

Chimia 48 (1994) 206–212
 © Neue Schweizerische Chemische Gesellschaft
 ISSN 0009–4293

Emissionen organischer Verbindungen aus Baumaterialien

Robert Gehrig*, Matthias Hill, Christoph Zellweger und Peter Hofer

Abstract. Recently, an internationally harmonized method for the characterization of emissions of organic compounds from building materials in test chambers has been developed and tested at the EMPA. Selected results from two projects indicate clearly, that the emissions not only depend on the building material but are also strongly influenced by the mode of application. It is shown that some emissions caused by wall paints are influenced by the structure and material of the wall on which they are applied. Emissions from glues depend very strongly on structure and thickness of the glued materials.

1. Einleitung

In den letzten Jahren haben Probleme der Innenluftqualität vermehrt Interesse erregt. Aus Gründen des Energiesparens werden heute die Gebäude besser abgedichtet, was entsprechend tiefere natürliche Luftwechselraten zur Folge hat. Zusammen mit dem vermehrten Einsatz von Bauchemikalien steigt deshalb das Risiko erhöhter Schadstoffkonzentrationen in Innenräumen an. In der Tat werden bei Messungen flüchtiger organischer Verbindungen in Innenluft oft höhere Konzentrationen als in der Aussenluft gefunden [1–3]. Häufig liegen die Gründe dafür bei den Emissionen aus den verwendeten Baumaterialien [4]. Trotzdem ist bis heute über Art und Menge dieser Emissionen noch wenig bekannt.

Das vorliegende, vom Bundesamt für Energiewirtschaft mitfinanzierte Projekt untersucht das Emissionsverhalten von Baustoffen. Langfristig sollen diese Untersuchungen zu verbesserten, d.h. emissionsärmeren Baustoffen führen und damit einen Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen leisten. Die wichtigsten Ziele des Projekts sind:

- Die Entwicklung eines Verfahrens zur einzelstoffspezifischen Messung der

- Emissionen verschiedener Baumaterialien,
- die Charakterisierung des Einflusses verschiedener Parameter (Temperatur, Feuchte, Luftwechsel) auf die Emissionen,
- die Verifizierung des Messverfahrens durch exemplarische Messungen an einer grösseren Anzahl von repräsentativen Baustoffen,
- die Abklärung der Übertragbarkeit von Emissionsdaten aus Prüfkammernexperimenten auf reale Räume.

Zur Frage, wieso solche Emissionsmessungen in einer künstlichen Umgebung, wie sie die Prüfkammern darstellen, durchgeführt werden und nicht in realen Räumen, wo die Materialien tatsächlich verwendet werden, gilt es folgendes zu

bedenken: Die Charakterisierung der Emissionen von flüchtigen organischen Stoffen aus einzelnen Baumaterialien durch Konzentrationsmessungen in realen Räumen bietet enorme Schwierigkeiten, da sie von einer grossen Anzahl schwierig kontrollierbarer Parameter beeinflusst werden (Emissionen aus vielen verschiedenen Baustoffen, Aktivitäten der Bewohner, Lüftung, Temperaturen, Luftfeuchte, Adsorption an Wänden und Einrichtungsgegenständen usw.). Um zu repräsentativen und reproduzierbaren Daten über das Emissionsverhalten von Baustoffen zu gelangen, sind deshalb Messungen in Prüfkammern notwendig, in denen das Verhalten einzelner Baustoffe separat untersucht und wichtige Einflussparameter wie Temperatur, Feuchte und Luftwechselrate exakt kontrolliert werden können.

2. Methodik der Emissionsmessung an Baustoffen in Prüfkammern

2.1. Aufbau der Prüfkammern

Für Emissionsmessungen an Baustoffen geeignete Prüfkammern haben einer Reihe von Anforderungen zu genügen, um brauchbare und reproduzierbare Daten zu liefern:

- Chemische Inertheit der verwendeten Materialien für die Kammernwände
- Keine Eigenemissionen der für die Prüfkammern verwendeten Materialien
- Möglichst glatte Oberflächen zur Minimierung von Adsorptionseffekten
- Homogen gemischte Prüfkammeratmosphäre
- Klimatisierbarkeit (Temperatur, Feuchte)
- Geeignete Zuluftaufbereitung (Reinstluft) zur Kammerreinigung sowie zur Einstellung der Luftwechselrate

Die für die EMPA von der Firma Weiss Technik GmbH in D-6301 Reiskirchen

Tab. 1. Technische Daten der Prüfkammern

Prüfkammer		1 m ³	0.2 m ³
Masse des Prüfraumes [cm]	Höhe	100	55
	Breite	100	55
	Tiefe	100	62
Volumen des Prüfraums [l]	ohne Umluftteil	1000	187
	mit Umluftteil	1475	–
Klimabereich	Temperatur [°C]	+10...+50 (±0.5)	–20...+180 (±0.5)
	Taupunkt [°C]	+4...+45 (±0.5)	+2...95 (±1.0)
Luftwechselrate [h ⁻¹]		0...10	0...10
Zuluftaufbereitung		Druckluft + Aadco-Nullluftgenerator	Druckluft + Aadco-Nullluftgenerator
Laminarströmung [cm s ⁻¹]		0...40 (±10)	nicht einstellbar
Material Innenwände		V4A Stahl	V4A Stahl
		mechanisch poliert	elektropoliert

*Korrespondenz: Dr. R. Gehrig
 Eidgenössische Materialprüfungs- und
 Forschungsanstalt
 CH-8600 Dübendorf

konzipierten und gebauten Prüfzellen weisen ein Prüfvolumen von 1 m³ bzw. 0.2 m³ auf. Alle mit der Zuluft und Prüfzellenluft in Kontakt kommenden Teile sind aus Edelstahl (V4A) gefertigt. Temperatur, Luftfeuchte und Luftwechsel können in einem weiten Bereich exakt eingestellt und kontrolliert werden. Die wichtigsten technischen Daten der beiden Prüfzellen sind aus Tab. 1 ersichtlich. Die zum Erreichen des Luftwechsels zugeführte Luft wird von allen organischen Stoffen gereinigt. Eine separat kontrollierbare Einstellung der Wandtemperatur der Prüfzelle erlaubt es, kalte Stellen zu vermeiden und damit Wandeffekte durch Adsorption zu minimieren. In der 1 m³-Prüfzelle kann mit einem Umluftsystem eine laminare Strömung mit definierter Geschwindigkeit im Prüfraum sowie eine gute Durchmischung des Prüfvolumens erreicht werden. Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau der Prüfzelle. In der prinzipiell gleich aufgebauten 0.2 m³ Zelle fehlt der Umluftteil. Die homogene Verteilung der Emissionen im Prüfraum kann hier wenn nötig mit einem Ventilator gewährleistet werden.

