

DIN EN 14412



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

ICS 13.040.20

**Innenraumlufthqualität –
Passivsammler zur Bestimmung der Konzentrationen von Gasen und
Dämpfen –
Anleitung zur Auswahl, Anwendung und Handhabung;
Deutsche Fassung EN 14412:2004**

Indoor air quality –
Diffusive samplers for the determination of concentrations of gases and vapours –
Guide for selection, use and maintenance;
German version EN 14412:2004

Qualité de l'air intérieur –
Echantillonneurs par diffusion pour la détermination de la concentration des gaz et des
vapeurs –
Guide pour la sélection, l'utilisation et la maintenance;
Version allemande EN 14412:2004

Gesamtumfang 52 Seiten

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

Nationales Vorwort

Die Europäische Norm EN 14412 wurde im Europäischen Komitee für Normung (CEN) in der Arbeitsgruppe „Diffusive samplers for the determination of gases and vapours“ des Technischen Komitees CEN/TC 264 „Luftbeschaffenheit“ unter Mitwirkung deutscher Experten aus dem Arbeitsausschuss „Passivsammler“ der Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN — Normenausschuss — ausgearbeitet.

Für die im Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 16000-1 siehe E DIN ISO 16000-1

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

E DIN ISO 16000-1, *Innenraumluchtverunreinigungen — Teil 1: Allgemeine Aspekte der Messstrategie* (ISO/DIS 16000-1:2000).

E DIN ISO 16000-4, *Innenraumluchtverunreinigungen — Teil 4: Bestimmung von Formaldehyd — Probenahme mit Passivsammlern* (ISO/DIS 16000-4:1999).

DIN EN ISO 16017-2, *Innenraumlucht, Außenluft und Luft am Arbeitsplatz — Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen/thermische Desorption/Kapillar-Gaschromatographie — Teil 2: Probenahme mit Passivsammlern* (ISO 16017-2:2003); Deutsche Fassung EN ISO 16017-2:2003.

Deutsche Fassung

Innenraumluftqualität - Passivsammler zur Bestimmung der
Konzentrationen von Gasen und Dämpfen - Anleitung zur
Auswahl, Anwendung und Handhabung

Indoor air quality - Diffusive samplers for the determination
of concentrations of gases and vapours - Guide for
selection, use and maintenance

Qualité de l'air intérieur - Echantillonneurs par diffusion
pour la détermination de la concentration des gaz et des
vapeurs - Guide pour la sélection, l'utilisation et la
maintenance

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 9. Juli 2004 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum 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, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe.....	6
4 Symbole und Abkürzungen.....	8
5 Verfahrensgrundlagen	9
5.1 Grundlagen der passiven Probenahme	9
5.2 Dimension der Aufnahme rate	10
5.3 Systematische Abweichung durch die Auswahl eines nicht-idealen Sorbens	10
5.4 Umgebungseinflüsse auf die Sammlerleistung	11
5.4.1 Temperatur und Druck.....	11
5.4.2 Feuchte.....	11
5.4.3 Übergangszustände	11
5.4.4 Einfluss der Luftgeschwindigkeit.....	11
5.4.5 Transport.....	12
6 Messziele.....	13
6.1 Allgemeines	13
6.2 Identifizierung der Ursachen von Beschwerden über schlechte Innenraumluftqualität	13
6.3 Bestimmung von Bezugswerten für die Innenraumluftqualität	13
6.4 Einhaltung von Grenz- oder Richtwerten für Innenraumluft	13
6.5 Identifizierung von Quellen von Innenraumluftverunreinigungen	13
6.6 Prüfung der Wirksamkeit von Abhilfemaßnahmen.....	13
6.7 Trendanalysen zur Innenraumluftqualität	13
6.8 Beurteilung der Konzentrationen im Innenraum unter außerordentlichen oder „worst-case“-Bedingungen	14
6.9 Personenbezogene Überwachung	14
6.10 Validierung von Modellen zur Innenraumluftverunreinigung.....	14
6.11 Messung von mittleren Luftwechselzahlen	14
6.12 Qualitätskontrolle durch Parallelmessungen mit anderen Verfahren	14
7 Messstrategie	14
7.1 Allgemeines	14
7.2 Elemente der Probenahmestrategie.....	15
7.2.1 Allgemeines	15
7.2.2 Zeitpunkt der Probenahme.....	15
7.2.3 Probenahmedauer und Häufigkeit der Probenahme	15
7.2.4 Platzierung der Sammler	16
7.2.5 Simultane Außenluftmessungen	17
7.2.6 Zusätzliche Informationen.....	17
7.2.7 Unsicherheit.....	17
7.3 Messstrategie hinsichtlich definierter Messziele.....	17
7.3.1 Allgemeines	17
7.3.2 Identifizierung der Ursachen von Beschwerden über schlechte Innenraumluftqualität	18
7.3.3 Bestimmung von Bezugswerten für die Innenraumluftqualität	19
7.3.4 Kontrolle von Grenz- und Richtwerten	20
7.3.5 Identifizierung der Quellen von Luftverunreinigungen	21
7.3.6 Prüfung der Wirksamkeit von Abhilfemaßnahmen.....	22
7.3.7 Trendanalysen zur Innenraumluftqualität	24
7.3.8 Beurteilung der Konzentrationen in Innenraumluft unter außergewöhnlichen oder „worst-case“-Bedingungen	25
7.3.9 Personenbezogene Überwachung	26

