

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizer Ingenieur und Architekt
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	113 (1995)
<b>Heft:</b>	6
<b>Artikel:</b>	Schadstoffemissionen aus Baumaterialien: Messung und Ansätze zur Beurteilung
<b>Autor:</b>	Gehrig, Robert / Zellweger, Christoph / Hill, Matthias
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-78665">https://doi.org/10.5169/seals-78665</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 29.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

gründete Verwandtschaft schöpferischen Tuns mindestens in den betrachteten Bereichen besteht.

Man mag vielleicht einwenden, dass im Gebiet der Künste kreatives Schaffen sich ganz oder weitgehend im Individuum abspiele, während sich dies in Technik und Wissenschaft heute vorwiegend im Team vollziehe. Aber einerseits ist ja vor allem bei der Werkwiedergabe (Aufführung) sehr oft eine Gruppe von Künstlern massgeblich an der schöpferischen Gestaltung beteiligt (Musik, Theater, Tanz usw.). Und anderseits wird in den Gebieten von Technik und Wissenschaft auch heute fast ausnahmslos die grundlegende Idee, der geniale Einfall für eine Erfindung, die Eingebung zu einer epochemachenden wissenschaftlichen Erkenntnis im Gehirn eines einzelnen geboren. Die Effizienz der ein Team voraussetzenden Methoden der «organisierten Ideenfindung» wie «brain storming», «morphologischer Kasten» und Ähnliches wurde mindestens für die erste Phase des schöpferi-

schen Prozesses (Konzeptphase) anfänglich stark überschätzt, während solche Verfahren in der Ausarbeitungsphase unter Umständen gute Dienste leisten können. Vor allem kann der Einsatz einer Gruppe bei der Prüfung auf allen Stufen wünschbar, ja notwendig sein.

Die vorstehend skizzierten Gedanken sind in vielen Gesprächen mit Vertretern von Kunst, Architektur, Technik und Wissenschaft diskutiert und kommentiert worden. (Besonderen Dank schuldet der Verfasser der Kunstkritikerin *Annamarie Montiel* und Dipl. Arch. ETH *Hans Luder*, die beide durch Anregungen und konstruktive Kritik Wesentliches zu dieser Arbeit beigebracht haben.) Sie mögen als Beitrag zum heute wieder vermehrt feststellbaren Bestreben gelten, die in der griechischen Klassik vorhandene, später aber verloren gegangene geistige Einheit der verschiedenen Arten schöpferischen Tuns des Menschen erneut zu finden und die errichteten Schranken abzubauen.

## Literatur

- [1] F. Staudacher, Wie nah kommt die Technik an Kunst?, NZZ, 22.1.1993
- [2] H.U. Reck, Wissenschaft als Symbol?, NZZ, 27.8.1994
- [3] T. Gut, Krankheit als Triebfeder des Bildschaffens, NZZ, 18.10.1994
- [4] A. Weil, Lehr- und Wanderjahre eines Mathematikers, Verlag Birkhäuser
- [5] Akademodorok, NZZ, 8.11.1994

## Adresse des Verfassers:

Prof. em. Dr. P. Profos, ehemals Vorsteher des Instituts für Mess- und Regeltechnik an der ETH Zürich, Wülflingerstrasse 7, 8400 Winterthur

Robert Gehrig, Christoph Zellweger, Matthias Hill, Peter Hofer, Dübendorf

# Schadstoffemissionen aus Baumaterialien

## Messung und Ansätze zur Beurteilung

**Emissionen organischer Verbindungen aus Baumaterialien sind ein aktuelles Thema. Die Charakterisierung und Quantifizierung dieser Emissionen erfolgt unter definierten Bedingungen in geeigneten Prüfzellen, da reale Räume keine genügend reproduzierbaren Messungen erlauben. Die dazu notwendigen messtechnischen Einrichtungen sind im Rahmen eines grösseren Forschungsprojekts an der EMPA realisiert worden und stehen für Untersuchungen zur Verfügung. Ein noch ungelöstes Problem stellt die Beurteilung der Emissionen dar. Hier sind sehr unterschiedliche Ansätze möglich, jedoch fehlen bis heute allgemein akzeptierte oder gar verbindliche Kriterien.**

## Baumaterialien und Raumluftqualität

In neuerer Zeit stossen Probleme der Raumluftqualität vermehrt auf breites Interesse. Um Energie zu sparen, werden heute die Gebäude besser abgedichtet,

was entsprechend tiefere natürliche Luftwechselraten zur Folge hat. Mit dem vermehrten Einsatz von Bauchemikalien steigt deshalb das Risiko erhöhter Schadstoffkonzentrationen in Innenräumen an. Tatsächlich werden bei Messungen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) in Raumluft meist höhere Konzentrationen als in der Außenluft gefunden. Oft liegen die Gründe dafür bei Emissionen aus den verwendeten Baumaterialien, vor allem in neuen oder neu renovierten Räumen. Über Art und Menge dieser Baustoffemissionen ist aber bis heute noch relativ wenig bekannt.

