

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,  
Demonstration und Beratung auf  
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,  
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für  
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

**Institutsleitung**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

Auszug aus dem IBP-Abschlussbericht 002/2010/281-k

## **Querschnittsuntersuchung zum Emissionspotenzial an flüchtigen organischen Verbindungen von Gipsbauteilen und Gipsprodukten des Wohninnenraums**

Das Forschungsvorhaben (15282 N/1) der Forschungsvereinigung der Gipsindustrie e. V. wurde im Programm zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die AiF finanziert.

Der Bericht umfasst  
120 Seiten Text  
67 Tabellen  
29 Abbildungen

Dipl.-Chem. Christian Scherer  
Dipl.-Ing. (FH) Sabine Mair

Valley, 07. Juli 2010

Institutsleitung

Gruppenleiter

Bearbeiter

Dr. rer. nat.  
Klaus Breuer

Dr. rer. nat.  
Wolfgang Hofbauer

Dipl.-Chem.  
Christian Scherer

Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12 · D-70569 Stuttgart  
Telefon +49 (0) 711/970-00  
Telefax +49 (0) 711/970-3395  
www.ibp.fraunhofer.de

Institutsteil Holzkirchen  
Fraunhoferstr. 10 · D-83626 Valley  
Telefon +49 (0) 8024/643-0  
Telefax +49 (0) 8024/643-366

Projektgruppe Kassel  
Gottschalkstr. 28a · D-34127 Kassel  
Telefon +49 (0) 561/804-1870  
Telefax +49 (0) 561/804-3187

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Stand der Forschung</b>	<b>6</b>
3.1	Emissionseigenschaften von Gipsbauprodukten des Wohninnenraums	6
3.2	Thermoextraktion als zeitraffendes Kurzzeitverfahren zur Bestimmung der Emissionseigenschaften	6
<b>4</b>	<b>Forschungsziel, Lösungsweg und Ergebnisse</b>	<b>7</b>
4.1	Forschungsziel	7
4.1.1	Angestrebte Forschungsergebnisse	7
4.1.2	Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse	7
4.2	Vorgehensweise	8
4.2.1	Prüfkammeruntersuchungen	8
4.2.2	Thermoextraktion	10
4.2.3	Auswahl der zu untersuchenden Gipsprodukte	12
4.2.4	Prüfkammeruntersuchungen an Gipsprodukten	12
4.2.5	Thermoextraktionsuntersuchungen an Gipsprodukten	14
4.2.6	Untersuchungen zum Trocknungsverhalten von Sackware	16
4.3	Ergebnisse	16
4.3.1	Prüfkammeruntersuchungen	16
4.3.2	Thermoextraktionsuntersuchungen	19
4.3.3	Gegenüberstellung von Prüfkammer- und Thermoextraktionsuntersuchungen	20
4.4	Abgleich mit normativen Anforderungen oder Kriterien für Produktlabels	21
4.4.1	Emissionsprüfung und Anforderung an Bauprodukte in Innenräumen (AgBB-Schema)	22
4.4.2	Emissionsprüfung und Anforderungen nach RAL-UZ	22
4.4.3	Emissionsprüfung und Anforderungen nach GEV-EMICODE	22
4.4.4	Anforderungen nach DGNB	24
4.5	Zusammenfassung	24
<b>5</b>	<b>Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)</b>	<b>24</b>
5.1	Voraussichtliche Nutzung der erzielten Forschungsergebnisse	24
5.2	Möglicher Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der KMU	25

5.3	Beabsichtigter Transfer der angestrebten Forschungsergebnisse	25
<b>6</b>	<b>Durchführende Forschungsstelle</b>	<b>25</b>

# 1 Zusammenfassung

In Rahmen dieses Vorhabens wurden von einem repräsentativen Querschnitt an Gipsprodukten Emissionsdaten mittels Prüfkammeruntersuchungen ermittelt. Bei der Produktauswahl lag der Schwerpunkt auf mit organischen Additiven ausgerüsteten Produkten, da bei diesen höhere VOC-Emissionen zu erwarten sind. Ziel der Untersuchungen war es,

- mittels anerkannter Testverfahren zuverlässige Aussagen über das Emissionspotenzial von Gipsbauprodukten zu gewinnen,
- durch die Ausweitung des Prüfungsumfangs zusätzliche charakteristische Daten für die einzelnen Produktgruppen zu erheben und
- zu überprüfen, inwieweit ein zeitraffendes Kurzzeitverfahren auf Basis der Thermoextraktion im Rahmen von Produktentwicklung, werkseigener Produktionskontrolle und Schadensfallbearbeitung zur Bestimmung der VOC-Emissionen eingesetzt werden kann.

Die VOC-Emissionen wurden mittels Prüfkammeruntersuchung gemäß DIN EN ISO 16000-9/-11 bestimmt und die erhaltenen Werte nach dem AgBB-Schema ausgewertet. Der Prüfumfang wurde um zwei Probenahmezeitpunkte erweitert und die Prüfungsdauer von 28 auf 35 Tage verlängert. Neben den VOC (Retentionsbereich n-C<sub>6</sub> – n-C<sub>16</sub>) wurden VVOC (Retentionsbereich < n-C<sub>6</sub>), SVOC (Retentionsbereich n-C<sub>16</sub> – n-C<sub>22</sub>) und flüchtige organische Amino-Verbindungen auf Adsorbentien gesammelt und analytisch bestimmt. Zu den VVOC von besonderem öffentlichen Interesse gehört Formaldehyd. Für die Thermoextraktionsuntersuchungen standen eine Mikrokammer und ein Thermoextraktor zur Verfügung.

Die erzielten Ergebnisse lassen sich wie folgt kurz zusammenfassen:

- Gipsbauprodukte weisen i. A. sehr niedrige VOC-Emissionen auf.
- Bis auf ein untersuchtes Produkt genügten alle den Anforderungen des AgBB-Schemas.
- Die Thermoextraktion stellt ein geeignetes Verfahren dar, um Rohstoffe oder Additive hinsichtlich ihrer VOC-Emissionen zu überprüfen. Bei der Untersuchung von Gipsprodukten stößt das Verfahren an Limitierungen, die unter anderem von den geringen Emissionen aus den Gipsprodukten herrühren.
- Die Thermoextraktion eignet sich nicht für die Bestimmung der VOC-Emissionen bei noch materialfeuchten Proben, sehr wohl aber bei trockenen Gipsprodukten.

Mit den erzielten Forschungsergebnisse können Hersteller und Verarbeiter von Gipsprodukten und Gipsbauteilen in die Diskussion um die Anerkennung Ihrer Produkte als WT oder WFT eintreten. Die Vor- und Nachteile der Thermoextraktion als zeitraffendes Kurzverfahren wurden untersucht. Eine Empfehlung für den Einsatz z. B. zur Wareneingangskontrolle kann aufgrund der Ergebnisse ausgesprochen werden.

Die Ziele des Forschungsvorhabens wurden erreicht.

## 2 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Mit Verabschiedung der EG Bauproduktenrichtlinie [1] vor mehr als 10 Jahren wurden die wesentlichen Anforderungen an Bauprodukte europaweit neu definiert. Neben den althergebrachten Anforderungen (Brandschutz, Standsicherheit etc.), wurde eine neue wesentliche Anforderung an Bauprodukte hinzugenommen, das sog. Kriterium 3 „Gesundheits- und Umweltschutz“. Im Zuge der Umsetzung der EG Bauprodukttrichtlinie in nationales Recht (Länderrecht), beschäftigen sich seit der zweiten Hälfte der 90er Jahre verschiedene Gremien in den Einzelstaaten mit dieser Thematik. In Deutschland hat die Arbeitsgemeinschaft zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) ein Prüf- und Bewertungsverfahren für Bauprodukte, das sog. AgBB-Schema [2], festgeschrieben. In den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen, welche künftig auch das Emissionspotential an flüchtigen organischen Verbindungen in den Innenraum regeln, kommt dieses Verfahren zur Anwendung. Als Ergebnis dieser Arbeiten wurden im Sommer 2004 im Amtsblatt des Deutschen Instituts für Bautechnik die sog. Zulassungsgrundsätze zur gesundheitlichen Bewertung von Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bodenbelägen veröffentlicht [3] und sind somit offizieller Bestandteil des Zulassungsverfahrens. Eine Überarbeitung und Konkretisierung der Vorgehensweise erfolgte 2008 [4]. Weitere Produktgruppen, auf die diese Zulassungsgrundsätze angewendet werden, sollen den Bodenbelägen folgen. Gleichzeitig zeigt sich bereits jetzt, dass wesentliche Bestandteile des AgBB-Schemas im Rahmen der europäischen Normung Eingang in eine horizontale Querschnittsnorm finden werden. Das CEN/TC 351 setzt derzeit das Mandat M/366 [8] der EU-Kommission um und entwickelt Prüfscenarien für die Freisetzung gefährlicher Stoffe in Boden und Grundwasser (WG 1) und in die Innenraumluft (WG 2). Darüber hinaus wird derzeit die Frage diskutiert, inwieweit bestimmte Produktgruppen aufgrund ihrer nachgewiesenen generellen Eigenschaften hierzu, von einer experimentellen Einzelüberprüfung im Rahmen der Zulassung freigestellt werden können (CEN/TC 351 TR 3: „Products without Testing (WT)“, „Products without further Testing (WFT)“). Inwieweit Gipsbauteile und/oder Gipsprodukte in eine Einstufung als WT bzw. WFT einbezogen werden können, wurde unter der Schirmherrschaft des Umweltbundesamtes zu recherchieren versucht.

Die allgemeine experimentelle Datenlage zum Emissionspotential von Gipsprodukten ist jedoch äußerst gering. Die Schaffung einer umfassenden und ausgeglichenen Datengrundlage zum Emissionsverhalten von Bauteilen aus Gips bzw. Gipsprodukten war deshalb nötig, um in eine qualifizierte Diskussion über die Einstufung von Gipsprodukten als WT oder WFT eintreten zu können.

Eine Einstufung eines Bauprodukts als WT oder WFT befreit den Hersteller von der Pflicht zur Durchführung von Prüfkammermessungen an seinen Produkten.