	Seite
7.3.10 Validierung von Modellen zur Innenraumluftverunreinigung.....	27
7.3.11 Messung mittlerer Luftwechselzahlen.....	28
7.3.12 Qualitätskontrolle mit Parallelmessungen unter Anwendung anderer Verfahren.....	28
8 Auswahl eines Probenahmeverfahrens.....	29
8.1 Informationsquellen zur Handhabung von Passivsammlern	29
8.2 Auswahl des Sammlers.....	30
9 Anforderungen an die Schulung	30
10 Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle	31
Anhang A (informativ) Passivsammlertypen	33
Anhang B (informativ) Grenzwerte/Richtwerte.....	36
Anhang C (informativ) Berechnung von Diffusionskoeffizienten und Aufnahmeraten	37
C.1 Berechnung von Diffusionskoeffizienten	37
C.2 Einfaches Verfahren zur Berechnung von Aufnahmeraten.....	39
C.3 Literatur zu Werten für Diffusionskoeffizienten.....	40
Anhang D (informativ) Eigenschaften einiger Passivsammler	41
Literaturhinweise	44

Vorwort

Dieses Dokument (EN 14412:2004) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 264 „Luftbeschaffenheit“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

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

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

Einleitung

Die Europäische Norm EN 13528 legt Anforderungen und Prüfverfahren zur Bestimmung der Verfahrenskenngrößen von Passivsammlern, die zur Bestimmung der Konzentrationen von Gasen und Dämpfen in Außenluft und Innenraumlufte eingesetzt werden, fest. Zusätzlich gibt dieses Dokument dem Anwender eine Anleitung zur Auswahl des geeigneten Sammlertyps, zur Messstrategie und zur Handhabung.

EN 13528 ist eine mehrteilige Norm mit folgenden Teilen:

- Teil 1 (Außenluftqualität — Passivsammler zur Bestimmung der Konzentrationen von Gasen und Dämpfen — Anforderungen und Prüfverfahren): Allgemeine Anforderungen.
- Teil 2 (Außenluftqualität — Passivsammler zur Bestimmung der Konzentrationen von Gasen und Dämpfen — Anforderungen und Prüfverfahren): Spezifische Anforderungen und Prüfverfahren.
- Teil 3 (Außenluftqualität — Passivsammler zur Bestimmung der Konzentrationen von Gasen und Dämpfen): Anleitung zur Auswahl, Anwendung und Handhabung.

Wegen ihrer Bedeutung bei der Überwachung der Luftqualität müssen Passivsammler einige allgemeine Anforderungen bezüglich des Messziels erfüllen. Diese Anforderungen sind in EN 13528-1 für die Messung der Außenluftqualität angegeben. Die gleichen Grundsätze gelten für die Messung der Innenraumlufte, obwohl die Zielwerte von den zuständigen Behörden auf nationaler, europäischer oder internationaler Ebene noch festzulegen sind.

Diese Anforderungen betreffen Eindeutigkeit, Selektivität und Datenqualitätsziele, einschließlich der Unsicherheit.

Neben den in EN 13528-1 festgelegten Anforderungen müssen Passivsammler, die zur Messung der Außenluft- und Innenraumluftequalität eingesetzt werden, zusätzlich noch einige spezifische Anforderungen erfüllen. Diese spezifischen Anforderungen sind in EN 13528-2 für die Messung der Außenluftqualität angegeben. Die gleichen Grundsätze gelten für die Messung der Innenraumlufte. Diese Anforderungen betreffen Desorptionsausbeute, Aufnahmezeit über Diffusionsprozesse und Empfindlichkeit gegenüber der Luftgeschwindigkeit.

Solche allgemeinen und spezifischen Anforderungen können auch für andere Messziele, die zur Beurteilung der Innenraumluftequalität herangezogen werden, geeignet sein.

Der Anwender ist verpflichtet, geeignete Verfahren oder Vorrichtungen auszuwählen, die die Anforderungen dieses Dokuments erfüllen. Eine Möglichkeit hierzu besteht darin, Informationen oder die Bestätigung des Herstellers einzuholen. Die Typprüfung oder, allgemeiner, die Beurteilung der Leistungskriterien der Verfahren oder Geräte kann vom Hersteller, Anwender, Prüfinstitut oder Forschungs- und Entwicklungslabor vorgenommen werden, je nachdem, wie es am geeignetsten ist.

EN 13528-3 gibt eine Anleitung zur Auswahl, Anwendung und Handhabung von Passivsammlern, die zur Messung der Außenluftqualität eingesetzt werden.

Für die Probenahme von Luft an Arbeitsplätzen gelten die Regelungen der Europäischen Norm EN 482 [1] und EN 838. Dieses Dokument zur Anwendung von Passivsammlern für Innenraumlufte wurde zusätzlich zu jenen für die Luftbeschaffenheit an Arbeitsplätzen erstellt, weil die Messstrategien, die zugrunde liegenden Europäischen Richtlinien für Außenluft [2], Grenz- und Richtwerte und die sich daraus ergebenden Definitionen und praktischen Anwendungen zur Schätzung der Messunsicherheit unterschiedlich sind.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument gibt eine Anleitung zur Auswahl, Anwendung und Handhabung von Passivsammlern, die zur Bestimmung von gasförmigen Verunreinigungen der Innenraumlufte eingesetzt werden, einschließlich der Messstrategie und Messplanung.

