren der Minimierung des Schätzfehlers bei dem 2-Punkt- und Mehrpunkt-Abklingverfahren	54
E.1	Allgemeines	54
E.2	Abschätzung des spezifischen Luftvolumenstroms mit der Methode der kleinsten Quadrate	54
E.3	Abklingdauer zur Minimierung der Auswirkungen der Fehler bei der Konzentrationsmessung.....	55
	Anhang F (informativ) Analyse der Fehlerfortpflanzung	58
F.1	2-Punkt-Abklingverfahren.....	58
F.2	Verfahren mit mittlerer Umkehrkonzentration	58
F.3	Verfahren mit konstanter Konzentration	59
	Literaturhinweise.....	60

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 12569:2015) 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.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 12569:2012 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 12569:2015 wurde vom CEN als prEN ISO 12569:2015 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees 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 Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

Internationale Normen werden in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet.

Die Hauptaufgabe von technischen Komitees besteht darin, Internationale Normen zu erarbeiten. Entwürfe von Internationalen Normen, die von einem technischen Komitee angenommen werden, werden zur Abstimmung an die Mitglieder verteilt. Für die Veröffentlichung als Internationale Norm ist die Zustimmung von mindestens 75 % der abstimmenden Mitglieder erforderlich.

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.

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 163, *Thermal performance and energy use in the built environment*, Subcommittee SC 1, *Test and measurement methods*.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 12569:2000), welche technisch überarbeitet wurde.

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 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

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 und ein Luftaustausch nur mit der Umgebung erfolgt

ANMERKUNG 1 In Kubikmeter gemessen.

ANMERKUNG 2 Die für die Messung erforderlichen Bedingungen sind für jedes Messverfahren 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 $1/\text{s}$ oder $1/\text{h}$]

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 Lüfrate 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 das 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 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/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/den spezifischen Luftvolumenstrom, aber es besteht das Risiko, dass die Zwangsmischung 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 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 Indikator-gases 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, 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	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	
ANMERKUNG Zusätzlich zu den vorstehenden 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 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. 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 Indikatorgases genau der transienten Luftwechselrate entspricht, bei der die interne Konzentration auf einem konstanten Niveau gehalten wird.								

3.2 Verfahren 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 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 wie folgt:

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

Dabei ist

- t die Zeit [h oder s];
- $V_{\text{gas}}(t)$ das Gesamtvolumen des Indikatorgases in einer Zone zum Zeitpunkt „t“ ($= \iiint_V C(x,t)dV$) [m^3];
- x die Stelle innerhalb einer Zone;
- $C(x,t)$ die Konzentration zum Zeitpunkt „t“, „x“ in einer Zone [m^3/m^3];
- $Qv(t)$ die Luftwechselrate zum Zeitpunkt „t“ [m^3/h];
- $C_E(t)$ die mittlere Abluftkonzentration zum Zeitpunkt „t“ [m^3/m^3].

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 [m^3/m^3];
- V_{emz} das Volumen einer wirksamen Mischzone (unter der Annahme, dass keine zeitbezogenen Änderungen auftreten) [$\frac{\iiint_V C(x,t)dV}{C_E(t)}$] [m^3].

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 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.

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 [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.

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 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.

3.2.5 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:

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

Dabei ist $V_{\text{gas}}(t_1)$ das Volumen des Indikatorgases (= zugeführtes Volumen des Indikatorgases), das zum Anfangspunkt der Messung t_1 im Raum zurückgehalten wird [m³].

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

3.3 Verfahren 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 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 folgt:

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

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 [m^3/m^3];

V_{emz} das Volumen einer wirksamen Mischzone [m^3].

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

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

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

Dabei ist

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

$\bar{Qv}$ der zeitlich gemittelte spezifische Luftvolumenstrom $\left(= \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} Qv(t) dt \right)$ [m^3/h];

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

$\overline{(m/C)}$ weicht im Allgemeinen von $(\bar{m}/\bar{C})$ ab. Wenn die Dosis m des Indikatorgases während der Messung konstant ist, wird $\overline{(m/C)}$ durch $\bar{m}/\bar{C}$ 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 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 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 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 $Qv(t) = Qv$ ist, ohne dass sich die Luftwechselrate mit der 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, 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.

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

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 der Zweck darin besteht, 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 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.

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

Dabei ist

m die Indikatorgasdosis [m^3/h];

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

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

3.4 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 werden 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 wie folgt (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 [m^3/m^3];

$Qv(t)$ 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:

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

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
Messverfahren	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 vorstehenden Gasen können auch Stickstoff, Kohlenmonoxid, Ethan, Methan, Isobuten (2-Methylpropen), 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 Treibhauseffektpotential 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 diese CO₂-Emissionsrate 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 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.

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 Analysegerät für die Messung der Gaskonzentration und mit der Funktion weiterer Messgeräte.

Tabelle 3 — Gruppe der Messverfahren und Messgeräte

Messverfahren		Messgerät				
		Indikatorgas-Generator	Indikatorgas-Verteiler	Indikatorgas-Auffang-einrichtung	Messgerät für die Indikatorgas-konzentration	Weitere Ausrüstung
Verfahren mit abfallender Konzentration	2-Punkt-Abklingverfahren	Zylinder und Ventil mit Durchflussmessgerät ^a	Gebläse für Gemisch	Manuelles Ansaugen und Beutel aus Polyvinyliden-fluorid	Gaskonzentrations-Detektor oder -Analysegerät	Lesegerät oder Aufzeichnungsgerät
	Mehrpunkt-Abklingverfahren	Zylinder und Ventil mit Durchflussmessgerät ^a	Gebläse für Gemisch oder Rohr zur Verteilung sowie Gitternetz an der Luftleitung	Teflonrohr und Gas-ansaugpumpe	Konzentrationsanalysegerät	2-Punkt-Abklingverfahren
	Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration	Zylinder und Ventil mit Durchflussmessgerät ^a	Gebläse für Gemisch ^f	Teflonrohr und Gas-ansaugpumpe	Konzentrationsanalysegerät	Aufzeichnungsgerät und PC
	Impulsverfahren	Behälter mit bekanntem Volumen ^c	Nicht erforderlich	Teflonrohr und Gas-ansaugpumpe	Gaskonzentrations-Analysegerät	Aufzeichnungsgerät und PC
Verfahren mit konstanter Injektion	Verfahren mit mittlerer Umkehrkonzentration	Präzisions-Durchflussmessgerät und Zylinder ^b	Gebläse für Gemisch	Teflonrohr und Gas-ansaugpumpe	Konzentrationsanalysegerät	Aufzeichnungsgerät und PC
	Verfahren mit mittlerer Konzentration	a) Aktives Verfahren	Präzisions-Durchflussmessgerät und Zylinder ^b	Gebläse für Gemisch	Teflonrohr und Gas-ansaugpumpe	Konzentrationsanalysegerät
		b) Passives Verfahren	Spezifischer Generator (Dosiervorrichtung) ^d	N.A.	Spezifische Probenahme-einrichtung ^g	Konzentrationsanalysegerät
	Verfahren mit stationärer Konzentration	Präzisions-Durchflussmessgerät und Zylinder	Nicht erforderlich	Teflonrohr und Gas-ansaugpumpe	Konzentrationsanalysegerät	Aufzeichnungsgerät und PC
Verfahren mit konstanter Konzentration		Zylinder mit Rückkopplungsregelung ^e	Gebläse für Gemisch	Teflonrohr und Gas-ansaugpumpe	Konzentrationsanalysegerät	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 Rückkopplungsregelung für die Konzentration innerhalb der Zone.
- f Durchmischung ist nur in der Anfangsphase der Messung erforderlich.
- g Aktivkohleröhrchen adsorbieren verdampftes Kohlenstoffhydrid.

