

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                              |                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>Innenraumluftqualität</p> <p><b>Passivsammler zur Bestimmung der Konzentrationen<br/>von Gasen und Dämpfen</b></p> <p>Anleitung zur Auswahl, Anwendung und Handhabung</p> | <p><b>DIN</b></p> <p><b>EN 14412</b></p> |
| <p>Die Norm ist Bestandteil des VDI-DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft, Bd. 5</p> <p>ICS 13.040.30</p> <p>Indoor air quality — Diffusive samplers for the determination of concentrations of gases and vapours —<br/>Guide to selection, use and maintenance;<br/>German version prEN 14412:2002</p> <p><b>Anwendungswarnvermerk</b></p> <p>Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</p> <p>Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.</p> <p>Stellungnahmen werden erbeten</p> <p>— vorzugsweise als Datei per e-Mail an <a href="mailto:krdl@din.de">krdl@din.de</a> in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <a href="http://www.din.de/stellungnahme">http://www.din.de/stellungnahme</a> abgerufen werden;</p> <p>— oder in Papierform an Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Postfach 10 11 39, 40002 Düsseldorf</p> <p><b>Nationales Vorwort</b></p> <p>Der europäische Norm-Entwurf prEN 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.</p> <p>Für die im Abschnitt 2 zitierte Internationale Norm wird im Folgenden auf die entsprechende Deutsche Norm hingewiesen:</p> <p>ISO/DIS 16000-1 siehe E DIN ISO 16000-1</p> <p>Fortsetzung 48 Seiten prEN</p> <p>Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN — Normenausschuss</p> |                                                                                                                                                                              |                                          |

— *Entwurf* —

— Leerseite —

## **Innenraumlufthqualität — 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 to selection, use and maintenance*

ICS:

Deskriptoren

## Inhalt

|                                                                                                           | Seite     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Vorwort</b> .....                                                                                      | <b>3</b>  |
| <b>Einleitung</b> .....                                                                                   | <b>3</b>  |
| <b>1 Anwendungsbereich</b> .....                                                                          | <b>4</b>  |
| <b>2 Normative Verweisungen</b> .....                                                                     | <b>4</b>  |
| <b>3 Begriffe</b> .....                                                                                   | <b>4</b>  |
| <b>4 Symbole und Abkürzungen</b> .....                                                                    | <b>6</b>  |
| <b>5 Verfahrensgrundlagen</b> .....                                                                       | <b>7</b>  |
| 5.1 Grundlagen der passiven Probenahme.....                                                               | 7         |
| 5.2 Dimensionen der Aufnahmerate.....                                                                     | 8         |
| 5.3 Systematische Abweichung durch die Auswahl eines nicht-idealen Sorbens.....                           | 8         |
| 5.4 Umgebungseinflüsse auf die Sammlerleistung.....                                                       | 9         |
| <b>6 Messziele</b> .....                                                                                  | <b>11</b> |
| 6.1 Allgemeines.....                                                                                      | 11        |
| 6.2 Identifizierung der Ursachen von Beschwerden über schlechte Innenraumluftqualität.....                | 11        |
| 6.3 Bestimmung von Bezugswerten für die Innenraumluftqualität.....                                        | 11        |
| 6.4 Einhaltung von Grenz- oder Richtwerten für Innenraumluft.....                                         | 12        |
| 6.5 Identifizierung von Quellen von Innenraumluftverunreinigungen.....                                    | 12        |
| 6.6 Prüfung der Wirksamkeit von Abhilfemaßnahmen.....                                                     | 12        |
| 6.7 Trendanalysen zur Innenraumluftqualität.....                                                          | 12        |
| 6.8 Beurteilung der Konzentrationen im Innenraum unter außerordentlichen oder worst-case-Bedingungen..... | 12        |
| 6.9 Personenbezogene Überwachung.....                                                                     | 12        |
| 6.10 Validierung von Modellen zur Innenraumluftverunreinigung.....                                        | 12        |
| 6.11 Messung von mittleren Luftwechselzahlen.....                                                         | 12        |
| 6.12 Qualitätskontrolle durch Parallelmessungen mit anderen Verfahren.....                                | 12        |
| <b>7 Messstrategie</b> .....                                                                              | <b>13</b> |
| 7.1 Allgemeines.....                                                                                      | 13        |
| 7.2 Elemente der Probenahmestrategie.....                                                                 | 13        |
| 7.3 Messstrategie hinsichtlich definierter Messziele.....                                                 | 16        |
| <b>8 Auswahl eines Probenahmeverfahrens</b> .....                                                         | <b>28</b> |
| 8.1 Informationsquellen zur Handhabung von Passivsammlern.....                                            | 28        |
| 8.2 Auswahl des Sammlers.....                                                                             | 28        |
| <b>9 Anforderungen an die Schulung</b> .....                                                              | <b>29</b> |
| <b>10 Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle</b> .....                                                 | <b>29</b> |
| <b>Anhang A (informativ) Typen von Passivsammlern</b> .....                                               | <b>31</b> |
| <b>Anhang B (informativ) Grenzwerte/Richtwerte</b> .....                                                  | <b>34</b> |
| <b>Anhang C (informativ) Berechnung von Diffusionskoeffizienten und Aufnahmeraten</b> .....               | <b>35</b> |
| <b>Anhang D (informativ) Eigenschaften einiger Passivsammler</b> .....                                    | <b>39</b> |
| <b>Anhang E (informativ) Literaturhinweise</b> .....                                                      | <b>42</b> |