Dieses Dokument gibt eine Anleitung zur Auswahl, Anwendung und Handhabung von Passivsammlern, die zur Messung der Innenraumluftequalität und zur Expositionsmessung eingesetzt werden. Es ist anwendbar für die Beurteilung der Innenraumluftequalität, da entscheidende Unterschiede gegenüber der Außenluftmessung hinsichtlich der Umgebungsparameter, der Messstrategie sowie der Art, Anzahl, Quelle und Quantität der Innenraumlufteverunreinigungen zu berücksichtigen sind.

Im Gegensatz zu typischen Außenluftmessungen treten in Innenraumlufte-situationen durchaus auch unerwartete Verbindungen auf. Häufig werden Verfahren zur Berechnung spezifischer Aufnahmeraten für diese Verbindungen benötigt, da nur eine begrenzte Anzahl von experimentell validierten Aufnahmeraten (siehe EN 13528-2 und EN 13528-3) zur Beurteilung der entsprechenden Konzentrationswerte zur Verfügung steht. Zusätzlich zu dem in EN 13528-2 und EN 13528-3 angegebenen allgemeinen Verfahren zur Berechnung individueller Aufnahmeraten werden in Anhang C dieses Dokuments detaillierte Verfahren zur Berechnung von Diffusionskoeffizienten und der Aufnahmerate angegeben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 13528-2:2002, *Außenluftqualität — Passivsammler zur Bestimmung der Konzentrationen von Gasen und Dämpfen — Anforderungen und Prüfverfahren — Teil 2: Spezifische Anforderungen und Prüfverfahren.*

ISO 16000-1, *Indoor air — Part 1: General aspects of sampling strategy.*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Außenluft

Luft der Troposphäre, mit Ausnahme der Luft in Innenräumen und an Arbeitsplätzen

[EN 13528-1:2002]

3.2

Mittelungszeit

Zeitspanne, für die das Messverfahren einen einzelnen Wert liefert

[EN 13528-1:2002]

3.3

Querschnittsfläche des Diffusionsweges

Querschnittsfläche des Raumes innerhalb des Passivsammlers, der für den Diffusionsprozess zur Verfügung steht, angegeben in Quadratzentimeter. Diese Querschnittsfläche kann identisch mit der Eintrittsöffnung sein

3.4

Passivsammler

eine Vorrichtung, die in der Lage ist, Proben von Gasen oder Dämpfen aus der Atmosphäre zu nehmen, wobei die Aufnahmerate durch physikalische Prozesse wie Gasphasendiffusion durch eine ruhende Luftschicht oder ein poröses Material und/oder Permeation durch eine Membran geregelt wird, jedoch nicht durch aktive Bewegung der Luft durch den Sammler

[EN 13528-1:2002]

ANMERKUNG Aktiv bezieht sich üblicherweise auf die durch eine Pumpe hervorgerufene Luftbewegung.

3.5

Aufnahmerate durch Diffusionsvorgänge

Maß, in dem der Passivsammler ein bestimmtes Gas oder einen bestimmten Dampf aus der Atmosphäre aufnimmt, angegeben in Kubikzentimeter je Minute ($\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)

3.6

Innenraumluft

Luft in Innenräumen, d. h. Wohnungen mit Wohn-, Schlaf-, Bastel-, Sport- und Kellerräumen, Küchen und Badezimmern; Arbeitsräume bzw. Arbeitsplätze in Gebäuden, die nicht im Hinblick auf Luftschadstoffe arbeitsschutzrechtlichen Kontrollen unterliegen (z. B. Büros, Verkaufsräume); öffentliche Gebäude (Krankenhäuser, Schulen, Kindergärten, Sporthallen, Bibliotheken, Gaststätten, Theater, Kinos und andere Veranstaltungsräume) sowie Fahrgasträume von Fahrzeugen

ANMERKUNG In einigen Ländern unterliegen Arbeitsplätze wie Büros und Verkaufsräume im Hinblick auf Luftverunreinigungen den Gesundheits- und Sicherheitsprüfungen.

3.7

Messverfahren

Verfahren zur Probenahme und Analyse einer oder mehrerer Luftverunreinigungen, einschließlich Lagerung und Transport der Probe

[EN 13528-1:2002]

3.8

personenbezogene Probenahmeverrichtung

eine an einer Person befestigte Vorrichtung, die Luft in der Atemzone beprobt

[EN 689:1995]

3.9

personenbezogene Probenahme

die Luftprobenahme, die mit einer personenbezogenen Probenahmeverrichtung durchgeführt wird

[EN 1540:1989]

ANMERKUNG Der Begriff „personenbezogene Probenahme“ wird im Deutschen sowohl für Probenahme mit einer personenbezogenen Probenahmeverrichtung als auch mit einer statischen Probenahmeverrichtung verwendet, vorausgesetzt, dass die Probe in der Atemzone der Person genommen wird.