2.2. Messmethodik in Prüfzellen

2.2.1. Festlegen der Randbedingungen

Selbstverständlich sollen Messungen in Prüfzellen immer in Übereinstimmung mit dem Messziel konzipiert werden. Zum Beispiel interessiert sich ein Architekt für das Emissionsverhalten einer Anzahl von Baumaterialien unter den in einem bestimmten Gebäude herrschenden Temperatur- und Lüftungsbedingungen. In diesem Fall werden Prüfzellenexperimente mit verschiedenen Materialien unter konstanten Klimabedingungen geplant. Ebenso werden Messungen für das Erstellen eines Emissionskatasters für Baumaterialien in der Regel unter normierten Bedingungen durchgeführt. Andererseits kann sich ein Hersteller von Baustoffen für das Verhalten eines Produkts unter extremen Bedingungen interessieren. In diesem Falle werden Experimente mit variablen Klimabedingungen durchgeführt.

Folgende sechs Parameter können die Emissionen aus Materialien, bzw. die sich in Räumen einstellenden Konzentrationen beeinflussen:

- Temperatur (beeinflusst Dampfdrucke, Diffusionskoeffizienten und Desorptionraten)
- Luftfeuchtigkeit
- Luftwechselrate (definiert als Volumenstrom der Zuluft dividiert durch das Prüfvolumen der Zelle)
- Geschwindigkeit und Richtung der Luftströmung in unmittelbarer Nähe

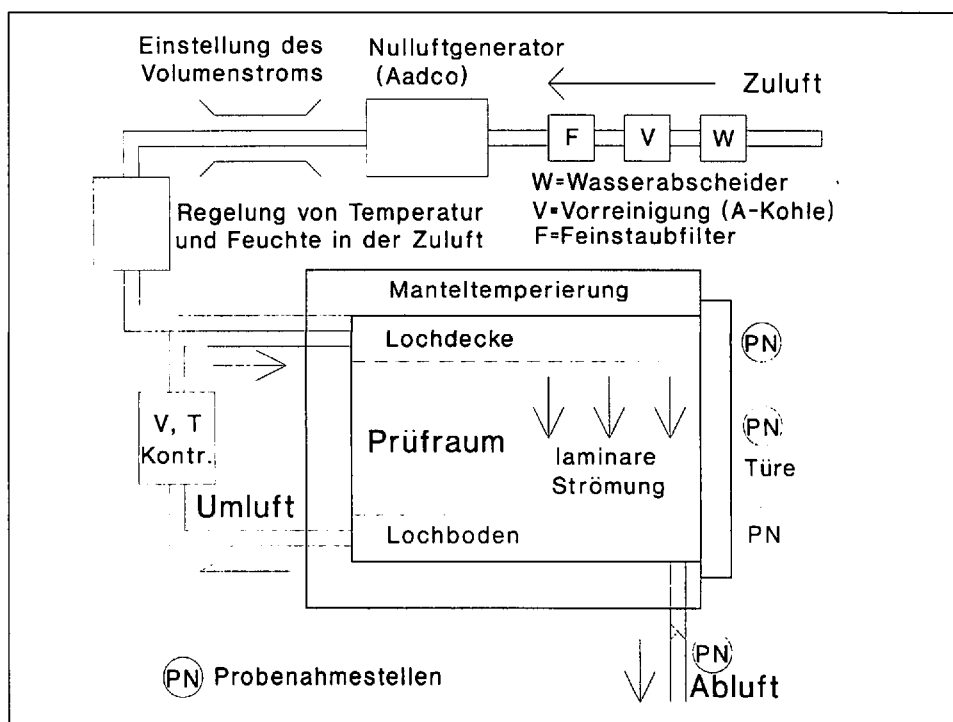


Fig. 1. Aufbau der Prüfzellen

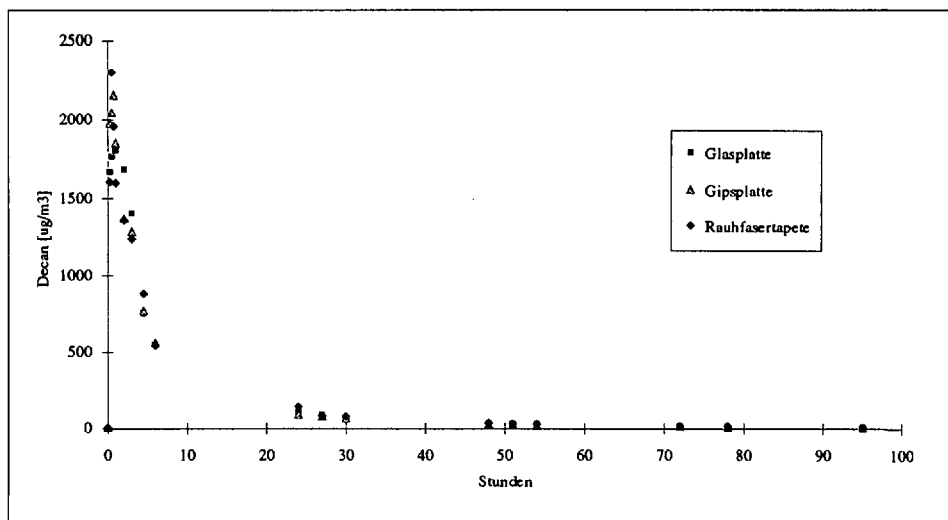


Fig. 2. Konzentrationsverlauf von Decan in der Prüfzelle

- der exponierten Materialprobe (Anströmcharakteristik)
- Beladung der Zelle (definiert als Oberfläche des exponierten Materials dividiert durch das Prüfvolumen der Zelle)
- Alter ('Geschichte') des geprüften Materials. Dieser wichtige Parameter bietet oft erhebliche Schwierigkeiten, da häufig nur spärliche Informationen über Herstellung, Alter und Lagerungsbedingungen der geprüften Materialien erhältlich sind.
- Routineprüfungen von Baustoffemissionen werden in der Regel bei folgenden Messbedingungen durchgeführt:
 - Temperatur: 230°
 - Rel. Feuchte 45%
 - Luftwechselrate 0.5 oder 1 h⁻¹
 - Für Beladung und Anströmgeschwin-

digkeit werden realitätsnahe Werte gewählt.

2.2.2. Probenahme

Nach Plazierung einer genau bekannten Menge des zu untersuchenden Baustoffs im Prüfraum der Zelle werden nach einem vorgängig sinnvoll festgelegten Zeitplan Luftproben genommen und untersucht. Normalerweise erfolgt die Probenahme beim Luftaustritt der Zelle. Dabei wird ein exakt abgemessenes Probevolumen (typischerweise ca. 500 ml) durch ein mit Tenax gefülltes Adsorptionsröhrchen gesaugt, in dem organische Stoffe zurückgehalten werden. Unmittelbar nach der Probenahme werden die Röhrchen verschlossen und ins analytische Labor gebracht.