3.6.2 Dosiervorrichtung für das Indikatorgas

3.6.2.1 Allgemeines

Die Dosiergeschwindigkeit muss genau gemessen werden. Tabelle 3 gibt die Kombinationen an; für jedes Prüfverfahren nach Tabelle 1 und das nach Tabelle 2 angewendete Indikatorgas sollte jedoch ein geeignetes Volumen gewählt werden. Wird der Gasvolumenstrom gemessen, erfolgt gleichzeitig zum Zwecke der Abschätzung des Massendurchflusses des Gases die Messung der Temperatur. Es sollte ein Ventil mit einer daran angebrachten Heizvorrichtung vorbereitet werden, um im Falle der Emission eines großen Volumens an Kohlendioxid usw. ein Abkühlen oder Einfrieren am Ventil zu verhindern.

Folgende Maßnahmen sind zur Förderung einer gleichmäßigen Durchmischung erforderlich.

3.6.2.2 Mischventilator

Für die ordnungsgemäße Durchmischung innerhalb einer Prüfzone sind Ventilatoren erforderlich. Dies ist jedoch dann nicht wünschenswert, wenn in der Zone eine Temperaturschichtung vorliegt, die die Luftwechselrate und den spezifischen Luftvolumenstrom beeinträchtigen würde.

3.6.2.3 Synchrone Emission des Indikatorgases

Rohr und Schlauchsystem usw. für die Verteilung/Emission durch verzweigte Rohrleitungen für den Fall, dass mehrere Auslässe vorbereitet werden.

3.6.3 Probenahmeeinrichtung für das Indikatorgas

3.6.3.1 Werkstoffe für die Probenahmeeinrichtung

Die Werkstoffe für die Probenahmeeinrichtung für das Indikatorgas, bei der es sich vorwiegend um Rohre und Schläuche handelt, dürfen das eingesetzte Indikatorgas nicht absorbieren, nicht mit diesem reagieren und nicht durchlässig dafür sein. Glas, Kupfer und nichtrostender Stahl usw. sind zu bevorzugen. Für flexible Behälter ist Metallfolie geeignet. Weitere zulässige Werkstoffe sind Polypropylen, Polyethylen und Polyamid. Häufig werden fluorinbeschichtete Schläuche, sogenannte Teflonschläuche, eingesetzt. In Abhängigkeit vom Indikatorgas umfassen die zu vermeidenden Werkstoffe Weichplastik. Schläuche (insbesondere Kunststoffschläuche), die bereits einmal für die Injektion des reinen Indikators eingesetzt wurden, sollten nicht mehr für die Probenahme der Luft verwendet werden.

3.6.3.2 Tragbare Probenahmeeinrichtungen

Dies umfasst gasdichte Spritzen, flexible Flaschen und Probenbeutel mit einem Fassungsvermögen von mindestens dem Dreifachen der Probe mit der Mindest-Luftkonzentration in dem Gasanalysegerät. Die tragbare Probenahmeeinrichtung muss luftdicht beschaffen sein, sodass die Luftprobe nicht verdünnt oder verunreinigt wird.

3.6.3.3 Probenahmenetz für die Analyse vor Ort

Das Rohrnetz besteht aus einem Verteiler für das Leiten mehrerer Probenahmerohre zum Gasanalysegerät, einem Umschalter und einer Pumpe, die zu dem Analysegerät führt; üblicherweise ist es jedoch integriert und so programmiert, dass die Luftprobe in festgelegten Zeitintervallen angesaugt wird, und ist direkt mit dem Gasanalysegerät verbunden.

3.6.4 Gasanalysegerät

Das Gasanalysegerät muss für das Indikatorgas und die vermuteten Konzentrationen geeignet sein. Das Analysegerät muss auch genau kalibriert sein, und der Messfehler darf $\pm 5\%$ nicht überschreiten. Sofern Bedenken hinsichtlich der Drift des Analysegeräts bestehen, sollte es zu Beginn und am Ende der Prüfung kalibriert werden. Der Vorteil eines Gasanalysegeräts besteht in der Möglichkeit der kontinuierlichen Echtzeitmessung der Verunreinigungen im Innenraum, z. B. CO₂, TVOC, CO, Formaldehyd.

4 Durchführung

4.1 Vorbereitung des Gebäudes

Das in dieser Internationalen Norm angegebene Messverfahren bezieht sich auf die Lüftungsmessung einer einzelnen Zone. Für den Fall, dass die Zone bei mehreren Räumen einer gleichmäßigen Konzentration bedarf, dürfen alle Innentüren geöffnet sein und eine angemessene Mischvorrichtung zur Erzielung der gleichmäßigen Konzentration in den Räumen verwendet werden.

Ist die Messung für einen einzelnen Raum in dem Gebäude durchzuführen, gilt auch, wenn die Innentüren und die in einen angrenzenden Raum führenden Türen absichtlich so abgedichtet wären, dass keine Leckage aus einem angrenzenden Raum möglich ist, dass in vielen Fällen Luft durch undichte Stellen in der Decke in einen angrenzenden Raum strömen würde, sodass es schwierig sein dürfte, sie nur auf den Zielraum zu begrenzen.

4.2 Unterstützende Messungen

Zusätzlich zu der Zone, in der Lüftungsmessungen durchgeführt werden, wird die Raumtemperatur der angrenzenden Räume, die durch Öffnungen, Risse, Luftleitungen und Schächte miteinander verbundenen sind, gemessen und aufgezeichnet. Daten zu Außenlufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung werden an der nächstgelegenen Wetterstation oder mit einer tragbaren Wetterstation zusammengetragen. Gemessen werden die Betriebsbedingungen der Gebäudelüftungsanlage und die Größe der Öffnungen in der Gebäudehülle. Wenn das Messverfahren das Volumen V_{emz} benötigt, müssen die Maße der Zone ermittelt werden.

4.3 Verfahren mit abfallender Konzentration

4.3.1 Berechnung des 2-Punkt- und des Mehrpunktverfahrens

In 4.3.1.1 und 4.3.1.2 sind die Berechnungen des 2-Punkt- und des Mehrpunktverfahrens beschrieben.

4.3.1.1 2-Punkt-Abklingverfahren

Bei Messung der Raumkonzentration an zwei Punkten ist der mittlere spezifische Luftvolumenstrom in Bezug auf die Zeit nach Gleichung (19) zu berechnen.

$$\bar{N} = \frac{1}{t_2 - t_1} \log_e \frac{C(t_1)}{C(t_2)} \cdot [1/h] \quad (19)$$

Dabei ist

$\bar{N}$ der zeitlich gemittelte spezifische Luftvolumenstrom [1/h oder 1/s];

$C(t_1)$ die Raumkonzentration zum Zeitpunkt „ t_1 “ [m³/m³];

$C(t_2)$ die Raumkonzentration zum Zeitpunkt „ t_2 “ [m³/m³];

t_1 der Anfangspunkt der Messung [h];

t_2 der Endpunkt der Messung [h].

4.3.1.2 Mehrpunkt-Verfahren mit abfallender Konzentration

Das Mehrpunkt-Verfahren mit abfallender Konzentration kann angewendet werden, wenn der Prozess des Gaskonzentrationsabfalls mehrmals in Intervallen gemessen werden kann, die sich von mehreren Minuten bis zu etwa einer Stunde erstrecken. Die Methode der kleinsten Quadrate wird auf die Gaskonzentration angewendet, wenn mindestens drei Punkte gemessen werden und der für den spezifischen Luftvolumenstrom (N) vorhergesagte Wert nach folgender Gleichung berechnet wird.

$$N = \frac{\left(\sum_{j=1}^{n_p} t_j\right) \cdot \sum_{j=1}^{n_p} \log_e C(t_j) - n_p \cdot \sum_{j=1}^{n_p} t_j \cdot \log_e C(t_j)}{n_p \cdot \sum_{j=1}^{n_p} t_j^2 - \left(\sum_{j=1}^{n_p} t_j\right)^2} \quad (20)$$

Dabei ist

N der Schätzwert des spezifischen Luftvolumenstroms;

t_j das j -Fache der Zeit, die seit dem Beginn des Abklingprozesses ($t_1 = 0$) verstrichen ist;

$C(t_j)$ die gemessene Gaskonzentration zum Zeitpunkt t_j ;

n_p die Gesamtanzahl der verstrichenen Messzeitpunkte ($n_p \geq 3$).