3.10

Bezugswert

Bezugswert einer Verbindung in einer festgelegten Umgebung, z. B. Innenraumluft, ist ein statistisch bestimmter Wert (konventionsgemäß das 95-Perzentil), der auf einer repräsentativen Studie zum Zeitpunkt seiner Beurteilung beruht. Dieser Wert ist deskriptiv und hat keine toxikologische Bedeutung

3.11

Sammelkapazität

maximale Masse an Analyt, die von dem Passivsammler während der Expositionsdauer bei konstanter Aufnahmerate sorbiert werden kann

ANMERKUNG Die tatsächlich sorbierte Masse wird wie folgt berechnet:

$$m = u \times t \times \rho \quad (1)$$

Dabei ist

- m die Masse (ng);
- u die Aufnahmezeit (ml/min);
- t die Expositionszeit (min);
- ρ die Konzentration des Analyten ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

3.12

Sorptionsmedium

Teil des Passivsammlers, der den zu sammelnden Analyten entweder durch einen physikalischen Prozess (Adsorption, Absorption) oder durch eine chemische Reaktion (Chemisorption) sorbiert

3.13

Selektivität

Grad der Unabhängigkeit von Störkomponenten

3.14

Richtwert

empfohlene Konzentration als Zielvorgabe, die so weit wie möglich eingehalten werden sollte, die aber nicht gesetzlich verbindlich ist

3.15

(Mess)unsicherheit

dem Messergebnis zugeordneter Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die vernünftigerweise der Messgröße zugeordnet werden können

ANMERKUNG 1 Der Parameter kann beispielsweise eine Standardabweichung (oder ein gegebenes Vielfaches davon) oder die halbe Weite eines Bereichs sein, der ein festgelegtes Vertrauensniveau hat.

ANMERKUNG 2 Messunsicherheit enthält im Allgemeinen viele Komponenten. Einige dieser Komponenten können aus der statistischen Verteilung der Ergebnisse einer Messreihe ermittelt und durch empirische Standardabweichungen gekennzeichnet werden. Die anderen Komponenten, die ebenfalls durch Standardabweichungen gekennzeichnet werden können, werden aus angenommenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen ermittelt, die sich auf Erfahrung oder andere Information gründen.

ANMERKUNG 3 Es wird vorausgesetzt, dass das Messergebnis der beste Schätzwert der Messgröße ist, und dass alle Komponenten der Unsicherheit zur Streuung beitragen, eingeschlossen diejenigen, welche von systematischen Einwirkungen herrühren, z. B. solche, die von Korrekturen und Bezugsnormen stammen.

3.16

Validierung

Verfahren zur Bewertung der Leistung eines Messverfahrens und zur Prüfung, ob die Leistung bestimmte vorgegebene Kriterien erfüllt

4 Symbole und Abkürzungen

- A Querschnittsfläche des Diffusionsweges oder äquivalente Sorptionsoberfläche, in Quadratzentimeter;
- D Diffusionskoeffizient des Analyten, in Quadratzentimeter pro Minute;
- k Korrekturfaktor für nicht-ideales Verhalten;
- l Länge der statischen Luftschicht im Sammler (oder eines Äquivalents bei Sammlern des Permeationstyps), in Zentimeter;

- M Molare Masse des Analyten, in Gramm pro Mol;
 m_s Masse des durch Diffusion sorbierten Analyten, in Pikogramm;
 P Luftdruck während der Messung, in Kilopascal;
 t Expositionszeit, in Minuten;
 T Lufttemperatur, in Kelvin;
 U Aufnahmerate, in Kubikzentimeter je Minute;
 ρ zugeführte Konzentration, in Mikrogramm je Kubikmeter;
 ρ_1 Konzentration des gegebenen Analyten am Anfang der Diffusionsschicht ($l = 0$), in Mikrogramm je Kubikmeter;
 ρ_2 Konzentration des gegebenen Analyten am Ende der Diffusionsschicht, in Mikrogramm je Kubikmeter;
 τ Zeitkonstante des Passivsammlers, in Sekunden.

5 Verfahrensgrundlagen

5.1 Grundlagen der passiven Probenahme

Die Masse an Analyt, die innerhalb einer bestimmten Zeitspanne zu einem geeigneten Sorbens diffundieren kann, wird durch folgende, vom ersten Fickschen Diffusionsgesetz abgeleitete Gleichung bestimmt:

$$m_s = \frac{A \cdot D \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot t}{l} \quad (2)$$

Diese Gleichung unterscheidet sich von Gleichung (4) in EN 13528-2:2002, da sie sich auf die üblichere Situation bezieht, in der ρ_2 ungleich null ist. Idealerweise ist ρ_1 gleich der Konzentration des gegebenen Analyten in der Luft außerhalb des Passivsammlers (ρ) und ρ_2 ist gleich null („Null-Senken-Bedingung“). In diesem Fall hängt die Größe der Aufnahmerate, $A \cdot D/l$, nur vom Diffusionskoeffizienten des gegebenen Analyten und der Geometrie des verwendeten Passivsammlers ab.

