



# Gesundheits Ingenieur

Haustechnik · Bauphysik · Umwelttechnik

Herausgegeben von K. W. USEMANN

110. Jahrgang 1989 · Heft 5 · Seite 217-276

unter Mitwirkung von  
in Verbindung mit dem

F. Baum, H. Erhorn, E. Lahmann, H. Viessmann und J. Wegner

Bundesgesundheitsamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin-Dahlem; Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, München und der Gesundheitstechnischen Gesellschaft, Berlin.



## Die Untersuchung von Innenraumluft

B. Seifert

### 1. Einleitung

Die Untersuchung der Luft ist ein Arbeitsbereich, der die Aufmerksamkeit der Analytiker seit langem in Anspruch nimmt. Parallel zu der Verfeinerung der Arbeitsmethoden in der Analytischen Chemie wurden seit dem 18. Jahrhundert Kenntnisse über die Zusammensetzung der Atmosphäre aus den Grundelementen, die Gegenwart von Edelgasen in der Luft und schließlich das Auftreten von anthropogenen Beimengungen in kleiner und kleinster Konzentration erarbeitet. Als Matrix wurde dabei fast ausschließlich die Außenluft untersucht.

Obwohl nicht erst in diesem Jahrhundert damit begonnen wurde, die Luft in geschlossenen Räumen zu untersuchen, wie die Arbeiten von *Pettenkofer* über Kohlendioxid im letzten Jahrhundert zeigen, sind noch nie so viele und so unterschiedliche chemische Verbindungen der Innenraumluft bestimmt worden wie in den vergangenen dreißig, vor allem aber in den letzten 10 Jahren<sup>1</sup>. Umfaßte das Spektrum der Substanzen anfänglich nur die „klassischen“ Luftschadstoffe, die in größeren Mengen bei Ver-

brennungsprozessen frei werden, wie die Kohlenstoff-, Schwefel- und Stickstoffoxide, so dehnte es sich in den letzten Jahren auf eine Vielzahl organischer Verbindungen aus, von denen Formaldehyd, Tetrachlorethen und Bestandteile von Holzschutzmitteln die derzeit am häufigsten analysierten sein dürften.

Die Untersuchung der Innenraumluft wurde anfänglich von Personen und Laboratorien durchgeführt, die aufgrund ihrer bei Außenluftmessungen erworbenen Kenntnisse über eine solide Basis in der Luftanalytik verfügten. In steigendem Maße führen heute aber auch fachfremde Personen Innenraumluftmessungen durch. Selbst wenn diese Personen die für das chemisch-analytische Arbeiten erforderlichen Vorkenntnisse erworben haben (wovon man allerdings nicht in allen Fällen überzeugt sein kann), müssen die von ihnen in Gutachten und Berichten mitgeteilten Meßergebnisse oft mit einer gewissen Vorsicht interpretiert werden. Der Grund dafür besteht darin, daß trotz großer Bemühungen im Laboratorium häufig das Wissen über die geeignete Meßstrategie und das am besten anzuwendende Meßverfahren nicht verfügbar ist. Meßstrategie und Meßverfahren haben aber gerade bei Innenraumuntersuchungen eine besonders große Bedeutung und beeinflussen das Meßergebnis oft noch mehr als dies bei Außenluftuntersuchungen der Fall ist. Der folgende Artikel beleuchtet einige der Einflußgrößen, die bei der Durchführung von Innenluftuntersuchungen von Bedeutung sind, und gibt gleichzeitig Hinweise, die bei der Durchführung solcher Untersuchungen beachtet werden sollten.

Prof. Dr. B. Seifert, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Bundesgesundheitsamt.

<sup>1</sup>) In diesem Artikel sollen unter dem Begriff „Innenraum“ neben den üblichen Räumen in privaten und öffentlichen Gebäuden auch Büros und Verkaufsräume verstanden werden, also auch Arbeitsplätze, die nicht „im Hinblick auf Luftschadstoffe arbeitsschutzrechtlicher Kontrolle unterliegen“ (Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, 1987).