Im Rahmen eines vom Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) mitfinanzierten Projektes wird an der EMPA seit einiger Zeit das Emissionsverhalten von Baumaterialien untersucht. In Prüfzellen statt in realen Räumen müssen die Messungen hauptsächlich darum durchgeführt werden, damit repräsentative und reproduzierbare Daten über das Emissionverhalten von Baustoffen erhalten werden. Nur in Prüfzellen ist es möglich, das Verhalten einzelner Baustoffe separat zu un-

tersuchen und die wichtigen Einflussparameter wie Temperatur, Feuchte und Luftwechselrate genügend exakt zu kontrollieren. In realen Räumen hingegen sind Emissionen schwer einer Quelle zuzuordnen und zudem von vielen kaum kontrollierbaren Faktoren beeinflusst (Aktivitäten der Bewohner, Lüftung, Temperaturen, Luftfeuchte, Adsorption und Reemission an Wänden und Einrichtungsgegenständen, sogenannte Senkeneffekte usw.).

Natürlich ist es dann aber für die Beurteilung der möglichen Gefährdung von Menschen wichtig, die in Prüfzellen gewonnenen Emissionsdaten auf die Verhältnisse in realen Räumen übertragen zu können. Dies ist allerdings nicht ganz einfach, wie in dieser Arbeit noch gezeigt wird.

## Methodik der Emissionsmessung an Baustoffen in Prüfzellen

In verschiedenen Ländern existieren bereits heute Richtlinien oder Empfehlungen zur Messung von Emissionen aus Baumaterialien. Ein Beispiel einer solchen Messempfehlung, welche in Zusammenarbeit führender europäischer Laboratorien, darunter auch der Empa, erarbeitet wurde, ist die COST Guideline [1].

Um brauchbare und reproduzierbare Daten zu liefern, müssen Prüfzellen für Emissionsmessungen an Baustoffen folgenden Anforderungen genügen:

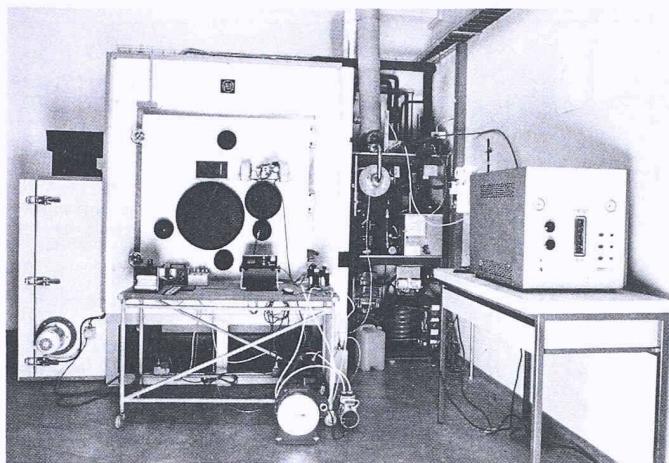


Bild 1.  
Ansicht der 1-m<sup>3</sup>-Prüfzelle

- Zellenwände aus glatten und chemisch inerten Materialien ohne Eigenemissionen, z.B. Stahl, Glas
- Klimatisierbarkeit (Temperatur, Feuchte)
- Zufuhr von Reinstluft zur Zellenspülung sowie zur Einstellung der Luftwechselrate

Die an der EMPA installierten Prüfzellen mit 1 m<sup>3</sup> und 0,2 m<sup>3</sup> Prüfvolumen entsprechen diesen Kriterien. Bild 1 zeigt eine Ansicht der 1-m<sup>3</sup>-Prüfzelle, Bild 2 zeigt schematisch die Funktionsweise. Ein Umluftaggregat sorgt für eine homogene Durchmischung der Zellenluft sowie für eine definierte Anströmung der exponierten Proben. In der prinzipiell gleich aufgebauten 0,2-m<sup>3</sup>-Zelle fehlt der Umluftteil. Die homogene Verteilung der Emissionen im Prüfraum kann hier wenn nötig mit einem Ventilator gewährleistet werden.

Folgende Faktoren beeinflussen die Emissionen aus Materialien bzw. die sich in Räumen einstellenden Konzentrationen und müssen deshalb genau kontrolliert werden können:

- Temperatur (beeinflusst Dampfdrücke, Diffusionskoeffizienten und Desorptionsraten)
- Luftfeuchtigkeit
- Luftwechselrate (definiert als Volumenstrom der Zuluft dividiert durch das Prüfvolumen der Zelle)
- Geschwindigkeit und Richtung der Luftströmung in unmittelbarer Nähe der exponierten Materialprobe (Anströmcharakteristik)
- Beladung der Zelle (definiert als Oberfläche des exponierten Materials dividiert durch das Prüfvolumen der Zelle)

Wichtig ist auch das Alter sowie die «Vorgeschichte» des geprüften Materials. Dieser Faktor bietet oft erhebliche Schwierigkeiten, da häufig nur spärliche Informationen

über Herstellung, Alter und Lagerungsbedingungen der geprüften Materialien erhältlich sind.

Meist werden Routineprüfungen von Baustoffemissionen bei folgenden Messbedingungen durchgeführt:

- Temperatur 23 °C
- Relative Feuchte 45 %
- Luftwechselrate 0,5 oder 1 h<sup>-1</sup>

Nach Plazierung einer genau bekannten Menge des zu untersuchenden Baustoffs im Prüfraum der Zelle werden nach einem vorgängig festgelegten Zeitplan Luftproben genommen und untersucht. Normalerweise erfolgt die Probenahme beim Luftaustritt der Zelle. Dabei wird ein exakt abgemessenes Probenvolumen 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.

