

# Emissionsverhalten von Grobspanplatten (OSB) und Spanplatten in Innenräumen

**T 3377**

T 3377

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2020

ISBN 978-3-7388-0590-1

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

Göttingen, 21.10.2020  
Frankfurt, 21.10.2020

## **Abschlussbericht**

### **Forschungsvorhaben DIBt**

**Geschäftszeichen P 52-5-20.105-2063/20**

**Titel „Emissionsverhalten von Grobspanplatten (OSB) und Spanplatten in Innenräumen“  
(OSB/Span\_VOC)**

### **Dr. Heidrun Hofmann, Sc. Agr.**

BREMER UMWELTINSTITUT

Gesellschaft für Schadstoffanalytik und Begutachtung mbH

Niederlassung Göttingen, Akazienweg 56 A, 37083 Göttingen

Tel.: 0421 76665

Fax : 0421 71404

E-mail: [hofmann@bremer-umweltinstitut.de](mailto:hofmann@bremer-umweltinstitut.de)

Internet: [www.bremer-umweltinstitut.de](http://www.bremer-umweltinstitut.de)

**und**

### **Dr. Wigbert Maraun, Dipl.-Chem.**

Sachverständigenbüro Dr. Wigbert Maraun,

öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Geruchsbelastungen und Schadstoffe in Innenräumen

Kurmarkstr. 6a, 60437 Frankfurt

Tel.: 06171-71817

E-Mail: [dr.wmaraun@online.de](mailto:dr.wmaraun@online.de)

## Inhalt

<b>Inhalt</b> .....	1
1. Einleitung .....	3
2. Regulierungskonzepte .....	4
2.1 AgBB-Schema .....	4
2.2 Bewertung von Raumluft .....	5
2.3 Charakterisierung und Analytik flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) .....	11
2.4 Bewertung von Bauprodukten in Bezug auf die Raumluftqualität .....	13
2.5 Zusammenfassendes Fazit für Kapitel 2: .....	15
3. VOC-Emissionsverhalten von Grobspanplatten (OSB) und Spanplatten .....	16
3.1 Chemische Charakterisierung von Holzinhaltstoffen.....	16
3.2 VOC-Emissionen aus Holzwerkstoffen .....	17
3.3 Emissionsdaten aus eigenen Untersuchungen .....	19
3.3.1 OSB .....	20
3.3.2 Kunstharzgebundene Spanplatten .....	25
3.4 Zusammenfassendes Fazit für Kapitel 3: .....	25
4. VOC-Immissionen in Innenräumen mit Grobspanplatten (OSB) und Spanplatten sowie ggfs. weiteren Holzwerkstoffen .....	26
4.1 Übliche Verwendung von OSB und Spanplatten in Innenräumen .....	26
4.1.1 OSB .....	27
4.1.2 Spanplatte.....	28
4.2 VOC-Raumluftmessungen in älteren Fertighäusern und modernen Holzständergebäuden (Literatúrauswertung und Fallbeispiele).....	30
4.2.1 Auswertung der (Arbeitsgemeinschaft ökologische Forschungsinstitute) AGÖF-Daten...	30
4.3 Temperaturabhängigkeit / Jahresgang der Holzwerkstoff-basierten Immissionen (Formaldehyd, Carbonsäuren).....	33
4.3.1 Formaldehyd in älteren Holzständergebäuden („Fertighäusern“) .....	33
4.3.2 Essigsäure in älteren Holzständergebäuden („Fertighäusern“) .....	35
4.3.3 Ameisensäure in älteren Holzständergebäuden („Fertighäusern“) .....	35
4.3.4 VOC-Belastung in neuen energieeffizienten Gebäuden .....	37
4.4 Wirksamkeit einer Abschottung von Emissionen durch Spanplatten .....	37
4.5 Schadensfälle .....	38
4.5.1 Neubau Kinderkrippe .....	38
4.5.2 Aufstockung Schulneubau .....	41
4.5.3 Anbau Schule .....	43
4.5.4 Aufstockung Wohnhaus.....	46
4.5.5 Neuerrichtung Bürgerhaus .....	54
4.6 Einfluss der Raumlüftung .....	59
4.7 Zusammenfassendes Fazit für Kapitel 4: .....	61
5. Vergleich der Emissionsdaten (Prüfraum) mit Immissionsdaten (Realraum) .....	62
5.1 Übertragbarkeit der Emissionsdaten auf den Realraum .....	62
5.2 Bewertung der mittelfristigen und langfristigen Exposition der Raumnutzer .....	63
5.3 Emissionsprüfungen als Grundlage zur Vermeidung von Schadensfällen .....	63
5.4 Angaben zu Beschwerden (Reizung, Geruch) in Schadensfällen .....	64
5.4.1 Fallbeispiel: Schulneubau - Mensa.....	65
5.4.2 Sensorische Prüfung von Holzwerkstoffen im Realraum durch Geruchsprüfer .....	66
5.5 Zusammenfassendes Fazit für Kapitel 5 .....	68

6. Bewertung der Thesen im Gutachten MARUTZKY Nr. 02-01.2020 vom 10.06.2020 zu Höhe, Dauer, Relevanz und Vorkommen von OSB-Emissionen .....	69
6.1 Kap. 3: Betroffene Holzprodukte (S. 6 ff) .....	69
6.2 Kap. 4: Grundlagen der Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich des Gesundheitsschutzes (ABG).....	69
6.3 Kap. 5 Zusammensetzung von OSB und Spanplatten und mögliche Emissionen .....	70
6.4 Kap. 6 Kenntnisse zum zeitlichen Verlauf der VOC-Emissionen von OSB und Spanplatten	71
6.5 Kap. 7.2 Übertragbarkeit von Konzentrationswerten gemessen in der Emissionsprüfkammer auf den Referenzraum: .....	73
6.6 Kap. 7.4 Einbausituation und Wechselwirkung mit anderen Baustoffen.....	74
6.7 Kap. 9 Toxikologische Relevanz der VOC-Emissionen von OSB und Spanplatten in der Praxis: 76	
6.8 Kap. 9.2 Untersuchungen in Holzgebäuden und von Holzwerkstoffen .....	77
6.9 Kap. 12 Fazit.....	78
7. Fazit .....	82
8. Aufgabenstellung und Ergebnis .....	84
9. Zusammenfassung .....	87
10. Summary .....	102
11. Kurzfassung .....	116
12. Short Summary .....	117
13. Verzeichnisse .....	118
13.1 Verwendete Literatur .....	118
13.2 Tabellen .....	124
13.3 Abbildungen.....	125
13.4 Verwendete Abkürzungen .....	126

## 1. Einleitung

Der Gesundheitsschutz zählt zu den in den Landesbauordnungen verankerten Anforderungen an bauliche Anlagen. Die Konkretisierung der Anforderungen erfolgt in den jeweiligen Verwaltungsvorschriften Technische Baubestimmungen der Länder (VV TB). Diese enthalten in ihrem jeweiligen Anhang 8 „Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich des Gesundheitsschutzes (ABG)“.

In mehreren Normenkontrollverfahren erheben einzelne Hersteller von Grobspanplatten (OSB) und (kunstharzgebundenen) Spanplatten Bedenken gegen die ABG und das hier verankerte Regelungskonzept zur Beschränkung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compounds - VOC). Insbesondere werde das Emissionsverhalten von OSB- und Spanplatten bezogen auf reale Räume und die zeitliche Verteilung der Emissionen anhand der vorgesehenen Prüfkammertests schlechter abgebildet, als dies den Tatsachen entspreche.

Anhand einer Recherche sowie beim Auftragnehmer vorhandener Daten und Erkenntnisse soll untersucht werden, ob die gegen das Prüfverfahren und zum Emissionsverhalten insbesondere von OSB- und Spanplatten vorgebrachten Einwände gegen die ABG fachlich begründet sind und dementsprechend eine Anpassung der ABG geboten wäre. Hierzu sollen insbesondere die Verwendung von OSB- und Spanplatten in Aufenthaltsräumen, das VOC-Emissionsverhalten, einschließlich des Abklingverhaltens und die Innenraumkonzentrationen in Gebäuden mit Verwendung von OSB/Spanplatten untersucht und dargestellt werden. Zusammensetzung, Höhe, Dauer und Relevanz von VOC-Emissionen aus OSB- und Spanplatten sollen hierbei abgebildet werden.

Behandelt werden zudem die in den relevanten Schriftsätzen und Gutachten aufgeworfenen Fragen zum Emissionsverhalten und zu dessen Analyse.

Das Vorhaben zielt darauf ab:

- den Stand der Wissenschaft und Technik zur Charakterisierung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten, insbesondere aus OSB- und Spanplatten, einschließlich VOC-Emissionsverhalten und Abklingverhalten (Produkt- und Gebäudemessungen, Schadensfälle) darzustellen,
- relevante Emissionen und Faktoren, die das Emissionsverhalten beeinflussen, darzulegen,
- die Verwendung von OSB- und Spanplatten in Gebäuden (übliche Verwendung, Verwendung in Schadensfällen) inkl. Wirkungen von Beschichtungen und Wechselwirkungen mit anderen Bauprodukten zu beschreiben und zu erläutern, ob und inwiefern bestimmungsgemäße oder übliche Verwendungen von OSB- oder Spanplatten zu einer langanhaltenden Erhöhung von VOC-Werten in Innenräumen (Immission) führen können,
- Ergebnisse aus Prüfkammertests (Referenzraum) mit Daten aus realen Räumen zu vergleichen (mittel- und langfristiges Emissionsverhalten),
- Angaben zu Beschwerden und Symptomen in Schadensfällen aufzuführen.

Hierzu werden Literaturliteraturauswertungen und die Ergebnisse eigener Untersuchungen (Prüfkammer und Realräume) herangezogen.

## **2. Regulierungskonzepte**

In diesem Kapitel wird zunächst das AgBB-Schema insbesondere in Bezug auf die Aspekte, die aufgrund der vorgebrachten Einwände relevant sind, beschrieben. Anschließend werden Bewertungsgrundlagen für die Beurteilung der Raumluft dargestellt und Angaben zu Definition sowie Probenahme und Analytik von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) ergänzt. Schließlich wird das AgBB-Schema in seiner Bedeutung für die Bewertung der Eignung von Bauprodukten für die Anwendung in Innenräumen beschrieben.

### **2.1 AgBB-Schema**

Der Anhang 8 „Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich des Gesundheitsschutzes (ABG)“ der MVV TB konkretisiert gesundheitsbezogene Anforderungen an bauliche Anlagen durch die Benennung von Anforderungen an Inhaltsstoffe und an die Freisetzung schädlicher Stoffe von Bauprodukten (MVV TB 2017 / 1, MVV TB 2019 / 1). Die Grundlage dafür ist das Prüf- und Bewertungsschema des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (kurz AgBB-Schema) (AgBB 2018).

Das AgBB-Schema ermöglicht eine einheitliche gesundheitsbezogene Prüfung und Bewertung von Bauprodukten hinsichtlich der Eignung für eine Verwendung im Innenraum. Neben Anforderungen an die Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen werden auch Anforderungen an die Zusammensetzung und Empfehlungen für den Geruch formuliert, um Gesundheitsgefahren und unzumutbare Belästigungen aufgrund dieser Emissionen auszuschließen. Mit der Aktualisierung des AgBB-Schemas im August 2018 wurde die europäisch harmonisierte Prüfnorm DIN EN 16516:2018-01 als Prüfmethode festgelegt. Für die Prüfung der Emission von Gerüchen empfiehlt das AgBB-Schema die Durchführung einer Geruchsprüfung gemäß DIN ISO 16000:28 sowie VDI 4302 Blatt 1. Für die empfundene Intensität wird ein Beurteilungsmaßstab von 7 pi genannt.

Emissionsprüfungen sind von großer Bedeutung für die Produkt- und Raumluftqualität und stellen ein wichtiges Instrument für die Bauproduktauswahl dar. Emissionseigenschaften können unter Bezugnahme auf eine standardisierte Prüfung konkretisiert und als Zielvorgabe in Ausschreibungstexten genannt werden. Emissionsprüfungen nach dem AgBB-Schema stellen die Grundlage für die Innenraumbewertung mehrerer Label (Blauer Engel, natureplus, emicode) dar.

Seit der Einführung des AgBB-Schemas 2001 (AgBB 2000, UBA 2001) hat die Überprüfung der Eignung für den Innenraum zu einer deutlichen Verbesserung der Produkte in vielen Produktbereichen geführt. Positive Beispiele können für zahlreiche Produktgruppen dargestellt werden, wie z.B. Fußbodenbeschichtungen (kunstharzgebundene Estriche), Brandschutzbeschichtungen, Parkettbeschichtungen und PVC-Bodenbeläge.

Das Schema wurde in der Vergangenheit etwa alle 2 Jahre aktualisiert. Das hier zugrunde liegende Konzept stellt somit kein starres System dar, sondern unterliegt einem kontinuierlichen Überarbeitungsprozess unter Beteiligung aller relevanter Kreise, die insbesondere auch Hersteller und Prüflabore umfassen. Die mittels NIK-Werten (NIK = niedrigste interessierende Konzentration) bewertbaren Stoffe werden kontinuierlich überprüft und dem Stand der Kenntnis angepasst, ggf. erweitert, auch dies im Rahmen einer europäischen Harmonisierung. Zudem werden auch die Prüfbedingungen für einzelne Produktgruppen gemeinsam mit Herstellern und Prüflaboren abgestimmt, um eine möglichst realitätsnahe Vorgehensweise für die Kammerprüfungen festlegen zu können (z.B. Vorgehensweise bei der Prüfung von Brandschutzbeschichtungen, Dauer der Vorkonditionierung).

Im Einzelnen werden Anforderungen für folgende Kennwerte formuliert:

Kanzerogene EU Kat. 1A/B (nach 3 und 7 oder 28 Tagen), TVOC (nach 3 und 7 oder 28 Tagen), R-Wert, Summe ohne NIK, TSVOC.

Der R-Wert stellt im Rahmen des Bewertungskonzeptes die zentrale gesundheitsbezogene Kenngröße dar, die aus der Addition der Verhältnisse zwischen Konzentration eines Stoffs in der Prüfkammer und NIK-Wert gebildet wird. Toxikologische Ableitungen beruhen auf Einzelstoffbewertungen. Die Exposition gegenüber flüchtigen organischen Verbindungen in einem Innenraum stellt immer eine Exposition gegenüber einem komplexen Stoffgemisch dar. Eine toxikologische Bewertung aller denkbaren Stoffgemische ist praktisch nicht möglich und in Ansehung der schier unermesslichen Variationsmöglichkeiten von Stoffen und ihren Konzentrationen auch nicht sinnvoll. Die Addition der Verhältnisse (Kammerluftkonzentration zu NIK-Wert) dient dazu, näherungsweise eine gesundheitsbezogene Bewertung mehrerer, gleichzeitig freigesetzter Stoffe durchführen zu können. Hierbei wird eine additive Wirkweise der Einzelstoffe angenommen. Gegenüber dem wahrscheinlicheren Fall einer (multiplikativen) gegenseitigen Wirkungsverstärkung der freigesetzten Stoffe stellt die Addition also einen eher unterschätzenden Ansatz dar. Die mögliche Komplexität eines Gemischs entzieht sich der Beurteilung. Besondere Bedeutung kommt auch der Bewertung von mutagenen und reproduktionstoxischen Stoffen mittels NIK-Werten zu.

Im Vergleich zu anderen Bewertungssystemen ist hervorzuheben, dass Stoffe (außer Kanzerogene) erst ab einer Berücksichtigungsgrenze von  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bewertet werden und aufgrund der Formulierung der Anforderungswerte Rundungsregeln zu beachten sind. So gilt beispielsweise ein R-Wert im Sinne der Anforderung  $\leq 1$  als eingehalten, wenn der berechnete R-Wert 1,49 erreicht. Faktisch wird also keine strenge Additivitätsregel angewandt, die einem Wert von 1,0 entspräche. Für weitere nicht identifizierte Aliphaten, Terpene und Alkohole werden in der NIK-Liste Summen-NIK-Werte genannt. Die NIK-Werte ermöglichen so deren Bewertung. Diese Stoffe zählen dann nicht zur Summe ohne NIK. Die Quantifizierung von weiteren, nicht identifizierten oder in Unterkategorien eingeordnete Verbindungen erfolgt als Toluoläquivalent. In den meisten Fällen bedeutet die Quantifizierung mittels Toluol eine Unterschätzung gegenüber einer substanzspezifisch quantifizierten Konzentration. Während die höheren Aliphaten ( $\text{C}_{17}$  bis  $\text{C}_{22}$ ) mittels NIK-Wert sowohl in den R-Wert als auch in den TVOC einfließen, werden die VVOC, wie z.B. Formaldehyd und Acetaldehyd mit ihrem NIK-Wert über den R-Wert bewertet und gehen nicht in den TVOC ein.

Gemäß Anhang 8 ABG Kapitel 2.2.3 „Anforderungen an den Gehalt und die Freisetzung weiterer Stoffe“ kann sich aus der chemischen Zusammensetzung von Produkten die Freisetzung von weiteren gesundheitlich relevanten Stoffen ableiten. In diesen Fällen soll ausgeschlossen werden, dass durch die Verwendung eine schädliche Wirkung auf die Gesundheit des Menschen entsteht.

In Bezug auf Holzwerkstoffe wäre hieraus ein weiterer Prüf- und Bewertungsbedarf u.a. für Ameisensäure abzuleiten.

Gemäß aktueller NIK-Bearbeitungsliste wird die Aufnahme weiterer VVOC wie die der Ameisensäure in das AgBB-Bewertungsverfahren zurzeit diskutiert. (UBA 2018)

## **2.2 Bewertung von Raumluft**

Schutzziel des politischen Handelns ist der Schutz der menschlichen Gesundheit zur Erfüllung des grundgesetzlichen individuellen Rechtes auf körperliche Unversehrtheit.

Nach der Verfassung der Weltgesundheitsorganisation, unterzeichnet am 22. Juli 1946, ist „Gesundheit ein Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlergehens und nicht nur das Fehlen von Krankheit oder Gebrechen.“



Für den Lebensbereich „Innenraum“ kann eine gesundheitliche Auswirkung durch das Auftreten von „Schadstoffen“ bestehen.

Der Ausschuss für Innenraumrichtwerte legt zur Beurteilung von Verunreinigungen der Luft in Innenräumen zwei gestufte Richtwerte fest. Entsprechend den bauordnungsrechtlichen Anforderungen leitet die Arbeitsgruppe bei der Festsetzung von Richtwerten für die Innenraumluft einen Konzentrationswert ab, ab dem Schäden für die menschliche Gesundheit bei empfindlichen Raumnutzern nicht mit hinreichender Wahrscheinlichkeit auszuschließen sind. Diese Konzentration wird als Richtwert II (RW II) oder „Gefahrenwert“ bezeichnet und wie folgt definiert (Ad-hoc-AG 2012):

### **Richtwert II (RW II)**

„Der Richtwert II ist ein wirkungsbezogener, begründeter Wert, der sich auf die toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einführung von Extrapolationsfaktoren stützt.

Der Richtwert II stellt die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft dar, bei deren Erreichen bzw. Überschreiten unverzüglich Handlungsbedarf besteht, da diese Konzentration geeignet ist, insbesondere bei Daueraufenthalt in den Räumen die Gesundheit empfindlicher Personen einschließlich Kindern zu gefährden.

Der Handlungsbedarf ist als unverzüglicher Prüfbedarf zu verstehen, z. B. im Hinblick auf Sanierungsentscheidungen zur Verringerung der Exposition. Eine Empfehlung zur Schließung von Räumen kann daher notwendig sein.

Die Anwendung von Richtwerten als Vergleichsmaßstab setzt die Durchführung einer Messung unter üblichen Nutzungsbedingungen voraus. Für eine wohnähnliche Nutzung ist dies der Zustand eines mehrstündig bzw. über Nacht ungelüfteten Raumes. Die Feststellung der Überschreitung des Richtwertes II sollte umgehend mit einer Kontrollmessung abgesichert werden. Im Einzelfall kann – soweit möglich und sinnvoll - eine Bestimmung der internen Belastung der Raumnutzer erfolgen.“

### **Richtwert I (RW I):**

„Der Richtwert I ist die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Kenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition von empfindlichen Personen keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind. Eine Überschreitung ist mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, hygienisch unerwünschten Belastung verbunden. Aus Vorsorgegründen besteht auch im Konzentrationsbereich zwischen RW I und RW II Handlungsbedarf. Der RW I kann als Sanierungszielwert dienen. Er soll nicht ausgeschöpft, sondern nach Möglichkeit unterschritten werden“ (Ad-hoc-AG 2012)

Im Bereich zwischen RW II und RW I wird keine unmittelbare Gefährdung der Gesundheit erwartet. Da es allerdings im Zusammenhang mit Gerüchen auch zu Befindlichkeitsstörungen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen kann, werden weitere Maßnahmen, die zunächst z.B. aus einer Intensivierung der Lüftung bestehen können, zur Senkung der Belastung empfohlen. Führen diese Maßnahmen nicht zu einer Absenkung, werden weitere ggfs. auch bauliche Maßnahmen empfohlen, da über längere Zeiträume (> 12 Monate) bestehende Belastungen aus Vorsorgegründen nicht akzeptabel sind. Belästigende Gerüche werden im Allgemeinen nicht als Gefahr für die Gesundheit angesehen. Sie können allerdings im Sinne des Baurechts bei wiederholtem oder längerfristigem Auftreten eine unzumutbare Belästigung darstellen. (Ad-hoc-AG 2007)

Um den Ausschluss von Gesundheitsgefahren und unzumutbaren Belästigungen annähernd sicher zu erreichen, sollten die Raumluftkonzentrationen chemischer Stoffe nicht nur den Richtwert RW II unter-

schreiten, sondern langfristig auch den Richtwert RW I. Nur dann kann eine sichere Nutzung des Innenraumes nicht nur für gesunde Erwachsene, sondern auch für empfindliche Personen erwartet werden.

Der Ausschuss für Innenraumrichtwerte beim Umweltbundesamt (AIR), vormals Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden, hat zwischenzeitlich für eine Reihe von Substanzen in der Raumluft Innenraumrichtwerte RW II und RW I abgeleitet.

In der „Bekanntmachung des Umweltbundesamtes: Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas; Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden“ aus dem Jahr 2012 wird zum Ableitungsschema ausgeführt (Ad-hoc-AG 2012):

„Die Ableitung des Richtwertes RW II erfolgt in folgenden Schritten: 1. Auswahl der Ausgangsstudie und des Ausgangspunktes, 2. Zeitanpassung hinsichtlich der Studiendauer (subakut – subchronisch – chronisch) und 3. der Expositionsdauer (Stunden pro Tag und Tage pro Woche), 4. Berücksichtigung der Interspeziesvariabilität mit allometrischen, toxikokinetischen und toxikodynamischen Faktoren, 5. Berücksichtigung von empfindlichen Individuen durch Faktoren zur Intraspeziesvariabilität (Toxikokinetik und –dynamik) und 6. von physiologischen Unterschieden (z. B. Kinderfaktor), einschließlich 7. einer Bewertung der Datenqualität. Die Güte der Ausgangsstudie wird anhand der von Klimisch et al. (1997) vorgeschlagenen Kriterien bewertet. Die Extrapolationsfaktoren wurden an die jüngsten Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (Innenraumluftqualitätsleitwerte 2010) und an das Leitdokument R8 der Europäischen Chemikalienagentur angepasst. Der Richtwert I wird aus dem Richtwert II durch Verwendung eines zusätzlichen Faktors (üblicherweise 10) abgeleitet, kann aber beim Fehlen einer belastbaren LOAEC auch von einer NOAEC abgeleitet werden.“

Damit wird über den toxikologisch abgeleiteten und begründeten RW II durch Einfügen eines „zusätzlichen Faktors von 10“ (richtig: 1/10) der RW I erhalten.

Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die Raumluft eine Vielzahl von unterschiedlichen Substanzen enthält, die nur zum Teil anhand von Richtwerten bewertet werden können, hat die Ad-hoc-AG ein in der Bewertungshierarchie der Bewertung mit Hilfe der toxikologisch begründeten Richtwerte, nachrangiges TVOC-Konzept für die hygienische Beurteilung der Raumluft vorgelegt. Das fünfstufige Konzept basiert auf dem TVOC-Konzept von Seifert (1999).

Der TVOC (total volatile organic compounds) als rechnerische Summe der Konzentrationen von Einzelverbindungen umfasst sowohl die einzelstofflich erfassten Substanzen über eine jeweilige substanzspezifische Kalibrationskurve als auch die Gehalte nicht identifizierter oder identifizierter, jedoch nicht kalibrierter Substanzen, die ihrer gaschromatographischen Signalintensität nach über das Verhältnis der Toluolkonzentration als Toluol-Äquivalente (als semi-quantitative Messgröße) ermittelt werden. Der TVOC ist somit die Summe der direkt quantifizierten und die der halb-quantitativ ermittelten Substanzkonzentrationen.

Unter der Voraussetzung, dass die toxikologisch begründeten Richtwerte von Einzelstoffen nicht überschritten werden, gilt:

- „Stufe 1: TVOC-Wert < 0,3 mg/m<sup>3</sup>: hygienisch unbedenklich, Zielwert
- Stufe 2: TVOC-Wert > 0,3–1 mg/m<sup>3</sup>: hygienisch noch unbedenklich, erhöhter Lüftungsbedarf

- Stufe 3: TVOC-Wert > 1–3 mg/m<sup>3</sup>: hygienisch auffällig, befristet (<12 Monate) als Obergrenze für Räume, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind
- Stufe 4: TVOC-Wert > 3–10 mg/m<sup>3</sup>: hygienisch bedenklich, Raum befristet (maximal 1°Monat) und bei verstärkter Lüftung nutzbar
- Stufe 5: TVOC-Wert > 10-25 mg/m<sup>3</sup>: hygienisch inakzeptabel. Die Raumnutzung ist allenfalls vorübergehend täglich (stundenweise) und bei Durchführung verstärkter regelmäßiger Lüftungsmaßnahmen zumutbar.“

Der TVOC-Summenwert stellt für die Bewertung der Raumluftqualität eine zentrale Kenngröße dar, die sowohl in der Leistungsbeschreibung als auch für Gebäudezertifizierungen neben der Einhaltung von Innenraumrichtwerten als Zielwert für Abnahmemessungen vorgegeben wird.

Für den Innenraum ist der Bewertung des TVOC eine hohe Bedeutung beizumessen, da im Gegensatz zur Bauproduktbewertung mit 198 NIK-Werten nur 45 Richtwertpaare vorliegen.

Auch andere hygienisch begründete Konzepte wie die Leitwerte für CO<sub>2</sub> oder Feinstaub oder der Schimmelleitfaden liefern allgemein anerkannte und wissenschaftlich begründete Handlungsvorgaben (OLG Celle 2020).

Als unterste Stufe einer Bewertung von VOC-Konzentrationen der Innenraumluft können statistisch abgeleitete Referenzwerte dienen:

„Referenzwerte geben keinen Aufschluss über eine Gesundheitsgefährdung. Es wird lediglich ausgesagt, dass der überwiegende Teil der Bevölkerung in einer vergleichbaren Größenordnung exponiert ist. Auch im Bereich der Innenraummessungen sollten Referenzwerte möglichst zeitnah aktualisiert werden. Wird ein Referenzwert überschritten, sollte zunächst eine Plausibilitätsprüfung vorgenommen werden. Unter Berücksichtigung der Höhe der gefundenen Konzentration und der für die Substanz bekannten toxikologischen Eigenschaften ist zu ermitteln, ob diese Referenzwert-Überschreitung gesundheitliche Relevanz haben könnte, um ggf. eine Kontrollmessung zu veranlassen.“ (Ad-hoc-AG 2007)

In der nachstehenden Tabelle sind die Innenraumrichtwerte sowie die NIK-Werte zusammengestellt. Dabei werden nicht nur diejenigen Substanzen aufgeführt, die mit der Emission von Holzwerkstoffen in Verbindung stehen. Die umfanglichere Liste soll insgesamt einen Eindruck der Ähnlichkeit beider Bewertungssysteme vermitteln. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Ableitungen der Richtwerte und der NIK-Werte ist die Übereinstimmung der Gefahrenwerte in erster Näherung als gut anzusehen.

Tabelle 1: Vergleich der Innenraumrichtwerte RW II und RW I und der NIK-Werte zu diesen Substanzen. (Die Holzwerkstoff-assoziierten Substanzen sind fett gedruckt.)

<b>Substanz</b>	<b>RW II (Gefahrenwert)</b>	<b>RW I (Vorsorgewert)</b>	<b>NIK (Gefahrenwert)</b>
Toluol	3.000	300	2900
Ethylbenzol	2.000	200	850
Styrol	300	30	250
Dimethylbenzole (Summe Xylole)	800	100	1500
Monocyclische Terpene (Leitsubstanz d-Limonen)	10.000	1.000	5000
<b>Bicyclische Terpene (Leitsubstanz alpha-Pinen)</b>	<b>2.000</b>	<b>200</b>	<b>2500</b>
Benzylalkohol	4.000	400	440
2-Ethyl-1-Hexanol	1000	100	300
1-Butanol	2000	700 <sup>##</sup>	3000
1,2-Propylenglykol	600	60	2100
Methylisobutylketon (MIBK)	1000	100	1000
1-Methyl-2-pyrrolidon	1000	100	1800
Acetophenon	(2000)	(200)	490
2-Butanonoxim	60	20	15
Zyklische Dimethylsiloxane D <sub>3</sub> -D <sub>6</sub> (Summenwert)	4000	400	(3900)
2-Phenoxyethanol	100	30	60
DEGBE	1.000	400	670
DPGME	7.000	2.000	3100
EGEE	1.000	100	8
EGEEA	2.000	200	11
EGBE	1.000	100	1600
EGBEA	2.000	200	2200
2PG1ME	10.000	1.000	7900
<b>Formaldehyd</b>	<b>---</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Acetaldehyd	1000	100	1200
Butanal (C <sub>4</sub> )			650
<b>Pentanal (C<sub>5</sub>)</b>			<b>800</b>
<b>Hexanal (C<sub>6</sub>)</b>			<b>900</b>
<b>Heptanal (C<sub>7</sub>)</b>			<b>900</b>
<b>2-Ethylhexanal</b>			<b>900</b>
<b>Octanal (C<sub>8</sub>)</b>			<b>900</b>
<b>Nonanal (C<sub>9</sub>)</b>			<b>900</b>
<b>Decanal (C<sub>10</sub>)</b>			<b>900</b>
<b>Aldehyde (Summe C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>)</b>	<b>2000</b>	<b>100</b>	
Benzaldehyd	200	20	90
<b>Furfural</b>	<b>100</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
<b>Ameisensäure (C<sub>1</sub>)</b>			<b>---</b>
<b>Essigsäure (C<sub>2</sub>)</b>			<b>1200</b>
<b>Propionsäure (C<sub>3</sub>)</b>			<b>1500</b>
<b>Isobuttersäure</b>			<b>1800</b>
<b>Buttersäure (C<sub>4</sub>)</b>			<b>1800</b>
<b>Pivalinsäure</b>			<b>2100</b>
<b>n-Valeriansäure (C<sub>5</sub>)</b>			<b>2100</b>
<b>n-Caprionsäure (C<sub>6</sub>)</b>			<b>2100</b>
<b>n-Heptansäure (C<sub>7</sub>)</b>			<b>2100</b>
<b>n-Octansäure (C<sub>8</sub>)</b>			<b>2100</b>
<b>C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub>-Carbonsäuren (Ameisen- bis Octansäure)</b>	<b>(1000)</b>	<b>(300)</b>	
<b>2-Ethylhexansäure</b>			<b>150</b>

Konzentrationen in µg/m<sup>3</sup>

RW I: Vorsorgewert      RW II: Gefahrenwert/Handlungswert

<sup>##</sup> Der RW I liegt über der Geruchswahrnehmungsschwelle von 100 µg/m<sup>3</sup>, sodass eine gesonderte Bewertung der geruchlichen Wahrnehmung von Butanol bei Raumluftkonzentrationen über 100 µg/m<sup>3</sup> erforderlich ist.

(X): vom AIR vorgeschlagene Gefahren- und Vorsorgewerte

Aus der überwiegend guten Übereinstimmung in der Reihe der Richt- und NIK-Werte kann daher angesetzt werden, dass die Einhaltung der NIK-Werte in der Emission und damit bei gleichzeitigem Unterschreiten des Gefahrenwertes RW II für die Immission dann auch eine gesundheitliche Gefährdung nicht erwarten ließe.

In Bezug auf die Holzwerkstoff-assoziierten Substanzen ergibt sich ein differenziertes Bild:

Für die bicyclischen Terpene mit der Leitkomponente  $\alpha$ -Pinen liegt der NIK-Wert nur geringfügig über dem Richtwert II und damit noch im Bereich des Schutzes vor einer gesundheitlichen Gefährdung.

Für die Gruppe der Aldehyde übersteigt bei der Summe von lediglich drei Vertretern der Summenwert den Richtwert II. Damit besteht eine erhöhte Wahrscheinlichkeit, dass bei Überschreitung des NIK-Wertes von mindestens drei Aldehyd-Vertretern eine gesundheitliche Gefährdung auftritt.

Aus der Gruppe der Carbonsäuren liegt jeder einzelne NIK-Wert geringfügig bis deutlich über dem Summenwert des Richtwertes II. Die Hauptkomponente der Holzwerkstoff-assoziierten Emission, Essigsäure, übersteigt bei Ausschöpfung des NIK-Wertes allein den Gefahrenwert Richtwert II für die Gruppe der Carbonsäuren.

Aufgrund der Höhe der NIK-Werte im Vergleich zu Innenraumrichtwerten kann durch die Einhaltung der AgBB-Anforderungswerte allenfalls eine Unterschreitung von RW II Werten gewährleistet werden.

Ein von einer toxikologischen Gefährdung abgetrennter, dennoch bei holistischer Betrachtung des Zustandes „Gesundheit“ wesentlicher Aspekt ist eine Geruchsbelastung durch einzelne Materialien oder im Innenraum.

Gerüche und Geruchsbelastungen sind in der gutachterlichen Praxis ein häufiges Beschwerdemonent. In einer Studie in Schleswig-Holstein (Ministerium für Soziales, Gesundheit, Wissenschaft und Gleichstellung des Landes Schleswig-Holstein 2015) wurden Beschwerdefälle im Innenraum sowohl durch Messungen der Raumlufkonzentrationen als auch durch Auswertung von Fragebögen untersucht. Dabei ergaben sich u.a. für verschiedene geruchsintensive VOC „plausible Korrelationen zwischen der Häufigkeit von Geruchsbeschwerden und der VOC-Konzentration. So nahm die Beschwerdefrequenz ab einer Hexanal-Konzentration von circa  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  deutlich zu.“ Aus dieser Konzentrationsschwelle für Hexanal als Leitkomponente der  $\text{C}_4$ - $\text{C}_{11}$ -Aldehyd-Gruppe lässt sich der Erfahrung nach ein Summenwert für diese Aldehyd-Gruppe von weniger als  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  abschätzen. Damit wird auch bei einer Raumlufkonzentration unterhalb des Richtwertes I von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ein Anstieg von Beschwerdefällen zu erwarten sein. Dies deckt sich auch mit der Erfahrung aus der gutachterlichen Praxis.

Zur Beurteilung von Geruchsbelastungen im Innenraum hatte die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden ein Konzept für Geruchsleitwerte zur öffentlichen Diskussion bis Ende Dezember 2015 erstellt. (Ad-hoc-AG 2015)

Es sollte damit eine gesundheitlich-hygienische Beurteilung von Geruchsstoffen in der Innenraumlufthilfe von Geruchsleitwerten ermöglicht werden. Inzwischen wurde das Konzept zur Überarbeitung zurückgezogen. Das Erfordernis einer Grundlage zur Bewertung von Geruchsstoffen in Innenräumen besteht weiterhin.

## 2.3 Charakterisierung und Analytik flüchtiger organischer Verbindungen (VOC)

Im Folgenden wird auf die unterschiedliche Definition und Beschreibung des Begriffes der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) näher eingegangen. Es wird dann die Analytik flüchtiger organischer Verbindungen in der Luft beschrieben. Hierbei ist es zuerst einmal unerheblich, ob es sich dabei um Raumluft oder um Prüfkammerluft handelt. Es wird erläutert, wie durch die Art der analytischen Vorgehensweise Probleme bei der Beurteilung von VOC-Emission aus Holzwerkstoffen wie auch der VOC-Immission in Gebäuden entstehen. Wesentlich trägt dazu die vorgegebene Probenahme über das Sammelmedium Tenax TA bei.

Organische Verbindungen können insbesondere durch ihren Siedepunkt bzw. den Dampfdruck (Übergang vom festen oder flüssigen Zustand in den gasförmigen) oder ihre Polarität durch die elektronische Ladungsverteilung im Molekül (Untergruppe „wasserlöslich“ versus „benzinlöslich“) unterschieden werden. Von der analytischen Seite verläuft die Trennlinie über die Einteilung nach Siedepunkt bzw. Polarität hinweg. Einen Einfluss auf das zu analysierende Substanzgemisch kommt der Probenahme zu.

Über den **Siedepunkt** können dabei verschiedene Untergruppen durch Konvention differenziert werden:

- Very Volatile Organic Compounds (VVOC = sehr leicht flüchtige organische Verbindungen)  
Siedebereich: < 0 bis 50 - 100°C
- Volatile Organic Compounds (VOC = flüchtige organische Verbindungen)  
Siedebereich: 50 - 100°C bis 240 - 260°C
- Semi Volatile Organic Compounds (SVOC = schwer flüchtige organische Verbindungen)  
Siedebereich: 240 - 260 C bis 380 - 400 C

Da jedoch teilweise auch Definitionen über den Dampfdruck geläufig sind, sind Angaben zur allgemeinen Emission von VOC eigentlich nur dann bewertbar, wenn zusätzlich zu der Angabe auch die verwendete Definition genannt wird (Prieto und Kiene 2007).

Die Unterteilung nach der **Polarität** geht über die festgelegten Grenzen der Siedepunkte hinweg und stellt daher eine eigenständige Charakterisierung chemischer Substanzen dar. Dies ist von erheblicher Bedeutung und Auswirkung für die Analytik. Zu den sehr polaren Substanzen zählt Wasser, in abnehmender Rangfolge Ameisensäure, Essigsäure, Formaldehyd, während zu den zunehmend unpolaren Substanzen Aldehyde, Terpene und Alkane zu rechnen sind.

Eine andere Untergliederung der organischen Substanzen erfolgt über die **Analytik**, definiert z.B. nach Anhang 8 der MVV TB 2017 / 1. Die Zuordnung einer Substanz zur Gruppe der VOC erfolgt ausschließlich über die sogenannte Retentionszeit (Dauer, bis eine Substanz den Detektor am Ausgang der Trennsäule erreicht hat).

Allein mit der Auswahl der vorgegebenen Trennsäule als nahezu unpolares Medium werden diejenigen (polaren) Substanzen unterschieden, die auf Grund ihrer Polarität auf der Trennsäule nicht ausreichend zurückgehalten werden (geringe Retentionszeit). Derartige Substanzen, wie die sehr polare Ameisensäure mit einem Siedepunkt von 101 °C, sind zwar als typischer VOC-Stoff nach der Siedepunkts-Definition anzusehen, zählen jedoch analytisch über die Retentionszeit nicht zu den VOC.

Der analytischen Auftrennung eines Substanzgemisches mittels Gaschromatographie geht die **Probenahme** mit Anreicherung der Zielsubstanzen auf einem Sammelmedium voraus. Als die aktuell häufigsten Anreicherungsmedien für VOC werden Tenax TA nach DIN EN 16000-6 oder Aktivkohle nach

VDI 2100, Bl. 2, eingesetzt. Für die leicht flüchtigen Aldehyd-Vertreter wie Formaldehyd und Acetaldehyd wird die Anreicherung auf Silicagel und chemische Umwandlung mit DNPH nach DIN ISO 16000-3, herangezogen. Die Carbonsäuren (Ameisensäure bis Octansäure) können auf Silicagel nach VDI 4301, Bl. 7, erfasst werden. Bei einer Analytik dieser Säuren mittels GC/MS-System wird eine polare stationäre Phase der Kapillarsäule vorgegeben.

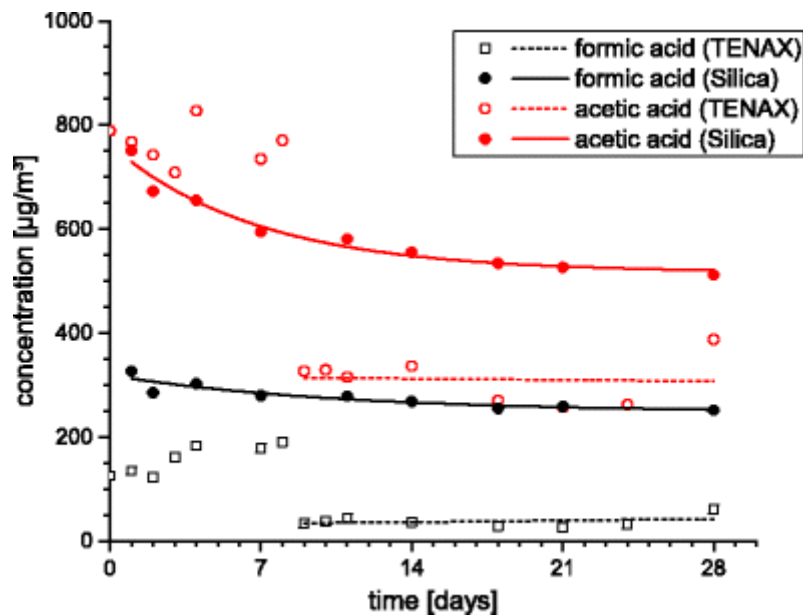
Die EN 16516 schreibt als Anreicherungsverfahren gleichfalls Tenax TA mit nachfolgender Analytik des Substanzgemisches in einem gaschromatographischen Verfahren mittels einer sog. unpolaren GC-Trennsäule vor (im Wesentlichen verweist sie auf die DIN EN 16000-6). In der Gaschromatographie werden Substanzgemische in der Trennsäule des Gaschromatographen aufgetrennt. Die verdampften Substanzgemische werden mit einem Gasstrom über die Trennsäule geführt. Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Substanzen und den Materialien der Trennsäule bewirken, dass Substanzen die Trennsäule unterschiedlich schnell durchlaufen und am Schluss der Trennsäule den Detektor des Geräts erreichen (dies führt zur „Retentionszeit“).

Durch die Vorgabe einer „unpolaren“ Trennsäule, wie nach EN 16516 und Anhang 8 der MVV TB 2017 / 1 und 2019 / 1 vorgegeben, können einzelne polare Substanzen nicht ausreichend verlangsamt werden und kommen bereits nach kurzer Zeit zum Detektor. Dadurch fallen sie jedoch aus dem (zeitlichen) Definitionsrahmen eines VOC-Vertreter heraus. Ein bekanntes Beispiel stellt hier die Ameisensäure dar. Wenngleich dem Siedepunkt nach ein VOC-Vertreter, wird diese Verbindung bei der Emissionsprüfung u.a. von Holzwerkstoffen nicht bei der Gruppe der VOC gelistet.

Ein weiterer Effekt bei Verwendung einer standardgemäß unpolaren Säule auf polare Substanzen ist das Verzerren des Detektorsignals. Durch die schwachen Bindungskräfte verliert das Detektorsignal seine „Idealform“ (hoch und schmal) mit Verbreiterung bis hin zur Unkenntlichkeit. In Folge dessen kann es bis zum scheinbaren Nicht-Nachweis kommen. Hier stellen insbesondere die Essigsäure, aber auch die höheren Carbonsäuren, auf Grund ihrer starken Polarität schwierig zu bestimmende Analyten dar. Es ist daher mit Fehlbefunden, häufig sogar mit starken Minderbefunden, zu rechnen.

Als Sammelmedium nach der DIN 16000-6 ist Tenax TA vorgegeben. Das Polymerharz des Sammlers lagert die flüchtigen Substanzen an, um sie angereichert der Analytik zuführen zu können. Durch die physikalischen Wechselwirkungen zwischen dem Sammelmedium und den Analyten besteht für sehr flüchtige und / oder kleine Moleküle keine ausreichende Bindungsstärke und es kommt zum „Durchbruch“ und damit zum Verlust des Analyten. Ameisensäure lässt sich so praktisch nicht erfassen. Es kommt bei einer Probenahme der Prüfkammerluft wie auch von Raumluft zu einem erheblichen Minderbefund, gelegentlich aber auch zu einem Mehrbefund.

Die nachfolgende Abbildung aus Schieweck et al. (2018) zeigt den Einfluss des Sammelmediums auf gemessene Prüfkammerkonzentrationen für Ameisensäure und Essigsäure



Comparison of formic acid and acetic acid concentrations obtained by active sampling on Tenax TA® (TDS-GC/MS) and on silica gel (IC) during chamber emission testing of a building product over 28 days

Abbildung 1: Ermittelte Ameisen- und Essigsäurekonzentrationen in Abhängigkeit von Sammelmedien während Prüfkammeruntersuchungen von Bauprodukten. Aus Schieweck et al. (2018)

Im Ergebnis ist die Auswahl des Sammelmediums also entscheidend dafür, welche Substanzen erfasst werden können und welche sich der Anreicherung entziehen.

Nach *Wiegner et al. (2012)* können die Ameisen- und Essigsäuren mit der beschriebenen Methode (nach DIN 16000-6) nicht ausreichend detektiert werden. Bisher ermittelte Ergebnisse nach einer Adsorption auf Tenax TA müssen daher kritisch hinterfragt werden. Als geeignetes Sammelmedium für die Säuren ist Silicagel nach VDI 4301-7 zu verwenden.

Das Erfordernis zur Bestimmung sehr flüchtiger unpolarer wie auch sehr polarer Substanzen wird in einer umfangreichen Studie mit unterschiedlichen Methoden dargelegt (Fraunhofer 2018). Für die Holzwerkstoff-relevanten Emissionen an Ameisen- und Essigsäure wird die Verwendung von Silicagel als eigenständige Probenahme und die Ionenchromatographie als analytisches Nachweisverfahren genannt.

## 2.4 Bewertung von Bauprodukten in Bezug auf die Raumluftqualität

Für eine gesundheitsbezogene Bewertung von Bauprodukten im Hinblick auf die Raumluftqualität liefern Emissionsprüfungen grundlegende Ergebnisse. Eine direkte Übertragung der Ergebnisse aus Bauproduktprüfungen auf den Innenraum ist allerdings nicht möglich. Die Emissionsprüfung in der Prüfkammer basiert auf einer Modellbetrachtung, um so eine Vergleichbarkeit bei der Auswahl von Bauprodukten zu ermöglichen.

Im Modell ist eine Berechnung der Raumluftkonzentration in einem Innenraum anhand der flächen-spezifischen Emissionsraten der Quellen unter Bezugnahme auf das Raumvolumen und den Luftwechsel möglich. Für die Übertragung der Ergebnisse einer Produktprüfung auf der Grundlage einer Emissionsprüfung in einer Prüfkammer auf eine konkrete Anwendung in einem Innenraum sind allerdings eine Vielzahl weiterer Einflussfaktoren zu berücksichtigen.



Neben der Frage einer grundsätzlichen Eignung des Prüfberichts (Übereinstimmung des geprüften Produktes mit dem real verbauten Produkt, Eignung des Prüflabors, Alter des Prüfberichts) stellen die bei der Prüfung eingestellten Prüfbedingungen insbesondere die Beladung und der Luftwechsel sowie die Herstellung des Prüfmusters entscheidende Einflussgrößen für die Einstellung der Kammerluftkonzentration im Vergleich zu den sich in einem Innenraum einstellenden Raumluftkonzentrationen dar.

Die DIN EN 16516:2018 stellt als horizontale Norm das Referenzverfahren zur Bestimmung der Abgabe flüchtiger Stoffe aus Bauprodukten dar. In dieser Norm werden die Kammerbedingungen beispielsweise in Bezug auf Klima, Luftwechsel, Luftgeschwindigkeit festgelegt. Die Vorgaben zur Beladung sowie Vorbereitung des Prüfstücks erfolgen produkt- und anwendungsspezifisch. Weiterhin enthält die DIN EN 16516 Vorgaben für die Analytik und Auswertung. Um Emissionsprüfergebnisse in Bezug auf die Innenraumluftqualität beurteilen zu können, ist eine Kenntnis der Prüfdetails erforderlich.

Auch die Repräsentativität des Prüfstücks für das im Innenraum zur Verwendung vorgesehene Produkt gilt es zu prüfen. Die Herstellung des Prüfstücks für OSB- und Spanplatten erfolgt gemäß den DIBt-Hinweisen grundlegend nach DIN EN ISO 16000-11 sowie ergänzend DIN EN 16516. Die Auswahl der Probe und Repräsentativität für das zu prüfende Material werden in der DIN EN 16516 ausführlich thematisiert. Um die Repräsentativität einer Emissionsprüfung für ein Produkt zu gewährleisten ist bei bestimmten Produktgruppen, beispielsweise starren Bodenbelägen, eine Mindestkammergröße von  $0,225\text{ m}^3$  vorgegeben. Bei Fußbodendielen ist eine Mischprobe herzustellen, um die Zusammensetzung des Bodenbelags im Raum auf der Ebene des Prüfmusters abzubilden. Aufgrund der möglichen Heterogenität der Holzwerkstoffe, wird auch für OSB- und Spanplatten eine entsprechende Prüfkammergröße vorgesehen.