## 3 Stand der Forschung

### 3.1 Emissionseigenschaften von Gipsbauprodukten des Wohninnenraums

Zum Projektbeginn lagen keine öffentlich zugänglichen Untersuchungsergebnisse, die nach Prüfnormen bzw. standardisierten Verfahren erhalten wurden, über die Emissionseigenschaften von Gipsprodukten des Wohninnenraums vor. Erst mit der Normungsarbeit im CEN/TC 351, der die Problematik „Products without testing“ oder „Products without further testing“ adressiert hat und den daraus resultierenden Arbeiten in den Produkt-TCs, besteht die Notwendigkeit, belastbare Daten über die Emissionseigenschaften von Gipsbauprodukten vorzuhalten.

### 3.2 Thermoextraktion als zeitraffendes Kurzzeitverfahren zur Bestimmung der Emissionseigenschaften

Mit der Veröffentlichung der Zulassungsgrundsätze zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten in Innenräumen im August 2004 werden vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) für Bodenbeläge in Aufenthaltsräumen Nachweise über das Emissionsverhalten gefordert. Die Zulassungsgrundsätze sehen neben der Zulassungseignungsprüfung, deren Messwerte der Zulassung zu Grunde gelegt werden, jährlich wiederkehrende Übereinstimmungsnachweise auch hinsichtlich der Emissionseigenschaften vor. Als Prüfung zum Nachweis der Übereinstimmung kann eine verkürzte Prüfkammeruntersuchung (Dauer 3 d) oder ein geeignetes Kurzzeitverfahren eingesetzt werden. Ausgehend von diesem Sachverhalt wurde die Thermoextraktion auf ihre Eignung als zeitraffendes Kurzzeitverfahren für die Übereinstimmungsuntersuchung geprüft. Weitere Anwendung findet die Thermoextraktion bei der Emissionsprüfung von polymeren Werkstoffen, insbesondere für den Kfz-Bereich [5], [6], [7]. Diese Arbeiten haben gezeigt, dass die Thermoextraktion - bei der Wahl geeigneter Randbedingungen wie Extraktionstemperatur und Startzeitpunkt der Probenahme - mit der Emissionsprüfkammer vergleichbare Emissionsbilder liefert. Die Messwerte von Prüfkammeruntersuchung und Thermoextraktion sind nicht direkt vergleichbar. Gründe hierfür sind die stark unterschiedlichen Geometrien und vor allem der Sachverhalt, dass sich im Thermoextraktor oder in der Mikroammer keine Pseudo-Gleichgewichtszustände einstellen können wie in der Emissionsprüfkammer, so dass keine Stoffkonzentrationen gemessen werden sondern nur die in einer Zeitspanne ausgetragenen Stoffmassen. Den Vergleich mit der Prüfkammeruntersuchung erlaubt in gewissen Grenzen die Ermittlung von flächenspezifischen Emissionsraten, die mit beiden Messverfahren gewonnen werden können. Die o. g. Arbeiten zur Thermoextraktion haben aber gezeigt, dass die Randbedingungen für die Versuchsdurchführung an eine Produktgruppe anzupassen sind, damit vergleichbare und reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden können. Da Emissionsmessungen für Gipsbauprodukte bislang nicht üblich waren, standen für diese Produkte keine erprobten Randbedingungen zur Verfügung; diese wurden erst im Rahmen des Projekts erarbeitet.

## 4 Forschungsziel, Lösungsweg und Ergebnisse

### 4.1 Forschungsziel

Fortlaufende Ziele des Forschungsvorhabens waren

- die Schaffung einer belastbaren Datenbasis hinsichtlich der Emissionseigenschaften an flüchtigen organischen Verbindungen aus Gipsprodukten des Wohninnenraums,
- die Entwicklung eines zeitraffenden Kurzzeitverfahrens auf Basis der Thermoextraktion zur Ermittlung der Emissionseigenschaften von Gipsprodukten, einsetzbar für die Produktentwicklung, die werkseigene Produktionskontrolle und die schnelle Schadensanalytik sowie die
- Generierung von Daten, die im Rahmen der europäischen Normung (insb. CEN/TC 351 TR 3) in der Diskussion über die Eingruppierung von Gipsprodukten als „Products without testing“ oder „Products without further testing“ herangezogen werden können.
- Ferner sollen die Ergebnisse aus diesem Forschungsprojekt – wenn nötig – dazu beitragen, im Rahmen der Arbeiten von CEN/TC 351 WG 2 bzw. des für Gipsprodukte zuständigen Produkt-TCs zu einer Festlegung von realistischen Freisetzungsszenarien zu kommen.

#### 4.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen Emissionswerte für unterschiedliche Bauprodukte auf Gipsbasis ermittelt werden, die als Grundlage für eine Klassifizierung als WT bzw. WFT dienen können. Gleichzeitig sollen für Produkte, die sich im Rahmen der Untersuchungen als ungeeignet für die Einstufung als WF/WFT herausgestellt haben, Vorschläge für eine Produktoptimierung unterbreitet werden.

Das zu entwickelnde Kurzzeitverfahren soll als Werkzeug zur werkseigenen Produktionskontrolle und zur Verfolgung der Änderung der Emissionseigenschaften bei Produktmodifikationen oder der Abschätzung der Produkteigenschaften bei Neuentwicklungen herangezogen werden können.

#### 4.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Im Rahmen des Vorhabens sollten repräsentative Daten zum Emissionspotential von Gipsprodukten in Innenräumen für die allgemeine Einstufung nach WT/WFT ermittelt werden. Darüber hinaus war ein Kurzzeitverfahren zu validieren, das im Einklang mit Verfahrensentwicklungen in der bauaufsichtlichen Zulassung steht. Das zu adaptierende Kurzzeitverfahren soll den Herstellern zur Produktoptimierung hinsichtlich der VOC-Emissionen dienen. Die Einführung des Kurzzeitverfahrens in die analytische Praxis von Laboratorien, die mit der Bewertung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten oder der Abklärung von Schadensfällen befasst sind, hilft Verarbeitern und Gutachtern bei der Klärung von Fragen nach der Quellstärke von Gipsprodukten hinsichtlich VOC-Emissionen. Gipsprodukte werden je nach Anwendungsgebiet im Regelfall mit organischen Additiven ausgerüstet. Diese organischen Additive können als primäre Quellen von VOC-Emissionen angesehen werden. Bei der Entwicklung neuer ausgerüsteter Produkte ist ein Kurzzeitverfahren zur Abschätzung der Emissionseigenschaften sinnvoll. Damit kann die Anzahl aufwändiger Prüfkammeruntersuchungen verringert werden.

## 4.2 Vorgehensweise

Aus handelsüblichen Gipsprodukten wurden Vertreter jeder Produktgruppe für das Forschungsvorhaben ausgewählt. Bei der Auswahl wurden im Sinne eines worst-case-Szenarios Produkte mit einem hohen Anteil an organischen Additiven bevorzugt. Diese Produkte wurden einer Prüfkammeruntersuchung nach [1] unterzogen. Gleichzeitig wurden Thermoextraktionsuntersuchungen bei unterschiedlichen Randbedingungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Prüfkammer- und der Thermoextraktionsuntersuchungen wurden gegenübergestellt.

### 4.2.1 Prüfkammeruntersuchungen

Die zu untersuchenden Produkte wurden auf der Basis des Prüfkammerverfahrens nach DIN EN ISO 16000-9 (Bild 1), [9] zur Bestimmung der VOC-Emissionen von Bauprodukten einem 28- bzw. 35-tägigen Ausgasungsexperiment unterzogen. Grundprinzip einer Prüfkammernmessung ist es, Bauprodukte so in die Kammer einzubringen, dass die in der Kammer anliegenden Umweltbedingungen denen eines vorher festgelegten Modellinnenraumes definierter Größe entsprechen [2], [3], [4], [9]. Dies wird entsprechend den Zulassungsgrundsätzen näherungsweise erreicht, in dem in der Prüfkammer und im Modellraum gleiche sog. flächenspezifische Lüftungsraten angesetzt werden (Gleichungssystem)(1).

$$q = \frac{Q_{MR}}{A_{MR}} = \frac{n_{MR} * V_{MR}}{A_{MR}} = \frac{n_{PK}}{L_{PK}} = \frac{Q_{PK}}{A_{PK}} \quad (1)$$

q	Flächenspezifische Lüftungsrate	[m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> ]
Q <sub>MR</sub>	Lüftungsrate im Modellraum	[m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ]
A <sub>MR</sub>	Oberfläche des Bauprodukts im Modellraum	[m <sup>2</sup> ]
n <sub>MR</sub>	Luftwechsel im Modellraum	[h <sup>-1</sup> ]
V <sub>MR</sub>	Volumen des Modellraums	[m <sup>3</sup> ]
n <sub>PK</sub>	Luftwechsel der Prüfkammer	[h <sup>-1</sup> ]
L <sub>PK</sub>	Beladungsfaktor der Prüfkammer	[m <sup>2</sup> m <sup>-3</sup> ]
Q <sub>PK</sub>	Lüftungsrate in der Prüfkammer	[m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ]
A <sub>PK</sub>	Oberfläche des Bauprodukts in der Prüfkammer	[m <sup>2</sup> ]

Unter der flächenspezifischen Lüftungsrate versteht man das Verhältnis von Lüftungsrate im Innenraum bzw. in der Prüfkammer zur frei emittierenden Oberfläche des eingebrachten oder eingebauten Materials. Der angenommene Modellraum wird kontinuierlich mit aufgereinigter Luft, entsprechend einem genau definierten Expositionsszenario belüftet [9]. Gemäß Gleichung (2) kann bei Kenntnis der flächenspezifischen Lüftungsrate q und der in der Prüfkammerluft gefundenen VOC-Konzentration c<sub>i</sub> eine Materialeigenschaft, die flächenspezifische Emissionsrate SER<sub>i</sub> errechnet werden. Zum Produktvergleich eignet sich die SER besser als die Stoffkonzentrationen, da es sich bei diesem Wert um eine Materialeigenschaft handelt, die - bei Einhaltung der normativen Vorgaben für die Prüfung - nicht von den Prüfbedingungen abhängig ist.



$$SER_i = c_i * q \quad (2)$$

$$C_i = \frac{SER_i * A_R}{Q_R} \quad (3)$$

SER <sub>i</sub>	Flächenspezifische Emissionsrate an Stoff i	[µg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ]
c <sub>i</sub>	Im Prüfkammeruntersuchung ermittelte Stoffkonzentration in der Prüfkammerabluft	[µg m <sup>-3</sup> ]
C <sub>i</sub>	Errechnete Stoffkonzentration im Raum	[µg m <sup>-3</sup> ]
A <sub>R</sub>	Frei emittierende Oberfläche im Raum	[m <sup>2</sup> ]
Q <sub>R</sub>	Lüftungsrate im Raum	[m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ]

Bei Kenntnis der Raumbeladung L, also der frei emittierenden Oberfläche eines in einem Raum verbauten Produkts, und der Lüftungsrate Q kann mithilfe der SER eine Immissionskonzentration in einem realen Raum abgeschätzt werden (Gleichung (3)). Diese Abschätzung berücksichtigt allerdings keine Senken- bzw. Sekundärquelleneffekte, wie sie unter realen Umständen immer vorkommen.