2.2.3. Analytik

Die Analyse erfolgt gaschromatographisch nach thermischer Desorption zunächst mit massenspektrometrischer Detektion (GC/MS) für die Identifikation der emittierten Stoffe und nachher in der Regel mit Flammenionisationsdetektion (GC/FID) für die quantitative Analyse des zeitlichen Verlaufs der Konzentrationen. Die folgende Zusammenstellung gibt eine Übersicht zu den verwendeten analytischen Methoden (Thermodesorption und gaschromatographische Analyse).

GC/FID-System mit automatischer Thermodesorption

GC: Hewlett-Packard 5890 (1. Serie)
 Detektor: FID; H₂: 30 ml/min, Luft: 300 ml/min, Temperatur: 280°
 Säule: Fused Silica Kapillarsäule SPM-1 (Supelco SA)
 60 m, 0.53 mm ID, 3.0 µm Filmdicke
 Programm: Beginn bei 50°, dann 3°/min bis 170°, 10 min isotherm, 40°/min bis 250°, 10 min isotherm
 Flow: 9 ml He (5.0) bei 50°
 Thermodesorptionsgerät: DANI STD 33.50
 Absorptionsröhrchen: ca. 160 mg Tenax TA
 Temperaturprogramm: Trap precool: 1 min -100°
 Desorption: 10 min 225°
 Trapdesorption: 5 min 310°

GC/MS-System mit manueller Thermodesorption

GC: Varian 3400
 Detektor: Varian Saturn II ITD (Ion-trap-detector)
 Temperatur: 230°
 Säule: Fused Silica Kapillarsäule SPB-1 (Supelco SA)
 45 m, 0.25 mm ID, 1.0 µm Filmdicke
 Programm: Beginn bei 40°, 1 min, dann 2.5°/min bis 200°, 5 min isotherm, 30°/min bis 250°, 7 min isotherm
 Flow: 1 ml He (5.0) bei 50°
 Thermodesorptionsgerät: Chrompack Purge and Trap Injector umgebaut als Thermal Desorption Cold Trap Injector
 Absorptionsröhrchen: ca. 220 mg Tenax TA
 Temperaturprogramm: Trap precool: 1 min -100°
 Desorption: 10 min 240°
 Trapdesorption: 5 min 250°

Kontinuierliche Messung des Gesamtkohlenwasserstoffs (TVOC)

Verwendet wurde das Gerät JUM FID VE 7. Das Messprinzip basiert auf Detektion des TVOC mit Flammenionisation.

3. Exemplarische Resultate

In den oben beschriebenen Prüfzellen können praktisch beliebige Materialien auf ihre Emissionen flüchtiger organischer Stoffe untersucht werden. In dieser Arbeit sollen beispielhaft die Ergebnisse von zwei Untersuchungen präsentiert und diskutiert werden, welche sich gezielt mit dem wichtigen Einfluss von Materialstruktur und Applikationsart auf die Emissionen befassen. Damit soll sichtbar gemacht werden,

dass nicht nur das Material an sich, sondern auch sein Umfeld das Emissionsverhalten massgeblich bestimmen können.

3.1. Emissionen aus Wandanstrichen

VOC-Emissionen aus Farbanstrichen werden durch viele Parameter beeinflusst. Neben der Temperatur und der Luftfeuchte beeinflusst auch die Schichtdicke des Anstrichs die Emissionen [5]. In Prüfzellenexperimenten für Anstriche werden oft nicht emittierende Unterlagsmaterialien wie z.B. Glas- oder Metallplatten einge-

ten Proben wurden durch Auftragen einer genau gewogenen Menge der Farbe auf folgende Unterlagsmaterialien hergestellt:

Glasplatte gewöhnliches Fensterglas
 Gipsplatte mit Papier beschichtete Gipsplatte
 Rauhfasertapete auf die papierbeschichtete Gipsplatte geklebte Rauhfasertapete

Zunächst wurden die Emissionen der Unterlagsmaterialien ohne Farbauftrag gemessen. Sie waren verglichen mit den Farbemissionen vernachlässigbar gering. 30 min nach dem Farbauftrag wurden die Proben horizontal in die Prüfkammer eingesetzt. Die Prüfbedingungen waren wie folgt:

Temperatur 23°
 Relative Feuchte 45%
 Luftwechselrate 1 h⁻¹
 Bemalte Fläche 0.25 m² (total 70 g Farbe)
 Beladung der Zelle 0.17 m²/m³
 Anströmgeschwindigkeit 0.3 m/s, vertical

Probenahme und Analytik erfolgten nach der in 2.2.2 und 2.2.3 bereits beschriebenen Methode

3.1.2. Resultate und Diskussion

Folgende Verbindungen konnten in den Emissionen der Farbe identifiziert werden:

Toluol, Xylole, C₃-Benzole, C₈-C₁₁-Alkane, Butyldiglykol (Diethylenglykolmonobutylether) und Butyldiglykolacetat. Eine vollständige Zusammenstellung der Resultate wurde bereits publiziert [6]. Hier sollen vor allem die deutlichen Unterschiede im Emissionsverhalten am Beispiel des apolaren Decan und der etwas polarerer Verbindung Butyldiglykol gezeigt werden.

Für die mehr oder weniger apolaren Alkane und Aromaten kann kein Einfluss des Unterlagsmaterials erkannt werden. Fig. 2 zeigt als Beispiel den Emissionsverlauf für Decan. Offensichtlich beeinflussen hier die unterschiedlichen Materialien und Oberflächenstrukturen die Emissionsfaktoren nicht.

Dagegen zeigt Fig. 3 für die polaren Verbindungen am Beispiel Butyldiglykol deutlich erniedrigte Emissionen von der Gipsplatte und von der Rauhfasertapete, verglichen mit der Glasplatte. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf die Bedeutung von Adhäsionskräften auf das Emissionsverhalten. Der Effekt geringerer Emissionsraten von den Celluloseoberflächen ist noch ausgeprägter bei der Rauhfasertapete-

setzt, damit die Emissionen ungestört untersucht werden können. Dies kann bei vergleichenden Studien durchaus sinnvoll sein. Es muss aber stets beachtet werden, dass die Emissionsraten von Farbanstrichen auf realistischeren Unterlagen ein deutlich anderes Verhalten zeigen können. Dies zeigen die hier beschriebenen Messungen.