## Vorwort

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

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Die Anhänge A, B, C, D und E dieser Europäischen Norm sind informativ.

## 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 diese Europäische Norm 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) Allgemeine Anforderungen;*

*Teil 2 (Außenluftqualität) Spezifische Anforderungen und Prüfverfahren;*

*Teil 3 (Außenluftqualität) 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 Innenraumlufte 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 dieser Europäischen Norm erfüllen. Eine Möglichkeit 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, was 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. Diese Norm 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

Diese Europäische Norm gibt eine Anleitung zur Auswahl, Anwendung und Handhabung von Passivsammlern, die zur Bestimmung von gasförmigen Verunreinigungen der Innenraumluft eingesetzt werden, einschließlich der Messstrategie und Messplanung.

Diese Europäische Norm gibt eine Anleitung zur Auswahl, Anwendung und Handhabung von Passivsammlern, die zur Messung der Innenraumluftqualität und zur Expositionsmessung eingesetzt werden. Diese Europäische Norm gilt spezifisch für die Beurteilung der Innenraumluftqualität, da entscheidende Unterschiede gegenüber der Außenluftmessung hinsichtlich der Umgebungsparameter, der Messstrategie sowie der Art, Anzahl, Quelle und Quantität der Innenraumluftverunreinigungen zu berücksichtigen sind.

Im Gegensatz zu typischen Außenluftmessungen treten in Innenraumluftsituationen 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 prEN 13528-2 und prEN 13528-3) zur Beurteilung der entsprechenden Konzentrationswerte zur Verfügung steht. Zusätzlich zu dem in prEN 13528-2 und prEN 13528-3 angegebenen allgemeinen Verfahren zur Berechnung individueller Aufnahmeraten werden in Anhang C dieser Norm detaillierte Verfahren zur Berechnung von Diffusionskoeffizienten und der Aufnahmerate angegeben.

## 2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

EN 689, *Arbeitsplatzatmosphäre — Anleitung zur Ermittlung der inhalativen Exposition gegenüber chemischen Stoffen zum Vergleich mit Grenzwerten und Meßstrategie.*

EN 838, *Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz — Diffusionssammler für die Bestimmung von Gasen und Dämpfen — Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung.*

EN 1540, *Arbeitsplatzatmosphäre — Terminologie.*

ISO/DIS 16000-1, *Indoor air — General aspects of sampling strategy.*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die folgenden Begriffe.