Soweit mehrere verstrichene Messzeitpunkte bestimmt werden können, können durch Anwendung der Periodendauer T sowie der Gesamtanzahl der verstrichenen Messzeitpunkte, n_p , die Messfehler, die einen Fehlerschätzwert des spezifischen Luftvolumenstroms N verursachen, minimiert werden. Dies kann erreicht werden, indem das Produkt $N \cdot T_m$ aus der Kurve nach Anhang E verwendet wird, wobei T_m eine optimale Periodendauer ist, bei der der Fehler für N minimiert ist.

4.3.2 Durchführung des 2-Punkt- und des Mehrpunktverfahrens

Bei jedem Verfahren wird der Prozess des Gaskonzentrationsabfalls gemessen, nachdem die Ausgangskonzentration in der gemessenen Zone hoch ist, wobei folgende Schritte anzuwenden sind:

Schritt 1: Das Indikatorgas wird gemischt, nachdem es dosiert oder freigesetzt und verteilt wurde, und die Gleichmäßigkeit der Konzentration im Raum wird mit den entnommenen Proben der Ausgangsbedingung überprüft.

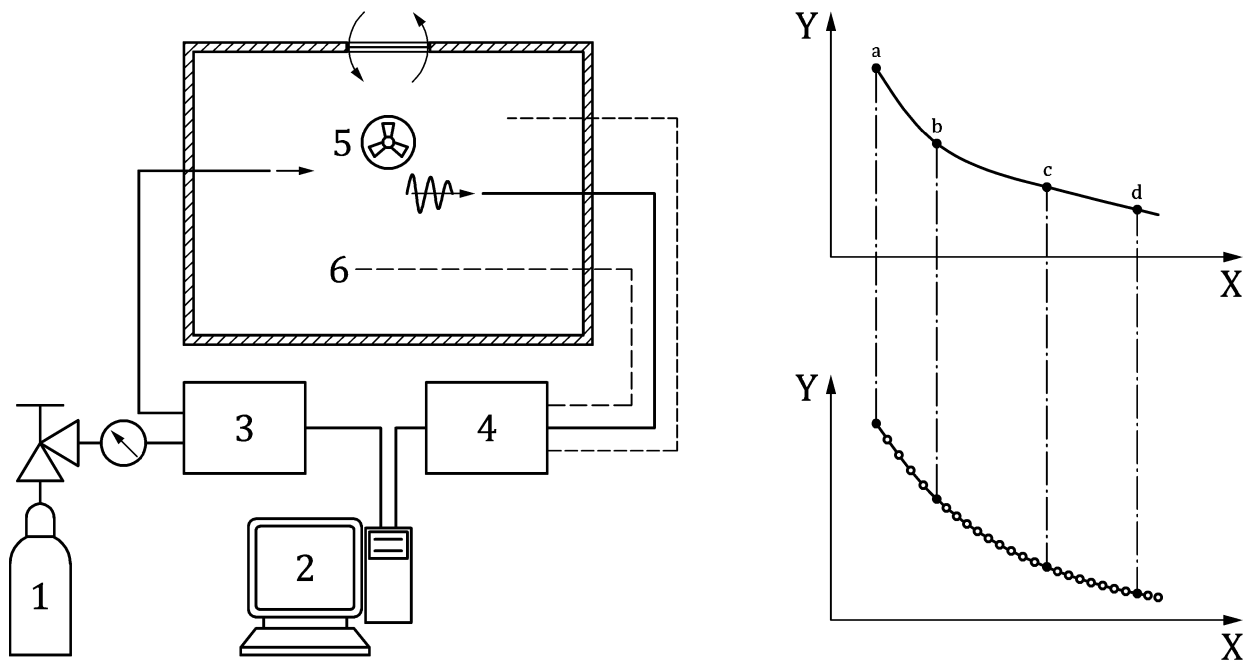
Schritt 2: Die erste Datenprobe der abfallenden Konzentration wird entnommen.

Schritt 3: Die zweite Datenprobe aus dem Abklingprozess für das 2-Punktverfahren wird entnommen. Mindestens eine weitere Probe ist für das Mehrpunktverfahren notwendig.

Schritt 4: Die letzte Probe aus dem Abklingprozess zur Überprüfung der Gleichmäßigkeit der Konzentration in der Zone wird entnommen.

Dieses Prüfverfahren ist in Bild 1 angegeben. Um die Ausgangskonzentration in Schritt 1 zu erhalten, die dicht an der oberen Messgrenze des Gaskonzentrations-Analysegeräts liegt, wird der Zone die erforderliche, ausreichende Menge des Indikatorgases zugeführt. Dann wird das Indikatorgas in der Zone gemischt. Um die Gleichmäßigkeit der Ausgangskonzentration zu bestätigen, werden zusätzlich zur Probenahme im Mittelpunkt der Zone Luftproben an mindestens zwei (höchstens 3) vom Mittelpunkt entfernten Punkten entnommen, und die Probenahmezeit wird aufgezeichnet. Die Luft aus dem Mittelpunkt wird dann zweimal beprobt, und die Probenahmezeiten werden aufgezeichnet.

Die Abluft des Messsystems muss nach außen geführt werden, um einen erneuten Umlauf zu verhindern.



Legende

- 1 Indikatorgas
- 2 Datenerfassung, Regelung der Gasdosierung/Luftprobenahme
- 3 Gasdosierungseinrichtung
- 4 Gerät zur Messung der Gaskonzentration
- 5 Mischventilator
- 6 Überprüfung der räumlichen Verteilung
- a Schritt 1
- b Schritt 2
- c Schritt 3
- d Schritt 4
- X verstrichene Zeit; Konzentrationsmessung mit Probenahmebeutel usw.
- Y Konzentration

Bild 1 — Darstellung des Verfahrens mit abfallender Indikatorgaskonzentration

4.3.3 Berechnung für das Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration und das Impulsverfahren

In 4.3.3.1 und 4.3.3.2 ist die Berechnung für das Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration und das Impulsverfahren beschrieben.

4.3.3.1 Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration

Der spezifische Luftvolumenstrom wird nach Gleichung (21) aus der zum Anfangspunkt der Messung gleichmäßig verteilten Konzentration und den Daten zur Konzentration in der entlüfteten Abluft berechnet.

$$N = \frac{C(t_1)}{\int_{t_1}^{\infty} C_E(t) dt} \quad (21)$$

$$\int_{t_1}^{\infty} C_E(t) dt \approx \int_{t_1}^{t_2} C_E(t) dt + \frac{C_E(t_2)}{a} \quad (22)$$

$$\log_e C_E(t) = \log_e C_E(t_2) - a(t - t_2) \quad (23)$$

Dabei ist

- N der spezifische Luftvolumenstrom [1/h];
- $C_E(t)$ die Abluftkonzentration zum Zeitpunkt „t“ [m³/m³].
- $C(t_1)$ die zum Anfangspunkt der Messung gleichmäßig verteilte Konzentration [m³/m³];
- t_1 die Anfangszeit der Messung [h];
- t_2 die Endzeit der Messung [h];
- a der Schätzwert, bezogen auf die abfallende Konzentration nach t_2 [1/h].

Um den richtigen Nenner in Gleichung (21) zu berechnen, werden die zwischen den Messzeitpunkten auftretenden Konzentrationsänderungen durch lineare Anpassung annähernd bestimmt. In der Praxis ist es schwierig, die Messung vorzunehmen, bevor die Konzentration in der entlüfteten Abluft ausreichend abgesunken ist. Daher darf Gleichung (21) anhand von Gleichung (22) annähernd bestimmt werden. Der geschätzte Koeffizient a der abfallenden Konzentration wird nach Gleichung (23) anhand der Interpolation der semi-log Kurve, die mit den Messdaten übereinstimmt und die stetig und linear zur Zeitachse fällt, berechnet.