3.1.1. Messkonzept

Die Emissionsmessungen wurden in der 1 m³ Prüfzelle durchgeführt. Die untersuchte Farbe war eine sogenannte Lösungsmittelfreie mit einem Lösungsmittegehalt von 1.5% und einem sehr breiten Applikationsspektrum im Innenraumbereich (auf Beton, Mauerwerk, Verputz, Gips, Holz, Tapeten usw.). Die untersuch-

te verglichen mit der papierbeschichteten Gipsplatte. Dies kann mit der höheren spezifischen Oberfläche der Tapete erklärt werden. Auf einer grösseren Oberfläche sind mehr Moleküle des Butyldiglykols und Butyldiglykolacetats in direktem Kontakt mit der Cellulose, wodurch eine stärkere Adsorption verursacht wird.

Im Langzeitverhalten kann allerdings erwartet werden, dass als Kompensation für die anfänglich geringeren Emissionen über längere Zeit noch geringe Emissionen der adsorbierten Verbindungen auftreten, wenn die Emissionen von der Glasplatte längst aufgehört haben. Ein experimenteller Nachweis dieses Effekts konnte allerdings nicht erbracht werden, da die Emissionen für alle drei Prüflinge bereits nach einigen Wochen unterhalb der Nachweisgrenze lagen.

3.2. Einfluss von Temperatur, Schichtdicke und Struktur geklebter Materialien auf die Emissionen von Leim

Lösungsmittelhaltige Leime werden im Bausektor sehr oft und häufig in grossen Mengen eingesetzt, z.B. zum Kleben von Bodenbelägen. Beim Messen der Emissionen stellt sich dabei das Problem, dass es wenig Sinn machen würde, einen Leim allein auf eine Fläche aufzutragen und seine Emissionen zu untersuchen, da der Leim natürlich im realen Fall durch das geklebte Material abgedeckt wird und dadurch die Emissionen in unterschiedlichster Weise beeinflusst werden können. Generell ist eine Verzögerung zu erwarten, da die vom Leim emittierten flüchtigen Verbindungen erst durch das Deckmaterial diffundieren müssen, bis sie an die Raumluft abgegeben werden. Vor allem bei relativ dichten Deckmaterialien ist eine Verringerung der Emissionen zu erwarten, wobei diese tieferen Emissionen dafür über längere Zeit bestehen bleiben dürften. Die in diesem Kapitel präsentierte Untersuchung gibt einen Einblick in diese Vorgänge.

3.2.1. Messkonzept

In der Praxis gebräuchliche Leime enthalten meist nur ein bis zwei leichtflüchtige Komponenten. Damit die hier zu untersuchenden Diffusionsvorgänge an einer möglichst grossen Anzahl in der Praxis wichtiger Lösungsmittel charakterisiert werden können, bei gleichzeitig vertretbarem Messaufwand, wurde der Leim mit einem im Labor hergestellten Gemisch simuliert. Dieses Vorgehen hat zudem den Vorteil, dass die genaue Zusammensetzung des 'Leims' bekannt ist und damit die emittierbaren Mengen für jeden ein-

Tab. 2. Zusammensetzung des künstlichen Leims

Lösungsmittel	Sdp.	Konzentration [mg/l]	Konzentration [$\mu\text{g}/5\text{g}$]
Nonan	150	1440	8471
Decan	174	1460	8588
Undecan	195	1480	8706
Dodecan	216	1500	8824
Toluol	111	1740	10235
<i>o</i> -Xylol	144	1760	10353
Mesitylen	165	1740	10235
Propan-1,2-diol	189	2080	12235
Ethyl-acetat	77	1800	10588
Butyldiglykol	226	1900	11176
Butyldiglykol-acetat	239	1960	11529

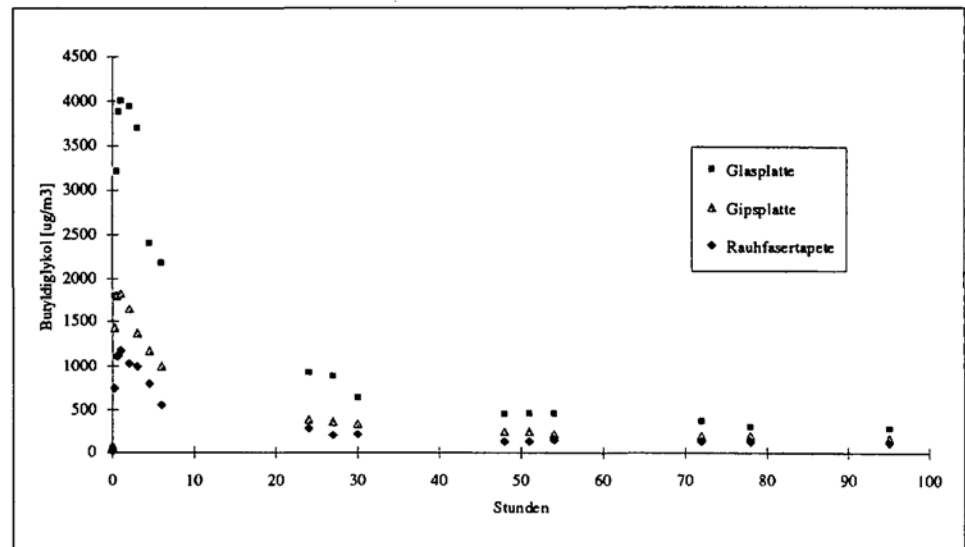


Fig. 3. Konzentrationsverlauf von Butyldiglykol in der Prü fzelle

zelnen Stoff. Als Basismaterial wurde Paraffinöl verwendet. Allenfalls darin vorhandene flüchtige Anteile wurden vorgängig während 24 h bei 70° mit Stickstoff ausgetrieben. Zum so vorbehandelten Paraffinöl wurden die in Tab. 2 aufgeführten Lösungsmittel zugegeben. Pro Versuch wurden 5 g dieser Mischung als Leim verwendet. Als Untergrundmaterial dienten Kristallisationsschalen von 19 cm Durchmesser. Auf den Boden der Schalen wurden 5 g 'Leim' aufgetragen und eine Rondelle von 19 cm Durchmesser des zu klebenden Materials daraufgelegt. Die Ränder zwischen Schale und Material wurden mit Silikonkitt (*Sista, Henkel*) abgedichtet. Die Emissionsmessungen wurden in der 0.2 m³ Prü fzelle durchgeführt, wodurch sich eine Belegung von 0.142 m²/m³ ergab. Die Luftwechselrate betrug für alle Versuche 1 h⁻¹.