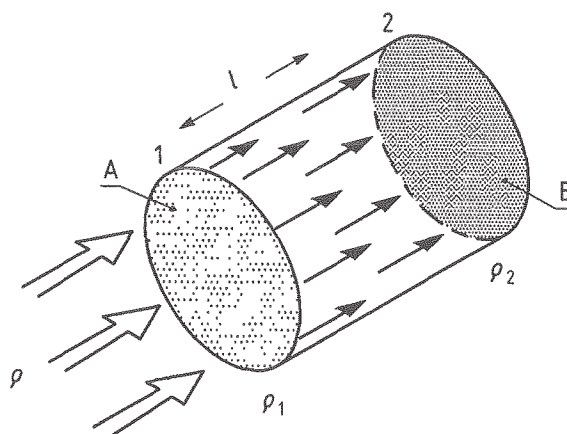


Bild 1 — Schematische Darstellung des Diffusionsprozesses

Die Einlassöffnung eines Sammlers mit Querschnitt A in Position 1 definiert den Anfang der Diffusionsstrecke eines Analyten mit der Konzentration ρ_1 . Ein Sorbens in Position 2, das die Konzentration ρ_2 des Analyten durch Sorption oder chemische Reaktion (im Idealfall) auf null verringert, dient als treibende Kraft für die Diffusion über l .

In der Praxis können mehrere Faktoren ein nicht-ideales Verhalten zur Folge haben, so dass gilt:

$$m_s = \frac{A \cdot D \cdot \rho \cdot t \cdot k}{l} \quad (3)$$

ANMERKUNG Der Korrekturfaktor k kann eine Funktion der Konzentration und Expositionszeit sein (siehe 5.3).

Eine allgemeine Übersicht über die Grundlagen der passiven Probenahme ist in [3] gegeben.

5.2 Dimension der Aufnahme rate

Für eine gegebene Konzentration ρ in Mikrogramm je Kubikmeter an Gas oder Dampf ist die Aufnahme rate gegeben durch:

$$U = \frac{m_s}{\rho \cdot t} \quad (4)$$

ANMERKUNG Obwohl die Aufnahme rate U die Dimension Volumen je Zeiteinheit hat, steht sie nicht für einen realen Volumenstrom von (Analyt in) Luft.

5.3 Systematische Abweichung durch die Auswahl eines nicht-idealen Sorbens

Die Leistung eines Passivsammlers hängt entscheidend von der Auswahl und Anwendung des Sorbens oder Sammelmediums ab. Falls das Sorbens eine hohe Sammelkapazität aufweist, sind der Dampfdruck und die entsprechende Konzentration ρ_2 der gesammelten Verbindung an der Sorbensoberfläche dann sehr klein im Vergleich zur Außenluftkonzentration und die beobachtete Aufnahme rate ist dann nahe an ihrem idealen stationären Wert, der üblicherweise aus der Geometrie des Sammlers und dem Diffusionskoeffizienten des Analyten in Luft berechnet werden kann.

Falls ein schwaches Sorbens benutzt wird, ist ρ_2 in Gleichung (2) ungleich null und m_s/t nimmt mit der Sammelzeit ab. In dem alternativen Ausdruck, Gleichung (3), ist k deutlich kleiner als 1. Somit nimmt auch U in Gleichung (4) mit der Sammelzeit ab. Die Konzentration des gesammelten Luftschadstoffes kann auch einen (geringeren) Einfluss auf m_s/t und damit auf U haben. Die Größe dieser Einflüsse hängt von der Adsorptionsisothermen des betrachteten Analyten und Sorbens ab und kann mit Hilfe von Rechenmodellen [4, 5] ermittelt werden.

Eine andere Ausprägung desselben Einflusses ist die Rückdiffusion, manchmal auch reverse Diffusion genannt. Rückdiffusion kann stattfinden, wenn der Dampfdruck des Analyten an der Sorbensoberfläche ρ_2 einige Zeit nach dem Start der Probenahme größer ist als die äußere Konzentration ρ_1 , wenn zum Beispiel ein Sammler zunächst einer hohen Konzentration und dann einer viel niedrigeren oder gar der Konzentration null ausgesetzt ist. Solch ein Expositionsprofil kann bei bestimmten Anwendungsfällen auftreten; die Größe des damit verbundenen Fehlers hängt davon ab, ob die Periode der hohen Konzentration zu Beginn, in der Mitte oder am Ende der Probenahmezeitspanne liegt. Das Phänomen wurde detailliert von Bartley et al. [6–8] diskutiert; ein einfacher Test wurde vorgeschlagen [9], um einen Schätzwert der maximalen erwarteten systematischen Abweichung zwischen einer pulsierenden Exposition und einer Exposition bei konstanter Konzentration anzugeben, wobei die letztgenannte normalerweise die Grundlage für die Kalibrierung des Sammlers ist. Dieser Test umfasst eine 30-minütige Exposition bei einer hohen Konzentration, gefolgt von 7,5 h reiner Luft; er wurde in EN 838 aufgenommen. Für Anwendungen in der Außenluft (EN 13528-2:2002, 7.3.1), in der üblicherweise Änderungen der Konzentration im Laufe des Tages vorkommen, wird jedoch angenommen, dass ein Expositionsprofil von wechselnden Perioden hoher und niedriger Exposition in einem 24-Stunden-Zyklus typischer ist. In Innenräumen können beide Expositionsprofile vorkommen. Das Ausmaß der Rückdiffusion kann auch theoretisch modelliert werden [5, 10].

Um diese Einflüsse so weit wie möglich zu reduzieren, ist es deshalb sinnvoll, ein Sorbens mit hoher Sorptionskapazität und niedrigem Dampfdruck des sorbierten Materials oder des auf einem aktiven Sorbens gebildeten Reaktionsproduktes zu wählen.