4.3.3.2 Impulsverfahren

Die Luftwechselrate wird nach Gleichung (24) aus dem dem Raum anfänglich zugeführten Indikatorgasvolumen und den Daten zur Konzentration in der entlüfteten Abluft berechnet.

$$Q_v = \frac{V_{\text{gas}}(t_1)}{\int_{t_1}^{\infty} C_E(t) dt} \quad (24)$$

Dabei ist

- t die Zeit [h];
- t_1 der Anfangspunkt der Messung [h];
- Q_v die Luftwechselrate [m³/h];
- $V_{\text{gas}}(t_1)$ das dem Raum zu Beginn der Messung zugeführte Indikatorgasvolumen [m³/h];
- $C_E(t)$ die Konzentration in der entlüfteten Abluft [m³/m³].

Um den Nenner in Gleichung (24) zu berechnen, werden die zwischen den Messpunkten auftretenden Konzentrationsänderungen durch lineare Anpassung annähernd bestimmt. Wenn es schwierig ist, die Messung durchzuführen, bevor die Konzentration in der entlüfteten Abluft ausreichend abgesunken ist, und die Konzentrationsänderungen nach der Zeit t_2 als nach Gleichung (22) entsprechend dem Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration annähernd bestimmt angesehen werden, kann der Nenner in Gleichung (24) aus Gleichung (23) berechnet werden.

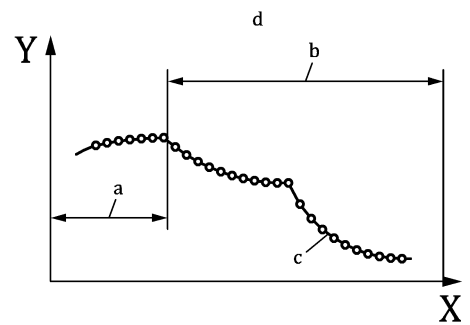
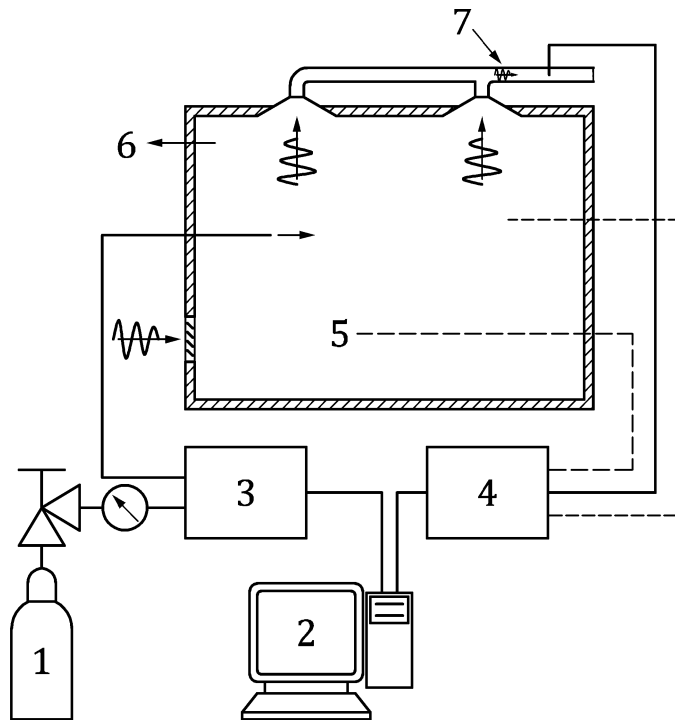
4.3.4 Durchführung des Verfahrens mit abklingender Abluftkonzentration und des Impulsverfahrens

Beim Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration wird, nachdem die Ausgangskonzentration stark erhöht wird, der Prozess des Konzentrationsabfalls über einen längeren Zeitraum kontinuierlich gemessen, bis die Konzentration annähernd der der Atmosphäre entspricht. Beim Impulsverfahren wird unmittelbar vor der Zufuhr der Gasdosis in die Zone in einer Übergangszeit damit begonnen, die genaue Menge des injizierten Gases, die durch die Dosierung erhöhte Konzentration und die über den Abklingprozess abgegebene Gasmenge kontinuierlich über einen längeren Zeitraum zu messen, bis die Konzentration als der der Atmosphäre entsprechend angesehen wird. Für jedes Verfahren ist eine kontinuierliche zeitliche Integration der Konzentrationsänderung erforderlich. Für den Fall, dass nur einzelne Gaskonzentrationsmessungen möglich sind, muss das Zeitintervall für die Messung ausreichen, z. B. eine Minute.

Beide Verfahren sind in ihrer Anwendung auf Zonen mit mechanischer Abluftausrüstung beschränkt; daher muss zur Bestimmung der Lüftung die Abluftkonzentration über einen längeren Zeitraum kontinuierlich gemessen werden. Die Messverfahren sind in den Bildern 2 und 3 dargestellt. Außerdem sind Bedingungen erforderlich, unter denen sich die Luftwechselrate über einen längeren Zeitraum nicht ändert. Liegen mehrere Abluftauslässe vor, muss die über den Luftvolumenstrom gewichtete mittlere Abluftkonzentration für diese berechnet werden. Da der Luftvolumenstrom an den einzelnen Auslässen nicht bekannt ist, kann zur Messung dieser über den Luftvolumenstrom gewichteten mittleren Abluftkonzentration die Konzentration manchmal hinter einer Mischstelle gemessen werden, hinter der sich diese mehreren Abluftauslässe zu einer Abluftleitung vereinigt haben.

Diese Messverfahren erfordern in der Anfangsphase eine gleichmäßige Raumkonzentration. Hier sind die Fälle, in denen die mittlere Abluftkonzentration messbar ist, ohne die Raumkonzentration gleichmäßig zu gestalten, solche, in denen die mechanische Lüftung mit Hilfe eines Abluftventilators erfolgt und der Innenraumdruck in Bezug auf den Außendruck negativ wird oder solche, in denen vom Volumen der mechanisch erzeugten Abluft zuvor bekannt ist, dass es beträchtlich oberhalb der Exfiltrationsrate liegt, sodass die Leckage ebenfalls ignoriert werden kann.

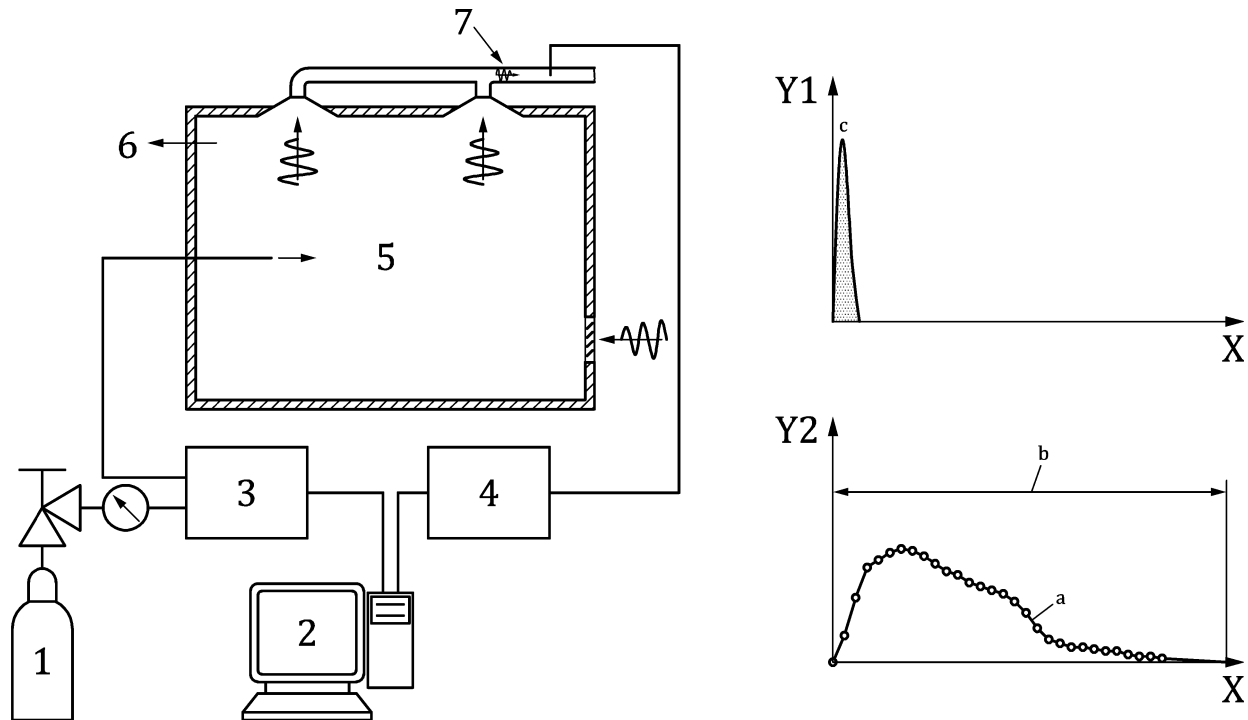
Es sollte jedoch umsichtig vorgegangen werden, wenn keine künstliche Durchmischung durchgeführt wird. Befindet sich der Abluftauslass beispielsweise im oberen Teil der Zone und der Einlass für die Außenluft im unteren Teil, woraus sich eine Wirkung ergibt, die einer Verdrängungsströmung nahekommt, kann der Abfall in der Abluftkonzentration zunächst langsam sein und schneller werden, sobald das Gas in der Zone durch frische Außenluft ersetzt wird. Daher können bedeutende Fehler auftreten, wenn der ab der anfänglichen maßgeblichen Periode auftretende Abfall ohne ausreichend lange Messung der Gaskonzentration abgeschätzt wird.



