

# Messung von Formaldehyd in der Raumluft



## Zusammenstellung der praktizierten Meßverfahren

G. SCHLÜTER

Aus dem Trend, den Luftwechsel zwischen (geheizten) Räumen und der Außenluft aus Energiespargründen zunehmend einzuschränken, resultiert eine potentielle Schadstoffanreicherung in der Innenraumluft. Aus der Vielzahl der dabei möglichen Luftverunreinigungen wird hier Formaldehyd und dessen Messung nach den bekannten Methoden vergleichend behandelt. Es zeigt sich, daß eine genaue Bestimmung besonders sehr geringer Formaldehydkonzentrationen in der Luft um und unter 0,1 ppm nur mit den photometrischen Verfahren möglich ist. Diese Genauigkeit bleibt auch durch den Einsatz relativ einfacher, besonders für Feldmessungen konzipierter Luftprobenahme-Apparaturen im wesentlichen erhalten. Es wird die stets notwendige Kalibrierung der photometrischen Verfahren behandelt und in einer Tabelle eine vergleichende Übersicht ihrer Meßbereiche dargestellt.

Im Rahmen der seit einer Reihe von Jahren mit zunehmender Bedeutung praktizierten Energieeinsparung, insbesondere bei der Beheizung von Wohn-, Arbeits- und sonstigen Aufenthaltsräumen, für die ca. 40% der Gesamtprimärenergie aufgewendet werden muß, wird u. a. verstärkt auf besondere Fugendichtheit der Fenster Wert gelegt. Durch ein- oder mehrfache Gummi- oder Kunststoffdichtungen wird der natürliche Luftwechsel zwischen Außen- und Innenraum z. T. rigoros vermindert. Neben der zweifellos erreichbaren Heizenergieeinsparung in der kalten Jahreszeit werden dadurch aber eine Reihe lufthygienischer Nachteile eingehandelt. Mindestens 17 m<sup>3</sup>/h Außenluft sind in Aufenthaltsräumen pro Person notwendig, um das durch normalen Grundumsatz produzierte Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in der Raumluft in Konzentrationen unter dem hygienischen Grenzwert von 0,15 Vol.-% zu halten. Denn parallel mit CO<sub>2</sub> werden Wasserdampf sowie Riech- und sonstige Stoffe (Tabakrauch etc.) von den Rauminsassen erzeugt, die zu Geruchs- und anderen Belästigungen führen. Kohlendioxid dient hier wegen der objektiven und leichten Meßbarkeit als Leitsubstanz bei der Beurteilung der „Appetitlichkeit“ der Raumluft.

Bedenklicher als die vom Menschen selbst erzeugten Luftverunreinigungen sind die aus Baustoffen, Einrichtungsgegenständen, aus Putz- und Pflegemitteln usw. möglicherweise emittierten Schadstoffe [1]. Bei dicht bis sehr dicht schließenden Fenstern und gleichzeitiger Nichteinhaltung der unbedingt notwendigen Fensterlüftungszyklen kann die Anreicherung der o. a. Schadstoffe im Raum zu einem hygienischen Problem werden.

### 1. Formaldehyd als Schadstoff

Aus der großen Palette der hierbei in Frage kommenden Raumluftschadstoffe soll Formaldehyd (HCHO) auf Grund seiner ubiquitären Anwendung herausgegriffen und dessen Messung in der Raumluft behandelt werden. So-

wohl über die chemischen Eigenschaften, über Herstellung, Anwendung und mögliche Quellen von HCHO, als auch über seine Toxikologie gibt der am 1. Oktober 1984 zu diesem Thema erschienene gemeinsame Bericht von Bundesgesundheitsamt, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Umweltbundesamt [2] erschöpfend Auskunft.