Die chemische Charakterisierung der abgegebenen flüchtigen organischen Verbindungen erfolgte durch die Analyse der Prüfkammerluft zu vorgegebenen Zeitpunkten [2], [3], [4], [9]. Dazu wurden nach 3, 7, 28 und 35 Tagen Luftproben definierten Volumens auf Festphasenadsorber gezogen. Die Analyse der auf dem Festphasenadsorber gesammelten VOC erfolgt nach DIN ISO 16000-6 [10] mittels Gaschromatografie, gekoppelt mit Massenspektrometrie. Die Analyten werden mit einem Inertgassträgerstrom thermisch desorbiert und über eine beheizte Transferleitung direkt in den Gaschromatografen überführt. Im Anschluss an die gaschromatografische Auftrennung werden die effluierenden Einzelverbindungen massenspektrometrisch über verschiedene Referenzspektrenbibliotheken identifiziert und entsprechend den Zulassungsgrundsätzen einzelstofflich bzw. in Form von Toluoläquivalenten quantifiziert. Erfasst wurden flüchtige organische Verbindungen im gaschromatografischen Retentionsbereich von n-Hexan (n-C<sub>6</sub>) bis n-Hexadecan (n-C<sub>16</sub>). Darüber hinaus wurden ebenfalls sog. höhersiedende Verbindungen (SVOC= Semi Volatile Organic Compounds) im Retentionsbereich von n-Hexadecan (n-C<sub>16</sub>) bis einschl. n-Docosan (n-C<sub>22</sub>) analytisch bestimmt.

Die analytische Differenzierung erfolgte in dem Umfang, wie dies durch die aktuellen Bewertungsregularien des AgBB vorgegeben ist. Dies umfasst die einzelstofflichen Kenndaten von bewertbaren Verbindungen nach der NIK-Werte-Liste und der Liste der EU-Karzinogene, sowie die von nicht bewertbaren Stoffen. Zusätzlich wurden sog. Summenwerte wie der TVOC-Wert (Total Volatile Organic Compound) oder die Summe der VVOC bzw. der SVOC errechnet.

Zudem wurden weitere, über den derzeitigen vorherrschenden Routineumfang hinausgehende, stoffliche Kenndaten mit erfasst. Dies beinhaltet leicht flüchtige Carbonyle einschließlich Formaldehyd, die nach DIN ISO 16000-3 [11] mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie mit Diode Array Detektor identifiziert und quantifiziert wurden sowie primäre, sekundäre, tertiäre aliphatische sowie aromatische Amine.

Die Bestimmung der Emissionskonzentrationen an flüchtigen Aminen wurde nach einer Methode von Rampfl [12] durchgeführt. Hierbei werden die Amine nach reaktiver Anreicherung auf einem mit Phosphorsäure imprägnierten Absorber mittels Flüssigkeitschromatographie/Tandem-Massenspektrometrie untersucht. 50 L Prüfkammerluft werden mit einem Volumenstrom von 1 L/min über einen Festphasenadsorber, bestehend aus mit Phosphorsäure imprägnierter Glaswolle, gezogen. Die in der Luft enthaltenen primären, sekundären und tertiären Amine sowie N-Heterozyklen reagieren mit der Phosphorsäure zum entsprechenden Ammoniumsalz. Die Salze werden mit einem definierten Volumen an Eluent vom Adsorber gelöst und mittels ESI<sup>+</sup>-LC/MS-MS identifiziert und quantifiziert. Die charakteristischen Kenngrößen des Verfahrens sind in Tabelle 1 angegeben.

Die Bewertung der ermittelten Stoffkonzentrationen erfolgt nach dem aktuellen AgBB-Schema. Nach 3, 7 und 28 Tagen werden Bewertungen für den TVOC-Wert und Karzinogene vorgenommen. Zusätzlich werden nach 28 Tagen identifizierte und einschätzbare Komponenten über das sog. NIK-Wert-Konzept reguliert, nicht einschätzbare bzw. nicht identifizierte Stoffe werden über einen weiteren Summenwert begrenzt, ebenso wie der SVOC-Wert. Flüchtige Amine, die nicht nach DIN ISO 16000-6 bestimmbar sind, gehen in die Bewertung nach dem AgBB-Schema nicht ein.

#### 4.2.2 Thermoextraktion

Parallel zur 28-tägigen Prüfkammeruntersuchung wurden die Gipsprodukte einer Thermoextraktion unterzogen, um zu untersuchen, inwieweit die Thermoextraktion als zeitraffendes Kurzzeitverfahren zur Emissionsmessung für die Produktentwicklung, die werkseigene Produktionskontrolle und die Schadensanalyse geeignet ist. Ziel der Verfahrensentwicklung war es, experimentelle Bedingungen für die Thermoextraktion zu beschreiben, unter denen die Emissionsbilder aus Prüfkammeruntersuchung und Thermoextraktion eine möglichst hohe Übereinstimmung aufweisen. Die wesentlichen Parameter einer dynamischen Prüfkammeruntersuchung sind unter 4.2.1 beschrieben.

Bei der Thermoextraktion handelt es sich - wie bei der Prüfkammeruntersuchung - um ein dynamisches Untersuchungsverfahren. Das Prüfstück wird in einer Umgebung mit definierter Temperatur und definiertem Luftwechsel gelagert. Allerdings weichen die Randbedingungen z. T. sehr deutlich von denen in der Emissionsprüfkammer ab (Tabelle 2). So ist die flächenspezifische Lüftungsrate im Thermoextraktor deutlich höher, gleiches gilt für Luftwechsel und Beladung. Zum einen wird mit den veränderten Randbedingungen die Zeitraffung erreicht, allerdings mit der Einschränkung, dass Effekte zu Tage treten können, die in der Prüfkammeruntersuchung keinen oder nur einen geringen Einfluss auf das Untersuchungsergebnis haben. Als Beispiel sei hier die schnelle Abreicherung von Stoffen an der Oberfläche des Prüfstücks genannt. Dadurch können Diffusionsvorgänge im Inneren des Prüfstücks zu dem Prozess werden, der den Emissionsverlauf über die Zeit maßgeblich bestimmt. Eine Zeitraffung des Emissionsverlaufs kann im Wesentlichen durch die Variation von 2 Parametern erreicht werden: durch die Anwendung einer erhöhten Temperatur und durch eine höhere flächenspezifische Lüftungsrate. Die Obergrenze für eine Temperaturerhöhung wird durch die Dehydratation des Gipses vorgegeben, die ab ca. 60 °C einsetzt. Der Gasfluss durch die Mikrokammer kann nicht so klein gewählt werden, dass die flächenspezifischen Lüftungsraten von Thermoextraktions- und Prüfkammeruntersuchung gleiche

Werte erreichen. Grund dafür ist, dass ein Mindestgasfluss für die Probenahme auf dem Festphasenadsorber nicht unterschritten werden kann.

Bei unterschiedlichen Extraktionstemperaturen (30 °C, 40 °C) und unterschiedlichen Luftfeuchten (0 %, 50 % r. F.) wurden Prüfkörper Thermoextraktionsuntersuchungen unterzogen. Die emittierten Verbindungen wurden auf TENAX TA® gesammelt, thermisch desorbiert und mittels GC/MS-FID bestimmt. Für die Thermoextraktion standen Extraktoren zweier Hersteller mit unterschiedlichen Geometrien und Temperaturbereichen zur Verfügung. Die Untersuchungen der Bauprodukte wurden mit der Mikrokammer  $\mu$ -CTE der Fa. Markes (schematischer Aufbau siehe Bild 3) und aufgereinigter Druckluft als Extraktionsgas durchgeführt. Die Methylcellulose wurde mit dem Thermoextraktor TE-2 (schematischer Aufbau siehe Bild 2) und Helium als Extraktionsgas untersucht.

Während in der Prüfkammeruntersuchung gemäß [9] eine relative Feuchte von 50 % eingestellt wird, wurden die Thermoextraktionsuntersuchungen mit trockener synthetischer Luft durchgeführt. Da prinzipiell zu erwarten ist, dass die Feuchte des Extraktionsgases einen Einfluss auf die Freisetzung insbesondere polarer Stoffe haben kann, wurden Materialproben mit trockenem und mit befeuchtem Extraktionsgas untersucht und die Ergebnisse gegenübergestellt. Bei Werkmörteln, Ansetzbindern, Estrichen und Spachtelmassen, die mit Hilfe von Wasser angesetzt werden, stellt sich die Frage nach der geeigneten Trocknungsmethode und der Trocknungsdauer. Während des Trocknungsprozesses muss eine Kontamination der Prüfstücke mit VOC aus der Umgebung vermieden werden, was durch die Trocknung in einer entsprechenden Atmosphäre erreicht werden kann. Gleichzeitig muss eine Abreicherung von VOC aus dem Prüfstück selbst auf ein realistisches Maß beschränkt werden. Außerdem ist anzustreben, im Sinne eines zeitraffenden Kurzzeitverfahrens, auch den Trocknungsprozess zu beschleunigen. Es wurden daher mehrere Trocknungsverfahren angewandt und die erhaltenen Messwerte gegenüber gestellt.

Ein weiterer Parameter mit einem großen Einfluss auf das Emissionsbild ist der Startzeitpunkt der Probenahme. Es ist zu erwarten, dass in den ersten Minuten der Thermoextraktionsuntersuchung das thermische Gleichgewicht zwischen Prüfstück, Thermoextraktionskammer und Extraktionsgas noch nicht hergestellt ist. Je früher die Probenahme beginnt, umso stärker werden die VVOC und oberflächennahe VOC das Emissionsbild dominieren. Eine Verschiebung der Probenahme hin zu längeren Extraktionszeiten führt damit zu einem Stoffspektrum, in dem VOC und SVOC stärker vertreten sind. Es müssen also – abhängig vom Produkt – die Startzeiten ermittelt werden, die zu einer guten Übereinstimmung der Emissionsbilder von Prüfkammer- und Thermoextraktionsuntersuchung führen. Die Variation des Startzeitpunktes für die Probenahme erlaubt es, gleichzeitig noch eine Aussage über die Robustheit des Verfahrens, also seine Empfindlichkeit gegenüber Abweichungen von den festgelegten Randbedingungen, zu treffen.