Die grundlegende Fragestellung der Homogenität von Produkten findet auch in anderen Produktbereichen ihre Berücksichtigung in der Entwicklung von Prüfplänen und Gruppenbildungen. Um Ergebnisse übertragen und absichern zu können und den erforderlichen Prüfumfang zu begrenzen, wird oftmals der Ansatz verfolgt, innerhalb möglicher Variationen die vermutlich emissionsstärksten Kombinationen zu identifizieren. Bei Einhaltung der VOC-Anforderungen kann von einer Konformität vergleichbarer Produkte, zum Beispiel solche mit geringerer Schichtdicke, ausgegangen werden. Insofern setzt die Auswahl des Prüfmusters eine umfassende Kenntnis des Produktes voraus, um ein belastbares Ergebnis zu erzielen.

Während für die Prüfung in der Prüfkammer Standardbedingungen zum Beispiel Beladungsfaktoren auf Basis des europäischen Modellraums vorgegeben sind, können die realen Bedingungen im Innenraum deutlich davon abweichen.

Für OSB- und Spanplatten hat das DIBt mit der Beladung ( $L$ ) von  $1,0\text{ m}^2/\text{m}^3$  eine flächenspezifische Luftdurchflussrate ( $q$ ) von  $0,5\text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  festgesetzt (Mitteilung des DIBt Juli 2020). Die Beladung entspricht bezugnehmend auf den europäischen Modellraum der Anwendung für Wände. In der Praxis kann die Beladung geringer oder höher sein und neben Wänden auch Decke und Fußboden einschließen. Für das Szenario Wände, Decke und Fußboden ergäbe sich eine Beladung von  $1,8\text{ m}^2/\text{m}^3$  mit einem deutlich geringeren  $q$  in Höhe von  $0,278\text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ , was zu höheren Immissionswerten führt. Auch der für Prüfkammerprüfungen vorgegebene Luftwechsel von  $0,5/\text{h}$  stellt für neue oder modernisierte, dichte Gebäude ohne technische Belüftung eine kaum leistbare Anforderung dar. Die Reduktion des Luftwechsels bedingt eine Erhöhung der Immission im Innenraum. Gerade bei Holzwerkstoffen ist zu berücksichtigen, dass neben den als Bauprodukt eingebrachten Holzwerkstoffen weitere Produkte im Zuge des Innenausbaus und der Einrichtung auf der Basis von Holzwerkstoffen in das Gebäude eingebracht werden. Weiterhin von Bedeutung ist der Zeitpunkt des Einbaus. Bauprodukte, die in der Konstruktion also zu einem vergleichsweise frühen Zeitpunkt (Rohbauphase, keine Abdichtung des Gebäudes) eingebaut werden, unterscheiden sich in ihrer Auswirkung auf die Raumluftqualität von Bauprodukten die im Zuge der Modernisierung von Räumen im Nutzungszustand des Gebäudes

eingebaut werden. Die Differenzierung der Lage im Gebäude ist dabei häufig von geringerer Bedeutung, da sowohl durch Diffusionsprozesse als auch Strömungsvorgänge Emissionen aus tiefer gelegenen Bauteilebenen in die Raumluft gelangen. Am Beispiel der lösemittelhaltigen Korrosions- und Brandschutzbeschichtungen, die häufig verdeckt eingebaut werden, zeigt sich, dass die Annahme einer fehlenden Emission dieser Bauprodukte nur eine Fehleinschätzung sein kann. Mitunter zeigen sich sogar hohe und lang anhaltende Lösemittelfreisetzung, die insbesondere durch den verdeckten Einbau und die fehlende Ablüftbarkeit bedingt werden.

Um beurteilen zu können, welche Auswirkungen Emissionsprüfergebnisse auf die Raumluftqualität in einem realen Innenraum haben, ist es auch erforderlich, die Dynamik der Freisetzungprozesse zu kennen (Zeitdauer und Abklingrate).

Insgesamt handelt es sich bei der Bewertung der Eignung von Bauprodukten für ein konkretes Bauvorhaben um eine umfangreiche und komplexe Aufgabe, die ohne Emissionsprüfbericht weder beantwortet noch in planerische Überlegungen einbezogen werden können. Architekten und Planer sind für diese Aufgabenstellung häufig nicht bzw. nur am Rande ausgebildet. Da oftmals gerade neu errichtete oder umfangreich sanierte Gebäude aufgrund schlechter Raumluftqualität in die Schlagzeilen geraten, werden zunehmend Beratungsangebote von Instituten und Gutachterbüros für eine gesundheitsbezogene und vorsorgeorientierte Auswahl von Bauprodukten für öffentliche und private Bauvorhaben genutzt, um die Ergebnisse von Emissionsprüfungen in Bezug auf ein konkretes Bauvorhaben zu bewerten.

## **2.5 Zusammenfassendes Fazit für Kapitel 2:**

- Das AgBB-Schema stellt ein etabliertes, breit verankertes und dynamisches Bewertungssystem dar, das die Anforderungen an die Emissionsbewertung von Bauprodukten umfassend umsetzt. Durch die regelmäßige Überarbeitung mit den beteiligten Kreisen ist es breit abgestützt und innovationsoffen. Bewusst eingeführte Unschärfen führen zu Abmilderungen potenziell strenger Ansätze, die sich aus der Additivitätsannahme für den R-Wert und die Summenwerte ergeben können. Produktspezifische Besonderheiten (wie z.B. mögliche Inhomogenität, Einbauzeitpunkt) werden durch die Festlegung produktspezifischer Prüfvorgaben berücksichtigt.
- Anhand von Emissionsprüfungen können Raumluftkonzentrationen abgeschätzt und Quellen für Belastungen ermittelt werden. Eine direkte Übertragung von Emissionsprüfergebnissen auf einen Realraum ist aufgrund der Vielzahl an weiteren Einflussfaktoren nicht möglich.
- Die Emissionsbewertung von Bauprodukten soll letztendlich den Ausschluss einer gesundheitlichen Gefährdung der Raumnutzenden gewährleisten. Die Vermeidung gesundheitlicher Beeinträchtigungen wird durch die Einhaltung von toxikologisch abgeleiteten Innenraumrichtwerten erreicht.
- Für einen Teil der Holzwerkstoff-typischen VOC stehen Innenraumrichtwerte zur Verfügung, Ein Vergleich der NIK- und Richtwerte zeigt für einige der Holzwerkstoff-typischen VOC deutliche Diskrepanzen. Im Vergleich mit den für die Bewertung der Raumluftkonzentrationen im Innenraum vorhandenen Bewertungsmaßstäben kann das AgBB-Prüf- und Bewertungsschema nur als ein auf Gefahrenabwehr abzielendes Instrument eingestuft werden.
- Summenwerte wie der TVOC werden in den jeweiligen Bewertungskonzepten Raumluft und Bauprodukte jeweils in Kombination mit toxikologisch abgeleiteten Zielwerten eingesetzt. Obgleich Summenwerte aufgrund ihrer heterogenen Zusammensetzung keine zuverlässigen

gesundheitsbezogenen Indikatoren darstellen, hat das TVOC-Bewertungskonzept für die Bewertung der Raumluftqualität in Bezug auf den Gesundheitsschutz eine zentrale Bedeutung.

- Ein sicherer Ausschluss von gesundheitlichen Gefahren auf der Grundlage der Innenraumrichtwerte ist nur dann möglich, wenn langfristig eine Unterschreitung des RW I gewährleistet werden kann.
- Bei der Ableitung von NIK-Werten und Innenraumrichtwerten werden Geruchseigenschaften in der Regel nicht berücksichtigt. Der Ausschluss einer unzumutbaren Belästigung ist anhand toxikologisch abgeleiteter Zielwerte nicht möglich.
- Um eine an Vorsorge orientierte Raumluftqualität in Bezug auf die Immissionswerte zu erreichen, sind deutlich strengere Anforderungen als derzeit im AgBB-Schema verankert notwendig. So fordern der Blaue Engel und andere Umweltzeichen in der Regel die Einhaltung deutlich niedrigerer Summenwerte. Weitere Änderungen beziehen sich auf die Berücksichtigung aller Stoffe ab  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , die weitestgehend substanzspezifische Quantifizierung, die Begrenzung des R-Wertes auf  $\leq 1,0$ , was maximal ein R-Wert von 1,049 zulässt, die Unterschreitung von RW-I-Werten sowie die Bewertung des Geruchs.
- Die Definition von flüchtigen organischen Verbindungen auf der Grundlage des analytischen Verfahrens grenzt das betrachtete Substanzspektrum auf die mit dem Probenahmesystem und Analyseverfahren nachweisbaren Verbindungen ein. Für Holzwerkstoffe ist davon auszugehen, dass die Emissionen von Carbonsäuren methodisch bedingt nicht vollständig erfasst werden. Für die Bestimmung der Carbonsäuren, insbesondere in Bezug auf die Holzwerkstofftypischen Säuren Ameisen- und Essigsäure, sollte daher ein eigenständiges Probenahme- und Analysenverfahren ergänzt werden.

### **3. VOC-Emissionsverhalten von Grobspanplatten (OSB) und Spanplatten**

In den nachfolgenden Kapiteln werden Angaben zu VOC-Emissionen von OSB- und Spanplatten aus der Literatur sowie auf der Grundlage eigener Untersuchungen zusammengestellt. Zum Verständnis der Emissionseigenschaften wird eine chemische Charakterisierung von Holzinhaltsstoffen vorangestellt.

#### **3.1 Chemische Charakterisierung von Holzinhaltsstoffen**

Holz ist ein natürlich entstandenes Material von komplexer Struktur. „Holz“ wird daher häufig auch assoziativ gleichgesetzt mit „Natürlichkeit“ und lässt an die „gesunde Luft im Wald“ denken. In seiner ursprünglichen Form kommt Holz (als Stammholz mit Rinde) praktisch jedoch nicht zur Endverwendung. Technisch hergestellt und eingesetzt werden hingegen Holzwerkstoffe. Dabei werden durch chemische und physikalische (mechanisch, Druck, Temperatur) Einwirkungen Materialien erzeugt, die dem zgedachten Zweck entsprechen (z.B. Holzplatten, Balken, Papier, Karton).

Die Unterscheidung zwischen den bereits im Holz enthaltenen flüchtigen Verbindungen und den reaktiv freigesetzten ist von wesentlicher Bedeutung für die Beurteilung einer Emission:

Als flüchtige organische Verbindungen sind vorwiegend in Nadelhölzern Terpene enthalten, von denen  $\alpha$ -Pinen und delta-3-Caren die wichtigsten Vertreter darstellen. Terpene sind Bestandteile der Harzfraction von Holz. Sie liegen im Harz in „gelöster“, jedoch ungebundener, freier Form vor. Über den Dampfdruck kommt es zur Freisetzung der Terpene über die Holzoberfläche. Dies stellt somit einen Teil der Emission von Holzwerkstoffen dar.

Ebenfalls als in quasi-freier Form vorliegend sind die Fettsäuren im Holz verteilt. Neben den gesättigten Fettsäuren sind auch ungesättigte Vertreter wie Linol- und Linolensäure vorhanden. Bei Zutritt von Luftsauerstoff kommt es zur (aut)oxidativen Spaltung der ungesättigten Fettsäuren an den Bindungsstellen der Doppelbindungen (Merkmal der „ungesättigten“ Substanzen). Umgangssprachlich werden diese ungesättigten Fettsäuren dadurch „ranzig“. Als typische Spaltungsprodukte treten daher die höheren Aldehyde mit den Hauptkomponenten Pentanal, Hexanal und Nonanal auf. Dieser chemische Prozess verläuft ausschließlich unter Beteiligung von Sauerstoff ab (Bildung der sauerstoffhaltigen Aldehyde) und setzt daher auch den Zutritt von freiem Sauerstoff voraus. Durch vorhandene mehrfach ungesättigte Fettsäuren bilden sich auch ungesättigte Aldehyde, die ebenfalls noch eine Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindung aufweisen (z.B. Heptenal oder Octenal).

Während es sich demnach bei den emittierten Aldehyden um oxidative Reaktionsprodukte der bereits vorliegenden Fettsäuren handelt, entstehend die „Holzsäuren“ durch die Einwirkung von Wassermolekülen auf die Hemicellulosen. Die Hemicellulosen enthalten im Makromolekül den Essigsäure-(Acetyl)-Rest in gebundener Form. Durch eine Hydrolysereaktion mit Wasser kommt es durch Abspaltung des Acetylrestes zur Bildung und nachfolgender Freisetzung/Emission der Essigsäure in gasförmiger Form.

Die Acidität (Säurehaltigkeit) von Holz nimmt in vielerlei Hinsicht Einfluss auf das Verhalten des Holzes bei chemisch-technologischen Prozessen (z.B. Korrosionswirkung, Verleimung). Die Abgabe von Essigsäure aus Holzwerkstoffen ist durch die Abspaltung der Acetylgruppen der Hemicellulose bedingt und steht in Abhängigkeit zur Acidität des Holzes. Es besteht jedoch kein direkter Zusammenhang zur Anzahl der Acetylgruppen der jeweiligen Holzsorte (Roffael 1989). Im Allgemeinen enthalten die Hemicellulosen von Laubhölzern mehr Acetylgruppen als die der Nadelhölzer. Nach Fengel und Wegener (1989) ist dafür der höhere Anteil an Xylan in der Hemicellulose des Laubholzes verantwortlich (Ohlmeyer et al. 2008).

Vor allem die Essigsäure gilt als Emittent aus natürlichen Hölzern. Eichenholz stellt eine der stärksten Essigsäureemittenten dar. In einem Zeitraum von 2 Jahren sind bei einer Temperatur von 48°C 7% des Ausgangsgewichtes als Essigsäure emittiert. Der Ursprung der Essigsäure liegt auch hier in der Hydrolyse von Acetylgruppen der Hemicellulosen. Die Hemicellulosen machen 25 bis 30% der Kohlenhydrate im Holz aus (Beier 1978, S. 394).

Die Herkunft der Ameisensäure ist wesentlich weniger erforscht. Eine Theorie beschreibt die Spaltung von Benztraubensäure durch metabolisierende Prozesse im Holz als eine mögliche Quelle zur Bildung von Ameisensäure (Gibson & Watt, 2009).

### **3.2 VOC-Emissionen aus Holzwerkstoffen**

Die Emissionen an flüchtigen organischen Verbindungen aus Holzwerkstoffen werden durch verschiedene Einflussfaktoren bestimmt (Ohlmeyer et al. 2006, Ohlmeyer et al. 2012, Tigges & Roth 2018):

- Unterschiede je nach Holzart (Laub-, Nadelholzarten)
- Standortbedingungen (Stress, Trockenheit usw.), Stammabschnitt, Kern-/Splintholz, Alter, Lagerung der Hölzer
- Trocknung (Lagerungsart, Dauer, Temperatur, Feuchtegehalt)
- Holzwerkstoffart (Zusammensetzung, Spangröße)
- Herstellungsverfahren
  - Prozesstemperaturen (Höhe, Dauer), Pressdruck (Höhe, Dauer)
  - Bindemittel, Zusatzstoffe
- Eigenschaften des Werkstoffs (Struktur der Oberfläche, Offenporigkeit, Dichte, Dicke)

- Lagerung des Produktes (Dauer, Art der Lagerung, Belüftung Temperatur, Druck)

Es werden Einzelverbindungen aus dem Spektrum der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und den sehr flüchtigen organischen Verbindungen (VVOC) nachgewiesen, die im Wesentlichen den Substanzgruppen der Terpene, Aldehyde und Carbonsäuren zuzuordnen sind, neben weiteren Stoffen wie Ketonen und Alkoholen. Bei den von Holzwerkstoffen abgegebenen Verbindungen handelt es sich überwiegend um Geruchsstoffe mit zum Teil sehr niedrigen Geruchsschwellenwerten.

Je nach Herkunft und Herstellungsverfahren können auch Emissionen aufgrund von Verunreinigungen oder Kontaminationen auftreten.

Wie bereits in Kapitel 3.1 beschrieben sind Terpene Primäremissionen aus dem Holz. Die höchsten Mengen kommen im harzreichen Kiefernholz vor. Der Harzanteil schwankt innerhalb eines Baumes. Die Summe der flüchtigen Verbindungen ist beispielsweise im Kernholz höher als im Splintholz. So wurden bei frischem Kiefern-Splintholz Emissionsraten von 16.000 bis 22.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$  gemessen (Wilke et al. 2012) und bei frischem Kernholz 23.000 bis 35.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$  (Wilke et al. 2012). Der Anteil der Terpene an der Gesamtemission an VOC ist hoch. Während der Trocknung des Holzes verflüchtigt sich ein großer Teil der VOC.

Die Emission von Terpenen zeigt ein deutliches Abklingverhalten mit geringer werdender Emission im zeitlichen Verlauf. Einheimische Laubbäume emittieren keine Terpene, da sie kein Harz produzieren. Die Höhe der Terpenemissionen kann durch die Auswahl der Holzart und durch den Herstellungsprozess beeinflusst werden. So geht beispielsweise mit der Dauer der Lagerung, Trocknung, Temperaturerhöhung, Zerkleinerungsgrad der Holzfasern, Porosität der Oberfläche eine Abnahme der Terpenemission einher. Insbesondere die Erhöhung der Holzoberfläche durch den Holzaufschluss sowie die Temperatureinwirkung bei der Holz Trocknung und dem Heißpressen beeinflussen das Emissionsverhalten des Holzwerkstoffs.

Aldehyde (gesättigte und ungesättigte) sind kein primärer Bestandteil des Holzes. Die höheren Aldehyde wie Hexanal, Pentanal und Nonanal entstehen in Folge von Reaktionsprozessen als Sekundäremissionen durch Autoxidation der im Holz enthaltenen Fettsäuren (siehe Kapitel 3.1). Auch die Bildung der Aldehyde wird durch das Herstellungsverfahren beeinflusst. Die Fettsäuren sind im Holz gleichmäßiger verteilt als es beispielsweise für die Harzsäuren der Fall ist. Die Art der im Holz enthaltenen Fettsäuren bestimmt die entstehenden Oxidationsprodukte. Ungesättigte Aldehyde treten gegenüber den gesättigten Aldehyden in geringeren Konzentrationen auf. Zu den am häufigsten gemessenen, ungesättigten Aldehyden gehören Octenal und Nonenal.

Von Bedeutung ist auch die Freisetzung von Furfural (neben den gesättigten und ungesättigten Aldehyden ein Vertreter der heterocyclischen Aldehyde), ebenfalls eine Sekundäremission, die insbesondere durch thermolytische Vorbehandlung des Holzes beeinflusst wird. Die Bildung von Furfural erfolgt dabei durch Wasserabspaltung aus den Zuckerbestandteilen der Hemicellulose (Fengel und Wegener 1989, Paul 2006).

Die Emission von Formaldehyd wird durch die Art und Menge des Bindemittels sowie der weiteren Oberflächenbehandlung (Art der Beschichtung, nachträgliche Bearbeitung der Oberfläche) bestimmt. Die Formaldehydemissionen unverleimter oder mit formaldehydfreien Bindemitteln auf Isocyanat-Basis gebundenen Holzwerkstoffen sind gering. Sehr hohe Emissionen oberhalb der gesetzlichen Anforderungen können bei Harnstoff-Formaldehydharz-gebundenen Holzwerkstoffen auftreten.

Carbonsäuren (chemisch auch ein Teil der Fettsäuren mit einer Kettenlänge zwischen einem und acht Kohlenstoffatomen –  $\text{C}_1$  bis  $\text{C}_8$ -Carbonsäuren) werden ebenfalls sekundär gebildet und sind kein primärer Bestandteil des Holzes. Die Bildung der Essigsäure erfolgt in Gegenwart von Wasser durch hydrolytische Spaltung der Acetylgruppen der Hemicellulosen. Möglicherweise wird der Prozess durch die thermische Trocknung initiiert, da die Freisetzung von Essigsäure aus luftgetrocknetem Holz ge-

ring ist. Für die Freisetzung von Hexansäure ist dagegen die Oxidation von Hexanal verantwortlich (Ohlmeyer et al. 2006, S. 21).

Es liegen nur vereinzelt Angaben über die Bildung und Freisetzung von Ameisensäure vor wie zum Beispiel in der Studie des Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institutes (2018). In den Arbeiten von Ohlmeyer et al. 2006 sowie Ohlmeyer et al. 2008, die die Entwicklung von Konzepten zur Reduzierung von VOC-Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen unter Berücksichtigung des Herstellungsprozesses behandeln, werden Ameisensäure und Essigsäure nicht erwähnt.

Grundsätzlich ist auch das Vorkommen von nicht Holzwerkstoff-typischen Emissionen insbesondere bei Importen aus Asien nicht auszuschließen.

Um Maßnahmen zur Senkung von VOC-Emissionen ergreifen zu können, ist es erforderlich, den Entstehungs- und auch den Freisetzungsprozess zu kennen.

Chemische Reaktionen werden in ihrer Geschwindigkeit durch die Temperatur beeinflusst. Bei einer Temperaturerhöhung um 10 °C kann in erster Näherung von einer Verdoppelung bis Vervielfachung der Reaktionsgeschwindigkeit ausgegangen werden (Brdička 1976, S. 806). Bei Prozesstemperaturen ab 200 °C stellt sich neben einem erheblich gesteigerten Reaktionsablauf auch die Häufigkeit von hitzebedingten Nebenreaktionen ein (Pyrolysereaktionen).

Die ebenfalls temperaturabhängige diffusionskontrollierte Freisetzung von Terpenen kann über die Holz Auswahl, die Trocknungstemperatur und -dauer, die Fasergröße, Prozesstemperatur sowie die Art und Dauer der Lagerung minimiert werden.

Bei der reaktionskontrollierten Freisetzung von Aldehyden und Carbonsäuren ist zu unterscheiden zwischen den während des Herstellungsprozesses gebildeten und den im Laufe der Nutzung weiterhin entstehenden Aldehyden und Carbonsäuren. Die Diffusion (Wanderung) beeinflusst die Freisetzung, aber auch die Reaktionen im Holz, da hierzu das Eindringen von Wasser und Sauerstoff als Reaktionspartner in das Holz erforderlich ist. Die Verfügbarkeit der Reaktionspartner stellt dann den begrenzenden bzw. den geschwindigkeitsbestimmenden Faktor für die reaktionskontrollierte Emission dar. Das heißt, bei reaktionskontrollierten Prozessen kann die Freisetzung dadurch minimiert werden, dass die notwendigen Reaktionspartner nicht in den Werkstoff hineingelangen. Dadurch kann dann auch die betreffende Reaktion (Oxidation, Hydrolyse) nicht ausgelöst werden. Eine Beschichtung, die das Eindringen von Feuchtigkeit und Luftsauerstoff in den Holzwerkstoff unterbindet, unterbindet auch die Emission der Reaktionsprodukte Aldehyde und Carbonsäuren wie auch deren Entstehung.

### **3.3 Emissionsdaten aus eigenen Untersuchungen**

Für das Vorhaben wurden die Emissionsprüfresultate von Holzwerkstoffen und Bodenbelägen aus Bambus des Bremer Umweltinstituts ausgewertet. Insgesamt wurden über einen Betrachtungszeitraum von ca. 5 Jahren ab Mitte 2015 bis August 2020 insgesamt 235 Holzwerkstoffe in der Prüfkammer untersucht. Bei den geprüften Holzwerkstoffen handelt es sich um unterschiedliche Werkstoffarten wie Vollholz, Brettschichtholz, Holzfasernplatten und Holzfaserdämmplatten. Ergänzend wurden auch Bodenbeläge aus Bambus in die Auswertung einbezogen, da sich aufgrund der Zusammensetzung und Herstellung mit der Emissionsproblematik von Holzwerkstoffen vergleichbare Fragestellungen ergeben.

Untersucht wurden neben Materialproben aus Schadensfällen (Quellenermittlung) überwiegend neue Produkte, um die Einhaltung der Anforderungen von Labels zu prüfen. Zum Teil handelt es sich bei den Prüfungen nicht um vollständige Prüfungen gemäß AgBB-Schema. Einige Prüfungen erfolgten als Kurzzeitprüfung, weil es sich um bereits verbaute Holzwerkstoffe (Quellenermittlung) handelt. Im All-

gemeinen wird davon ausgegangen, dass bei verbauten und abgelagerten Produkten anhand einer Kurzzeitprüfung nach 3 oder 7 Tagen auf die Emissionen unter Ausgleichsbedingungen geschlossen werden kann. Bei Prüfungen von neuen Produkten erfolgte die Prüfung teilweise nur auf die für die Bewertung maßgeblichen Stoffe. Das waren für die hier untersuchten Holzwerkstoffe Formaldehyd, Acetaldehyd, Furfural und Essigsäure oder im Einzelfall ermittelte Kontaminationen wie z.B. die kanzerogene Verbindung 2-Nitropropan (EU Kat. K 1B).

Bei den durchgeführten Emissionsprüfungen wurden etwa bei einem Drittel der bewertbaren Untersuchungen die Anforderungen, die im Rahmen der jeweiligen Prüfung gestellt wurden (AgBB, natureplus, Blauer Engel, Bremer Umweltinstitut) nicht erfüllt.

Die Anforderung an den TVOC nach 3 Tagen wurde von keinem Holzwerkstoff überschritten. Für einen Bambusboden lag aufgrund der Höhe der Essigsäureemission ( $12 \text{ mg/m}^3$ ) eine Überschreitung dieses Kriteriums vor. Auch bei Überschreitung des TVOC-Kriteriums nach 28 Tagen war überwiegend die Höhe der Essigsäureemission ausschlaggebend.

Erhöhte Terpenbelastungen wurden bei den Untersuchungen der Holzwerkstoffe nur in Einzelfällen (z.B. bei der Prüfung von Massivholz aus Zirbe, Überschreitung der Anforderung an den TVOC nach 28 Tagen aufgrund der Terpenemissionen) festgestellt.

Für die R-Wert-Überschreitungen waren Formaldehyd-, Furfural-, Hexanal- und teilweise auch Essigsäureemissionen verantwortlich. Die Konzentrationen ungesättigter Aldehyde waren niedrig.

Die Emissionen von Furfural (und Essigsäure) waren häufiger bei Produkten mit vorgeschalteter thermolytischer Aufspaltung im Herstellungsprozess wie z. B. Bambusbodenbelägen und Holzfaserdämmstoffen auffällig.

Hohe Formaldehydemissionen (Überschreitung der Anforderung gemäß ChemVerbotsV) wurden für unbeschichtete Holzwerkstoffe mit hohem Leimanteil wie Spanplatten oder Brettschichtholz festgestellt. Bei beschichteten Platten wurden erhöhte Formaldehydemissionen gemessen, wenn die Oberfläche durch Öffnungen vergrößert war (z.B. bei Akustikdeckenplatten oder Prallschutzwänden).

Die Anforderungen an Kanzerogene nach 3 und 28 Tagen wurden im Fall der Untersuchung eines Holzfaserdämmstoffs aufgrund des Nachweises von 2-Nitropropan überschritten.

Die Anforderungen an den Gesamtgehalt schwer flüchtiger organischer Verbindungen (TSVOC) und die Summe der nicht bewertbaren VOC wurden von den untersuchten Holzwerkstoffen und Bambusböden eingehalten.

### **3.3.1 OSB**

In die Auswertung einbezogen wurden 16 Emissionsprüfergebnisse von OSB-Platten aus 7 anlassbezogenen Fällen mit bis zu drei Produktprüfungen sowie eine Prüfung einer frisch produzierten OSB-Platte durch ein externes Labor, die im Auftrag eines Herstellers durchgeführt wurde. Berücksichtigt wurden hier neben zehn Emissionsprüfungen aus dem Zeitraum 2015 bis 2020 auch 6 ältere Emissionsprüfberichte aus den Jahren 2011, 2012 und 2013. Geprüft wurden vier Neuprodukte und 12 Materialproben im Zusammenhang mit Beschwerdefällen. Das Alter der Platten bzw. die Zeit zwischen Produktion der Platte und Kammerprüfung lag zwischen einer Woche und sechs Jahren. Es wurden Platten mit unterschiedlichen Schichtdicken von 12 mm und 22 mm geprüft. Die Herkunft der Platten bzw. der Hersteller war in sieben Fällen bekannt. Untersucht wurden zwei OSB-Platten des Herstellers Swiss Krono, drei OSB-Platten des Herstellers Kronospan und zwei OSB-Platten des Herstellers Norbord.

Die Prüfkammerbedingungen in Bezug auf die Beladung und die Probenahmezeitpunkte variierten. Am häufigsten (neun Prüfungen) wurde ein  $q$  von  $1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  eingestellt, entsprechend einer Anwendung für Böden oder Decken. Die Kammerluftprobenahmen erfolgten in sieben Prüfungen als Kurzzeitprüfung nach drei Tagen Kammerprüfdauer (Einzelmessung), vier Prüfungen wurden nach sieben Tagen Kammerprüfdauer (Einzelmessung) ausgeführt, in drei Prüfungen erfolgten die Messungen nach drei und sieben Tagen und in einem Fall nach drei, sieben und 28 Tagen. Materialuntersuchungen zur Quellenermittlung bei bereits eingebauten Produkten werden in der Regel als Kurzzeitprüfung mit einem Prüfzeitpunkt nach drei Tagen Kammerprüfdauer durchgeführt, da davon ausgegangen wird, dass sich die Emissionen des Materials auf einem gleichmäßigen Niveau befinden. Die Ergebnisse der Kurzzeitprüfung nach 3 Tagen werden bei verbauten Produkten orientierend mit den AgBB-Anforderungen nach 28 Tagen verglichen.

Geprüft wurden in der Regel die Stoffe gemäß NIK-Liste inklusive der weiteren flüchtigen organischen Verbindungen innerhalb und außerhalb des Retentionsbereichs der VOC (Substanzen mit einer Kohlenstoffanzahl im Molekül zwischen 6 und 16, sog.  $C_6$  bis  $C_{16}$ -Kohlenwasserstoffe). Bei drei Messungen wurden nur die für die Raumluft relevanten Stoffe ausgewertet (geringerer Substanzumfang ohne ungesättigte Aldehyde). Die AgBB-Bewertung erfolgte jeweils bezugnehmend auf das zum Zeitpunkt der Prüfung gültige AgBB - Prüf- und Bewertungsschema einschließlich der zu diesem Zeitpunkt gültigen NIK-Werte. Von den 16 durchgeführten Prüfungen wurden von drei eingebauten Produkten aus Beschwerdefällen die Anforderungen an die Emissionen gemäß AgBB - Prüf- und Bewertungsschema bei einer Beladung von  $1 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ( $q = 0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ) überschritten.

In einem Fall wurden mit einem TVOC gemäß AgBB von  $1,6 \text{ mg}/\text{m}^3$  (Anforderung  $\leq 1,0 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) wegen einer hohen Essigsäurekonzentration und mit einem R-Wert von 6,49 (Anforderung  $\leq 1$ ) u.a. aufgrund der Furfuralkonzentration die AgBB-Anforderungen überschritten. Anlass für die Materialuntersuchung waren gesundheitliche Beschwerden nach Ausbau des Raumes bei großflächiger Verwendung von OSB-Platten für Wände und Decke. Für die eingesetzte OSB-Platte wurden untypisch hohe Emissionen für Furfural und Essigsäure ermittelt.

In den anderen beiden Fällen wurde jeweils der R-Wert aufgrund der Kammerluftkonzentrationen für Aldehyde und Carbonsäuren überschritten. In einem Fall lag der R-Wert bei 2,54, in dem anderen erreichte der R-Wert 1,74.

In der nachfolgenden Tabelle sind neben den bereits genannten typischen Holzwerkstoff-VOC auch weitere flüchtige organische Verbindungen wie Toluol und die Alkohole Pentanol und 2-Ethylhexanol aufgeführt. Es wurden jeweils die Endwerte der Emissionsprüfung nach drei, sieben oder 28 Tagen Kammerprüfdauer herangezogen. Die Tabelle zeigt die Spannweiten der Prüfkammerkonzentrationen jeweils umgerechnet auf eine flächenspezifische Belüftungsrate von  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  bezugnehmend auf die aktuellen DIBt Vorgaben (DIBt 2020) im Vergleich mit NIK-Werten (Stand 2018), Innenraumrichtwerten und den AgBB-Anforderungen.



**Tabelle 2: Ergebnisse der Emissionsprüfungen von OSB-Platten.**

n = Anzahl der Messwerte, Min = niedrigster Wert, Max = höchster Wert, MW = Mittelwert,  
 NIK = niedrigste interessierende Konzentration, (v) = vorläufig

	n	Min µg/m <sup>3</sup>	Max µg/m <sup>3</sup>	MW µg/m <sup>3</sup>	Median µg/m <sup>3</sup>	NIK-Wert 2018 µg/m <sup>3</sup>	Richtwert I mg/m <sup>3</sup>	Richtwert II mg/m <sup>3</sup>
<b>Toluol</b>	16	<1	205	30	3	2900	0,3	3
<b>α-Pinen</b>	16	<1	110	35	18	2500		
<b>β-Pinen</b>	16	<1	20	5	3	1400		
<b>d<sup>3</sup>-Caren</b>	16	<1	73	23	9	1500		
<b>R+-Limonen</b>	16	<1	10	2	<1	5000		
<b>sonstige Terpene</b>	16	<1	75	13	4	1400		
<b>bicyclische Terpene</b>	16	<1	198	67	23		0,2	2
<b>Formaldehyd</b>	13	<1	138	37	20	100	0,1	
<b>Acetaldehyd</b>	13	<1	60	17	11	1200	0,1	1
<b>Propanal</b>	13	<1	27	6	4	750		
<b>n-Pentanal</b>	16	3	108	22	14	800		
<b>n-Hexanal</b>	16	3	210	51	38	900		
<b>n-Oktanal</b>	16	<1	25	5	3	900		
<b>n-Nonanal</b>	16	<1	30	10	8	900		
<b>n-Decanal</b>	16	<1	12	4	3	900		
<b>Benzaldehyd*<sup>1</sup></b>	16	<1	60	12	6	90	0,02(v)	0,2(v)
<b>Aldehyde C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub></b>	16	12	388	97	79		0,1	2
<b>2(E)-Heptenal</b>	13	<1	2	<1	<1	16		
<b>2(E)-Octenal</b>	13	<1	13	2	<1	18		
<b>2(E)-Nonenal</b>	13	<1	1	<1	<1	20		
<b>2(E)-Decenal</b>	13	<1	1	<1	<1	22		
<b>Furfural</b>	13	<1	51	4	<1	10	0,01	0,1
<b>Ameisensäure (Silicagel)</b>	3	196	300	256	272			

	n	Min µg/m <sup>3</sup>	Max µg/m <sup>3</sup>	MW µg/m <sup>3</sup>	Median µg/m <sup>3</sup>	NIK-Wert 2018 µg/m <sup>3</sup>	Richtwert I mg/m <sup>3</sup>	Richtwert II mg/m <sup>3</sup>
<b>Essigsäure</b>	16	<7	1512	223	120	1200		
<b>Propionsäure</b>	16	<1	28	9	7	1500		
<b>n-Hexansäure</b>	16	<1	53	9	8	2100		
<b>Σ Carbonsäuren C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub></b>	16	20	1516	366	167		0,3	1
<b>1-Pentanol</b>	16	<1	53	14	10	730		
<b>2-Ethylhexanol</b>	16	<1	103	15	10	300	0,1(v)	1(v)
	<b>N</b>	<b>Min µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Max µg/m<sup>3</sup></b>	<b>MW µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Median µg/m<sup>3</sup></b>	<b>AgBB- Anforderungen mg/m<sup>3</sup></b>		
<b>TVOC</b>	16	118	1572	535	414	≤ 1,0		
<b>TVOC Toluoläqu.</b>	10	20	1350	400	200			
<b>Σ VOC ohne NIK</b>	13	<5	30	5	<5	≤ 0,1		
<b>TSVOC</b>	13	<5	5	<5	<5	≤ 0,1		
<b>R-Wert (dimensionslos)</b>	13	0,10	6,49	1,25	0,78	≤ 1		
<b>Kanzerogene</b>	13	<1	<1	<1	<1	≤ 0,001		

Konzentrationen in Mikrogramm/m<sup>3</sup> (µg/m<sup>3</sup>) <: kleiner als (Bestimmungsgrenze)

Die Konzentrations-Spannweite der substanzspezifischen Emissionen der geprüften 16 Holzwerkstoffe ist groß. Toluol, als untypische Holzwerkstoffemission, wurde bei einer der untersuchten OSB-Platten mit einer Kammerluftkonzentration von  $205 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nachgewiesen. Terpene wurden überwiegend in niedrigen Konzentrationen vorgefunden. Für  $\alpha$ -Pinen und  $d^3$ -Caren wurden die höchsten Kammerluftkonzentrationen gemessen. Darüber hinaus wurden weitere, nicht substanzspezifisch quantifizierte Terpene ermittelt. Die Summe der bicyclischen Terpene erreichte maximal  $198 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die Konzentrationen der Terpen-Einzelsubstanzen bleiben weit unter den NIK-Werten. Der vorsorgeorientierte Richtwert I in Höhe von  $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$  ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) wird unter den Kammerprüfbedingungen knapp unterschritten. Bei den neueren OSB-Platten wurden höhere Terpenkonzentrationen ermittelt.

Die Höhe des Nachweises von Formaldehyd in der Prüfkammerluft war bei drei Produkten auffällig. Ein Produkt überschritt sowohl den NIK-Wert von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als auch den Grenzwert nach ChemVerbotsV und den Richtwert I. Für zwei Produkte wurden Kammerluftkonzentrationen von  $\geq 90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen. Üblicherweise werden für OSB-Platten formaldehydfreie Bindemittel auf Isocyanatbasis (PMDI) eingesetzt. Bei Platten mit erhöhter Formaldehydemission ist zu vermuten, dass auch formaldehydhaltige Bindemittel verwendet wurden. Acetaldehyd, ein VVOC wie Formaldehyd, mit einem Richtwert I in Höhe von  $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$  ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) wurde maximal mit  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nachgewiesen. Bei den Aldehyden erreichte Hexanal mit  $208 \mu\text{g}/\text{m}^3$  die höchsten Kammerluftkonzentrationen, Pentanal mit  $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$  den zweithöchsten Wert. Der Summenwert für die Aldehyde ( $\text{C}_4$ - $\text{C}_{11}$ , gesättigt, azyklisch, aliphatisch) lag im Maximum bei  $388 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der Median mit  $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$  unterschritt den Innenraumrichtwert RW I von  $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$  ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Auch Benzaldehyd gehört zu den von OSB-Platten freigesetzten Verbindungen. Der Maximalwert lag bei  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Von den ungesättigten Aldehyden wurde 2(E)-Octenal mit einem Maximalwert von  $13 \text{ mg}/\text{m}^3$  in einer neuen OSB-Platte nachgewiesen. Bei den übrigen ungesättigten Aldehyden blieben die Konzentrationen unterhalb der Berücksichtigungsgrenze von  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw. unterhalb der Nachweisgrenze von  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Furfural wurde in einem Fall mit einem Maximalwert von  $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nachgewiesen und lag damit weit über dem NIK-Wert von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , der hier dem Richtwert I entspricht. Bei neun Prüfungen blieb die Kammerluftkonzentration für Furfural unterhalb der Bestimmungsgrenze von  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Für die Bestimmung der Ameisensäure mittels Silicagel und GC/MS konnten nur drei Produktprüfungen herangezogen werden. Die Kammerluftkonzentrationen erreichen Werte zwischen  $196$  und  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Bei den Carbonsäuren wurden die höchsten Konzentrationen für Essigsäure gemessen. In einem Fall wurden der zulässige NIK-Wert und damit auch die Anforderung an den TVOC überschritten. In diesem Fall wäre auch der noch nicht veröffentlichte Richtwert II für die Summe der Alkansäuren ( $\text{C}_1$ - $\text{C}_8$ -Carbonsäuren) in Höhe von  $1 \text{ mg}/\text{m}^3$  ( $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) allein durch Essigsäure überschritten. Neben Essigsäure und Ameisensäure sind Hexansäure und Propionsäure in geringen Konzentrationen regelmäßig vertreten. Von den untersuchten Alkoholen wurden Pentanol und 2-Ethylhexanol häufiger in der Kammerluft bestimmt. Die Maximalkonzentration für 2-Ethylhexanol lag mit  $103 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Bereich des Richtwertes I.

Die Spannweiten der substanzspezifischen Emissionen sind groß. Neben OSB-typischen Emissionen wurden auch Verbindungen nachgewiesen, die in Bezug auf den Nachweis generell oder die Höhe der Kammerluftkonzentration als untypisch einzustufen sind. Bei den neuen Produkten wurden im Vergleich zu den älteren, eingebauten Produkten tendenziell höhere Konzentrationen für Terpene und Aldehyde ermittelt. Wenn bei einem Produkt verschiedene Prüfzeitpunkte (nach 3 und 7 Tagen, sowie nach 3, 7 und 28 Tagen) vorlagen, waren die Konzentrationen für Terpene und Aldehyde abnehmend. Für die Carbonsäuren Ameisensäure und Essigsäure war keine Tendenz erkennbar. Sehr niedrige Emissionen wurden für eine Platte mit der Bezeichnung OSB 3 ECO ermittelt. Die über Toluoläquivalente bestimmten TVOC-Werte lagen bei den durchgeführten Untersuchungen unter dem TVOC gemäß AgBB. Bei dem TVOC gemäß AgBB werden die Zielverbindungen substanzspezifisch quantifiziert und nur die weiteren nicht identifizierten Verbindungen bzw. Verbindungen ohne NIK als Toluoläquivalent quantifiziert. Für beide Summenwerte gilt eine Berücksichtigungsgrenze von  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Unter Bezugnahme auf mögliche Beschwerdesituationen ist zu berücksichtigen, dass im konkreten Anwendungsfall eine höhere Raumbeladung mit OSB und eine geringere Luftwechselrate vorliegen können, wodurch höhere Immissionen erreicht werden.

### 3.3.2 Kunstharzgebundene Spanplatten

Es wurden die Ergebnisse von 15 Emissionsprüfungen von Spanplatten, davon neun beschichtete Spanplatten und sechs unbeschichtete Rohspanplatten, aus dem Zeitraum 2015 bis 2020 ausgewertet. In sieben Fällen erfolgte die Emissionsprüfung nur auf Formaldehyd. In neun Fällen wurden Neuprodukte geprüft. Eine Überschreitung des NIK-Wertes für Formaldehyd wurde unter den jeweiligen Prüfkammerbedingungen bei sieben Produkten festgestellt. Umgerechnet auf eine Beladung von 1,8 ( $q = 0,278$ ), wie dies für Spanplatten seit dem 01.01.2020 vorgegeben ist (Bundesanzeiger 2018), wurden der NIK-Wert für Formaldehyd in Höhe von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  überschritten. Der Grenzwert gemäß ChemVerbotsV in Höhe von  $0,124 \text{ mg}/\text{m}^3$  wurde in elf Fällen nicht eingehalten. Besonders hohe Formaldehydemissionen wurden für Akustikdeckenplatten aus Spanplatten (Oberflächenvergrößerung durch Schlitz) gemessen. Bei zwei beschichteten Spanplatten lag die Formaldehydemission unterhalb der Bestimmungsgrenze von  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Eine unbeschichtete Spanplatte (Bodenplatte) wies ebenfalls eine sehr niedrige Formaldehydemission von weniger als  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auf.

### 3.4 Zusammenfassendes Fazit für Kapitel 3:

- Aufgrund der Struktur und chemischen Zusammensetzung von Holz entsteht durch die Bearbeitung eine Vielzahl flüchtiger organischer Verbindungen.
- Es ist zu unterscheiden zwischen organischen Verbindungen, die bereits primär in bestimmten Holzarten enthalten sind, wie Terpene und Substanzen, die sekundär in Folge der Bearbeitung entstehen, wie Aldehyde und Carbonsäuren. Für die sekundär gebildeten Emissionen ist das Eindringen von Wasser oder Sauerstoff erforderlich.
- Die von Holzwerkstoffen ausgehenden, lang andauernden Emissionen von Aldehyden und Carbonsäuren sind auf Reaktionsprozesse zurückzuführen, die wesentlich durch das Herstellungsverfahren beeinflusst werden.
- Neben den Emissionen Holzwerkstoff-typischer VOC können auch Emissionen auftreten, die nicht auf den Holzwerkstoff selbst zurückzuführen sind, wie z.B. Toluol und 2-Nitropropan.
- Obwohl Ameisensäure eine Holzwerkstoff-typische Substanz ist, wird die Konzentration von Ameisensäure in der Prüfkammerluft in der Regel nicht bestimmt.
- Über die Bildungsprozesse und den Verlauf der Ameisensäure-Emissionen ist weniger bekannt, da Ameisensäure und zum Teil auch Essigsäure in vielen Studien nicht untersucht wurden.
- Die Auswertung von 16 Emissionsprüfergebnissen für unterschiedliche OSB-Platten ergibt ein heterogenes Bild. Die Emissionen von Terpenen waren überwiegend niedrig. In drei Fällen wurden die AgBB-Anforderungen unter den jeweiligen Prüfbedingungen überschritten. Bewertungsrelevant waren in diesen Fällen die Konzentrationen für Furfural, Essigsäure und höhere Aldehyde.

- Für Spanplatten und auch andere Holzwerkstoffe mit hohen Bindemittelanteilen wie z.B. Brettschichtholz werden hohe Formaldehydemissionen ermittelt. Bei über zwei Drittel der untersuchten Spanplatten wurde der Grenzwert der ChemVerbotsV bezogen auf die aktuellen Prüfvorgaben überschritten.

#### **4. VOC-Immissionen in Innenräumen mit Grobspanplatten (OSB) und Spanplatten sowie ggfs. weiteren Holzwerkstoffen**

In diesem Kapitel wird einleitend die Verwendung von OSB und Spanplatten in Innenräumen beschrieben. Anschließend werden die Ergebnisse einer Auswertung der AGÖF-Datenbank zum Vorkommen von VOC in Holzhäusern dargestellt. Es folgen weitere Auswertungen zu Formaldehyd-, Essigsäure- und Ameisensäurekonzentrationen in der Raumluft von älteren Fertighäusern anhand derer das Langzeitemissionsverhalten und die Temperaturabhängigkeit der Holzwerkstoff-basierten Immissionen dargelegt werden. Exemplarisch für die Immissionen Holzwerkstoff-typischer VOC in einem energieeffizienten Neubau werden die Ergebnisse von Derbez et al (Derbez et al. 2014) beschrieben. Anhand eines Vergleichs der Raumluftkonzentrationen für die Holzschutzmittelwirkstoffe PCP und Lindan in älteren Fertighäusern können Rückschlüsse auf den Einfluss der Einbausituation gezogen werden. Es werden fünf Schadensfälle, in denen gesundheitliche Beschwerden und hohe Konzentrationen Holzwerkstoff-typischer VOC vorlagen, vorgestellt. Die Fallbeispiele stammen aus der gutachterlichen Praxis der Autoren. Schließlich wird der Einfluss des Lüftens und die Einbeziehung von Senkeneffekten anhand von zwei weiteren Fallbeispielen erläutert.

##### **4.1 Übliche Verwendung von OSB und Spanplatten in Innenräumen**

Die Hauptanwendungsbereiche für Holzwerkstoffe liegen in der Konstruktion von Gebäuden (Wand-, Boden- und Deckenelemente). Mengenmäßig wird der größere Teil im Bestand für Umbau und Modernisierung gegenüber der Anwendung im Neubau eingesetzt. Holzwerkstoffe in der Konstruktion verbleiben dauerhaft im Gebäude. Die Verwendung von Holz im Bauwesen wird in den Medien als moderne, ökologische, nachhaltige, umweltfreundliche, wohngesunde, flexible und preiswerte Bauweise beworben.

Der Anteil an genehmigten Wohngebäuden in Holzbauweise lag in Deutschland 2010 bei 15,5 % von 94.602 genehmigten Wohngebäuden insgesamt. 2019 wurde ein Anteil von 18,7 % bei einer Steigerung der genehmigten Wohngebäude insgesamt auf 119.472 erzielt. (FNR 2019). Bei den Nichtwohngebäuden lag 2019 gegenüber 2010 keine Steigerung vor bei einem Rückgang der Gesamtzahl von 31.059 auf 27.041 genehmigte Nichtwohngebäude. (FNR 2019a)

Spanplatten stellen in Europa den bedeutendsten Plattentyp dar, der den größten Teil der Gesamtproduktion plattenförmiger Holzwerkwerkstoffe ausmacht. In der EU wurden 2018 über 37,6 Mio m<sup>3</sup> Spanplatten produziert (Statistica 2020). Die Produktion von OSB ist der wachstumsstärkste Bereich der Holzwerkstoffproduktion. Kapazitäts- und Produktionssteigerungen für OSB werden von EUWID in Europa angegeben. 2016 lag die Produktion mit einer Steigerung von 8 % gegenüber dem Vorjahr bei 5,3 Mio m<sup>3</sup>. (Euwid 2017)

Für die Branche „Produktion von unbeschichteten und beschichteten Holzfaser- und Holzspanplatten sowie Furnierplatten und verwandte Sperrholzprodukte für die Möbel- und Bauindustrie sowie den Innenausbau“ in Deutschland wird in einem Branchenreport von IBISWorld für den Zeitraum 2015 bis 2020 ein negatives Wachstum von durchschnittlich -4.4% genannt. (IBISWorld 2020)

Der Import von Spanplatten und OSB in die EU aus Asien ist möglich und findet in geringem Umfang statt. Die Importstatistik von Eurostat zeigt, dass 2018 aus Nicht-EU-Ländern 208.260 m<sup>3</sup> Spanplatten, OSB und ähnliche Platten nach Deutschland importiert wurden. (Eurostat 2020)

#### 4.1.1 OSB

OSB-Platten (OSB = (oriented strand board) oder Grobspanplatten wurden in den 60er Jahren in Nordamerika für die Verwertung der Restspäne aus der Sperrholz- und Furnierherstellung entwickelt. Seit den 90er Jahren werden OSB-Platten in Europa produziert.