5.4 Umgebungseinflüsse auf die Sammlerleistung

5.4.1 Temperatur und Druck

Für einen idealen Passivsammler wird die Abhängigkeit von U von absoluter Temperatur und Druck von derjenigen des Diffusionskoeffizienten des Analyten bestimmt. Diese Abhängigkeit ist gegeben durch:

$$D = f(T^{n+1}, P^{-1}) \quad (5)$$

wobei $0,5 < n < 1,0$ [11] ist.

Damit ist die Abhängigkeit von U , angegeben in $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ oder äquivalenten Einheiten:

$$U = f(T^{n+1}, P^{-1}) \quad (6)$$

Die genaue Kenntnis der mittleren Temperatur und des mittleren Druckes bei der Probenahme ist wichtig für die richtige Anwendung von Gleichung (5).

5.4.2 Feuchte

Hohe Feuchte kann die Sorptionskapazität hydrophiler und starker Sorbentien, wie zum Beispiel Molekularsieb und Aktivkohle, beeinträchtigen. Die Probenahme wird wegen des signifikanten Einflusses von ρ_2 in Gleichung (2) nicht-linear. Dieser Einfluss verringert die Zeitspanne (bei einer gegebenen Konzentration), bis die Sättigung des Sorbens eintritt. Hohe Feuchte kann auch das Sorptionsverhalten der exponierten inneren Wand von Sammlern des Röhren-Typs oder der Turbulenzbarriere ändern, besonders wenn Kondensation auftritt.

5.4.3 Übergangszustände

Einfache Ableitungen des Fickschen Gesetzes setzen stationäre Bedingungen voraus, während das Konzentrationsniveau der Schadstoffe beim praktischen Einsatz von Passivsammlern jedoch in weiten Bereichen schwankt. Dann erhebt sich die Frage, ob ein Sammler ein wahres integriertes Ergebnis liefert (wobei Sorbenseffekte ignoriert werden, siehe 5.3), oder ob kurzzeitige Übergangszustände „verpasst“ werden, bevor sie von dem Sorbens erfasst werden konnten. Das Problem wurde theoretisch [6, 13–15] und praktisch [13, 16, 17] diskutiert; es hat sich gezeigt, dass es kein Problem ist, wenn die gesamte Probenahmedauer deutlich größer ist (etwa 10-mal) als die Zeitkonstante τ des Passivsammlers ist, d. h. die Zeit, die ein Molekül benötigt, um unter stationären Bedingungen in den Passivsammler zu diffundieren. Die Zeitkonstante ist:

$$\tau = \frac{l^2}{D} \quad (7)$$

Die Zeitkonstante τ liegt für die meisten kommerziellen Sammler (siehe Anhang D) zwischen etwa 1 s und 10 s. Wenn diese Sammlertypen bei niedrigen Konzentrationen und entsprechenden Probenahmezeiten (Tage und Wochen) eingesetzt werden, sind Übergangszustände ohne Bedeutung.

5.4.4 Einfluss der Luftgeschwindigkeit

5.4.4.1 Einfluss von niedrigen und hohen Windgeschwindigkeiten

Die Anströmgeschwindigkeit und die Ausrichtung des Passivsammlers im Raum können sich auf das Leistungsvermögen eines Passivsammlers auswirken, weil sich beide Einflüsse auf die effektive Diffusionsweglänge auswirken können [18 – 21]. Die Massenaufnahme eines Sammlers durch Diffusionsvorgänge (Gleichung (2)) ist eine Funktion der Länge l und der Querschnittsfläche A des Diffusionsraumes innerhalb des Sammlers. Die nominale Diffusionsweglänge ist durch die Geometrie des Sammlers definiert und ist der Abstand zwischen der Sorbensoberfläche und der äußeren Öffnung des Sammlers. Die effektive Länge ist nicht notwendigerweise gleich der nominalen Länge: sie kann in Abhängigkeit von den Randbedingungen größer oder kleiner sein. Die Querschnittsfläche wird ebenfalls durch die Geometrie des Sammlers bestimmt; wenn der Querschnitt des Diffusionsraums nicht über die Länge konstant ist, ist sie durch den engsten Teil definiert.

Bei niedrigen äußeren Windgeschwindigkeiten kann die effektive Diffusionsweglänge größer werden [20, 21], weil eine Grenzschicht [18, 19] zwischen der ruhenden Luft innerhalb des Sammlers und der sich bewegenden Luft außerhalb entsteht und zur effektiven Diffusionsweglänge l beiträgt. Tatsächlich befindet sich außerhalb des Sammlers ein Bereich, in der ein Übergang von statischer zu bewegter Luft stattfindet; dies entspricht einer zusätzlichen Länge (Δl) statischer Luft, die in dem Wert von l enthalten sein muss. Der Wert von Δl hängt von der äußeren Geometrie des Sammlers ab. Auch nimmt er mit wachsender Luftgeschwindigkeit ab. Sein Einfluss hängt von der nominalen Weglänge des Passivsammlers ab. Ein Sammler mit kleinem Querschnitt und langem inneren Diffusionsraum bleibt relativ unbeeinflusst von der Windgeschwindigkeit, während ein kurzer, breiter Sammler erheblich beeinflusst wird. Dies wird in der Praxis bestätigt und wurde mit Sammlern veränderlicher Länge gezeigt [20, 21]. Niedrige Sammelraten werden bei niedrigen Luftgeschwindigkeiten beobachtet, wachsen aber zu einem Plateauwert an, wenn der Grenzschichteneinfluss unbedeutend wird.