### 3.1

#### **Außenluft**

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

### 3.2

#### **Mittelungszeit**

Zeitspanne, für die das Messverfahren einen einzelnen Wert liefert

### 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 oder Permeation durch eine Membran geregelt wird, jedoch nicht durch aktive Bewegung der Luft durch den Sammler

ANMERKUNG 1 Aktiv bezieht sich üblicherweise auf die durch eine Pumpe hervorgerufene Luftbewegung.

ANMERKUNG 2 Diese Definition unterscheidet sich von der in EN 838:1995 durch die Hinzufügung der Wörter "oder ein poröses Material".

### 3.5

#### **Aufnahmerate durch Diffusionsvorgänge**

das Maß, in dem der Diffusionssammler ein bestimmtes Gas oder einen bestimmten Dampf aus der Atmosphäre aufnimmt, ausgedrückt in Pikogramm je ppb (Volumen/Volumen)<sup>1)</sup> und Minute ( $\text{pg}\cdot\text{ppb}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) oder Kubikzentimeter je Minute ( $\text{cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$ )

ANMERKUNG 1  $\text{pg}\cdot\text{ppb}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  ist äquivalent zu  $\text{ng}\cdot\text{ppm}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ .

ANMERKUNG 2 Diese Definition unterscheidet sich von der in EN 838:1995 durch Ersetzung von „Nanogramm je ppm (Volumen/Volumen)“ durch „Pikogramm je ppb (Volumen/Volumen)“. Der Ausdruck ist numerisch der gleiche, aber Außenluftkonzentrationen liegen üblicherweise im ppb-Bereich.

### 3.6

#### **Innenraumluft**

Luft in Innenräumen nach ISO/DIS 16000-1, 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

### 3.7

#### **Messverfahren**

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

### 3.8

#### **personenbezogene Probenahmeverrichtung**

eine an einer Person befestigte Vorrichtung, die Luft in der Atemzone beprobt [EN 689]

### 3.9

#### **personenbezogene Probenahme**

der Prozess der Luftprobenahme, der mit einer personenbezogene Probenahmeverrichtung (siehe 3.9) durchgeführt wird [EN 1540]

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

### 3.10

#### **Bezugswert**

der Bezugswert einer Verbindung in einer festgelegten Umgebung, z. B. Innenraumluft, ist ein statistisch bestimmter Wert (95 Perzentil per Konvention), der auf einer repräsentativen Studie beruht. Dieser Wert ist deskriptiv und hat keine toxikologische Bedeutung

---

<sup>1)</sup> ppb ist der Volumenanteil ( $\Phi$ ) =  $10^{-9}$ ; ppm ist der Volumenanteil ( $\Phi$ ) =  $10^{-6}$ .

**3.11****Sammelkapazität**

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

ANMERKUNG Die tatsächlich sorbierte Masse wird wie folgt berechnet:  $m \text{ (ng)} = \text{Aufnahmerate (ml/min)} \times \text{Expositionszeit (min)} \times \text{Konzentration an Analyt (}\mu\text{g/m}^3\text{)}$ .

**3.12****Sorbensmedium**

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. [ISO GUM:1995]

**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<sub>s</sub>* Masse des durch Diffusion sorbierten Analyten, in Pikogramm;

*P* Luftdruck während der Messung, in Kilopascal;

*t* Expositionszeit, in Minuten;

$\tau$  Zeitkonstante des Passivsammlers, in Sekunden

## 5.1 Grundlagen der passiven Probenahme

$$m_s = \frac{A \cdot D \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot t}{l} \quad (1)$$

Diagram illustrating a two-phase system (gas and solid) with mass transfer. The gas phase (left) has density  $\rho_1$  and area  $A$ . The solid phase (right) is labeled "Sorbens" and has density  $\rho_2$ . A double-headed arrow labeled  $l$  indicates the thickness of the gas layer. Arrows show mass transfer from the gas to the solid.