Legende

- 1 Indikatorgas
- 2 Datenerfassung, Regelung der Gasdosierung/Luftprobenahme
- 3 Gasdosierungseinrichtung
- 4 Gerät zur Messung der Gaskonzentration
- 5 Überprüfung der Gleichmäßigkeit der anfänglichen Verteilung der Gaskonzentration
- 6 andere Abluftauslässe dürfen nicht bestehen
- 7 die über den Luftvolumenstrom gewichtete mittlere Abluftkonzentration ist zu messen
- X verstrichene Zeit; im Falle der Quelllüftung kann sich die Abklingkurve plötzlich ändern
- Y Konzentration
- a Übergangszeit
- b es dauert lange, bis die Konzentration ausreichend abgemindert ist
- c im Falle der Quelllüftung kann sich die Abklingkurve plötzlich ändern
- d nach der Bestätigung der Gleichmäßigkeit der Verteilung der Raumkonzentration

Bild 2 — Darstellung des Verfahrens mit abklingender Abluftkonzentration

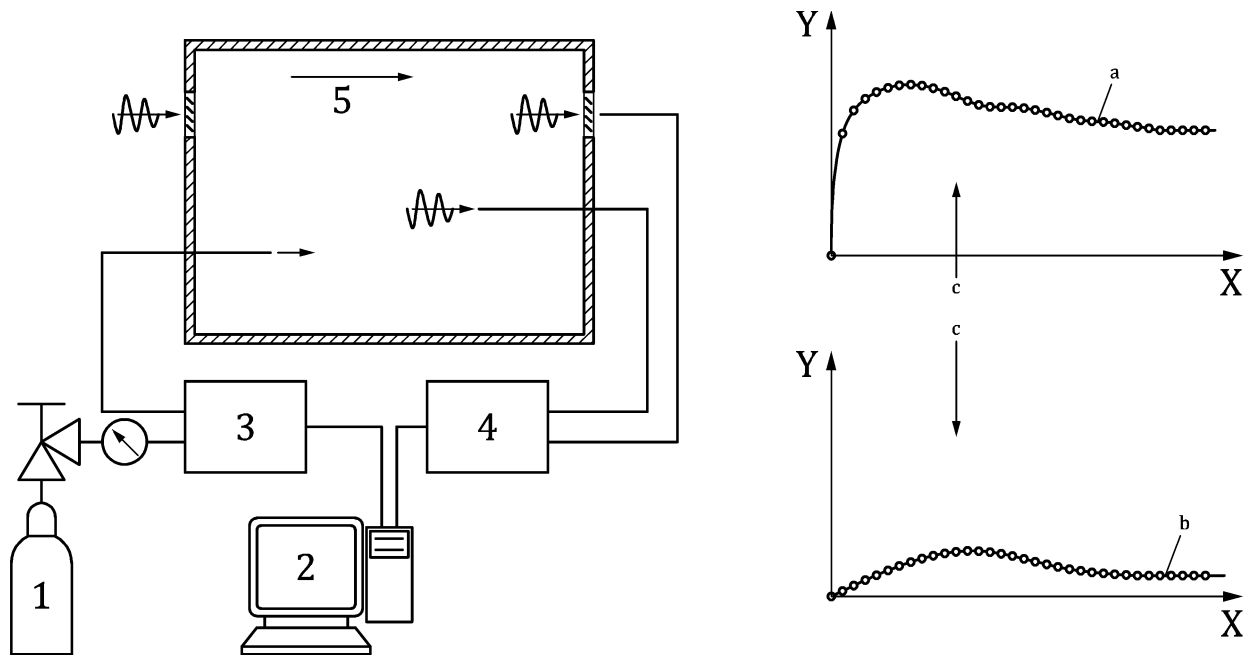


Legende

- 1 Indikatorgas
- 2 Datenerfassung, Regelung der Gasdosierung/Luftprobenahme
- 3 Gasdosierungseinrichtung
- 4 Gerät zur Messung der Gaskonzentration
- 5 kann nur bei mechanisch erzeugter Abluft angewendet werden
- 6 andere Abluftauslässe dürfen nicht bestehen
- 7 die über den Luftvolumenstrom gewichtete mittlere Abluftkonzentration ist zu messen
- X verstrichene Zeit
- Y1 Gaszufuhr
- Y2 Konzentration
- a in der Quelllüftung kann der Konzentrationsabfall zügig wechseln
- b längere Zeitdauer erforderlich
- c die bekannte Gasqualität ist unmittelbar freigegeben

Bild 3 — Darstellung des Impulsverfahrens

Selbst wenn, wie in Bild 4 dargestellt, ein Kurzschlussstrom zwischen der Zufuhreinlassöffnung und dem Abluftauslass auftritt, muss eine ausreichend lange Messdauer durchgeführt werden, um eine vollständige Ausprägung der abfallenden Kurve zu erhalten. Da das Risiko des Auftretens von Fehlern bestehen kann, d. h. weil unter tatsächlichen Bedingungen, unter denen sich die für die Messung vorgesehene Zone in einen Ort umwandelt, an dem eine stagnierende Lüftungsströmung vorliegt, was zu einer Verzögerung bei der Abminderung der Abluftkonzentration führt und es erforderlich macht, die Messungen nach einer begrenzten Zeit abzubrechen, Fehler auftreten, weil die nachfolgende Abminderung durch Extrapolation annähernd bestimmt wird und die Zone außerdem leicht durch Störungsschwankungen beeinträchtigt wird.



Legende

- 1 Indikatorgas
- 2 Datenerfassung, Regelung der Gasdosierung/Luftprobenahme
- 3 Gasdosierungseinrichtung
- 4 Gerät zur Messung der Gaskonzentration
- 5 Kurzschluss
- X verstrichene Zeit
- Y Konzentration
- a Konzentration an dem repräsentativen Punkt in der Zone
- b Abluftkonzentration

Bild 4 — Durch Kurzschlussstrom verursachter Messfehler

4.4 Verfahren mit konstanter Injektion

4.4.1 Berechnung des Verfahrens mit mittlerer Umkehrkonzentration

Anhand dieses Verfahrens wird aus der folgenden Gleichung, in der das Volumen der Indikatorgasdosierung vom Beginn bis zum Ende der Messung, die gleichmäßig verteilte Raumluftkonzentration und das Volumen der wirksamen Mischzone angesetzt werden, die mittlere Luftwechselrate bestimmt.

$$\bar{Q}_v = \left[\frac{\bar{m}}{C} \right] + \frac{V_{\text{emz}}}{t_2 - t_1} \log_e \frac{C(t_1)}{C(t_2)} \quad (25)$$

Dabei ist

t_1 die Zeit, zu der die Messung beginnt [h];

t_2 die Zeit, zu der die Messung endet [h];

$\bar{Q}_v$ die mittlere Luftwechselrate [m³/h];

$$\left[\frac{\bar{m}}{C} \right] = \left[\frac{m_1}{C_1} + \dots + \frac{m_k}{C_k} + \dots + \frac{m_n}{C_n} \right] / n;$$

- n die Anzahl der Messungen;
- V_{emz} das Volumen der wirksamen Mischzone [m^3];
- C_k die k -te Messung der Raumkonzentration [m^3/h];
- m_k das k -te Volumen der Indikatorgasdosis [m^3/h];
- $C(t_1)$ die Raumkonzentration zum Zeitpunkt „ t_1 “ [m^3/m^3];
- $C(t_2)$ die Raumkonzentration zum Zeitpunkt „ t_2 “ [m^3/m^3].