Bei hohen äußeren Windgeschwindigkeiten kann die effektive Diffusionsweglänge abnehmen [22–27], weil hohe äußere Luftströme die statische Luftschicht innerhalb des Sammlers stören und den effektiven Diffusionsraum durch einen (unterschiedlichen) Faktor Δl verringern. Der Wert von Δl ist klein, vorausgesetzt, das Länge/Durchmesser-Verhältnis des Diffusionsraums ist größer als 2,5 bis 3 [22]; er kann auch durch Einfügen einer Turbulenzbarriere, z. B. eines Netzes aus Edelstahl oder einer Kunststoffmembran, null sein oder stark verringert werden.

Der Gesamteinfluss verläuft deshalb in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit S-förmig (EN 13528-2:2002, 7.4, Bild 1).

5.4.4.2 Konsequenz für unterschiedliche Sammlertypen

Sammler des Röhrchentyps werden typischerweise durch niedrige Luftgeschwindigkeiten nicht beeinflusst [13, 28, 29]; diejenigen ohne Turbulenzbarriere können aber durch hohe Geschwindigkeiten beeinflusst werden.

Sammler des Plakettentyps haben im Allgemeinen eine große Oberfläche und einen kleinen Diffusionsraum, so dass sie stärker durch die Luftgeschwindigkeit beeinflusst werden als Röhrchenmodelle, und benötigen typischerweise eine Mindestanströmgeschwindigkeit zwischen $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ und $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [30–33]. Einige Plaketten mit unzureichender Turbulenzbarriere werden auch durch hohe Luftgeschwindigkeiten beeinflusst [29, 31, 34].

Radiale Passivsammler [35, 36] benötigen eine Mindestanströmgeschwindigkeit von etwa $0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

5.4.5 Transport

Die meisten Sammler erfordern einen Transport zwischen der Probenahmestelle und einem Analysenlaboratorium. Um sicherzustellen, dass die Probe während dieses Transports nicht verändert wird, sollten die folgenden Vorsichtsmaßnahmen beachtet werden:

- Es ist sicherzustellen, dass alle Dichtungen ausreichend fest sitzen, um das Eindringen von Kontaminationen oder den Verlust von Probenmaterial während des Transports zu vermeiden: Metall-Kunststoff-Dichtungen können sich bei großen Temperaturänderungen lockern;
- der Sammler ist in einem inerten geschlossenen Behälter zu platzieren, um Kontamination von außen zu verhindern;
- werden Proben per Luftfracht transportiert, dann ist sicherzustellen, dass sie nicht einem Unterdruck ausgesetzt werden, z. B. im Gepäckraum;
- es ist zu vermeiden, die Proben während des Transports hohen Temperaturen auszusetzen, z. B. im Kofferraum eines Kraftfahrzeuges;
- die Sammler sind möglichst bei niedrigen Temperaturen und fern von Kontaminationsquellen, z. B. Brenn- oder Kraftstoffen, aufzubewahren; Kondensationen auf der Probe sind dabei aber zu vermeiden;
- es ist sicherzustellen, dass eine ausreichende Zahl von Blindproben mit den Proben transportiert wird, so dass jedes der oben genannten Probleme identifiziert werden kann.

6 Messziele

6.1 Allgemeines

Das primäre Ziel von Innenraumlufthabnahmen ist die Bestimmung der Innenraumlufthabqualität, um Gefährdungen für die Gesundheit der Bevölkerung oder von Einzelpersonen durch Innenraumlufthabverunreinigungen beurteilen zu können. Dies kann auch die personenbezogene Probenahme einschließen. Weiterhin ist die passive Probenahme ein kostengünstiger Weg, um Kenntnisse über Innenräume beeinflussende Parameter zu gewinnen, z. B. die Luftwechselzahl.

6.2 Identifizierung der Ursachen von Beschwerden über schlechte Innenraumlufthabqualität

In vielen Fällen werden Innenraumlufthabuntersuchungen aufgrund von Beschwerden von Personen, die in den betreffenden Räumen leben oder arbeiten, durchgeführt. Solche Beschwerden können sich auf die Wahrnehmung unbekannter oder unangenehmer Gerüche, Kopfschmerzen, Reizungen von Augen, Nase und Rachen, Trockenheit der Haut oder Symptome wie Müdigkeit, Konzentrationsmangel und unspezifische hypersensitive Reaktionen beziehen. Untersuchungen aufgrund beobachteter oder vermuteter Gesundheitsprobleme von Bewohnern sind ähnlich und erfordern die gleiche Probenahmestrategie.

6.3 Bestimmung von Bezugswerten für die Innenraumlufthabqualität

Bezugswerte beschreiben den Status von definierten Räumlichkeiten in einer gegebenen Zeitspanne hinsichtlich des erwarteten Niveaus von Innenraumlufthabverunreinigungen. Diese Werte sind hilfreich für die Beurteilung, ob das Niveau der Innenraumlufthabverunreinigungen außerhalb des normalen Bereichs liegt.