## 2. Meßstrategie

### 2.1 Elemente der Meßstrategie

Eine durchdachte Meßplanung ist ohne die Beantwortung der Frage „Warum, wo, wann, wie oft und wie lange soll gemessen werden?“ nicht möglich. Entsprechende Überlegungen sind bei Innenraumlufthuntersuchungen vielleicht noch wichtiger als bei manchen anderen analytischen Aufgaben. Wegen der im allgemeinen nur in sehr beschränktem Maße vom (oft privaten) Auftraggeber zur Verfügung gestellten Mittel und der Notwendigkeit, die Beeinträchtigung der Rauminsassen durch den Meßvorgang so gering wie möglich zu halten, kann nämlich meist nur eine sehr kleine Zahl von Proben genommen werden, obwohl die Vielzahl von variablen Einflußgrößen eine wesentlich größere Probenzahl wünschenswert machen würde.

#### 2.1.1 Veranlassung für die Messung

Als zwei besonders wichtige Gründe für Luftuntersuchungen in Innenräumen können die Ermittlung der Belastung der allgemeinen Bevölkerung mit Innenraumlufschadstoffen und das Auftreten gesundheitlicher Beschwerden beim Aufenthalt in bestimmten Räumen angeführt werden. Im ersten Fall wird – unter der Voraussetzung, daß eine genügend große Zahl von Räumen untersucht wird – auch dann eine repräsentative Verteilung der gemessenen Konzentrationen erhalten werden können, wenn pro Raum nur eine einzige Messung unter nicht genau definierten Randbedingungen durchgeführt wird.

In dem für die Praxis bedeutungsvollen Beschwerdefall spielen oft akut wirkende Verbindungen eine Rolle. Es ist in einem solchen Fall meist wünschenswert, möglichst schnell ein Ergebnis vorlegen zu können, andererseits soll gleichzeitig oft geprüft werden, bis zu welcher Höhe das Konzentrationsniveau auch unter ungünstigen Bedingungen ansteigen kann. Es ist daher im allgemeinen sinnvoll, Kurzzeitmessungen unter Bedingungen durchzuführen, die höhere Konzentrationen erwarten lassen (Schließen von Fenstern und Türen oder Abstellen der Klimaanlage zur Verringerung des Luftwechsels, eventuell auch Erhöhung von Raumtemperatur und -feuchte). Selbstverständlich müssen diese Bedingungen aber so gewählt werden, daß sie zwar extremen, aber nicht unmöglichen Aufenthaltsbedingungen entsprechen.

#### 2.1.2 Ort der Messung

Hat schon bei der Durchführung von Außenluftuntersuchungen der Ort der Messung einen bedeutsamen Einfluß auf das Meßergebnis, so ist dieser Einfluß bei Innenraummessungen wegen des begrenzten Raumvolumens noch stärker ausgeprägt. Die enge räumliche Nachbarschaft von Quelle und Rezeptor muß bei der Meßplanung ebenso bedacht werden wie die Tatsache, daß die Rauminsassen die „Meteorologie“ des Innenraumes durch Öffnen von Tür und Fenster wegen der damit verbundenen

schnellen und eventuell drastischen Veränderungen von Luftbewegung, Feuchte und Temperatur selbst beeinflussen können.

Innerhalb einer Wohnung oder Etage variiert die Konzentration einer bestimmten Verbindung im allgemeinen von Raum zu Raum. Zur Ermittlung der tatsächlichen Belastung eines Menschen, der sich in diesen Räumen aufhält, müßte daher entweder die Probenahmevorrichtung an der Person befestigt werden („personal sampling“) oder aber in allen Räumen gemessen und dann die Aufenthaltsdauer in jedem der Räume berücksichtigt werden. Es ist absehbar, welcher Aufwand hiermit nicht nur für den Untersuchenden sondern – wegen der notwendigen Protokollierung der Aufenthaltszeiten – auch für den Benutzer der Räume verbunden ist.