Die unmittelbar nach Beginn der Indikatorgasdosierung erhaltenen Daten dürfen nicht verwendet werden. Die Datenerfassung muss unmittelbar nach der Indikatorgasdosierung beginnen, und dann wird der zeitlich gemittelte spezifische Luftvolumenstrom, t_1 in Proberechnungen berechnet und die Ergebnisse der Berechnung der Luftwechselrate werden entsprechend ihrem stabilen Zeitpunkt angepasst.

4.4.2 Durchführung des Verfahrens mit mittlerer Umkehrkonzentration

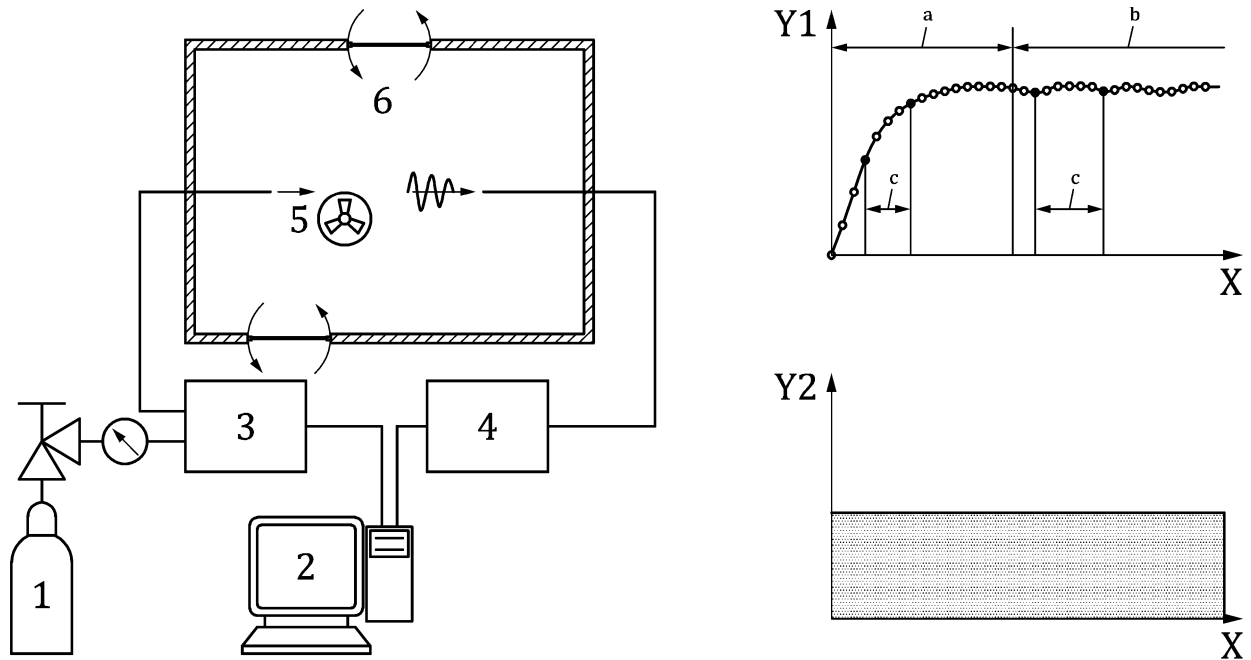
Bei diesem Verfahren wird das Indikatorgas normalerweise mit einem konstanten Volumenstrom zugeführt, wobei die Verteilung in der Zone während der Messung der Konzentration des Gases in der Zone gleichmäßig gehalten wird. Nach der Stabilisierung der Gaskonzentration ergibt sich die zeitlich gemittelte Luftwechselrate aus dem integrierten Verhältnis aus der Zufuhrate des Indikatorgases und der Gaskonzentration zwischen den 2-Punkten.

Daher werden sowohl die Zufuhrate des Indikatorgases als auch die Gaskonzentration vorzugsweise kontinuierlich gemessen; wird die Messung jedoch zu einzelnen Zeitpunkten durchgeführt, müssen die Zeitintervalle bei etwa einer Minute liegen, um den zeitlich bedingten Fehler zu minimieren.

Um die transiente Luftwechselrate über die Zeit zu verifizieren, sollten mindestens zwei Bereiche gemessen werden.

Dieses Prüfverfahren wird in Bild 5 dargestellt. Um bestätigen zu können, dass der Prozess der Erhöhung der Gaskonzentration abgeschlossen ist, sowie aufgrund der Änderungen der Gaskonzentration und der Erfordernis eines Integralwerts der Zufuhrate des Indikatorgases, ist eine Vorrichtung zur kontinuierlichen Messung und Aufzeichnung erforderlich. Darüber hinaus wäre eine Einrichtung zur räumlichen Mehrpunktmessung vorzuziehen, um auch die Gleichmäßigkeit der Gaskonzentration in der Zone zu bestätigen. Üblicherweise sind 30 min als Messintervalle angemessen.

Die Durchflussrate des Indikatorgases muss so eingestellt werden, dass die Abweichungen von der Zielkonzentration innerhalb von 2 % liegen, damit die Konzentration innerhalb eines durch das Gasanalysegerät nachweisbaren Bereiches liegt. Die Gaskonzentration innerhalb der Zone sollte gemischt sein, sodass die Schwankung der Gaskonzentration innerhalb der Zone weniger als 10 % beträgt.



Legende

- 1 Indikatorgas
- 2 Datenerfassung, Regelung der Gasdosierung/Luftprobenahme
- 3 Gasdosierungseinrichtung
- 4 Gerät zur Messung der Gaskonzentration
- 5 Mischventilator
- 6 Schwankungen bei der Lüftung sind zulässig
- X verstrichene Zeit
- Y1 Konzentration
- Y2 Gaszufuhr
- a nutzbar
- b empfohlen

Bild 5 — Darstellung des Verfahrens mit mittlerer Umkehrkonzentration

4.4.3 Berechnung des Verfahrens mit mittlerer Konzentration

Die Luftwechselrate wird berechnet, indem die mittlere Konzentration vom Anfangs- bis zum Endpunkt der Messung und die Momentankonzentration am Anfangs- und Endpunkt in Gleichung (26) eingesetzt werden.

$$q_v = \frac{\bar{m}}{\bar{C}} - \frac{V_{emz}}{t_2 - t_1} \left[\frac{C(t_2) - C(t_1)}{\bar{C}} \right] \quad (26)$$

Dabei ist

t_1 der Anfangspunkt der Messung [h];

t_2 der Endpunkt der Messung [h];

Q_v die Luftwechselrate [m³/h];

$\bar{m}$ die mittlere Zufuhr rate des Indikator gases $\left(\bar{m} = \frac{m_1 + \dots + m_k + \dots + m_n}{n} \right)$ [m³/h];

$\bar{C}$ die zeitlich gemittelte Raumkonzentration $\left(\bar{C} = \frac{C_1 + \dots + C_k + \dots + C_n}{n} \right)$ [m³/m³];

- n die Anzahl der Konzentrationsmessungen;
- V_{emz} das Volumen der wirksamen Mischzone [m^3];
- $C(t_1)$ die Raumkonzentration zum Zeitpunkt t_1 [m^3/m^3];
- $C(t_2)$ die Raumkonzentration zum Zeitpunkt t_2 [m^3/m^3];
- C_k die k -te gemessene Raumkonzentration [m^3/m^3];
- m_k die Zufuhr rate des Indikator gases bei der Konzentration k [m^3/h].