6.4 Einhaltung von Grenz- oder Richtwerten für Innenraumlufthab

Dieses Ziel erfordert Messungen zur Prüfung, ob gegebene Grenz- oder Richtwerte überschritten werden.

Beispiele für Grenz- und Richtwerte (mit Ausnahme der Luft an Arbeitsplätzen oder Außenluft) für Innenräume sind in den Tabellen B.1 und B.2 in Anhang B angegeben.

6.5 Identifizierung von Quellen von Innenraumlufthabverunreinigungen

Emissionen aus punktförmigen Quellen erzeugen einen ausgesprochenen Konzentrationsgradienten in der Nachbarschaft der Quelle. Solche Konzentrationsgradienten können bei sorgfältiger Auswahl der Probenahmestellen zum Aufspüren der Quelle in einem Innenraum dienen. Diese Strategie kann zu Empfehlungen für die Verbesserung der Innenraumlufthabqualität führen, z. B. durch Entfernung identifizierten Materials und starker Emittenden.

6.6 Prüfung der Wirksamkeit von Abhilfemaßnahmen

Abhilfemaßnahmen sind Veränderungen an einem Gebäude, seinen Betriebseinrichtungen oder seiner Ausstattung, um die Innenraumlufthabbelastung zu verringern. Zur Prüfung ihrer Wirksamkeit werden Vergleichsmessungen vor und nach Durchführung der Abhilfemaßnahmen durchgeführt.

6.7 Trendanalysen zur Innenraumlufthabqualität

Es ist sinnvoll, Zwischentrends und Langzeittrends der Konzentration von Innenraumlufthabverunreinigungen zu dokumentieren. Entsprechende Trendanalysen helfen dabei, Minderungs- oder Risikomanagementmaßnahmen fortzusetzen, zu verbessern oder zu ergreifen.

6.8 Beurteilung der Konzentrationen im Innenraum unter außerordentlichen oder „worst-case“-Bedingungen

Neben Übersichtsmessungen kann die Bewertung der Innenraumluftkonzentrationen unter außerordentlichen oder „worst-case“-Bedingungen des Innenraumklimas (Temperatur, Feuchte, Lüftung usw.) und während besonderer Aktivitäten sinnvoll sein.

6.9 Personenbezogene Überwachung

Personenbezogene Überwachung bedeutet die Messung von Verunreinigungen der Atemluft. Im Allgemeinen können Passivsammler bei geeigneter Sammlerbauart (Größe, Halterung) für stationäre Messungen zur personenbezogenen Überwachung eingesetzt werden.

6.10 Validierung von Modellen zur Innenraumluftverunreinigung

Mit Modellen zur Innenraumluftverunreinigung kann die Schadstoffkonzentration in einem Gebäude bereits in der Planungsphase, basierend auf den Parametern Lüftung, Luftbewegung, Quellstärke und Senkeneffekte, vorhergesagt werden. Mit Modellen lässt sich auch die Wirksamkeit von Abhilfe- oder Kontrollmaßnahmen vorhersagen. Die Modelle müssen experimentell validiert werden.

6.11 Messung von mittleren Luftwechselzahlen

Luftwechselzahlen in Gebäuden können mit Tracergasen bestimmt werden. Das Tracergas wird in dem Gebäude mit einer bestimmten Rate freigesetzt und seine Konzentration in der Innenraumluft gemessen.

Mit Passivsammlern lassen sich einige Tracergase zur Bestimmung der mittleren Luftwechselzahl über die Zeitspanne von Tagen oder Wochen messen.

6.12 Qualitätskontrolle durch Parallelmessungen mit anderen Verfahren

Ziel dieser Messaufgabe ist die Kontrolle und Verbesserung der Qualität von Innenraummessungen. Dies kann durch parallele Probenahmen mit anderen Probenahmeverfahren und/oder anderen Analysenverfahren erreicht werden.

7 Messstrategie

7.1 Allgemeines

Definierte Messziele bezüglich der Innenraumluftqualität (siehe obige Abschnitte) erfordern eine geeignete Messstrategie. Das auf dieser Strategie basierende Messverfahren umfasst einen geeigneten Passivsammler (siehe 8.2), ein Analysenverfahren und ein zugehöriges Qualitätssicherungssystem (siehe Abschnitt 10).

Die passive Probenahme von Innenraumluftkonstituenten wird im Allgemeinen bei Langzeitprobenahmen über Zeitspannen von einem Tag bis zu mehreren Wochen eingesetzt. Deshalb ist die Anwendung von Passivsammlern hinsichtlich spezifischer Änderungen der Quellstärke und möglicher Gesundheitsbeeinträchtigungen durch die Zielverbindungen sehr sorgfältig zu prüfen. Die Beurteilung der Innenraumluftqualität erfordert beim Einsatz von Passivsammlern eine gegenüber Kurzzeitmessungen unterschiedliche Messstrategie. Die Strategie muss die Überwachungsziele, die zu beurteilenden Luftverunreinigungen, die geforderte Nachweisgrenze und die Quellemissionseigenschaften berücksichtigen. Grundsätzlich ist festzulegen, wo, wie und wie oft Messungen durchzuführen sind. Der gesamte Messaufwand hängt ab von

- den räumlichen und zeitlichen Konzentrationsänderungen der Luftverunreinigungen;
- der Verfügbarkeit von Zusatzinformationen;
- der geforderten Messunsicherheit der Schätzung.