### 4.2.3 Auswahl der zu untersuchenden Gipsprodukte

Aus den Produktgruppen

- Bauplatten
- Wandbauplatten
- Gipsfaserplatten
- Maschinenputzgips
- Handputzgips
- Fugenspachtel/Fugenfüller
- Gipskleber/Ansetzbinder
- Gipshaltige Fließestriche
- Recyclinggips (RC-Gips)
- Stuckgips aus RC-Gips
- Additive
- Verpackungen

wurde zu Projektstart eine Produktpalette (Tabelle 4) für das Vorhaben ausgewählt, wobei sich der Schwerpunkt der Arbeiten auf den Bereich der Bauteile in Plattenform konzentrierte. Emissionsuntersuchungen an kompletten Wandaufbauten ergänzten das Portfolio. Es ist davon auszugehen, dass die VOC-Emissionen vom Anteil an organischen Additiven in den Produkten abhängig sind. Daher wurden neben klassischen Gipsprodukten auch solche mit organischer Ausrüstung im Sinne eines worst-case-Szenarios für die Untersuchungen ausgewählt.

Neben kartonummantelten Bauplatten aus REA- und Naturgips wurden zwei imprägnierte Feuerschutzplatten (Bild 4) verschiedener Hersteller und eine Gipsfaserplatte untersucht. Ansetzbinder und Fugenspachtel bzw. Fugenfüller zweier Hersteller wurden als repräsentative Vertreter für die Produktgruppen Gipskleber und Fugenmassen ausgewählt. Zwei Maschinenputzgipse (Bild 5), einer davon für den Einsatz in Feuchträumen wie Küchen und Bädern ausgelobt, und ein Handputzgips repräsentierten die Gruppe der Putzgipse nach [15]. Als Vertreter für die Gruppe der Estriche wurde ein Fließestrich auf Gipsbasis untersucht. An einem einfachen Wandaufbau, bestehend aus imprägnierten Feuerschutzplatten, Ansetzbinder und Fugenspachtel (Bild 6) und einer Metallständerwand (Bild 7) wurden die Emissionseigenschaften komplexer Bauteile ermittelt. Die Emissionseigenschaften von Rohmaterialien und Additiven wurden an Recyclinggips, Stuckgips aus Recyclinggips und an Methylcellulose untersucht. Die Emissionsmessung an Verpackungsmaterial wurde durchgeführt, um den Einfluss von Emissionen aus der Verpackung auf die darin enthaltenen Produkte abschätzen zu können.

### 4.2.4 Prüfkammeruntersuchungen an Gipsprodukten

Mit Ausnahme des Wandaufbaus mit Metallständer und Dämmung wurden die Prüfkammeruntersuchungen in Emissionsprüfkammern aus elektropoliertem Edelstahl mit einem Rauminhalt von 0,2 m<sup>3</sup> durchgeführt. Die Randbedingungen der Prüfkammeruntersuchung sind in Tabelle 5 aufgelistet. Der Wandaufbau wurde in einer Emissionsprüfkammer mit 1 m<sup>3</sup> Rauminhalt untersucht. Für die Produkte wurden worst-case Szenarien angenommen. D. h. für q wurden Werte eingestellt, die einem maximalen Einsatz der Produkte im Modellraum entsprechen. Als Modellraum wurde ein Raum mit den Abmessungen 4 m x 3 m x 2,7 m (L x B x H) und einem Luftwech-

sel von  $0,5 \text{ h}^{-1}$  angenommen, wie er im AgBB-Schema beschrieben ist. Unter Berücksichtigung einer Türe mit  $1,6 \text{ m}^2$  und eines Fensters mit  $2 \text{ m}^2$  ergeben sich für den Modellraum folgende Flächen, die mit Gipsprodukten ausgebaut werden können:  $34,2 \text{ m}^2$  Wände und je  $12 \text{ m}^2$  Decke oder Boden. Folgende Szenarien können mit diesem Ansatz abgebildet werden:

- Die Wände sind mit Gipsbauprodukten bedeckt. Tür- und Fensterflächen werden nicht berücksichtigt Daraus ergibt sich eine flächenspezifische Lüftungsrate  $q$  von  $0,43 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}\text{]}$ .
- Die Wände sind mit Gipsbauprodukten bedeckt. Tür- und Fensterflächen werden berücksichtigt Daraus ergibt sich eine flächenspezifische Lüftungsrate  $q$  von  $0,47 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}\text{]}$ .
- Die Wände und die Decke sind mit Gipsbauprodukten bedeckt. Tür- und Fensterflächen werden nicht berücksichtigt Daraus ergibt sich eine flächenspezifische Lüftungsrate  $q$  von  $0,33 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}\text{]}$ .
- Die Wände und die Decke sind mit Gipsbauprodukten bedeckt. Tür- und Fensterflächen werden berücksichtigt Daraus ergibt sich eine flächenspezifische Lüftungsrate  $q$  von  $0,35 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}\text{]}$ .
- Die Decke ist mit Gipsbauprodukten belegt. Daraus ergibt sich eine flächenspezifische Lüftungsrate  $q$  von  $1,35 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}\text{]}$ .
- Der Boden ist mit Gipsbauprodukten belegt. Obwohl rechnerisch auch hier  $q$   $1,35 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}\text{]}$  beträgt, wird der vom DIBt in den Zulassungsgrundsätzen zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten in Aufenthaltsräumen [3] festgelegte Wert von  $1,25 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}\text{]}$  herangezogen.
- Für Spachtelmassen kann über die max. Auftragsmenge (in  $\text{[kg m}^{-2}\text{]}$ ) die Raumbeladung und somit  $q$  ermittelt werden.

Die angenommenen Werte für die Kammerbeladung und die flächenspezifischen Lüftungsraten für die einzelnen Materialien sind in Tabelle 6 bis Tabelle 8 wiedergegeben.

Über die Vorgaben des AgBB-Schemas bzw. der DIN EN ISO 16000-9 hinaus wurden der Prüfzeitraum auf 35 Tage verlängert und die Anzahl der Probenahmen auf bis zu 4 (3 d, 7 d, 28 d, 35 d) erhöht. Ziel dieser Erweiterung des Prüfumfanges war es, Hinweise darauf zu erhalten, ob bei Gipsprodukten die Abbruchkriterien wie sie in den Zulassungsgrundsätzen des DIBt für Bodenbeläge niedergelegt sind, angewendet werden können. Mit der Verlängerung des Prüfzeitraums um eine Woche sollte untersucht werden, inwieweit die Phase der „Daueremission“ bereits erreicht ist und ob aus den Produkten schwererflüchtige Verbindungen emittieren, die erst zu einem späteren Zeitpunkt im Prüfkammeruntersuchung nachgewiesen werden können. Die Erweiterung des Prüfumfanges um flüchtige Carbonylverbindungen und flüchtige organische Amine diente dazu, Stoffgruppen zu identifizieren, die ggf. zu Befindlichkeitsstörungen (z. B. Formaldehyd) oder zu unerwünschten Geruchseindrücken (Amine) führen können. Die gaschromatografisch-massenspektrometrische Analytik der auf den Festphasenadsorbern gesammelten Prüfkammerluft wurde um ein Single-Ion-Monitoring-Verfahren erweitert, mit dem Cancerogene mit hoher Sensitivität nachgewiesen werden können. Bei diesem Verfahren müssen die gesuchten Stoffe und ihre massenspektrometrischen Eigenschaften bekannt sein, damit sie zuverlässig detektiert und quantifiziert werden können. Die cancerogenen Stoffe der EU-Kategorien I und II stellen ein dafür geeignetes Kollektiv dar. Probenahme- und Analysenverfahren sind in Tabelle 9 wiedergegeben.

## **Gipsplatten**

Die Randbedingungen für die Prüfkammeruntersuchung von Bauplatten, Feuerschutzplatten und Gipsfaserplatten sind in Tabelle 7 wiedergegeben. Nach dem Auspacken des zur Untersuchung übersandten Plattenstapels wurde eine Platte aus der Mitte entnommen, mit einem Cuttermesser oder einer Säge auf die benötigte Größe zugeschnitten und in die equilibrierte Prüfkammer eingebracht. Die Prüfkammer wurde verschlossen ( $t = 0$ ).

## **Werkmörtel**

Die Randbedingungen für die Prüfkammeruntersuchungen sind in Tabelle 8 wiedergegeben.. Putzgipse, Ansetzbinder, Fugenspachtel und der Fließestrich wurden nach den Angaben des Herstellers angesetzt. Zur Prüfstückherstellung wurden Aluminiumwannen unterschiedlicher Tiefe (Putzgipse und Ansetzbinder 1,5 cm, Fugenspachtel 0,5 cm, Fließestrich 4 cm) mit dem Material gefüllt und abgezogen. Die Prüfstücke wurden in emissionsarmer Umgebung bei Standard-Innenraumbedingungen 7 Tage gelagert und dann in die Prüfkammern eingebracht.

## **Additive und Rohstoffe**

Die pulverförmigen Produkte wurden in Aluminiumwannen gefüllt und die Oberfläche glatt abgezogen. Die gefüllten Aluminiumwannen wurden in die Prüfkammer eingebracht. Bei der Methylcellulose wurde zudem noch ein Drahtgitter aufgelegt, um ein Aufwirbeln der Probe durch die Kammerluft (Anströmgeschwindigkeit 0,1 – 0,3 [ $\text{m s}^{-1}$ ]) zu verhindern. Da sich in diesem Fall keine homogene Oberfläche herstellen lässt, wurden auch die Massen der Prüfstücke bestimmt. So ist es möglich, alternativ zu den flächenspezifischen auch massenspezifische Emissionsraten anzugeben. Die Randbedingungen für die Prüfkammeruntersuchungen sind in Tabelle 9 wiedergegeben.