Auf zwei für die Praxis wichtige Grenzkonzentrationen von HCHO in der Luft von Aufenthaltsräumen soll an dieser Stelle noch aufmerksam gemacht werden: 1 ppm oder 1,2 mg HCHO/m<sup>3</sup> Luft beträgt z. Z. in Deutschland die maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) für Formaldehyd; d. h., an Arbeitsplätzen, an denen mit der Abgabe von Formaldehyd aus dem Arbeitsgut oder aus anderen Quellen, die in direktem Zusammenhang mit der Tätigkeit stehen, gerechnet werden muß, darf die HCHO-Konzentration in der Luft innerhalb 8 Stunden täglich besagten MAK-Wert betragen. Die restlichen 16 Stunden eines Tages sind als Regenerierungs- und Erholungszeit in schadstoffreier Umgebung anzusehen. 0,1 ppm oder 0,12 mg HCHO pro m<sup>3</sup> Luft wurden bereits 1977 als tolerierbarer Konzentrationswert für die Dauerexposition des Menschen in Aufenthaltsräumen aller Art aufgrund eingehender Beratungen einer Sachverständigengruppe vom Bundesgesundheitsamt angesehen. Auf diesen Wert ist bereits in mehreren Richtlinien über den Umgang mit formaldehydhaltigen bzw. -abgebenden Produkten Bezug genommen worden. In dem oben zitierten „Formaldehydbericht“ [2] heißt es unter „Empfehlungen“: „Aufgrund der angeführten Gefährdungen durch Formaldehyd ist die Belastung in allen Bereichen so gering wie möglich zu halten“. Darum ist es besonders angezeigt, die genaue Messung auch sehr kleiner Formaldehydkonzentrationen in der Luft praxisgerechter, d. h. mit geringem apparativen Aufwand möglich zu machen. Die folgenden Ausführungen sollen eine Anleitung dazu geben.

### 2. Messung von Formaldehyd in der Luft

#### 2.1 Formaldehydmessung mit Prüfröhrchen

Formaldehyd-Prüfröhrchen, die für verschiedene Meßbereiche angeboten werden, z. B. [3], erfordern an sich den geringsten apparativen Aufwand. Mit einer einhändig bedienbaren Balgenpumpe wird schubweise (je 100 ml) die zu prüfende Luft durch ein Glasröhrchen gesaugt, das ein

Ing. Gert Schlüter, Institut f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Institutsleiter Prof. Dr. med. G. von Nieding, Postfach 33 0013, 1000 Berlin 33.

Reagenz auf einer gekörnten Trägerschicht enthält. Je nach HCHO-Gehalt der Luft findet bei der entsprechenden Hubzahl eine in Saugrichtung fortschreitende Rosaverfärbung der anfangs farblosen Testschicht statt. Leider gestattet der Vergleich der verfärbten Zone mit der auf das Glasröhrchen aufgedruckten Skale nur ein Abschätzen des sicheren Bereiches, in dem der wahre Meßwert liegt. So haben Vergleichsmessungen ergeben, daß bei der mit einem photometrischen Verfahren (VDI 3484, Blatt 1) in einem Versuchsraum festgestellten Konzentration von 0,07 ppm HCHO mit dem Dräger-Prüfröhrchen „Formaldehyd 0,2/a“ und vorgeschaltetem Aktivierungsröhrchen bei 100 Hüben nur die Aussage „>0,04, aber <0,1 ppm“ möglich war – besonders bei Beurteilung durch verschiedene Beobachter. „In gleicher Weise konnte bei 0,16 ppm mit Prüfröhrchen lediglich „>0,1, aber <0,2 ppm“ abgelesen werden. Zahlreiche Vergleichsmessungen bestätigen die zwar angenähert richtige, aber mit erheblicher Toleranzbreite behaftete Anzeigemöglichkeit. Darum sollten HCHO-Prüfröhrchen im besonderen für orientierende Messungen verwendet werden. In diesem Zusammenhang muß auf die relative Standardabweichung von 20 bis 30% sowie auf die Querempfindlichkeit gegenüber Acetaldehyd, Acrolein u. a. der Formaldehyd-Prüfröhrchen aufmerksam gemacht werden [3, S. 79].