Folgende Versuche wurden durchgeführt:

- Emissionen des simulierten Leims ohne Abdeckung bei 23° und 40°
- Leim abgedeckt mit Polystyrolplatte 2 cm dick bei 23°
- Leim abgedeckt mit Polystyrolplatte 4 cm dick bei 23°
- Leim abgedeckt mit Polystyrolplatte 4 cm dick bei 40°
- Leim abgedeckt mit *Novilon* (PVC-Bodenbelag) bei 23°
- Leim abgedeckt mit *Novilon* (PVC-Bodenbelag) bei 40°

3.2.2. Resultate

Sämtliche, dem simulierten Leim in etwa gleichen Mengen (s. Tab. 2) zugegebenen Lösungsmittel können bei allen Experimenten in der Prü fzellenluft nachgewiesen werden, allerdings in sehr unter-

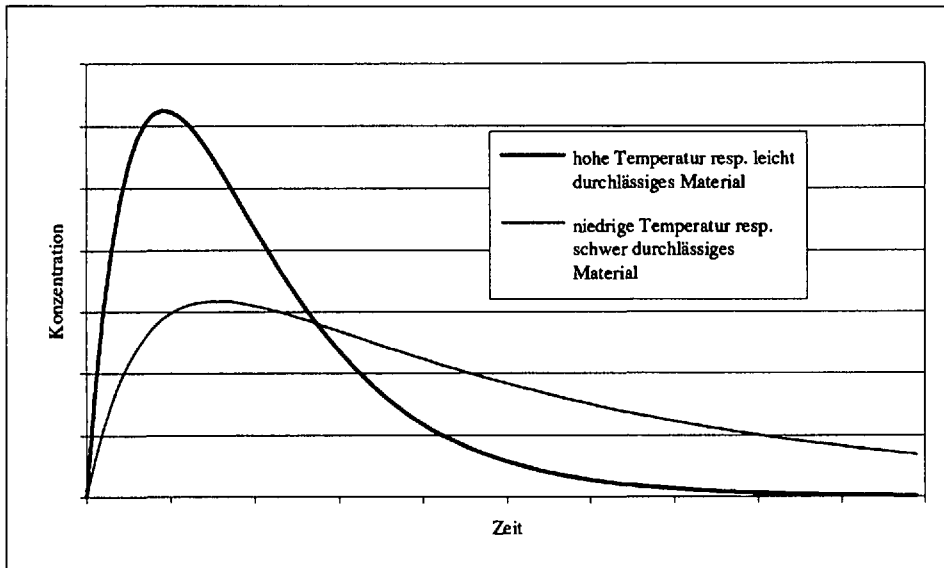


Fig. 4. Qualitative Darstellung der zu erwartenden Konzentrationsverläufe

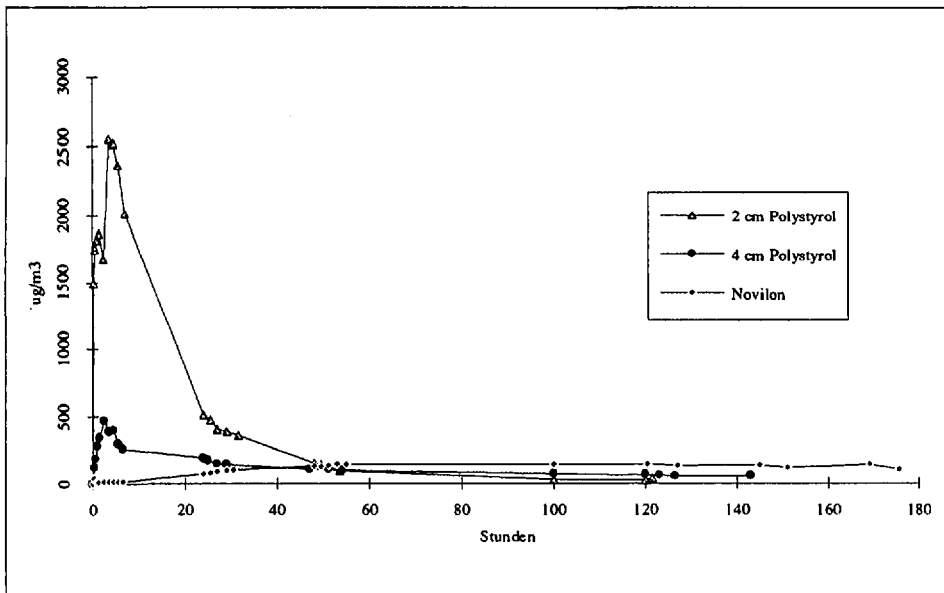


Fig. 5. Einfluss des Abdeckmaterials auf die gemessenen Konzentrationen von Toluol in der Prü fzelle

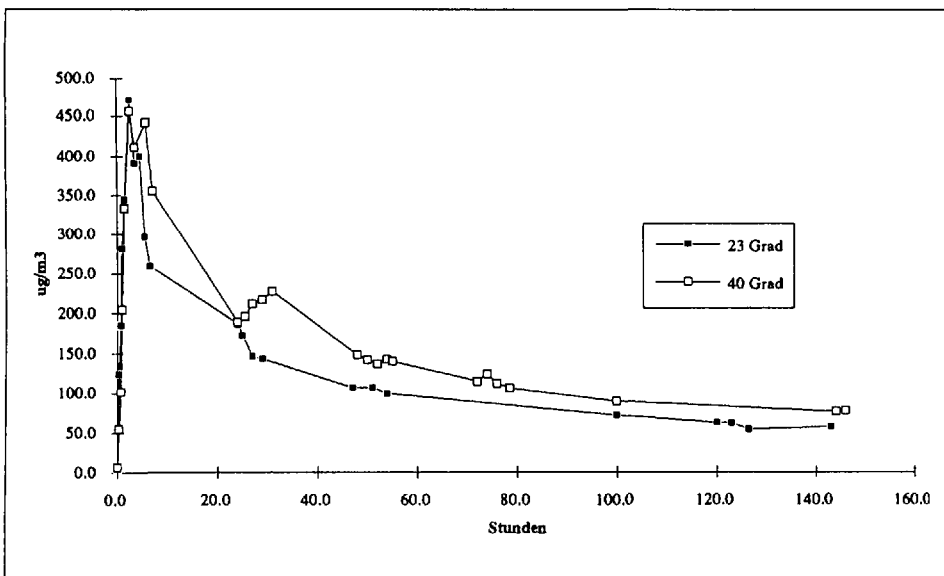


Fig. 6. Toluolkonzentrationen in der Prü fzelle, hervorgerufen durch die durch 4 cm dicke Polystyrolplatten diffundierenden Leimemissionen bei 23° bzw. 40°

schiedlichen Konzentrationen. Aus der Vielzahl der erhaltenen Resultate sollen einige Ergebnisse näher betrachtet werden. Eine ausführlichere Darstellung findet sich in [7].