In der Praxis wird man daher in der Regel meist so vorgehen, daß eine ortsfeste Probenahme durchgeführt wird. Vielfach ist hierfür wegen beschränkter Mittel nur ein einziger Raum auszuwählen. Unter diesen Bedingungen empfiehlt es sich, denjenigen Raum zu wählen, der hinsichtlich der Höhe der Luftbelastung mit Schadstoffen und der Aufenthaltsdauer eine Mittelstellung einnimmt. Bei stark riechenden oder reizenden Verbindungen wird es jedoch möglicherweise ratsam sein, von dieser Regel abzuweichen und einen höher belasteten Raum für die Probenahme auszuwählen, auch wenn für diesen nur kürzere Aufenthaltszeiten zu erwarten sind.

Ist der Raum festgelegt, so stellt sich die Frage, an welcher Stelle im Raum die Probe genommen werden soll. Meist wird die Raummitte der am besten geeignete Meßort sein, jedoch können spezielle Fragestellungen auch bedingen, daß in geringerem räumlichen Abstand von einer Quelle gemessen wird. Ein Beispiel hierfür ist die Ermittlung der Exposition gegenüber dem beim Kochen mit Gasflammen auftretenden Stickstoffdioxid, das oberhalb eines Herdes in höherer Konzentration vorliegt als darunter (Seifert, 1984; Goldstein et al., 1988).

#### 2.1.3 Zeitpunkt der Messung

Die schadstoffabgebenden Quellen im Innenraum können kontinuierlich oder diskontinuierlich wirken. Bei kontinuierlichen Quellen, die pro Zeiteinheit eine konstante Menge bestimmter Verbindungen in den Raum abgeben, ist das Ausmaß der Lüftung die Hauptursache für Konzentrationsschwankungen. Im Falle der diskontinuierlichen Quellen spielt daneben auch die Aktivität der Quelle eine wesentliche Rolle. Weitergehende Betrachtungen hierzu wurden bereits an anderer Stelle angestellt (Seifert und Ullrich, 1987).

Unter Berücksichtigung aller Umstände hat es sich bei Vorliegen kontinuierlicher Quellen (z. B. Spanplatten) als günstig erwiesen, den zu untersuchenden Raum vor einer Kurzzeitmessung am besten über Nacht, zumindest aber während der letzten 3 Stunden vor der Messung geschlossen zu halten, um denjenigen stationären Zustand zu erhalten, der die mittlere Belastung der Rauminsassen widerspiegelt.

Bei einer Langzeitmessung, die im allgemeinen immer dann angezeigt ist, wenn es darauf ankommt, die Schadstoff-Konzentration unter den üblichen Lebensbedingungen zu ermitteln, kommt dem Zeitpunkt der Messung eine geringere Bedeutung zu. Am besten werden die Rauminhalten bei Langzeitmessungen angewiesen, ihr übliches Lüftungsverhalten beizubehalten. Die Tatsache, daß dieses je nach Jahreszeit unterschiedlich sein dürfte, muß bei der Bewertung des Ergebnisses berücksichtigt werden.

#### 2.1.4 Häufigkeit und Dauer der Messung

Ebensowenig wie es bei Außenluftmessungen möglich ist, aus einer einzigen Messung eine generelle Beurteilung des Grades der Luftverschmutzung an einer Meßstelle abzuleiten, sollte es bei Innenraumluftmessungen vermieden werden, mit nur einer Messung eine allgemein gültige Aussage über die Situation in einem Raum zu treffen; der Lüftungszustand und die Aktivität der vorhandenen Quellen können in zu weiten Bereichen variieren, als daß dies möglich wäre.