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.

### Ausgewählte Resultate von Prüfzellenmessungen

#### VOC-Emissionsverhalten einzelner Baustoffe

Im Rahmen des zurzeit laufenden Forschungsprojektes an der EMPA wurden verschiedene Materialien auf ihr Emissionsverhalten bezüglich VOC untersucht. Das Emissionsverhalten ist dabei von der Art des Materials abhängig. Materialien,

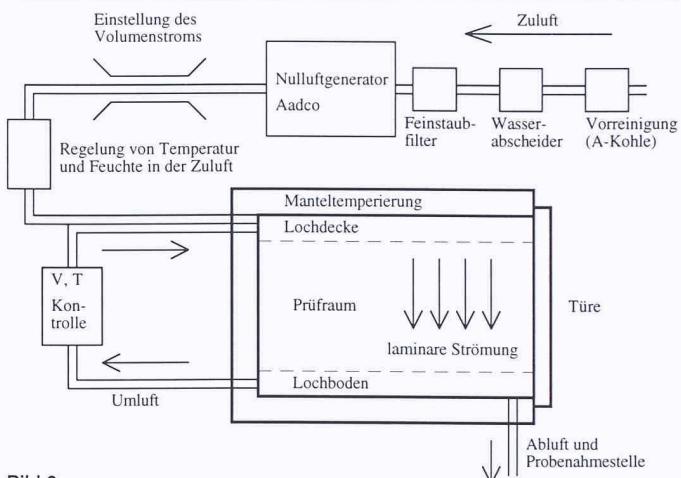


Bild 2.  
Aufbau der Prüfzelle

deren Inhaltsstoffe über einen längeren Zeitraum emittiert werden, zeigen zunächst einen raschen Anstieg der Konzentrationen in der Prüfzelle, welche dann über einen längeren Zeitraum nur langsam abnehmen. Ein typisches Beispiel dieses Emissionsverhaltens sind die Pentanal- und Hexanal-Emissionen eines Laminat-Bodenbelages (Bild 3). Die Resultate werden als Emissionsfaktoren (Menge emittierte Substanz pro Quadratmeter und Stunde [mg/m<sup>2</sup>/h]) zu einem bestimmten Zeitpunkt angegeben. Diese Größe ist vom Volumen der Prüfzelle, der Luftwechselrate und von der Beladung unabhängig, was einen Vergleich von Resultaten aus verschiedenen Zellen erlaubt.

Ein weiterer, häufig auftretender Fall zeichnet sich durch starke Anfangsemissionen aus, welche zu Beginn stark abnehmen. Dieses Verhalten wird in der Regel bei Anstrichstoffen (Farben, Versiegelungen, Lacke usw.) beobachtet. Ein typisches Beispiel sind die Emissionen einer Parkettversiegelung, welche neben Ethyldiglykol und Ethyldiglykolacetat noch eine Reihe weiterer Substanzen abgibt (Bild 4).

Die zwei erwähnten Beispiele stellen häufig beobachtete Emissionscharakteristika dar, die jedoch bezüglich Art und Menge der emittierten Substanzen je nach Produkt variieren.

### VOC-Bestimmungen in renovierten Gebäuden

Neben den Prüfzellenversuchen wurden von der EMPA auch VOC-Bestimmungen in frisch renovierten Gebäuden durchgeführt, wobei die bei der Renovation verwendeten Baumaterialien auch in den Prüfzellen auf ihr Emissionsverhalten untersucht wurden. Dabei interessierte vor allem der Zusammenhang zwischen dem Emissionsverhalten im Zellenversuch und im realen Raum.

Eine Messung wurde in einem Büro durchgeführt, in welchem ein Linoleum als Bodenbelag vollflächig verklebt wurde. Parallel dazu wurde eine Probe desselben Linoleums im Labor mit dem gleichen Leim auf eine Glasplatte geklebt und das Emissionsverhalten in der Prüfzelle beobachtet. Der Leim emittierte Cyclohexan als Hauptkomponente.

Erwartungsgemäß wurden im realen Raum tiefere Emissionswerte gefunden (Bild 5). Das ist dadurch zu erklären, dass sowohl Senkeneffekte als auch unterschiedliche Untergrundmaterialien zu verschiedenen Resultaten führen können. Im renovierten Büro ist das Linoleum auf Fliesen verlegt worden. Es ist denkbar, dass ein Teil des im Leim enthaltenen Cyclohexans in den Zementboden diffundierte und nur langsam wieder abgegeben wird. Da eine Reemission der von den Senken aufgenommenen Substanzen möglich ist, können die Luftfremdstoffe eventuell im realen Raum länger nachgewiesen werden. Andererseits können in realen Räumen auch adsorbierte Substanzen durch Reinigungsarbeiten entfernt werden und damit die Reemission in die Raumluft vermindert werden.