### **4.2.5 Thermoextraktionsuntersuchungen an Gipsprodukten**

Parallel zur Prüfkammeruntersuchung wurden die Bauprodukte einer Thermoextraktionsuntersuchung unterzogen, um abzuklären, ob die Thermoextraktion als zeitraffendes Kurzzeitverfahren für die Abschätzung des Emissionspotenzials einsetzbar ist. Da es sich bei der Thermoextraktion um ein Verfahren handelt, das für die Untersuchung von Bauprodukten noch nicht genormt ist, konnten die wesentlichen Parameter variiert werden. Die Parameter, die das Ergebnis am stärksten beeinflussen, sind die Extraktionstemperatur, der Startzeitpunkt der Probenahme und die Feuchte der als Extraktionsgas verwendeten synthetischen Luft (Randbedingungen siehe Tabelle 10). Ziel der durchgeführten Thermoextraktionsuntersuchung war, ein mit der Prüfkammeruntersuchung vergleichbares Emissionsbild zu erhalten. Da bei der Prüfkammeruntersuchung die Probenahme nach 3 d und nach 28 d erfolgen, muss die VOC-Emission in der Thermoextraktion beschleunigt werden. Diese Beschleunigung lässt sich durch die Erhöhung der Temperatur erreichen. Die Temperaturerhöhung ist durch die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Probenmaterials begrenzt. Ab 60 °C kommt es beim Gips zum Verlust von Kristallwasser, also zu einer stofflichen Veränderung. Daher müssen tiefere Extraktionstemperaturen gewählt werden. Die Thermoextraktionsuntersuchungen an den Gipsbauprodukten wurden deshalb bei 30 °C und 40 °C durchgeführt.

Der Startzeitpunkt der Probenahme ist ein weiterer wesentlicher Parameter. Beim Einbringen des Prüfstücks in die Mikrokammer oder in den Thermoextraktor ( $t = 0$ ) herrscht noch kein thermisches Gleichgewicht zwischen der temperierten Mikrokammer, dem Extraktionsgas und dem Prüfstück. Zu Beginn des Thermoextraktionsprozesses emittieren bevorzugt an der Oberfläche des Prüfstücks befindliche VOC bzw. VVOC. Erst im weiteren Verlauf der Thermoextraktion kommt es zu einer Freisetzung der Stoffe aus dem Inneren des Prüfstücks. Je nach innerer Struktur des Prüfstücks kann der Transport von VOC aus der Tiefe des Materials in Richtung der an VOC verarmten Oberfläche zum geschwindigkeitsbestimmenden Schritt werden. Bei der Prüfkammeruntersuchung sind bei der ersten Probenahme nach 3 d die an der Oberfläche anhaftenden VOC meist nicht mehr nachweisbar. Daher ist es bei der Thermoextraktion ebenfalls nötig, ein Intervall zu ermitteln, in dem vorrangig diese Stoffe durch den Gasstrom abtransportiert werden, die im Prüfkammeruntersuchung nach 3 d nicht mehr nachweisbar sind. Die Prüfstücke für die Thermoextraktion müssen sehr sorgfältig gehandhabt werden. Aufgrund der kleinen Oberfläche haben z. B. Fingerabdrücke mit Anhaftungen von Nahrungsmittelresten oder Kosmetika einen deutlichen Einfluss auf das Ergebnis der Thermoextraktionsuntersuchung. Diese Verunreinigungen betreffen nur die Oberfläche des Prüfstücks, so dass sie meist in den ersten Minuten der Untersuchung ausgetragen werden. Typisch für Verunreinigungen durch die Handhabung des Prüfstücks sind Emissionen an SVOC, die nur bei einem frühen Startzeitpunkt der Probenahme auftreten.

Soll die Thermoextraktion eingesetzt werden, um Emissionseigenschaften von Produkten unabhängig von der Vergleichbarkeit mit Prüfkammeruntersuchungen zu ermitteln, kann eine Probenahme direkt nach Einbringen der Probe in den Thermoextraktor bzw. die Mikrokammer sinnvoll sein. Bei den durchgeführten Untersuchungen wurden unterschiedliche Szenarien angewandt. Die Probenahmezeitpunkte wurden auf 0 min, 30 min und 60 min festgelegt.

Während der Thermoextraktor der Fa. Gerstel in der vorliegenden Konfiguration nur mit trockenem Extraktionsgas (He) betrieben werden kann, kann die Mikrokammer  $\mu$ -CTE von Markes Int. auch mit befeuchtetem Extraktionsgas betrieben werden. Da davon auszugehen ist, dass bei der Befeuchtung der Luft mit einer schnelleren Freisetzung insbesondere von polaren Stoffen zu rechnen ist, wurden Thermoextraktionsuntersuchungen sowohl mit trockenem als auch mit feuchtem Extraktionsgas durchgeführt. Die Mehrzahl der Thermoextraktionsuntersuchungen wurde mit der Mikrokammer durchgeführt. Während bei der Mikrokammer aufgrund der Geometrie auch bei Proben bis zu einer Materialstärke von 28 mm eine frei emittierende Oberfläche von maximal 15,9 cm<sup>2</sup> erreicht werden kann, ist die Verwendbarkeit des Thermoextraktors TE-2 der Fa. Gerstel aufgrund des Durchmessers des Extraktionsrohres von 13,6 mm und der auf 7,3 cm begrenzten Länge der beheizten Zone stark eingeschränkt. Der Thermoextraktor wurde deshalb nur für die Untersuchung der Methylcellulose (Bild 10) eingesetzt.

## 4.2.6 Untersuchungen zum Trocknungsverhalten von Sackware

Die Bewertungsmaßstäbe für die VOC-Emissionen von Bauprodukten gehen vom frühest möglichen Nutzungszeitpunkt aus. Dieser wird als  $t = 0$  d für die Prüfkammeruntersuchung definiert. Bei Fertigprodukten wie z. B. Gipsplatten, Dämmstoffen, textilen oder elastischen Bodenbelägen ist das der Zeitpunkt, wenn das Produkt frühestens in den Handel gebracht werden kann. Bei Sackware wie Mörteln, Ansetzbinder, Fugen- und Spachtelmassen oder Estrichen wird der Zeitpunkt angenommen, zu dem das Produkt so weit ausgehärtet ist, dass eine weitere Schicht aufgebracht werden kann (z. B. Belagreife beim Estrich) bzw. die Nutzung des Raumes erfolgen kann. Der Zeitpunkt für die Bestimmung der mechanischen Eigenschaften bei Gipsbindern und Gipstrochmörteln [15] ist i. A. beim Erreichen der Gewichtskonstanz gegeben. Daher wurden unterschiedliche Verfahren zur Trocknung von frisch angesetzten Gipsprodukten untersucht. Ziel der Untersuchung war es, den Einfluss des Trocknungsprozesses auf das Emissionsbild des Gipsproduktes in der Thermoextraktion zu charakterisieren. Die drei Trocknungsszenarien lassen sich wie folgt beschreiben:

- Trocknung bis zur Gewichtskonstanz nach [15]: Temperatur 40 °C, regelmäßige Wägung des Probekörpers
- Lagerung bei 23 °C und 50 % r. F. für 7 Tage in emissionsarmer Umgebung, Luftwechsel nicht kontrolliert
- Lagerung bei 40 °C im Trockenschrank für 7 Tage ohne Zwischenwägung

Die entsprechend vorbehandelten Prüfkörper wurden anschließend einer Thermoextraktionsuntersuchung unterzogen.

## 4.3 Ergebnisse

### 4.3.1 Prüfkammeruntersuchungen

Die Untersuchungen auf  $V_{VOC}$ -/ $V_{OC}$ - und  $SVOC$ -Emissionen wurden gemäß der DIN EN ISO 16000-9/-11 durchgeführt. Alle Stoffe mit einer Konzentration  $\geq 1$  [ $\mu\text{g m}^{-3}$  Toluoläquivalent] wurden zur Auswertung herangezogen. Zusätzliche Probenahmezeitpunkte (7 d, 35 d) wurden eingefügt, um den Emissionsverlauf besser beurteilen zu können. Die Messergebnisse zum Probenahmezeitpunkt  $t = 7$  d geben Hinweise darauf, ob das Maximum der Emissionen bereits innerhalb der ersten Tage der Prüfkammeruntersuchung erreicht wird oder ob eine abweichende Emissionscharakteristik des Produkts vorliegt. Die Verlängerung der Prüfkammeruntersuchung auf 35 d ermöglicht Aussagen darüber, ob nach 4 Wochen der quasi-stationäre Zustand erreicht ist, der die Langzeitemissionen eines Produkts widerspiegelt. Das ist insbesondere für die Beurteilung von  $SVOC$ -Emissionen von Bedeutung, da diese im Regelfall im Verlauf des Untersuchungszeitraums ansteigen.

#### Gipsplatten

Die flächenspezifischen Formaldehydemissionsraten bei den Gipsplatten lagen am Tag 3 zwischen 1,68 und 3,30 [ $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ]. Das entspricht Prüfkammerkonzentrationen zwischen 6 und 10 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]. Am Tag 28 betragen die Formaldehydemissionsraten (Tabelle 18) maximal 3,96 [ $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ], am Tag 35 0,84 [ $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ]. Auffällig ist der Anstieg der Formaldehydemission (von 2,64 auf 3,30 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \text{h}^{-1}$ ]) bei der Bauplatte (Tabelle 13) und bei der Feuerschutzplatte



(Tabelle 15) von 2,31 [ $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ] an Tag 3 auf 4,29 [ $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ] an Tag 7. Am Tag 35 waren bei beiden Proben keine Formaldehydemissionen mehr nachweisbar. Die Wandbauplatte (Tabelle 17) wies, wie in Tabelle 18 aufgeführt, keine Formaldehydemissionen auf.

Die VOC-Summenwerte (Details siehe Tabelle 12 bis Tabelle 17) lagen am Tag 3 zwischen 10 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] (E1259-2) und 245 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] (E1419). Sie nahmen durchweg zum Tag 28 hin ab auf Werte kleiner 53 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] (E1165-3). Auffällig ist ein hoher SVOC-Summenwert von 314 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] bei der Wandbauplatte (E1419). Er rührt von einem nicht auftrennbaren Stoffcluster her, der bereits im VOC-Bereich beginnt und bis in den Retentionsbereich der SVOC hineinreicht. Bis zum Tag 28 verringerte sich die SVOC-Summenkonzentration auf 21 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ], am Tag 35 waren keine SVOC mehr nachweisbar. Bei der Bauplatte aus Naturgips (E1259-1) und bei der Wandbauplatte (E1419) konnten geringe Emissionen an flüchtigen organischen Aminen (Tabelle 19) nachgewiesen werden.