Die Anzahl der benötigten Messungen hängt davon ab, welche Fragestellung beantwortet werden soll. Ist nur die annähernde Größenordnung der Belastung mit einem Schadstoff von Interesse, so kann eine einzige Messung ausreichend sein. Wird eine lückenlose und genaue Erfassung dieser Belastung gewünscht, so ist eine größere Zahl von Messungen mit möglichst hoher zeitlicher Auflösung erforderlich. Dies kann im Extremfall das Aufstellen eines kontinuierlich oder quasi-kontinuierlich arbeitenden Monitors bedeuten (der allerdings bislang nur für die wenigsten Verbindungen verfügbar ist). In der Praxis wird oft ein vernünftiger Mittelweg einzuschlagen sein: es empfiehlt sich, drei voneinander unabhängige Messungen durchzuführen, von denen mindestens eine den Zustand der höchstmöglichen Belastung widerspiegeln soll (*Seifert*, 1984).

Hinsichtlich der Dauer einer Messung ist man einerseits ebenfalls von der Fragestellung, andererseits aber auch vom Analysenverfahren und der gewünschten zeitlichen Auflösung abhängig. Zur Untersuchung der Belastung mit krebserzeugenden Verbindungen ist es möglich, Langzeitmessungen durchzuführen, während akut wirkende Reizstoffe besser mit Kurzzeitmessungen erfaßt werden. Auch das gewählte oder vorgegebene Analysenverfahren bestimmt die Dauer der Probenahme. Auf die Bedeutung und den Einfluß der Meß- und Probenahmetechnik wird im folgenden Kapitel näher eingegangen.

### 3. Meß- und Probenahmetechnik

Die Antworten auf einige der im vorangegangenen Kapitel angesprochenen Fragestellungen sind wechselseitig mit der Meßmethode verbunden, die eingesetzt werden soll. So wird z. B. bei gewünschter hoher zeitlicher Auflösung ein anderes Verfahren eingesetzt werden müssen als bei einer Langzeitmessung, und umgekehrt wird es notwendig sein – wenn nur eine relativ unempfindliche Meßmethode zur Verfügung steht –, einen ausreichend großen

Sammelzeitraum zu wählen. Im folgenden wird eine Übersicht über die für Innenraumluftuntersuchungen einsetzbaren Vorgehensweisen gegeben, wobei nach Übersichtsmessungen, Messungen mit passiver Probenahme und Messungen mit aktiver Probenahme unterschieden wird. Dabei kann in diesem Rahmen nicht auf die eigentliche chemische Analyse eingegangen werden.

#### 3.1 Übersichtsmessungen

Häufig wird von besorgten Auftraggebern, die durch neue Nachrichten über das Auftreten bestimmter Verbindungen in der Innenraumluft verunsichert sind, der Wunsch geäußert, es möge doch „mal eben schnell“ festgestellt werden, ob sie in ihren Räumen einer erhöhten Schadstoff-Konzentration ausgesetzt sind. Es muß hier ganz deutlich gesagt werden, daß die Möglichkeiten der Analytik, einen solchen Wunsch zu erfüllen, derzeit ausgesprochen gering sind. Auch in Fällen, wo derartige Schnellmessungen denkbar sind, sollten sie entgegen landläufiger Meinung dem Fachmann überlassen bleiben, der über die nötigen Kenntnisse zur Bewertung der Ergebnisse verfügt.

Für Übersichtsmessungen wird häufig auf sog. Prüfröhrchen zurückgegriffen (*Dräger*, 1985). Bei diesen Röhrchen wird die zu untersuchende Luft durch ein Trägermaterial gesaugt, das sich – mit einem Reagens belegt – in einem Glasröhrchen befindet. Eine Verfärbung des Trägermaterials zeigt die Gegenwart der Substanz an, für die die Röhrchen ausgelegt ist. Über eine auf dem Röhrchen befindliche Skala kann aus der Länge der Farbzone die Substanzkonzentration in der Luft ermittelt werden.