Grundsätzlich ist zu erwarten, dass bei Bedingungen, welche hohe Emissionen begünstigen (erhöhte Temperaturen oder dünnes, leicht durchlässiges Abdeckmaterial), anfänglich höhere Konzentrationen in der Prü fzelle auftreten, als bei niedrigen Temperaturen oder dünnen, kompakten Abdeckmaterialien. Da jedoch die Gesamtmenge emittierbarer Komponenten durch die im verwendeten Leim enthaltene Menge gegeben ist, werden anfänglich hohe Emissionen durch entsprechend raschere Abnahme im zeitlichen Verlauf kompensiert. Letztlich müssen die über einen genügend langen Zeitraum resultierenden Integrale der Konzentrationsverläufe identisch sein, solange nicht eine Komponente durch chemische Reaktionen oder irreversible Adsorptionen aus dem System verschwindet. Qualitativ veranschaulicht Fig. 4 die zu erwartenden Konzentrationsverläufe für chemisch inerte Komponenten.

Die tatsächlich gemessenen Konzentrationsverläufe bestätigen diese Erwartung. Fig. 5 zeigt als Beispiel die Abhängigkeit der sich in der Prü fzelle einstellenden Konzentration von Toluol in Abhängigkeit des Deckmaterials. Von den drei Abdeckmaterialien (2 cm bzw. 4 cm dicke Polystyrolplatten und Novilon) stellt die 2 cm Polystyrolplatte den geringsten Diffusionswiderstand dar. Bei der 4 cm Polystyrolplatte ist eine Verringerung der Emission zu Beginn der Messungen sehr deutlich zu sehen. Diese anfänglich geringeren Emissionen werden allerdings dadurch kompensiert, dass sie dafür länger andauern. Besonders deutlich ist dieser Effekt der verzögerten Emission beim kompakten Material Novilon zu sehen, bei dem die Emissionen erst nach einigen Stunden überhaupt merklich einsetzen, um dann während der Dauer des Experiments nicht mehr abzusinken. Mit zunehmendem Siedepunkt der Komponenten werden die Emissionen zeitlich verzögert, was sich einerseits in tieferen Maximalkonzentrationen und andererseits in länger anhaltenden Emissionen äussert.

Den Einfluss der Temperatur auf das Emissionsverhalten stellen Fig. 6 und 7 am Beispiel des Toluols dar. Hier wurden die Prü fzellenexperimente für die 4 cm dicke Polystyrolplatte und den Novilon-Belag bei jeweils 23° und 40° durchgeführt. Erwartungsgemäss sind bei allen Abdeckungen die Emissionen bei 40° zu-

nächst höher als bei 23°. Deutliche Unterschiede weisen aber die relativen Verläufe für die beiden Abdeckmaterialien auf. Während für die Polystyrolplatte für alle Komponenten über den Versuchszeitraum von rund 140 h ein etwa paralleler Verlauf der Konzentrationen für die beiden Temperaturen zu beobachten ist, mit etwa gleichzeitigem Auftreten des Maximums, ist dies bei *Novilon* nicht der Fall. Hier sind zu Beginn die relativen Unterschiede der Emissionen für die zwei Temperaturen deutlich grösser und das Maximum tritt bei 40° deutlich früher auf als bei 23°. Die zur Charakterisierung des Langzeitverhaltens für *Novilon* zusätzlich durchgeführten Messungen nach 552 bzw. 1182 h zeigen, dass die Emissionen bei 40° wieder deutlich zurückgehen und z.B. im Fall des leichtflüchtigen Toluols bereits unterhalb der Emissionen bei 23° liegen, während die Emissionen bei 23° auch nach über 1000 h z.T. noch unvermindert andauern. Solche Effekte sind für die Beurteilung des für die Praxis vor allem interessierenden Langzeit-Emissionsverhaltens sehr wichtig. Da aus Zeit- und Kostengründen die aufwendigen Prüfkellennexperimente nicht beliebig ausgedehnt werden können, kommt der Abschätzung des Emissionsverhaltens über längere Zeit durch Vergleich der bis zu einem bestimmten Zeitpunkt emittierten Mengen mit der aufgrund der vorhandenen Inhaltsstoffe des Baumaterials emittierbaren Menge grosse Bedeutung zu.

Bei realen Baumaterialien sind die emittierbaren Mengen selten quantitativ bekannt. Ein grosser Vorteil der hier beschriebenen Experimente mit dem simulierten Leim liegt deshalb darin, dass eben diese emittierbaren Mengen aufgrund der Einwaage genau bekannt sind und mit den bis zu einem bestimmten Zeitpunkt emittierten Mengen verglichen werden können. Fig. 8 zeigt die nach 100 h emittierten Mengen für die verschiedenen Abdeckmaterialien im Vergleich mit der emittierbaren Menge. Es ist ersichtlich, dass bei der Messung ohne Abdeckung mit Ausnahme von Undecan, Dodecan und Butyldiglykolacetat die im Leim enthaltenen Mengen der einzelnen Komponenten mehr oder weniger vollständig emittiert wurden. Die in einzelnen Fällen leicht über den emittierbaren Werten liegenden Emissionen sind durch die Messunsicherheit (schätzungsweise 10–20%) bei der Analytik und der Integration des zeitlichen Verlaufs zu erklären. Bereits für die 2 cm dicke Polystyrolplatte ist ersichtlich, dass bei den schwerer flüchtigen Komponenten erst ein Teil der emittierbaren Mengen emittiert wurden, während für 4 cm Poly-