Gipsfaserplatten (E1165-3 und E1416-3) desselben Typs und desselben Herstellers wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten untersucht. Die luftchemische Untersuchung ergab neben einer Anzahl von übereinstimmenden Stoffen auch Abweichungen in den nachgewiesenen Stoffkollektiven. So wurden z. B. bei E1416-3 mehrere Diisopropylnaphthalin-Isomere gefunden, die bei der Probe E1165-3 nicht nachgewiesen werden konnten. Diverse längerkettige Alkane und Cycloalkane wiederum konnten nur bei der Probe E1165-3 nachgewiesen werden.

### **Estriche, Putzgipse, Ansetzbinder und Fugenfüller**

Estriche, Putzgipse, Ansetzbinder und Fugenfüller wurden nach der Herstellung eine Woche bei 23 °C, 50 % r. F. in einer emissionsarmen Umgebung gelagert und dann in die Prüfkammern eingebracht. Dieses Vorgehen stellt für die Ansetzbinder und Fugenfüller ein realistisches Szenario, für Putzgipse und Estrich verschärfte Bedingungen dar.

Erwartungsgemäß fanden sich die höchsten Formaldehydemissionen (Tabelle 29) beim Fließestrich mit 189 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] bzw. 140 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]. Sie klangen im Verlauf der Prüfkammeruntersuchung auf 36 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] bzw. 31 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] am Tag 35 ab. Die Kammerkonzentrationen am Tag 28 betragen 38 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] bzw. 20 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]. Fugenspachtel und Ansetzbinder wiesen keine Formaldehydemissionen auf. Die Putzgipse wiesen Formaldehydkonzentrationen in der Prüfkammeruntersuchung von max. 13 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] auf (E1318 an Tag 7). Die Formaldehydkonzentrationen an Tag 28 betragen max. 4 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] (E1156-1).

Die VOC-Summenwerte (Details siehe Tabelle 20 bis Tabelle 28) lagen an Tag 3 zwischen 1 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] (E1318) und 862 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] (E1163-2). 1-Methyl-2-pyrrolidinon (NMP) ist die Komponente mit der höchsten Einzelstoffkonzentration sowohl bei der Erst- als auch bei der Wiederholungsmessung. NMP hat beim Fließestrich E1163-2 am Tag 3 einen Anteil von 49 % an den Gesamtemissionen bzw. 60 % bezogen auf die Emissionen an VOCs. An Tag 35 liegen diese Anteile bei 15 % bzw. 31 %. Der NMP-Anteil bei der Wiederholungsmessung (E1326) liegt bei 20 % bzw. 32 % an Tag 3 und bei 4 % bzw. 13 % an Tag 35. Auch in einer Gipsplatte desselben Herstellers konnten an Tag 3 Spuren (1 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]) von 1-Methyl-2-pyrrolidinon gefunden werden. Die VOC-Summenwerte nahmen am Tag 28 auf Summenkonzentrationen zwischen 0 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] (E1165-4) und 31 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] (E1163-2, E1156-1) ab. Vereinzelt traten messbare SVOC-Konzentrationen auf. Diese lagen in Summe zwischen 1 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] und 10 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]. An Tag 28 waren keine SVOC mehr nachweisbar. Die höchsten Aminkonzentrationen traten bei den Fließestrichen

auf, unter anderem bedingt durch den Gehalt an 1-Methyl-2-pyrrolidinon. Beim Fugenspachtel konnten an Tag 3, beim Leichtmaschinenputzgips an den Tagen 28 und 35 geringe Aminkonzentrationen bestimmt werden. Bei Ansetzbinder (E1165-5), Fugenfüller (E1165-4), Maschinenputzgips für Feuchträume (E115, E1318) konnten keine flüchtigen organischen Amine (Tabelle 30) nachgewiesen werden.

### **Wandaufbauten**

Die Wandaufbauten (E1375-234, E1375-345) wurden sofort nach Fertigstellung in die Prüfkammern eingebracht. Dieses Vorgehen ist geeignet, die heute insbesondere im Gewerbebau übliche Praxis, demnach zwischen Ausbau und Bezug möglichst wenig Zeit verstreichen darf, abzubilden.

Die Formaldehydemissionen (Tabelle 33) beim einfachen Wandaufbau (E1375-234) betragen max. 15 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] am Tag 28 und sanken bis zum Tag 35 auf 2 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]. Bei der Metallständerwand (E1375-345) konnte an Tag 7 die höchste Formaldehydkonzentration (45 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]) in der Prüfkammer gemessen werden. An Tag 28 betrug sie 15 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ], stieg aber zum Tag 35 erneut auf 21 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] an. Während die VVOC-Summenkonzentrationen bei den Gipsplatten und der Sackware in erster Linie durch die Formaldehydemissionen dominiert waren, trägt hier Trimethylsilanol wesentlich zu der VVOC-Summenkonzentration bei. Die Trimethylsilanolkonzentration sank aber stetig von 49 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] an Tag 3 bis auf 5 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] an Tag 35.

Die VOC-Summenkonzentrationen lagen im zeitlichen Verlauf zwischen 41 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] und 10 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] (E1375-234) bzw. 30 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] und 13 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] bei (E1375-345). SVOC konnten nicht nachgewiesen werden (Details siehe Tabelle 31 und Tabelle 32). Die Amin-Summenkonzentrationen lagen bei (E1375-234) zwischen 0,1 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] und 0,2 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] und bei E1375-345 zwischen 0,4 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] und 0,1 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ].

### **Additive und Sekundärrohstoffe**

Ergänzend zu den handelsfertigen Gipsprodukten bzw. den Wandaufbauten wurden Additive und Rohstoffe untersucht. Ein wichtiges Additiv zur Wasserrückhaltung für Putzgipse, Ansetzbinder und Fugenfüller ist Methylcellulose. Wichtige Sekundärrohstoffe sind Gips aus Recyclinganlagen und daraus hergestellter Stuckgips. Stuckgips wird durch thermische Behandlung von Recyclingsgips bei 160 °C gewonnen. Bei Methylcellulose handelt es sich um ein Additiv, das im fertigen Produkt mit einem Gewichtsanteil von ca. 0,5 % enthalten ist. Die Prüfkammeruntersuchungen an diesen Produkten wurden auf 28 Tage begrenzt.

Die Formaldehydemission (Tabelle 37) in die Prüfkammerluft betrug bei Methylcellulose (E1360) am Tag 3 32 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] und nahm bis zum Tag 28 auf 13 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] ab. Es konnten weitere leichtflüchtige Aldehyde und Ketone wie Acetaldehyd, Aceton und Propanal nachgewiesen werden. Die ermittelten Einzelkonzentrationen betragen an Tag 3 max. 3 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]. Bei der Methylcellulose waren die Emissionen von 2-Methoxyethanol (Tabelle 34) dominiert. Als weitere Makrokomponenten wurden Diethylenglycolmonomethylether und Diethylenglycoldimethylether identifiziert. Während die Konzentration von Diethylenglycoldimethylether erwartungsgemäß mit der Zeit abnahm (von 476 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] auf 200 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]), blieb die Konzentration an Diethylenglycolmonomethylether annähernd konstant (271 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] an Tag 3 und 246 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] an Tag 28). Ethylenglycol und Propandiol waren mit Konzentrationen von 39 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] bzw. 7 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] an Tag 3 von untergeordneter Bedeutung. Die SVOC-Summenkonzentration stieg von 56 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] an Tag 3 auf

97 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] an Tag 7 an, sank dann aber wieder ab auf 15 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] an Tag 28. Vier nicht näher identifizierbare Siloxanverbindungen trugen wesentlich zu dieser SVOC-Konzentration bei.

Beim Recyclinggips konnte kein Formaldehyd nachgewiesen werden. An den Tagen 7 und 28 wurden die Formaldehydkonzentrationen beim Stuckgips mit jeweils 2 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] bestimmt. An Tag 3 konnte kein Formaldehyd nachgewiesen werden. Der Stuckgips (E1464) emittierte Acetaldehyd; die Kammerkonzentrationen betragen 42 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ], 7 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] und 1 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]. Außerdem konnten in der Prüfkammerluft Aceton, Propanal, 1-Propanol und Butanal nachgewiesen werden. Da beim Recyclinggips diese Stoffe nicht nachgewiesen werden konnten, kann unterstellt werden, dass sie durch den thermischen Prozess z. B. aus anhaftenden Karton-, Tapeten- oder Farbanteilen gebildet oder freigesetzt wurden. Der Recyclinggips (Tabelle 35) wies nur sehr geringe VOC-Konzentrationen auf, die Summe lag an Tag 3 bei 13 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]. Am Tag 28 waren keine VOC mit Einzelstoffkonzentrationen  $\geq 1$  [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] mehr nachzuweisen. Die SVOC-Summenkonzentration lag an Tag 3 mit 20 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] über der VOC-Summenkonzentration (13 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]). Neben 4 Diisopropyl-naphthalin-Isomeren sind auch hier zwei nicht näher identifizierte Siloxane für die SVOC-Konzentration maßgeblich.

Der Stuckgips aus Recyclinggips wies in der Summe höhere Emissionen (Tabelle 36) auf. Zwar betrug die VOC-Summenkonzentration in der Prüfkammerluft an Tag 3 nur 11 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ], sie stieg jedoch zum Tag 7 auf 233 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] an. Maßgeblich für diesen Anstieg waren die Emissionen von 1-Butanol und von 1,4-Dioxan.

### **Verpackungsmaterial**

Im Rahmen des Vorhabens sollte am Rande auch die Fragestellung abgeklärt werden, inwieweit Emissionen aus Verpackungsmaterial die Emissionseigenschaften des verpackten Produkts beeinflussen. Deshalb wurde ein mehrlagiger Sack wie er für die Verpackung der Putzgipse üblicherweise Verwendung findet, hinsichtlich seiner Emissionen untersucht. Die Prüfkammeruntersuchung wurde auf 7 Tage verkürzt. Bei dieser Untersuchung wurde festgestellt, dass das Verpackungsmaterial sehr emissionsarm ist. Die Summe der VOC-Emissionen (Tabelle 38) betrug an Tag 3 7 [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]. Eine Kontamination von Sackware durch die Verpackung wird daher als sehr unwahrscheinlich angesehen.