## 2.2 Formaldehydmessung mit dem „Formaldemeter“

Das von der *Fa. Lion Laboratories Ltd.* gefertigte „Formaldemeter“ – ein handliches Gerät im Format eines Taschenrechners – gestattet auf Knopfdruck, bei dem eine geringe Prüfluftmenge in eine elektrochemische Meßzelle gesaugt wird, die Formaldehydkonzentration auf einem 3stelligen Display abzulesen. Leider können zahlreiche andere organische Stoffe, wie Methanol, Ethanol, Propanol, auch Tabakrauch und andere oxydierbare Gase und Dämpfe die Anzeige verfälschen, so daß besonders im hier interessierenden Meßbereich unter 0,5 ppm – der kleinste anzeigbare Meßwert ist 0,1 ppm – mit erheblichen Fehlern gerechnet werden muß. Der Hersteller gibt an, daß das Gerät im Konzentrationsbereich von 0,3 bis 10 ppm besonders genau anzeigen soll, und daß durch Beachtung der zeitlichen Anzeigeänderung auf die Anwesenheit querempfindlicher Stoffe geschlossen werden könne.

## 2.3 Gaschromatographische Messung von Formaldehyd

Die gaschromatographische Auswertung des auf irgendeinem Trägermaterial gesammelten Formaldehyds ist mit wesentlich höherem apparativen Aufwand verbunden als die photometrische Analyse und daher in der Praxis unüblich.

## 2.4 Photometrische Analysenverfahren

Die gebräuchlichsten naßchemischen Analysenverfahren mit photometrischer Auswertung [4; 5] sind:

- a) Das Sulfit-Pararosanilin-Verfahren [6; 7]
- b) Das Chromotropsäure-Verfahren [8]
- c) Das Acetylaceton-Verfahren.

## 2.4.1 Probenahme

Der Verfahrensgang gliedert sich grundsätzlich in die Probenahme vor Ort und die chemisch-analytische Aufbereitung mit photometrischer Auswertung im Labor. Allein bei Verfahren c) ist es üblich, die photometrische Auswertung sogleich am Meßort vorzunehmen.

### 2.4.1.1 Probenahme mit Passivsammlern

Um einen Mittelwert der HCHO-Konzentration in der Luft über 1 bis 2 Tage zu erhalten, ist die Probenahme mit sog. Passivsammlern angezeigt [9]. Diese bestehen aus 7,5 cm langen Silikat- oder Plexiglasröhrchen mit 1,0 cm lichtem Durchmesser. In einer der beiden Polyethylenkappen, mit denen die Röhrchen verschlossen sind, liegen drei mit Triethanolamin beschichtete Edelstahlrahtnetze. Zum Exponieren wird die den Drahtnetzen gegenüberliegende Kappe abgenommen und das Röhrchen für 24 bzw. 48 Stunden frei aufgestellt. Auf dem Diffusionsweg gelangt HCHO aus der zu untersuchenden Luft definiert durch das Röhrchen und wird vom Triethanolamin absorbiert. Nach dem Schließen der Röhrchen sollte die chemische Auswertung – üblicherweise nach den oben genannten Verfahren a) oder b) – innerhalb von 2 Tagen vorgenommen werden, da später HCHO-Verluste auftreten.

### 2.4.1.2 Probenahme mit Gaswaschflaschen

Luftprobenahmen über etwa eine Stunde (oder auch kürzer) erfolgen üblicher- und praktischerweise durch Gaswaschflaschen mit Fritte, in denen als Absorptionsflüssigkeit für die Verfahren a), b) und c<sub>1</sub>) bidest. Wasser, für Verfahren c<sub>2</sub>) bereits ein Gemisch aus Acetylaceton- und Ammoniumacetatlösung verwendet wird, siehe 2.4.2.3.