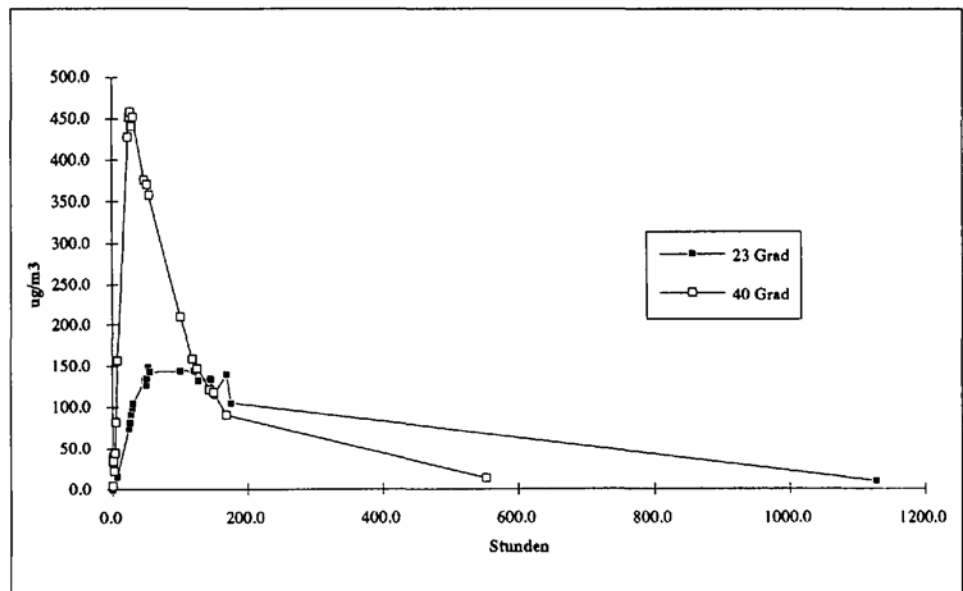


Fig. 7. Toluolkonzentrationen in der Prüfkzelle, hervorgerufen durch die durch *Novilon* (PVC-Belag) diffundierenden Leimemissionen bei 23 bzw. 40°

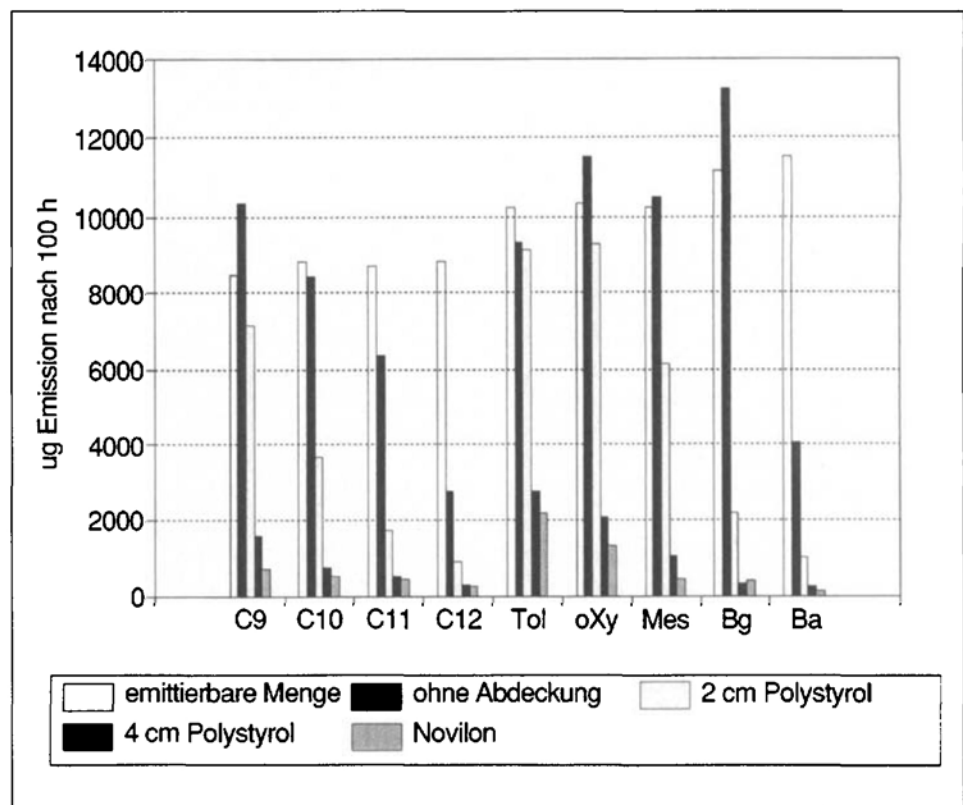


Fig. 8. Vergleich der nach 100 h emittierten Mengen für verschiedene Abdeckmaterialien bei 23°. Legende der Komponenten: C9=Nonan, C10=Decan, C11=Undecan, C12=Dodecan, Tol=Toluol, oXy = o-Xylol, Mes = Mesitylen, Bg = Butyldiglykol, Ba = Butyldiglykol-acetat.

styrol und *Novilon* dieser Effekt noch viel ausgeprägter ist.

Für *Novilon* wurde zusätzlich noch eine Messung nach 1128 h (47 Tage) durchgeführt, um das Langzeitemissionsverhalten besser zu charakterisieren. Fig. 9 zeigt die emittierten Mengen nach 100 und 1128 h wieder im Vergleich mit den emittierbaren Mengen. Selbst nach so langer Zeit sind die schwerer flüchtigen

Komponenten erst teilweise emittiert worden. Besonders deutlich ist der Einfluss der Flüchtigkeit (Siedepunkte) an der homologen Reihe Nonan bis Dodecan ersichtlich. Für die Praxis bedeutet dies, dass bei dicken oder kompakten Materialien, welche auf eine Unterlage geleimt wurden, noch viele Monate mit Emissionen flüchtiger Komponenten gerechnet werden muss.

4. Ausblick, internationale Harmonisierung

Da ein einzelnes Labor wegen des hohen zeitlichen und materiellen Aufwands solcher Messungen stets nur eine beschränkte Auswahl von Baustoffen testen kann, kommt der Vergleichbarkeit und damit der Verwendbarkeit von Emissionsdaten verschiedener Laboratorien eine wichtige Bedeutung zu. Deshalb ist eine Harmonisierung der Messtechnik, wie auch der Auswertung und Beurteilung der Ergebnisse unbedingt anzustreben. Es darf als Glücksfall bezeichnet werden, dass praktisch gleichzeitig mit dem Beginn dieses Projekts eine internationale Arbeitsgruppe im Rahmen des Projekts COST 613 (European Concerted Action 'Indoor Air Quality and its Impact on Man') gegründet wurde, die sich dieses Ziel setzte. In diese Arbeitsgruppe nahm auch die EMPA Einsitz. Damit konnte die im vorliegenden Projekt erarbeitete Methodik von Anfang an mit den Entwicklungen in den anderen führenden europäischen Laboratorien harmonisiert werden. Als Resultat der Arbeit dieser Gruppe entstand ein Leitfaden zur Messung von Emissionen aus Materialien in Prü fzellen [8], welcher seinerseits weitgehend auf eine von der EPA (US Environmental Protection Agency) beschriebene Messmethodik [9] abgestimmt war. Diese Arbeiten stellen deshalb einen wichtigen Schritt in Richtung der angestrebten Harmonisierung dar.