Die Einlassöffnung eines Sammlers mit Querschnitt  $A$  in Position 1 definiert den Anfang der Diffusionsstrecke eines Analyten mit der Konzentration  $\rho_1$ . Ein Sorbens in Position 2, das die Konzentration  $\rho_2$  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:

$$m_s = \frac{A \cdot D \cdot \rho \cdot t \cdot k}{l} \quad (2)$$

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 Dimensionen der Aufnahme­rate

Für eine gegebene Konzentration  $\rho$  in Mikrogramm pro Kubikmeter an Gas oder Dampf ist die Aufnahme­rate gegeben durch:

$$U = \frac{m_s}{\rho \cdot t} \quad (3)$$

ANMERKUNG 1 Obwohl die Aufnahme­rate  $U$  die Dimensionen Volumen pro Zeiteinheit hat, steht sie nicht für einen realen Volumenstrom von (Analyt in) Luft.

ANMERKUNG 2 Aufnahme­raten werden oft in den Einheiten  $\text{pg} \cdot \text{ppb}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  angegeben. Dies sind praktikable Einheiten, da die meisten Umweltanalytiker ppb für Konzentrationen von Gasen und Dämpfen verwenden. Die Abhängigkeit der Aufnahme­raten von Temperatur und Druck wird später erläutert (5.4.1). Die Sammelrate für eine in ppb angegebene Konzentration von Gas oder Dampf ist damit gegeben durch:

$$U' = \frac{m_s}{\phi \cdot t} \quad (4)$$

$U'$  und  $U$  sind verknüpft durch:

$$U' = \frac{U \cdot M \cdot 293 \cdot P}{24,0 \cdot T \cdot 101} \quad (5)$$

## 5.3 Systematische Abweichung durch die Auswahl eines nicht-idealen Sorbens

Die Leistung eines Passivsammlers hängt entscheidend von der Auswahl und Anwendung eines geeigneten Sorbens ab. Bei einem Sammelmedium mit hoher Sorptionskapazität ist der Dampfdruck der gesammelten Verbindung an der Sorbensoberfläche ( $\rho_2$ ) im Vergleich zur Außenluftkonzentration sehr klein. Die beobachtete Aufnahme­rate ist dann nahe ihres idealen stationären Wertes, der üblicherweise aus der Geometrie des Sammlers und des Diffusionskoeffizienten des Analyten in Luft berechnet werden kann.

Falls ein schwaches Sorbens benutzt wird, ist  $\rho_2$  in Gleichung (1) ungleich Null und  $m_s/t$  nimmt mit der Sammelzeit ab. In dem alternativen Ausdruck, Gleichung (2) ist  $k$  deutlich kleiner als 1. Somit nimmt auch  $U$  in Gleichung (3) 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 des selben Einflusses ist die Rückdiffusion, manchmal auch reverse Diffusion genannt. Rückdiffusion kann stattfinden, wenn der Dampfdruck des Analyten an der Sorbensoberfläche  $p_2$  einige Zeit nach dem Start der Probenahme größer ist als die äußere Konzentration  $p_1$ , 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 30minütige Exposition bei einer hohen Konzentration, gefolgt von 7,5 Stunden reiner Luft; er wurde in EN 838 aufgenommen. Für Anwendungen in der Außenluft (7.2.1 von EN 13528-2), 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].

Es ist deshalb sinnvoll, eine 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:

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

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:

$$U = f(T^{n+1}, P^{-1}) \quad (7)$$

Wenn  $U'$  durch Anwendung von Gleichung (5) in  $\text{pg} \cdot \text{ppb}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  oder äquivalenten Einheiten angegeben ist, dann ist die Abhängigkeit gegeben durch:

$$U' = f(T^n) \quad (8)$$

Im letztgenannten Fall liegt die Abhängigkeit in der Größenordnung  $0,2 \% \text{ K}^{-1}$  bis  $0,4 \% \text{ K}^{-1}$ . Im Falle eines nicht-idealen Sammlers kann die Temperaturabhängigkeit von  $U'$  durch die Temperaturabhängigkeit des Sorptionskoeffizienten des Analyten ausgeglichen werden [12]. Auf jeden Fall ist die genaue Kenntnis der mittleren Temperatur und des mittleren Druckes bei der Probenahme für die richtige Anwendung der Gleichung (6) wichtig.