Prüfröhrchen wurden ursprünglich für Untersuchungen am Arbeitsplatz entwickelt und sind daher für Konzentrationsbereiche ausgelegt, die in den hier zur Diskussion stehenden Innenräumen im allgemeinen nicht auftreten. Vor allem für Formaldehyd wurde jedoch der Versuch unternommen, die Röhrchen auch für tiefere Konzentrationsbereiche einsetzbar zu machen. Dies ist bis zu einem bestimmten Maß auch gelungen, jedoch muß darauf verwiesen werden, daß die auftretende Verfärbung oft keine scharfe Grenze aufweist, so daß die Ablesung der Skala besonders dem Ungeübten Schwierigkeiten bereiten kann. Mehr als ein Hinweis darauf, daß in der Luft eines Raumes im Vergleich zum Richtwert von 0,1 ppm eine wesentlich niedrigere oder höhere Formaldehyd-Konzentration vorliegt, sollte daher aus Prüfröhrchen-Messungen nicht abgeleitet werden.

Die Ergebnisse von Prüfröhrchen-Untersuchungen sind vor allem auch deshalb kritisch zu überprüfen, weil Störungen durch andere Substanzen auftreten können. Zwar sind Informationen über die Störmöglichkeiten verfügbar (*Dräger*, 1985), die Abschätzung einer Möglichkeit des Auftretens und des Ausmaßes solcher Störungen bedingt aber einen kritischen Sachverstand. Viele Benutzer von Prüfröhrchen, die sich durch die Schnelligkeit beeindruckt lassen, mit der ein Ergebnis verfügbar ist, verfügen allerdings weder über diesen Sachverstand noch sind ihnen die im Kapitel 2 besprochenen Aspekte geläufig. Zu-

fallswerte, die aus Unkenntnis dann aber für repräsentativ gehalten werden, sind die Folge.

### 3.2 Messungen mit passiver Probenahme

Wegen ihrer kleinen Abmessungen und vergleichsweise geringen Kosten sowie der Tatsache, daß mit ihrer Benutzung keine Geräuschentwicklung verbunden ist, erfreuen sich Passivsammler bei Innenluftuntersuchungen großer Beliebtheit (*Palmer et al.*, 1976; *Kring et al.*, 1981; *Coutant und Scott*, 1982; *Sefton et al.*, 1983; *Seifert und Abraham*, 1983). Die gängigen Passivsammler arbeiten nach dem Diffusionsprinzip: ein Sorptionsmaterial befindet sich in einem Gehäuse und ist von der Umgebungsluft durch eine Diffusionsstrecke getrennt; eine chemische Verbindung, die in der Raumluft in der Konzentration  $c$  vorliegt, gelangt durch Diffusion an das Sorptionsmaterial und wird dort adsorbiert, so daß sich über die Diffusionsstrecke ein Konzentrationsgefälle einstellt (mit  $c = 0$  an der Oberfläche des Sorbens). Die Konzentration  $c$  ergibt sich aus der folgenden Gleichung, für deren Ableitung auf die Literatur verwiesen wird (*Namiesnik*, 1984):

$$c = \frac{ML}{tDF}$$

$M$  ist die am Sorbens in der Expositionszeit  $t$  gesammelte Substanzmenge,  $D$  ist der Diffusionskoeffizient in Luft,  $F$  ist der Querschnitt, der für den Substanzeintritt in den Sammler verfügbar ist, und  $L$  ist die Länge der Diffusionsstrecke.

Der in der Gleichung (reziprok) enthaltene Ausdruck  $D(F/L)$  wird als „Sammelrate“  $R$  bezeichnet und hat die Dimension Volumen/Zeit.  $R$  ermöglicht einen Vergleich der Leistungsfähigkeit zwischen Passiv- und Aktivsammelverfahren. Beträgt  $R$  für eine bestimmte Substanz bei einem Passivsammler z. B. 10 ml/min, so nimmt dieser Sammler bei einer vorgegebenen Probenahmezeit die gleiche Substanzmenge auf, wie man sie in der gleichen Zeit mit einem Aktivprobenahme-Verfahren sammeln würde, das mit einem Luftdurchsatz von 10 ml/min arbeitet.