Um die drei photometrischen Meßverfahren in ihrer Empfindlichkeit vergleichen zu können, wird hier eine standardisierte, einheitliche Probenahme eingeführt:

*100 l der zu untersuchenden Luft werden innerhalb einer Stunde durch eine mit 25 ml bidest. Wasser beschickte Fritten-Gaswaschflasche (100 ml, Fritte PO) gesaugt. Im Interesse der Meßgenauigkeit sollte diese Luftmenge möglichst genau eingehalten werden. Die VDI-Richtlinie 3484 [7] schreibt darum die Verwendung eines geeichten Gasmenzählers oder einer kritischen Düse vor, aus deren Kennlinie bei entsprechendem Unterdruck der Pumpe und der mit Stoppuhr zu messenden Zeit ein genaues Luftvolumen resultiert.*

Für Messungen in der Praxis (z. B. in Wohnungen, Klassenräumen, Krankenzimmern u. a.) kann die Luftmenge aber auch mit einem Schwebekörper-Durchflußmesser und einer wesentlich kleineren und entsprechend leichteren Membranpumpe auf ca.  $\pm 5\%$  genau eingehalten werden – eine Basis, die für die meisten Untersuchungen völlig ausreichend ist. Eine gelegentliche Überprüfung der Luftdurchflußmenge mit einem geeichten Laborgasmengenzähler ist jedoch angebracht. Die daraus entstandene Probenahmeapparatur ist auf einem 20 cm · 20 cm großen Grundbrett

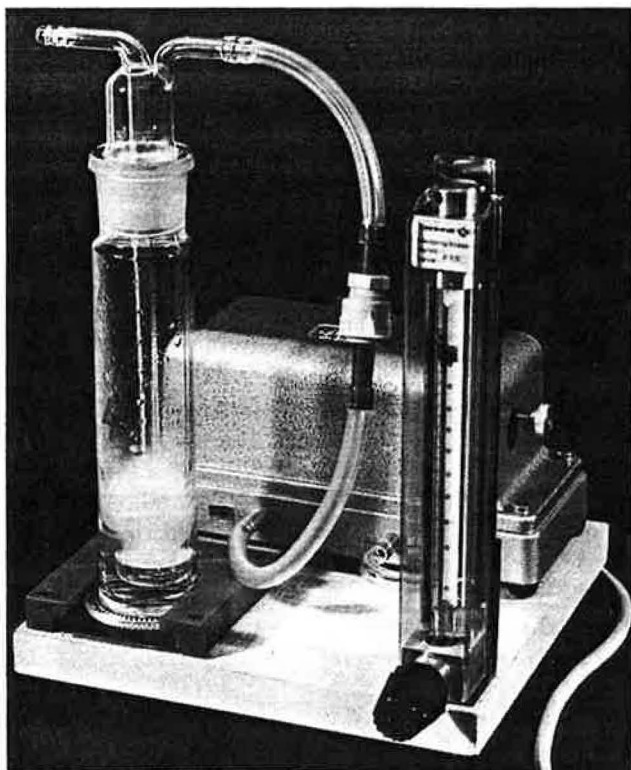


Bild 1. Probenahme – Apparatur für Formaldehydmessungen in Luft.

montiert und – für ambulante Messungen in einem entsprechend angepaßten Holzkasten geschützt – leicht transportierbar (Bild 1).

Da diese Apparatur der Einfachheit halber keine Bauteile für die kontinuierliche Trocknung der Luft nach dem Passieren der Gaswaschflasche enthält, sollten zum Trockenhalten von Pumpe und Durchflußmesser diese zwischen den einzelnen Messungen für ca. eine halbe Stunde mit möglichst trockener Luft durchspült werden. Darauf kann verzichtet werden, wenn bei den Probenahmen eine Silicagelpatrone entsprechender Größe nach der Waschflasche zwischengeschaltet wird. Im übrigen sind die Gaswaschflaschen und Fritteneinsätze nach jeder Messung bzw. nach einer Reihe von Messungen am gleichen Ort gründlich mit destilliertem Wasser zu spülen.