### 5.4.2 Feuchte

Hohe Feuchte kann die Sorptionskapazität hydrophiler Sorbentien, wie zum Beispiel Aktivkohle und Molekularsieb, beeinflussen. Dies verringert normalerweise die Zeitspanne (bei einer gegebenen Konzentration), bis die Sättigung des Sorbens eintritt, wenn die Probenahme wegen eines signifikanten Wertes für  $p_2$  in Gleichung (1) nicht-linear wird. Hohe Feuchte kann auch das Sorptionsverhalten der exponierten inneren Wand von Sammlern des Röhrchen-Typs oder der Turbulenzbarriere ändern, besonders wenn Kondensation auftritt.

### 5.4.3 Übergangszustände

Einfache Ableitungen des Fickschen Gesetzes setzen stationäre Bedingungen voraus, während sich beim praktischen Einsatz von Passivsammlern das Konzentrationsniveau der Schadstoffe möglicherweise jedoch in weiten Bereichen ändert. 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. Die Frage wurde theoretisch [6, 13 - 15] und praktisch [13, 16, 17] diskutiert; es hat sich gezeigt, dass sie kein Problem aufwirft, wenn die gesamte Probenahmedauer deutlich größer ist (etwa 10mal) als die Zeitkonstante  $\tau$  des Passivsammlers, d.h. die Zeit, die ein Molekül benötigt, um unter stationären Bedingungen in den Passivsammler zu diffundieren. Die Zeitkonstante ist:

$$\tau = \frac{l^2}{D} \quad (9)$$

Die Zeitkonstante  $\tau$  liegt für die meisten kommerziellen Sammler zwischen etwa 1 und 10 Sekunden, wie in Anhang D beschrieben. 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 kann sich auf das Leistungsvermögen eines Passivsammlers auswirken, weil beides die effektive Diffusionsweglänge beeinflussen kann [18 - 21]. Die Massenaufnahme eines Sammlers durch Diffusionsvorgänge (Gleichung (1)) ist eine Funktion der Länge  $l$  und der Querschnittsfläche  $A$  des Diffusionsraumes innerhalb des Sammlers. Die nominelle Diffusionsweglänge ist durch die Geometrie des Sammlers definiert und ist der Abstand zwischen der Sorbensoberfläche und der äußeren Öffnung des Sammlers. Die effektive Länge  $l$  ist nicht notwendigerweise gleich der nominellen 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 ( $\Delta l$ ) statischer Luft, die in dem Wert von  $l$  enthalten sein muss. Der Wert von  $\Delta l$  hängt von der äußeren Geometrie des Sammlers ab. Auch nimmt er mit wachsender Luftgeschwindigkeit ab. Sein Einfluss hängt vom Wert der nominellen Weglänge des Passivsammlers ab. Ein Sammler mit kleinem Querschnitt und langer innerer Luftstrecke bleibt relativ unbeeinflusst von der Windgeschwindigkeit, während ein kurzer, dicker 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  $\Delta l$  verringern. Der Wert von  $\Delta l$  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, Abschnitt 7.4, Bild 1).

#### 5.4.4.2 Konsequenz für unterschiedliche Sammlergeometrien

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. Dabei ist es wichtig, dass die Probe während dieses Transports nicht verändert wird. Die folgenden Vorsichtsmaßnahmen werden empfohlen:

- 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. Petroleum oder Flugbenzin, 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 Innenraumlufthprobenahmen ist die Bestimmung der Innenraumlufthqualität, um Gefährdungen für die Gesundheit der Bevölkerung oder von Einzelpersonen durch Innenraumlufthverunreinigungen 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 Innenraumlufthqualität

In vielen Fällen werden Innenraumlufthuntersuchungen 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 Innenraumlufthqualität

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

## 6.4 Einhaltung von Grenz- oder Richtwerten für Innenraumluft

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 Innenraumluftverunreinigungen

Emissionen aus punktförmigen Quellen erzeugen einen ausgesprochenen Konzentrationsgradienten in der Nachbarschaft der Quelle. Solche Konzentrationsgradienten können bei sorgfältiger Auswahl der Messstellen zum Aufspüren der Quelle in einem Innenraum dienen. Diese Strategie kann zu Empfehlungen für die Verbesserung der Innenraumluftqualität 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 Innenraumluftbelastung zu verringern. Zur Prüfung ihrer Wirksamkeit werden Vergleichsmessungen vor und nach den Abhilfemaßnahmen durchgeführt.