Wird das Verfahren mit mittlerer Konzentration entsprechend dem passiven Verfahren einschließlich des PFT-Verfahrens angewendet, können $C(t_1)$ und $C(t_2)$ nicht gemessen werden; daher sollte für die rechte Seite von Gleichung (27) eine Bewertung der Größenordnung vorgenommen werden, sodass der zweite Term auf der rechten Seite von Gleichung (29) ignoriert werden kann. Um diese Anforderung zu erfüllen, wird eine ausreichend lange mittlere Zeit angesetzt, bzw. die Anfangszeit der Messung wird nach der Stabilisierung der Raumkonzentration gesetzt.

$$t_2 - t_1 \gg \frac{\bar{C}}{\bar{m}}$$

$$t_2 - t_1 \gg \frac{C(t_2) - C(t_1)}{\bar{m}} \cdot V_{\text{emz}} \quad (27)$$

In diesem Fall wird Gleichung (28) angewendet, um die Luftwechselrate zu berechnen.

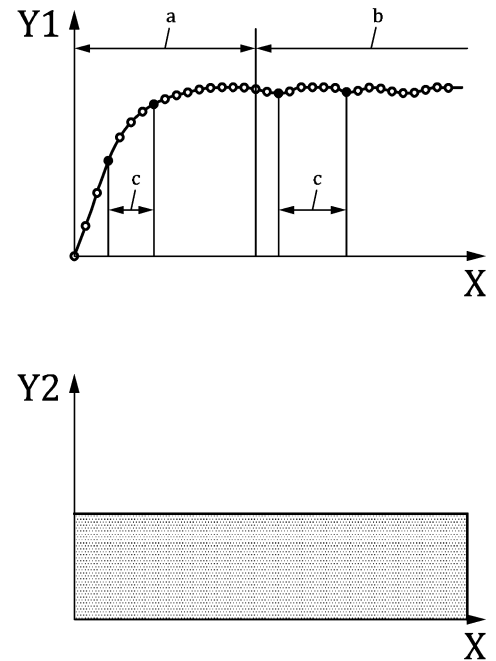
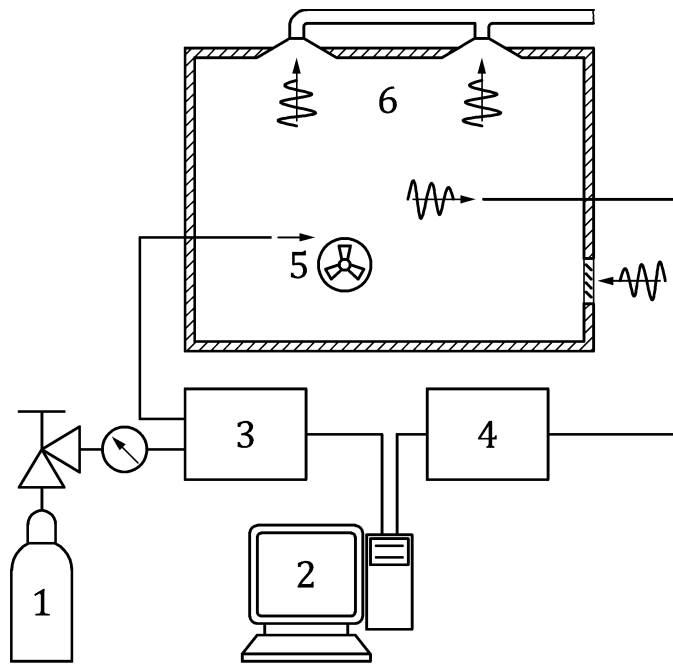
$$Q_v = \frac{\bar{m}}{\bar{C}} \quad (28)$$

Dabei ist

- t_1 der Anfangspunkt der Messung [h];
- t_2 der Endpunkt der Messung [h];
- Q_v die Luftwechselrate [m^3/h];
- $\bar{m}$ die mittlere Zufuhr rate des Indikator gases ($\bar{m} = \frac{m_1 + \dots + m_k + \dots + m_n}{n}$) [m^3/h];
- $\bar{C}$ die zeitlich gemittelte Raumkonzentration ($\bar{C} = \frac{C_1 + \dots + C_k + \dots + C_n}{n}$) [m^3/m^3].

4.4.4 Verfahren mit mittlerer Konzentration

Entspricht dem Verfahren mit mittlerer Konzentration (Bild 6). Während das Verfahren mit mittlerer Umkehrkonzentration auf $\left(\frac{\bar{m}}{\bar{C}}\right) (m/C) = (\text{Gaszufuhr rate})/(\text{Gaskonzentration})$ nach Gleichung (12) beruht, stellt $\left(\frac{\bar{m}}{\bar{C}}\right) (m/C)$ nach Gleichung (14) die Grundlage des Verfahrens mit mittlerer Konzentration dar und es erfolgt eine separate Mittelung der Gaszufuhr rate und der Raumkonzentration.



Legende

- 1 Indikatorgas
- 2 Datenerfassung, Regelung der Gasdosierung/Luftprobenahme
- 3 Gasdosierungseinrichtung
- 4 Gerät zur Messung der Gaskonzentration
- 5 Mischventilator
- 6 nur anwendbar bei mechanischer Lüftung
- X verstrichene Zeit
- Y1 Konzentration
- Y2 Gaszufuhr
- a nutzbar
- b empfohlen

Bild 6 — Darstellung des Verfahrens mit mittlerer Konzentration

4.4.5 Berechnung des Verfahrens mit stationärer Konzentration

Sofern das Indikatorgas dem Raum stetig zugeführt wird, dient dieses Verfahren dazu, die Luftwechselrate zu bestimmen, indem in Gleichung (29) die mittlere Abluftkonzentration eingesetzt wird, die sich ergibt, nachdem die Raumkonzentration stationär geworden ist. Wird die Abluftkonzentration mehrmals gemessen, wird der Mittelwert auf die Gleichung angewendet.

$$Q_v = \frac{m}{C_E} \quad (29)$$

Dabei ist

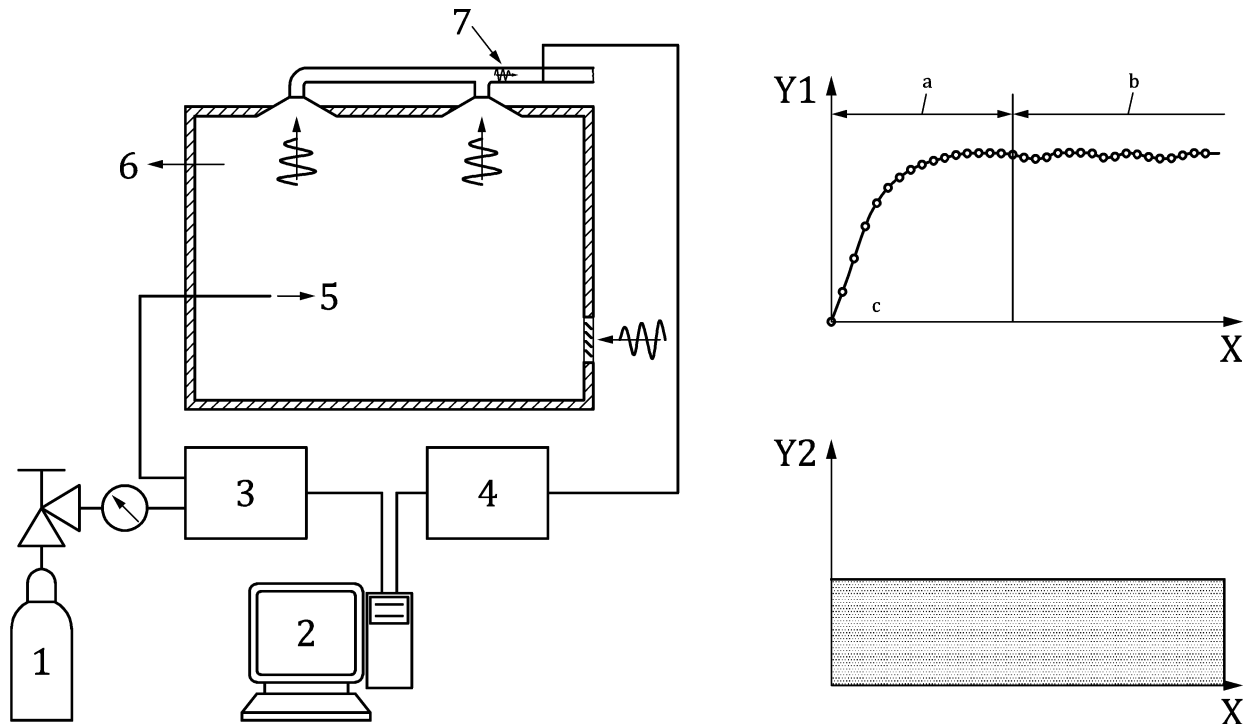
- Q_v die Luftwechselrate [m^3/h];
- m die Zufuhr rate des Indikatorgases [m^3/h];
- C_E die stationäre Abluftkonzentration [m^3/m^3].