## 2.4.2 Analysenverfahren

### 2.4.2.1 Sulfit-Pararosanilin-Verfahren (a)

Für das Sulfit-Pararosanilin-Verfahren sind zwei Reagenzlösungen zu bereiten: 160 mg Pararosanilin werden in 24 ml konzentrierter Salzsäure gelöst und mit bidest. Wasser auf 100 ml verdünnt. Diese Reagenzlösung I ist mehrere Wochen haltbar. 50 mg Natriumsulfit, wasserfrei, p. a. werden in 50 ml bidest. Wasser gelöst. Diese Reagenzlösung II muß täglich neu bereitet werden. Um eine Störung der Messung durch Schwefeldioxid in der zu untersuchenden Luft zu vermeiden, sollte beim Ansetzen der Reagenzlösung II die Hälfte des bidest. Wassers durch eine Tetrachloromercuratlösung folgender Zusammensetzung ersetzt werden: 27,2 g

Quecksilber (II)-chlorid und 11,7 g Natriumchlorid werden in 1000 ml bidest. Wasser gelöst. Möglichst bald (max. einige Stunden) nach der in 2.4.1.2 beschriebenen Probenahme werden 20 ml Absorptionsflüssigkeit (aus der Gaswaschflasche) mit je 2 ml der Reagenzlösungen I und II in einem 25 ml-Glaskölbchen gut gemischt und für 90 min in einem Thermostaten auf 20°C gehalten. Das gleiche wird mit 20 ml bidest. Wasser vorgenommen. Beide Lösungen haben sich nach der genannten Zeit voll ausgefärbt – als Blindlösung die mit dem bidest. Wasser, die andere (Probenlösung) entsprechend dem Formaldehydgehalt der untersuchten Luft. Mit einem Photometer werden die Extinktionen  $E$  beider Lösungen gegen bidest. Wasser bei einer Wellenlänge von 570 nm bestimmt. Da durch den Lichtstrahl im Photometer die Lösungen erwärmt werden können und als Folge die Extinktionswerte ansteigen, sollte die Ablesung unverzüglich nach dem Einsetzen der Küvetten erfolgen. Je nach Farbsättigung sind dafür 1 bis 5 cm-Küvetten zu verwenden.  $E_{\text{Probe}}$  minus  $E_{\text{Blind}}$  nennt den Extinktionswert, der mit einem nach 2.4.3 zu ermittelnden Faktor  $F$  multipliziert, die HCHO-Konzentration in der untersuchten Luft ergibt [10].

Bei Konzentrationen über etwa 0,3 ppm HCHO wird die Farbintensität der Probelösung zu groß, um in 1 cm-Küvetten noch meßbar zu sein. In diesem Fall muß die Absorptionslösung vor dem Zugeben der Reagenzien im Verhältnis 1 + 1, 1 + 4 oder 1 + 9 mit bidest. Wasser verdünnt werden, was bei der Auswertung entsprechend zu berücksichtigen ist.

### 2.4.2.2 Chromotropsäure-Verfahren (b)

Für das Chromotropsäure-Verfahren – hier in modifizierter, durch zahlreiche Vergleichsmessungen mit anderen Verfahren bestätigter Form – werden 200 mg Chromotropsäure-Natriumsalz in 10 ml bidest. Wasser gelöst. Diese 2% ige „Chromotropsäurelösung“ (Chr. Lös.) ist 2–3 Tage haltbar. 2 ml der Absorptionsflüssigkeit werden – auch hier möglichst bald nach der Probenahme – mit 0,2 ml der Chr. Lös. und 3 ml konz. Schwefelsäure (98% ige) in einem 25 ml-Glaskölbchen gemischt. Nach der vollen Ausfärbung und Abkühlung (ca. 15 min.) wird mit bidest. Wasser auf 25 ml aufgefüllt und wiederum durch Schütteln gut gemischt. Für die Blindprobe werden 2 ml bidest. Wasser statt der 2 ml Absorptionsflüssigkeit mit den Reagenzien zusammengebracht. Wegen der konz. Schwefelsäure, die im übrigen aus Erfahrung am besten mit einer Dispensette zudosiert wird, sollte bei diesem Verfahren besonders vorsichtig hantiert werden. Dann wird je nach Farbintensität mit 1, 2 oder 5 cm-Küvetten bei 570 nm gegen die Blindprobe photometriert. Auch bei diesem Verfahren resultiert die HCHO-Konzentration der untersuchten Luft  $k$  aus der ermittelten Extinktion und dem gemäß 2.4.3 zu bestimmenden Faktor  $F$  [10].