## 6.7 Trendanalysen zur Innenraumluftqualität

Es ist sinnvoll, Zwischentrends und Langzeittrends der Konzentration von Innenraumluftverunreinigungen 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 ist 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 Analyseverfahren 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.

### 7.2 Elemente der Probenahmestrategie

#### 7.2.1 Allgemeines

Die folgende Beschreibung basiert auf entsprechenden Abschnitten des ISO/DIS 16000-1, einer allgemeinen Grundlage zur Beurteilung der Innenraumluftqualität.

#### 7.2.2 Zeitpunkt der Probenahme

Bei der Beurteilung eines Messergebnisses ist die zeitliche Konzentrationsänderung der Luftverunreinigungen zu berücksichtigen. Wichtige allgemeine, bei der Auswahl des Probenahmezeitpunkts zu beachtende Parameter sind Wohnbelegung, Aktivitätsmuster der Bewohner, Eigenschaften der Emissionsquellen, Luftwechselzahl, Temperatur und relative Feuchte. Die jahreszeitlichen Änderungen der meisten dieser Parameter sind erheblich; die passive Probenahme ist wegen der maßvollen Kosten und des maßvollen Aufwands zur Untersuchung der Änderungen der Innenraumluftqualität deshalb besonders geeignet.

Sofern die zu bestimmende Substanz gleichmäßig und kontinuierlich emittiert wird, beispielsweise aus Baumaterialien oder Möbeln, müssen nach Lüftung durch Öffnen eines Fensters mehrere Stunden bis zur Einstellung des Gleichgewichts abgewartet werden. Grundsätzlich ist dieser Einfluss für die Probenahme wichtig, weniger jedoch bei der passiven Probenahme, besonders wenn sie über eine lange Zeitspanne unter realen Nutzungsbedingungen durchgeführt wird. Die Beurteilung der Lüftungsweise des untersuchten Raums gibt wertvolle Informationen zur Interpretation der Ergebnisse.

Falls das Gebäude oder der Raum mit einer raumlufttechnischen Anlage (RLT) ausgerüstet ist, müssen zusätzliche Aspekte berücksichtigt werden. Zum Beispiel können unerwünschte Emissionen aus der RLT selbst (z.B. aus Dichtungsmaterialien, Befeuchtungswasser, Staubablagerungen) oder aus anderen Räumen stammen, die dann im gesamten Gebäude verteilt werden, besonders, wenn die RLT eine hohe Luftwechselzahl aufweist.

Wenn aus periodisch aktiven Quellen stammende Innenraumluftverunreinigungen zu beurteilen sind, hängt die Zeit der Probenahme von den Messzielen ab. Sie kann der Zeitspanne der maximalen Exposition entsprechen, die nur durch kontinuierliche Messung mit hoher zeitlicher Auflösung oder Kurzzeitprobenahmen mit genauer zeitlicher Abstimmung ermittelt werden kann. Mit der passiven Probenahme lässt sich jedoch vorteilhaft die mittlere Exposition über eine lange Zeitspanne ermitteln.

In einigen Fällen sind die Emissionseigenschaften von vermuteten Quellen zunächst unbekannt. Dann kann die kontinuierliche Aufzeichnung von Messgrößen (z.B. gesamte gasförmige organische Verbindungen mit einem Flammenionisationsdetektor (FID) oder einem Photoionisationsdetektor (PID)) für eine begrenzte Zeitspanne hilfreiche Informationen zur Abschätzung des Probenahmezeitpunkts und der Probenahmedauer (7.2.3) liefern.