Zur praktischen Erprobung der Methodik wurde zudem ein internationaler Ringversuch durchgeführt, bei welchem die Teilnehmer (rund 20 europäische und nordamerikanische Laboratorien, darunter die EMPA) drei vom Organisator des Ringversuchs verteilte Proben auf ihre Emissionen zu untersuchen hatten. Die Resultate dieses ersten Ringversuchs waren vor allem für feste Baumaterialien durchaus ermutigend, zeigten aber noch einige Schwierigkeiten auf, vor allem bei der Messung von Emissionen aus flüssigen Baustoffen, wie Anstrichen, Lacken, Versiegelungen usw. [10]. Hier sind die Art der Applikation, sowie die Schichtdicke von grosser Bedeutung für die Emissionen. In einem weiteren Ringversuch, der gegenwärtig ausgewertet wird, sollen Erkenntnisse gesammelt werden, wie auch in diesem Bereich reproduzierbare und vergleichbare Daten gewonnen werden können.

Eine aus der bereits erwähnten COST-Arbeitsgruppe hervorgegangene Folgeaktivität im Rahmen der ECA (European Collaborative Action) befasst sich gegenwärtig mit dem wichtigen und noch weit-

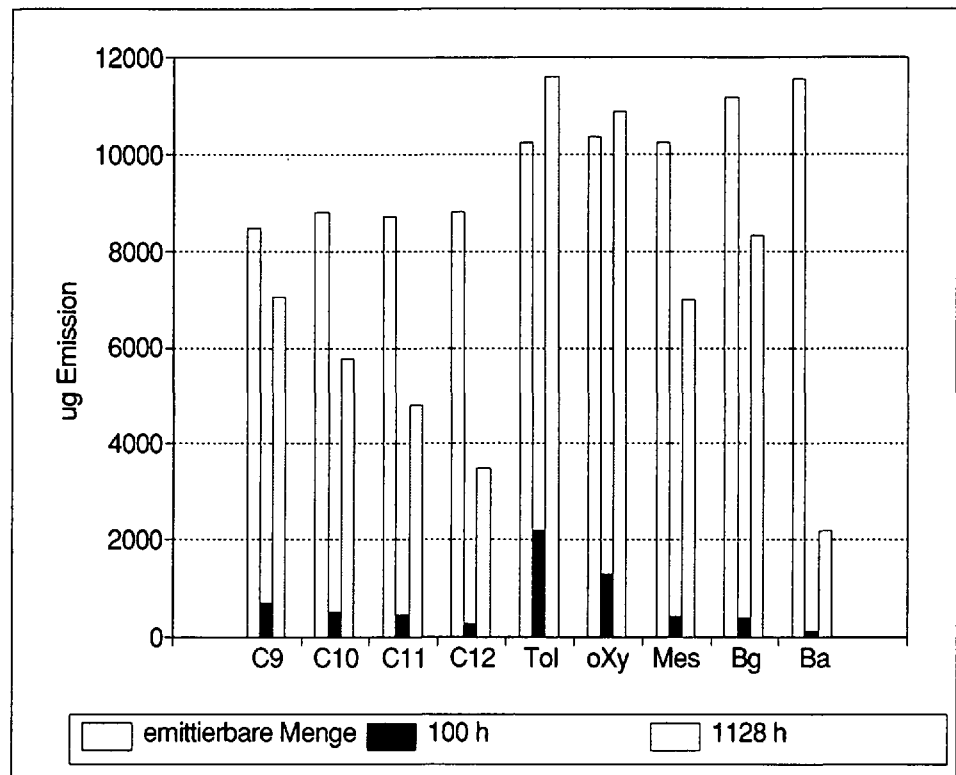


Fig. 9. Vergleich der emittierten Mengen nach 100 und 1128 h für das Abdeckmaterial Novilon bei 23°. Legende der Komponenten: C9 = Nonan, C10 = Decan, C11 = Undecan, C12 = Dodecan, Tol = Toluol, oXy = o-Xylol, Mes = Mesitylen, Bg = Butyldiglykol, Ba = Butyldiglykol-acetat.

gehend ungelöstes Problem der Beurteilung von Emissionsdaten aus Baumaterialien.

Im weiteren sind Bestrebungen im Gange, die sehr aufwendige Messtechnik mit den teuren Prü fzellen zu vereinfachen, um routinemässige Emissionsmessungen an möglichst vielen Baumaterialien zu erschwinglichen Preisen durchführen zu können. Ein Ziel wäre es, dass grössere Baumaterialhersteller in der Lage wären, bereits in der Phase der Produktentwicklung ihre Materialien bezüglich der Emissionen flüchtiger organischer Stoffe optimieren zu können, ohne dass dadurch grosse Kosten anfallen. Eine interessante Entwicklung in diese Richtung stellt die vom dänischen National Institute of Occupational Health vorgeschlagene Messprozedur mit einer glockenartigen Kleinzelle (FLEC: Field and Laboratory Emission Cell) dar, mit welcher sowohl im Labor wie auch an bereits in Räumen eingebauten Materialien in relativ einfacher Weise Messungen durchgeführt werden können [11].

Die Autoren danken dem Bundesamt für Energiewirtschaft für die finanzielle Unterstützung beim Aufbau der messtechnischen Infrastruktur, welche im Rahmen des Projekts EF-CO(89)013 realisiert werden konnte.

Eingegangen am 5. April 1994

- [1] B.A. Tichenor, M.A.Mason, *J. Air Poll. Control Assoc.* **1988**, 38, 264.
- [2] M. De Bortoli, H. Knoepfel, E. Pecchio, A. Peil, H. Rogora, H. Schauenburg, H. Schlitt, H. Vissers, *Environ. Int.* **1986**, 12, 343.
- [3] B. Seifert, D. Ullrich, W. Mailhan, R. Nagel, *Bundesgesundheitsblatt* **1986**, 29, 417.
- [4] E. Schriever, R. Marutzky, Geruchs- und Schadstoffbelastung durch Baustoffe in Innenräumen; Eine Literaturstudie. WKI-Bericht Nr. 24, Wilhelm-Klauditz-Institut Braunschweig, 1991.
- [5] P.A. Clausen, P. Wolkoff, E. Holst, P.A. Nielsen, *Indoor Air* **1991**, 4, 562.
- [6] R. Gehrig, M. Hill, C. Zellweger, P. Hofer, *Proceedings Indoor Air '93 Helsinki* **1993**, 2, 431.
- [7] R. Gehrig, EMPA-Bericht Nr. 133'565, 1994.
- [8] Commission of the European Communities, Joint Research Centre Ispra, Institute for the Environment, COST Project 613, Report No. 8, 1991.
- [9] B. Tichenor, Report EPA-600/8-89-074, 1989.
- [10] Commission of the European Communities, Joint Research Centre Ispra, Institute for the Environment, COST Project 613, Report No. 13, 1993.
- [11] P. Wolkoff, P.A. Nielsen, 'Indoor Climate Labeling of Building Materials', National Institute of Occupational Health Denmark, Copenhagen, 1993.