$$k = F \cdot E$$

Das Chromotropsäure-Verfahren kann in seltenen Fällen zur Formaldehydbestimmung ungeeignet werden, wenn

**Tabelle 1.**

Meßverfahren	Weitgefaßter Bereich der meßbaren HCHO-Konzentrationen in Luft bei Probenahme mit Gaswaschflaschen gemäß 2.4.1.2 und Verwendung von					
	F	1 cm <sup>-2</sup> )	F	2 cm -	F	5 cm-Küvetten
Sulfit-Pararosanilin-Verfahren (a)	0,4	0,004 ppm bis 0,32 ppm	0,2	0,004 ppm bis 0,16 ppm	0,08	0,003 ppm bis 0,06 ppm
Chromotropsäure-Verfahren (b)	4	0,04 ppm bis 3,2 ppm	2	0,02 ppm bis 1,6 ppm	0,8	0,01 ppm bis 0,6 ppm
Acetylaceton-Verfahren (c <sub>1</sub> ) <sup>1)</sup>	2,5	0,025 ppm bis 2,0 ppm	1,3	0,013 ppm bis 1,0 ppm	0,5	0,005 ppm bis 0,4 ppm
Acetylaceton-Verfahren (c <sub>2</sub> ) <sup>1)</sup>	1	0,01 ppm bis 0,8 ppm	0,5	0,005 ppm bis 0,4 ppm	0,2	0,002 ppm bis 0,16 ppm

bei 100 l Luft durch 25 ml bidest. Wasser bzw. bei C<sub>2</sub> 100 l Luft durch 30 ml Reagenzlösung

<sup>1)</sup> Siehe Text 2.4.2.3

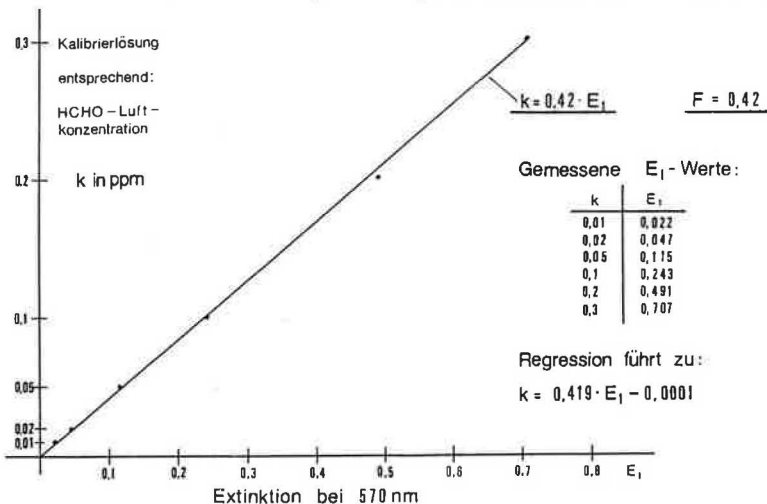
<sup>2)</sup> Für höhere HCHO-Konzentrationen als die oberen Bereichsgrenzen sind vor dem Zugeben der jeweiligen Reagenzlösungen Verdünnungen anzufertigen, siehe 2.4.2.1

die zu untersuchende Luft mit oxidierbaren (bes. organischen) Substanzen wie auch mit Tabakrauch stark verunreinigt ist. Dies wird sofort sichtbar, wenn nach der Zugabe der Schwefelsäure eine gelbe bis braune statt der bei HCHO-Anwesenheit charakteristischen rosa bis rot-violetten Verfärbung eintritt. In diesem Fall muß auf eines der anderen Verfahren zurückgegriffen werden.