Auch wenn eine direkte rechnerische Umsetzung von Prüfzellendaten auf reale Räume nicht möglich ist, so liefern die Emissionswerte aus Zellenversuchen doch Daten für ein Emissionsverhalten, welches unter bestimmten Bedingungen auch im realen Raum erreicht werden kann. Im weiteren konnte gezeigt werden, dass diejenigen Materialien, welche in Prüfzellenversuchen stark emittieren, auch am meisten zu erhöhten VOC-Konzentrationen in Innenräumen beitragen.

#### Beeinflussung der Emissionen aus Leim durch das Deckmaterial

Lösungsmittelhaltige Leime werden im Innenraumbereich oft in beträchtlichen Mengen eingesetzt, z.B. zum Kleben von Bodenbelägen. Das Emissionsverhalten des Leims wird dabei durch das geklebte Material beeinflusst, da die flüchtigen Verbindungen erst durch das mit dem Leim geklebte Deckmaterial diffundieren müssen, bis sie an die Raumluft abgegeben werden. Grundsätzlich ist zu erwarten, dass bei Bedingungen, welche hohe Emissionen begünstigen (erhöhte Temperaturen oder dünnes, leicht durchlässiges Abdeckmaterial), anfänglich höhere Konzentrationen in der Prüfzelle auftreten als bei niedrigen Temperaturen oder dicken, kompakten Abdeckmaterialien. Da jedoch die Menge emittierbarer Komponenten durch die im Leim enthaltene Gesamtmenge gegeben ist, werden die anfänglich hohen Emissionen durch entsprechend raschere