## **4.3.2 Thermoextraktionsuntersuchungen**

### **Gipsplatten**

Die Thermoextraktionsuntersuchungen an den Gipsplatten wurden in der Mikrokammer der Fa. Markes durchgeführt. Für die Untersuchung wurden aus den Gipsplatten mit einem Locheisen Prüfstücke mit 45 mm Durchmesser ausgestanzt, in die Mikrokammer eingebracht und bei zwei Temperaturen (30 °C und 40 °C) vermessen. Die Probenahmezeitpunkte wurden gemäß der aktuellen Aufgabenstellung gewählt.

## **Estriche, Putzgipse, Ansetzbinder und Fugenfüller**

Die o. g. Produkte wurden gemäß den Verarbeitungshinweisen der Hersteller angesetzt und in Rohrstücke aus Edelstahl mit einem Innendurchmesser von 3,95 cm und einer Höhe von 2 cm, 1,5 cm bzw. 0,5 cm eingebracht und glatt gezogen. Die Prüfstücke wurden unterschiedlichen Trocknungsprozessen unterworfen und anschließend in der Mikrokammer bei 30 °C und 40 °C vermessen. Auch hier wurden unterschiedliche Probenahmezeitpunkte ausgewählt.

## **Sekundärrohstoffe und Additive**

Zwischen 9 und 11 g RC-Gips wurden in die Mikrokammer eingebracht und bei unterschiedlichen Temperaturen vermessen. Für die Untersuchung der Methylcellulose wurde der Thermoextraktor TE-2 eingesetzt. Ca. 4 g Methylcellulose wurden in das Extraktionsrohr eingebracht und mit Edelstahlsieben an beiden Enden fixiert. Die Thermoextraktion erfolgte mit trockenem He 6.0 als Extraktionsgas bei 30 °C und 40 °C.

### **4.3.3 Gegenüberstellung von Prüfkammer- und Thermoextraktionsuntersuchungen**

Bevor die Ergebnisse von Thermoextraktion und Prüfkammeruntersuchung verglichen werden können und eine Aussage über die Übereinstimmung oder die Nicht-Übereinstimmung getroffen wird, sind Kriterien für die geforderte Übereinstimmung festzulegen. Folgende Übereinstimmungsmerkmale sind denkbar:

- Eine rein optische Übereinstimmung der Chromatogramme von Thermoextraktion und Prüfkammeruntersuchung mit gewissen Schwankungsbreiten.
- Eine Übereinstimmung der Intensitätsverhältnisse der intensivsten Signale zueinander von Thermoextraktion und Prüfkammeruntersuchung. Hierbei sind Schwankungsbreiten zu definieren.
- Stabile Verhältnisse der flächen-/massenspezifischen Emissionsraten der intensivsten charakteristischen Emissionen von Thermoextraktion und Prüfkammeruntersuchung.

Bei der Festlegung der Kriterien sind die wesentlichen Unterschiede in den Randbedingungen zu berücksichtigen. Die flächenspezifischen Lüftungsraten  $q_{EPK}$  ( $0,3 - 1,25 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}\text{]}$ ) und  $q_{TE}$  bis zu  $5 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}\text{]}$  können sich bis um den Faktor 10 unterscheiden. Das führt bei der Thermoextraktion zu einer schnelleren Verarmung an VOC an der Oberfläche. Dadurch werden Transportprozesse im Inneren der Probe für die Emission bestimmend. Überhaupt ist festzuhalten, dass es sich bei der Prüfkammermessung um ein Verfahren handelt, das eine Gasprobenahme aus einem Quasi-Gleichgewichtszustand erlaubt, während es bei der Thermoextraktion aufgrund der hohen flächenspezifischen Lüftungsrate und dem damit verbunden schnellen Abtransport der emittierten Stoffe zu keiner Gleichgewichtseinstellung zwischen Gasphase und Prüfstück kommen kann.

## **Gipsplatten**

Die Bauplatten wiesen in der Prüfkammeruntersuchung nur sehr geringe Emissionen auf; die aus den Kammerkonzentrationen resultierenden flächenspezifischen Emissionsraten sind dementsprechend niedrig. Im Thermoextraktionsexperiment wurden deutlich höhere Emissionsraten gefunden. Bei der Bauplatte aus REA-Gips (E1416-1) ist die Übereinstimmung zwischen den Emissionsbildern unbefriedigend (Bild 11), unabhängig von der Extraktionstemperatur und dem Start-

zeitpunkt der Probenahme. Von den 4 Makrokomponenten in der Prüfkammeruntersuchung konnten nur 2 in der Thermoextraktionsuntersuchung (Bild 12) gefunden werden. Bei der kernimprägnierten Feuerschutzplatte (E1416-2) zeigten die Thermoextraktionsuntersuchungen bei 30 °C unabhängig vom Startzeitpunkt der Probenahme die beste Übereinstimmung. Die höhere Extraktionstemperatur von 40 °C führt zu einer im Vergleich zur Prüfkammeruntersuchung überproportionalen Freisetzung von Trimethylsilanol. Ein direkter Vergleich der flächenspezifischen Emissionsraten ist aufgrund der großen zahlenmäßigen Unterschiede meist nicht zielführend. Betrachtet man jedoch die Anteile der Makrokomponenten an der Gesamtemission, so treten die Ähnlichkeiten in den Vordergrund. Bei der Gipsfaserplatte (E1416-3) stimmen die Verhältnisse der Makrokomponenten zwischen Prüfkammeruntersuchung und Thermoextraktion mit Ausnahme des n-Dodecans gut überein (Bild 16).

### **Estriche, Putzgipse, Ansetzbinder und Fugenfüller**

Beim Handputzgips (E1375-1) nach Trocknung bis zur Gewichtskonstanz dominiert 1,2-Propan-diol das Emissionsbild (Bild 23) sowohl mit befeuchtetem als auch mit trockenem Extraktionsgas. 1,2-Propan-diol kann ansonsten nur noch bei der 7 Tage dauernden Trocknung bei 40 °C mit befeuchteter Luft gefunden werden, und auch dort nur mit einer um ein Vielfaches geringeren flächenspezifischen Emissionsrate.

Beim Fugenfüller (E1163-1) dominiert das Propylenglycol das Emissionsbild (Bild 26) in der Thermoextraktion bei einer Extraktionstemperatur von 40 °C und auch bei 30 °C Extraktionstemperatur und der Trocknung unter leichtem Vakuum bei 25 °C. In der Prüfkammeruntersuchung hingegen konnte Propylenglykol überhaupt nicht nachgewiesen werden.

### **Sekundärrohstoffe und Additive**

Bei der Methylcellulose zeigte sich eine gute Übereinstimmung zwischen Thermoextraktion und Prüfkammeruntersuchung (Bild 21). Die beste Übereinstimmung (Bild 22) zeigten die Emissionsbilder von Prüfkammerexperiment und der Thermoextraktion bei 40 °C und einem Startzeitpunkt von 0'. Beim Recyclinggips besteht die größte Übereinstimmung zwischen der Emissionsprüfkammeruntersuchung (3 d) und der Thermoextraktion bei 30 °C ohne Befeuchtung des Extraktionsgases.

## **4.4 Abgleich mit normativen Anforderungen oder Kriterien für Produktlabels**

Normative Anforderungen für Bauprodukte hinsichtlich Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz existieren derzeit in Deutschland nur für Bodenbeläge in Aufenthaltsräumen, für Sportbodenbeläge und für mit Bioziden behandelte Holzprodukte. Im Rahmen der Normungsaktivitäten des CEN/TC 351 und der Produkt-TCs ist in Zukunft aber von einer Berücksichtigung des ER 3 auch bei anderen Produktgruppen auszugehen. Privatwirtschaftliche oder öffentliche Label hingegen haben bereits für eine Vielzahl von Bauprodukten Kriterien für die Emission von flüchtigen organischen Verbindungen festgelegt. Die in der Prüfkammeruntersuchung ermittelten Ergebnisse werden im Folgenden - soweit möglich - den Kriterien einiger ausgewählter Bewertungsmaßstäbe gegenüber gestellt.

#### 4.4.1 Emissionsprüfung und Anforderung an Bauprodukte in Innenräumen (AgBB-Schema)

Die Prüfkammeruntersuchungen, die der Beurteilung der VOC-Emissionen von Bauprodukten in Innenräumen zugrunde liegen, werden nach internationalen Standards durchgeführt. Die Probenvorbereitung erfolgt nach DIN EN ISO 16000-11. Die wesentlichen Anforderungen hinsichtlich der Emission flüchtiger organischer Verbindungen sind in [2] wiedergegeben und in Tabelle 50 zusammengefasst.

##### Gipsplatten

Alle untersuchten Gipsplatten (Tabelle 51 bis Tabelle 55) erfüllen die Anforderungen des AgBB-Schemas (Stand 2008) für Bauprodukte in Innenräumen. Die Wandbauplatte (Tabelle 55) wies gemäß Tabelle 17 an Tag 3 Benzolemissionen von  $16 \text{ } [\mu\text{g m}^{-3}]$  auf. Die Entscheidungsgrenze laut AgBB-Schema für die Summe an Cancerogenen an Tag 3 liegt bei  $0,01 \text{ } [\text{mg m}^{-3}]$ . Damit würde dieses Muster der Wandbauplatte evtl. die Anforderungen des AgBB-Schemas nicht erfüllen. Auffällig ist jedoch, dass an den folgenden Probenahmezeitpunkten keine Benzolemissionen mehr nachweisbar sind. Dies kann - angesichts des massiven Prüfstücks - als Hinweis auf eine oberflächliche Verunreinigung des Prüfstücks interpretiert werden.

##### Estriche, Putzgipse, Ansetzbinder und Fugenfüller

Die geprüften Gipsprodukte (bis Tabelle 64) erfüllen die Anforderungen des AgBB-Schemas. Vom Maschinenputzgips (E1155 und E1318) wurden 2 Proben untersucht. Während bei der ersten Prüfkammeruntersuchung (E1155) der R-Wert 0,028 betrug, wurde er bei der Wiederholungsmessung (E1318) mit 0,950 berechnet. Dominiert wurden die Emissionen bei der Wiederholungsmessung (Tabelle 27) von 1,2-Propandiol.

##### Wandaufbauten

Beide Wandaufbauten (Tabelle 65 und Tabelle 66) erfüllen die Anforderungen des aktuellen AgBB-Schemas. Die Emissionen zeigten keine Auffälligkeiten.

#### 4.4.2 Emissionsprüfung und Anforderungen nach RAL-UZ

Für Gipsbauprodukte existiert derzeit keine Vergabegrundlage, also weder eine Prüfvorschrift noch ein Anforderungskatalog, für das Umweltzeichen „Blauer Engel“.