OSB-Platten werden in unterschiedlichen Dicken und Formaten produziert sowie geschliffen und ungeschliffen angeboten. Für die Herstellung von OSB-Platten wird frisches Holz verwendet. In Europa überwiegend Fichte und Kiefer, in den USA beispielsweise überwiegend Pappel. OSB-Platten sind in der Regel dreischichtig aufgebaut mit zwei Deckschichten und einer Mittelschicht. In den Deckschichten sind die groben Späne längs zur Faserrichtung ausgerichtet, in der Mittelschicht quer. Für die Herstellung von OSB-Platten werden überwiegend formaldehydfreie Bindemittel (Polymeres Diphenylmethandiisocyanat, PMDI) neben Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz (MUF) und Melamin-Harnstoff-Phenol-Formaldehydharz (MUPF) für die durchgängige oder getrennte Beileimung der Deck- und Mittelschicht eingesetzt.

OSB-Platten werden nach EN 300 abhängig von ihren mechanischen Eigenschaften und der relativen Feuchtebeständigkeit in vier Qualitäts- und Nutzungsklassen eingeteilt:

- OSB/1 bezeichnet Platten für den Innenausbau (einschließlich Möbel) zur Verwendung im Trockenbereich
- OSB/2-Platten eignen sich für tragende Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich
- OSB/3 kennzeichnet Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im Feuchtbereich
- OSB/4-Platten sind hochbelastbare Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im Feuchtbereich

Im Bauwesen werden OSB-Platten für Neubau, Anbau, Aufstockung, Modernisierung in nahezu allen Bereichen und Gebäudenutzungsarten, wie Wohnungsbau, Schulen und Kinderbetreuungseinrichtungen sowie mehrgeschossige Bürokomplexe, eingesetzt. Besondere Bedeutung kommt ihnen in der modularen Fertigbauweise z.B. im Holzrahmenbau und auch Containerbau zu.

Aufgrund ihrer aussteifenden Eigenschaften, der hohen Festigkeit und des relativ geringen Gewichtes werden OSB-Platten im konstruktiven Holzbau als aussteifende Beplankungen für Wand, Dach und Decke verwendet. Im Dachbereich und in Außenwänden können OSB-Platten aufgrund ihres hohen Dampfdiffusionswiderstandes auch als Dampfbremse fungieren.

Beim Holzrahmenbau wird das Ständerwerk des Hauses beidseitig mit Holzwerkstoffplatten verkleidet. Mit dieser so genannten Beplankung werden die einzelnen Elemente wie Wand, Decke oder Dach ausgesteift, um die gewünschte Festigkeit bzw. Statik zu erreichen.

Im Innenausbau werden OSB-Platten als Wand- und Deckenbekleidung, für dekorative Zwecke wie auch als Trockenestrich und Bodenbelag verwendet. OSB-Platten können auch in Feuchträumen eingesetzt werden sofern sie nicht direkt mit Wasser in Kontakt kommen. (Haag 2020)

Im Gegensatz zu Spanplatten werden OSB-Platten aufgrund ihrer dekorativen Optik auch ohne weitere Beschichtung oder Verkleidung verwendet. OSB-Platten können geölt, gestrichen oder auch tapeziert werden. Aufgrund der möglichen Verformbarkeit bei der Anwendung wässriger Systeme wird vor der Anbringung von Tapeten die Verkleidung mit anderen Platten wie z.B. Gipskartonplatten empfohlen.

Darüber hinaus werden OSB-Platten im Möbelbau sowie für den Bau von Transportkisten oder Betonschalungen verwendet.

Als Vorteil der Bauweise mit Holzwerkstoffen werden die einfache Ausführung (Möglichkeit der Eigenleistung), die Möglichkeit der Vorfertigung von Baumodulen, die Trockenbauweise und die Verkürzung der Bauzeit angesehen.

Aufgrund der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten können in Innenräumen hohe Beladungen mit OSB-Platten bis hin zu vollflächiger, raumumschließender Anwendung von teilweise mehreren Plattenlagen erreicht werden.

#### **4.1.2 Spanplatte**

Die Herstellung von Spanplatten wurde in den dreißiger Jahren in Deutschland entwickelt, um den Verwertungsgrad von Holz zu steigern. Neben ca. 60 % Holzresten aus der Fertigung (Hackschnitzel, Schwarten, Späne) kommen bei der Spanplattenherstellung auch Durchforstungs- und Gebrauchthölzer zum Einsatz. (Kutschera, Winter 2006, S. 45)

Bei Standardspanplatten wird hauptsächlich Harnstoff-Formaldehyd-Harz als Bindemittel eingesetzt. Spanplatten werden im Vergleich zu OSB-Platten aus feineren Spänen hergestellt. Dabei sind die Späne der obersten Schicht in der Regel dünner als die der mittleren Schicht, wodurch die Oberfläche der Spanplatte dichter als der Mittelteil ist.

Zur Verbesserung der Feuchtigkeitsbeständigkeit werden Hydrophobierungsmittel wie Paraffin zugesetzt. Spanplatten werden üblicherweise mit Dekoren oder Furnieren beschichtet. Die Feuchtigkeitsbeständigkeit von Spanplatten kann durch den verwendeten Leim verbessert werden. Unbeschichtete Platten werden als Bauplatten oder im Fußbodenbereich eingesetzt. Sichtbare Anwendungen unbeschichteter Spanplatten in Innenräumen sind selten.

Im Vergleich zwischen OSB- und Spanplatten werden der geringere Bindemittelanteil, die Verwendung formaldehydfreier Bindemittel sowie die höhere Formstabilität und Biegefestigkeit von OSB-Platten gegenüber Spanplatten hervorgehoben. Als ein Vorteil von Spanplatten wird die Verwertung von Restholz angesehen. Spanplatten sind im Vergleich kostengünstiger als OSB-Platten.

Spanplatten werden gemäß DIN EN 312 in Bezug auf ihre Eigenschaften in sieben Plattentypen eingeteilt.

- P1 Bauplatten für Innenräume
- P2 Möbelplatten für Innenräume
- P3 Nicht tragende Verwendung, halten Feuchtigkeit besser aus als Standardspanplatten
- P4 Halten Belastung aus, für Innenräume
- P5 Verwendung unter Belastung, halten Feuchtigkeit besser aus als Standardspanplatten
- P6 Schwere Belastung aushaltende Bodenplatten, für Innenräume
- P7 Verwendung unter schwerer Belastung, halten Feuchtigkeit besser aus als Standardspanplatten

Die Plattentypen P1 bis P3 sind für allgemeine und nicht tragende Zwecke bestimmt, z. B. für Möbel und Inneneinrichtungen. Die Plattentypen P4 bis P7 sind zur Ausführung von tragenden oder aussteifenden Bauteilen vorgesehen, z. B. Wand-, Fußboden-, Dachkonstruktionen oder I-Trägern.

Die Anwendungsbereiche für Spanplatten sind vergleichbar mit den Anwendungsbereichen für OSB-Platten. Auch Spanplatten können im Bauwesen ähnlich vielfältig eingesetzt werden.

Spanplatten werden für Innenverkleidungen und Bodenkonstruktionen eingesetzt. Spanplatten können auch als Betonschalung, Verpackungen und zum Bau von Messeständen eingesetzt werden. Besonders häufig werden Spanplatten im Möbelbau eingesetzt.

Im Möbelbau werden vorrangig beschichtete Spanplatten eingesetzt. Durch die beidseitige Beschichtung wird die Formaldehydfreisetzung reduziert.

In den Fertighäusern der 50er bis 80er Jahren wurden Spanplatten als Beplankung der Wände, Decken und Böden großflächig eingesetzt. In modernen Holzbauten werden überwiegend keine Spanplatten mehr eingesetzt. Die vollflächige Verwendung von Spanplatten im Holzbau ist heute nicht mehr üblich. Bei der Modernisierung von Altbauten oder dem Ausbau von Dachgeschossen können hier dennoch durch die Verwendung von Spanplatten im Innenausbau hohe Flächenanteile im Raum resultieren. In Innenräumen finden sich Spanplatten als Wand-, Deckenelemente oder Fußbodenverlegeplatten. Spanplatten werden aufgrund ihres günstigen Preises im Heimwerkerbereich für den Innenausbau und den Aufbau von (vorkonfektionierten) Möbeln verwendet.



## **4.2 VOC-Raumluftmessungen in älteren Fertighäusern und modernen Holzständergebäuden (Literatúrauswertung und Fallbeispiele)**

### **4.2.1 Auswertung der (Arbeitsgemeinschaft ökologische Forschungsinstitute) AGÖF-Daten**

Im Rahmen des Vorhabens „Gesundheitliche Bewertung von Emissionen aus Holz- und Holzprodukten in Innenräumen mittels experimenteller toxikologischer Untersuchungen – Akronym GesundHolz“ gefördert durch die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) wurde 2017 durch die Unterzeichnerin eine Auswertung der AGÖF VOC Datenbank zum Vorkommen von holztypischen VOC in unterschiedlichen Gebäudetypen durchgeführt (Köhler et al. 2019). Hierzu wurden vergleichend für die Teilgruppen Massivbau, Holzleichtbau, differenziert in Holzleichtbau vor 1984 und Holzleichtbau ab 1984 sowie Stahlleichtbau (Container) statistische Kenndaten ausgewertet und der Gesamtgruppe gegenübergestellt. Die Datenbank umfasste zum Zeitpunkt der Auswertung insgesamt 7431 Datensätze aus dem Probenahmezeitraum 2002 bis 2012 aus den beiden Forschungsvorhaben „Bereitstellung einer Datenbank zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Innenraumluft“ (Hofmann, Plieninger 2008) und „Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumluftqualität - Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege)“ (Hofmann et al. 2014).

Neben umfangreichen Messdatensätzen und einem Substanzspektrum von über 500 Einzelstoffen wurden Angaben zur Methode und Qualitätssicherung, zum Anlass der Messung, den Probenahmebedingungen sowie zur Nutzung, Ausstattung und Bauweise des Gebäudes systematisch erfasst (Hofmann 2020). Eine ausführliche Beschreibung der durch das UBA geförderten AGÖF VOC Datenbankprojekte findet sich in den oben genannten Abschlussberichten (Hofmann, Plieninger 2008; Hofmann et al. 2014).

Die Einteilung der Bauweise in Massivbau und Leichtbau erlaubt keine strikte Trennung in Bezug auf den Einbau oder die Verwendung von Holzwerkstoffen. So können auch im Massivbau Bodenbeläge oder Decken- und Wandbekleidungen aus Holzwerkstoffen vorhanden sein. Die Systematisierung der Baujahre erfolgte bezugnehmend auf eine energetische Einteilung in Baualtersklassen (IWU 2003). Für den Holzleichtbau wurde aufgrund der unterschiedlichen Raumluftbelastungen eine Trennung zwischen „alten Fertighäusern“ (Holzleichtbau vor 1984) und neueren Gebäuden in Holzbauweise (Holzleichtbau ab 1984) vorgenommen.

Die Auswertungen ergaben, dass die Holzwerkstoff-typischen Terpene  $\alpha$ -Pinen und  $d^3$ -Caren im neueren Holzleichtbau ab 1984 häufiger und in höheren Konzentrationen nachgewiesen wurden. Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt exemplarisch die Auswertung für  $\alpha$ -Pinen.

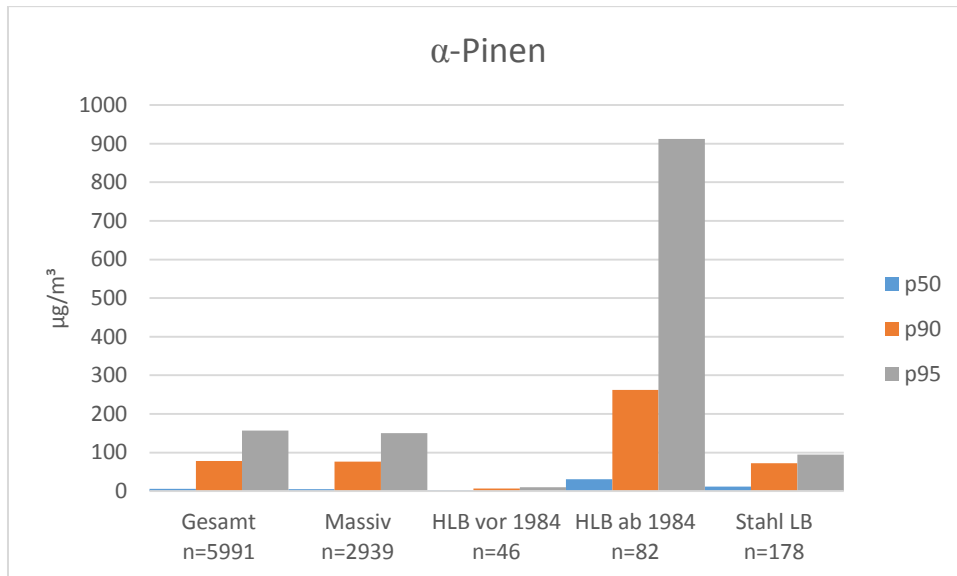


Abbildung 2: Perzentilwerte für α-Pinen  
 („HLB“: Holzleichtbau, „Massiv“: Massive Bauweise, „Stahl LB“: Stahlleichtbau)

Die niedrigsten Konzentrationen für α-Pinen wurden in der Gruppe Holzleichtbau vor 1984 gemessen. Für Limonen, ebenfalls eine Terpen-Verbindung, die auch in zahlreichen Reinigungsmitteln als Duftstoff eingesetzt wird, sind die Unterschiede zwischen den Teilgruppen bzw. gegenüber der Gesamtgruppe weniger deutlich ausgeprägt.

Für Formaldehyd zeigt sich in Abbildung 3 deutlich das in den älteren Fertighäusern bestehende Expositionsrisiko. In diesem Gebäudetyp wurden gegenüber den übrigen Gruppen deutlich höhere Formaldehydkonzentrationen festgestellt. Der höchste Wert für Formaldehyd mit 467 µg/m³ wurde in einem Holzleichtbau vor 1984 gemessen. Die niedrigsten Formaldehydkonzentrationen wurden im Holzleichtbau ab 1984 ermittelt.

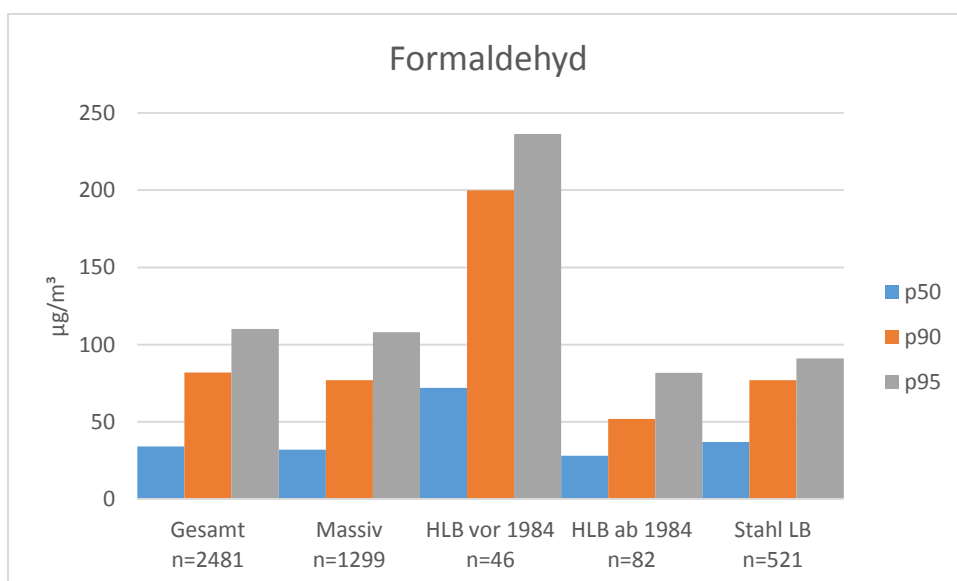


Abbildung 3: Perzentilwerte für Formaldehyd  
 („HLB“: Holzleichtbau, „Massiv“: Massive Bauweise, „Stahl LB“: Stahlleichtbau)

Für Hexanal sind die Unterschiede weniger deutlich ausgeprägt (Abbildung 4). Dennoch wurden auch hier für den Holzleichtbau ab 1984 höhere Perzentilwerte erhalten.

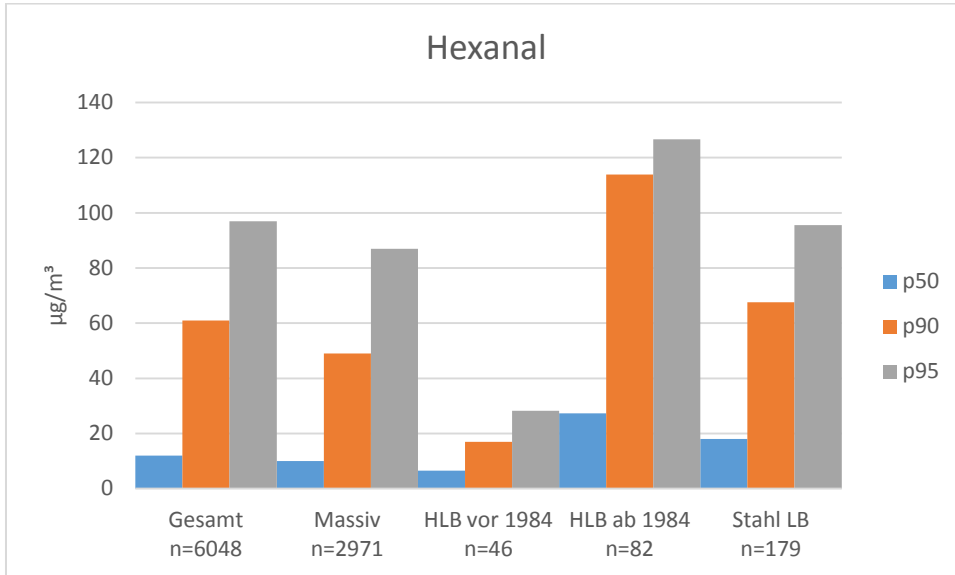
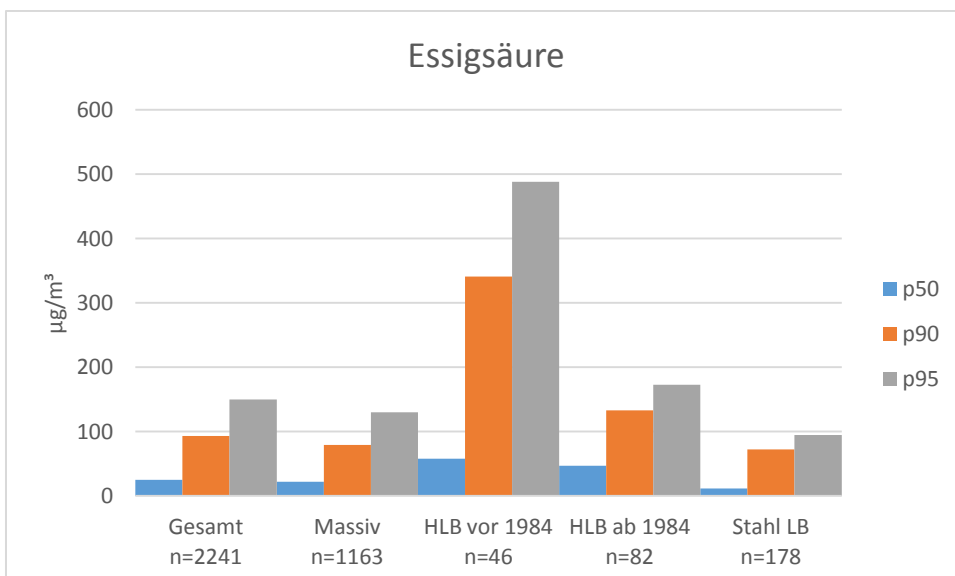


Abbildung 4: Perzentilwerte für Hexanal  
(„HLB“: Holzleichtbau, „Massiv“: Massive Bauweise, „Stahl LB“: Stahlleichtbau)

Für Benzaldehyd und Furfural wurden im Massivbau gegenüber dem Holzleichtbau höhere Konzentrationen bestimmt. Geringe Unterschiede traten zwischen den Gebäudegruppen für ungesättigte Aldehyde auf, deren Konzentrationen in Innenräumen überwiegend unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Für Essigsäure wurden in älteren Fertighäusern die höchsten Perzentilwerte ermittelt, wohingegen für Hexansäure höhere Konzentrationen im Holzleichtbau ab 1984 vorlagen. Die Essigsäurekonzentrationen wurden jedoch mittels Tenax TA bestimmt, so dass ein direkter Vergleich mit den Untersuchungen der Raumluft in älteren Fertighäusern über Silicagel als Anreicherungsmedium nur eingeschränkt möglich ist (vgl. Kap. 4.3.1, Abbildung 7).



#### Abbildung 5: Perzentilwerte für Essigsäure

(„HLB“: Holzleichtbau, „Massiv“: Massive Bauweise, „Stahl LB“: Stahlleichtbau)

Viele der holztypischen VOC gehören zu den häufig in Innenräumen nachgewiesenen Stoffen. Hexanal, Formaldehyd und Acetaldehyd werden in über 95 % der Messungen in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Für Formaldehyd und Essigsäure liegen in Innenräumen hohe Medianwerte vor.

Vergleicht man die Ergebnisse der AGÖF-Studie mit den Richtwerten des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR), wurde der Richtwert II für bicyclische Terpene im Holzleichtbau ab 1984 in drei von 76 Fällen (4 %) überschritten, der Richtwert I in über 10 % der Messungen. Der Summenrichtwert für Aldehyde wurde ebenfalls in über 10% der Messungen überschritten.

Die für den Holzleichtbau vor 1984 häufigen Richtwert-I-Überschreitungen für Formaldehyd wurden im Holzleichtbau ab 1984 nicht festgestellt.

### **4.3 Temperaturabhängigkeit / Jahrgang der Holzwerkstoff-basierten Immissionen (Formaldehyd, Carbonsäuren)**

In der nachfolgenden Zusammenstellung wird durch den Jahrgang der Immissionskonzentrationen die Temperaturabhängigkeit der Emission für die charakteristischen Holzwerkstoff-basierten Immissionen Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure aufgezeigt. Gleichzeitig wird auch die jahrzehntelange Emission dieser Holzwerkstoff-Emissionen erkennbar. Es liegt durch die Nutzung der Holzwerkstoffe als Gebäudebestandteile eine typische Realsituation vor unter den üblichen Nutzungsbedingungen. Langzeit-Studien über Jahrzehnte einer anhaltenden Emission liegen der Kenntnis der Unterzeichnenden nach bislang nicht vor.

Die in den folgenden Unterkapiteln zusammengestellten Daten wurden aus den Untersuchungen von Gebäuden in Holzständerbauweise gewonnen, die entweder im Zusammenhang mit dem Verkauf oder dem Kauf vorgenommen wurden. Es wurden daher die mit der Bausubstanz verknüpften wesentlichen Emittenten wie Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure in der Raumluft erfasst.

#### **4.3.1 Formaldehyd in älteren Holzständergebäuden („Fertighäusern“)**

Formaldehyd wird großtechnisch nach wie vor als Bindemittel-Bestandteil von Harnstoff-Formaldehyd-Harzen in Spanplatten eingesetzt, wenngleich der Anteil an Isocyanat-gebundenen Spanplatten zugenommen hat. Im Gegensatz zur landläufigen Meinung „verfliegt“ dabei das Formaldehyd nicht nach kurzer Zeit, da ansonsten auch die mechanische Stabilität des Spanplatten-Körpers verloren ginge.

In einem „Fertighaus“ sind in aller Regel die tragenden Wände, die Decken und oftmals auch der Fußboden mit Spanplatten versehen. Manche Hersteller haben auch die nichttragenden Innenwände mit Spanplatten beplankt.

Formaldehyd liegt in den Spanplatten in gebundener Form vor. Erst durch die Hydrolyse-Reaktion mit dem Wasserdampf der Raumluft kommt es zur Freisetzung, nachfolgend zur Verflüchtigung und zum Übergang in die Raumluft. Die Hydrolyse-Reaktion ist nach der Arrhenius-Gleichung temperaturabhängig: Je höher die Temperatur, desto schneller verläuft die chemische Reaktion.

In einem Gebäude wird zwar messtechnisch die Raumtemperatur erfasst, diese ist jedoch nicht identisch mit der Temperatur, die die Bauteile des Gebäudes annehmen. Zwischen Außen- und Innenma-

aterialien, zwischen sonnenbeschienenen und schattigen Bauteilen gibt es in aller Regel von der Raumtemperatur abweichende Zustände. In einem Gebäude in Holzständerbauweise kommt die thermische Isolierung zwischen den raumtemperierten Innenmaterialien und den Außenwänden zum Tragen.

Es war in einer Studie (Maraun et al 2019) darzustellen, wie sich die klimatischen Bedingungen (Jahreszeiten) auf die Immission (Raumluftbelastung) auswirken. Es war auch zu prüfen, wie sich die Holzwerkstoff-bedingten Immission nach zwischenzeitlich jahrzehntelanger Nutzung von Holzwerkstoff-Gebäuden darstellt.

Hierzu wurden Messwerte von Probenahmen in Fertighäusern der Bauzeit der 1970 bis 1980 herangezogen, die in den Jahren 2016 bis 2019 ermittelt wurden. Somit besteht eine Zeitspanne von mindestens 39 bis zu 49 Jahren zwischen Errichtung der Gebäude und dem Zeitpunkt der jeweiligen Raumluftmessung.

Für die nachstehende Darlegung wurden die typischen Holzwerkstoff-Emissionen an Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure untersucht.

Der nahezu konstante Gang der gemessenen Raumtemperatur im Jahresverlauf zwischen gemittelt 20 und 23 °C (Abbildung 6) zeigt, dass die Raumtemperatur als nicht emissionsentscheidend für den Gebäudetyp „Holzständerbau, Fertighaus“ anzusehen ist. Für die Möblierung und Innenausbauten ist der unmittelbare Einfluss der Raumtemperatur zwar gegeben, der Hauptanteil an der gemessenen Immission muss demnach ganz überwiegend der Gebäudesubstanz zugewiesen werden. Die Emission selbst wird jedoch durch die Gebäudesubstanz (Bauteil)-Temperatur bestimmt.

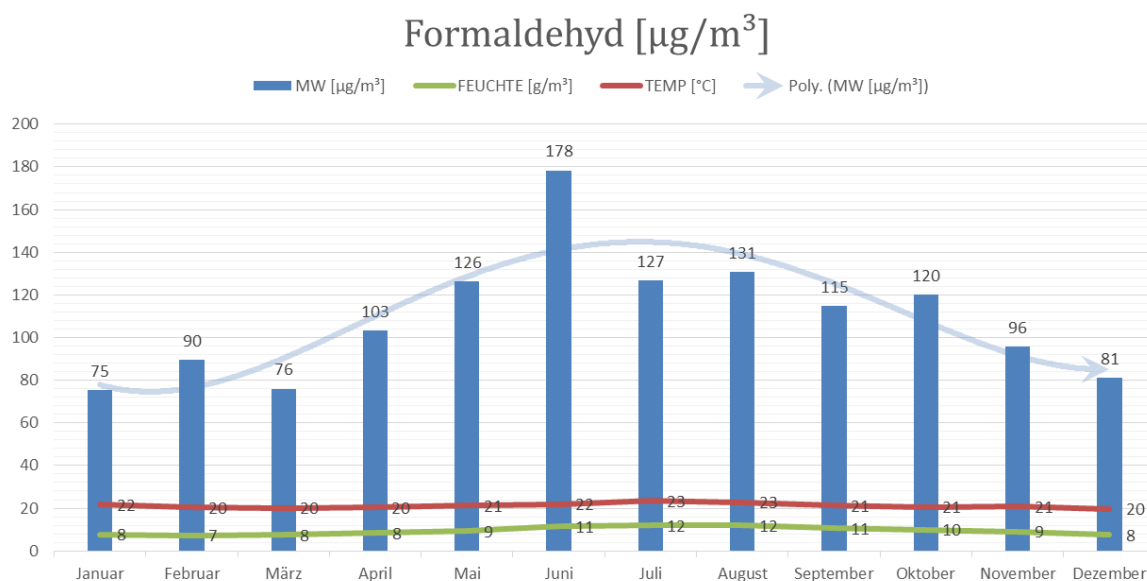


Abbildung 6: Monatsmittelwerte MW der Raumluftkonzentrationen von Formaldehyd aus „Fertighäusern“ der Baujahre 1970 bis 1980, Probenahme in 2016 bis 2019, n = 853 Messungen

Der Innenraumrichtwert RW I des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR) von aktuell  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird, monatsgemittelt, auch nach rund 50 Jahren der Emissionsdauer statistisch noch in sieben Monaten eines Jahres überschritten (Abbildung 6).

Die gemessenen und gemittelten Raumtemperaturen bewegen sich in einem vergleichsweise engen Rahmen zwischen 20 und 23 °C und entsprechen damit ungefähr der Temperaturbedingung in der Emissionsprüfkammer. Die jahreszeitliche Variation der Immissionskonzentrationen wird daher we-

sentlich stärker durch die Temperatur des Gebäudes und der dadurch beeinflussten Emission der Bauteile bestimmt.

### 4.3.2 Essigsäure in älteren Holzständergebäuden („Fertighäusern“)

Der Essigsäure-/Acetyl-Rest ist Bestandteil der Hemicellulose des Holzes. Essigsäure wird durch eine Hydrolyse-Reaktion mit dem Wasserdampf der Raumluft freigesetzt. Der von Spanplatten bekannte „säuerliche“ Geruch ist wesentlich der Essigsäure zuzuschreiben, wird gemeinhin aber mit dem Geruch von Formaldehyd irrtümlich gleichgesetzt.

Die Probenahme der Raumluft erfolgte über Silicagel, die Analytik der Ameisen- und Essigsäure unter Verwendung einer polaren Kapillarsäule. Damit werden bei der Probenahme die bei Verwendung von Tenax TA als Sammelmedium bestehenden analytischen Probleme ausgeschlossen.

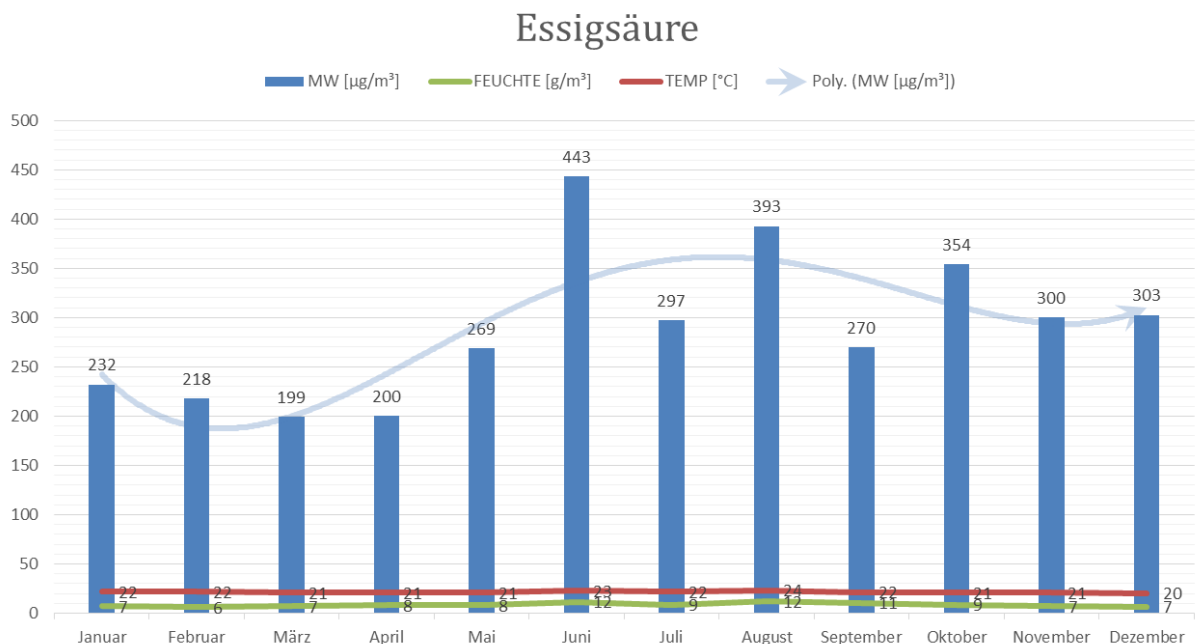


Abbildung 7: Monatsmittelwerte MW der Raumluftkonzentrationen von Essigsäure aus „Fertighäusern“ der Baujahre 1970 bis 1980, Probenahme in 2016 bis 2019, n = 289 Messungen; Anreicherung über Silicagel

Auch für die Essigsäure wird nach einer Dauer von gerundet 40 bis 50 Jahre aus Holzwerkstoffen keine Abnahme der Emission auf „Null“ festgestellt (Abbildung 7).

Während Formaldehyd als technischer Zusatzstoff von Spanplatten fungiert, wird die Essigsäure wie auch die Ameisensäure aus dem Holz selbst chemisch freigesetzt. Daher sind die Langzeit-Emissionen an Essigsäure und Ameisensäure auch auf andere Holzwerkstoffe wie OSB zu übertragen.

### 4.3.3 Ameisensäure in älteren Holzständergebäuden („Fertighäusern“)

Ameisensäure wird wie auch die Essigsäure aus dem Holz emittiert. Auf Grund der hohen Korrelationen zwischen den Raumlufkonzentrationen von Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure (Maraun et al 2016) muss von der gemeinsamen Quelle „Holzwerkstoff“ ausgegangen werden.

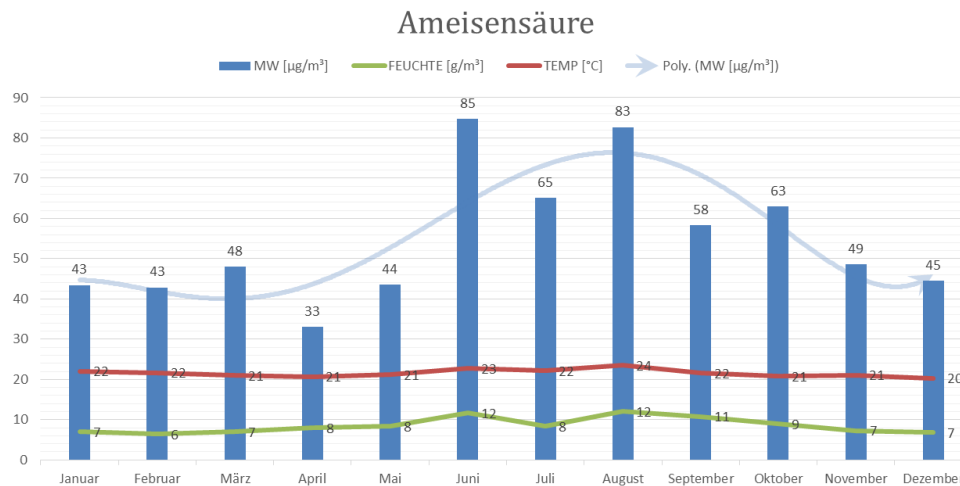


Abbildung 8: Monatsmittelwerte MW der Raumlufkonzentrationen von Ameisensäure aus „Fertighäusern“ der Baujahre 1970 bis 1980, Probenahme in 2016 bis 2019, n = 290 Messungen, Anreicherung über Silicagel

Wenngleich auf niedrigerem Konzentrationsniveau zeigt sich auch für die Ameisensäure nach einer Emissionsdauer von gerundet 40 bis 50 Jahren keine Entwicklung zu einem Verschwinden dieser Substanz aus der Raumluf von Holzwerkstoff-haltigen Gebäuden (Abbildung 8).

Die Entwicklung der Raumlufkonzentrationen ist über den Zeitverlauf als Exponentialfunktion darzustellen, bei der sich nach dem geprüften Zeitabschnitt von 40 bis 50 Jahren ein nahezu konstanter Zustand eingestellt hat. Ein Anstieg ist dabei nicht mehr zu erwarten, aber auch keine wesentliche Verringerung für die nachfolgende Zeit.

Von gesundheitlicher Seite aus ist das Vorkommen an Ameisensäure als kritischer einzustufen als das der Essigsäure. Dieser kleinste Carbonsäure-Vertreter stellt eine wesentlich stärkere Säure dar als Essigsäure. Über den Vergleich der pKs-Werte als Maß der Säurestärke ergibt sich eine zehnfach stärkere Säurewirkung der Ameisensäure gegenüber der Essigsäure (Beier 1978, S. 201). Ameisen- und Essigsäure wirken physiologisch additiv auf das Zielorgan Schleimhäute.

Gemäß der von der Europäischen Union genehmigten harmonisierten Einstufung und Kennzeichnung verursacht Ameisensäure in Reinform schwere Hautverbrennungen und Augenschäden. Darüber hinaus wird in der Stoffbeurteilung, die die Unternehmen der ECHA in den REACH-Registrierungen zur Verfügung stellen, festgestellt, dass diese Substanz beim Einatmen giftig ist, Organschäden verursacht, schädlich beim Verschlucken ist und schwere Augenschäden verursacht (ECHA 2020). Die Wirkung ist konzentrationsabhängig.

#### 4.3.4 VOC-Belastung in neuen energieeffizienten Gebäuden

In einer Studie zur Innenraumluft-Qualität in sieben neu errichteten Gebäuden (davon sechs in Holzbauweise) haben Derbez et al. VOC- und Aldehyd-Messungen mit wöchentlichen Probenahmen durchgeführt (Derbez et al. 2014). Dabei kamen Passivsammler zum Einsatz. Die TVOC-Gehalte wurden mittels Photoionisationsdetektor (PID) ermittelt. Dieses Verfahren liefert jedoch keine zu der Einzelstoff-Analytik äquivalenten Messwerte. Insoweit ist die Spanne der TVOC-Gehalte vor Bezug der Gebäude von 15 bis 3087 µg/m<sup>3</sup> nicht vergleichbar mit der Summe der Einzelsubstanz-Konzentrationen. Aus der Gruppe der Aldehyde (mittels Passivsammler ermittelte Raumluftkonzentrationen) zeigt sich für die Leitkomponente Hexanal eine Messwerte-Spanne vor Bezug von 83,7 bis 856 µg/m<sup>3</sup>. In der Nutzung sinken die Raumluftkonzentrationen für die Sommermonate auf eine Spanne von 29 bis 105 µg/m<sup>3</sup> ab. Für die Wintermonate ergibt sich ein etwas niedrigerer Konzentrationsbereich von 14,6 bis 93 µg/m<sup>3</sup>. Die aufgeführten Raumluftkonzentrationen für Essigsäure von ganz überwiegend unter der Bestimmungsgrenze und maximal 15,4 µg/m<sup>3</sup> müssen bei einer Probenahme auf Aktivkohle als methodisch fragwürdig angesehen werden. Im Ergebnis zeigen sich in der Nutzungsphase deutlich geringere VOC-Raumluftbelastungen gegenüber der Bauphase. Die Winter-Sommer-Unterschiede haben sich als nur gering gezeigt.

#### 4.4 Wirksamkeit einer Abschottung von Emissionen durch Spanplatten

Zur Frage der Wirksamkeit von Materialien zur Abschottung von Schadstoffen kann der Vergleich unterschiedlicher Gebäudetypen der Holzständerbauweise beitragen. Die älteren Fertighäuser können differenziert werden nach der Beplankung der nichttragenden Wände. Im Typus „OKAL“ sind auch die nichttragenden Wände mit Spanplatten beplankt (neben den tragenden Wänden), im Typus „STREIF“ sind die nichttragenden Wände mit Gipskartonplatten versehen (die tragenden ebenfalls mit Spanplatten).

Im älteren Holzständergebäude stellt das Holzständerwerk die Quelle für Lindan, dessen Abbauprodukt gamma-Pentachlorcyclohexen (g-PCCH) und für die Chloranisole dar (Maraun 2020).

**Tabelle 3: Vergleich der Raumluftkonzentrationen für Formaldehyd, Lindan und PCP in Fertighäusern von "OKAL" (mehr Spanplatte) und "STREIF" (auch Gipskarton)**

Perzentilwert	Formaldehyd [µg/m <sup>3</sup> ]	Lindan [ng/m <sup>3</sup> ]	g-PCCH [ng/m <sup>3</sup> ]	2,3,4,6-Tetrachloranisole [ng/m <sup>3</sup> ]
50. Perzentil OKAL	146 (n=457)	110 (n=253)	60 (n=234)	76 (n=253)
50. Perzentil STREIF	82 (n=361)	134 (n=217)	99 (n=201)	101 (n=217)
<i>Verhältnis STREIF zu OKAL</i>	<i>0,56</i>	<i>1,22</i>	<i>1,65</i>	<i>1,33</i>
90. Perzentil OKAL	266	240	143	250
90. Perzentil STREIF	160	354	240	504
<i>Verhältnis STREIF zu OKAL</i>	<i>0,60</i>	<i>1,5</i>	<i>1,7</i>	<i>2,0</i>

(n: Anzahl der Messwerte)

Es zeigt sich, dass bei einem geringeren Anteil an Spanplatten-Beplankung (niedrigere Formaldehyd-Konzentrationen) der Anteil an denjenigen Substanzen, die von dem Holzständerwerk freigesetzt werden, ansteigt. Der Übergang dieser Substanzen (Emission – Transmission – Immission) erfolgt bei den Gipskarton-beplankten Flächen zusätzlich als Diffusion durch den Gipskarton selbst. Andere Pfa-



de wie durch Steckdosen oder Wand-Decke- bzw. Wand-Fußboden-Übergänge sind für beide Gebäudetypen als vergleichbar anzusetzen. Die Spanplatte stellt eine mechanische Sperre gegenüber der Diffusion dar, eine Gipskartonplatte jedoch nicht.

Die ermittelten Raumluftkonzentrationen an Formaldehyd spiegeln den unterschiedlichen Anteil an Spanplatte-Materialien in den beiden Gebäudetypen wider. Zur Vergleichbarkeit wird der Anteil an Spanplatten für beide Gebäudetypen rechnerisch gleichgesetzt (normiert):

**Tabelle 4: Rechnerisch ermittelte Wirksamkeit von Gipskartonplatten als Abschottung auf die Emission von Holzwerkstoffen**

Perzentilwert	Formaldehyd [µg/m³] (normiert)	Lindan [ng/m³] (normiert)	g-PCCH [ng/m³] (normiert)	2,3,4,6-Tetrachloranisole [ng/m³] (normiert)
aus 90. Perzentil OKAL	160	144	86	150
90. Perzentil STREIF	160	354	240	504
<i>Verhältnis STREIF zu OKAL</i>	<i>1</i>	<i>2,5</i>	<i>2,8</i>	<i>3,4</i>

Perzentil: Prozentanteil in einer Verteilung;

90. Perzentil: 90% der Messwerte sind geringer oder gleich dem angegebenen Perzentilwert

Das Ergebnis zeigt deutlich, dass bei gleichem Anteil an Spanplatten im Gebäude durch die Gipskartonplatten der Wände eine um den Faktor 2,5 bis 3,4 höhere Raumluftbelastung durch die Holzständeremission bedingt wird. Gipskartonplatten sind erkennbar „undicht“ bezüglich der Diffusion neutraler Moleküle wie Formaldehyd. Da Gipskarton selbst ein saures Medium darstellt, können auch nicht die sauren Emissionen der Spanplatte in Form der Ameisen- und Essigsäure durch Beplankung mit Gipskarton verhindert werden. Hierzu bedürfte es dann einer diffusionsdichten Beschichtung wie z.B. durch Aluminium.

## 4.5 Schadensfälle

Die anlassbezogenen Messungen in den nachfolgend beschriebenen fünf Schadensfällen erfolgten aufgrund von gesundheitlichen Beschwerden der Nutzer und/oder unangenehmen, teilweise reizenden Gerüchen, die mit der Befürchtung des Auftretens gesundheitlicher Beschwerden bei länger anhaltender Nutzung der Räume einher gingen.

### 4.5.1 Neubau Kinderkrippe

Bei dem Fallbeispiel „Krippe“ handelt es sich um eine dreizügige Kinderkrippe in Holzständerbauweise, errichtet in den Jahren 2013 bis 2014. Die Eröffnung erfolgte im September 2014. Bereits in den ersten Tagen setzten bei den Erzieherinnen und Eltern Beschwerden von Augen- und Atemwegsreizungen sowie von Geruchsbelastungen ein. Danach wurde die Krippe auf Empfehlung des Gesundheitsamtes geschlossen.

Das Gebäude im Originalzustand wies an praktisch allen Wand- und Deckenflächen eine Beplankung mit unbeschichteten OSB-Platten auf. Dabei wurde, möglicherweise aus statischen Gründen, eine Doppel- bis Dreifachbeplankung mit OSB-Platten vorgenommen. Jeder Gruppenraum war noch mit

einer OSB-beplankten Galerie, einer Nische, einem (niedrigeren) Schlaf- und einem Wickelraum ausgestattet. Als Bodenbelag war in den Gruppenräumen ein Kautschukboden verlegt, im Flur und im Büro ein Parkettboden. Gelüftet wurde über Fenster und großflächige Türen.

Das Gebäude befindet sich seitdem im Leerstand und soll auch nicht mehr als Krippe genutzt werden.

Im Rahmen eines Sanierungsversuches wurden in 12/2015 die OSB-Platten der Wände bis ungefähr zur Hälfte der Raumhöhe entfernt. Verblieben sind die Deckenverkleidungen und der Galerieboden. Der Kautschukboden war wegen der charakteristischen Geruchsbelastung bereits ausgebaut worden.

**Tabelle 5: Entwicklung von Immissionskonzentrationen im Objekt „Krippe“ in der Zeit von September 2014 bis Juli 2020**

	09/2014	10/2014	12/2014	01/2015	02/2015	06/2015	07/2015	09/2015	03/2017*	07/2020*
TVOC, ohne Carbonsäuren	10000	2400	2400	1300	1000	2000	1600	1600	610	500
n-Butylacetat	1000	150	96	54	18	48	19	40	3	8
C <sub>9</sub> -C <sub>15</sub> -Alkylbenzole	560	72	110	50	60	73	17	22	26	7
bicycl. Terpene	2000	760	870	330	300	730	490	240	78	59
C <sub>4</sub> -C <sub>11</sub> -Aldehyde	2500	540	520	340	210	560	660	840	150	160
Ameisensäure	---	---	---	---	---	---	120	110	83	110
Essigsäure	950	750	500	420	---	470	370	420	440	270
C <sub>1</sub> -C <sub>8</sub> -Carbonsäuren	---	---	---	---	---	---	500	550	530	390

VOC-Messungen ab 09/2014 in ein- bis zweimonatigem Abstand, dazwischen Intensiv-Lüftung und Ausheizen; Mittelwerte über jeweils zwei bis drei Raumlufproben

\*vor der Messung in 03/2017 war die Hälfte der OSB-Platten demontiert und aus dem Gebäude entfernt worden. (Messwerte auf 2 geltende Stellen gerundet)

Für die technisch bedingten Parameter „n-Butylacetat“ und „C<sub>9</sub>-C<sub>15</sub>-Alkylbenzole“ als typische Lösemittel zeigt sich ein schneller und starker Abfall der Anfangskonzentrationen.

Hingegen wird für die Holzwerkstoff-seitigen Emissionen an bicyclischen Terpenen, den C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyden und den Carbonsäuren (Ameisen- und Essigsäure) zwar eine anfänglich deutliche Verringerung der Ausgangskonzentrationen festgestellt. Insbesondere für die Carbonsäuren (Ameisen- und Essigsäure) stellt sich jedoch im weiteren zeitlichen Verlauf ein eher gleichbleibender Zustand ein. Erst durch das Entfernen eines wesentlichen Anteils an OSB-Platten aus dem Gebäude im Dezember 2016 treten für die Terpene und die Aldehyde bei der Messung in 03/2017 deutliche Abnahmen der Raumlufkonzentrationen ein. Dies belegt, neben dem klimatischen Effekt der Temperaturabsenkung über die Wintermonate, den Zusammenhang zwischen den Emittenten „OSB-Platten“ und der Immission an den bicyclischen Terpenen und den längerkettigen Aldehyden (aus dem Abbau von Fettsäuren des Holzwerkstoffs). Aber auch hier kommt den Carbonsäuren eine Besonderheit zu: Erst mit deutlicher zeitlicher Verzögerung wird bei der Probenahme in 07/2020 eine Abnahme bei den Konzentrationen von Essigsäure und der Gruppe der C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub>-Carbonsäuren. Für den polarsten Vertreter Ameisensäure wird hingegen noch keine Verringerung beobachtet. Hier ist von starken Senken auf den verbliebenen Oberflächen des Gebäudes für die Säure-Vertreter auszugehen, die sich erst langsam leeren.