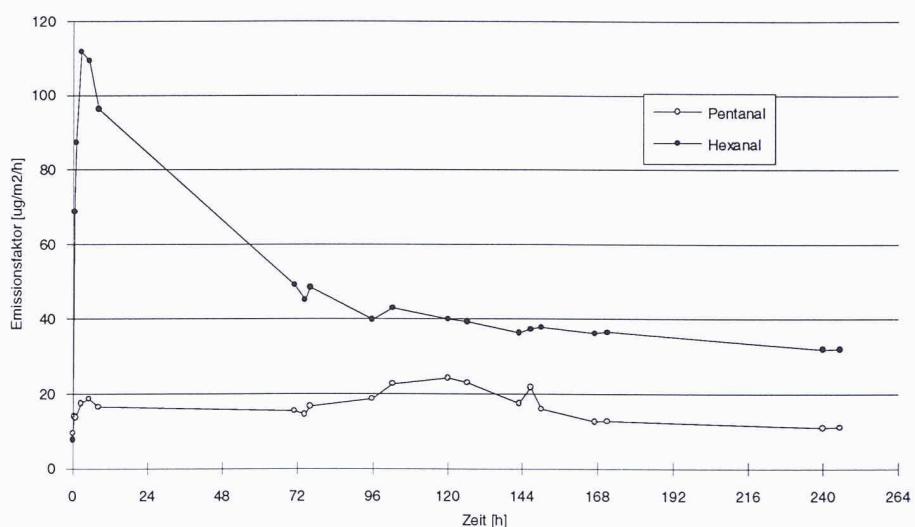


Bild 3.  
Emissionsverhalten eines Laminatbodens

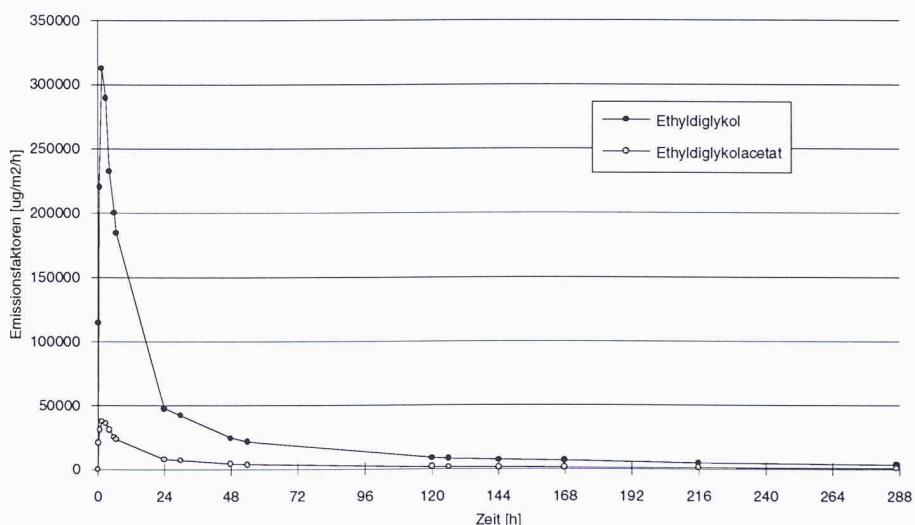


Bild 4.  
Emissionsverhalten einer Parkettversiegelung

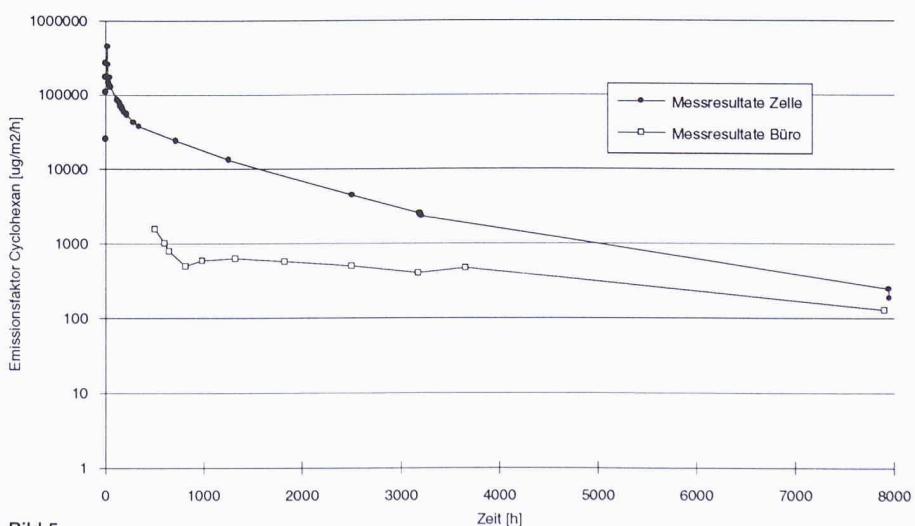


Bild 5.  
Vergleichsmessungen zwischen realem Raum und Prüfzelle

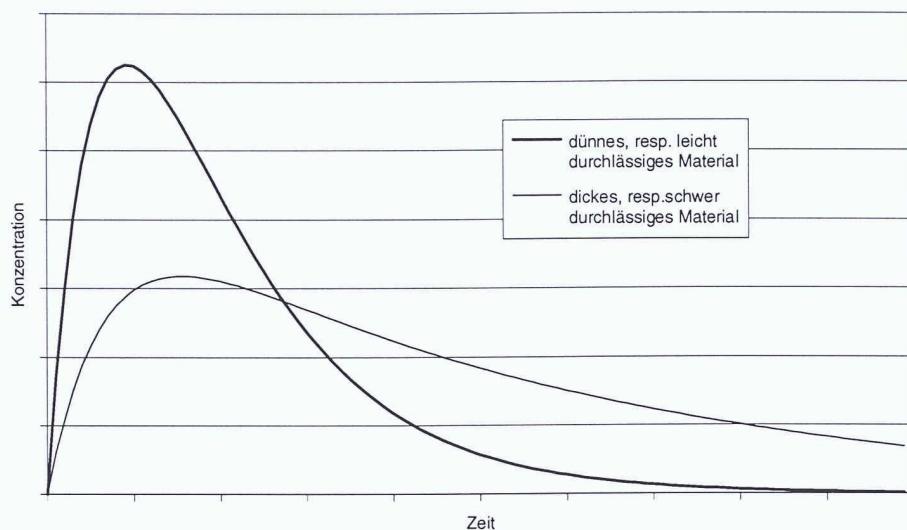


Bild 6.  
Qualitative Darstellung der zu erwartenden Konzentrationsverläufe

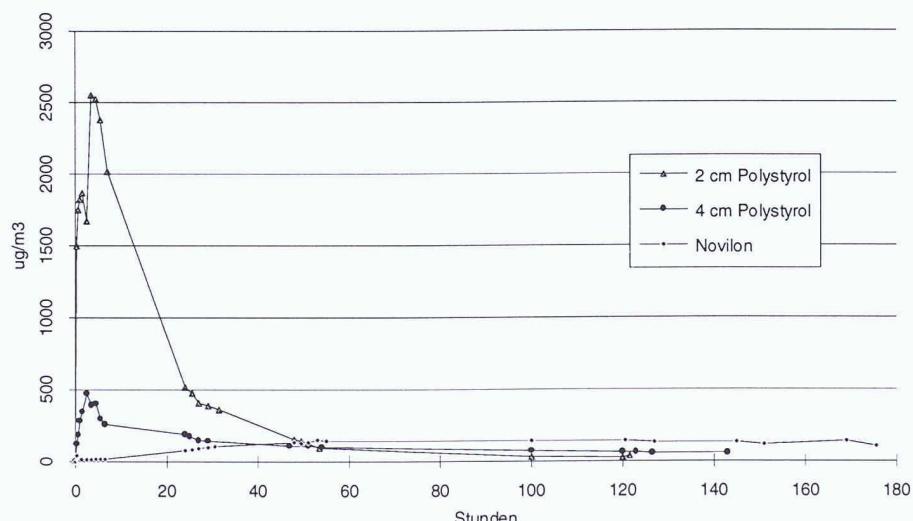


Bild 7.  
Einfluss des Abdeckmaterials auf die gemessenen Konzentrationen von Toluol in der Prüfzelle