#### 4.4.3 Emissionsprüfung und Anforderungen nach GEV-EMICODE

Die Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe, Klebstoffe und Bauprodukte e.V. (GEV) verleiht die Labels „GEV-EMICODE EC1 sehr emissionsarm“ bis „GEV-EMICODE EC3 nicht emissionsarm“. Es existieren Anforderungen an die Produktgruppen Verlegewerkstoffe, Fugendichtstoffe und Oberflächenbehandlungsmittel für Parkett. Der Begriff „Verlegewerkstoffe“ umfasst Bauprodukte, „...die bei der Innenausstattung von Gebäuden überwiegend flächig zur Vorbereitung von Untergründen vor Beschichtungs- oder Klebearbeiten sowie zum Verlegen und Kleben von Boden-, Wand- und Deckenbelägen verwendet oder zur Beschichtung oder Klebung

von (dekorativen) Materialien selbst eingesetzt werden. Dazu gehören z. B. Grundierungen, Spachtelmassen, Werk trockenmörtel, Klebstoffe, Flächenabdichtungen, Unterlagen für Bodenbeläge und keramische Fliesen u. ä.“ [13]. Die Anforderungen an mineralische Produkte mit überwiegend anorganischem Bindemittel (Zement- und Gips spachtelmassen, Fliesen- und Fugenmörtel, mineralische Dichtschlämme) sind in Tabelle 67 zusammengefasst und den Anforderungen der AgBB-Schemas gegenübergestellt.

Die Prüfmethode nach GEV [14] weicht in wesentlichen Punkten von der DIN EN ISO 16000-9/11 ab. Es werden 2 Probenahmezeitpunkte (24 h und 240 h) festgelegt. Zwischen den Probenahmen kann "der Prüfkörper in Lagerkammern mit abweichender Geometrie zwischengelagert werden, wenn die flächenspezifische Luftdurchflussrate und die Luftgeschwindigkeit über dem Prüfling den Bedingungen in der Prüfkammer entsprechen, und wenn das Prüflabor nachweisen kann, dass das Ergebnis der 240-Stunden- (10 Tage-) Prüfung durch diese Zwischenlagerung nicht signifikant beeinflusst wird". Die Kammerbelastung beträgt bei Produkten, die flächig angewandt werden,  $0,4 \text{ [m}^2 \text{ m}^{-3}]$  bei einem Luftwechsel von  $0,5 \text{ [h}^{-1}]$ ; die flächenspezifische Lüftungsrate  $1,25 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}]$ , unabhängig vom Einsatzbereich (z. B. Wand, Decke, Boden) des Produkts. Die Probenahme auf cancerogene Stoffe beginnt 24 h nach Herstellung des Prüfstücks. Bei Produkten mit hohem Wassergehalt wie bei mineralischen Bindemitteln wird die erste Probenahme wegen der zu erwartenden hohen Luftfeuchte in der Prüfkammer 72 h nach Herstellung des Prüfstücks begonnen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde die Prüfkammeruntersuchungen unter den Randbedingungen gemäß DIN EN ISO 16000-9 bzw. des AgBB-Schemas durchgeführt. D. h.

- Die Probenahmezeitpunkte (3 d, 28 d) stimmen nicht mit den Vorgaben nach GEV-EMICODE überein. Startzeitpunkt  $t = 0$  für die Prüfkammeruntersuchung ist der Zeitpunkt des Einbringens des Prüfstücks in die Prüfkammer.
- Die flächenspezifische Lüftungsrate  $q$  wird vom Einsatzszenario des Bauprodukts abhängig gemacht.
- Putzgipse, Ansetzbinder und Fugenfüller/-spachtel wurden vor dem Einbringen in die Prüfkammer vorkonditioniert.

In Tabelle 12 bis Tabelle 28 sind die errechneten Werte für eine Bewertung nach GEV-EMICODE eingetragen. Aufgrund der unterschiedlichen Probenahmezeitpunkte ist eine Bewertung nicht möglich, da von der beim Probenahmezeitpunkt  $t_1 = 72 \text{ h}$  ermittelten Konzentration nicht auf die Kammerkonzentration bei  $t_1 = 24 \text{ h}$  zurückgerechnet werden kann. Wenn beim Probenahmezeitpunkt  $t_2 = 7 \text{ d}$  VOC-Konzentrationen ermittelt werden, die unter den für  $t_2 = 240 \text{ h}$  zulässigen Werten liegen, kann im Allgemeinen davon ausgegangen werden, dass das Produkt diesbezüglich den Anforderungen nach GEV-EMICODE genügt. Liegen Hinweise auf SVOC-Emissionen vor, so muss berücksichtigt werden, dass diese oft im weiteren Verlauf der Prüfkammeruntersuchung noch ansteigen. Aufgrund dieser Unsicherheiten wird im Rahmen dieses Vorhabens auf eine explizite Beurteilung nach GEV-EMICODE verzichtet.

#### **4.4.4 Anforderungen nach DGNB**

Im Rahmen des Zertifizierungssystems des DGNB für nachhaltiges Bauen sind derzeit noch keine expliziten Kriterien für die eingebauten Bauprodukte vorgesehen. Es findet sich im Kriteriensteckbrief 20, in dem auch die Innenraumhygiene adressiert wird, ein Verweis auf emissionsarme Bauprodukte (AgBB-Schema, Blauer Engel). Die innenraumhygienische Situation im fertig gestellten Raum, bewertet anhand der Richtwerte I und II) für die Innenraumluft [25] und der Formaldehydkonzentration in der Raumlufte, wird für die Bewertung herangezogen.

#### **4.5 Zusammenfassung**

Die untersuchten Gipsprodukte wiesen im Allgemeinen zu vernachlässigende VOC-Emissionen unterhalb normativer Anforderungen bzw. Kriterien für Produktlabels auf. Dies gilt auch für die gemessenen Prüfkammerkonzentrationen an 1-Methyl-2-pyrrolidinon aus dem Fließestrich, die an Tag 3 mit bis zu 60 % zu den VOC-Emissionen beitragen und an Tag 35 noch 13 % betragen. Angesichts der deutlich unterschiedlichen Ergebnissen der Prüfkammeruntersuchungen am Maschinenputz für Feuchträume (R-Wert bei der Erstmessung 0,028 und bei der Wiederholungsmessung bei 0,95) sollte sichergestellt werden, dass diese nicht aus Streuungen in der Produktion resultieren. Gipsplatten, Gipsfaserplatten, Ansetzbinder, Fugenfüller und -spachtel, sowie die Hand- und Maschinenputzgipse sind vom Emissionsgesichtspunkt her als unauffällig zu bezeichnen.

Die Thermoextraktion ist für die Emissionsprüfung von Gipsprodukten aufgrund der geringen Emissionen aus den Produkten nur bedingt geeignet. Insbesondere bei Produkten, die angesetzt werden und vor der Untersuchung getrocknet werden müssen, weichen die Emissionsbilder von Thermoextraktion und Prüfkammeruntersuchung oft deutlich voneinander ab. Die Ergebnisse für den Recyclinggips und die Methylcellulose zeigen jedoch deutlich das Potenzial der Thermoextraktion im Produktionsprozess, nämlich zur Überprüfung von Rohstoffen und Additiven.

### **5 Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)**

#### **5.1 Voraussichtliche Nutzung der erzielten Forschungsergebnisse**

Die Ergebnisse der Untersuchungen können in der Produktentwicklung und bei der Schadensfallbearbeitung eingesetzt werden. Insbesondere die Thermoextraktion. Ist für die Beurteilung von Rohstoffen und Additiven geeignet.

Im Rahmen des Vorhabens sollte eine Datenlage bezüglich der Materialemission von Gipsbauprodukten für den Innenraum geschaffen werden, die eine Einordnung der Gipsprodukte in die Kategorien WT oder WFT zulässt. Mit der angestrebten Verbreiterung der Datenbasis wird den am Projekt teilnehmenden Unternehmen die Möglichkeit gegeben, eine entsprechende Einstufung ihrer Produkte ohne aufwändige Einzeluntersuchung zu erreichen. Bei Produktneuentwicklungen bzw. -änderungen kann mit Hilfe des zu entwickelnden Kurzzeitverfahrens gezeigt werden, dass sich die Emissionseigenschaften des neuen Materials nicht so verändert haben, dass ein



28-tägiges Prüfkammeruntersuchung durchgeführt werden und eine neue Beurteilung des Produkts bezüglich der Klassifizierung durchgeführt muss. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass gleichzeitig mit der Zulassungseignungsprüfung eine Thermoextraktionsuntersuchung durchgeführt wurde.

## **5.2 Möglicher Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der KMU**

Die zu schaffende Datenbasis ermöglicht die schnelle Einstufung der Gipsprodukte als WT oder WFT. Die Hersteller von Produkten, die im Verlauf des Forschungsvorhabens auffällig waren, erhalten die Möglichkeit, ihre Produkte entsprechend zu optimieren bevor sie zur Klassifizierung gelangen. Zur Überprüfung der Wirksamkeit von Produktmodifikationen bietet sich das zu entwickelnde Kurzzeitverfahren an, reduziert es doch deutlich die Kosten und den Zeitaufwand im Vergleich mit einer Prüfkammeruntersuchung nach AgBB. Es entstand somit eine wesentliche Datengrundlage, die von einem kmU nicht alleine geschaffen werden kann.

## **5.3 Beabsichtigter Transfer der angestrebten Forschungsergebnisse**

Die Forschungsergebnisse fanden Eingang in die EPD für Gipsprodukte. Teile der Ergebnisse wurden bereits im Jahr 2008 im Rahmen einer Vortragsveranstaltung präsentiert. Eine Veröffentlichung in der Zeitschrift Bausphysik ist im Manuskriptstadium, eine weitere Veröffentlichung in einem anwenderbezogenen Publikationsorgan ist in Vorbereitung. Die Ergebnisse werden auf einem Poster auf der Tagung der Fachgruppe Bauchemie der GDCh im Oktober 2010 präsentiert und im zugehörigen Tagungsband veröffentlicht.

## **6 Durchführende Forschungsstelle**

Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Fraunhoferstraße 10  
83626 Valley  
Tel. 08024/643-0  
Fax. 08024/643-336

Leiter der Forschungsstelle: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer  
Projektleiter: Dipl.-Chem. Christian Scherer