Alle in der Gleichung auftretenden Größen lassen sich experimentell bestimmen, jedoch wird  $D$  im allgemeinen aus Tabellen entnommen. Von besonderer Bedeutung ist die Tatsache, daß  $D$  von der Temperatur  $T$  und vom Druck abhängt. Da auch die Massenkonzentration einer Substanz von beiden Größen beeinflusst wird, ergibt sich letztlich, daß  $D$  nur noch eine Funktion von  $T^{1/2}$  ist. Nach *Rose und Perkins* (1982) ist mit einem positiven Fehler von 0,2% für jedes Grad zu rechnen, um das die Temperatur der Umgebungsluft über der Temperatur liegt, für die der Diffusionskoeffizient eingesetzt wurde.

Ein weiterer Parameter, der die Sammelrate eines Diffusionssammlers beeinflussen kann, ist die Anströmgeschwindigkeit der Luft. Eine zu geringe Luftbewegung führt zu Minderbefunden, da die tatsächliche Diffusionsstrecke  $L$  größer wird, als es sich aus den Abmessungen des Sammlers ergibt. Diese Minderbefunde können die Größenordnung von 30% erreichen. Bei Sammlern mit röhrenförmiger Gestalt sind derartige Einflüsse weit-

aus weniger bedeutsam als bei Sammlern flacher Bauweise („badge“), die im allgemeinen eine Luftbewegung von mindestens 0,05 bis 0,1 m/sek benötigen.

Angaben über die Zuverlässigkeit von Ergebnissen, die mit Passivsammlern gewonnen wurden, liegen im allgemeinen nur für die üblicherweise an gewerblichen Arbeitsplätzen auftretenden Konzentrationen von über 1 bis 5 mg/m<sup>3</sup> vor. Die Fehlergrößenordnung soll dann nach Angaben von *Harper und Purnell* (1987) bei  $\leq 25\%$  liegen. Die Verhältnisse dürften allerdings im Bereich geringerer Konzentrationen ähnlich liegen, wie aus einer Reihe von Untersuchungen an verschiedenen Passivsammlertypen bei Konzentrationen teilweise weit unter 1 mg/m<sup>3</sup> hervorgeht (*Seifert und Abraham*, 1983; *Seifert et al.*, 1984; *Sexton et al.*, 1986; *De Bortoli et al.*, 1984). Lediglich für Substanzen, die schwer vom Sorptionsmaterial desorbierbar sind, so z. B. an Aktivkohle gesammelte stark polare organische Verbindungen, muß man mit größeren Fehlern rechnen.

### 3.3 Messungen mit aktiver Probenahme

Von der Kommission „Reinhaltung der Luft“ des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) werden in Richtlinien Verfahren für die Analyse von Luft herausgegeben, die sich fast ausschließlich der aktiven Probenahme bedienen. Die überwiegende Zahl der beschriebenen Verfahren, die ursprünglich für die Untersuchung von Außenluft niedergelegt wurden, ließe sich wahrscheinlich prinzipiell auch für Innenraumluftuntersuchungen anwenden. Bei einer solchen Erweiterung des Anwendungsbereiches auf Innenräume müssen allerdings einige Besonderheiten beachtet werden, die die Einsatzmöglichkeiten möglicherweise einschränken können.

Einer der wichtigsten Punkte, der den Einsatz von Vorrichtungen zur aktiven Probenahme in Innenräumen in der Praxis oft unmöglich macht, ist die mit dem Betrieb von Pumpen verbundene Geräuschbelästigung. Dies gilt u. a. für kontinuierlich anzeigende Monitore, wie sie z. B. für Schwefeldioxid, Stickstoffoxide oder Kohlenstoffmonoxid gebräuchlich sind, aber auch für Probenahmeverrichtungen mit hohem Luftdurchsatz. Selbst ein Pumpengeräusch geringer Intensität kann allerdings bei ansonsten stiller Umgebung, so z. B. während der Nachtstunden in einem Schlafzimmer, als störend empfunden werden. Hauptsächlich bei Messungen in privaten Räumen, die über längere Zeit hinweg durchgeführt werden sollen, erreicht deshalb die Belästigung der Bewohner mitunter ein solches Ausmaß, daß entweder die Messungen abgebrochen werden müssen oder aber das Verhalten der Bewohner sich so verändert, daß das Erreichen des Zieles der Messungen in Frage gestellt werden muß.