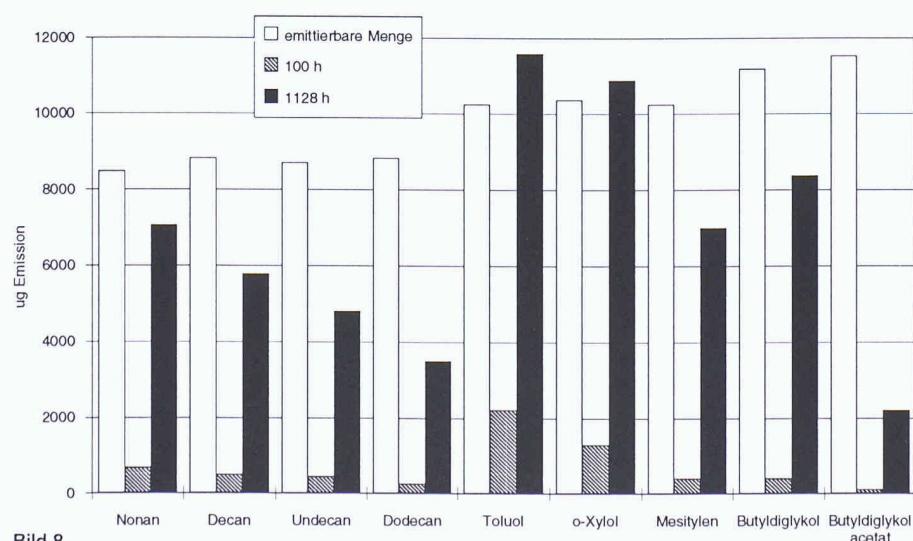


Bild 8.  
Vergleich der emittierten Mengen nach 100 und 1128 Stunden für das Abdeckmaterial Novilon bei 23°C

Abnahme im zeitlichen Verlauf kompensiert. Letztlich müssen die über einen genügend langen Zeitraum emittierten Mengen identisch sein, solange nicht eine Komponente durch chemische Reaktionen oder irreversible Adsorptionen aus dem System verschwindet. Qualitativ veranschaulicht Bild 6 die zu erwartenden Konzentrationsverläufe für chemisch inerte Komponenten.

Mit einem im Labor hergestellten Leim, welcher genau bekannte Anteile verschiedener häufig vorkommender Lösungsmittel enthielt, wurde dies mit drei verschiedenen Deckmaterialien überprüft (2 cm bzw. 4 cm dicke Polystyrolplatten und Novilon). Die tatsächlich gemessenen Konzentrationen zeigen tatsächlich den erwarteten Verlauf. Bild 7 zeigt als Beispiel die sich in der Prüfzelle einstellende Konzentration von Toluol in Abhängigkeit des Deckmaterials. Von den drei Abdeckmaterialien 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 um so 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 zu sinken.

Für Novilon wurde zusätzlich noch eine Messung nach 1128 Stunden (47 Tagen) durchgeführt, um das Langzeitemissionsverhalten besser zu charakterisieren. Bild 8 vergleicht die emittierten Mengen nach 100 und 1128 Stunden 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.

#### Ansätze zur Beurteilung von Baustoffemissionen

Aus den Emissionsmessungen resultiert für jeden Baustoff eine mehr oder weniger umfangreiche Liste emittierter Stoffe unterschiedlicher Bedenklichkeit und mit unterschiedlichen zeitlichen Emissionsver-

**Tabelle 1.**  
Beurteilung von TVOC-Konzentrationen in Raumluft nach Mølhave [3]

TVOC (mg/m <sup>3</sup> )	Irritation und Belästigung	Expositionsbereich
< 0.2	weder Irritation, noch Belästigung	Komfortbereich
0.2 - 3.0	Irritation oder Belästigung im Zusammenwirken mit weiteren Expositionen möglich	Multifaktorieller Expositionsbereich
3.0 - 25	Expositionseffekt und ev. Kopfweh im Zusammenwirken mit weiteren Expositionen möglich	Belästigungsbereich
> 25	Weitere neurotoxische Effekte (ausser Kopfweh) können auftreten	Toxischer Bereich

**Tabelle 2.**  
Beurteilung von VOC-Konzentrationen in Raumluft nach Seifert [4]

VOC-Substanzklasse	Richtwert (µg/m <sup>3</sup> )
Alkane	100
Aromatische Kohlenwasserstoffe	50
Terpene	30
Halogenierte Kohlenwasserstoffe	30
Ester	20
Aldehyde und Ketone (ohne Formaldehyd)	50
Andere	50
TVOC	300

läufen. Vor allem für den Praktiker aus der Baubranche, aber nicht nur für diesen, ist eine solche Menge von Daten kaum interpretierbar. Es zeigt sich rasch, dass an einer Beurteilung der Messungen kein Weg vorbeiführt, wenn eine Praxisrelevanz der Untersuchungen angestrebt wird. Hier beginnt aber die eigentliche Schwierigkeit, da die üblicherweise gefundenen Schadstoffkonzentrationen zwar fast immer weit unterhalb von traditionell als toxisch betrachteten Konzentrationen liegen, aber trotzdem oft Klagen von Raumbenützern über gesundheitliche Beschwerden oder zumindest Belästigungen im Zusammenhang mit der Raumluftqualität auftauchen.

Zudem fehlen (ausser für Formaldehyd) allgemein akzeptierte Zielwerte oder gar gesetzlich bindende Grenzwerte für die Beurteilung von Baustoffemissionen bzw. der aus ihnen resultierenden Raumluftkonzentrationen. Die von der Suva für Arbeitsplätze definierten MAK-Werte können nicht herangezogen werden, da sie für gesunde Erwachsene für die Dauer der normalen Arbeitszeit festgelegt wurden und den Schutz empfindlicher Personen ausdrücklich nicht gewährleisten. Ausserdem gelten sie definitionsgemäss für reine Stoffe, wogegen in Innenräumen meist komplexe Gemische verschiedener Stoffe vorliegen.