4.4.6 Verfahren mit stationärer Konzentration

Dieses Verfahren gilt nur für eine Zone, in der eine mechanische Lüftungsanlage eingebaut ist. Das Indikatorgas wird der Zone mit einem konstanten Volumenstrom zugeführt, wobei der Volumenstrom gemessen wird. Wurde der stationäre Zustand erreicht, werden die Gaszufuhr rate und die stationäre Abluftkonzentration gemessen.

Bild 7 enthält eine Darstellung. Zur genauen Messung der stationären Abluftkonzentration muss die Abluftkonzentration kontinuierlich über einen längeren Zeitraum gemessen werden. Auch sind Bedingungen erforderlich, die sicherstellen, dass sich die Luftwechselrate während dieses Zeitraums nicht ändert. Liegen mehrere Abluftauslässe vor, müssen diese über den Luftvolumenstrom gewichteten mittleren Abluftkonzentrationen gemessen werden. Obwohl der Luftvolumenstrom an den einzelnen Abluftauslässen nicht bekannt ist, ist es möglich, diese über den Luftvolumenstrom gewichtete mittlere Abluftkonzentration zu messen, indem der Messpunkt der Mischstelle, an dem sich diese mehreren Abluftauslässe zu einer Abluftleitung vereinigt haben, angeordnet wird.

Bei diesem Messverfahren muss die Raumkonzentration nicht gleichmäßig sein. Dieses Verfahren kann angewendet werden, wenn die gemessene Abluftkonzentration mehr als 90 % der aus der Zone entweichenden Abluftkonzentration entspricht. Diese Situation tritt ein, wenn für die Abluft nur Abluftsysteme oder eine ausgewogene Lüftungsanlage mit größerem Luftvolumenstrom als Abluftventilator installiert wurden, sodass der Raum einem negativen Druck im Verhältnis zur Außenumgebung unterliegt oder die Zone ausreichend luftdicht ist, wodurch die Exfiltrationsrate nach außen vernachlässigt werden kann.



Legende

- 1 Indikatorgas
- 2 Datenerfassung, Regelung der Gasdosierung/Luftprobenahme
- 3 Gaszufuhreinrichtung
- 4 Gerät zur Messung der Gaskonzentration
- 5 vernachlässigbar geringe Exfiltrationsrate
- 6 die über den Luftvolumenstrom gewichtete mittlere Abluftkonzentration ist zu messen
- X verstrichene Zeit
- Y1 Konzentration
- Y2 Gaszufuhr
- a Übergangszustand und nicht anzuwenden
- b kann angewendet werden

Bild 7 — Darstellung des Verfahrens mit stationärer Konzentration

4.5 Verfahren mit konstanter Konzentration

4.5.1 Berechnung des Verfahrens mit konstanter Konzentration

Dieses Verfahren wird angewendet, um die transiente Luftwechselrate zu bestimmen, indem die Indikatorgasdosis und die konstant geregelte gleichmäßig verteilte Konzentration mit der folgenden Gleichung verwendet werden.

Wenn die Konzentrationen in der Zone, die aus Gebäuderäumen besteht, gleichbleibend gehalten wird, kann dieses Verfahren zur Bestimmung eines kombinierten Luftvolumenstroms multipler Räume innerhalb eines Gebäudes genutzt werden.

$$Q_v(t) = \frac{m(t)}{C(t)} \quad (30)$$

Für die Bedeutung der Symbole wird auf die vorhergehenden Gleichungen Bezug genommen.

Um die Momentan-Luftwechselrate genau zu berechnen, muss die Raumkonzentration dauerhaft in der Nähe der Zielkonzentration gehalten werden, sodass $\frac{V_{\text{emz}}}{C_{\text{target}}} \cdot \frac{dC(t)}{dt} < q(t)$ ist.

Gleichung (31) wird angewendet, wenn der zeitlich gemittelte spezifische Luftvolumenstrom zu bestimmen ist.

$$\overline{Q_v} = \frac{\overline{m}}{\overline{C}} \quad (31)$$

Dabei ist

$\overline{Q_v}$ der zeitlich gemittelte spezifische Luftvolumenstrom [m^3/h];

$\overline{m} = (m_1 + \dots + m_k + \dots + m_n)/n$ [m^3/h];

$\overline{C} = (C_1 + \dots + C_k + \dots + C_n)/n$ [m^3/m^3];

n die Anzahl der Konzentrationswerte und der Indikatorgasdosen [—];

C_k die k -te gemessene Raumkonzentration [m^3/m^3];

m_k die k -te gemessene Indikatorgasdosis [m^3/h].

4.5.2 Durchführung des Verfahrens mit konstanter Konzentration

Im Allgemeinen wird die Indikatorgasmenge für die Injektion in eine Zone bestehend aus zwei oder mehr Räumen derart geregelt, dass die Konzentration in jedem Raum konstant und gleichmäßig verteilt ist und die Menge der Gasdosis gemessen wird. Das Indikatorgas wird gemischt, um die Konzentration gleichmäßig zu halten, sodass die Verteilung in jeder Zone nicht mehr als 10 % beträgt. Die Differenz zwischen den Zonen sollte nicht mehr als 5 % betragen. Die Menge der Luft, die von außen direkt in eine Zone strömt, ohne die Verbindungszone(n) zu durchlaufen, kann über die zugeführte Gasmenge und die gemessene konstante Konzentration bestimmt werden.

Dieses Prüfverfahren wird in Bild 8 dargestellt. Es ist wichtig, dass der gemessene Konzentrationswert, der zur Berechnung der Luftwechselrate angewendet werden kann, der Zielkonzentration nahezu entsprechen und stabil sein muss. Mit anderen Worten, ein vor diesem Zustand gemessener Übergangswert darf nicht verwendet werden. Auch muss die Messung fortgesetzt werden, bis bestätigt werden kann, dass diese Konzentrationen konstant sind. Wird die Messung zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt, müssen in jeder Zone Messungen im Abstand von jeweils einigen Minuten erfolgen.

Wird das Verfahren mit konstanter Konzentration für Langzeitmessungen angewendet, wird die Messdauer in kurze Zeitperioden (beispielsweise 30 min) aufgeteilt, und die Ergebnisse für jede dieser kurzen Perioden werden analysiert, um die Entwicklung der (des) abhängig vom Wetter oder von anderen Parametern wechselnden Luftwechselrate (bzw. Luftvolumenstroms) über die Zeit beurteilen zu können.

Werden die Gaskonzentration als geregelte Variable und der Volumenstrom der Gasdosis als Betriebsvariable für einen Rückkopplungsprozess verwendet, ist ein Kontrollalgorithmus erforderlich, um die Abweichungen von der Zielkonzentration zu minimieren. Um eine konstante Konzentration zu erreichen, darf auch eine adaptive oder proportionale/integrale/differentiale Kontrolle angewendet werden.