Der offen liegende Zementestrich wirkt als irreversible Senke für die Carbonsäuren (Neutralisation). Dies bedeutet, dass durch den alkalischen Zement die Carbonsäuren durch diese Neutralisationsreak-

tion unumkehrbar aus der Raumluft entfernt werden, sodass dadurch die mittlere Raumluftkonzentration der Säuren absinkt.

Zwischen der Emission von Bauteilen und der Immission als Eintrag in die Raumluft besteht ein Zusammenhang, wenn auch kein linearer.

Es wurden in der Krippe am 30.09.2015 zwei Materialproben der OSB-Platten „Außenwand“ und „Innenwand“ entnommen und in der Prüfkammer nach DIN EN ISO 16000-9:2008-04 untersucht. Die OSB-Platten befanden sich zu diesem Zeitpunkt bereits ca. 1 Jahr lang im fertig gestellten Gebäude. Das Produktionsdatum nach Stempelaufdruck u.a. 19.01.2014 und 08.03.2014 lag zum Zeitpunkt der Prüfung bereits bis zu 20 Monate zurück (Maraun 2018).

Zwischen der Prüfkammer-Emission und der in der Gebäudeluft festgestellten Immission zeigt sich in erster Näherung eine gute Übereinstimmung (s. Abbildung 9). Dies gilt jedoch nur für den Mittelwert aus den beiden Emissionen der Prüfkörper. Zwischen den entnommenen OSB-Platten selbst besteht ein deutlicher Unterschied in der Emission. Insofern lässt sich allein aus der Emission eines Prüfkörpers nicht auf eine Immissionskonzentration schließen. Die Prüfkammeruntersuchung dieser Prüfkörper, die zuvor bereits ca. 1,5 Jahre lang im Gebäude verbaut waren, zeigt auch ein anhaltend hohes Emissionspotenzial. Für die Probe „OSB-Platte, Außenwand“ wird ein R-Wert von 1,526 und für die Probe „OSB-Platte, Innenwand“ ein R-Wert von 2,234 ermittelt. Die Essigsäure stellt sowohl in der Emission als auch in der Immission diejenige Einzelsubstanz mit der höchsten Konzentration dar.

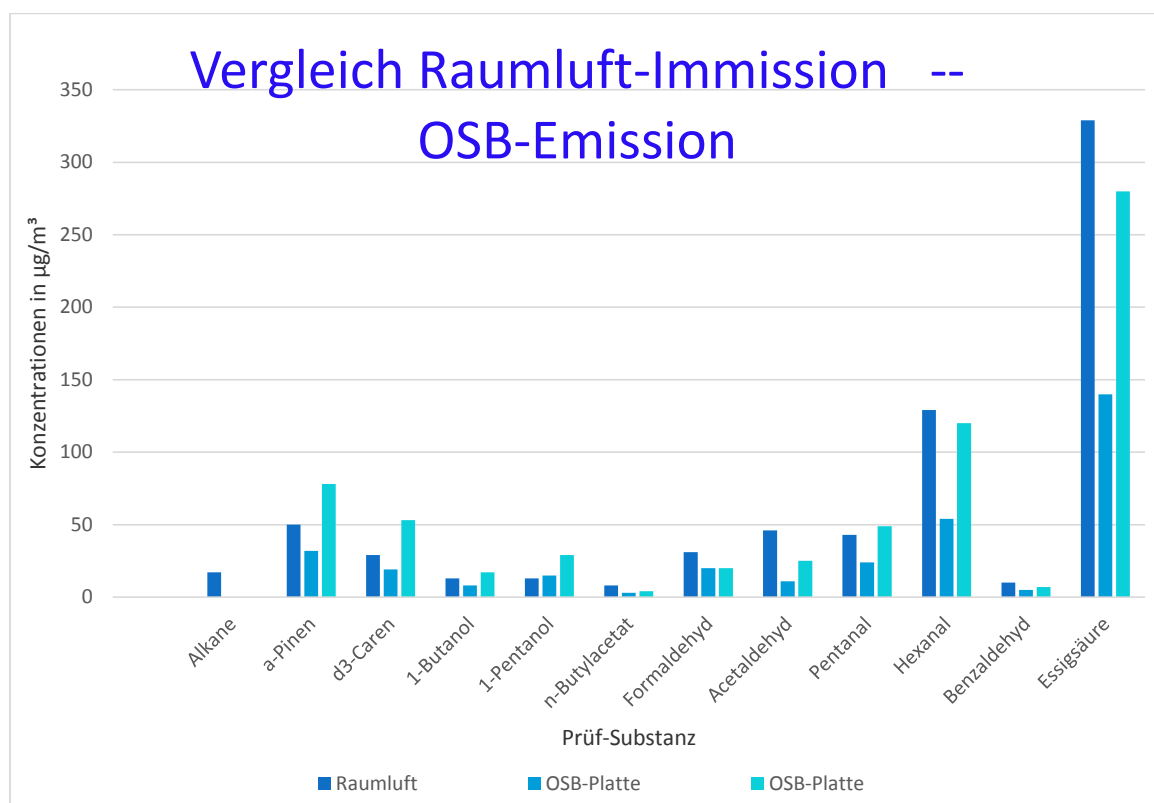


Abbildung 9: Vergleich der Immission mit der OSB-Emission; Kammerprüfung nach DIN EN ISO 16000-9:2008-04, Prüfkammerluft nach 3 Tagen. Die Platten wurden Anfang 2014 produziert, im 09/2015 aus dem Gebäude entnommen und Anfang Oktober 2015 in der Prüfkammer geprüft.

Ein methodischer Unterschied und damit eine eingeschränkte Vergleichbarkeit der Immissions- und Emissionskonzentrationen der Essigsäure ergeben sich durch das Probenahmeverfahren. Die Immis-

sionskonzentrationen wurden durch Anreicherung auf Silicagel bestimmt, die der Emission durch Verwendung von Tenax TA.

#### 4.5.2 Aufstockung Schulneubau

Bei dem betreffenden Gebäude handelt es sich um einen Neubau in Holzständerbauweise im Zuge einer Schulgebäudesanierung. Das EG und 1. OG wurden im Jahr 2017 errichtet und danach auch schulisch genutzt. Das 2. OG wurde im Sommer 2018 fertiggestellt. In allen Etagen liegen großflächig offenliegende Holzwerkstoffe als OSB-Platten vor, als Bodenbelag ist im EG und im 1. OG ein Linoleumfußboden verlegt, im 2. OG ein Polyolefin-Bodenbelag (ohne Leinöl). Die Raumlüftung erfolgt neben einer Fensterlüftung durch dezentral angebrachte Lüftungsgeräte. Für die beprobten Räume war jeweils unmittelbar nach Ende der Sommerferien 2017 die Nutzung als Klassenräume vorgesehen. Im Schuljahr 2017/2018 wurden die Räume im EG und im 1. OG als Klassenräume genutzt. Bei der Probenahme sowohl der Erstmessung als auch der Folgemessung wurde gutachterlich ein „säuerlicher“ Geruch mit Reizung der Atemwege, flacher Atmung und Kopfdruck verzeichnet.

Die Erstuntersuchungen erfolgten vor Aufnahme des Schulbetriebes als Abnahmemessung. Im Sommer des Jahres 2017 wurden je ein Raum im EG und im 1. OG beprobt, im Sommer des Jahres 2018 wurde die Raumluft in denselben Räumen im EG und im 1. OG sowie in zwei Räumen im 2. OG auf VOC, Aldehyde und Carbonsäuren untersucht.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Raumlufkonzentrationen des TVOC sowie der Holzwerkstoffbasierten Substanzen der bicyclischen Terpene, der Aldehyde sowie der Carbonsäuren dargestellt.

**Tabelle 6: VOC-Messungen in einem Holzmodulgebäude über zwei Jahre, ungelüfteter Zustand.**

	TVOC (ohne Carbonsäuren)	bicyclische Terpene	Summe C <sub>4</sub> -C <sub>11</sub> - Aldehyde	Ameisensäure	Essigsäure	Hexansäure	Summe C <sub>1</sub> -C <sub>8</sub> - Carbonsäuren
EG (2017)	4500	1300	1500	340	290	60	870
EG (2018)	400	94	130	590	450	61	1300
1. OG (2017)	5000	1400	1800	290	350	38	1000
1. OG (2018)	830	210	160	530	370	48	1100
2. OG (2018)	1300	460	410	310	290	20	640

Messwerte in µg/m<sup>3</sup>

Die absoluten Konzentrationen zeigen auch den hohen Anteil der Carbonsäuren gegenüber den Terpenen und den Aldehyden im Jahresvergleich.

**Tabelle 7: Prozentuale Abnahme der Leitsubstanz-Gruppen innerhalb eines Jahres mit nutzungüblichem Schulbetrieb.**

	TVOC	bicyclische Terpene	Summe C <sub>4</sub> -C <sub>11</sub> - Aldehyde	Ameisensäure	Essigsäure	Hexansäure	Summe C <sub>1</sub> -C <sub>8</sub> - Carbonsäuren
EG (2017 zu 18)	-91%	-93%	-91%	+74%	+55%	+ 2%	+49%
1. OG (2017 zu 18)	-83%	-85%	-91%	+83%	+6%	+ 26%	+10%

Die prozentualen Veränderungen spiegeln die Konzentrations-Entwicklungen deutlich wider. Von 2017 zu 2018 findet für den TVOC, die bicyclischen Terpene sowie für die C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde eine deutliche Abnahme der Raumlufkonzentrationen zwischen 83 und 93% statt (s. Tabelle 7). Im Gegensatz dazu wird für die Carbonsäuren (für die Einzelsubstanzen Ameisen-, Essig- und Hexansäure sowie beim Summenwert) eine Zunahme zwischen 2 und 83 % festgestellt.

Für den TVOC wird innerhalb eines Jahres von 2017 bis 2018 mit üblicher Nutzung und Lüftung (Fenster und dezentral) für das EG und das 1. OG ein Abklingen von gemittelt 4700 µg/m<sup>3</sup> auf gemittelt 600 µg/m<sup>3</sup> bei großer Schwankungsbreite festgestellt. Das in 2018 neu installierte Geschoss (2. OG) weist deutlich niedrigere Werte für den TVOC, für die Terpene und die Aldehyde auf als die Räume im EG und 1. OG im Jahr zuvor. Hingegen wird für die Carbonsäuren Ameisen- und Essigsäure ein vergleichbares Anfangsniveau der Raumlufkonzentrationen wie in 2017 für das EG und das 1. OG ermittelt.

In diesem Fallbeispiel wird deutlich, dass die Ameisensäure eine wesentliche Rolle bei der Emission von Holzwerkstoffen spielt. Diese stärkste Säure innerhalb der Gruppe der Carbonsäuren wird bei der Bewertung von Holzemissionen nicht berücksichtigt. Damit entzieht sich auch diese am stärksten schleimhautreizende Verbindung einer Beurteilung. Die Tabelle 6 zeigt auch, dass ein Bezug allein auf die Hexansäure lediglich einen stofflichen Anteil zwischen 4 und 7 % an der Gesamtkonzentration an den C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub>-Carbonsäuren ausmacht, der Anteil der Ameisensäure liegt zwischen 29 und 48 %, der der Essigsäure zwischen 33 und 45 %. Hexansäure stellt daher keine wesentliche und nur minderbedeutsame, vernachlässigbare Verbindung in der Holzemission dar. Als Geruchsstoff mit unangenehmer Geruchscharakteristik („Pferdesattel“) kann ihr gesondert eine Bedeutung zukommen.

In der nachstehenden Tabelle sind für die gleichen Räume wie in Tabelle 6 aufgeführt, die Raumlufkonzentrationen für einen „nutzungsüblich“ gelüfteten Raum zusammengestellt: Die als „nutzungsüblich“ im Sinne des Ausschusses für Innenraumrichtwerte vorgegebene Raumlüftung bestand aus einer Querlüftung über 10 min, einer Wartezeit von einer Stunde und der anschließenden Probenahme

**Tabelle 8: VOC-Messungen in einem Holzmodulgebäude über zwei Jahre, gelüfteter Zustand**

	TVOC	bicyclische Terpene	Summe C <sub>4</sub> -C <sub>11</sub> -Aldehyde	Ameisensäure	Essigsäure	Hexansäure	Summe C <sub>1</sub> -C <sub>8</sub> -Carbonsäuren
EG (2017)	1400	300	480	460	280	170	<b>1100</b>
EG (2018)	300	61	89	570	390	48	<b>1100</b>
1. OG (2017)	2000	420	650	230	260	140	790
1. OG (2018)	350	85	97	670	320	39	<b>1100</b>
2. OG (2018)	8200	310	210	320	230	20	580

Messwerte in µg/m<sup>3</sup> (**fett gedruckt:** Gefahrenwert RW II überschritten)

Auf seiner 6. Sitzung am 02. und 03. November 2017 hat der Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) für die Gruppe der C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub>-Carbonsäuren einen Summenrichtwert II von 1 mg/m<sup>3</sup> und einen Summenrichtwert I von 0,3 mg/m<sup>3</sup> festgelegt. Der AIR weist darauf hin, dass bei der Ableitung dieser Richtwerte eine geruchliche Wirkung nicht betrachtet wurde (UBA 2017).

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumluftthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden beim Umweltbundesamt (jetzt: Ausschuss für Innenraumrichtwerte - AIR) hatte in einer Protokollnotiz im Jahr 2011 für Essigsäure (Ethansäure) einen Gefahrenwert (RW II) von 0,4 mg/m<sup>3</sup> genannt.

„Für die Richtwertableitung bietet sich eine Humanstudie mit einer Kurzzeitexposition von bis zu 4 Stunden gegenüber Ethansäure (Endpunkt: Irritation) an. Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe leitet einen Richtwert II von 0,4 mg Ethansäure/m<sup>3</sup> ab. Tierdaten aus einer subakuten Inhalationsstudie zu Ethansäure könnten als Unterstützung der Ableitung aufgeführt werden.“ (UBA 2011)

Unter Zugrundelegen des aktuell (Stand 2020) festgelegten, aber noch nicht publizierten Richtwertes RW II (Gefahrenwert) für die Carbonsäuren C<sub>1</sub> bis C<sub>8</sub> (Ameisensäure bis Octansäure) wird im nutzungüblichen Lüftungszustand der Klassenräume die Raumluftkonzentration mit bis zu 1100 µg/m<sup>3</sup> ermittelt. Damit wird der Gefahrenwert RW II auch noch nach einem Jahr der Inbetriebnahme der Klassenräume überschritten.

Im Jahresverlauf nimmt die Raumluftkonzentration in einem Gebäude in Holzmodulbauweise für den TVOC, die bicyclischen Terpene sowie die C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde stark ab, hingegen nehmen die Raumluftkonzentrationen an den Carbonsäuren z.T. stark zu.

Die in dem untersuchten Objekt festgestellten Raumluftkonzentrationen an den C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub>-Carbonsäuren weisen damit eine anhaltend hohe Belastung mindestens über ein Jahr hinweg auf. Gerade bei den Carbonsäuren scheint es zu einer Anreicherung an den Raumbooberflächen zu kommen (temporäre Senkenbildung), die sich im Jahresverlauf zu einer für die Raumluftbelastung wesentlichen sekundären Quelle ausbildet.

Prüfkammeruntersuchungen von Holzwerkstoffen bei gleichbleibendem Luftwechsel in Prüfkammern können derartige Effekte eines Realraumes nicht erkennen lassen. Auch die hohe Polarität der Carbonsäuren gegenüber den „üblichen“ VOC-Vertretern stellt einen nicht ausreichend gewürdigten Sachverhalt dar. Methodisch ist dadurch eine wesentliche Fehleinschätzung der Carbonsäuren bei einer Übertragung auf Realsituationen bedingt.

#### 4.5.3 Anbau Schule

Nach der Errichtung eines neuen Gebäudeteils (4 Klassenräume mit Flur in Verbindung zum Schulgebäude) in Holzrahmenbauweise im Jahr 2015 kam es nach Beginn der Nutzung (Anfang des Jahres 2016) zu gesundheitlichen Beschwerden (Kopfschmerzen) und Beschwerden über auftretende Gerüche durch Schüler und Lehrer.

Der Anbau war auf einer Balkenlage und OSB-Platten (22 mm) errichtet worden. Die Außenwände wurden innenseitig mit OSB beplankt. An den Innenwänden wurden beidseitig OSB-Platten angebracht. Im Fußboden- und Dachaufbau wurden ebenfalls OSB-Platten eingesetzt. Die Räume wurden mit Linoleumbelag, verklebt auf OSB-Platten, ausgestattet.

Um hier eine Abklärung herbeizuführen, wurde eine exemplarische Raumluftuntersuchung in einem der errichteten Klassenräume durch die Gemeinde veranlasst, die im Juni 2017 durchgeführt wurde. Die Probenahme erfolgte in den Sommerferien. Der Raum war letztmalig am Vortag gelüftet worden. In dem Raum befanden sich zum Zeitpunkt der Probenahme einige Schultische und ein Regal. Der Geruchseindruck im Raum wurde durch den Probennehmer als störend (Note 4 von 6<sup>1</sup>) beurteilt.

Bei den Untersuchungen auf flüchtige organische Verbindungen, mit Thermodesorption von Tenax TA und GC/MS gemäß DIN EN ISO 16000-6 und Formaldehyd mit DNPH/HPLC nach DIN EN 16000-3, wurden erhöhte Belastungen mit flüchtigen organischen Verbindungen insbesondere Aldehyden und

---

<sup>1</sup> Die Geruchsbeurteilung wurde nach folgender Notenskala vorgenommen: 1: nicht wahrnehmbar; 2: wahrnehmbar, aber nicht störend; 3: deutlich wahrnehmbar, aber noch nicht störend; 4: störend; 5: stark störend belästigend, 6: unerträglich

Terpenen (s. Tabelle 9: Ergebnisse der Prüfkammer- und Raumlufthuntersuchungen für ausgewählte VOC.)

Die TVOC-Konzentration wurde mit  $9058 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $9,06 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) bestimmt. Die höchsten Einzelstoffkonzentrationen wurden für Hexanal mit  $1127 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und Essigsäure mit  $1181 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ermittelt. Für die Summe der Aldehyde ( $\text{C}_4$  bis  $\text{C}_{11}$ ) wurde der gefahrenbezogene Richtwert II in Höhe von  $2 \text{ mg}/\text{m}^3$  mit einem Summenwert in Höhe von  $2230 \mu\text{g}/\text{m}^3$  überschritten. Bicyclische Monoterpene (u.a.  $\alpha$ -Pinen) wurden ebenfalls in erhöhten Konzentrationen nachgewiesen (Richtwert I Überschreitung). Carbonsäuren ( $\text{C}_1$  bis  $\text{C}_8$ ) wurden in der Summe mit  $1752 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bestimmt. Für Carbonsäuren wurde der zurzeit in der Diskussion befindliche Summenrichtwert II in Höhe von  $1 \text{ mg}/\text{m}^3$  ebenfalls überschritten.

Zudem wurden oberhalb des zugehörigen RW I Benzaldehyd mit  $182 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\text{RW I} = 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und  $\text{C}_9$ - $\text{C}_{14}$ -Alkane /Isoalkane mit  $950 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\text{RW I} = 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nachgewiesen. Weitere Substanzen wie Pentanol wurden mit  $349 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in erhöhten Konzentrationen nachgewiesen (für diese Substanz gibt es keinen RW).

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse (u.a. RW II Überschreitung) wurde für die untersuchten Räume ein unmittelbarer Handlungsbedarf (Prüfbedarf für Sanierungsmaßnahmen) abgeleitet. Der TVOC Wert wurde gemäß TVOC-Bewertungskonzept (UBA 2007<sup>2</sup>) als hygienisch auffällig eingestuft.

Als Quelle für die vorgefundenen Belastungen wurden aufgrund der Bauweise mit großflächig eingesetzten OSB-Platten an Wänden, Decken sowie im Fußbodenaufbau die OSB-Platten vermutet.

Anhand von Materialproben sollten die Quellen der Belastungen ermittelt und Vorschläge für Minderungsmaßnahmen erarbeitet werden. Hierzu wurden im August 2017 Proben der OSB-Platten der Außen-/Innenwände, des Bodenaufbaus sowie der Holzkonstruktion entnommen. Diese wurden Emissionsprüfungen entsprechend den Vorgaben der DIN EN ISO 16000-9 unterzogen. Da das Material bereits vor Ort gealtert war, wurde der 7. Prüftag als Messtag verwendet.

Die nachfolgende Tabelle stellt die Prüfkammer- und die Raumlufthkonzentrationen vergleichend dar.

---

<sup>2</sup> Umweltbundesamt (2007): Beurteilung von Innenraumlufthkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Bundesgesundheitsblatt 7. Seite 999 - 1005

**Tabelle 9: Ergebnisse der Prüfkammer- und Raumlufuntersuchungen für ausgewählte VOC.**

Parameter	OSB Fußboden [µg/m³]	OSB Außenwand [µg/m³]	OSB Innenwand [µg/m³]	Konstruktionsvollholz [µg/m³]	Bodenbelag Linoleum [µg/m³]	Raumluft- [µg/m³]
Aliphaten C9-n-C16*	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	959
α-Pinen	38	10	5	n.n.	1	653
n-Butanal	3	n.n.	n.n.	n.n.	2	25
n-Pentanal	55	6	10	5	12	550
n-Hexanal	97	8	17	10	13	1127
n-Heptanal	9	n.n.	n.n.	n.n.	3	122
n-Oktanal	15	n.n.	1	n.n.	5	214
n-Nonanal	17	n.n.	2	n.n.	5	158
n-Decanal	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.	34
Benzaldehyd	29	4	11	14	5	182
Furfural	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	13
Ethansäure (Essigsäure)	94	61	84	598	120	1181
Propansäure (Propionsäure)	46	8	11	37	61	356
n-Butansäure (Buttersäure)	8	n.n.	n.n.	n.n.	7	39
n-Hexansäure (Capronsäure)	23	4	4	n.n.	18	231
TVOC über Toluol	232	48	69	101	59	
TVOC	575	119	161	635	276	9058

- = nicht untersucht      n.n. = unterhalb der Nachweisgrenze

Die in der Prüfkammer ermittelten Konzentration wurden auf ein  $q = 1,25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  umgerechnet, um eine Vergleichbarkeit zu den anderen Prüflingen zu ermöglichen  
 TVOC-Werte Prüfkammer gemäß AgBB Stoffe ab  $5 \text{ µg/m}^3$ ; Raumluf ab  $1 \text{ µg/m}^3$ .



Bei einem einheitlichen  $q$  von  $1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  stellt die OSB-Bodenplatte für Aldehyde und Terpene die stärkste Emissionsquelle dar. Hierbei trägt der eigentliche Bodenbelag inkl. Verlegematerialien jedoch deutlich weniger zu den Belastungen bei, als die OSB-Platte im Bodenaufbau. Auch die OSB-Platten der Wände tragen zu der Belastung in der Raumluft bei. Hier muss berücksichtigt werden, dass im Raum eine höhere Beladung als die in der Prüfkammer gewählte vorliegt.

Auch der Linoleumbelag stellt eine Quelle für Aldehyde und Essigsäure dar. Für Propan-, Butan- und Hexansäure weist der Linoleumbelag unter den eingestellten Kammerprüfbedingungen die höchsten Emissionen auf. Für Essigsäure ist der Holzständer in der Konstruktion die stärkste Emissionsquelle.

Ein Vergleich der in der Kammer ermittelten Emissionskennwerte mit den im Raum vorgefundenen Konzentrationen zeigt eine deutliche Diskrepanz zwischen Emission und Immission: Bei den Prüfkammeruntersuchungen wurden deutlich geringere Kammerluftkonzentrationen als in der Raumluft ermittelt. Vermutlich ist diese Diskrepanz auf die im Vergleich zur Prüfkammer geringere Luftwechselrate und höhere Beladung im Realraum zurückzuführen. Bei sehr dichten Gebäuden ist mit einem Luftwechsel von unter  $0,1 /\text{h}$  zu rechnen, während der Luftwechsel in den Emissionsprüfkammern auf  $0,5$  bis  $0,8$  eingeregelt wurde. Daher sind aus diesem Grund bereits die hier ermittelten Emissionskennwerte ca. fünf- bis achtfach niedriger als die im Raum ermittelten. Grundsätzlich stellt sich auch die Frage, ob die geprüften Platten repräsentativ für die im Gebäude vorhandenen OSB-Platten sind und ob ggfs. weitere in der Konstruktion verwendete Holzwerkstoffe zu den im Raum festgestellten Belastungen beitragen.

Insgesamt ist hier die Situation gegeben, dass mehrere Quellen für die Belastungen im Raum verantwortlich sind. Hierbei sind auch weitere Holzwerkstoffe, wie die in der Konstruktion eingesetzten Balken zu berücksichtigen. Unter den genannten Prüfbedingungen konnte für die in der Prüfkammer geprüften Produkte keine Überschreitung der Anforderungen des AgBB-Schemas (Stand 2018) ermittelt werden.

#### **4.5.4 Aufstockung Wohnhaus**

Auf einen 1963 massiv gebauten Winkelbungalow mit Flachdach wurde 2014 ein weiteres Geschoss in Holzständerbauweise aufgestockt.

Aufgrund des auffälligen Geruchs in der Zwischendecke, der durch den Auftraggeber als stechend, beißend, reizend beschrieben wurde und des Verdachts einer Belastung durch teerige Materialien im Dachaufbau des ursprünglichen Flachdachs wurden am 20.05.2020 im OG Raumluftmessungen auf ausgewählte flüchtige organische Verbindungen (VOC) durchgeführt.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Errichtung des Obergeschosses auf dem vorhandenen Flachdach. SWISS KRONO OSB-Platten in unterschiedlichen Dicken (Innenwand 15 mm, Außenwand und Fußboden 22 mm) wurden für alle Bauteiloberflächen, Wände: Innen- und Außenseite, Boden und Decke, eingesetzt. Im Fußbodenaufbau befindet sich über der OSB-Platte ein Trockenestrich mit Parkettboden. An der Decke wurden raumseitig Gipskartonplatten angebracht.



**Abbildung 10: Errichtung der Aufstockung auf dem vorhandenen Flachdach**



**Abbildung 11: Herstellung des Fußboden-Unterbodens mit OSB-Platten**



**Abbildung 12: Errichtung der Innen- und Außenwände in Holzrahmenbauweise mit innen- und außenseitiger OSB-Bekplankung**



**Abbildung 13: Herstellung des Dachaufbaus mit Holzbalken**

Gemäß vorliegendem Untersuchungsbericht erfolgten die Messungen im Obergeschoss nach einer Nichtbelüftung von mindestens 8 Stunden bei üblichen raumklimatischen Bedingungen von 20,8 °C und 50 % relativer Luftfeuchte (rLf) im Flur und 21,7 °C und 46 % rLf im Kinderzimmer.

Bei den Untersuchungen wurden erhöhte Konzentrationen für Aldehyde ermittelt. Der Richtwert I des AIR wurde mit Summenwerten von 178 µg/m<sup>3</sup> und 171 µg/m<sup>3</sup> in beiden Räumen deutlich überschritten. Carbonsäuren und Formaldehyd wurden in der Raumluft nicht untersucht.

Auf Grund der Richtwertüberschreitungen für die Stoffgruppe der Aldehyde wurde das Belastungsniveau der Raumluft in den untersuchten Räumen als „hygienisch auffällig“ eingestuft.

Grundsätzlich ist zudem bei steigenden Temperaturen mit einem Anstieg der Belastung durch die Aldehyde zu rechnen (Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit, der Diffusion und des Dampfdruckes).

Als mögliche Quelle wurden die als innerseitige Beplankung der Holzrahmen verwendeten OSB-Platten als sehr wahrscheinlich angesehen. Es wurde empfohlen langfristig eine deutliche Minimierung der Emissionen durch Ausbau der belasteten Materialien oder Maskierung der Flächen mittels einer Tapete mit Isolierfolie vorzunehmen.

Aufgrund der Befürchtung gesundheitlicher Belastungen bei Nutzung der Räume im Obergeschoss als Daueraufenthaltsräume (u.a. als Kinderzimmer) wurden weitere Untersuchungen veranlasst, um die Quelle/n der Belastungen zu ermitteln und geeignete Minderungsmaßnahmen ergreifen zu können. Hierzu wurden durch den Eigentümer im Juli 2020 Materialproben der OSB-Platten (Innenwände, Außenwände, Fußboden) sowie des Fußbodenaufbaus (Parkett und Estrich) und der Dämmung (KMF) aus den Wänden entnommen. Weiterhin wurden durch den Auftraggeber Materialproben von einer neuen Platte mit der Bezeichnung OSB3 K - Board TG4 des Hersteller Kronospan, Produktion 7.6.20, Dicke 22 mm, als Referenzmaterial zugesandt. Die Emissionen der Materialproben wurden mittels Prüfkammer untersucht. Aufgrund der Größe der vorgelegten Materialproben und den für die Analysen erforderlichen Probenahmevolumina erfolgten die Prüfungen normabweichend in einer 20 l Kammer bei einer Beladung von  $1 \text{ m}^2/\text{m}^3$  und einem Luftwechsel von  $2 /\text{h}$  entsprechend einem  $q$  von  $2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ . Es wurden Kammerluftproben nach 3 und 7 Tagen Kammerprüfdauer entnommen. Ergänzend zu der Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen mittels Tenax und GC/MS nach 16000-6 sowie Aldehyde mit DNPH nach DIN EN 16000-3 wurden die Carbonsäuren zusätzlich mittels Silicagel und GC/MS bestimmt.

Die nachfolgende Tabelle 10 stellt die Ergebnisse der Prüfkammeruntersuchung berechnet für ein  $q$  von  $1,00 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  im Vergleich mit den Ergebnissen der Raumluftuntersuchungen dar.

**Tabelle 10: Emissions- und Immissionsdaten für ausgewählte VOC in µg/m³.**

	Prüfkammer OSB-Platte (IW und AW) Bj. 2014	Prüfkammer OSB-Platte (IW und AW) Bj. 2014	Prüfkammer OSB-Platte Fußboden Bj. 2014	Prüfkammer OSB-Platte Fußboden Bj. 2014	Prüfkammer OSB3 K - Board TG4 neu Herstel- ler Kronos- pan, Produk- tion 7.6.20	Prüfkammer OSB3 K - Board TG4 neu Herstel- ler Kronos- pan, Produk- tion 7.6.20	Raumluft- konzentration Kinder- zimmer Probenahme 18.05.2020
	3 Tage	7 Tage	3 Tage	7 Tage	3 Tage	7 Tage	
<b>q [m³/(m²h)]</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	
α-Pinen	6	6	10	8	12	10	20
β-Pinen	0	0	8	n.n.	6	n.n.	<2
d³-Caren	4	4	n.n.	n.n.	10	n.n.	5
R+-Limonen	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.	7
sonstige Terpene *	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.	-
<b>Σ bicycl. Terpene</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>25</b>
Formaldehyd	n.n.	n.n.	14	n.n.	48	38	-
Acetaldehyd #<*1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	14	n.n.	-
Propanal	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	1	-
n-Pentanal	2	2	4	2	28	20	18
n-Hexanal	4	2	4	4	76	50	48
n-Oktanal	2	2	4	4	n.n.	n.n.	10
n-Nonanal	2	4	8	8	n.n.	n.n.	75
n-Decanal	n.n.	2	n.n.	6	n.n.	n.n.	8
Benzaldehyd*1	4	n.n.	8	4	n.n.	n.n.	4
<b>Σ Aldehyde C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub></b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>104</b>	<b>70</b>	<b>178</b>
Furfural	n.n.	n.n.	2	n.n.0	n.n.	n.n.	2
<b>Ameisensäure (Silicagel)</b>	<b>130</b>	<b>150</b>	<b>122</b>	<b>136</b>	<b>124</b>	<b>98</b>	
<b>Essigsäure (Tenax)</b>	<b>68</b>	<b>60</b>	<b>94</b>	<b>166</b>	<b>88</b>	<b>30</b>	-

	Prüfkammer OSB-Platte (IW und AW) Bj. 2014	Prüfkammer OSB-Platte (IW und AW) Bj. 2014	Prüfkammer OSB-Platte Fußboden Bj. 2014	Prüfkammer OSB-Platte Fußboden Bj. 2014	Prüfkammer OSB3 K - Board TG4 neu Herstel- ler Kronos- pan, Produk- tion 7.6.20	Prüfkammer OSB3 K - Board TG4 neu Herstel- ler Kronos- pan, Produk- tion 7.6.20	Raumluft- konzentration Kinder- zimmer Probenahme 18.05.2020
	3 Tage	7 Tage	3 Tage	7 Tage	3 Tage	7 Tage	
q [m³/(m²h)]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Essigsäure (Silicagel)	320	200	300	260	220	166	-
Propionsäure (Te- nax)	n.n.	n.n.	4	12	6	n.n.	-
Propionsäure (Silicagel)	3	2	5	4	12	9	-
n-Hexansäure (Te- nax)	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	-
n-Hexansäure (Silicagel)	5	4	7	4	10	8	-
<b>Σ Säuren (C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub>) (Silicagel)</b>	<b>462</b>	<b>356</b>	<b>440</b>	<b>408</b>	<b>370</b>	<b>278</b>	-
1-Pentanol	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.	-
2-Ethylhexanol	28	6	50	14	38	12	3
<b>TVOC</b>	<b>96</b>	<b>60</b>	<b>164</b>	<b>242</b>	<b>174</b>	<b>92</b>	<b>288</b>

- = nicht untersucht

n.n. = unterhalb der Nachweisgrenze

TVOC-Werte Prüfkammer gemäß AgBB Stoffe ab 5 µg/m³, Raumluft ab 1 µg/m³.

**Tabelle 11: Emissions- und Immissionsdaten für ausgewählte VOC in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die Kammerluftkonzentrationen wurden auf die jeweilige flächenspezifische Belüftungsrate entsprechend der Anwendung umgerechnet.  $q = 0,36 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  für Wand und Decke,  $q = 1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  für den Fußboden.**

	Prüfkammer OSB-Platte (IW und AW) Bj. 2014	Prüfkammer OSB-Platte (IW und AW) Bj. 2014	Prüfkammer OSB-Platte Fußboden Bj. 2014	Prüfkammer OSB-Platte Fußboden Bj. 2014	Prüfkammer OSB3 K - Board TG4 neu Herstel- ler Kronos- pan, Produk- tion 7.6.20	Prüfkammer OSB3 K - Board TG4 neu Herstel- ler Kronos- pan, Produk- tion 7.6.20	Raumluft- konzentri- on Kinder- zimmer Probenahme 18.05.2020
	3 Tage	7 Tage	3 Tage	7 Tage	3 Tage	7 Tage	
<b>q [<math>\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})</math>]</b>	<b>0,36</b>	<b>0,36</b>	<b>1,25</b>	<b>1,25</b>	<b>0,36</b>	<b>0,36</b>	
$\alpha$ -Pinen	17	17	8	6	33	28	20
$\beta$ -Pinen	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	17	n.n.	<2
d <sup>3</sup> -Caren	11	11	n.n.	n.n.	28	n.n.	5
R+-Limonen	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	6	6	7
sonstige Terpene *	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	-
<b><math>\Sigma</math> bicycl. Terpene</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>139</b>	<b>28</b>	<b>25</b>
Formaldehyd	n.n.	n.n.	11	n.n.	133	106	-
Acetaldehyd #<*1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	39	n.n.	-
Propanal	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	6	6	-
n-Pentanal	6	6	3	2	78	56	18
n-Hexanal	11	6	3	3	211	139	48
n-Oktanal	6	6	3	3	n.n.	n.n.	10
n-Nonanal	6	11	6	6	n.n.	n.n.	75
n-Decanal	0	6	n.n.	5	n.n.	n.n.	8
Benzaldehyd*1	11	n.n.	6	3	n.n.	n.n.	4
<b><math>\Sigma</math> Aldehyde C<sub>4</sub>- C<sub>11</sub></b>	<b>28</b>	<b>33</b>	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>289</b>	<b>194</b>	<b>178</b>
Furfural	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.	n.n.	2
Ameisensäure	<b>361</b>	<b>417</b>	<b>98</b>	<b>109</b>	<b>344</b>	<b>272</b>	-

	Prüfkammer OSB-Platte (IW und AW) Bj. 2014	Prüfkammer OSB-Platte (IW und AW) Bj. 2014	Prüfkammer OSB-Platte Fußboden Bj. 2014	Prüfkammer OSB-Platte Fußboden Bj. 2014	Prüfkammer OSB3 K - Board TG4 neu Herstel- ler Kronos- pan, Produk- tion 7.6.20	Prüfkammer OSB3 K - Board TG4 neu Herstel- ler Kronos- pan, Produk- tion 7.6.20	Raumluft- konzentration Kinder- zimmer Probenahme 18.05.2020
	3 Tage	7 Tage	3 Tage	7 Tage	3 Tage	7 Tage	
q [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)]	0,36	0,36	1,25	1,25	0,36	0,36	
(Silicagel)							
Essigsäure (Tenax)	189	167	75	133	244	83	-
Essigsäure (Silicagel)	889	556	240	208	611	461	-
Propionsäure (Tenax)	n.n.	n.n.	3	10	17	0	-
Propionsäure (Silicagel)	9	n.n.	4	0	33	26	-
n-Hexansäure (Tenax)	n.n.	15	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	-
n-Hexansäure (Silicagel)	15	12	5	3	28	23	-
Σ Säuren (C <sub>1</sub> -C <sub>8</sub> ) (Silicagel)	1283	989	352	326	1028	772	-
1-Pentanol	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	6	0	-
2-Ethylhexanol	78	17	40	11	106	33	3
<b>TVOC</b>	<b>267</b>	<b>167</b>	<b>131</b>	<b>194</b>	<b>483</b>	<b>256</b>	<b>288</b>

- = nicht untersucht

n.n. = unterhalb der Nachweisgrenze

TVOC-Werte Prüfkammer gemäß AgBB Stoffe ab 5 µg/m<sup>3</sup>, Raumluft ab 1 µg/m<sup>3</sup>.



Die neue OSB-Platte weist in der 3-Tage-Probe die höchsten Werte für Terpene auf. Der 7-Tage-Wert liegt bereits in dem Konzentrationsbereich der eingebauten Platten. Die verbauten Platten zeigen keine bzw. keine relevanten Formaldehyd- und Acetaldehyd-Emissionen. Dagegen weist die neue OSB-Platte vergleichsweise hohe Formaldehydemissionen auf. Die Kammerluftkonzentrationen für höhere Aldehyde sind niedrig. Auch hier zeigt das Neuprodukt die höchsten Konzentrationen. Während für das Neuprodukt die Emissionen in dem Beobachtungszeitraum (3 und 7 Tage) abklingen, ist für die verbauten Produkte keine abklingende Tendenz zu erkennen. Für Aldehyde steigen die Konzentrationen bei einigen Verbindungen sogar an. Auffällig ist die deutliche Diskrepanz zwischen den Ergebnissen für die Carbonsäuren, die mit Tenax und mit Silicagel ermittelt wurden. Die Tenax-Methode ergibt gravierende Minderbefunde von bis zu über 80 % gegenüber Silicagel. Bei den verbauten OSB-Platten stellen die Säuren Ameisensäure und Essigsäure die höchsten Emissionen dar. Im Gegensatz zu den Werten für Terpene und Aldehyde, die bei den verbauten Produkten in niedrigeren Konzentrationen als bei dem Neuprodukt gemessen wurden, sind die Emissionen für Carbonsäuren in den verbauten Produkten deutlich höher. Darüber hinaus zeigt sich das Übergewicht der Carbonsäuren (nach Silicagel-Anreicherung) gegenüber dem TVOC (mit den Minderbefunden an den Tenax-Carbonsäuren).

Vergleicht man die Ergebnisse der Emissionsprüfungen mit den Ergebnissen der Raumlufuntersuchungen lässt sich die Höhe der Raumlufbelastung mit höheren Aldehyden vermutlich nur unter Berücksichtigung der hohen Beladung im Raum, des geringeren Luftwechsels im Realraum sowie weiteren Quellen für höhere Aldehyde erklären. Es ist zu vermuten, dass für den wahrgenommenen Geruch neben den Aldehyden die Carbonsäuren einen wesentlichen Beitrag leisten, der aufgrund der fehlenden Raumlufteergebnisse jedoch nicht beurteilt werden kann. Das eingangs geschilderte Empfinden des auffälligen Geruchs in der Zwischendecke „als stechend, beißend, reizend“ ist eigentlich eine trigeminale Wirkung und keine olfaktorische und dürfte eher durch die Carbonsäuren (insbesondere durch Ameisen- und Essigsäure) bestimmt sein.

#### **4.5.5 Neuerrichtung Bürgerhaus**

In einem Anfang 2011 neu errichteten Bürgerhaus (Massivbau mit in den Wänden verbauten OSB-Platten) wurden durch einige Gebäudenutzer (Mieter) im Frühjahr 2011 unterschiedliche Befindlichkeitsbeschwerden gemeldet. Bei den betroffenen Personen kam es u.a. zu Hautausschlägen, Hautrötungen im Gesicht, Übelkeit, Kopfschmerzen, Atmungsproblemen sowie Augen- oder Rachenreizungen.

Aufgrund der Gesundheitsbeschwerden beauftragte der Bauherr die Durchführung von Raumlufmessungen und Materialuntersuchungen.

Bei einer ersten Messung im Mai 2011 war in einem exemplarisch untersuchten Büroraum (Bodenbelag: Nadelfilz) eine hygienisch auffällige Gesamtbelastung (TVOC von ca. 2300 µg/m<sup>3</sup>) mit Richtwert I – Überschreitungen für die entsprechenden Summen an Aliphaten, Terpenen und Aldehyden festgestellt worden. Es wurde daraufhin eine Intensivierung der Belüftung empfohlen. Es folgten weitere Untersuchungen, um die Wirksamkeit der Belüftungsmaßnahmen zu prüfen und mögliche Quellen zu ermitteln.

Aufgrund des nachgewiesenen Substanzspektrums konzentrierten sich die Materialuntersuchungen zur Quellenermittlung auf den Nadelfilzbodenbelag samt Kleber und auf die in den Wänden verbauten OSB-Platten.

In der nachfolgenden **Tabelle 12** sind die Messwerte (Summenwerte) für drei Räume und im zeitlichen Verlauf zusammengestellt.

**Tabelle 12: Raumluftkonzentrationen in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für ausgewählte Summenwerte in einem Büro-  
 raum mit OSB-Platten im Wandaufbau im zeitlichen Verlauf.**

	Parameter	Probenahme 25.05.11	Probenahme 05.08.11	Probenahme 06.02.12
<b>Büro</b>	TVOC	2.300	1.400	1.300
	Summe C9-C14-Aliphaten	270	93	110
	Summe bicycl. Terpene	630	490	390
	Summe C4-C11-Aldehyde	400	220	120
<b>Seminarraum</b>	TVOC	-	1.600	560
	Summe C9-C14-Aliphaten	-	63	23
	Summe bicycl. Terpene	-	420	240
	Summe C4-C11-Aldehyde	-	270	49
<b>Atelier</b>	TVOC	-	1.100	250
	Summe C9-C14-Aliphaten	-	56	10
	Summe bicycl. Terpene	-	130	37
	Summe C4-C11-Aldehyde	-	150	13

Die Raumluftuntersuchungen zeigen einen Rückgang der Raumluftbelastungen in dem exemplarisch untersuchten Büroraum von der ersten Messung im Mai bis zur 2. Messung im August. Der stärkste Rückgang ist für die Gruppe der C9-C14-Aliphaten (häufig eingesetztes Lösungsmittel) zu verzeichnen. Dagegen fallen die Rückgänge für Aldehyde und Terpene geringer aus. Für diese beiden Stoffgruppen bleiben die Richtwerte weiterhin überschritten. In einem weiteren ebenfalls mit Nadelfilzboden ausgestatteten Seminarraum wurden ähnliche Summenwerte ermittelt. Dagegen wies das mit einem Lino-leumbelag ausgestattete Atelier insgesamt niedrigere Belastungen auf. Die 3. Messung im Februar 2012 zeigt für das Atelier einen deutlichen Rückgang der Raumluftkonzentrationen, wohingegen für den Seminarraum und das Büro für Terpen-Konzentrationen ein geringerer Rückgang besteht. In der Summe gehen die Konzentrationen im Atelier auf 23 % des Ausgangswertes im August zurück. Der TVOC-Wert im Seminarraum weist einen Rückgang auf 35 % auf. Dagegen liegt der TVOC-Wert im Büro noch bei 93 % des Ausgangswertes und die Summenrichtwerte für die bicyclischen Terpene und die C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde werden weiterhin überschritten.

Darüber hinaus erfolgten weitere Raumluftuntersuchungen in dem Büroraum nach bzw. während der Raumlüftung. Hierdurch sollte eruiert werden, in wie weit durch die Lüftungsmaßnahme ein kurzfristiges Absinken der Substanzkonzentrationen bewirkt wird. Hierfür wurde folgendermaßen gelüftet:

- ca. 5 Minuten stoßlüften
- anschließend ca. 45 Minuten Fenster in Kippstellung
- parallel hierzu geöffnete Tür
- anschließende Raumluftmessung bei diesen Einstellungen

Parallel zu dieser Messung erfolgte auch eine Luftprobenahme innerhalb der abgehängten Decke, um die Konzentrationen ausgewählter flüchtiger Verbindungen innerhalb von weniger belüfteten Hohlräumen zu ermitteln.

Tabelle 13 zeigt die Raumluftkonzentrationen in dem ungelüfteten Büroraum am 25.05. und am 05.08.2011 sowie während der Belüftung des Raumes im Raum selbst und innerhalb der abgehängten Decke am 05.08.2011.

Anhand der in der Tabelle 13 im Einzelnen aufgeführten Konzentrationen ist erkennbar, dass für Holzwerkstoff-typische VOC geringere Abnahmen durch die intensiviertere Belüftung erzielt wurden. Für Essigsäure ist sogar ein Anstieg der Immission festzustellen. Eine deutliche Reduktion der Belastungen kann durch Kipplüftung im Raum erzielt werden. Die Konzentrationen für Terpene (Summe bicyclische Terpene) und Aldehyde (Summe azyklische, aliphatische C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde) sinken während der Belüftung durch Kipplüftung jeweils auf 17 % ihrer Ausgangskonzentration ab, was in etwa auf eine Versechsfachung des Luftwechsels bei Kipplüftung gegenüber geschlossenem Fenster schließen lässt. Dagegen steigt die Konzentration für Essigsäure während des Lüftens an. Innerhalb der abgehängten Decke bleiben die Konzentrationen der Holzwerkstoff-typischen VOC auch während der Belüftung des Raumes durch den dort fehlenden Luftwechsel auf einem erhöhten Niveau.

**Tabelle 13: Raumluftkonzentrationen für ausgewählte VOC in einem Büroraum mit OSB-Platten im Wandaufbau**

Parameter	Büro, ungelüftet (25.05.2011) [µg/m <sup>3</sup> ]	Büro, ungelüftet (05.08.2011) [µg/m <sup>3</sup> ]	Anteil Messwert 05.08.2011 bezogen auf Messwert 25.05.2011	Büro, mit Lüftung (05.08.2011) [µg/m <sup>3</sup> ]	Büro, abgehängte Decke (05.08.2011) [µg/m <sup>3</sup> ]
<b>TVOC</b>	<b>2.300</b>	<b>1.400</b>	<b>61 %</b>	<b>480</b>	<b>770</b>
<b>Alkane</b>					
n-Heptan	54	4	7 %	n.n.	10
n-Nonan	8	3	38 %	n.n.	2
n-Dekan	21	8	38 %	1	7
<b>Summe Aliphaten C9-C14</b>	<b>270</b>	<b>93</b>	<b>34 %</b>	<b>11</b>	<b>16</b>
<b>Terpene</b>					
alpha-Pinen	360	220	61 %	47	120
beta-Pinen	73	66	90 %	6	12
Camphen	8	8	100 %	1	2
delta-3-Caren	190	190	100 %	32	60
beta-Myrcen	7	5	71 %	1	n.n.
Verbenon	3	3	100 %	1	n.n.
<b>Summe bicycl. Terpene</b>	<b>630</b>	<b>490</b>	<b>78 %</b>	<b>85</b>	<b>190</b>
<b>Aldehyde</b>					
Formaldehyd	43	40	93 %	14	27
Acetaldehyd	130	110	85 %	8	54
n-Propanal	30	24	80 %	3	14
n-Butanal	29	23	79 %	n.n.	15
n-Pentanal	82	79	96 %	7	56
n-Hexanal	220	130	59 %	17	59
n-Heptanal	9	6	67 %	2	3
2-Ethylhexanal	11	n.n.	0 %	1	2
n-Octanal	19	8	42 %	2	4
n-Nonanal	24	17	71 %	6	14
Benzaldehyd	15	18	120 %	4	16
<b>Summe azyklische,</b>	<b>400</b>	<b>220</b>	<b>55 %</b>	<b>38</b>	<b>159</b>

Parameter	Büro, ungelüftet (25.05.2011) [µg/m³]	Büro, ungelüftet (05.08.2011) [µg/m³]	Anteil Messwert 05.08.2011 bezogen auf Messwert 25.05.2011	Büro, mit Lüftung (05.08.2011) [µg/m³]	Büro, abgehängte Decke (05.08.2011) [µg/m³]
<b>aliphat. C4-C11-Aldehyde</b>					
<b>Alkohole</b>					
n-Pentanol	22	24	109 %	4	7
Phenol	4	2	50 %	2	3
<b>Carbonsäuren</b>					
<b>Ethansäure (Essigsäure)</b>	<b>26</b>	<b>46</b>	<b>177 %</b>	<b>57</b>	<b>79</b>
<b>Propansäure</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>133 %</b>	<b>5</b>	<b>11</b>
<b>n-Hexansäure (Capronsäure)</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>80 %</b>	<b>2</b>	<b>7</b>
<b>Weitere Verbindungen</b>					
2-Butanonoxim	5	n.n.	0 %	n.n.	n.n.
Caprolactam	8	6	75 %	4	n.n.
<b>Weitere Substanzen (Gruppen)</b>					
Alkylcycloalkane	150	34	23 %	4	n.b.
Isoalkane	110	40	36 %	9	n.b.
Olefine	130	66	51 %	10	n.b.
Terpene und Terpenoide	42	46	110 %	2	n.b.
<b>Außerhalb des TVOC</b>					
Pentanisomere	390*	97*	25 %	10*	n.b.

n.n.: untersucht jedoch nicht nachgewiesen

n.b.: nicht bestimmt bzw. nicht untersucht

Die Ergebnisse der Emissionsprüfungen sind in Tabelle 14: Kammerluftkonzentrationen für ausgewählte VOC nach 3 Tagen Kammerprüfdauer zusammengefasst.