Auch bei Messungen in Räumen, bei denen das Vermeiden einer Geräuschentwicklung nicht unbedingt im Vordergrund steht, sind die besonders geräuschintensiven Probenahmeverfahren mit hohem Luftdurchsatz im allgemeinen nur bedingt anwendbar. Solche Verfahren werden überwiegend in der Staubmeßtechnik eingesetzt, wo bei Außenluftuntersuchungen 24-h-Probenahmeverholmi-

na um  $1000 \text{ m}^3$  nicht unüblich sind. Eine einfache Abschätzung zeigt, daß unter diesen Voraussetzungen in vielen Privaträumen bei einem angenommenen Raumvolumen von etwa  $50 \text{ m}^3$  allein schon durch die Probenahme ein Luftwechsel von 1 Raumvolumen/Stunde bedingt wäre. Da ein erhöhter Luftwechsel die Substanzkonzentration im Raum herabsetzt, würde das Meßergebnis einen systematischen negativen Fehler aufweisen. In erster Näherung kann man davon ausgehen, daß ein derartiger systematischer Fehler zu vernachlässigen ist, wenn der auf 1 Stunde bezogene Luftdurchsatz bei der aktiven Probenahme nicht mehr als 10% des Raumvolumens beträgt. Der beschriebene Fehler ist total vermeidbar, wenn mit Passivsammlern gearbeitet wird, denen damit auch unter diesem Aspekt eine große Bedeutung zukommt. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß für die von solchen Effekten besonders betroffene Messung der Staubkonzentration derzeit ein Verfahren zur passiven Probenahme nicht bekannt ist. Es sei jedoch ein einfaches Passivverfahren zur Bestimmung der Staubdeposition in Innenräumen erwähnt (Aurand et al., 1983).

#### 4. Schlußbetrachtung

Der Meßstrategie kommt bei der Bestimmung chemischer Verbindungen in der Innenraumluft eine in der Praxis oft nur ungenügend berücksichtigte zentrale Bedeutung zu. Das Ziel der Messung bestimmt dabei Ort, Zeitpunkt, Häufigkeit und Dauer der Probenahme.

Für die Untersuchung der Innenraumluft sind zwar prinzipiell auch Verfahren anwendbar, die bei Außenluftuntersuchungen eingesetzt werden, wegen einiger Besonder-

heiten des Innenraumes sind häufig jedoch die bei Außenluftuntersuchungen im allgemeinen nur wenig gebräuchlichen Verfahren mit Passivprobenahme vorzuziehen. In Tab. 1 sind für einige der in den letzten Jahren besonders beachteten Verunreinigungen der Innenraumluft häufig eingesetzte Probenahme- und Analysenprinzipien zusammengestellt.