Es existieren also bis heute noch keine allgemein anerkannten Kriterien für die Beurteilung der Emissionen in die Raumluft. Folgende Möglichkeiten von Ansätzen zur Beurteilung von Emissionen aus Baumaterialien werden heute in Fachkreisen diskutiert:

### Extremer «Bio»-Ansatz

Dabei handelt es sich um einen in fundamentalistischen Baubiologenkreisen hier und da anzutreffenden dogmatischen Ansatz, nach dem grundsätzlich Emissionen synthetischer Baumaterialien oder von Baumaterialien mit chemischen Zusätzen als bedenklich beurteilt werden, dagegen die Emissionen aus naturbelassenen Materialien als unbedenklich gelten. Dieser Ansatz hält einer toxikologischen Beurteilung nicht stand, da es zahlreiche giftige Naturstoffe gibt, insbesondere viele mit allergenem Potential. Andererseits gibt es viele nichttoxische synthetische Stoffe.

### Festlegung von Grenzwerten für Emissionsfaktoren aus Baumaterialien aufgrund des technisch Machbaren

In Analogie zu den Emissionsgrenzwerten für Rauchgase und Abluft bei Industrie- und Gewerbeanlagen könnten maximale Emissionsgrenzwerte festgelegt werden, die sich nicht an den daraus resultierenden Raumluftkonzentrationen orientieren, sondern am technisch Machbaren im Sinne einer Minimierung der Emissionen. Es muss dabei in Kauf genommen werden, dass eventuell das technisch Machbare nicht genügt, um schädliche oder lästige Wirkungen der Baumaterialien mit Sicherheit zu vermeiden.

### Relative Beurteilung von Emissionsfaktoren (Ranking)

Baumaterialien mit vergleichbarem Anwendungsbereich könnten nach ihren Emissionsfaktoren geordnet werden. Der

emissionsärmere Baustoff würde dann als besser klassifiziert werden. Dieses Konzept ist allerdings nur dann sinnvoll, wenn die Emissionen belästigende Raumluftkonzentrationen verursachen könnten. Liegen die Emissionen weit darunter, so ist es unter Umständen nicht mehr gerechtfertigt, grosse und kostspielige Anstrengungen in weitere Verminderungen zu investieren. Zudem müssten klare Kriterien für das Ranking festgelegt werden (z.B. TVOC, gewichtete VOC-Summen usw.).

### Sensorische Raumluftbeurteilung

Nach einem vom dänischen Raumlufthygieniker Ole Fanger entwickelten Konzept hängen Beschwerden über schlechte Luftqualität in Innenräumen vor allem mit der Geruchsempfindung zusammen. Er definiert ein Mass für die durch Menschen wahrgenommene Geruchsstrenge in einem Raum (decipol) und ein Mass für die Intensität von Geruchsquellen (olf) [2]. Die Feststellung der Geruchsstrenge erfolgt durch speziell trainierte Fachleute. Bei einer Anwendung dieses Konzepts sind keinerlei chemische Analysen nötig. Allerdings sind sensorische Geruchsfeststellungen trotzdem recht aufwendig, da für statistisch einigermassen gesicherte Resultate eine Gruppe von etwa zehn ausgebildeten Testpersonen notwendig ist.

### Beurteilung der in der Raumluft resultierenden TVOC-Konzentrationen

Bei diesem einfachen Ansatz wird nur die Summe aller flüchtigen organischen Stoffe (TVOC) beurteilt, ohne Berück-

sichtigung der unterschiedlichen Bedenklichkeit der einzelnen Substanzen, z.B. nach dem Ansatz von Mølhave [3]. Für die Anwendung dieses Ansatzes würden also relativ einfach und billig durchzuführende TVOC-Messungen genügen. Nach Mølhave zeigen die Erfahrung sowie Expositionsstudien in Testräumen, dass eine grobe Beurteilung der Raumluftqualität nach TVOC-Konzentrationen möglich ist (Tabelle 1).

### **Beurteilung der in der Raumluft resultierenden Konzentrationen von VOC in verschiedenen Substanzklassen**

Gegenüber dem TVOC-Ansatz wird hier eine Differenzierung nach Substanzklassen eingeführt, z.B. nach Seifert [4]. Bei diesem Ansatz wird der unterschiedlichen potentiellen Schädlichkeit der einzelnen VOC dadurch Rechnung getragen, dass die VOC in Substanzklassen zusammengefasst werden, mit klassenspezifischen Richtwerten (target guideline values), die nicht überschritten werden sollten (Tabelle 2). Die Konzentration einer einzelnen Komponente sollte weder 50% des Richtwertes seiner Klasse noch 10% des TVOC-Richtwerts überschreiten. Messtechnisch bedeutet dieser Ansatz, dass relativ aufwendige einzelstoffspezifische Analysen durchgeführt werden müssen.