Untersucht wurden jeweils 4 Bohrkerne von OSB-Platten aus Innenwänden mit jeweils 20 cm² Oberfläche. Bei der ersten Prüfung erfolgte die Probenahme der Kammerluft ohne Luftwechsel zur Bestimmung der Ausgleichskonzentration, in der Wiederholung mit Luftwechsel von 0,5/h.

**Tabelle 14: Kammerluftkonzentrationen für ausgewählte VOC nach 3 Tagen Kammerprüfdauer**

Parameter	OSB-Platte Wand (Büro) während der PN ohne Luftwechsel [µg/m <sup>3</sup> ]	(Wiederholung) OSB-Platte Wand (Büro) [µg/m <sup>2</sup> /h]	OSB-Platte Wand (Büro) [µg/m <sup>2</sup> /h]	OSB-Platte Wand (WC) [µg/m <sup>2</sup> /h]
<b>Terpene</b>				
α-Pinen	>160	30	55	31
β-Pinen	69	6	10	4
Camphen	4	1	1	n.n.
d <sup>3</sup> -Caren	>190	33	34	23
α-Terpinen	3	n.n.	n.n.	n.n.
Limonen	18	1	4	5
Borneol	n.n.	1	n.n.	n.n.
b-Myrcen	7	1	n.n.	n.n.
Eucalyptol	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
b-Linalool	1	n.n.	n.n.	n.n.
Campher	6	1	n.n.	n.n.
Menthol	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
α-Terpineol	17	5	6	n.n.
4-t-Butylcyclohexylacetat	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Verbenon	63	19	10	5
Longifolen	5	1	3	1
Σ Terpene <sup>1)</sup>	>420	70	100	59
<b>Aldehyde</b>				
Methanal (Formaldehyd)	n.b.	10	15	45
Ethanal (Acetaldehyd)	n.b.	10	24	30
Propanal	n.b.	3	n.n.	9
n-Butanal	15	3	3	4
n-Pentanal	96	11	6	10
n-Hexanal	230	20	13	16
n-Heptanal	23	3	n.n.	3
2-Ethylhexanal	4	n.n.	n.n.	4
n-Oktanal	54	6	n.n.	n.n.
n-Nonanal	55	13	3	5
n-Dekanal	6	5	1	3
n-Undekanal	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
n-Dodekanal	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Benzaldehyd	82	15	9	8
Cuminaldehyd	1	n.n.	n.n.	n.n.
Σ Aldehyde <sup>2)</sup>	~480	61	24	43
Essigsäure (Ethansäure)	n.b.	190	19	31
Propansäure	n.b.	11	3	4
Capronsäure (n-Hexansäure)	n.b.	26	n.n.	n.n.
<b>Alkohole</b>				
n-Pentanol	n.b.	19	5	11
2-Ethylhexanol	n.b.	51	9	4

n.n.: untersucht jedoch nicht nachgewiesen

n.b.: nicht bestimmt bzw. nicht untersucht

<sup>1)</sup> Terpensumme = Summe aller bicyclischen Terpene

<sup>2)</sup> Aldehydsomme = Summe der gesättigten, azyklischen, aliphatischen Aldehyde mit vier bis 11 C-Atomen

Die Ergebnisse der Emissionsprüfungen zeigen ein mit den Belastungen in der Raumluft in Bezug auf holztypische VOC übereinstimmendes Substanzspektrum. Die Materialproben der OSB-Platten weisen Emissionen für Aldehyde, Terpene, Carbonsäuren und Alkohole auf, die in der Raumluft in erhöhten Konzentrationen nachgewiesen wurden. Die Konzentrationshöhen der Platten unterscheiden sich. Mög-

licherweise spielt hier das Alter der Platten (die 2. Beprobung erfolgte ca. 6 Monate später) bzw. auch das Vorhandensein unterschiedlicher Chargen eine Rolle. Ein Vergleich der Kammerluftkonzentration bei einer Luftwechselrate von 0,5/h gegenüber einer Ausgleichskonzentration (fehlender Luftwechsel) zeigt einen Unterschied bei den Terpen- und Aldehyd-Konzentrationen um den Faktor fünf bis zehn. Die Ergebnisse dieser nur als orientierend zu bewertenden Untersuchung veranschaulichen deutlich den Einfluss der Luftwechselrate auf die sich einstellende Kammerluft- und entsprechend auch auf die Raumluftkonzentrationen.

#### **4.6 Einfluss der Raumlüftung**

Die Lüftung eines Realraumes stellt einen üblichen und notwendigen Betriebszustand eines Gebäudes dar. Die Lüftung eines Raumes soll durch den verstärkten Luftwechsel zu einem Austrag von Schadstoffen bzw. unerwünschten Substanzen führen. Ob es jedoch auch einen hinreichenden Vorgang zur Erzielung einer ausreichenden Luftgüte bedeutet, ist substanz- und quellenabhängig. Bei manueller Lüftung besteht nur in einem anteilig kleineren Zeitabschnitt der gesamten Raumnutzung ein stärkerer Luftwechsel (manuelle Lüftung durch Öffnen von Türen und/oder Fenstern). Dadurch kann es zwischen den Lüftungsphasen (bei geschlossenen Fenstern und Türen) zu einer Anreicherung auf und in den Materialoberflächen unter Ausbildung von Sekundärquellen im Raum kommen, da die Emission der Primärquellen im Raum verbleibt. Je nach Siedepunkt und Polarität der chemischen Substanzen kann dieser Anreicherungseffekt unterschiedlich ausfallen. Hier unterscheidet sich der Prüfkammerraum mit Glas- oder Edelstahloberflächen und einem permanent erhöhten Luftwechsel wesentlich von einem realen Raum. Im Prüfkammerraum ist daher eher mit geringeren Luftkonzentrationen zu rechnen als in einem Realraum. Die Prüfkammer unterschätzt eine Realraumkonzentration.

Für Holzwerkstoff-Gebäude sind daher sowohl die Primäremissionen als auch Anreicherungseffekte zu betrachten.

Nachfolgend sind in Tab. 15 für zwei Gebäudeuntersuchungen die Raumluftkonzentrationen im Ausgangszustand (über Nacht ungelüfteter Raum) und für den „nutzungsüblich“ gelüfteten Zustand (10 min quer gelüftet, 1 Stunde gewartet) gegenübergestellt (Maraun 2018).

Gebäude A: Hier handelt es sich um einen Ersatzbau als zweigeschossige Container-Modulbauweise für eine Grundschule. Es sollte eine Freigabemessung vor Inbetriebnahme durchgeführt werden. Der Fußboden war mit Linoleum ausgelegt und die Wände mit offen liegenden OSB-Platten beplankt. Die Decke war mit einer Lattung aus Fichtenholz versehen. Die Räume waren unmöbliert. Die Raumlüftung erfolgte über Fenster und Innentüren.

Gebäude B: Das Gebäude wird als Gymnasium-Neubau in zweigeschossiger Holzmodulbauweise genutzt werden. Es war eine Statusmessung vor der Inbetriebnahme durchzuführen. Die Räume waren mit einem Linoleum-Bodenbelag ausgestattet, die Wände mit offen liegenden OSB-Platten beplankt und die Decke mit Lattung versehen. Die Räume waren unmöbliert. Zur Raumlüftung standen die Fenster und die Innentüren zur Verfügung.

**Tabelle 15: Lüftungseffekt durch „nutzungsübliches“ Lüften.**

	Gebäude A			Gebäude B		
	ungelüftet	gelüftet	Abnahme bei nutzungsüblicher Lüftung (in %)			Abnahme bei nutzungsüblicher Lüftung (in %)
TVOC	4800	1800	-63	1300	1000	-23
C <sub>9</sub> -C <sub>15</sub> -Alkylbenzole	17	5	-71	---	---	---
bicycl. Terpene	1300	380	-71	390	290	-26
C <sub>4</sub> -C <sub>11</sub> -Aldehyde	1700	600	-65	230	180	-22
Acetaldehyd	420	130	-69	130	85	-35
Formaldehyd	110	84	-24	71	79	11
Essigsäure	330	260	-21	81	85	5
Ameisensäure	310	310	0	66	57	-14

Konzentrationen in µg/m<sup>3</sup>

**Gebäude A:**

Mittelwerte aus drei Räumen

Raumtemperaturen, ungelüftet 26 °C; gelüftet: zwischen 26 bis 27 °C

Rel. Luftfeuchte, ungelüftet (gemittelt) 47%; gelüftet (gemittelt) 45%

**Gebäude B:**

Mittelwerte aus vier Räumen

Raumtemperaturen, ungelüftet zwischen 28 und 29°C; gelüftet: zwischen 29 und 30°C

Rel. Luftfeuchte, ungelüftet (gemittelt) 54%; gelüftet (gemittelt) 53%

Bei beiden Gebäuden handelt es sich um Holzmodulbauweisen mit offen liegenden OSB-Platten der Wandbeplankung. Die „nutzungsübliche“ Lüftung über 10 min und eine anschließende Wartezeit zeigen eine sehr unterschiedliche Lüftungseffizienz. Aber auch innerhalb der Messwert-Reihe des jeweiligen Gebäudes wird ein auffallend unterschiedliches Verhalten deutlich. Während die unpolaren und nur schwach polaren Substanzen und Substanzgruppen (C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde, Acetaldehyd, bicyclische Terpene und die C<sub>9</sub>-C<sub>15</sub>-Alkylbenzole) durch den Luftwechsel deutlich stärker reduziert werden, wird für die Gruppe der polaren Substanzen (Formaldehyd, Essigsäure und Ameisensäure) eine auffallend geringere Lüftungseffizienz beobachtet mit teilweiser Umkehr: Nach dem Lüften können die Raumluftkonzentrationen auch höher sein als zuvor. In diesem Fall wäre das Lüften als kontraproduktiv anzusehen.

Der beobachtete Effekt kann mit der Polarität der Substanzen in Zusammenhang gebracht werden. Die polarste Substanz in der Raumluft stellt Wasser dar. Durch Konkurrenzreaktionen an den Bindungsstellen der Raumbooberflächen zwischen den sehr polaren Wassermolekülen und den weniger polaren Molekülen von Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure kommt es zu einer Verschiebung der letzteren von der Oberfläche in die Gasphase (Raumluft). Ein derartiger Realeffekt kann in einer Prüfkammersituation mit gleichbleibendem Luftwechsel, gleichbleibender Luftfeuchte und fehlender Ablagerung an den Glas- oder Edelstahloberflächen weder eintreten noch beobachtet werden. Die Prüfkammer unterschätzt eine Realraumkonzentration.

#### 4.7 Zusammenfassendes Fazit für Kapitel 4:

- OSB- und Spanplatten finden in Innenräumen vielfältige Verwendungsmöglichkeiten. Typisch für den großflächigen Einbau von Spanplatten sind in Holzrahmenbauweise erstellte, ältere Fertighäuser. Bei neuen Holz-Fertighäusern werden überwiegend OSB-Platten eingesetzt und großflächig an Böden, Decken und Wänden eingebaut.
- Die statistischen Auswertungen anlassbezogener Untersuchungen der AGÖF zeigen im Vergleich zwischen Massivbau und Holzleichtbau für Holzwerkstoff-typische Terpene höhere Konzentrationen in neueren Holzhäusern. Dagegen werden für Formaldehyd in neueren Holzhäusern gegenüber den übrigen Gebäudetypen niedrigere Konzentrationen ermittelt wurden. Ältere Fertighäuser wiesen häufiger hohe Belastungen für Formaldehyd auf. Auch für Essigsäure wurden in älteren Holzhäusern höhere Perzentile festgestellt. Die Unterschiede bei den höheren Aldehyden (hier exemplarisch für Hexanal) waren zwischen den verschiedenen Gebäudearten geringer. Im Holzleichtbau ab 1984 waren die Hexanal-Konzentrationen etwas höher als in den übrigen Gruppen.
- In neueren Holzhäusern (ab 1984) wurden Richtwertüberschreitungen für Terpene (RW II und RW I) und Aldehyde (RW I) festgestellt.
- Der anhand der Untersuchungen von älteren Fertighäusern dargestellte Jahresgang der Immissionskonzentrationen für Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure zeigt die Temperaturabhängigkeit der Holzwerkstoff-Emissionen. Aufgrund der Verwendung von Spanplatten in der Konstruktion ist bei gleichbleibenden Innenraumtemperaturen der Einfluss der Außentemperatur aufgrund der Bauteilerwärmung deutlich erkennbar. Die Untersuchungsergebnisse zeigen auch die jahrzehntelangen hohen Emissionen der Holzwerkstoffe für Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure.
- Richtwertüberschreitungen für Formaldehyd sind bei älteren Fertighäusern häufig der Fall. Aufgrund der Konzentrationen für Ameisensäure und Essigsäure ist auch von Überschreitungen des noch nicht veröffentlichten Summenrichtwertes für Carbonsäuren auszugehen.
- Gipskartonplatten stellen keine Diffusionssperre für flüchtige organische Verbindungen dar. Als gasdicht können Absperrungen mit Aluminiumfolie angesehen werden. Der Vergleich der Raumlufkonzentrationen für Lindan, gamma-Pentachlorcyclohexen (g-PCCH) und Tetrachloranisol zeigt, dass die Konzentrationen für diese Verbindungen in Räumen mit zusätzlichen Gipskartonplatten über den Konzentrationen der Räume ohne Gipskartonplatten lagen. Bei gleichem Anteil an Spanplatten im Gebäude würde rechnerisch durch die Gipskartonplatten der Wände eine um den Faktor 2,5 bis 3,4 höhere Raumlufbelastung durch die Holzständeremission bedingt. Gipskartonplatten sind erkennbar „undicht“ bezüglich der Diffusion neutraler Moleküle wie Formaldehyd. Gipskarton selbst stellt ein saures Medium dar. Dadurch können dann auch nicht die sauren Emissionen der Spanplatte in Form der Ameisen- und Essigsäure durch Beplankung mit Gipskarton am Übergang in die Raumluf gehindert werden.

Bei den dargestellten Fallbeispielen handelt es sich um Beschwerdefälle, in denen aufgrund gesundheitlicher Beschwerden oder auffälliger Gerüche Raumlufmessungen sowie Materialuntersuchungen zu Quellenermittlung durchgeführt wurden. In den untersuchten Räumen wurden Belastungen durch Holzwerkstoff-typische VOC sowie weitere Holzwerkstoff-untypische VOC ermittelt. Während die Belastungen durch Holzwerkstoff-untypische VOC in der Regel mit der



Zeit, gefördert durch eine Intensivierung der Lüftung, zurückgingen, wurden für Holzwerkstoff-typische VOC teilweise länger anhaltende Belastungen ermittelt. Während für Terpene überwiegend ein Rückgang der Immissionen vorlag und auch höhere Aldehyde wie Hexanal und Pentanal abklagen, blieben die Konzentrationen der Carbonsäuren Ameisensäure und Essigsäure oftmals erhöht.

- In den dargestellten Schadensfällen wurden Richtwert-II-Überschreitungen (anfangs) und Richtwert-I-Überschreitungen (anhaltend) für bicyclische Terpene, Aldehyde (C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>) und Carbonsäuren ermittelt. Der Richtwert I für Formaldehyd wurde in den OSB-Beschwerdefällen nicht überschritten.
- Die Materialuntersuchungen der als Quellen angesehenen OSB-Platten ergaben sowohl Überschreitungen der AgBB-Anforderungen als auch Unterschreitungen. Allein die Einhaltung der AgBB-Anforderungen gewährleistet nicht den sicheren Ausschluss von Beschwerden, da weitere Faktoren u.a. die Menge der eingebauten Holzwerkstoffe oder die Intensität der Lüftung zu berücksichtigen sind.
- Die Raumlüftung bewirkt für die polarsten Holzwerkstoff-basierten Vertreter Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure einen deutlich geringeren Reduktionseffekt gegenüber den unpolaren Vertretern (bicyclische Terpene und C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde sowie den TVOC). Auch ein Anstieg der Raumluftkonzentration durch das Lüften kann beobachtet werden.
- Im Prüfkammerraum ist, aufgrund der fehlenden Ablagerung an Prüfkammeroberflächen und einer damit einhergehenden Anreicherung von Sekundärquellen, eher mit geringeren Luftkonzentrationen zu rechnen als in einem Realraum. Die Prüfkammer unterschätzt eine Realraumkonzentration.

## **5. Vergleich der Emissionsdaten (Prüfraum) mit Immissionsdaten (Realraum)**

Ziel der Emissionsprüfung nach dem AgBB-Schema ist neben einem standardisierten Vergleich verschiedener Produkte der Ausschluss einer gesundheitlichen Gefährdung durch Verwendung ebensolcher Produkte im Innenraum.

### **5.1 Übertragbarkeit der Emissionsdaten auf den Realraum**

Prüfkammer und Realraum unterliegen unterschiedlichen Bedingungen wie z.B. der Raumbeladung, der Luftwechselrate, der Raumtemperaturen, der Temperaturen der Emittenten (thermisches Gleichgewicht im Prüfraum, unterschiedliche Temperaturen der Bauteile des Gebäudes), der relativen Luftfeuchten, der Strömungsgeschwindigkeiten an den Materialoberflächen oder Senken im Raum.

Methodisch ist daher nicht der 1:1-Übertrag der Emissionswerte auf die Immission zu erwarten. Aus den vorstehend genannten Fallbeispielen lässt sich erkennen, dass ein qualitativer Bezug zwischen der Emission und der Immission besteht: Das Substanzmuster der VOC-Emission findet sich wieder als Immissionsmuster der VOC. Damit lässt sich zuerst einmal eine Quellenzuordnung im Schadensfall ableiten. In einem Schadensfall mit erhöhten Raumluftkonzentrationen lässt sich dann aber auch unter

Beachtung der spezifischen Anteile an der Gesamt-Emission aller beteiligten Emittenten der Beitrag eines Emittenten an der Immission ableiten. Neben der zum Innenraum orientierten Fläche sind auch Rückseiten und verdeckte Anwendungen sowie die Menge Holzwerkstoffe zu berücksichtigen. Darüber hinaus stellt die Luftwechselrate, die in einem Realraum wesentlich geringer ausfallen kann (bzw. in der Regel wesentlich niedriger ausfällt) als im Prüfraum vorgegeben, einen entscheidenden Einflussfaktor dar.

Das Entscheidungskriterium, wann ein Schadensfall zu attestieren ist, ist im Realraum nicht zwingend das Überschreiten des Richtwertes II als Gefahrenwert. Lang anhaltende Überschreitungen des Richtwertes I, Geruchsbelastungen durch VOC-Substanzen (Aldehyde, Carbonsäuren) oder Reizwirkungen (durch Ameisen- und Essigsäure, Formaldehyd) können einen Schadensfall bedingen. Die Überschreitung der Prüfkriterien nach dem AgBB-Schema lässt mit hinreichender Wahrscheinlichkeit jedoch eine gesundheitliche Gefährdung durch Überschreitung eines Innenraumrichtwertes erwarten. So kann rechnerisch eine Emission an Essigsäure von  $1875 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bei einer Luftwechselrate im Realraum von  $0,05/\text{h}$  (als  $1/10$  der Luftwechselrate im Prüfraum) und einer Raumbeladung von  $0,1 \text{ m}^2/\text{m}^3$  (als angenommene Raumbeladung im Realraum) zu einer Immissionskonzentration von gerundet  $1900 \mu\text{g}/\text{m}^3$  führen. Damit ist dann der Innenraumrichtwert II als Gefahrenwert von  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (allein schon durch die Essigsäure) überschritten.

## **5.2 Bewertung der mittelfristigen und langfristigen Exposition der Raumnutzer**

Die Hauptemissionen der Holzwerkstoffe lassen sich hinsichtlich der Hauptgruppen differenziert betrachten: Sowohl in der Prüfkammer als auch im Realraum klingen die Raumluftkonzentrationen der bicyclischen Terpene vergleichsweise schnell ab (Maraun 2018, Derbez et al 2014 b).

Auch für die Aldehyde wird zwar eine Verringerung der Raumluftkonzentrationen beobachtet (Maraun 2018), ausgehend von anfänglich hohen Gehalten (hier Leitkomponente Hexanal) kommt es über einen Zeitraum von drei Jahren nach der Konzentrationsminderung zu einem erneuten Anstieg (Derbez et al 2014 b). Für die Essigsäure als Hauptvertreter der Carbonsäuren wird hingegen ein Anstieg in der Nutzungsphase festgestellt (Maraun 2018, Derbez et al. 2014 b). Von letzteren Autoren wird dabei auf Uhde und Salthammer (2007) verwiesen, um die ansteigende Konzentrations-Entwicklung der Essigsäure im thermischen Abbau der Hemicellulose im Holz als auto-katalysiert durch die Menge an bereits entstandener Essigsäure zu erklären. Dieser Prozess der Auto-Katalyse, durch bereits entstandene Säureanteile, kann auch so verstanden werden, dass die als Ester in der Hemicellulose gebundene Essigsäure durch die Lehrbuch-bekanntere Säure-katalysierte Reaktion der Esterspaltung in zunehmendem Maße freigesetzt und anschließend emittiert wird (Beier 1978, S. 222). Dies bedeutet eine, wie die Untersuchung der Ameisen- und Essigsäurebelastung in älteren Fertighäusern zeigt, jahrelange Emission und Immission.

Durch Anreicherung an Raumboflächen kommt es im Realraum zur Ausbildung von Sekundärquellen, die ihrerseits wieder zur Immission beitragen und das Vorkommen der primär emittierten Substanzen im Innenraum anhaltend konservieren.

## **5.3 Emissionsprüfungen als Grundlage zur Vermeidung von Schadensfällen**

Emissionsprüfergebnisse sind die zentrale Grundlage für die Beurteilung der VOC-Emissionen der eingesetzten Bauprodukte und die Bewertung der zu erwartenden Raumluftqualität zur Vermeidung von Schadensfällen. Die Auswahl von emissionsarmen Bauprodukten ist eine Voraussetzung für die Einhaltung von Raumluftqualitätszielen. Allein anhand von Inhaltsstoffangaben sind mögliche Emissionen nicht ausschließbar.

Gebäudezertifizierungen, wie auch die DIN EN 15251:2012 mit Anforderungen an die Raumluftqualität, basieren u.a. auf Vorgaben für emissionsarme Bauprodukte. Auch Abnahmemessungen als Bestandteil von Leistungsverträgen oder Ausschreibungen, nehmen Verweis auf emissionsgeprüfte Materialien.

Dabei ist grundlegend zu berücksichtigen, dass die Bewertung der gesundheitlichen Eignung eines Bauproduktes unter den standardisierten Bedingungen einer Prüfkammeruntersuchung erfolgt. Die Situation in einem realen Innenraum weicht von den Bedingungen in der Prüfkammer ab und ist weit aus komplexer.

Auch vor dem Hintergrund, dass die Bewertungssysteme für Raumluft und Bauprodukte teilweise nicht kompatibel sind, ist eine eigene Betrachtung der Emissionsprüfergebnisse in Bezug auf einen konkreten Raum unter Beachtung weiterer Faktoren wie Menge, Beladung, Luftwechsel, Nutzung, Einbauzeitpunkt erforderlich.

Mit dieser Anforderung sind viele Planer und Architekten überfordert. Es fehlt bei Planern teilweise die grundlegende Kenntnis, dass Holzwerkstoffe VOC emittieren – und dazu auch das Beurteilungsvermögen. Daher bieten inzwischen Gutachterbüros und Prüfinstitute eine baubegleitende Beratung und Unterstützung bei der gesundheitsbezogenen Baustoffauswahl an.

Das AgBB-Schema ist als grobes Abschneideraster im Sinne der Gefahrenabwehr zu verstehen. Um RW-I-Werte und TVOC-Zielwerte zu unterschreiten und Geruchsbeschwerden zu vermeiden, sind strengere und umfangreichere Anforderungen notwendig.

#### **5.4 Angaben zu Beschwerden (Reizung, Geruch) in Schadensfällen**

Beeinträchtigungen von Gesundheit und Wohlbefinden von Menschen in einem Innenraum geben häufig den Anlass, einen Verdacht auf Innenraumschadstoffe als mutmaßliche Auslöser der Beschwerden zu entwickeln. In der gutachterlichen Praxis entsteht daraus der Auftrag, mögliche Ursachen dieser Beschwerden durch Messungen aufzudecken. Da es nicht möglich ist anhand der geschilderten Beschwerdesymptomatik auf eine konkrete Belastung zu schließen, erfolgt keine ausführliche Aufnahme gesundheitlicher Befunde als Quasi-Anamnese. In dem nachfolgenden Beispiel wie auch in den vorangegangenen Fallbeispielen mit Nennung von Beschwerden handelt es sich daher entweder lediglich um Wiedergaben des Vorgetragenen oder aber um eigene Erfahrungen. Eine Einzelfall-Kasuistik kann nicht den Anspruch auf Allgemeingültigkeit und Vollständigkeit erheben, sie liefert jedoch beginnend Hinweise für eine fortschreitende Eruierung von Zusammenhängen und Wirkbeziehungen. Aus einer plausibilitäts- und erfahrungsgestützten Schadstoffbeurteilung vor Ort lässt sich dennoch ein zielgerichtetes und begründetes gutachterliches Vorgehen bei einer Schadstoffuntersuchung des Innenraumes ableiten.

Aus den Angaben der Betroffenen ist keine Beurteilung des kausalen Zusammenhangs möglich. Ergänzt werden die Beobachtungen der Betroffenen durch die eigene gutachterliche Wahrnehmung bei der Probenahme.

Häufig genannt werden störende Gerüche, Schleimhautreizungen (Nasen-, Rachenreizungen, Augenbrennen) und allgemeine Befindlichkeitsbeschwerden (wie z.B. Kopfschmerzen, Erschöpfung, Müdigkeit, Übelkeit). Messungen werden in der Regel nur dann durchgeführt, wenn Beschwerden vorliegen oder bei begründetem Expositionsverdacht (siehe auch Anlass der Messung, Kapitel 4.5).

In dem oben dargestellten Fallbeispiel einer Kinderkrippe kam es nach Schilderung bereits kurze Zeit nach Eröffnung zu Beschwerden von Eltern und Betreuungspersonal insbesondere über den Geruch sowie von Augen- und Atemwegsreizungen. Ca. 14 Tagen nach der Eröffnung wurde die Einrichtung geschlossen und blieb dies auch weiterhin auf Empfehlung des zuständigen Gesundheitsamtes. Eine erste Probenahme vier Wochen nach Eröffnung ergab einen TVOC-Wert zwischen 8.000 und 11.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , einen Summenwert für die C<sub>4</sub>-C<sub>10</sub>-Aldehyde zwischen 2.100 und 2.900  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , eine Formaldehyd-Konzentration zwischen 160 bis 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und von Essigsäure zwischen 830 und 1.100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Bei späterer Probenahme durch einen der Unterzeichnenden (WM) wurde bei Raumluftkonzentrationen an Essigsäure im Bereich um 310 bis 410  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ein deutlicher Geruch nach „Essig“ (Intensität 2,75 bis 3 auf einer Skala von 0 bis 5) mit leichter Reizwirkung (Kratzen im Hals) wahrgenommen (Maraun 2015). Die Raumluftkonzentrationen an Ameisensäure wurden zwischen 95 und 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ermittelt.

Die Hedonik des Geruches (Empfindung ob angenehm oder unangenehm) wurde subjektiv von dem Gutachter auf einer Skala von +4 (sehr angenehm) bis -4 (sehr unangenehm) mit Werten zwischen -1,5 und -2 eingestuft, die Akzeptanz mit Werten zwischen -0,4 und -0,5 (auf einer Skala von +1, voll akzeptabel, bis -1, voll nicht akzeptabel). Demnach kann für die beprobten Räumen von einer deutlichen und unangenehmen Geruchsbelastung mit deutlich geringer Akzeptanz gesprochen werden. Bei der Akzeptanzbeurteilung ist auch der Kontext der Geruchssituation wie die Raumnutzung zu beachten, im vorliegenden Fall die (vorgesehene) Nutzung des Gebäudes für Kleinkinder ab 6 Monate. Ohne Kenntnis dieses Kontextes ist eine Geruchsprüfung mittels Geruchsbeutel nach der VDI 4302-1 nicht sinnvoll durchzuführen. Zur Geruchsbeurteilung im Innenraum und vor Ort bietet sich auch das Vorgehen nach dem AGÖF-Geruchsleitfaden an (AGÖF 2013).

#### **5.4.1 Fallbeispiel: Schulneubau - Mensa**

Im Rahmen einer Gebäudeabnahme wurden Raumluftmessungen in einem Schulgebäude in Holzständerbauweise durchgeführt (Maraun 2018). In den Räumen „Speisesaal“ und „Aufenthalt“ (angrenzend zum „Speisesaal“) wurde „nutzungsüblich“ durch Öffnen der Fenster und Innentüren für 10 min, einer Wartezeit von einer Stunde und nachfolgender Probenahme die Raumluft auf VOC, Aldehyde und Carbonsäuren untersucht. Die Lüftung war gegenüber dem Soll-Zustand nur eingeschränkt in Betrieb gewesen.

Bei Betreten des Raumes „Speisesaal“ wurde von einem der Unterzeichnenden (WM) eine deutlich säuerliche, leicht reizende Raumluft vorgefunden. Beim Betreten des Raumes „Aufenthalt“ trat spontan und unmittelbar eine starke Reizung der Atemwege auf. Ein längerer Verbleib im Raum (wie von dem Probenehmenden häufiger zur sensorischen Prüfung der Raumluft vorgenommen) war dadurch nicht möglich.

Bei unauffälligen TVOC-Werten von 200 resp. 440  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (ohne Carbonsäuren) und unauffälligen Aldehyd-Konzentrationen (23 und 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) wurde Ameisensäure mit 240 resp. 680  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und Essigsäure mit 450 resp. 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nachgewiesen. Aus dem Verhältnis der Essigsäure- zur Ameisensäure-Konzentration kann abgeleitet werden, dass keine technisch eingebrachten Materialien wie Reinigungs- oder Dichtungsprodukte als Quelle für Essigsäure vorlagen.

Die hohe Summenkonzentration der  $\text{C}_1$ - und  $\text{C}_2$ -Carbonsäuren von 1680  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  muss als akut wirksam für Atemwegsreizungen angesehen werden. Der Wert liegt weit über dem Gefahrenwert RW II für die Gruppe der Carbonsäuren  $\text{C}_1$  bis  $\text{C}_8$ .

#### 5.4.2 Sensorische Prüfung von Holzwerkstoffen im Realraum durch Geruchsprüfer

In einer hauseigenen Studie wurde die Raumluft in einem Raum mit hoher Beladung durch Holzwerkstoffe durch ein Geruchsprüferpanel mit fünf Geruchsprüfern sensorisch beurteilt (Maraun 2020 a). Der Raum war mit OSB ausgekleidet (Wände, Fußboden) und mit Teakholzplatten bestückt. Die Durchführung bestand in einer einstündigen Exposition der Geruchsprüfer mit Erfassen der subjektiven Wahrnehmung von Reaktionen im zeitlichen Abstand von jeweils 15 min. Bei den Geruchsprüfern handelte es sich um „gesunde“ Erwachsene im Alter von 32 bis 66 Jahren. Über den Expositionszeitraum wurde eine TVOC-Konzentration von 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (ohne die Carbonsäuren), ein Summenwert für die  $\text{C}_4$ - $\text{C}_{11}$ -Aldehyde von 73  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sowie für die bicyclischen Terpene von 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ermittelt. Die Raumluftkonzentration an Ameisensäure betrug 58  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , die an Essigsäure 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , der Summenwert der  $\text{C}_1$ - $\text{C}_8$ -Carbonsäuren ergab sich zu 376  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Von den Geruchsprüfern wurde bei dieser eher durchschnittlichen Raumluftbelastung bei einer „holzartigen, leicht säuerlichen“ Geruchscharakterisierung ohne wahrnehmbaren „Essiggeruch“ eine „deutliche“ Intensität (3,1 auf einer Skala von 0 bis 5) bei leicht unangenehmer Hedonik (-0,85 auf einer Skala von -4 bis +4) und einer schwach negativen Akzeptanz (-0,31 auf einer Skala von -1 bis +1) befunden. Nach der VDI 4302, Blatt 2, ist die Raumluftqualität bei einem Akzeptanzwert kleiner 0 als „gering“ einzustufen. Sensorisch wurde von den Prüfern dabei ganz überwiegend eine schwache bis deutliche Reizung im Rachen und in der Nase geschildert.

Zur orientierenden Prüfung auf Reizwirkung durch Essigsäure wurde im Rahmen der gleichen Studie in einem nachfolgenden Expositionsversuch Essigsäure in einem Büroraum ausgebracht. Die olfaktorisch-sensorische Prüfung wurde dann durch sechs Geruchsprüfer vorgenommen. Die ausgebrachte Menge an Essigsäure hätte rechnerisch eine maximale Raumluftkonzentration von 25  $\text{mg}/\text{m}^3$  erbracht.

In der vorliegenden orientierenden Studie sollte die Aussage des Gutachters Mersch-Sundermann in seiner „medizinisch-wissenschaftlichen Stellungnahme zum Schriftsatz Redeker/Sellner/Dahs Rechtsanwälte, 53003 Bonn vom 20. März 2020 an den Verwaltungsgerichtshof Baden-Württemberg“ auf Plausibilität überprüft werden zu dort zitierten „7 humane(n) Expositionsstudien, die zwischen 1990 und 2006 publiziert wurden, u.a. auf  $\alpha$ -Pinen, 3-Caren, Terpeneol, Terpentin und Hexanal“: „Sofern in diesen Studien irritative Effekte gefunden wurden, lagen diese für die Terpene deutlich oberhalb von 100.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; für Hexanal und Essigsäure bei 42.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw. 25.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ “ (S. 40 a.a.O.).

Aus eigener gutachterlicher Praxis (WM) tritt bereits bei ca. 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ein deutlich erkennbarer „Essiggeruch“ mit deutlicher Reizwirkung im Rachenbereich auf. Es sollte daher im Rahmen einer orientierenden Untersuchung geprüft werden, wie Geruchsprüfer auf deutlich höhere Essigsäure-Raumluftkonzentrationen reagieren. Dazu wurde eine solche Essigsäure-Menge durch Verflüchtigung

in die Raumluft eines Büroraumes gebracht, dass der Arbeitsplatzgrenzwert von 25.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $25\text{mg}/\text{m}^3$ ) nicht überschritten werden würde.

Wenngleich rechnerisch die ausgebrachte Essigsäure-Menge zu einer Raumluftbelastung von 25  $\text{mg}/\text{m}^3$  hätte führen können, hat die parallel zur Geruchsprüfung durchgeführte Raumluftmessung über den gemittelten Zeitraum von 10 min eine Raumluftkonzentration in der Raummitte von nur 10,8  $\text{mg}/\text{m}^3$  erbracht. Es ist daher von einer erheblichen Senkenbildung mit Austrag aus der Raumluft auszugehen. Die Geruchsprüfer haben für einen „essigsäuren, stechenden“ Geruch eine Intensität von 4,0 als „starker Geruch“, eine Hedonik als deutlich unangenehm mit einem Wert von -2,3 (Skalenbereich -4 als äußerst unangenehm bis +4 als äußerst angenehm) sowie eine Akzeptanz für die Raumnutzung von -0,85 (Skala -1 als voll inakzeptabel bis +1 als voll akzeptabel) als fast nicht akzeptabel festgestellt. Als sensorische Akut-Wirkungen wurden von den Geruchsprüfern deutliche bis starke Augenreizungen, durchgehend eine starke Reizung der Nasenschleimhaut sowie Reizung des Halses und der oberen Bronchien wahrgenommen.

Aus den Eckpunkten kann orientierend eine Raumluftkonzentration an Essigsäure bzw. für die Gruppe der  $\text{C}_1\text{-C}_8$ -Carbonsäuren im Bereich von 300 bis 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  als schwach sensorisch wirkend mit leichter Inakzeptanz für die Raumnutzung eingestuft werden. Bei einer Raumluftkonzentration im Bereich von 11.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $11\text{mg}/\text{m}^3$ ) wird eine starke Reizung vorwiegend der Nasenschleimhaut, gefolgt von Reizungen der Augen- und Rachenschleimhaut geschildert. Der damit gekoppelte starke „Essig“-Geruch wird als fast nicht akzeptabel für eine Raumnutzung beurteilt. Eine Essigsäure-Konzentration von 11  $\text{mg}/\text{m}^3$  kann daher noch nicht als Level ohne beobachtbaren Effekt angesehen werden, da auch schon bei einer Essigsäure-Konzentration der Raumluft von 0,3  $\text{mg}/\text{m}^3$  von den Geruchsprüfern insbesondere (schwache) Reizungen der Nasenschleimhaut wahrgenommen werden.

In der Studie von Gminski et al (Gminski 2011) seien bei den gemessenen Raumluftkonzentrationen an Essigsäure zwischen 0,37 und 0,92  $\text{mg}/\text{m}^3$  für die sensorischen Wirkungen keine „konsistenten Konzentrations- und zeitabhängige Unterschiede“ in den Wahrnehmungen der Probanden festzustellen. Daten hierzu wurden jedoch nicht publiziert, insbesondere nicht zu dem nach eigenem Studienbefund empfindlichen Parameter „Nasenschleimhaut-Reizung“. Nicht konsistent in den publizierten VOC-Prüfkammer-Konzentrationen sind jedoch die nicht mit der Beladung der Prüfkammer im linearen Maße ansteigenden Messwerte der Luftkonzentrationen. Auf mögliche Fehlbefunde in der Analytik der Essigsäure mittels Tenax-Anreicherung wird nicht eingegangen. In seiner Kritik an einer Studie von Falk et al. (1990) verweist Mersch-Sundermann (Mersch-Sundermann 2007) zum einen auf den „Einfluss einer kognitiven Basis bei der Bewertung von irritativen Effekten durch die Probanden in Expositionsstudien“. In der Studie von Gminski et al. (Gminski 2011) liegen die gemessenen Raumluftkonzentrationen an  $\alpha$ -Pinen zwischen 2,4 und 5,9  $\text{mg}/\text{m}^3$  und damit schon im Bereich der Geruchsschwellen (Mersch-Sundermann 2007). Auch hier kann die Kritik von Mersch-Sundermann an der Studie von Falk et al. als Kritik an der Studie von Gminski et al (2011) übernommen werden: „Dass nur 5 von 8 Probanden die Exposition überhaupt als unangenehm bewerteten, ist eventuell dadurch zu erklären, dass Piniengeruch in anderen Anwendungen von zahlreichen Menschen als angenehm und erfrischend empfunden wird.“ Weiter führt er an: „Ebenso wurden in der Studie von Falk et al. (1990) maßgebliche Faktoren, die die psychophysiologische Bewertung von Irritationen mittels VAS beeinflussen können, nicht berücksichtigt, so etwa Beantwortungstendenzen der Probanden“ (S. 144 a.a.O.). Die Studie von Gminski et al (2011) wurde ausweislich der Danksagung „financed by the „Holzabsatzfonds“ and the working group VOC of the producers of wood-based materials in Germany“. Inwieweit hier „Beantwortungstendenzen“ der Probanden eingeflossen sind, fehlt in der Diskussion der Ergebnisse.

Zusammenfassend wird nach gutachterlicher Praxis ein Geruch „nach Essig“ bei einer Raumlufkonzentration um  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wahrgenommen bei leichter Inakzeptanz der Raumnutzung. Bei einer Essigsäure-Konzentration um  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird ein deutlich säuerlicher Geruch mit leichter Reizung der Atemwege empfunden. Durch ein Geruchsprüferpanel von 5 Prüfern wird ein „säuerlicher“ Geruch ab einer Raumlufkonzentration von ca.  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bereits als leicht inakzeptabel für eine Raumnutzung beurteilt. Bei mehr als  $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  tritt ein starker Geruch von „stechend, essigsauer“ mit Reizung der Atemwege und mit hohem Inakzeptanzwert durch das Prüferpanel auf.

## 5.5 Zusammenfassendes Fazit für Kapitel 5

- Es besteht ein qualitativer Bezug zwischen der Emission und der Immission. Das Substanzmuster der VOC-Emission findet sich wieder als Immissionsmuster der VOC im Realraum. Dies ermöglicht eine Quellenzuordnung im Schadensfall. Eine Überschreitung der Prüfkriterien nach dem AgBB-Schema lässt mit hinreichender Wahrscheinlichkeit eine gesundheitliche Gefährdung durch Überschreitung des Innenraumrichtwertes erwarten.
- In der Prüfkammer wie auch im Realraum klingen die Raumlufkonzentrationen der bicyclischen Terpene vergleichsweise schnell ab. Für die Aldehyde kann nach einer Phase mit Abnahme der Raumlufkonzentrationen auch ein Wiederanstieg beobachtet werden. Die Essigsäure als Hauptvertreter der Carbonsäuren zeigt hingegen ein Anstieg in der Nutzungsphase, bedingt und verstärkt durch den auto-katalytischen Prozess der Säurebildung. Es besteht dadurch eine jahrzehntelange Emission und Immission der Raumluf.
- Emissionsprüfungen sind eine wichtige Grundlage für die Bewertung der Raumlufqualität, aber auch nur ein Baustein neben anderen wichtigen Aspekten. Bei Planern fehlt häufig die Kenntnis, dass Holzwerkstoffe auch VOC emittieren. Eine Voraussetzung, um die Eignung von Bauprodukten zu bewerten, ist der Emissionsprüfbericht (aktuell, Übereinstimmung mit dem einzubauenden Produkt, akkreditiertes Labor, Prüfkammerbedingungen, analytische Methode). Das AgBB-Schema ist nur ein grobes Abschneideraster im Sinne der Gefahrenabwehr. Die NIK-Werte liegen teilweise über den RW II-Werten. Um RW I-Werte und TVOC-Zielwerte zu unterschreiten, sind strengere Anforderungen bzw. auch längere Zeiträume bis zum Erreichen der Zielvorgaben notwendig. Abnahmemessungen erfolgen in der Regel bis zu vier Wochen nach der Fertigstellung des Gebäudes vor Bezug durch die Nutzer und können daher Prozesse mit Wiederanstieg der Immissionskonzentrationen nicht abbilden.
- Aus den Angaben der Betroffenen lässt sich in der gutachterlichen Praxis (Nicht –Mediziner) keine Beurteilung des kausalen Zusammenhangs zwischen gemessenen Raumlufkonzentrationen und gesundheitlichen Beschwerden ableiten. Ergänzt werden die Beobachtungen der Betroffenen durch die eigene gutachterliche Wahrnehmung bei der Probenahme. Häufig genannt und beobachtet werden störende Gerüche, Schleimhautreizungen (Nasen-, Rachenreizungen, Augenbrennen) und allgemeine Befindlichkeitsbeschwerden (wie z.B. Kopfschmerzen, Erschöpfung, Müdigkeit, Übelkeit).
- Fallbeispiele und Expositionen von Geruchsprüfern zeigen, dass insbesondere durch die „Holzsäuren“ Ameisen- und Essigsäure Schleimhautreizungen und ein „stechender Geruch“ wahrgenommen werden. Geruchserkennungs- und Wirkschwellen-Konzentrationen liegen dabei

schon weit unter dem Richtwert RW II (Gefahrenwert) wie auch unter dem NIK-Wert für die Essigsäure.

## **6. Bewertung der Thesen im Gutachten MARUTZKY Nr. 02-01.2020 vom 10.06.2020 zu Höhe, Dauer, Relevanz und Vorkommen von OSB-Emissionen**

Im Nachfolgenden wird fachlich auf die in der „Gutachterlichen Stellungnahme Nr. 02-01.2020 von Prof. Dr. MARUTZKY dargelegten Aussagen (*kursiv gesetzt*) eingegangen:

### **6.1 Kap. 3: Betroffene Holzprodukte (S. 6 ff)**

*„Der Begriff „behandelte Hölzer“ ist somit sehr umfassend und steht zumeist in keinem Zusammenhang mit der Ausbildung von VOC-Emissionen.“*

Holzprodukte sind immer in irgendeiner Weise behandelte Materialien auf Basis von Holz. Der Begriff impliziert eine technische Maßnahme, einwirkend auf das Ausgangsmaterial „Holz“. Durch diese technischen Maßnahmen, zu denen auch mechanische oder thermische Verfahren zählen, kommt es zur Bildung (z.B. Aldehyde, Carbonsäuren) bzw. Freisetzung von flüchtigen organischen Verbindungen (z.B. Terpene, Aldehyde, Carbonsäuren). Genau diese Behandlung erfolgt durch den Hersteller der Holzprodukte / Holzwerkstoffe. Holz in seinem natürlichen Kontext führt gerade nicht zur Freisetzung dieser Substanzen. Die technische, aus mehreren Schritten bestehende Behandlung ist daher ursächlich für die Bildung und Freisetzung von flüchtigen organischen Substanzen. Von wesentlicher Bedeutung sind die hohen Temperaturen bei der Trocknung und Pressung, durch die der Produktionsprozess in seinem zeitlichen Ablauf beschleunigt werden kann. Der in der Verantwortung des Herstellers von Holzwerkstoffen liegende Herstellungsprozess unterliegt wirtschaftlichen Interessen.

Es kann inhaltlich begründet hinterfragt werden, ob sich Emissionen nur auf „Holzwerkstoffe in Form von schlanken ausgerichteten Spänen (OSB) und kunstharzgebundene Spanplatten“ beziehen sollen. Ihrer chemischen Natur nach stellen auch andere Holzwerkstoffe Emittenten für flüchtige organische Verbindungen dar. Der jetzige Regelungsumfang kann als notwendiger erster Schritt angesehen werden.

### **6.2 Kap. 4: Grundlagen der Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich des Gesundheitsschutzes (ABG)**

Für die Verwendung eines Bauproduktes in Innenräumen von Gebäuden werden Anforderungen an VOC-Emissionen gestellt. Ausgehend von der MVV TB werden die Umsetzungen durch die Landesbauordnungen VV TB vorgenommen.

Die Emission flüchtiger organischer Verbindungen wird anhand von Prüfkammertests nach der EN 16516:2018-01 bestimmt.



Als Zielverbindungen (target compounds) sind die in der NIK-Liste in Anlage 2 dieses Dokumentes aufgeführten Substanzen heranzuziehen.

Die zu bestimmenden Parameter sind methodisch definiert (siehe Kapitel 4.2).

Neben festgelegten numerischen Kriterien heißt es zu den leichtflüchtigen organischen Verbindungen (VVOC) in der MVV TB 2017/1, die von einem Großteil der Länder umgesetzt wurde:

„Die VVOC-Konzentrationen in der Kammerluft müssen berücksichtigt (*Unterstreichung durch die Autoren*) werden. In Einzelfällen sind für VVOC NIK-Werte abgeleitet. Die VVOC, für die NIK-Werte festgelegt wurden, sind in die R-Wertbildung rechnerisch einzubeziehen, werden aber nicht in der Bildung des TVOC-Wertes berücksichtigt.“ (MVV TB 2017/1) Es bestehen jedoch z.Zt. noch analytische Schwierigkeiten in der Umsetzung. In der MVV TB 2019/1 fehlt die diesbezügliche Ausführung.

Im Gutachten MARUTZKY werden gerade VVOC nicht thematisiert. Es fehlt dort der Hinweis auf das Vorkommen von Ameisensäure als ebenfalls typische Holzwerkstoff-Emission. Ameisensäure als Substanz mit starker Reizwirkung (Teil der sog. „Holzsäuren“) zählt zwar bei einem Siedepunkt von 101°C zu den flüchtigen organischen Verbindungen, wird jedoch aus analytischen Gründen nicht erfasst und entzieht sich somit einer Bewertung. Im Gutachten MARUTZKY findet die Ameisensäure keinerlei Erwähnung.

### **6.3 Kap. 5 Zusammensetzung von OSB und Spanplatten und mögliche Emissionen**

*„VOC-Emissionen sind ein natürliches Merkmal von Holz und Holzprodukten. Alle emittierten VVOC oder VOC sind entweder natürliche flüchtige Inhaltsstoffe des Holzes oder werden aus natürlichen Holzbestandteilen durch auto-oxidative oder hydrolytische Prozesse gebildet.“*

Hier erfolgt eine inhaltliche Gleichsetzung von „Holz“ und „Holzprodukten“. Einem Holzprodukt geht eine technische Bearbeitung von „Holz“ voraus. Durch thermische Prozesse bei der Herstellung oder die chemische Einwirkung durch Luftsauerstoff oder Feuchtigkeit bei der Herstellung oder der späteren Verwendung werden die Emissionsvorgänge unter Bildung der Emissionen an Aldehyden und Carbonsäuren bedingt. Die Emissionen sind daher keine „natürlich“ vorkommenden Emissionen, sondern das Ergebnis technologisch-chemisch verursachter Reaktionen.