#### Literatur

- K. Aurand, M. Drews und B. Seifert: A passive sampler for the determination of the heavy metal burden of indoor environments; Environ. Technol. Letters 4, (1983), 433-440.
- R. W. Coutant und D. R. Scott: Applicability of passive dosimeters for ambient air monitoring of toxic organic compounds; Environ. Sci. Technol. 16 (1982) 410-413.
- M. de Bortoli, H. Knöppel, L. Mølhøve, B. Seifert und D. Ullrich: Interlaboratory comparison of passive samplers for organic vapours with respect to their applicability to indoor air pollution monitoring: A pilot study; Comm. European Commun., Report EUR 9450 EN, Luxembourg, 1984.
- Dräger-Werk AG: Prüfröhrchen-Taschenbuch. 6. Aufl., Lübeck, 1985.
- I. F. Goldstein, L. R. Andrews, D. Hartel: Assessment of human exposure to nitrogen dioxide, carbon monoxide and respirable particulates in New York inner-city residences; Atmos. Environ. 22 (1988) 2127-2139.
- M. Harper, C. J. Purnell: Diffusive sampling - a review; Amer. Ind. Hyg. Assoc. J. 48 (1987) 214-218.
- E. V. Kring, W. J. Lautenberger, W. B. Baker, J. J. Douglas und R. A. Hoffman: A new passive colorimetric air monitoring badge system for ammonia, sulfur dioxide and nitrogen dioxide; Amer. Ind. Hyg. Assoc. J. 42 (1981), 373-381.
- J. Namiesnik, T. Gorecki, E. Kozłowski, L. Torres und J. Mathieu: Passive dosimeters - an approach to atmospheric pollutant analysis; Sci. tot. Environ. 38 (1984), 225-258.
- E. D. Palmes, A. F. Gunnison, J. DiMattio und C. Tomczyk: Personal sampler for nitrogen dioxide; Amer. Ind. Hyg. Assoc. J. 37 (1976), 570-577.
- Rat von Sachverständigen für Umweltfragen: Luftverunreinigungen in Innenräumen. Sondergutachten Mai 1987. W. Kohlhammer, Stuttgart/Mainz, 1987.
- V. E. Rose, J. L. Perkins: Passive dosimetry - state of the art review; Amer. Ind. Hyg. Assoc. J. 43 (1982), 605-621.
- M. V. Sefton, E. L. Mastracci und J. L. Mann: Rubber disk passive monitor for benzene dosimetry; Anal. Chem. 53 (1983), 458-461.
- B. Seifert und H.-J. Abraham: Use of passive samplers for the determination of gaseous organic substances in indoor air at low concentration levels; Intern. J. Environ. Anal. Chem. 13 (1983), 237-253.
- B. Seifert, K.-E. Prescher und D. Ullrich: Auftreten anorganischer und organischer Substanzen in der Luft von Küchen und anderen Wohnräumen; WaBoLu-Hefte 2/1984. Inst. für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin 1984.
- B. Seifert: Planung und Durchführung von Luftmessungen in Innenräumen; Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik-Ges.-Ing. 105 (1984), 15-18.
- B. Seifert, D. Ullrich: Methodologies for evaluating sources of volatile organic chemicals VOC in homes; Atmos. Environ. 21 (1987), 395-404.
- K. Sexton, K.-S. Liu und M. X. Petreas: Formaldehyde concentrations inside private residences: A mail-out approach to indoor air monitoring; J. Air Poll. Control Assoc. 36 (1986), 698-704.

**Tabelle 1.** Mögliche Probenahme-Verfahren und Analysenprinzipien für die Bestimmung ausgewählter Innenraumluftverunreinigungen.

Substanz	Probenahme-Verfahren	Analysenprinzip
Stickstoffdioxid	Aktiv (Automat)	Chemilumineszenzreaktion Photometrie
	Passiv	
Radon und Zerfallsprodukte	Aktiv (Sorptionrohr)	Radiometrie
	Passiv	Radiometrie
Formaldehyd	Aktiv (Waschflasche)	Photometrie Visuelle Auswertung einer Farb- reaktion Photometrie HPLC <sup>1</sup>
	Aktiv (Prüfröhrchen)	
	Passiv	
Einzelne, bekannte organische Verbindungen <sup>2</sup>	Aktiv (Sorptionrohr)	Gaschromatographie Gaschromatographie
	Passiv	
Unbekannte flüchtige organische Verbindungen	Aktiv (Sorptionrohr)	Gaschromatographie/ Massenspektrometrie

<sup>1</sup> Hochleistungs-Flüssigkeits-Chromatographie.

<sup>2</sup> Zum Beispiel Toluol, Tetrachlorethen.