### **Beurteilung von Einzelsubstanzen mit Geruchs- und Irritationsschwellenwerten**

Bei diesem neuen dänischen Beurteilungsvorschlag [5] werden in Prüfzellenmessungen gewonnene Emissionsfaktoren auf die resultierenden Raumluftkonzentrationen in einem Standardraum umgerechnet, und es wird die Zeit bestimmt, bis für die gefundenen Substanzen ein festgelegter Geruchs- oder Irritationsschwellenwert unterschritten ist. Durch Vergleich dieser Zeiten können innerhalb von Produktengruppen (Bodenbeläge, Farben, Lacke usw.) Bewertungen vorgenommen werden. Als Ergebnis der Untersuchungen resultiert also eine Zeit, nach welcher schädliche oder lästige Wirkungen für ein Baumaterial nicht mehr zu erwarten sind. Dies ist natürlich vor allem für Praktiker der Baubranche sehr interessant.

Notwendig wären für eine einfache Anwendbarkeit dieses Beurteilungsansatzes allgemein akzeptierte Listen mit Irritations- und Geruchsschwellenwerten, da in der Literatur zum Teil recht unterschiedliche Werte angegeben werden. Eine Schwäche des Ansatzes liegt in der Vernachlässigung chronischer und allergener Wirkungen. Der Einbezug solcher Wir-

kungen ist allerdings sehr schwierig, da hier die Datenlage noch dürftiger ist.

Einige der vorgestellten Beurteilungsmöglichkeiten erfordern eine Umrechnung von Prüfzellendaten auf zu erwartende Konzentrationen in realen Räumen, was, wie weiter oben gezeigt, nicht ohne weiteres möglich ist und gewisse standardisierte Annahmen nötig machen würde.

### **Zusammenfassung und Ausblick**

Die Messtechnik zur Charakterisierung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen aus Baustoffen in Prüfzellen ist heute bereits gut entwickelt, und die internationalen Harmonisierungsbestrebungen sind recht weit gediehen.

Die notwendige Infrastruktur für solche Messungen sowie das messtechnische Know-how sind an der EMPA vorhanden. Damit ist es möglich, die Emissionen verschiedenster Baumaterialien unter definierten Bedingungen zu quantifizieren und zu vergleichen, was durch Konzentrationsmessungen in realen Räumen wegen zahlreicher kaum kontrollierbarer Einflussfaktoren sehr schwierig wäre. Es zeigt sich, dass die Emissionen oft nicht nur vom Baumaterial selbst, sondern auch von der Art der Applikation abhängen.

Als noch ungelöstes Problem bleibt die Frage der Beurteilung der Emissionen. Hier fehlen leider allgemein akzeptierte Beurteilungskriterien fast vollständig. Es ist deshalb zurzeit noch nicht möglich, aufgrund von Emissionsmessungen einem bestimmten Baumaterial eine Art Gütesiegel für seine Unbedenklichkeit zuzuerkennen, wie das von Baustoffherstellern verständlicherweise oft gewünscht und von einzelnen «Gutachtern» auch praktiziert wird. Internationale Anstrengungen, einheitliche Beurteilungsgrundlagen zu schaffen, sind angelauft. Vor allem sind zwei Aktivitäten zu nennen, an denen auch die EMPA aktiv beteiligt ist:

- European Collaborative Action (ECA): Indoor Air Quality and its Impact on Man, WG 10: «Evaluation of Building Materials and Products».

Diese 1993 gegründete Arbeitsgruppe hat sich zum Ziel gesetzt, unter Berücksichtigung bereits bestehender Arbeiten, Richtlinien zur Messung und Beurteilung von Emissionen aus Baumaterialien auszuarbeiten. Beispielhaft sollen solche zunächst für Bodenbeläge erarbeitet werden.

- CEN/TC 264/WG7 «Indoor Air Quality - Emissions of Chemical Substances from Building Materials»

Diese ebenfalls 1993 gegründete CEN-Arbeitsgruppe hat das Ziel, Methoden zur Messung und Veröffentlichung (reporting) von VOC-Emissionen aus Baumaterialien und anderen in Innenräumen verwendeten Materialien zu standardisieren. Die Beurteilung der Emissionen gehört allerdings nicht explizit zum Aufgabenbereich der Gruppe.

Adresse des Verfassers:

R. Gehrig, Dr. sc. techn., Empa, Abteilung Luftfremdstoffe/Umwelttechnik, 8600 Dübendorf

### **Literatur**

[1]

Guideline for the Characterization of Volatile Organic Compounds Emitted from Indoor Materials and Products. COST (ECA) Report Nr. 8, JRC Ispra (VA).

[2]

Fanger, P.O.: New Principles for a Future Ventilation Standard. Proceedings Indoor Air 90, Toronto Vol 5 S. 353.

[3]

Mølhave, L.: Volatile Organic Compounds, Indoor Air Quality and Health. Proceedings Indoor Air 90, Toronto Vol. 5, S. 15.

[4]

Seifert, B.: Regulating Indoor Air. Proceedings Indoor Air 90, Toronto, Vol 5, S. 35.

[5]

Wolkoff, P., und Nielsen, P.A.: Indoor Climate Labeling of Building Materials; Chemical Emission Testing, Modeling, and Indoor Relevant Odor Thresholds. National Institute of Occupational Health Denmark, Copenhagen 1993.