Innerhalb der Gruppe der VOC stellen Terpene, Aldehyde und Carbonsäuren die wichtigsten und dominierenden Substanzen dar.

Terpene liegen vor allem im Harzanteil von Nadelgehölzen vor. Hierbei gibt es deutliche Unterschiede zwischen den Baumarten: Kiefernholz zählt zu den harz- und damit terpenreichsten Hölzern, Weißtanne zu den eher harzarmen Nadelgehölzen. Für Laubbäume sind keine nennenswerten Terpen-Anteile vorhanden.

Aus den ungesättigten Fettsäuren bilden sich oxidativ die Aldehyde. Als Leitkomponenten treten Hexanal sowie in geringerem Umfang Pentanal und Nonanal auf. Von den zur Gruppe der leicht flüchtigen organischen Verbindungen zählenden kurzkettigen VVOC treten insbesondere Acetaldehyd und Formaldehyd auf (Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut 2018).

Als dritte wesentliche Gruppe werden Carbonsäuren emittiert. Essigsäure stellt dabei den Hauptvertreter dar. Daneben tritt vergesellschaftet als VVOC-Vertreter Ameisensäure auf.

Für die vorstehend genannten chemischen Substanzgruppen muss differenziert werden zwischen einer Primäremission bereits im Holz vorangelegter Verbindungen (Terpene im Harz) und der Sekundäremission durch den technischen Herstellungsprozess entstandenen (Aldehyde, Carbonsäuren). Essigsäure tritt sowohl bei Nadel- als auch bei Laubhölzern auf.

#### **6.4 Kap. 6 Kenntnisse zum zeitlichen Verlauf der VOC-Emissionen von OSB und Spanplatten**

*„In diesem Kapitel soll der Frage nachgegangen werden, welche Kenntnisse über den Verlauf der VOC-Emissionen von OSB während der 28-tägigen Untersuchung in der Emissionsprüfkammer vorliegen. Die Ausführungen orientieren sich vornehmlich am Summenwert der VOC, dem TVOC-Wert.“*

Im Gutachten MARUTZKY wird lediglich Bezug auf den TVOC-Wert genommen.

Der TVOC als summarischer Wert lässt keine differenzierende Betrachtung der vom Gutachter MARUTZKY selbst benannten wesentlichen Holzwerkstoff-assoziierten Substanzgruppen (Terpene, Aldehyde, Carbonsäuren) zu.

Gerade durch die unterschiedlichen Herkunftsprozesse dieser Substanzgruppen (Dampfdruck bei den Terpenen, chemische Reaktivität bei den Aldehyden und Carbonsäuren) entsteht dadurch ein vereinfachtes Bild.

Auch wird im Gutachten MARUTZKY der TVOC als wenig aussagekräftig abgewertet, eben wegen der unterschiedslosen Summation über die beteiligten Substanzen.

Im Prüfkammerverfahren wird analytisch der Verlauf der Raumluftkonzentrationen nach drei und nach 28 Tagen durch Entnahme von Luftproben ermittelt.

Dabei wird, wie im Gutachten MARUTZKY dargestellt, für eine Auswahl von sechs OSB-Prüfkörpern eine Abklingfunktion mit überwiegend sehr guter Anpassung der mathematischen Funktion über die Messwerte erhalten. (Tab. 2, S. 14 des Gutachtens, nach Daten von Wilke et al. 2012).

Mathematisch handelt es sich hierbei um eine Potenzfunktion mit negativer Steigung. Im Gegensatz zu einer linearen Funktion erreicht die Potenzfunktion abklingend jedoch nicht den Null-Wert, sondern bleibt immer im positiven Bereich.

Aus dem angegebenen Beispiel einer Abklingfunktion (Tab. 2, S. 13 des Gutachtens MARUTZKY) z.B. mit dem A-Wert von 1490 und dem b-Wert (Steigung) von -0,295 lässt sich folgende Entwicklung der Emissionskonzentrationen (unter Prüfkammerbedingungen) berechnen:

Tag 28	TVOC: 554 µg/m <sup>3</sup>
Tag 100	TVOC: 383 µg/m <sup>3</sup>
Tag 1000	TVOC: 194 µg/m <sup>3</sup>

Unter Realbedingungen mit einer Verweildauer des Prüfkörpers von angenommen nahezu drei Jahren werden noch 35 % des Prüfkammerwertes nach 28 Tagen zu erwarten sein. Dabei ist auch zu beachten, dass in einem Realraum kein permanenter Luftwechsel entsprechend den Prüfkammerbedingungen herrscht, sondern auch Anlagerungen an Raumbooberflächen (Senken) auftreten. Ein Austrag der Emission aus dem Raum findet daher in nur geringerem Ausmaß statt.

Die vorgestellten Prüfergebnisse der TVOC-Werte von sechs OSB-Platten zeigen aber auch die hohe Streubreite der Messwerte in einer Spanne von 138 bis 996  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nach 28 Tagen. Entsprechend streuen auch die rechnerischen Werte für einen Zeitraum über 28 Tage hinaus.

Aus den Daten der Originalliteratur (Wilke et al. 2012) ist ersichtlich, dass aus der emissions-relevanten Gruppe der Carbonsäure lediglich Hexansäure neben  $\alpha$ -Pinen (Terpen) und Hexanal (Aldehyd) als die drei Hauptvertreter aufgeführt werden. Bei einer Volltextsuche taucht in dieser Arbeit Essigsäure lediglich an einer Stelle mit der Angabe von „0“ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) auf. Es muss als wenig plausibel eingestuft werden, dass für keinen der untersuchten Prüfkörper Essigsäure in der Emission nachgewiesen wurde. Die Bestimmung von Essigsäure mittels des beschriebenen Tenax TA-Verfahrens ist mit erheblicher analytischer Unsicherheit und damit Fehlbefunden bis zum möglichen Nicht-Nachweis verknüpft.

Im Gutachten MARUTZKY wird auf diesen Aspekt auch nur ansatzweise nicht eingegangen, sondern ausgeführt: „Essigsäure wurde bei den Messungen der BAM hingegen nicht nachgewiesen“.

Aus den in Kapitel 3 ausgewerteten Prüfkammerergebnissen sowie eigenen Prüfkammerbefunden (Maraun 2020) ergibt sich ein Verhältnis zwischen den Emissionskonzentrationen von Essigsäure zu Hexansäure zwischen 15 und 200 zu 1. Aus den angegebenen Hexansäure-Konzentrationen (z.B. 73  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nach 28 Tagen) in der Arbeit von Wilke et al. wären Essigsäure-Emissionswerte von über 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  zu erwarten. Derartige Emissionen können dann als plausibel angesehen werden.

Im Gutachten MARUTZKY wird als weiteres Beispiel für TVOC-Abklingkurven die Untersuchung von vier „frischen“ OSB-Prüfkörpern aus Kiefernholz vorgestellt (Tab. 4, S. 17) Für die Abklingkurve als Potenzfunktion ist der Exponent (hier „b-Wert“ genannt) von entscheidender Bedeutung. Aus dem b-Wert von -0,321 (langsamer Abfall) resultiert bereits nach 100 Tagen der Abklingdauer gegenüber der Funktion mit einem b-Wert von -0,500 (schneller Abfall) ein Unterschied in der TVOC-Emission von 128 %, also mehr als eine Verdoppelung.

Über eine qualitative Aussage hinaus („Essigsäure wurde bei allen Messungen nachgewiesen.“) findet die Essigsäure-Emission keine weitere konkrete Würdigung.

Auch im Kapitel 6.2 zur VOC-Emissionsmessung von kunstharzgebundenen Spanplatten finden sich zum einen stark unterschiedliche Abklingfunktionen, zum anderen die qualitative Aussage: „Bei allen Messungen wurde auch Essigsäure gefunden.“

Essigsäure stellt demnach einen der Hauptinhaltsstoffe der Holzwerkstoff-Emission dar. Deren Nachweis ist jedoch im Einzelfall einer methoden-kritischen Betrachtung zu unterziehen.

Als **Fazit** ist festzuhalten, dass die Unterschiede in den Emissionen groß sind, dass ein Abklingen auf einen Wert „0“ nicht stattfindet und dass die Angaben zu Essigsäure vermutlich falsch sind.

## 6.5 Kap. 7.2 Übertragbarkeit von Konzentrationswerten gemessen in der Emissionsprüfkammer auf den Referenzraum:

Im Gutachten MARUTZKY wird zur Frage der Übertragbarkeit der Emissionswerte aus der Prüfkammer auf die Emissionswerte im Referenzraum auf die Untersuchungen von Wilke et al. (Wilke et al. 2012) über eine Prüfdauer von OSB bis zu 319 Tagen verwiesen. Danach zeigen die ausgewählten Prüfparameter (Summe VOC, Hexanal,  $\alpha$ -Pinen, 3-Caren, Hexansäure und Octenal) „eine starke Abnahme aller VOC-Werte. ... Alle Stoffe zeigen ein ähnliches Abklingverhalten“. Letztere Feststellung gibt zu denken.

Denn in der heterogenen Gruppe der VOC liegen sowohl Substanzen vor, deren Emission dampfdruckreguliert ist (die Terpene  $\alpha$ -Pinen und 3-Caren) als auch Substanzen, deren Auftreten reaktiv gesteuert ist (Hexanal, Hexansäure). Bei den letzteren geht der Emission eine chemische Reaktion (Oxidation, Hydrolyse) voraus. Es wäre, da die beiden Prozesse „Verdampfung“ und „chemische Reaktion“ unterschiedlich schnell ablaufen, auch über eine längere Zeitspanne (hier 319 Tage) ein wesentlicher Unterschied im Abklingverhalten zu erwarten. Die analytischen Daten geben dies jedoch nicht wieder („Alle Stoffe zeigen ein ähnliches Abklingverhalten.“). Dies bedeutet entgegen der Intension im Gutachten MARUTZKY nicht, dass das beobachtete Abklingen der Emission auf einer Verarmung des Prüfkörpers an den primär und sekundär enthaltenen Substanzen beruht. Es ist vielmehr als geschwindigkeitsbestimmender Schritt die Diffusion aus dem Prüfkörper (Terpene, Aldehyde, Carbonsäuren) an dessen Oberfläche sowie die Diffusion von Reaktionspartnern in den Prüfkörper (Sauerstoff, Wasser) maßgeblich. Die Betrachtung des geschwindigkeitsbestimmenden Schrittes in einem chemischen Prozess ist Allgemeingut eines Chemikers. Der Luftwechsel als nachgeschalteter Schritt entfernt nur diejenigen Substanzen aus dem Prüfraum, die durch Diffusion über die Oberfläche des Prüfkörpers in die Prüfraumlufte gelangt sind. Der in der Prüfkammer eingestellte Luftwechsel von 0,5/h führt dazu, dass die emittierten Substanzen schneller abgeleitet als nachgeliefert werden. Das Potenzial an emittierbaren Substanzen wird daher nur scheinbar verringert. Bei einem Luftwechsel, wie z.B. in Innenräumen von Gebäuden in Passivbauweise möglich, mit geringer Luftwechselrate (um 0,05 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup> (Derbez et al. 2014)) würde sich daher auch der Unterschied der dampfdruckbedingten gegen die reaktiv gesteuerte Emission/Immission deutlich zeigen. In Übereinstimmung damit wurden gerade für Essigsäure in der Raumluft bei großflächiger Anwendung von Holzwerkstoffen häufig anhaltend hohe bzw. teilweise sogar steigende Konzentrationen ermittelt. Hingegen wurden für die Terpene und auch die Aldehyde abnehmende Raumluftkonzentrationen im Jahresvergleich festgestellt (siehe Kapitel Fallbeispiele). Für die Beurteilung der Emissionen reaktiver Substanzen wie der Essigsäure ist die Prüfkammeruntersuchung geeignet, sie kann aber deren Langzeitemission nicht ausreichend fundiert abbilden.

In der nachstehenden Tabelle sind für die Messwerte der Abklingkurven nach Wilke et al (2012), zitiert im Gutachten MARUTZKY, die logarithmischen Ausgleichslinien (Trendlinien) dargestellt. Der einheitlich hohe R<sup>2</sup>-Wert als Maß für die Güte der Anpassung (Maximum R<sup>2</sup> =1) zeigt das für alle Substanzen unabhängig ihrer chemischen Eigenschaften ein gleichförmiges Verhalten auftritt, ein Anstieg der ebenfalls reaktiv entstandenen Hexansäure ist entgegen des zu Grunde liegenden Chemismus (säurekatalysierte Bildung) nicht zu beobachten. (Die Messwerte für Octenal wurden nicht berücksichtigt, da nur bis zum 128. Tag ermittelt wurde.)

**Tabelle 16: Daten der Abklingfunktionen nach Wilke et al (2012).**

Summe VOC	$\alpha$ -Pinen	Hexanal	3-Caren	Hexansäure
$y = -207,5\ln(x) + 1189,3$	$y = -25,37\ln(x) + 155,24$	$y = -84,85\ln(x) + 473,26$	$y = -9,778\ln(x) + 64,539$	$y = -37,26\ln(x) + 208,82$
$R^2 = 0,9897$	$R^2 = 0,9872$	$R^2 = 0,9842$	$R^2 = 0,9456$	$R^2 = 0,9402$

Das gleichförmige Verhalten liegt demnach nicht in den Substanzen begründet, sondern in der experimentellen Gestaltung. Die Schlussfolgerung im Gutachten MARUTZKY muss daher ergänzt lauten: „Alle Stoffe zeigen ein ähnliches Abklingverhalten *in der Prüfkammer*.“

Unter realen Bedingungen ohne den überlagernden Luftwechsel kommen nach chemischer Gesetzmäßigkeit hingegen die chemischen Eigenschaften der Substanzen zum Tragen. Hierzu zählen die Substanz-spezifischen Diffusionskoeffizienten für den Transport in dem OSB, die unterschiedlichen Dampfdrücke, die Substanz-spezifische Reaktionsgeschwindigkeit der Hydrolyse wie auch die Substanz-spezifische Reaktionsgeschwindigkeit der Oxidation. Ohne den Luftwechsel-bedingten Abtransport der oberflächennahen Substanzen kommt es dann zu einer „natürlichen“ Emission und deren unterschiedlichen Zeitverlauf.

Das heißt, um das Langzeitverhalten beurteilen zu können, muss der der Emission zugrundeliegende Prozess verstanden werden.

Da Hemicellulose im Holz in praktisch unbegrenzter Menge zur Verfügung steht, ist für die Emission von Essigsäure praktisch kein Abklingen zu erwarten (s. Langzeitbeobachtung der älteren Fertighäuser) bzw. ein Anstieg (s. Vorjahresvergleich Schulneubau).

## 6.6 Kap. 7.4 Einbausituation und Wechselwirkung mit anderen Baustoffen

Im Gutachten MARUTZKY findet sich die überraschende Feststellung:

*„Konstruktive Holzwerkstoffe des Bauwesens wie OSB und Spanplatten sind hingegen nicht in direktem Kontakt mit der Raumluft.“*

Hier werden OSB und Spanplatten undifferenziert bezüglich eines Kontaktes mit der Raumluft gleichgestellt. In aller Regelmäßigkeit finden sich Spanplatten nur in indirektem Kontakt

Nicht näher ausgeführt wird, worin der Unterschied zwischen einem „direkten“ und einen „indirekten“ Kontakt zwischen der Raumluft und den Holzwerkstoffen besteht. Eine offen an einer Wand befindliche Holzwerkstoffplatte wie OSB steht augenscheinlich in „direktem“ Kontakt mit der Raumluft. Aber auch die Rückseite einer durch Tapete augenscheinlich verdeckten Spanplatte steht auf ihrer Rückseite in einer Trockenbauwand in direktem Kontakt mit der Raumluft und einem Luftaustausch der Hohlraumluft mit der offenen Raumluft über „Undichtigkeiten“ wie Steckdosen, Kabeldurchbrüche, Wand-Decke- oder Wand-Fußboden-Übergänge. Nicht der tatsächlichen Praxis entspricht auch die Feststellung im Gutachten MARUTZKY: „Anders als z. B. bei einem Wandanstrich, einer Tapete oder einem Bodenbelag werden sie durch Bekleidungen und Beschichtungen gegenüber dem Innenraum „abgeschirmt“. Es ist

heutzutage zum „Stilelement“ geworden, OSB-Platten, wahrscheinlich wegen der „Natürlichkeit“, in offener Form zur Gestaltung von Wänden und Decken, sogar als Einbauten und Möbel, einzusetzen. Ganz vergleichbar dem „Sichtbeton“ als offene Wandstruktur.

Eine Schlagwort-Suche „OSB Innenraum“ bei Google bringt die vielfältige Verwendung zum Vorschein.

<https://www.google.de/search?source=univ&tbm=isch&q=OSB+Innenraum&sa=X&ved=2ahUKEwifg8WBr53rAhUS4aQKHSv-DdwQsAR6BAgKEAE&biw=1184&bih=589> (Abruf 15.08.2020)

Spanplatte-Platten werden hingegen eher selten in offener Form im Innenraum angebracht, das Image eines „technischen“ Produktes mit schlechtem Ruf dürfte hier hindernd wirken. Dennoch sind sie nicht ohne Kontakt mit der Raumluft im chemisch-reaktiven Verständnis.

Beschichtung ist nicht gleich Beschichtung. Hier kommt es auf diffusions-be- oder verhindernden Effekt an. Eine Raufasertapete auf einer Spanplatte-Platte lässt Feuchtigkeit durchtreten, die ihrerseits über die Hydrolysereaktion zur Freisetzung von Formaldehyd und Essigsäure führt. Die MVV TB bietet hier die Möglichkeit, die Wirksamkeit einer Beschichtung nachzuweisen (MVV TB 2017/1, Abschnitt A 3.2).

Auch Gipskartonplatten sind chemisch betrachtet „undicht“. Dies zeigt sich z.B. in typischer Weise in älteren Holzständergebäuden („Fertighäuser“ der 1970er Jahre): Bei dem Bautyp mit durchgehend Spanplatte an den tragenden wie auch an den nichttragenden Wänden kommt es zu deutlich geringeren Raumluftbelastungen durch Lindan und Chloranisolen aus dem Holzständerwerk als bei den Gebäuden mit Gipskarton an den nicht tragenden Wänden. Für Neutralkmoleküle ist Gipskarton durchlässig. Aber auch saure Verbindungen wie Essigsäure werden durch die saure Eigenschaft von Gips gerade nicht zurückgehalten. Dies steht im Einklang mit theoretischen Annahmen.

Aber auch wenn eine OSB- oder eine Spanplatte-Platte raumseitig beschichtet ist: Durch das Aufbringen auf eine Unterkonstruktion steht die Rückseite der Platte, die dann in aller Regelmäßigkeit unbeschichtet ist, über den Luftwechsel der Hohlraumluft mit der Raumluft (verstärkt z.B. bei jeder beginnenden Regen-/Tiefdruck-Phase) in Verbindung und Wechselwirkung (z.B. Feuchteintrag).

*„Ein weiterer Gesichtspunkt, der eine Planung erschwert, betrifft den Einfluss von Wechselwirkungen mit anderen Baustoffen, die als sogenannte „Senken“ für VOC wirken. Insbesondere reaktive VOC wie Aldehyde oder Carbonsäuren werden von anderen Baustoffen adsorbiert oder dauerhaft gebunden. Das bekannteste Beispiel ist die Minderung von Formaldehyd in Raumluft durch den proteinbasierten Naturstoff Wolle, wie er vielfach in Teppichen, Raumtextilien oder Sitzmöbelbezügen vorliegt [Sweredjuk et al. o. Jahrgang].“*

Die These der „Senkenwirkung“ für VOC-Substanzen und insbesondere, wie im Gutachten MARUTZKY benannt, für die reaktiven VOC wie Aldehyde oder Carbonsäuren, muss differenziert betrachtet werden. Eine „Senke“ im vorliegenden Kontext bedeutet einen Vorgang, bei dem es zu einer Verminderung der Raumluftkonzentration einer Substanz kommt. Es kann sich hierbei um chemische Prozesse wie eine Neutralisationsreaktion (der vielleicht bekannte Satz: „Säure und Lauge ergibt Salz und Wasser“). Es können aber auch physikalische Prozesse wie die Kondensation von Wasser an kalter Oberfläche ablaufen.

An bestimmten Baustoffen wie „Schafwolle“ werden Formaldehyd und auch die höheren Aldehyde an den Aminogruppen chemisch-reaktiv gebunden. Dieser Prozess findet jedoch seinen Abschluss, wenn die Bindungsstellen abreagiert haben, also gesättigt sind, die Emission jedoch fortbesteht. Allein eine

mengenmäßige Abschätzung bei einem ca. zehnpromzentigen Anteil an Spanplatte und deren konstruktive Verwendung im Gebäude im Tonnenmaßstab gegenüber der wesentlich geringeren Masse an Schurwolle-Teppichen oder Raumtextilien lässt diesen Senkeneffekt als eher marginal erkennen.

Schwächer in ihrer Wirkung, da nicht von Dauer, ist großflächig die physikalische Adsorption („Anlagerung“) der VOC-Substanzen an den Raumboberflächen. Für die Verteilung der VOC-Vertreter zwischen der Gasphase (Luft) und der festen Phase (Oberflächen) spielen der Siedepunkt und auch die Polarität eine wesentliche Rolle. Der Anteil an der Adsorption auf den Oberflächen wird durch den Anteil der Substanzen in der Luft bestimmt (Partialdruck). Um die Bindungsstellen der Raumboberflächen konkurrieren alle in der Raumluft enthaltenen Substanzen. Den mengenmäßig größten Anteil nimmt dabei Wasser ein, das in hohem Überschuss sowohl in der Raumluft als auch auf den Raumboberflächen vorliegt. (Zur Veranschaulichung: Eine relative Luftfeuchtigkeit von 50 % bei einer Raumtemperatur von 23 °C als Bedingungen der Prüfkammer bedeuten gerundet 10 g Wasser pro m<sup>3</sup> Luft, also 10 Millionen Mikrogramm/m<sup>3</sup>. Dem stehen als „Konkurrenten“ Vertreter der VOC in der mengenmäßigen Größenordnung von 1000 µg/m<sup>3</sup> (TVOC-Kriterium) gegenüber.

Diese Konkurrenz spielt eine wesentliche Rolle sowohl bei der Absorption (Aufnahme in das Material) als auch bei einer nachfolgenden Desorption (Freisetzung). Dabei treten die zuvor adsorbierten Substanzen, sofern sie nicht in den untergeordneten Fällen chemisch gebunden wurden, von den Raumboberflächen zurück in die Raumluft. Die schon zuvor dargestellten Effekte einer Raumlüftung mit geringerer Lüftungseffizienz bei den polaren Substanzen Ameisensäure, Essigsäure und Formaldehyd sind auf diese Konkurrenz mit den Wassermolekülen zurückzuführen (Maraun 2019). Das Wasser verdrängt diese flüchtigen Substanzen weg von der Oberfläche in die Raumluft.

Unter standardisierten Bedingungen wie in einem Referenzraum lassen sich diese Prozesse auf eine vereinheitlichte Funktion reduzieren.

**Fazit:** Oberflächen, die als zunächst als Senken wirken, können zu Quellen werden und zu einer Erhöhung der Raumluftkonzentrationen beitragen.

## **6.7 Kap. 9 Toxikologische Relevanz der VOC-Emissionen von OSB und Spanplatten in der Praxis:**

### **Kap. 9.1 Erfahrungen im Bereich des Arbeitsplatzes**

*„Der einzige von Holzprodukten emittierte VOC mit einem MAK-Wert ist die Essigsäure. Für andere VOC aus Holz gibt es keine MAK-Werte, die als Arbeitsstoffe nicht oder kaum eingesetzt werden.“*

Mit der Verkürzung des Begriffes „VOC“ auf die über die analytische Methode definierten Substanzen bleibt Ameisensäure unberücksichtigt. Nach der Siedepunktseinstufung einer „flüchtigen organischen Verbindung“ mit Siedepunkt zwischen 60 und 260°C stellt Ameisensäure mit einem Siedepunkt von 101°C gleichwohl eine „flüchtige organische Verbindung“ dar. Es wird daher die Berücksichtigung der Ameisensäure bei der Prüfung von Holzwerkstoffen gefordert (Fraunhofer 2018).

Für Ameisensäure existiert in Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) von 9,5 mg/m<sup>3</sup>. In der Reihe der Carbon-säure stellt die Ameisensäure die stärkste Säure dar. Dementsprechend ist die zweitstärkste Carbon-säure Essigsäure mit einen höheren AGW von 25 mg/m<sup>3</sup> belegt.

Als weiterer Holzwerkstoff-VOC weist Propionsäure einen Arbeitsplatzgrenzwert von 31 mg/m<sup>3</sup>.

Eine Ableitung der NIK-Werte aus den Arbeitsplatzgrenzwerten würde demnach für die Ameisensäure einen um den Divisor 2,6 (aus dem Verhältnis der AGW von Ameisensäure zu Essigsäure) niedrigeren NIK-Wert bedingen, somit 475 µg/m<sup>3</sup>.

Ein toxikologisch abgeleiteter Innenraumrichtwert existiert aktuell weder für die Ameisen- noch für die Essigsäure.

Als Innenraum-Richtwert für die C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub>-Carbonsäuren wird im Sitzungsprotokoll des AIR vom November 2017 ein Summenwert von 300 µg/m<sup>3</sup> als vorläufiger Vorsorgewert (Richtwert RW I) festgelegt, der vorläufige Gefahrenwert mit 1000 µg/m<sup>3</sup> (Umweltbundesamt 2017).

Im Gutachten MARUTZKY findet sich neben dem Hinweis auf die „letale Dosis in Luft für Essigsäure“ die Schlussfolgerung: „Der nochmal um den Faktor 21 unter dem MAK-Wert liegende NIK-Wert hat damit keine Bedeutung im Hinblick auf den Gesundheitsschutz“. Diese „Ableitung“ über den MAK-Wert lässt jedoch u.a. die Dauer einer Exposition beim Aufenthalt in Wohn-Innenräumen, die besonderen Schutzgruppen (alte Menschen, Kinder), die am Arbeitsplatz bestehende betriebsärztliche Überwachung wie auch die Kontrolle der Arbeitsplatzbelastung oder die Vorgabe von Schutzmaßnahmen außer Beachtung. Auch übersieht der Autor, dass eine Ableitung von toxikologischen Richtwerten von den empfindlichsten Wirkungen ausgeht und aus ethischen Gründen nicht von einer final letalen!

## **6.8 Kap. 9.2 Untersuchungen in Holzgebäuden und von Holzwerkstoffen**

Im Gutachten MARUTZKY wird als einzige Studie zum Vorkommen von VOC in Holzgebäuden die Studie von Fürhapper (2017) angeführt.

In dieser Studie wurden 13 Objekte untersucht, sechs in Massivholzbauweise und sechs in Holzrahmenbauweise. Ein Gebäude aus mineralischen Baustoffen diente als Vergleichsobjekt. Acht der zwölf Holzgebäude verfügten über eine technische Wohnraumbelüftung und entlüftung.

In den Gebäuden wurde nach DIN 16000-6, mittels Tenax TA-Verfahren auf VOC sowie nach DIN 16000-3, auf Aldehyde untersucht.

Die Räume mit Lüftungsanlage wurden unter Betrieb der technischen Raumlüftung beprobt. In der Studie sind die zeitlichen Abstände zwischen der Probenahme und dem Bezug des Gebäudes angegeben. Eine Angabe zur jahreszeitlichen Bedingung, die einen erheblichen Einfluss auf die Bauteiltemperatur und damit –emission hat, fehlt jedoch.

Angaben zu den analytisch ermittelten typischen Holzemissionen an Carbonsäuren (u.a. Ameisensäure, Essigsäure) sowie zu den Aldehyden (u.a. Hexanal) liegen nicht vor.

Bei reiner Fensterlüftung, also ohne Kompensation der Emission durch den permanenten Luftwechsel, weisen die TVOC-Gehalte auch nach acht Monaten nach Bezug noch Werte (im Mittel) über 1000 µg/m<sup>3</sup> ohne erkennbares Abklingverhalten auf.



In einem der vier Gebäude in Holzständerbauweise mit ausschließlicher Fensterlüftung wurde nach einem von den Autoren der Studie selbst ermittelten TIAC (tolerable indoor air concentration) eine anhaltend erhöhte Belastung festgestellt, die „vorrangig durch die stete Freisetzung von typischen Bauproduktmissionen verursacht wurde.“ Demnach tritt (bei sehr geringer Fallzahl!) bei 25 % der in Holzständerbauweise mit Fensterlüftung errichteten Gebäude „eine anhaltend erhöhte Belastung“ auf, beim dargestellten Verlauf des TVOC ohne erkennbares Abklingverhalten.

Dieser Befund der Studie wird im Gutachten MARUTZKY unerwähnt gelassen.

Insbesondere wird das besondere Verhalten von sehr polaren Substanzen wie das der Essigsäure nicht eingehend dargestellt.

*„Eine weiterhin durchgeführte umweltmedizinische Evaluierung ergab, dass die eigene Gesundheit und Befindlichkeit der Probanden sehr hoch bis zufriedenstellend war.“ (MARUTZKY)*

Hier wird im Gutachten MARUTZKY der von Mersch-Sundermann (Mersch-Sundermann 2007) aufgeworfene Aspekt der „Beantwortungstendenz“ von Probanden nicht diskutiert.

Ergebnisse weiterer Studien zum Vorkommen und Verhalten Holzwerkstoff-basierter Substanzen in Gebäuden werden im Gutachten MARUTZKY nicht dargestellt (z.B. Maraun 2018, Maraun 2016).

## **6.9 Kap. 12 Fazit**

ad Punkt 1:

In der DIN EN 16516:2018-01 werden ein Referenzraum und ein Emissionsszenario definiert, um Festlegungen für die Emissionsprüfung in Bezug auf die Beladung treffen zu können. Der Referenzraum stellt lediglich ein Modell und keinen realen Raum dar.

Die Messung der VOC-Emissionen von Bauprodukten auf der Basis von Holzwerkstoffen in einer Prüfkammer unter standardisierten Bedingungen hat das Ziel, die Freisetzung von gefährlichen Stoffen zu bewerten und die Emissionen in die Innenraumluft zu bestimmen (siehe Titel der Norm).

Die Einhaltung der Emissions-NIK-Werte für die Holzwerkstoff-basierten Aldehyde und Terpene gewährleistet das Unterschreiten der Gefahrenwerte für die Innenraum-Immission. Für die Emissionen an Carbonsäuren wäre zur sicheren Unterschreitung von Gefahrenwerten für die Raumluft das Prüfverfahren anzupassen.

In Bezug auf die Immissionen in einem Realraum stellt die Emissionsprüfung eines Bauproduktes in der Prüfkammer eine Grundlage für die Abschätzung der sich in einem realen Raum einstellenden Konzentrationen dar und ermöglicht somit eine Beurteilung möglicher Belastungen.

Die vielfältigen Wechselwirkungen, die sich in einem realen Innenraum ergeben, wie zum Beispiel Reaktionen zwischen verschiedenen Bauprodukten, Licht- und UV-Strahlung, Ozon, Temperatureffekte oder Nutzerverhalten können in einer standardisierten Prüfkammeruntersuchung nicht dargestellt wer-

den. Das ist auch nicht das Ziel von standardisierten Prüfkammeruntersuchungen. Umgekehrt sind bei der Beurteilung der Immission bzw. der Exposition der Raumnutzer und Quellenermittlung auch alle weiteren, die Emissionen beeinflussenden Parameter zu berücksichtigen.

ad Punkt 2:

In Bezug auf die Einhaltung der ABG werden von MARUTZKY der TVOC und der R-Wert als bedeutsam eingestuft, weil Holzwerkstoffe die für diese Parameter geforderten Anforderungen am ehesten überschreiten. Für die typischen Emissionen von Holzwerkstoffen wie OSB sind hingegen die Essigsäure und die Ameisensäure, daneben auch Aldehyde (C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde), für die gesundheitliche Bewertung bedeutsam. Der R-Wert als Wahrscheinlichkeitswert für eine gesundheits-basierte Gefahrenbeurteilung ist von erheblicher Bedeutung. Der einzelne Quotient von Messwert zu NIK-Wert einer Substanz ergibt eine Einzelwahrscheinlichkeit für einen gesundheitlichen Effekt. Die Summation über alle Quotienten zur Bestimmung des R-Wertes ergibt dadurch einen Gesamt-Gefahrenindex für gesundheitliche Folgen, wenn auch unterschiedlicher Art (irritativ, neurologisch). Bei einem R-Wert über 1 wäre demnach eine hinreichende Eintrittswahrscheinlichkeit für eine Schädigung der Gesundheit gegeben.

Da die Emission der Essigsäure methodisch bedingt fehlerhaft und die Emission der Ameisensäure zur Zeit noch nicht erfasst wird, wäre eine entsprechende Ergänzung und Überarbeitung der ABG in diesen Punkten wünschenswert.

ad Punkt 3:

*„Für die Berechnung des R-Wertes werden NIK-Werte abgeleitet, die überwiegend erheblich unter Werten aus dem Arbeitsschutz liegen und in Bezug auf bauliche Anlagen bestenfalls einer Gefahrenvorsorge aber keiner Gefahrenabwehr dienen. Gleiches gilt für die EU-LCI-Werte. Die additive Berechnung des R-Wertes und die Einbeziehung von VVOC und SVOC beruht auf nicht belegten Annahmen.“*

Die NIK-Werte sind nach ihrer Ableitung toxikologisch begründet. Sie bilden keine eigenständigen Beurteilungskriterien, sondern stellen Hilfsgrößen für gesundheitliche Bewertung mittels R-Wert dar. Dennoch stehen sie in guter Übereinstimmung mit den ebenfalls toxikologisch zur Abwehr von Gefahren abgeleiteten Innenraumrichtwerte RW II für den Innenraum. Eine Bezugnahme auf die Arbeitsplatzgrenzwerte zur Beurteilung von Innenraumbelastungen verbietet sich wegen unterschiedlicher Schutzgruppen, zeitlich unterschiedlicher Exposition und unterschiedlicher (betriebs-)ärztlicher Überwachung einer Belastung. Über die Berechnung der R-Wertes auf Basis gefahrenbezogener NIK-Werte ist gerade noch keine Gefahrenvorsorge (sichere Unterschreitung der vorsorgeorientierten Richtwerte I) gegeben. Dies wäre erst durch die Auswahl emissionsärmerer Bauprodukte sowie zusätzlicher baulicher Maßnahmen (Raumbeladung, Raumlufwechsel) zu erreichen.

ad Punkt 4:

*„Die VOC-Emissionen aus Holzprodukten sind vielfach untersucht worden und ausreichend bekannt. Es erfolgt keine Zugabe zu OSB und Spanplatten von Stoffen, die zur Abgabe zusätzlicher VOC führt. Alle*

*Hauptkomponenten der Emissionen aus Holz (Terpene, Carbonsäuren, gesättigte Aldehyde) weisen ein geringes toxisches Potential auf.“*

Wenngleich Emissionen von Holzwerkstoffen schon lange bekannt sind, so geben erst jüngste Studien Kenntnis über das Vorkommen der Ameisensäure in der Emission (Fraunhofer 2019) oder das Langzeitverhalten der Immission an Formaldehyd oder der Carbonsäuren (Fraunhofer 2019, Maraun 2016, Maraun 2019) in Holzgebäuden.

Ganz vereinzelt wird erst das Verhalten der kurzkettigen Carbonsäuren in den Immissionskonzentrationen im Zeitverlauf oder durch die Raumlüftung beschrieben (Maraun 2019).

Ein „geringes toxisches Potenzial“ für „alle Hauptkomponenten der Emissionen aus Holzwerkstoffen (Terpene, Carbonsäuren, gesättigte Aldehyde)“ kann nicht attestiert werden, stellen doch z.B. die Carbonsäuren Ameisen- und Essigsäure starke Reizstoffe für die Schleimhäute dar.

ad Punkt 6:

Die Feststellung, „die VOC-Emissionen von OSB und kunstharzgebundenen Spanplatten nehmen... rasch ab, d.h. um etwa 40 bis 60 Prozent innerhalb von 3 Monaten“ lässt außer Acht, dass es sich hierbei um Prüfkammeruntersuchungen handelt, die wegen des hohen Luftwechsels nicht auf eine Realraumsituation übertragen werden können. Es wäre eine unzulässige Schlussfolgerung, dass damit auch der „VOC-Speicher“ des Prüfgutes erschöpft sei. Die reversiblen Senken in einem Realraum werden damit ebenfalls nicht berücksichtigt (s. die im Kap. 4.5 dargestellten Ergebnisse zu den Langzeitemissionen von Holzwerkstoffen).

ad Punkt 7:

*„Human-toxikologische Untersuchungen an VOC-Emissionen aus Kiefernholz-OSB schließen vielmehr Hinweise auf gesundheitliche Gefährdungen oder Reizerscheinungen und Irritationen durch VOC-Emissionen dieser Werkstoffe aus. Eine Gefahr für die Gesundheit durch VOC-Emissionen aus OSB und kunstharzgebundenen Spanplatten ist damit definitiv auszuschließen.“*

Die Übertragbarkeit human-toxikologischer Untersuchungen aus Studien mit Probanden auf das Gesamtkollektiv der Nutzer von Holzständergebäuden (Realräume) sind nicht begründet (empfindliche Personen, Langzeit-Exposition, geringere Raumlüftung). Eine Studie zeigt (Fürhapper 2019), dass in einem von vier untersuchten Realgebäuden ohne Fensterlüftung die Gebäudenutzung auch noch nach acht Monaten des Bezugs ein Zustand vorlag, der noch nicht als „toxikologisch sicher“ eingestuft werden kann. Über den weiteren Verlauf insbesondere der Entwicklung der Reizstoffe Ameisen- und Essigsäure gibt die Studie keine Auskunft. Eine technische Lüftung wirkt im gleichen Sinn wie in einer Prüfkammer auf die Emission. Die Verwendung von Holzwerkstoffen erfordert daher gerade den Einbau solcher Anlagen. Begründet wird dadurch dann aber auch eine permanente hygienische Kontrolle.

ad Punkt 8:

*„Für den Hersteller oder Importeur von Holzwerkstoffen wird damit völlig unklar, ob hier die Emissionsklasse E1 nach der europäischen harmonisierten Norm hEN 13986, nach der geänderten Chemikalien-Verbotsverordnung von 2017 oder nach der MVV TB 2017/1 gilt. Die damit verbundene Verunsicherung wird gravierend durch die Tatsache verstärkt, dass der Formaldehydemissionswert zu einer wie im Abschnitt 9 verdeutlicht - variablen Größe wird.“*

Die Formaldehydemission von Holzwerkstoffen wird durch die Art und Menge des Bindemittels sowie weitere Bearbeitungsschritte (Oberflächengestaltung, Beschichtung) bestimmt. Die Formaldehydemission stellt keine variable, sondern eine unmittelbar durch den Hersteller festlegbare Größe dar.

Für eine Verwendung beschichteter und unbeschichteter Holzwerkstoffe gemäß ChemVerbotsV vom 20 Januar 2017 gilt in Deutschland ab 01.01.2020 für Formaldehyd das im Bundesanzeiger am 26. November 2018 veröffentlichte Verfahren gemäß DIN EN 16516 mit einer Beladung von 1,8 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> und einem Luftwechsel von 0,5/h was einem q von 0,278 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h entspricht. Als zusätzliches Prüfverfahren ist die Prüfung nach DIN EN 717-1 möglich. Das Ergebnis dieser Prüfung ist dann mit Faktor 2 zu multiplizieren.

Um die Einhaltung des in der Chemikalien-Verbotsverordnung verankerten Grenzwertes für Formaldehyd in Höhe von 0,1 ppm (124 µg/m<sup>3</sup>) zu gewährleisten, ist rein rechnerisch eine Einhaltung von maximal ca. 60 µg/m<sup>3</sup> Formaldehydemission in der Prüfkammer bei einem q von 0,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h gemäß DIBt-Hinweisen 2020 erforderlich.

ad Punkt 9:

*„Die Zusammensetzung und Höhe der VOC-Emissionen ist dabei eine variable Größe, die von der Holzart und der Zusammensetzung der Rohstoffsortimente der Holzwerkstoffe abhängt. Den Einfluss dieses natürlichen Merkmals von Holz kann der Hersteller nicht sicher einschätzen und beeinflussen.“*

Es muss zwischen der „natürlichen“ Emission von Holz und der technisch bedingten Emission eines Holzwerkstoffes unterschieden werden.

Wenn die behauptete „natürliche“ Emission eines Holzwerkstoffes durch chemisch-technische Maßnahmen nicht unterbunden wird (in Analogie zur Reduzierung der Formaldehyd-Emission), so kann mit Verweis auf die Chemikalienverbotsverordnung auch Gebrauch gemacht werden von der Ausnahmeregelung:

*„Das Verbot nach Spalte 2, Absatz 1 gilt nicht für Platten, die ausschließlich zum Zwecke einer geeigneten Beschichtung in den Verkehr gebracht werden, sofern sichergestellt ist, dass sie nach der Beschichtung die in Spalte 2 Absatz 1 genannte Ausgleichskonzentration einhalten.“*

ad Punkt 10:

*„Eine weitere Unsicherheit für den Hersteller ergibt sich aus den unterschiedlichen Alterungsverhalten von Formaldehyd und VOC. VOC zeigen, wie im Kapitel 6 ausführlich dargestellt, ein ausgeprägtes Alterungsverhalten.“*

Das Alterungsverhalten von Holzwerkstoffen bezüglich der Emission der Carbonsäuren muss als gleichartig zu der Emission an Formaldehyd angesehen werden: Aus der Untersuchung von älteren Gebäuden in Holzständerbauweise („Fertighäuser“) zeigt sich auch nach Jahrzehnten eine hohe Korrelation zwischen Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure in der Raumluft (Maraun 2016). Demnach ist kein Unterschied zu erkennen zwischen dem technisch eingebrachten Formaldehyd und den im Holz vorangelegten Säuren. Gemeinsam ist beiden der hydrolytische Prozess als chemische Reaktion mit Wasser. Dessen kontinuierliches Eindringen in den Holzwerkstoff setzt dann über einen sehr langen Zeitraum ohne erkennbaren Endpunkt in der Emission die gemeinsam als Reizstoffe agierenden Substanzen frei.

Seitens des Herstellers kann auch dieser Prozess beherrschbar gemacht werden durch Gebrauch der Ausnahmeregelung, vergleichbar dem vorstehend diskutierten Punkt.

„Das Verbot nach Spalte 2, Absatz 1 gilt nicht für Platten, die ausschließlich zum Zwecke einer geeigneten Beschichtung in den Verkehr gebracht werden, sofern sichergestellt ist, dass sie nach der Beschichtung die in Spalte 2 Absatz 1 genannte Ausgleichskonzentration einhalten.“

## **7. Fazit**

Das Schutzziel ist die menschliche Gesundheit.

In Aufenthaltsräumen sind die toxikologisch abgeleiteten Innenraumrichtwerte einzuhalten.

Bauprodukte aus Holzwerkstoffen stellen wie andere Bauprodukte auch mögliche, gesundheitlich relevante Quellen für flüchtige organische Verbindungen in Innenräumen dar.

Die von Holzwerkstoffen emittierten flüchtigen organischen Verbindungen bestehen im Wesentlichen aus Terpenen, Aldehyden und Carbonsäuren. Für die Bewertung dieser Stoffe liegen Innenraumrichtwerte vor.

Die durch Holzwerkstoffe bedingten Immissionskonzentrationen beruhen auf den Emissionen der Holzwerkstoffe.

Zwischen den Ergebnissen der Prüfkammeruntersuchung (Emission) und der Raumluftuntersuchung (Immission) besteht häufig kein einfacher und linearer Zusammenhang. Die Transferfaktoren können bei unterschiedlichen Raumbeladungen, unterschiedlichen klimatischen Bedingungen, unterschiedlicher Luftwechselrate, unterschiedlicher Sekundärquelleneffekte nicht hinreichend genau festgelegt werden. Das chemische Reaktionsgeschehen in einer Prüfkammer unter standardisierten Bedingungen unterscheidet sich von dem chemischen Reaktionsgeschehen eines nicht standardisierbaren realen Innenraumes.

Für die Beurteilung der Immissionen über einen nutzungsüblichen Zeitraum des Gebrauchs von Holzwerkstoffen (Jahre bis Jahrzehnte) ist die Prüfkammer-Emissionsmessung nicht ausgelegt und alleine

nicht ausreichend. Hierzu bedarf es weiterer Forschung zum Verhalten von Holzwerkstoffen unter den Realraumverhältnissen.

In der Langzeitemission der Holzwerkstoffe finden sich die Grenzen des Modells der Prüfkammeruntersuchungen, da die Prüfung i.d.R. nicht über den vorgegebenen Zeitraum von 28 Tagen hinaus stattfindet.

Die Sekundäremissionen insbesondere an reaktiv entstandenen Carbonsäuren sind in der in Prüfkammer aufgrund des überlagernden (geschwindigkeitsbestimmenden Schrittes) des Luftwechsels nicht abbildbar. Es kann fallweise / prüfkörperweise zu einer Abnahme der Emission kommen. Das reale Abklingverhalten der Emission erfüllt jedoch nicht die Erwartungen einer „Null-Emission“. Es wird fern der chemischen Realität angenommen, dass eine Emission mit dem Abbruch der vorgegebenen Prüfdauer nach 28 Tagen zwingend und bleibend einen dann auch unter realen Bedingungen erwarteten unbedenklichen Zustand gewährleisten wird.

Der methodische Effekt beruht auf dem überlagernden hohen und bestimmenden Luftwechsel in der Prüfkammer, der zu einer Gleichgewichtseinstellung auf niedrigem Konzentrationsniveau führt. Bei real geringerem Luftwechsel wird sich eine Gleichgewichtseinstellung auf höherem Konzentrationsniveau ergeben. Es bleibt abzuwarten, ob dann auch die Innenraumrichtwerte eingehalten werden.

Das Prüfkammerverfahren für die Emission der Holzwerkstoffe kann die Emission nicht präzise abbilden, sie liefert aber dennoch wichtige und grundlegende Anhaltspunkte.

Die Emissionsprüfung von Holzwerkstoffen erfolgt auf der Grundlage eines standardisierten und normierten Verfahrens. Um eine vollständige Erfassung der Holzwerkstoff-typischen Emissionen zu gewährleisten, ist eine Ergänzung der Verfahren in Bezug auf Carbonsäuren erforderlich. Durch die Vorgaben der Analytik mittels Tenax TA werden typische Emissionen von Holzwerkstoffen wie der Ameisensäure nicht erfasst. Die Analytik der Essigsäure mit dem vorgegebenen Tenax TA-Verfahren kann Minderbefunde bis zum Nicht-Nachweis des Analyten bedingen.

Anhand des Ausschlusses von Bauprodukten, die die Anforderungswerte gemäß MVV TB / ABG bzw. AgBB Schema überschreiten, kann eine Einhaltung der gesundheitlichen Gefahrenschwellen (Richtwert II) gewährleistet werden. Wenngleich Richtwert-II-Überschreitungen für die Holzwerkstoff-typischen VOC Terpene (Summe bicyclische Terpene) und Aldehyde (Summe C<sub>4</sub>- bis C<sub>11</sub>-Aldehyde) in der gutachterlichen Praxis selten beobachtet werden, kommt es bei Raumluftbelastungen im Bereich zwischen Richtwert-I- und Richtwert-II-Konzentrationen häufig zu Problemen. Um vorsorgeorientierte Zielwerte für die Raumluft zu erreichen, sind daher strengere Vorgaben an die Emissionen von Bauprodukten erforderlich.

Wenn die Prüfpflicht für Holzwerkstoffe nicht umgesetzt bzw. ausgeschlossen wird, besteht die Unkenntnis über die VOC-Emissionen von Holzwerkstoffen. Es steigt dadurch das Risiko von Schadensfällen, in denen schon allein die Innenraumrichtwerte RW I überschritten werden. Bei Gebäudeabnahmen kann dies zu erheblichen Auseinandersetzungen zwischen der Bauherrschaft und dem Errichter des Gebäudes kommen, bei denen dann auch der Hersteller von Holzwerkstoffen nicht auf Prüfzeugnisse zur Eignung seiner Produkte verweisen kann. Aus bisherigen Schadensfällen kann die Tendenz abgeleitet werden, dass die Bauherrschaft dann auf den großflächigen Einsatz von Holzwerkstoffen verzichtet. Für den Planer ist die Verwendung geprüfter Produkte von grundlegender Bedeutung.

Seitens der Hersteller ist eine Optimierung der Produktionsprozesse zur Verbesserung/Reduktion der VOC-Emissionen möglich. Die Verringerung der Formaldehyd-Emission von den stark Formaldehyd emittierenden E3-Spanplatten der 1970er und 1980er Jahre hin zu schwächer Formaldehyd emittierenden Spanplatten ist ein Beispiel. Es besteht daher Bedarf einer konstruktiven Zusammenarbeit zwischen den Prüfinstitutionen und den Herstellern von Holzwerkstoffen.