*Durch praktische Erfahrung hat es sich als empfehlenswert herausgestellt, zur Orientierung zunächst mit Verfahren (b) die HCHO-Konzentration zu messen, weil dann mit der restlichen, evtl. noch zu verdünnenden Absorptionsflüssigkeit nach Verfahren (a) kontrolliert werden kann.*

**2.4.2.3 Acetylaceton-Verfahren (c<sub>1</sub> und c<sub>2</sub>)**

Für das Acetylaceton-Verfahren werden 2 Reagenzlösungen benötigt: 2 ml Acetylaceton, möglichst frisch destilliert, werden mit 100 ml bidest. Wasser geschüttelt und auf 500 ml verdünnt. Diese Reagenzlösung I ist etwa eine Wo-



**Bild 2.** Beispiel einer Kalibrierfunktion für das Sulfit-Pararosanilin-Verfahren, mit 1 cm-Küvette gemessen.

che haltbar. Für Reagenzlösung II sind 100 g Ammoniumacetat in 250 ml bidest. Wasser aufzulösen und auf 500 ml zu verdünnen. Je 10 ml der Absorptionsflüssigkeit aus der Gaswaschflasche und der Reagenzlösungen I und II werden in einem 50 ml-Glaskölbchen gut gemischt und 10 min. auf 40°C erwärmt. Das gleiche wird mit 10 ml bidest. Wasser und den Reagenzlösungen I u. II gemacht (Blindprobe). Nach einer Stunde Abkühl- und Ausfärbezeit wird die Lösung bei 412 nm gegen die Blindprobe photometriert. Der HCHO-Gehalt der Luft k ist dann  $k = E \cdot F$  (F nach 2.4.3) [10]. Diese Verfahrensweise ist in Tab. 1 als „Verfahren c<sub>1</sub>“ bezeichnet.

Beim Acetylaceton-Verfahren können aber auch je 10 ml bidest. Wasser und Reagenzlösung I und II vor der Probenahme in die Gaswaschflasche gefüllt werden. Durch die Verwendung des gesamten absorbierten HCHO wird die Empfindlichkeit dabei um den Faktor 2,5 erhöht. In Tab. 1 ist dieses als „Verfahren c<sub>2</sub>“ bezeichnet.

An dieser Stelle dürfen die Meßapparaturen nicht unerwähnt bleiben, die mit prinzipiell ähnlicher, aber regelbarer, kontinuierlicher Luft-Probenahme arbeiten, bei denen nach vollautomatischer Zudosierung der Reagenzien der photometrischen Verfahren und nach abgekürzter Ausfärbezeit fortlaufend die hinter durchströmter Küvette gemessenen Extinktionen bzw. HCHO-Konzentrationen digital angezeigt werden. Als Beispiel dafür sei der TGM 555 Toxic Gas Monitor der Fa. Antechnika genannt, der auch für die vollautomatische Messung einer Reihe weiterer Schadstoffe geeignet ist.

**2.4.3 Kalibrierung der Verfahren**

Da die Dichte von HCHO bei einer mittleren Lufttemperatur in Aufenthaltsräumen von ca. 22°C 1,24 kg/m<sup>3</sup> beträgt, entspricht dann 1 ppm = 1,24 mg/m<sup>3</sup>. Wenn durch die Gaswaschflasche gemäß 2.4.1.2 100 l der 1 ppm-haltigen Luft gesaugt werden, so sind danach bei einem Wirkungsgrad von etwa 1 [7, Abschn. 7] in der Absorptionsflüssigkeit 5,0 µg HCHO/ml. Gemäß diesem Verhältnis: 1 ppm entspr. 5,0 µg HCHO/ml Wasser sind mit handelsüblicher, konzentrierter, ca. 37%iger Formaldehydlösung (der genaue HCHO-Gehalt ist zu überprüfen!) Verdünnungen herzustellen, die z. B. 0,02 0,05, 0,1 0,25 und 0,5 ppm HCHO in der Luft entsprechen. Mit diesen Kalibrierlösungen und den jeweiligen Reagenzlösungen der drei Verfahren sind gemäß Verfahrensweise bei den Probenahmen und Auswertungen

die Extinktionen  $E$  mit 1,2 und 5 cm-Küvetten bei den entsprechenden Wellenlängen zu bestimmen. Daraus lassen sich Kalibriergraden aufstellen  $E = f(k)$  Bild 2, deren Steigung den Faktor  $F$  für Extinktionswerte  $E$  bei Luftanalysen liefert.