Auch auf Seiten des AgBB – Prüf- und Bewertungsschemas und der Prüfbedingungen ist eine Weiterentwicklung erforderlich. Hierzu könnten weitere Ableitungen von NIK-Werten, die Anpassung der NIK/LCI-Werte wie auch die Angleichung an Innenraumrichtwerte und die Konkretisierung der Prüfbedingungen für Holzwerkstoffe erforderlich sein.

## **8. Aufgabenstellung und Ergebnis**

Nachfolgend werden die Ergebnisse bezugnehmend auf die einleitend formulierten Aufgaben und Ziele zusammengefasst.

- *den Stand der Wissenschaft und Technik zur Charakterisierung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten, insbesondere aus OSB- und Spanplatten, einschließlich VOC-Emissionsverhalten und Abklingverhalten (Produkt- und Gebäudemessungen, Schadensfälle) darzustellen,*

Holzwerkstoffe wie OSB und Spanplatten werden aus dem Naturstoff „Holz“ auf mechanisch-chemischem Wege hergestellt. Prozesse des Zerkleinerns, der chemischen Behandlung zur Verfestigung und thermischer und drucktechnischer Einwirkung führen zur Bildung und Freisetzung von chemischen Substanzen. Aus Holz wird ein Holzwerkstoff.

Holzwerkstoffe weisen ein schon lange bekanntes Emissionsspektrum an flüchtigen (VOC) und leicht flüchtigen organischen Substanzen (VVOC) auf. Als typische Emissionen finden sich vor allem Terpene aus dem Harzanteil der verwendeten Nadelhölzer, Aldehyde aus der unter Beteiligung des Luftsauerstoffs stattfindenden Zersetzung der ungesättigten Fettsäuren des Holzes sowie die Bildung der „Holzsäuren“ Ameisen- und Essigsäure (Carbonsäuren) unter Beteiligung von Wasser. Als chemische Leitkomponenten können  $\alpha$ -Pinen (Terpen), Hexanal (Aldehyd) und Essigsäure (Carbonsäure) angesehen werden.

Es ist zwischen der Primäremission von bereits im Holz vorhandenen Substanzen (Terpene) und der Sekundäremission neu gebildeter Verbindungen (Aldehyde, Carbonsäuren) zu unterscheiden. Die der Sekundäremission vorangehende chemische Reaktivität bedeutet aber auch eine zeitliche Verzögerung im freien Emissionsverhalten des Holzwerkstoffes.

MVV TB werden die Umsetzungen durch die Landesbauordnungen VV TB vorgenommen.

Die Emission flüchtiger organischer Verbindungen wird anhand von Prüfkammertests nach der vorgegebenen Methodik bestimmt.

Unter den Prüfbedingungen der Prüfkammer als Grundlage einer Beurteilung nach MVV TB, Anhang 8 (ABG) gemäß AgBB-Schema des Ausschusses für die gesundheitliche Bewertung von Bauprodukten wird bei vorgegebener Luftwechselrate der Prüfkammer (0,5/h) und einem Prüfzeitraum von 28 Tagen

die Emission ermittelt. Dazu wird ein Probenahme- und Analysenverfahren nach EN 16516:2018-01 vorgegeben. Der dabei verwendete Sammler zur Anreicherung der Analyten weist jedoch für die Bestimmung der Carbonsäuren einen erheblichen Mangel auf, der einen validen Messwert anzugeben nicht erlaubt. Es ist von einem erheblichen Fehlbefund auszugehen, überwiegend von einem Minderbefund, wie Vergleichsmessungen mit einem Alternativverfahren zeigen.

Unter den Prüfkammerbedingungen überlagert der Luftwechsel die Geschwindigkeit der Bildungsprozesse der Sekundäremissionen. Aus dem gleichartigen Abklingverhalten der chemisch unterschiedlichen Substanzen / Substanzgruppen kann daher nicht auf eine gleichartige Erschöpfung der Reservoire geschlossen werden. Insbesondere für die Essigsäure stellt der Säure-katalysierte Bildungsprozess eine anhaltende Besonderheit dar: Aus anfangs geringen Säureanteilen im Holzwerkstoff (z.B. in der 28-Tage-Prüfdauer) kommt es durch fortgesetzte Neubildung zu ansteigenden Säuregehalten, die wiederum den Bildungsprozess weiter beschleunigen. Es zeigt sich ein für die Essigsäure fast schon charakteristisches Emissionsverhalten mit zunehmender Emission. Innerhalb des 28-Tage-Prüfzeitraumes wird dieser Prozess noch durch den überlagernden Luftwechsel überdeckt.

Unter Realbedingungen zeigt dieser chemische Prozess der sich verstärkenden Neubildung von Essigsäure eine ansteigende Belastung der Innenraumluft. Fallbeispiele zeigen, dass dann auch der Gefahrenwert für die Raumluft (Richtwert RW II) zumindest im nicht gelüfteten Raumzustand überschritten werden kann.

Auch im Langzeitverhalten der Emission von Holzwerkstoffen über Jahrzehnte zeigt die Essigsäure (wie auch die Ameisensäure) als aus dem Holzwerkstoff stammende Emission neben Formaldehyd je nach Art des Bindemittels eine „nachhaltige“ Freisetzung.

- *relevante Emissionen und Faktoren, die das Emissionsverhalten beeinflussen, darzulegen,*

Das Emissionsverhalten von Holzwerkstoffen wird von der Art des Holzes (über die unterschiedlichen Anteile an Terpenen, ungesättigten Fettsäuren gebundenen Carbonsäuren) sowie der Art des Bindemittels und ggfs. weiteren Inhaltsstoffen bedingt. Bei der Herstellung kommen insbesondere physikalische Faktoren (Art der Trocknung, Oberflächenvergrößerung, Druck und Temperatur) als emissionsrelevante Einflussgrößen hinzu. Zudem stellt die Art und Dauer der Lagerung eine Einflussgröße für das Emissionsverhalten dar. Darüber hinaus kann die Emission durch die weitere Bearbeitung (Oberflächenvergrößerung, Beschichtung) verändert werden.

- *die Verwendung von OSB- und Spanplatten in Gebäuden (übliche Verwendung, Verwendung in Schadensfällen) inkl. Wirkungen von Beschichtungen und Wechselwirkungen mit anderen Bauprodukten zu beschreiben, zu erläutern, ob und inwiefern bestimmungsgemäße oder übliche Verwendungen von OSB- oder Spanplatten zu einer langanhaltenden Erhöhung von VOC-Werten in Innenräumen (Immission) führen können,*

OSB-Platten stellen einen modernen Holzwerkstoff dar. Die Verwendung findet heute auch in sichtbarer, offener Anbringung auf Wänden, Decken oder als Einbauten im Raum statt. Durch eine Konstruktion in Holzständerbauweise (wie in „Fertighäusern“ oder für Schulbauten) und dem dadurch bedingten Hohlraum der Wände stellen die OSB-Platten beidseitige Emittenten dar: Nicht nur die direkt sichtbare Fläche trägt zur Immission der Raumluft bei, sondern auch die Plattenrückseite durch den Luftwechsel zwischen Hohlraum- und Raumluft (z.B. bei einem Innentüröffnen oder -schließen). Auch ein überbor-



des Verwendens von OSB-Platten stellt mit eine Ursache für Schadensfälle (s. obiges Beispiel Krippe) dar – eine Assoziation von „Natürlichkeit“ zum Holzwerkstoff OSB mag dabei auch eine (psychologische) Rolle spielen.

Beschichtungen können die Emission aus einem Material unterbinden – wenn die Beschichtung keine Durchlässigkeit aufweist. Eine häufige Beschichtung von Holzwerkstoffen wie OSB oder Spanplatte mit Gipskartonplatte muss in diesem Sinn als „undicht“ betrachtet werden. Sowohl Wasser als notwendiges Reagenz für die Bildung der Essigsäure als auch für die Essigsäure selbst stellt ein (saurer) Gipskarton keine Barriere dar. Beschichtungen sind prinzipiell möglich, ihre Eignung ist jedoch spezifisch zu prüfen.

- *Ergebnisse aus Prüfkammermessungen (Referenzraum) mit Daten aus realen Räumen zu vergleichen (mittel- und langfristiges Emissionsverhalten),*

Eine unmittelbare Übertragung von Prüfkammerdaten auf einen realen Raum ist nicht oder nur in Näherung unter Festlegung der Übertragungsbedingungen (Raumbeladung, Luftwechselrate, Temperatur, relative Luftfeuchte) möglich.

Die mittel- oder gar langfristige Emission über Monate oder gar Jahrzehnte aus den (kurzzeitigen) Prüfkammerbefunden abzuleiten ist ohne Differenzierung nicht gerechtfertigt. Für die dampfdruckbestimmte Emission an Terpenen kann dabei eine deutliche Abklingkurve mit Bestandscharakter nach dem Prüfzeitraum angesetzt werden. Dem chemischen Prozess der oxidativen Bildung der Aldehyde nach ist hier schon ein längerer Abnahmezeitraum anzusehen. Hingegen zeigt sich für die Essigsäure (und auch die Ameisensäure) ein mittelfristiger Anstieg der Emission. Über welchen Zeitraum sich die Entwicklung bis zum Maximum der Emission hinzieht, muss als noch nicht bekannt bezeichnet werden. Relative Endpunktmessungen nach 40 bis 50 Jahren belegen immer noch für den Einzelfall Überschreitungen des Innenraum-Gefahrenwertes.

- *Angaben zu Beschwerden und Symptomen in Schadensfällen aufzuführen.*

Zu den dargestellten Fallbeispielen wurden qualitativ geschilderte Beschwerden der Gebäudenutzer beigefügt. In Gebäuden mit hohem Vorkommen an OSB mit erhöhten Gehalten insbesondere an Aldehyden und Carbonsäuren werden insbesondere Reizungen der Atemwege, Kopfschmerzen, Belästigung durch Gerüche geschildert. In der gutachterlichen Praxis werden jedoch von den Unterzeichnenden als Nicht-Mediziner keine Schlüsse von einem geschilderten Symptom auf mögliche Schadstoffgehalte in der Raumluft und keine Rückschlüsse von einer ermittelten Raumluftkonzentration auf gesundheitliche Symptome gezogen.

## **9. Zusammenfassung**

Der Anhang 8 „Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich des Gesundheitsschutzes (ABG)“ der MVV TB konkretisiert die gesundheitsbezogenen Anforderungen an bauliche Anlagen hinsichtlich der Inhaltsstoffe und der Freisetzung schädlicher Stoffe aus Bauprodukten (MVV TB 2017 / 1, MVV TB 2019 / 1). Die Grundlage dafür ist das Prüf- und Bewertungsschema des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (kurz AgBB-Schema) (AgBB 2018). Die Prüfung der Freisetzung schädlicher Stoffe aus Bauprodukten (Emissionen) erfolgt dabei in einer Prüfkammer mit festgelegten und gleichbleibenden Bedingungen. Das AgBB-Schema bezieht sich seit 2018 auf die DIN EN 16516:2018-01 „Bauprodukte – Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen – Bestimmung von Emissionen in die Innenraumluft“. Die harmonisierten Prüfvorgaben der horizontalen Prüfnorm werden zur Prüfung der Emissionen gefährlicher Stoffe aus Bauprodukten im Rahmen einer Prüfkammermessung zugrunde gelegt.

Anhand der Prüfkammerergebnisse können die Konzentrationen gefährlicher Stoffe bezogen auf die Innenraumluft eines Referenzraumes angegeben werden. Die Abmessungen des Referenzraumes und die Prüfbedingungen wurden in der Norm so festgelegt, dass sie dem durchschnittlichen Zustand in Europa entsprechen. Das Prüfverfahren zielt darauf ab, Bauprodukte unter Bezugnahme auf einen durchschnittlichen Zustand allgemein repräsentativ für eine übliche Verwendung zu prüfen, um Bauprodukte unter vergleichbaren Bedingungen bewerten zu können (DIN EN 16516:2018-01, S.16).

Im Einzelnen werden im AgBB-Schema Anforderungen für folgende Bewertungsgrößen formuliert: Kanzerogene EU Kat. 1A/B (nach drei und 28 Tagen), TVOC (nach drei und 28 Tagen), R-Wert, Summe ohne NIK, TSVOC (nach 28 Tagen) sowie optional eine sensorische Prüfung (nach 28 Tagen).

### **AgBB-Anforderungen**

Der R-Wert stellt im Rahmen des Bewertungskonzeptes die zentrale gesundheitsbezogene Kenngröße dar, die aus der Summe der mittels Kammerluftkonzentrationen und NIK-Werten gebildeten Verhältniszahlen berechnet wird. NIK-Werte (NIK = niedrigste interessierende Konzentration) sind für die Bewertung von Bauprodukten toxikologisch abgeleitete Hilfsgrößen, die kontinuierlich überprüft und auf europäischer Ebene harmonisiert werden.

Das AgBB-Schema stellt ein etabliertes, breit verankertes und dynamisches Bewertungssystem dar, das die Anforderungen an die Emissionsbewertung von Bauprodukten umfassend umsetzt und in vielen Bereichen zu einer deutlichen Verbesserung der Produkte geführt hat. Durch die regelmäßige Überarbeitung mit den beteiligten Kreisen ist es breit abgestützt und innovationsoffen.

Bewusst eingeführte Unschärfen wie eine Berücksichtigungsgrenze ab  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Rundungsregeln, Bestimmung von nicht identifizierten VOC und Nicht-Zielverbindungen (VOC ohne NIK-Wert) als Toluoläquivalent führen zu Abmilderungen potenziell strenger Ansätze, die sich aus der Additivitätsannahme für den R-Wert und die Summenwerte ergeben können.

Produktspezifische Besonderheiten (wie z.B. mögliche Inhomogenität, Einbauzeitpunkt) werden durch die Festlegung spezifischerer Prüfvorgaben berücksichtigt. Für OSB- und Spanplatten hat das DIBt eine Beladung (L) von  $1,0 \text{ m}^2/\text{m}^3$  (entspricht der Beladung für Wände) eine flächenspezifische Luft-

durchflussrate (q) von 0,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h sowie ein maximales Alter von 16 Wochen festgesetzt (Mitteilung des DIBt Juli 2020).

Das AgBB-Schema wurde als Grundlage für die Innenraumbewertung von verschiedenen Labeln übernommen, wobei hier die Anforderungen gegenüber den AgBB-Anforderungswerten strenger sind.

Die Emissionsbewertung von Bauprodukten soll den Ausschluss einer gesundheitlichen Gefährdung für den Gebäudenutzer gewährleisten.

### **Bewertung von flüchtigen organischen Verbindungen in Innenräumen**

Um zum einen die gesundheitliche Gefährdung im Innenraum einschätzen zu können und zum anderen rechtsverbindliche Grundlagen für die Bewertung von VOC-Belastungen in Gebäuden zu erhalten, werden toxikologisch begründete Richtwerte für die Innenraumluft genutzt. Die Vermeidung gesundheitlicher Beeinträchtigungen wird durch die Einhaltung von toxikologisch abgeleiteten Innenraumrichtwerten erreicht.

Die Ableitung der zwei gestuften Richtwerte zur Beurteilung von Verunreinigungen der Luft in Innenräumen erfolgt durch den Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR - ehemalige Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden). Entsprechend den bauordnungsrechtlichen Anforderungen leitet der Ausschuss einen Konzentrationswert ab, bei dem Schäden für die menschliche Gesundheit bei Raumnutzern nicht mit hinreichender Wahrscheinlichkeit auszuschließen sind.

Diese Konzentration wird als Richtwert II (RW II) oder „Gefahrenwert“ bezeichnet und wie folgt definiert. Der RW II ist ein wirkungsbezogener Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einführung von Unsicherheitsfaktoren stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen beziehungsweise Überschreiten unverzüglich zu handeln ist. Diese höhere Konzentration kann, besonders für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen, eine gesundheitliche Gefährdung sein (Ad-hoc-AG 2012).

Der Richtwert I (RW I) oder „Vorsorgewert“ beschreibt die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der bei einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch dann keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist, wenn ein Mensch diesem Stoff lebenslang ausgesetzt ist. Eine Überschreitung ist allerdings mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, unerwünschten Belastung verbunden (Ad-hoc-AG 2012).

Im Bereich zwischen RW II und RW I wird keine unmittelbare Gefährdung der Gesundheit erwartet. Da es allerdings im Zusammenhang mit Gerüchen auch zu Befindlichkeitsstörungen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen kann, werden weitere Maßnahmen, die zunächst z.B. aus einer Intensivierung der Lüftung bestehen können, zur Senkung der Belastung empfohlen. Führen diese Maßnahmen nicht zu einer Absenkung, werden weitere ggfs. auch bauliche Maßnahmen empfohlen, da über längere Zeiträume (> 12 Monate) bestehende Belastungen aus Vorsorgegründen nicht akzeptabel sind. Belästigende Gerüche werden im Allgemeinen nicht als Gefahr für die Gesundheit angesehen. Sie können allerdings im Sinne des Baurechts bei wiederholtem oder längerfristigem Auftreten eine unzumutbare Belästigung darstellen (Ad-hoc-AG 2007).

Inzwischen wurden seitens des AIR 45 Richtwertpaare für VOC abgeleitet. Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die Raumluft mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Substanzen belastet sein kann,

die nur zum Teil anhand von Richtwerten bewertet werden können, hat die Ad-hoc-Arbeitsgruppe ein TVOC-Konzept für die hygienische Beurteilung der Raumluft basierend auf dem TVOC-Konzept von Seifert (1999) erstellt. Unter der Voraussetzung, dass die toxikologisch begründeten Richtwerte nicht überschritten werden, gilt das nachfolgende fünfstufige Konzept (Ad-hoc-AG 2007):

- Stufe 1: TVOC-Wert < 0,3 mg/m<sup>3</sup>: hygienisch unbedenklich, Zielwert.
- Stufe 2: TVOC-Wert > 0,3–1 mg/m<sup>3</sup>: hygienisch noch unbedenklich, erhöhter Lüftungsbedarf.
- Stufe 3: TVOC-Wert > 1–3 mg/m<sup>3</sup>: hygienisch auffällig, befristet (<12 Monate) als Obergrenze für Räume, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind.
- Stufe 4: TVOC-Wert > 3–10 mg/m<sup>3</sup>: hygienisch bedenklich, Raum befristet (maximal 1 Monat) und bei verstärkter Lüftung nutzbar.
- Stufe 5: TVOC-Wert > 10-25 mg/m<sup>3</sup>: hygienisch inakzeptabel. Die Raumnutzung ist allenfalls vorübergehend täglich (stundenweise) und bei Durchführung verstärkter regelmäßiger Lüftungsmaßnahmen zumutbar.“

Für die Bewertung der Holzwerkstoff-typischen VOC stehen im Wesentlichen die folgenden Innenraumrichtwerte zur Verfügung (in Klammern ist jeweils das Jahr der Ableitung genannt):

- Terpene, bicyclisch (Leitsubstanz  $\alpha$ -Pinen): Summenrichtwert II 2°mg/m<sup>3</sup>, Summenrichtwert I 0,2°mg/m<sup>3</sup> (2003);
- Aldehyde, C<sub>4</sub> bis C<sub>11</sub> (gesättigt, azyklisch, aliphatisch): Summenrichtwert II 2°mg/m<sup>3</sup>, Summenrichtwert I 0,1°mg/m<sup>3</sup> (2009);
- 2-Furaldehyd (Furfural): Richtwert II 0,1 mg/m<sup>3</sup>, Richtwert I 0,01 mg/m<sup>3</sup> (2011);
- Formaldehyd: Summenrichtwert II nicht abgeleitet, Summenrichtwert I 0,1 mg (2016);
- Für C<sub>1</sub> bis C<sub>8</sub>-Alkansäuren wurden auf der 6. Sitzung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR) am 02. und 03. November 2017 ein Summenrichtwert II von 1 mg/m<sup>3</sup> und ein Summenrichtwert I von 0,3 mg/m<sup>3</sup> festgelegt.

Bis auf die NIK-Werte für Formaldehyd und Furfural liegen die NIK-Werte der übrigen Holzwerkstoff-typischen VOC über den RW-II-Werten. Im Vergleich mit den für die Bewertung der Raumluftkonzentrationen im Innenraum, vorhandenen Bewertungsmaßstäben kann das AgBB – Prüf- und Bewertungsschema daher nur als ein auf Gefahrenabwehr abzielendes Instrument eingestuft werden.

Bei den von Holzwerkstoffen abgegebenen flüchtigen Verbindungen handelt es sich überwiegend um Geruchsstoffe mit zum Teil sehr niedrigen Geruchsschwellenwerten. Bei der Ableitung von NIK-Werten und Innenraumrichtwerten werden Geruchseigenschaften in der Regel nicht berücksichtigt.

Um den Ausschluss von Gesundheitsgefahren und unzumutbaren Belästigungen zu erreichen, sollten die Raumluftkonzentrationen chemischer Stoffe nicht nur den Richtwert RW II unterschreiten, sondern langfristig auch den Richtwert RW I. Nur dann kann eine sichere Nutzung des Innenraumes nicht bloß für gesunde Erwachsene, sondern auch für empfindliche Personen erwartet werden.

Die Definition von flüchtigen organischen Verbindungen auf der Grundlage des analytischen Verfahrens grenzt das betrachtete Substanzspektrum auf die mit dem Probenahmesystem und Analyseverfahren nachweisbaren Verbindungen ein. Für Holzwerkstoffe ist davon auszugehen, dass die Emissionen von Carbonsäuren methodisch bedingt nicht vollständig erfasst werden. Für die Bestimmung der Carbonsäuren, insbesondere in Bezug auf die Holzwerkstoff-typischen Säuren Ameisen- und Essigsäure, sollte daher ein eigenständiges Probenahme- und Analysenverfahren ergänzt werden.

Emissionsprüfungen sind, als Grundlage für die gezielte Bauproduktauswahl, von großer Bedeutung für die Produkt- und Raumluftqualität. Emissionseigenschaften können unter Bezugnahme auf eine standardisierte Prüfung konkretisiert und als Zielvorgaben in Ausschreibungstexten genannt werden. Emissionsprüfungen nach dem AgBB-Schema stellen zudem die Grundlage für die Innenraumbewertung mehrerer Label (z.B. Blauer Engel, natureplus, emicode) dar.

Anhand von Emissionsprüfungen können Raumluftkonzentrationen abgeschätzt und Quellen für Belastungen in die Planung einbezogen werden. Eine direkte Übertragung von Emissionsprüfergebnissen auf einen Realraum ist aufgrund der Vielzahl an weiteren Einflussfaktoren nicht möglich.

Da für die Bewertung und Übertragung von Emissionsprüfergebnissen auf ein konkretes Bauvorhaben umfangreiche Kenntnisse in Bezug auf die Anwendung des Produktes, Repräsentativität der Prüfung und Bewertung der Emissionen erforderlich sind, stellt die raumlufthygienische Gesamtbeurteilung vor dem Hintergrund der vorgesehenen Nutzung ein eigenes Aufgabengebiet dar.

Von besonderer Bedeutung für die Übertragung der Emissionsdaten auf einen Realraum sind die Höhe der Beladung (Menge und Fläche) und der Luftwechsel unter Nutzungsbedingungen. In neuen luftdichten Gebäuden werden oftmals deutlich unter einem Luftwechsel von 0,5/h liegende Werte gemessen.

Um eine an Vorsorge orientierte Raumluftqualität in Bezug auf die Immissionswerte zu erreichen, sind produktbezogen strengere Anforderungen als derzeit im AgBB-Schema verankert notwendig. So fordern der Blaue Engel und andere Umweltzeichen u.a. die Einhaltung von niedrigeren TVOC-Werten. Weitere Verschärfungen beziehen sich beispielweise bei natureplus auf die Berücksichtigung aller Stoffe ab  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , die weitestgehend substanzspezifische Quantifizierung, die Begrenzung des R-Wertes auf  $\leq 1,0$ , was maximal ein R-Wert von 1,049 zulässt und die Unterschreitung von RW-I-Werten sowie die Bewertung des Geruchs.

### **Emissionen von Holzwerkstoffen**

Holzwerkstoffe wie OSB und Spanplatten werden aus dem Naturstoff „Holz“ auf mechanisch-chemischem Wege hergestellt. Prozesse der Trocknung, des Zerkleinerns, der chemischen Behandlung zur Verfestigung sowie thermischer und drucktechnischer Einwirkung führen zur Bildung und Freisetzung von chemischen Substanzen.

Holzwerkstoffe weisen ein schon lange bekanntes Emissionsspektrum an flüchtigen (VOC) und leicht flüchtigen organischen Substanzen (VVOC) auf. Als typische Emissionen finden sich vor allem Terpene aus dem Harzanteil der verwendeten Nadelhölzer, Aldehyde aus der unter Beteiligung des Luftsauerstoffs stattfindenden Zersetzung der ungesättigten Fettsäuren des Holzes sowie die Bildung der „Holzsäuren“ Ameisen- und Essigsäure (Carbonsäuren) unter Beteiligung von Wasser. Als chemische Leitkomponenten können  $\alpha$ -Pinen (Terpen), Hexanal (Aldehyd) und Essigsäure (Carbonsäure) angesehen werden. Darüber hinaus sind je nach Art und Menge des Bindemittels unterschiedlich hohe Formaldehydemissionen zu erwarten.

Es ist zwischen der Primäremission von bereits im Holz vorhandenen Substanzen (Terpene) und der Sekundäremission neu gebildeter Verbindungen (Aldehyde, Carbonsäuren) zu unterscheiden. Die der Sekundäremission vorangehende chemische Reaktivität bedeutet auch eine zeitliche Verzögerung im freien Emissionsverhalten des Holzwerkstoffes. Über die Bildungsprozesse und den Verlauf der Ameisensäureemissionen ist weniger bekannt, da Ameisensäure und zum Teil auch Essigsäure in vielen Studien nicht untersucht wurden.

Die Emissionen an flüchtigen organischen Verbindungen aus Holzwerkstoffen werden durch verschiedene Einflussfaktoren bestimmt (Ohlmeyer et al. 2006, Ohlmeyer et al. 2012, Tigges & Roth 2018):

- Unterschiede je nach Holzart (Laub-, Nadelholzarten)
- Standortbedingungen (Stress, Trockenheit usw.), Stammabschnitt, Kern-/Splintholz, Alter, Lagerung der Hölzer
- Trocknung (Lagerungsart, Dauer, Temperatur, Feuchtegehalt)
- Holzwerkstoffart (Zusammensetzung, Spangröße)
- Herstellungsverfahren
  - Prozesstemperaturen (Höhe, Dauer), Pressdruck (Höhe, Dauer)
  - Bindemittel, Zusatzstoffe
- Eigenschaften des Werkstoffs (Struktur der Oberfläche, Offenporigkeit, Dichte, Dicke)
- Lagerung des Produktes (Dauer, Art der Lagerung, Belüftung Temperatur, Druck)

Neben den Emissionen Holzwerkstoff-typischer VOC können auch Emissionen auftreten, die nicht auf den Holzwerkstoff selbst zurückzuführen sind, sondern aus Verunreinigungen stammen.

Für das Vorhaben wurden 235 Emissionsprüfergebnisse von Holzwerkstoffen und Bodenbelägen aus Bambus des Bremer Umweltinstituts der letzten fünf Jahre ausgewertet. Bei den durchgeführten Emissionsprüfungen wurden etwa bei einem Drittel der bewertbaren Untersuchungen die Anforderungen, die im Rahmen der jeweiligen Prüfung gestellt wurden (AgBB, natureplus, Blauer Engel, Bremer Umweltinstitut) nicht erfüllt. Bei den geprüften Produkten handelte es sich um neue Produkte (Labelprüfungen) und gebrauchte Produkte aus Schadensfällen (Quellenermittlung).

Die Anforderung an den TVOC nach 3 Tagen wurde von keinem Holzwerkstoff überschritten. Für einen Bambusboden lag aufgrund der Höhe der Essigsäureemission ( $12 \text{ mg/m}^3$ ) eine Überschreitung dieses Kriteriums vor. Auch bei Überschreitung des TVOC-Kriteriums nach 28 Tagen war überwiegend die Höhe der Essigsäureemission ausschlaggebend.

Erhöhte Terpenbelastungen wurden bei den Untersuchungen der Holzwerkstoffe nur in Einzelfällen festgestellt. Auch die Konzentrationen ungesättigter Aldehyde waren überwiegend niedrig. Für die R-Wert-Überschreitungen waren Formaldehyd-, Furfural-, Hexanal- und teilweise auch Essigsäureemissionen verantwortlich.

Die Auswertung von 16 Emissionsprüfergebnissen für unterschiedliche OSB-Platten ergab ein heterogenes Bild. Es werden für Holzwerkstoff-typische VOC und weitere VOC die Spannweiten der ermittelten Kammerluftkonzentrationen sowie weitere statistische Kenndaten im Vergleich zu NIK-Werten und Innenraumrichtwerten genannt. Die höchsten Einzelstoffkonzentrationen wurden für Essigsäure ( $1.512 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ), Ameisensäure ( $300 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ), Hexanal ( $210 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ) und Toluol ( $205 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ) ermittelt. In drei Fällen wurden die AgBB-Anforderungen unter den jeweiligen Prüfbedingungen überschritten. Bewertungsrele-

vant waren in diesen Fällen die Konzentrationen für Furfural, Essigsäure und höhere Aldehyde. Die Emissionen von Terpenen und ungesättigten Aldehyden waren überwiegend niedrig.

Für Spanplatten und auch andere Holzwerkstoffe mit hohen Bindemittelanteilen wie z.B. Brettschichtholz wurden hohe Formaldehydemissionen ermittelt. Bei über zwei Drittel der untersuchten Spanplatten wurde der Grenzwert der ChemVerbotsV bezogen auf die aktuellen Prüfvorgaben überschritten.

### **Verwendung von Holzwerkstoffen**

Die Hauptanwendungsbereiche für Holzwerkstoffe liegen in der Konstruktion von Gebäuden (Wand-, Boden- und Deckenelemente). Holzwerkstoffe in der Konstruktion verbleiben dauerhaft im Gebäude. Die Verwendung von Holz im Bauwesen wird in den Medien als moderne, ökologische, nachhaltige, umweltfreundliche, wohngesunde, flexible und preiswerte Bauweise beworben. OSB-Platten werden für Neubau, Anbau, Aufstockung, Modernisierung in nahezu allen Bereichen und Gebäudenutzungsarten, wie Wohnungsbau, Schulen und Kinderbetreuungseinrichtungen sowie mehrgeschossige Bürokomplexe, eingesetzt. Besondere Bedeutung kommt ihnen in der modularen Fertigungsbauweise z.B. im Holzrahmenbau und auch Containerbau zu. Im Innenraum werden OSB-Platten oftmals offen, unbeschichtet und mit direktem Kontakt zur Raumluft eingebaut.

Für die Herstellung von OSB-Platten wird frisches Holz verwendet, überwiegend Fichte und Kiefer. Die Späne werden durch Temperatur und Druck unter überwiegender Verwendung von formaldehydfreien Bindemitteln (Polymeres Diphenylmethandiisocyanat, PMDI) neben Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz (MUF) und Melamin-Harnstoff-Phenol-Formaldehydharz (MUPF) verfestigt.

Neben der Verwendung von Restholz kommt bei der Spanplattenherstellung auch Altholz zum Einsatz. Bei Standardspanplatten wird hauptsächlich Harnstoff-Formaldehyd-Harz als Bindemittel eingesetzt. Spanplatten werden üblicherweise mit Dekoren oder Furnieren beschichtet. Die Feuchtigkeitsbeständigkeit von Spanplatten kann durch den verwendeten Leim verbessert werden. Unbeschichtete Platten werden als Bauplatten oder im Fußbodenbereich eingesetzt. Sichtbare Anwendungen unbeschichteter Spanplatten in Innenräumen sind selten.

In den Fertighäusern der 50er bis 80er Jahren wurden Spanplatten als Beplankung der Wände, Decken und Böden großflächig eingesetzt. In modernen Holzbauten werden überwiegend OSB-Platten verwendet.

Eine Auswertung der AGÖF-VOC-Datenbank zum Vorkommen von VOC in unterschiedlichen Gebäudetypen ergab, dass die Holzwerkstoff-typischen Terpene  $\alpha$ -Pinen und  $d^3$ -Caren im neueren Holzleichtbau ab 1984 häufiger und in höheren Konzentrationen in der Raumluft nachgewiesen wurden. Für Formaldehyd zeigen sich in den älteren Fertighäusern (vor 1984) deutlich höhere Formaldehydkonzentrationen mit bis zu  $467 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Für Essigsäure wurden ebenfalls in älteren Fertighäusern die höchsten Perzentilwerte erhalten mit einem 95. Perzentil von nahezu  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Vergleicht man die Ergebnisse der AGÖF-Studie mit den Richtwerten des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR), wurde der Richtwert II für bicyclische Terpene im Holzleichtbau ab 1984 in drei von 76 Fällen (4 %) überschritten, der Richtwert I in über 10 % der Messungen. Der Summenrichtwert für Aldehyde wurde ebenfalls in über 10% der Messungen überschritten. Die für den Holzleichtbau vor 1984 häufig festgestellten Richtwert I-Überschreitungen für Formaldehyd wurden im Holzleichtbau ab 1984 nicht vorgefunden.

Formaldehyd liegt in den Spanplatten in gebundener Form vor. Erst durch die Hydrolyse-Reaktion mit dem Wasserdampf der Raumluft kommt es zur Freisetzung, nachfolgend zur Verflüchtigung und zum Übergang in die Raumluft. Die Hydrolyse-Reaktion ist nach der Arrhenius-Gleichung temperaturabhängig: Je höher die Temperatur, desto schneller verläuft die chemische Reaktion.

Messwerte von Probenahmen in Fertighäusern der Bauzeit der 1970 bis 1980, ermittelt in den Jahren 2016 bis 2019, geben Aufschluss über das Langzeitverhalten der typischen Holzwerkstoff-Emissionen an Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure.

Dabei zeigt sich im Jahresgang, dass nicht die gemessene Raumtemperatur als emissionsentscheidend für den Gebäudetyp „Holzständerbau, Fertighaus“ anzusehen ist, sondern die Bauteil-Temperatur, die wesentlich von der Außentemperatur bedingt wird.

Der Innenraumrichtwert RW I des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR) von aktuell  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird, monatsgemittelt, auch nach rund 40 bis 50 Jahren der Emissionsdauer statistisch noch in sieben Monaten eines Jahres überschritten. Ebenso wird für die Essigsäure wie auch für die Ameisensäure nach einer Dauer von gerundet 40 bis 50 Jahre aus Holzwerkstoffen keine Abnahme der Emission auf „Null“ festgestellt. Die Entwicklung der Raumluftkonzentrationen ist über den Zeitverlauf als Exponentialfunktion darzustellen, bei der sich nach dem geprüften Zeitabschnitt von 40 bis 50 Jahren ein nahezu konstanter Zustand eingestellt hat. Ein Anstieg ist dabei nicht mehr zu erwarten, aber auch keine wesentliche Verringerung für die nachfolgende Zeit.

In neuen energieeffizienten Gebäuden werden TVOC-Gehalte wie auch Raumluftkonzentrationen an Aldehyden in weiter Konzentrationsspanne festgestellt. Analytische Ergebnisse zur Essigsäure nach DIN EN 16000-6 müssen dabei jedoch methodenkritisch hinterfragt werden.

Bei der Frage der Wirksamkeit von Materialien zur Abschottung von Schadstoffen zeigen Vergleiche der Raumluftbelastungen in älteren Fertighäusern mit breiter bzw. weniger ausgeprägter Anwendung von Spanplatten zur Wandbeplankung, dass Gipskartonplatten keine ausreichende Sperre für die Diffusion von Holzständer-basierten Holzschutzmittel-Wirkstoffen darstellen. Eine sperrende Wirkung gegen Neutralkmoleküle wie Formaldehyd, Terpene oder auch saure Verbindungen ist bei dem selbst sauren Gipskarton daher nicht zu erwarten.

### **Schadensfälle**

Ausgewählte Schadensfälle zeigen für Holzwerkstoff-Emissionen typische Zustände.

Durch die großflächige Anwendung von OSB in moderneren Gebäuden kommt es zu Beginn der Nutzungsphase, aber auch noch über einen langen Zeitverlauf danach zu erheblichen Belastungen der Raumluft. Auslöser der Beschwerden sind dabei in der Regel störende Gerüche sowie Wahrnehmungen von Reizungen der Augen- und Atemwegsschleimhäute und Kopfschmerzen. Die Schließung des Gebäudes bzw. die Nicht-Aufnahme der Nutzung können dann die Folge sein.

Für die Emissionen an bicyclischen Terpenen, den  $\text{C}_4$ - $\text{C}_{11}$ -Aldehyden und den Carbonsäuren (Ameisen- und Essigsäure) tritt zwar anfänglich eine deutliche Verringerung der Ausgangskonzentrationen ein. Die Carbonsäuren (Ameisen- und Essigsäure) weisen jedoch im weiteren zeitlichen Verlauf einen eher gleichbleibenden Zustand auf. Die entnommenen Materialproben der OSB-Platten zeigen in einem Fall auch noch 20 Monate nach der Produktion in der Emissionsprüfung R-Werte zwischen 1,5 und 2,2. Dabei weisen die Substanzmuster der Emission wie auch der Immission eine gute Übereinstimmung als Quellenzuordnung auf.



Bei der Errichtung eines Schulneubaus in Holzständerbauweise wird über zwei Jahre hinweg für die Aldehyde und Terpene eine deutliche Verringerung der Raumluftkonzentrationen erhalten, jedoch ein Anstieg der Ameisen- und Essigsäure-Konzentrationen trotz der nutzungsüblichen Nutzung des Gebäudes. Ein „säuerlicher“ Geruch mit Reizung der Atemwege, flacher Atmung und Kopfdruck wurde gutachterlich verzeichnet. Der Innenraumrichtwert RW II (Gefahrenwert) für die Summe der Carbonsäuren wird dabei raumweise über zwei Jahre hinweg überschritten.

In einem neuen schulischen Gebäudeteil in Holzrahmenbauweise kam es nach Beginn der Nutzung zu gesundheitlichen Beschwerden (Kopfschmerzen) und Beschwerden über auftretende Gerüche bei Schülern und Lehrern. Hohe TVOC-Konzentrationen mit Überschreitungen des gefahrenbezogenen Richtwertes II für die Aldehyde wie auch die Essigsäure sowie erhöhte Gehalte an bicyclischen Monoterpenen lagen vor. Als Quelle für die vorgefundenen Belastungen wurden aufgrund der Bauweise mit großflächig eingesetzten OSB-Platten an Wänden, Decken sowie im Fußbodenaufbau die OSB-Platten vermutet. Für die in der Prüfkammer geprüften Produkte wurde hingegen keine Überschreitung der Anforderungen des AgBB-Schemas (Stand 2018) ermittelt.

In einem weiteren Fall einer Aufstockung eines Bestandsgebäudes in Holzständerbauweise lagen sechs Jahre nach Errichtung des OG in der Raumluft noch erhöhte Konzentrationen für höhere Aldehyde vor (RW I-Überschreitung für C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde). Die Prüfkammeruntersuchungen der verbauten Platten ergaben insgesamt niedrige Emissionen. Dagegen wies eine neue OSB-Platte vergleichsweise hohe Formaldehydemissionen auf. Auch für Terpene und Aldehyde zeigte das Neuprodukt die höchsten Konzentrationen. Während für das Neuprodukt die Emissionen in dem Beobachtungszeitraum (3 und 7 Tage) abklagen, war für die verbauten Produkte keine abklingende Tendenz zu erkennen. Für Aldehyde stiegen die Konzentrationen bei einigen Verbindungen sogar an. Auffällig war die deutliche Diskrepanz zwischen den Ergebnissen für die Carbonsäuren, die mit Tenax im Vergleich zu Silicagel ermittelt wurden. Die Tenax-Methode ergab gravierende Minderbefunde von bis zu über 80 % gegenüber der Probenahme und Analytik über Silicagel. Bei den verbauten OSB-Platten stellten Ameisensäure und Essigsäure die höchsten Emissionen dar. Im Gegensatz zu den Werten für Terpene und Aldehyde, die bei den verbauten Produkten in niedrigeren Konzentrationen als bei dem Neuprodukt gemessen wurden, waren die Emissionen für Carbonsäuren in den verbauten Produkten deutlich höher.

Bei der Neuerrichtung eines Bürgerhauses sanken für Holzwerkstoff-typische VOC durch Kipplüftung die Konzentrationen für Terpene (Summe bicyclische Terpene) und Aldehyde (Summe azyklische, aliphatische C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde). Dagegen stieg die Konzentration für Essigsäure während des Lüftens an. Gleiches zeigt ein Fallbeispiel eines schulischen Neubaus in Holzständerbauweise für ein kurzzeitiges „nutzungsübliches“ Lüften des Raumes.

Die Untersuchungen von OSB-Platten aus Gebäuden (als Altbestand) wie auch von neuen OSB-Platten zeigen deutliche Unterschiede in den Emissionen.

Die Lüftung eines Realraumes stellt einen üblichen und notwendigen Betriebszustand eines Gebäudes dar. Die Lüftung eines Raumes soll durch den verstärkten Luftwechsel zu einem Austrag von Schadstoffen bzw. unerwünschten Substanzen führen. Ob es jedoch auch ein hinreichender Vorgang zur Erzielung einer ausreichenden Luftgüte bedeutet, ist substanz- und quellenabhängig. Bei manueller Lüftung besteht nur in einem kleineren Zeitabschnitt der gesamten Raumnutzung ein stärkerer Luftwechsel. Dadurch kann es zwischen den Lüftungsphasen (bei geschlossenen Fenstern) zu einer Anreicherung auf und in den Materialoberflächen und Ausbildung von Sekundärquellen im Raum kommen, da die Emission der Primärquellen im Raum verbleibt. Je nach Siedepunkt und Polarität der chemi-

schen Substanzen kann dieser Anreicherungseffekt unterschiedlich ausfallen. Hier unterscheidet sich der Prüfkammerraum mit Glas- oder Edelstahloberflächen und einem permanent erhöhten Luftwechsel wesentlich von einem realen Raum. Im Prüfkammerraum ist daher eher mit geringeren Luftkonzentrationen zu rechnen als in einem Realraum.

Für Holzwerkstoff-Gebäude sind daher sowohl die Primäremissionen als auch Anreicherungseffekte zu betrachten.

Während die unpolaren und nur schwach polaren Substanzen und Substanzgruppen (C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-Aldehyde, Acetaldehyd, bicyclische Terpene und die C<sub>9</sub>-C<sub>15</sub>-Alkylbenzole) durch den Luftwechsel deutlich stärker reduziert werden, wird für die Gruppe der polaren Substanzen (Formaldehyd, Essigsäure und Ameisensäure) eine auffallend geringere Lüftungseffizienz beobachtet mit teilweiser Umkehr: Nach dem Lüften können die Raumluftkonzentrationen für bestimmte VOC auch höher sein als zuvor. Für diese Stoffe kann eine Absenkung nur über einen gleichmäßigen und ausreichend hohen Luftwechsel gewährleistet werden, wohin gegen sich eine einmalige manuelle Lüftung kontraproduktiv auswirken kann.

Der beobachtete Effekt kann mit der Polarität der Substanzen in Zusammenhang gebracht werden. Die polarste Substanz in der Raumluft stellt Wasser dar. Durch Konkurrenzreaktionen an den Bindungsstellen der Raumoberflächen zwischen den sehr polaren Wassermolekülen und den weniger polaren Molekülen von Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure kommt es zu einer Verschiebung der letzteren von der Oberfläche in die Gasphase (Raumluft). Ein derartiger Realeffekt kann in einer Prüfkammersituation mit gleichbleibendem Luftwechsel, gleichbleibender Luftfeuchte und fehlender Ablagerung an den Glas- oder Edelstahloberflächen weder eintreten noch beobachtet werden. Die Prüfkammer unterschätzt eine Realraumkonzentration.

### **Geäußerte Beschwerden**

Beeinträchtigungen von Gesundheit und Wohlbefinden von Menschen in einem Innenraum geben häufig den Anlass, einen Verdacht auf Innenraumschadstoffe als mutmaßliche Auslöser der Beschwerden zu entwickeln. In der gutachterlichen Praxis entsteht daraus der Auftrag, mögliche Ursachen dieser Beschwerden durch Messungen aufzudecken. Da es nicht möglich ist anhand der geschilderten Beschwerdesymptomatik auf eine konkrete Belastung zu schließen, erfolgt keine ausführliche Aufnahme gesundheitlicher Befunde als Quasi-Anamnese.

Aus den Angaben der Betroffenen ist keine Beurteilung des kausalen Zusammenhangs möglich. Ergänzt werden die Beobachtungen der Betroffenen durch die eigene gutachterliche Wahrnehmung bei der Probenahme.

Häufig genannt und eigen-beobachtet werden störende Gerüche, Schleimhautreizungen (Nasen-, Rachenreizungen, Augenbrennen) und allgemeine Befindlichkeitsbeschwerden (wie z.B. Kopfschmerzen, Erschöpfung, Müdigkeit, Übelkeit).

In dem oben dargestellten Fallbeispiel einer Kinderkrippe kam es nach Schilderung bereits kurze Zeit nach Eröffnung zu Beschwerden von Eltern und Betreuungspersonal insbesondere über den Geruch sowie von Augen- und Atemwegsreizungen. Ca. 14 Tagen nach der Eröffnung wurde die Einrichtung geschlossen und blieb dies auch weiterhin auf Empfehlung des zuständigen Gesundheitsamtes. Eine erste Probenahme vier Wochen nach Eröffnung ergab einen TVOC-Wert zwischen 8.000 und 11.000 µg/m<sup>3</sup>, einen Summenwert für die C<sub>4</sub>-C<sub>10</sub>-Aldehyde zwischen 2.100 und 2.900 µg/m<sup>3</sup>, eine Formaldehyd-Konzentration zwischen 160 bis 200 µg/m<sup>3</sup> und von Essigsäure zwischen 830 und 1.100 µg/m<sup>3</sup>.

Bei Raumluftkonzentrationen an Essigsäure im Bereich um 310 bis 410  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  kann ein deutlicher Geruch nach „Essig“ mit leichter Reizwirkung (Kratzen im Hals) wahrgenommen werden.

Beim Betreten eines Raumes in einem Schulneubau trat spontan und unmittelbar eine starke Reizung der Atemwege auf. Ein längerer Verbleib im Raum (wie von dem Probenehmenden häufiger zur sensorischen Prüfung der Raumluft vorgenommen) war dadurch nicht möglich. Bei unauffälligen TVOC-Werten von 440  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (ohne Carbonsäuren) und unauffälliger Aldehyd-Konzentration (45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) wurde Ameisensäure mit 680  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und Essigsäure mit 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nachgewiesen. Die hohe Summenkonzentration der  $\text{C}_1$ - und  $\text{C}_2$ -Carbonsäuren von 1680  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  muss als akut wirksam für Atemwegsreizungen angesehen werden. Der Wert liegt weit über dem Gefahrenwert RW II für die Gruppe der Carbonsäuren  $\text{C}_1$  bis  $\text{C}_8$  von 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Durch ein Geruchsprüferpanel mit fünf Geruchsprüfern wurde die Raumluft über eine Expositionsdauer von einer Stunde hinweg sensorisch beurteilt. Der Raum war mit OSB ausgekleidet und mit Teakholzplatten bestückt. Über den Expositionszeitraum wurde eine TVOC-Konzentration von 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (ohne die Carbonsäuren), ein Summenwert für die  $\text{C}_4$ - $\text{C}_{11}$ -Aldehyde von 73  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sowie für die bicyclischen Terpene von 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ermittelt. Die Raumluftkonzentration an Ameisensäure betrug 58  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , die an Essigsäure 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , der Summenwert der  $\text{C}_1$ - $\text{C}_8$ -Carbonsäuren ergab sich zu 376  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Von den Geruchsprüfern wurde bei dieser eher durchschnittlichen Raumluftbelastung bei einer „holzartigen, leicht säuerlichen“ Geruchscharakterisierung ohne wahrnehmbaren „Essiggeruch“ eine „deutliche“ Intensität (3,1 auf einer Skala von 0 bis 5) bei leicht unangenehmer Hedonik (-0,85 auf einer Skala von -4 bis +4) und einer schwach negativen Akzeptanz (-0,31 auf einer Skala von -1 bis +1) befunden. Nach der VDI 4302, Blatt 2, ist die Raumluftqualität bei einem Akzeptanzwert kleiner 0 als „gering“ einzustufen.

Zur orientierenden Prüfung auf Reizwirkung durch Essigsäure wurde im nachfolgenden Expositionsversuch Essigsäure in einem Büroraum ausgebracht und durch sechs Geruchsprüfer die sensorische Prüfung vorgenommen. Durch die Menge an Essigsäure wäre rechnerisch eine maximale Raumluftkonzentration von 25  $\text{mg}/\text{m}^3$  möglich gewesen.

Bei einer analytisch bestimmten Raumluftkonzentration von 10,8  $\text{mg}/\text{m}^3$  wurden von den Geruchsprüfer ein „essigsaurer, stechenden“ Geruch einer Intensität von 4,0 als „starker Geruch“, eine Hedonik als deutlich unangenehm mit einem Wert von -2,3 (Skalenbereich -4 als äußerst unangenehm bis +4 als äußerst angenehm) sowie eine Akzeptanz für die Raumnutzung von -0,85 (Skala -1 als voll inakzeptabel bis +1 als voll akzeptabel) als fast nicht akzeptabel festgestellt. Als sensorische Akut-Wirkungen wurden von den Geruchsprüfern deutliche bis starke Augenreizungen, durchgehend eine starke Reizung der Nasenschleimhaut sowie Reizung des Halses und der oberen Bronchien wahrgenommen.