Wegen der Blindwertschwankung wird in der VDI-Richtlinie 3484 für das Sulfit-Pararosanilin-Verfahren eine relative Nachweisgrenze von  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Luft entsprechend 0,0033 ppm angegeben. Darum ist auch in Tab. 1 für dieses Verfahren hier die untere Grenze gesetzt, obwohl photometrisch eine größere Auflösung möglich wäre.

Tabelle 1 zeigt die weitgefaßten Meßbereiche der drei photometrischen Verfahren zur Bestimmung von HCHO in der Luft bei Verwendung von 1, 2 und 5 cm-Küvetten. Besondere Beachtung erfordert dabei stets die eindeutige Fixierung der Küvetten im Photometer. Geringste Verkantungen – soweit die Küvettenhalter solche zulassen – können erfahrungsgemäß bereits Extinktionsfehler bis zu 0,03 und mehr bringen.

Der in gerundeter Form eingesetzte Faktor  $F$  basiert auf Werten, die bei der Kalibrierung dieser Verfahren gefunden wurden (Bild 2). Jeder Anwender sollte jedoch mit den Kalibrierlösungen, mit den von ihm verwendeten Chemikalien und seinem Photometer den individuellen Faktor  $F$  mit einer maximalen Fehlerbreite von etwa 2% bestimmen, da erfahrungsgemäß sonst ungenaue Meßergebnisse zu erwarten sind.

Alle Aussagen in dieser Zusammenstellung beruhen auf zahlreichen Einzel-, Serien- und Vergleichsmessungen; die

angegebenen Rezepte garantieren eine einfache praktische Durchführbarkeit der Verfahren. Im übrigen wird darauf hingewiesen, daß bei allen HCHO-Messungen in Innenräumen auch die Raumabmessungen und die jeweiligen wohnhygienischen Parameter zu Vergleichszwecken mit erfaßt werden müssen.

#### Literatur

- [1] Wegner, J.: Schadstoffanfall, Luftwechsel in Wohnungen, freie Lüftung. *Gesundh.-Ing.* 105 (1984), Heft 3, S. 117/123.
- [2] Formaldehyd – Gemeinsamer Bericht des Bundesgesundheitsamtes, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und des Umweltbundesamtes. Band 148 der Schriftenreihe des Bundesministers für Jugend, Familie und Gesundheit. 1. Oktober 1984, Verlag Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz.
- [3] Dräger – Prüfröhrchen – Taschenbuch, Drägerwerk AG, Lübeck, 5. Ausgabe (Mai 1982).
- [4] Henschler, D. (Hrsg.): Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Formaldehyd. Bd. 1: Luftanalysen Verlag Chemie Weinheim/Bergstr. (1976).
- [5] Menzel, W., Marutzky, R. u. Mehlhorn, L.: Formaldehyd – Meßmethoden. Fraunhofer-Inst. f. Holzforsch. WKI-Bericht Nr. 13 (1981).
- [6] Lahmann, E. u. K. Jander: Formaldehydbestimmungen in Straßenluft. *Gesundh.-Ing.* 89 (1968), S. 18/21.
- [7] VDI-Richtlinie 3484, Bl. 1, Ausgabe Januar 1979: Bestimmen der Formaldehydkonzentration nach dem Sulfit-Pararosanilin-Verfahren.
- [8] Bremanis, E.: Die photometrische Bestimmung des Formaldehyds mit Chromotropsäure. *Z. analyt. Chem.* 130 (1950), S. 44/47.
- [9] Prescher, K.-E., M. Schöndube: Die Bestimmung des Formaldehyds in Innen- und Außenluft mit Passivsammlern. *Gesundh.-Ing.* 104 (1983), Heft 4, S. 198/200.
- [10] DIN 1349, Bl. 1, Ausgabe Juni 1972: Durchgang optischer Strahlung durch Medien. Optisch klare Stoffe (insb. 3.4).