Aus den Eckpunkten kann orientierend eine Raumluftkonzentration an Essigsäure bzw. für die Gruppe der  $\text{C}_1$ - $\text{C}_8$ -Carbonsäuren im Bereich von 300 bis 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  als schwach sensorisch wirkend mit leichter Inakzeptanz für die Raumnutzung eingestuft werden. Bei einer Raumluftkonzentration im Bereich von 11.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (11  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) wird eine starke Reizung vorwiegend der Nasenschleimhaut, gefolgt von Reizungen der Augen- und Rachenschleimhaut geschildert. Der damit gekoppelte starke „Essig“-Geruch wird als fast nicht akzeptabel für eine Raumnutzung beurteilt. Eine Essigsäure-Konzentration von 11  $\text{mg}/\text{m}^3$  kann daher noch nicht als Level ohne beobachtbaren Effekt angesehen werden, da auch schon bei einer Essigsäure-Konzentration der Raumluft von 0,3  $\text{mg}/\text{m}^3$  von den Geruchsprüfern insbesondere (schwache) Reizungen der Nasenschleimhaut wahrgenommen werden.

### **Vergleich Prüfkammer / Realraum**

Prüfkammer und Realraum unterliegen unterschiedlichen Bedingungen wie der Raumbeladung, der Luftwechselrate, der Raumtemperaturen, der Temperaturen der Emittenten (thermisches Gleichgewicht im Prüfraum, unterschiedliche Temperaturen der Bauteile des Gebäudes), der relativen Luftfeuchten, der Strömungsgeschwindigkeiten an den Materialoberflächen, Senken im Raum. Methodisch ist daher nicht der 1:1-Übertrag der Emissionswerte auf die Immission zu erwarten. Aus den vorstehend genannten Fallbeispielen lässt sich erkennen, dass ein qualitativer Bezug zwischen der Emission und der Immission besteht: Das Substanzmuster der VOC-Emission findet sich wieder als Immissionsmuster der VOC. Damit lässt sich eine Quellenzuordnung im Schadensfall ableiten.

Ein Schadensfall im Realraum bedeutet nicht zwingend das Überschreiten des Richtwertes II als Gefahrenwert. Lang anhaltende Überschreitungen des Richtwertes I, Geruchsbelastungen durch VOC-Substanzen (Aldehyde, Carbonsäuren) oder Reizwirkungen (durch Ameisen- und Essigsäure, Formaldehyd) können einen Schadensfall bedingen. Eine Überschreitung der Prüfkriterien nach dem AgBB-Schema lässt mit hinreichender Wahrscheinlichkeit jedoch eine gesundheitliche Gefährdung durch Überschreitung des Innenraumrichtwertes erwarten. Bei Einhaltung der AgBB-Anforderungen ist die Unterschreitung der Gefahrenwerte (Richtwerte II) abhängig von der Menge der eingebrachten Holzwerkstoffe und der Lüftung und nicht allein auf Basis der Prüfkammerergebnisse zu gewährleisten.

Die Hauptemissionen der Holzwerkstoffe lassen sich hinsichtlich der Hauptgruppen differenziert betrachten: Sowohl in der Prüfkammer als auch im Realraum klingen die Raumlufkonzentrationen der bicyclischen Terpene vergleichsweise schnell ab.

Auch für die Aldehyde wird zwar eine Verringerung der Raumlufkonzentrationen beobachtet, es kann aber auch wieder zu einem Anstieg kommen. Für die Essigsäure als Hauptvertreter der Carbonsäuren wird hingegen ein Anstieg in der Nutzungsphase festgestellt. Die wird bedingt durch den Prozess der Auto-Katalyse, wodurch die bereits entstandene Säure den Hydrolyse- und Bildungsvorgang beschleunigt.

Durch Anreicherung an Raumboflächen kommt es im Realraum zur Ausbildung von Sekundärquellen, die ihrerseits wieder zur Immission beitragen und das Vorkommen der primär emittierten Substanzen im Innenraum anhaltend konservieren.

Emissionsprüfresultate sind die zentrale Grundlage für die Beurteilung der VOC-Emissionen der eingesetzten Bauprodukte und die Bewertung der zu erwartenden Raumlufqualität zur Vermeidung von Schadensfällen. Die Auswahl von emissionsarmen Bauprodukten ist eine Voraussetzung für die Einhaltung von Raumlufqualitätszielen.

Gebäudezertifizierungen mit Anforderungen an die Raumlufqualität basieren u.a. auf Vorgaben für emissionsarme Bauprodukte. Auch Abnahmemessungen als Bestandteil von Leistungsverträgen oder Ausschreibungen, nehmen Verweis auf emissionsgeprüfte Materialien. Dabei ist grundlegend zu berücksichtigen, dass die Bewertung der gesundheitlichen Eignung eines Bauproduktes unter den standardisierten Bedingungen einer Prüfkammeruntersuchung erfolgt. Die Situation in einem realen Innenraum weicht von den Bedingungen in der Prüfkammer ab und ist weitaus komplexer.

### **Fazit**

Das AgBB-Schema ist als grobes Abschneideraster im Sinne der Gefahrenabwehr zu verstehen. Um RW I-Werte und TVOC-Zielwerte zu unterschreiten und Geruchsbeschwerden zu vermeiden, sind strengere und umfangreichere Anforderungen notwendig.

Vorstehende Fallbeispiele zeigen, dass die Prüfkammeruntersuchungen einen guten Substanzmusterabgleich zur Quellenzuordnung zwischen der Emission und der Immission ermöglichen.

### **Bewertung der Thesen im Gutachten MARUTZKY Nr. 02-01.2020 vom 10.06.2020 zu Höhe, Dauer, Relevanz und Vorkommen von OSB-Emissionen**

Aus der Gleichsetzung von „Holz“ und „Holzprodukten“ folgt nicht, dass die von Holzprodukten emittierten VOC auch Emissionen von Holz sind. Einem Holzprodukt geht eine technische Bearbeitung von „Holz“ voraus. Durch thermische Prozesse bei der Herstellung oder die chemische Einwirkung durch Luftsauerstoff oder Feuchtigkeit bei der Herstellung oder der späteren Verwendung werden die Emissionsvorgänge unter Bildung der Emissionen an Aldehyden und Carbonsäuren bedingt. Die Emissionen sind daher keine „natürlich“ vorkommenden Emissionen, sondern das Ergebnis technologisch-chemisch verursachter Reaktionen.

Innerhalb der Gruppe der VOC stellen Terpene, Aldehyde und Carbonsäuren die wichtigsten und dominierenden Substanzen dar. Das Außerachtlassen der Carbonsäuren oder das nur am Rande Erwähnen der Carbonsäuren, insbesondere der Essigsäure, lässt die am nachhaltigsten emittierende und als Reizstoffe toxikologisch relevanteste Substanzgruppe in der Holzemission unbewertet.

Die Formaldehydemission von Holzwerkstoffen wird durch die Art und Menge des Bindemittels sowie weitere Bearbeitungsschritte (Oberflächengestaltung, Beschichtung) bestimmt. Die Formaldehydemission stellt keine variable, sondern eine unmittelbar durch den Hersteller festlegbare Größe dar.

Auch die Reduktion auf die Diskussion des TVOC vermeidet eine differenzierende Betrachtung der vom Gutachter MARUTZKY selbst benannten wesentlichen Holzwerkstoff-assoziierten Substanzgruppen (Terpene, Aldehyde, Carbonsäuren). Die unterschiedlichen Herkunftsprozesse dieser Substanzgruppen (Dampfdruck bei den Terpenen, chemische Reaktivität bei den Aldehyden und Carbonsäuren) zeigen ein komplexes Bild.

Im Prüfkammerverfahren wird analytisch der Verlauf der Raumluftkonzentrationen nach drei und nach 28 Tagen durch Entnahme von Luftproben ermittelt. Die dargestellten Potenzfunktionen lassen aber gerade nicht ein Verschwinden der Emissionen nach dem Abschluss der Prüfkammeruntersuchung belegen. Auch findet in einem Realraum kein permanent hoher Luftwechsel entsprechend den Prüfkammerbedingungen statt.

Essigsäure stellt einen der Hauptinhaltsstoffe der Holzwerkstoff-Emission dar. Deren Nachweis ist jedoch im Einzelfall einer methoden-kritischen Betrachtung zu unterziehen.

Bezugnehmend auf Prüfkammeruntersuchungen der Emissionen von Holzwerkstoffen wird festgestellt: „Alle Stoffe zeigen ein ähnliches Abklingverhalten“. Es ist von grundsätzlicher Bedeutung, dass aus dieser „Ähnlichkeit“ im Abklingverhalten nicht auf die Ähnlichkeit und Vergleichbarkeit der chemischen Prozesse geschlossen werden darf. Dampfdruck und chemische Reaktivität (Hydrolyse, Oxidation) sind ihrer Geschwindigkeit unterschiedlich. In der Prüfkammer überlagert der hohe Luftwechsel die chemischen Bildungsvorgänge. Das Abklingen der Emission bedeutet daher nicht das Erschöpfen der Quelle. Insbesondere die Entwicklung der Carbonsäure-Konzentrationen, aber auch die der Aldehyde im Realraum mit zeitverzögertem Wiederanstieg, weist auf anhaltende Bildungsprozesse außerhalb der Prüfkammersituation hin.

Dieses Realverhalten wird nicht ausreichend diskutiert und gewürdigt. Auch mögliche nicht Holzwerkstoff-typische Emissionen bleiben unberücksichtigt.

Zur tatsächlichen Verwendung von OSB- und Spanplatten kann nicht bestätigt werden, dass „*konstruktive Holzwerkstoffe des Bauwesens wie OSB und Spanplatten ...hingegen nicht in direktem Kontakt mit der Raumluft*“ stünden.

Vielmehr werden zunehmend OSB-Platten offen und in direktem Kontakt mit der Raumluft im Realraum eingebaut. Für Spanplatten findet sich demgegenüber eher ein verdeckter Einbau, aber auch dann nicht zwingend ohne (indirekten) Kontakt mit der Raumluft. Gipskartonplatten stellen keine gasdichte Barriere dar.

Die Emission kann daher unmittelbar in die Raumluft als Immission übergehen. Im Raum sonst noch vorhandene Materialien können mengenmäßig als chemisch-irreversible Senken keinen wesentlichen Anteil an der Absenkung der Immission ausüben, die physikalischen Senken (Adsorption an Oberflächen) wirken hingegen nur reversibel (u.a. durch Konkurrenz mit dem Wasserdampf der Luft).

Die Prüfkammerbedingungen für die Emissionsprüfung von OSB- und Spanplatten stellen keine Verschärfung der Prüfbedingungen in Bezug auf die Art des Einbaus sowie Senken in einem Realraum dar. Im Gegenteil: Die Prüfkammerbedingungen sowie das Bewertungsschema begünstigen die Bewertung von Bauprodukten wie Holzwerkstoffen in vielen Punkten.

Im Vergleich mit den MAK-Werten für den Arbeitsplatz stellen Ameisen- und Essigsäure Gefahrstoffe dar, wobei die wesentlich stärker saure (und reizend-korrosive) Ameisensäure einzig auf Grund der VOC-Definition nicht zu den VOC-Emissionen der Holzwerkstoffe gerechnet wird. Ameisensäure wird als VVOC eingestuft.

Untersuchungen in Holzgebäuden im Zusammenhang mit Holzwerkstoffen werden lediglich am Beispiel einer Studie dargestellt. Überwiegend sind die Gebäude mit einer Lüftungstechnischen Anlage ausgestattet. Dadurch werden geringe TVOC-Gehalte in der Raumluft erreicht. Allein bei Möglichkeit reiner Fensterlüftung wird „eine anhaltend erhöhte Belastung“, die „vorrangig durch die stete Freisetzung von typischen Bauproduktemissionen verursacht wurde“ festgestellt.

In der DIN EN 16516:2018-01 werden ein Referenzraum und Emissionsszenarien definiert, um Festlegungen für die Emissionsprüfung in Bezug auf die Beladung treffen zu können. Der Referenzraum stellt lediglich ein Modell und keinen realen Raum dar. Das AgBB-Schema und das zugrundeliegende Prüfverfahren stellen eine langjährig erprobte und in weiten Kreisen anerkannte Vorgehensweise für die Emissionsprüfung von Bauprodukten einschließlich Holzwerkstoffen dar.

Die Messung der VOC-Emissionen von Bauprodukten auf der Basis von Holzwerkstoffen in einer Prüfkammer unter standardisierten Bedingungen hat das Ziel, die Freisetzung von gefährlichen Stoffen zu bewerten und die Emissionen in die Innenraumluft zu bestimmen.

Um eine gesundheitliche Gefährdung einschätzen zu können, werden toxikologisch begründete Richtwerte sowie Leitwerte für die Innenraumluft genutzt. Die Vermeidung gesundheitlicher Beeinträchtigungen wird durch die Einhaltung von toxikologisch abgeleiteten Innenraumrichtwerten und Leitwerten erreicht.

Die Einhaltung der Emissions-NIK-Werte für die Holzwerkstoff-basierten Aldehyde und Terpene gewährleistet in der Regel das Unterschreiten der Gefahrenwerte für die Innenraum-Immission. Für die Emissionen an Carbonsäuren wären zur sicheren Unterschreitung von Gefahrenwerten für die Raumluft das Prüfverfahren (wie in der DIN EN 16516 bereits empfohlen) und die Bewertung anzupassen.

In Bezug auf die Immissionen in einem Realraum stellt die Emissionsprüfung eines Bauproduktes in der Prüfkammer eine Grundlage für die Abschätzung der sich in einem realen Raum einstellenden Konzentrationen dar und ermöglicht somit eine Beurteilung möglicher Belastungen.

Die vielfältigen Wechselwirkungen, die sich in einem realen Innenraum ergeben, wie zum Beispiel Reaktionen zwischen verschiedenen Bauprodukten, Licht- und UV-Strahlung, Ozon, Temperatureffekte, Nutzerverhalten, können in einer standardisierten Prüfkammeruntersuchung nicht dargestellt werden. Das ist auch nicht das Ziel von standardisierten Prüfkammeruntersuchung. Umgekehrt sind bei der Beurteilung der Immission bzw. der Exposition der Raumnutzer und Quellenermittlung auch alle weiteren, die Emissionen beeinflussenden Parameter zu berücksichtigen.

Der R-Wert als Wahrscheinlichkeitswert für eine gesundheits-basierte Gefahrenbeurteilung ist von erheblicher Bedeutung. Der einzelne Quotient von Messwert zu NIK-Wert einer Substanz ergibt eine Einzelwahrscheinlichkeit für einen gesundheitlichen Effekt. In dieser Betrachtung gehen auch bewertbare VVOC und SVOC ein. Die Summation über alle Quotienten zur Bestimmung des R-Wertes ergibt dadurch einen Gesamt-Gefahrenindex für gesundheitliche Folgen, wenn auch unterschiedlicher Art (irritativ, neurologisch usw.). Bei einem R-Wert größer 1 wäre demnach eine hinreichende Eintrittswahrscheinlichkeit für eine Schädigung der Gesundheit gegeben.

Die NIK-Werte sind nach ihrer Ableitung toxikologisch begründet. Sie sind keine eigenständigen Beurteilungskriterien, sondern stellen Hilfsgrößen für eine gesundheitliche Bewertung mittels R-Wert dar. Dennoch stehen sie in guter Übereinstimmung mit den ebenfalls toxikologisch zur Abwehr von Gefahren für den Innenraum abgeleiteten Innenraumrichtwerten RW II. Eine reine Bezugnahme auf die Arbeitsplatzgrenzwerte zur Beurteilung von Innenraumbelastungen eignet sich wegen unterschiedlicher Schutzgruppen, zeitlich unterschiedlicher Exposition und unterschiedlicher (betriebs-)ärztlicher Überwachung einer Belastung nicht. Über die Berechnung der R-Wertes auf Basis gefahrenbezogener NIK-Werte ist gerade noch keine Gefahrenvorsorge (sichere Unterschreitung der vorsorgeorientierten Richtwerte I) gegeben. Dies wäre erst durch die Auswahl emissionsärmerer Bauprodukte sowie zusätzlicher baulicher Maßnahmen (Raumbeladung, Raumluftwechsel) zu erreichen.

Wenngleich Emissionen von Holzwerkstoffen schon lange bekannt sind, so geben erst jüngste Studien Kenntnis über das Vorkommen der Ameisensäure in der Emission oder das Langzeitverhalten der Immission an Formaldehyd oder der Carbonsäuren in Holzgebäuden. Ganz vereinzelt wird erst das Verhalten der kurzkettigen Carbonsäuren in den Immissionskonzentrationen im Zeitverlauf oder durch die Raumlüftung beschrieben.

Ein „geringes toxisches Potenzial“ für „alle Hauptkomponenten der Emissionen aus Holzwerkstoffen (Terpene, Carbonsäuren, gesättigte Aldehyde)“ kann nicht attestiert werden, stellen doch z.B. die Carbonsäuren Ameisen- und Essigsäure starke Reizstoffe für die Schleimhäute dar.

Eine Feststellung, „die VOC-Emissionen von OSB und kunstharzgebundenen Spanplatten nehmen ... rasch ab, d.h. um etwa 40 bis 60 Prozent innerhalb von 3 Monaten“ lässt außer Acht, dass es sich hierbei um Prüfkammeruntersuchungen handelt, die wegen des hohen Luftwechsels nicht auf eine Real-

raumsituation übertragen werden können. Es wäre eine unzulässige Schlussfolgerung, dass damit auch der „VOC-Speicher“ des Prüfgutes erschöpft sei.

Die Übertragbarkeit human-toxikologischer Untersuchungen aus Studien mit Probanden auf das Gesamtkollektiv der Nutzer von Holzständergebäuden (Realräume) sind nicht begründet (empfindliche Personen, Langzeit-Exposition, geringere Raumlüftung). Eine Studie zeigt, dass in einem von vier untersuchten Realgebäuden ohne Fensterlüftung die Gebäudenutzung auch noch nach acht Monaten nach Bezug ein Zustand vorlag, der noch nicht als „toxikologisch sicher“ eingestuft werden kann. Über den weiteren Verlauf insbesondere der Entwicklung der Reizstoffe Ameisen- und Essigsäure gibt die Studie keine Auskunft. Eine technische Lüftung wirkt im gleichen Sinn wie in einer Prüfkammer auf die Emission. Die Verwendung von Holzwerkstoffen erfordert daher gerade den Einbau regelmäßig kontrollierter, technischer Lüftungsanlagen.

Das Alterungsverhalten von Holzwerkstoffen bezüglich der Emission der Carbonsäuren muss als gleichartig zu der Emission an Formaldehyd angesehen werden: Aus der Untersuchung von älteren Gebäuden in Holzständerbauweise („Fertighäuser“) zeigt sich auch nach Jahrzehnten eine hohe Korrelation zwischen Formaldehyd, Ameisen- und Essigsäure in der Raumluft. Demnach ist kein Unterschied zu erkennen zwischen dem technisch eingebrachten Formaldehyd und den im Holz vorgelegten Säuren. Gemeinsam ist beiden der hydrolytische Prozess als chemische Reaktion mit Wasser. Dessen kontinuierliches Eindringen in den Holzwerkstoff setzt dann über einen sehr langen Zeitraum ohne erkennbaren Endpunkt in der Emission die gemeinsam als Reizstoffe agierenden Substanzen frei.

Wenn die behauptete „natürliche“ Emission eines Holzwerkstoffes durch chemisch-technische Maßnahmen nicht unterbunden wird (in Analogie zur Reduzierung der Formaldehyd-Emission), so kann mit Verweis auf die Chemikalienverbotsverordnung auch von der Ausnahmeregelung unter Verwendung einer geeigneten Beschichtung Gebrauch gemacht werden.



## **10. Summary**

Appendix 8 "Requirements for structural facilities with regard to health protection (ABG)" of the MVV TB specifies the health-related requirements for structural facilities by specifying requirements for constituents and for the release of harmful substances from building products (MVV TB 2017 / 1, MVV TB 2019 / 1). This is based on the testing and evaluation scheme of the Committee for Health-related Evaluation of Building Products (AgBB scheme) (AgBB 2018). Testing for the release of harmful substances from building products (emissions) is carried out in a test chamber with defined and constant conditions. Since 2018, the AgBB scheme refers to DIN EN 16516:2018-01 "Construction products - Assessment of release of dangerous substances - Determination of emissions into indoor air". The harmonized test specifications of the horizontal test standard are used to test the emissions of hazardous substances from construction products within the scope of a test chamber measurement.

Based on test chamber results, the concentration of hazardous substances in the air of a reference room may be indicated. The dimensions of the reference room and the test conditions have been defined in the international standard to represent the average conditions in Europe. The method aims at testing construction products with reference to an average condition generally representative for common use in order to guarantee comparable conditions (DIN EN 16516:2018-01, P.16).

### **AgBB requirements**

In detail, the AgBB scheme formulates requirements for the following evaluation parameters: Carcinogenic EU Cat. 1A/B (after three and 28 days), TVOC (after three and 28 days), R-value, Sum without NIK, TSVOC (after 28 days) and optionally sensory testing (after 28 days).

The R-value represents the central health-related parameter within the evaluation concept, which is calculated from the sum of the ratios formed by chamber air concentrations and NIK values. NIK-values (NIK = lowest concentration of interest) are toxicologically derived auxiliary values for the evaluation of construction products, which are continuously monitored and harmonized on a European level.

The AgBB scheme represents an established, widely used and dynamic evaluation system that comprehensively implements the requirements for the emission evaluation of construction products and has led to a significant improvement of products in many areas. Thanks to regular revision with the parties involved, it is widely supported and open to innovation.

Deliberately introduced uncertainties such as a consideration limit at  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , rounding rules, determination of unidentified VOCs and non-target compounds (VOCs without NIK value) as toluene equivalents lead to mitigations of potentially strict approaches that may result from the additivity assumption for the R value and the sum values.

Product-specific characteristics (e.g. possible inhomogeneity, installation time) are taken into account by defining specific test specifications. For OSBs and chipboards, the DIBt has determined an area-specific air flow rate ( $q$ ) of  $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  for OSBs and chipboards with a load ( $L$ ) of  $1.0 \text{ m}^2/\text{m}^3$  (corresponds to the load for walls) and a maximum age of 16 weeks (notification of the DIBt July 2020).

The AgBB scheme has been adopted by various labels as a basis for interior evaluation, although here the requirements are stricter than the AgBB requirement values.

The emission assessment of construction products should ultimately ensure the exclusion of a health hazard for the occupants of the room.

### **Health assessment of volatile organic compounds in indoor air**

In order to be able to assess a health hazard on the one hand, and to obtain legally binding foundations for the evaluation of VOC exposure in buildings on the other hand, toxicologically based reference values for indoor air are used. The avoidance of health impairments is achieved by adherence to toxicologically derived indoor air reference values.

The Committee for Indoor Air Quality Standards (AIR - former ad hoc working group of the Indoor Air Hygiene Commission of the Federal Environment Agency and the Supreme Health Authorities of the Federal States) derives the two-stage guideline values for the assessment of indoor air pollution. In accordance with the requirements of the building code, the committee derives a concentration value at which harm to human health cannot be ruled out with sufficient probability for sensitive room users.

This concentration is referred to as reference value II (RW II) or "hazard value" and is defined as following. The RW II is an effect-related value based on current toxicological and epidemiological knowledge of the effect threshold of a substance, introducing uncertainty factors. It represents the concentration of a substance which requires immediate action if reached or exceeded. This high concentration might pose a health hazard, especially for sensitive individuals who reside permanently in the room (Ad hoc-AG 2012).

The reference value I (RW I) or "precautionary value" describes the concentration of a substance in indoor air at which no health impairment is to be expected when considering individual substances according to the current state of knowledge, even if a person is exposed to this substance for life. Exceeding the limit value, however, is associated with an undesirable exposure exceeding the usual level (Ad hoc-AG 2012).

In the area between RW II and RW I no immediate health hazard is expected. However, since odours can also lead to health problems and impairments, further measures to reduce the load are recommended, which may initially consist of, for example, increased ventilation or air exchange. If these measures do not lead to a reduction, further measures are recommended, including constructional measures if necessary, since loads existing for longer periods (> 12 months) are not acceptable for precautionary reasons. Annoying odours are generally not considered to be a health hazard. However, they can be an unacceptable nuisance within the meaning of building law if they occur repeatedly or over a longer period of time (Ad-hoc-AG 2007).

In the meantime, pairs of reference values for VOCs have been derived from the AIR 45. In order to take into account the fact that indoor air is polluted with a large number of different substances which can only be partially evaluated using reference values, the ad hoc working group has drawn up a TVOC concept for the hygienic evaluation of indoor air based on the TVOC concept by Seifert (1999). Provided that the toxicologically justified reference values are not exceeded, the following five-stage concept applies (Ad-hoc-AG 2007):

- Stage 1: TVOC value < 0.3 mg/m<sup>3</sup>: hygienically safe, target value.
- Stage 2: TVOC value > 0.3-1 mg/m<sup>3</sup>: still hygienically safe, increased ventilation requirement.

- Stage 3: TVOC value > 1-3 mg/m<sup>3</sup>: hygienically conspicuous, temporary (<12 months) as upper limit for rooms intended for a long-term stay.
- Stage 4: TVOC value > 3-10 mg/m<sup>3</sup>: hygienically questionable, room can be used for a limited period of time (maximum 1 month) and with increased ventilation.
- Stage 5: TVOC value > 10-25 mg/m<sup>3</sup>: hygienically unacceptable. The use of the room is daily (by the hour) at best and reasonable when increased regular ventilation measures are implemented.

The following interior reference values are essentially available for the evaluation of the typical VOCs of wood-based materials (the year of publication is given in brackets):

- Terpenes, bicyclic (lead substance  $\alpha$ -Pinene): Summated reference value II 2°mg/m<sup>3</sup>, summated reference value I 0.2°mg/m<sup>3</sup> (2003);
- Aldehydes, C<sub>4</sub> to C<sub>11</sub> (saturated, acyclic, aliphatic): Summated reference value II 2°mg/m<sup>3</sup>, summation guide value I 0.1°mg/m<sup>3</sup> (2009);
- 2-furaldehyde (furfural): Reference value II 0.1°mg/m<sup>3</sup>, reference value I 0.01°mg/m<sup>3</sup> (2011);
- Formaldehyde: Summated reference value II not derived, summated reference value I 0.1°mg (2016);
- For C<sub>1</sub> to C<sub>8</sub> alkanolic acids, an summated reference value II of 1 mg/m<sup>3</sup> and value I of 0.3 mg/m<sup>3</sup> were determined at the 6th meeting of the Committee for Indoor Air Quality (AIR) on November 02 and 03, 2017.

Except for the NIK values for formaldehyde and furfural, the NIK values of the other typical wood-based material VOCs are higher than the RW II-values. In comparison with the existing evaluation standards for the assessment of indoor air concentrations, the AgBB test and evaluation scheme can therefore only be classified as an instrument aimed at hazard prevention.

The volatile compounds emitted by wood-based materials are mainly odourous substances with partly very low odour threshold values. When deriving NIK-values and interior standard values, odour properties are usually not taken into account.

In order to exclude health hazards and unacceptable nuisances, the indoor air concentrations of chemical substances should not only fall below the reference value RW II, but in the long term also below the reference value RW I. Only then a safe indoor air be expected, not only for healthy adults but also for sensitive individuals.

The definition of volatile organic compounds on the basis of the analytical method limits the considered substance spectrum to the compounds detectable with the sampling system and analytical methods. For wood-based materials it can be assumed that, for methodological reasons, the emissions of carboxylic acids are not completely recorded. For the determination of carboxylic acids, especially with regard to the wood-based material typical acids formic and acetic acid, an independent sampling and analysis procedure should therefore be supplemented.

Emission tests are of great importance for product and indoor air quality and are an important tool for the selection of construction products. Emission properties can be specified with reference to a standardized test and can be specified as targets in tender documents. Emission tests according to the AgBB scheme are also the basis for the interior evaluation of several labels (Blue Angel, natureplus, emicode).

Emission tests can be used to estimate indoor air concentrations and identify sources of pollution. A direct transfer of emission test results to a real room is not possible due to the multitude of other influencing factors.

For the evaluation and transfer of emission test results to a specific construction project, extensive knowledge regarding the application of the product, representativeness of the test and evaluation of the emissions is required.

Of particular importance for the transfer of emission data to a real room are the level of loading (quantity and area) and the air exchange rate under conditions of use. In new airtight buildings, values are often measured well below an air exchange rate of 0.5/h.

In order to achieve indoor air quality with precautionary regard to the immission values, much stricter requirements than those currently anchored in the AgBB scheme are necessary. For example, the Blue Angel and other environmental labels generally require compliance with significantly lower TVOC values. Further reductions for example at natureplus relate to the consideration of all substances above 1 µg/m<sup>3</sup>, the largely substance-specific quantification, the limitation of the R-value to ≤ 1.0, which allows a maximum R-value of 1.049, the undercutting of RW-I values as well as the evaluation of the odour.

### **Emissions from wood-based materials**

Wood-based materials such as OSB and chipboard are produced from the natural material "wood" by mechanical-chemical means. Processes of drying, shredding, chemical treatment for solidification and thermal and pressure effects lead to the formation and release of chemical substances.

Wood-based materials have a well known emission spectrum of volatile (VOC) and highly volatile organic substances (VVOC). Typical emissions are mainly terpenes from the resin of the coniferous woods used, aldehydes from the decomposition of the unsaturated fatty acids of the wood, which takes place with the participation of atmospheric oxygen, and the formation of the "wood acids" formic and acetic acid (carboxylic acids) with the participation of water. As chemical leading components α-pinene (terpene), hexanal (aldehyde) and acetic acid (carboxylic acid) can be regarded. In addition, different levels of formaldehyde emissions can be expected depending on the type and quantity of binder.

A distinction must be made between the primary emission of substances already present in the wood (terpenes) and the secondary emission of newly formed compounds (aldehydes, carboxylic acids). The chemical reactivity preceding the secondary emission also means a time delay in the free emission behavior of the wood-based material. Less is known about the formation processes and the course of formic acid emissions, since formic acid and partly also acetic acid have not been investigated in many studies.

The emissions of volatile organic compounds from wood-based materials are determined by various influencing factors (Ohlmeyer et al. 2006, Ohlmeyer et al. 2012, Tigges & Roth 2018):

- Differences depending on the wood species (hardwood, softwood)

- Site conditions (stress, drought, etc.), log section, heartwood/splint, age, storage of the wood
- Drying (storage type, duration, temperature, moisture content)
- Type of wood-based material (composition, chip size)
- Manufacturing process
  - o Process temperatures (height, duration), pressing pressure (height, duration)
  - o Binders, additives
- Properties of the material (surface structure, open porosity, density, thickness)
- Storage of the product (duration, type of storage, ventilation temperature, pressure)

In addition to the emissions of VOCs typical of wood-based materials, there may also be emissions that are not attributable to the wood-based material itself, but originate from impurities.

For the project, 235 emission test results of wood-based materials and floor coverings made of bamboo from the Bremer Umweltinstitut were evaluated over the last five years. In the emission tests that were carried out, about one third of the assessable tests did not meet the requirements that were set in the respective test (AgBB, natureplus, Blue Angel, Bremer Umweltinstitut). The tested products were new products (label tests) and used products from damage cases (source identification).

The TVOC requirement after 3 days was not exceeded by any wood-based material. For a bamboo floor, this criterion was exceeded due to the level of acetic acid emission (12 mg/m<sup>3</sup>). Even after the TVOC criterion was exceeded after 28 days, the level of acetic acid emission was the main factor.

Increased terpene loads were only detected in individual cases during the investigations of the wood-based materials. The concentrations of unsaturated aldehydes were also predominantly low. Formaldehyde, furfural, hexanal and partly also acetic acid emissions were responsible for the R-value exceedance.

The evaluation of 16 emission test results for different OSB boards showed a heterogeneous spectrum. For typical wood-based panel VOCs and others, the range of the determined corresponding chamber air concentration as well as further statistical characteristics in comparison to NIK values and interior standard values are given. The highest individual concentrations were determined for acetic acid (1512 µg/m<sup>3</sup>), formic acid (300 µg/m<sup>3</sup>), hexanal (210 µg/m<sup>3</sup>) and toluene (205 µg/m<sup>3</sup>). In three cases the AgBB requirements were exceeded under the respective test conditions. In these cases, the concentrations for furfural, acetic acid and higher aldehydes were relevant for evaluation. The emissions of terpenes and unsaturated aldehydes were predominantly low.

High formaldehyde emissions were determined for chipboard and also for other wood-based materials with high binder content such as glued laminated timber. For more than two thirds of the chipboardchipboards examined, the limit as described by the legally binding ChemVerbotsV was exceeded in relation to the current test specifications.

### **Use of wood-based materials**

The main application areas for wood-based materials are in the construction of buildings (wall, floor and ceiling elements). Wood-based materials in the construction remain permanently in the building. The use of wood in construction is advertised in the media as a modern, ecological, sustainable, environmentally friendly, healthy, flexible and inexpensive construction method. OSB panels are used for new construction, extensions, additions, modernization in almost all areas and building uses, such as housing, schools and childcare facilities as well as multi-storey office complexes. They are particularly important in modular prefabricated construction, e.g. in timber frame construction and also container con-

struction. In the interior, OSB panels are often installed open and uncoated and in direct contact with the ambient air.

Fresh wood is used for the production of OSB panels, mainly spruce and pine. The chips are hardened by temperature and pressure using predominantly formaldehyde-free binders (polymer diphenylmethane diisocyanate, PMDI) in addition to melamine-urea-formaldehyde resin (MUF) and melamine-urea-phenol-formaldehyde resin (MUPF).

In addition to the use of residual wood, waste wood is also used in the manufacture of chipboard. For common chipboard, mainly urea-formaldehyde resin is used as a binder. Chipboard is usually coated with decorations or veneers. The moisture resistance of chipboard can be improved depending on the glue used. Uncoated boards are used as building boards or in flooring. Visible applications of uncoated chipboard indoors are rare.

In the prefabricated houses of the 50s to 80s, chipboard was used extensively as cladding for walls, ceilings and floors. OSBs are mainly used in modern timber buildings.

An evaluation of the AGÖF VOC database on the occurrence of VOCs in different types of buildings showed that the wood-based material-typical terpenes  $\alpha$ -pinene and  $d^3$ -Carene were detected more frequently and in higher concentrations in indoor air in the newer lightweight wood construction from 1984 onward. For formaldehyde, significantly higher concentrations of up to  $467 \mu\text{g}/\text{m}^3$  were found in the older prefabricated houses (before 1984). For acetic acid the highest percentile values were also obtained in older prefabricated houses with a 95th percentile of almost  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Comparing the results of the AGÖF study with the reference values of the Committee for Indoor Air Quality (AIR), the reference value II for bicyclic terpenes in lightweight wood construction was exceeded in three of 76 cases (4 %) from 1984, the reference value I in over 10 % of the measurements. The total reference value for aldehydes was also exceeded in more than 10% of the measurements. The exceeding of the reference value I for formaldehyde, which was frequently observed in lightweight wood construction before 1984, was no longer found in lightweight wood construction after 1984.

Formaldehyde in chipboard is present in bound form. Formaldehyde is released only through the hydrolysis reaction with the water vapor in the room air, followed by volatilization and transfer to the room air. The hydrolysis reaction is temperature-dependent according to the Arrhenius equation: The higher the temperature, the faster the chemical reaction proceeds.

Measured values from sampling in prefabricated houses built between 1970 and 1980, determined in the years 2016 to 2019, provide information about the long-term behavior of typical wood-based material emissions of formaldehyde, formic and acetic acid.

The year shows that it is not the measured room temperature that is decisive for the emissions of the building type "timber frame construction, prefabricated house", but the temperature of the building component, which is essentially determined by the outside temperature.

The reference value RW I of the Committee for Indoor Air Quality (AIR) of currently  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  is, on a monthly average, statistically still exceeded in seven months of a year, even after about 40 to 50 years of emission duration. Similarly, no decrease in emissions to "zero" is observed for acetic acid as well as formic acid after a rounded period of 40 to 50 years from wood-based materials. The development of indoor air concentrations over time is to be represented as an exponential function, at which an almost

constant state has been reached after the tested period of 40 to 50 years. An increase is no longer to be expected, but also no significant reduction for the following period.

In new energy-efficient buildings, TVOC contents as well as indoor air concentrations of aldehydes are found in a wide concentration range. However, analytical results for acetic acid according to DIN EN 16000-6 must be critically examined with regard to the methods used.

With the question of the effectiveness of materials for sealing off pollutants, comparisons of the room air pollution in older prefabricated houses with broad or less pronounced use of chipboard for wall paneling show that gypsum plasterboards do not provide a sufficient barrier against diffusion of wood preservatives. A blocking effect against neutral molecules such as formaldehyde or terpenes or even acidic compounds is therefore not to be expected with the even acidic gypsum plasterboard.

### **Cases of complaint**

Selected claims show a condition typical for wood-based material emissions.

Due to the large-scale application of OSB in modern buildings, there is considerable pollution of the indoor air at the beginning of the utilization phase, but also over a long period of time afterwards. The complaints are usually triggered by unpleasant odours, irritation of the mucous membranes of the eyes and respiratory tract, and headaches. Closure of the building or failure to start using it might then be the result.

For the emissions of bicyclic terpenes, C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub> aldehydes and carboxylic acids (formic and acetic acid), there is initially a significant reduction in the initial concentrations. However, the carboxylic acids (formic and acetic acid) display a rather constant state over time. In one case, the material samples taken from the OSB boards show R-values between 1.5 and 2.2 in the emission test even 20 months after production, with the substance samples of the emission as well as the immission showing good agreement as source attribution.

In the construction of a new school building in timber-frame construction, a significant reduction in indoor air concentrations of aldehydes and terpenes is obtained over a period of two years, but also an increase in formic and acetic acid concentrations despite the normal use of the building. An "acidic" odour with irritation of the respiratory tract, shallow breathing and head pressure was recorded by experts. The indoor standard value RW II (hazard value) for the sum of carboxylic acids is exceeded room by room over a period of two years.

In a new school building section in timber-frame construction, health complaints (headaches) and complaints about odours were reported by pupils and teachers after initial operation. High TVOC concentrations exceeding the hazard-related reference value II for aldehydes and acetic acid as well as increased contents of bicyclic monoterpenes were present. OSB panels were assumed to be the source of the loads found due to the construction method with large-area OSB panels on walls, ceilings and in the floor structure. For the products tested in the test chamber, however, no exceeding of the requirements of the AgBB scheme (status 2018) was determined.

In another case of an increase in an existing building in timber-frame construction, six years after establishment of the upper floor suspicious concentrations for higher aldehydes were still present (RW I exceedance for C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub>-aldehydes). The test chamber examinations of the installed panels resulted in low emissions overall. In contrast, a new OSB board showed comparatively high formaldehyde emissions. The new product also showed the highest concentrations for terpenes and aldehydes. While the

emissions of the new product decreased during the observation period (3 and 7 days), no decreasing tendency was observed for the installed products. For aldehydes, the concentrations even increased for some compounds. The clear discrepancy between the results for the carboxylic acids determined with Tenax compared to silica gel was striking. The Tenax method showed serious misquantifications of up to more than 80 % compared to sampling and analysis using silica gel. Formic acid and acetic acid represented the highest emissions of the OSB panels used. In contrast to the values for terpenes and aldehydes, which were measured in lower concentrations in the installed products compared to the new ones, the emissions for carboxylic acids were significantly higher in the installed products.

During the construction of a new community center, the concentrations of terpenes (sum of bicyclic terpenes) and aldehydes (sum of acyclic, aliphatic C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub> aldehydes), which are common VOCs typical in wood-based materials, decreased due to tilt ventilation. In contrast, the concentration for acetic acid increased during ventilation. The same is shown by a case study of a new school building in timber-frame construction for a short-term "use-typical" ventilation of the room.

Investigations of OSB boards from buildings (old stocks) as well as new OSB boards show significant differences in emissions.

The ventilation of a real room represents a common and necessary operating condition. The ventilation of a room should lead to the discharge of pollutants or unwanted substances through the increased air exchange. However, whether it is a sufficient method to achieve acceptable air quality depends on the substances and the source. With manual ventilation, there is a stronger air exchange rate in a smaller period of time. This can lead to an accumulation on and in the material surfaces between the ventilation phases (with closed windows), which results in the formation of secondary sources in the room as the emissions of the primary sources remain. Depending on the boiling point and polarity of the chemical substances, this enrichment effect can vary. Here the test chamber room with glass or stainless steel surfaces and a permanently increased air exchange differs significantly from a real room. Therefore, lower air concentrations are more likely to be expected in the test chamber room than in a real room.

For wood-based panel buildings, both primary emissions and enrichment effects must therefore be considered.

While the non-polar and only weakly polar substances and substance groups (C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub> aldehydes, acet-aldehyde, bicyclic terpenes and the C<sub>9</sub>-C<sub>15</sub> alkylbenzenes) are significantly reduced by the air exchange, a remarkably lower ventilation efficiency is observed for the group of polar substances (formaldehyde, acetic acid and formic acid) with partial reversal: After ventilation, the room air concentrations for certain VOCs might also be higher than before. For these substances, a decrease can be ensured only over a constant and sufficiently high air exchange, whereas a single manual ventilation can have counterproductive effects.

The observed effect can be related to the polarity of the substances. The most polar substance in the ambient air is water. Competitive reactions at the binding sites of the room surfaces between the very polar water molecules and the less polar molecules of formaldehyde, formic and acetic acid cause a shift of the latter from the surface to the gas phase (ambient air) as the room is ventilated. Such an effect can neither occur nor be observed in a test chamber situation with constant air exchange, constant humidity and no deposits on the glass or stainless steel surfaces. The test chamber underestimates a real space concentration.



### Occurring complaints

Adverse effects on the health and well-being of people in indoor environments often give rise to suspicion of indoor pollutants as presumed triggers for the complaints. In expert practice, this leads to the task of identifying possible causes of these complaints by means of measurements. Since it is not possible to draw conclusions about a specific exposure on the basis of the described symptoms of complaints, no detailed recording of health findings as an "anamnesis" takes place.

No assessment of the causal relationship can be made from the information provided by those affected. The observations of the persons concerned are supplemented by expert opinion during sampling.

Frequently mentioned and observed are disturbing odours, irritation of mucous membranes (nose, throat, burning eyes) and general complaints (such as headaches, exhaustion, tiredness, nausea).

In the above-mentioned case study of a day nursery, according to the description, parents and care personnel complained about odour as well as eye and respiratory tract irritation shortly after opening. Approximately 14 days after opening, the facility was and remained closed on the recommendation of the responsible health authority. A first sampling four weeks after opening showed a TVOC value between 8000 and 11000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a sum value for C<sub>4</sub>-C<sub>10</sub> aldehydes between 2100 and 2900  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a formaldehyde concentration between 160 and 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and acetic acid between 830 and 1100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

At room air concentrations of acetic acid in the range of 310 to 410  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a distinct smell of "vinegar" with a slight irritating effect (scratching of the throat) can be perceived.

When entering a room in a new school building, a strong irritation of the respiratory tract occurred immediately. A longer stay in the room (as often done by the person taking the sample for sensory testing of the ambient air) was therefore not possible. At inconspicuous TVOC values of 440  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (without carboxylic acids) and inconspicuous aldehyde concentration (45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) formic acid was detected with 680  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and acetic acid with 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . The high sum concentration of C<sub>1</sub> and C<sub>2</sub> carboxylic acids of 1680  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  must be considered responsible for respiratory tract irritation. The value is far above the risk value RW II for the group of carboxylic acids C<sub>1</sub> to C<sub>8</sub> of 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

By means of an odour test panel with five testers, the ambient air was assessed over an exposure period of one hour by individual perception. The room was lined with OSB and equipped with teak panels. Over the exposure period a TVOC concentration of 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (without the carboxylic acids), a sum value for the C<sub>4</sub>-C<sub>11</sub> aldehydes of 73  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and for the bicyclic terpenes of 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  was determined. The ambient air concentration of formic acid was 58  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , that of acetic acid 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , the sum value of the C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub> carboxylic acids was 376  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . The odour testers found a "distinct" intensity (3.1 on a scale from 0 to 5) with slightly unpleasant hedonics (-0.85 on a scale from -4 to +4) and a slightly negative acceptance (-0.31 on a scale from -1 to +1) at this rather average room air exposure with a "woody, slightly acidic" odour characterisation without a perceptible "vinegar odour". According to VDI 4302, part 2, the indoor air quality is to be classified as "low" at an acceptance value of less than 0.

In the following exposure test, acetic acid was applied in an office room and the sensory test was performed by six odour testers. Due to the amount of acetic acid, a maximum room air concentration of 25  $\text{mg}/\text{m}^3$  would have been mathematically possible.

At an analytically determined room air concentration of 10.8  $\text{mg}/\text{m}^3$ , the odour testers found an "acetic, pungent" odour with an intensity of 4.0 as a "strong odour", a hedonic as clearly unpleasant with a value of -2.3 (scale range -4 as extremely unpleasant to +4 as extremely pleasant) and an acceptance for

room use of -0.85 (scale -1 as fully unacceptable to +1 as fully acceptable) as almost unacceptable. As sensory acute effects the olfactory examiners perceived clear to strong eye irritation, continuous strong irritation of the nasal mucosa as well as irritation of the throat and upper bronchial tubes.

Based on the key points, a room air concentration of acetic acid or for the group of C<sub>1</sub> - C<sub>8</sub> carboxylic acids in the range of 300 to 400 µg/m<sup>3</sup> can be classified as having a weak sensory effect with slight inacceptance for room use. At a room air concentration in the range of 11000 µg/m<sup>3</sup> (11 mg/m<sup>3</sup>), a strong irritation mainly of the nasal mucosa is observed, followed by irritation of the eyes and nose.

### **Comparison test chamber / real room**

Test chamber and real room are subject to different conditions such as room loading, air exchange rate, room temperatures, temperatures of the emitters (thermal equilibrium in the test chamber, different temperatures of the building components), relative humidity, flow velocities at the material surfaces, sinks in the room. Methodically, therefore, a 1:1 transfer of the emission values to the immission is not to be expected. From the above-mentioned case studies it can be seen that there is a qualitative relationship between emission and immission: The substance pattern of the VOC emission can be found again as immission pattern of the VOC. Thus, first of all a source attribution in case of harm can be derived.

A case of harm in real rooms does not necessarily mean that the reference value II as a hazard value is exceeded. Long-term exceeding of the reference value I, odour pollution by VOC substances (aldehydes, carboxylic acids) or irritation (formic and acetic acid, formaldehyde) can cause harm as well. However, if the test criteria according to the AgBB scheme are exceeded, there is a sufficient probability that the indoor reference value is exceeded, posing a health hazard for the occupants. If the AgBB requirements are met, the risk values (guide values II) must be undercut depending on the quantity of wood-based materials used and ventilation and not only on the basis of the test chamber results.

The main emissions of the wood-based materials can be differentiated with regard to the main groups: Both in the test chamber and in real space, the indoor air concentrations of bicyclic terpenes decay comparatively quickly.

For the aldehydes, too, a decrease in the ambient air concentrations is observed, but there may also be an increase again. For acetic acid as the main representative of the carboxylic acids, however, an increase during the utilization phase of the room is observed. This is caused by the process of autocatalysis, whereby the acid already formed accelerates the hydrolysis and formation process.

The accumulation on room surfaces leads to the formation of secondary sources in real rooms, which in turn contribute to the immission and preserve the presence of the primarily emitted substances in the room.

Emission test results are the central basis for the assessment of VOC emissions of the construction products used and the evaluation of the expected indoor air quality to prevent harm. The selection of low-emission construction products is a prerequisite for meeting indoor air quality targets.

Building certifications with indoor air quality requirements are based, among other things, on specifications for low-emission construction products. Acceptance measurements as part of service contracts or tenders also make reference to emission-tested materials. Here it must be fundamentally considered that the evaluation of health suitability of a construction product is carried out under the standardized

conditions of a test chamber examination. The situation in a real indoor environment differs from the conditions in the test chamber and is much more complex.

### **Conclusion**

The AgBB scheme is to be understood as a rough cutoff criterion to avoid health hazard. Stricter and more extensive requirements are necessary to undercut RW I values and TVOC target values and to avoid odour complaints.

The above case studies show that the test chamber investigations allow a good substance pattern matching for source attribution between emission and immission.

### **Evaluation of the theses in the expert opinion MARUTZKY No. 02-01.2020 dated 10.06.2020 on the amount, duration, relevance and occurrence of OSB emissions**

It does not follow from the equation of "wood" and "wood products" that the VOCs emitted by wood products are also emissions from wood. A wood product is preceded by technical processing of "wood". Thermal processes during production or chemical exposure to atmospheric oxygen or moisture during production or subsequent use cause emissions of aldehydes and carboxylic acids. The emissions are therefore not "naturally" occurring emissions, but the result of technological-chemical reactions.

Within the VOC group, terpenes, aldehydes and carboxylic acids are the most important and dominant substances. The omission of carboxylic acids or the only marginal mention of carboxylic acids, especially acetic acid, leaves the most sustainably emitting and toxicologically most relevant substance group in wood emissions unevaluated.

The formaldehyde emission of wood-based materials is determined by the type and quantity of the binder and further processing steps (surface design, coating). The formaldehyde emission is not a variable but a value directly determined by the manufacturer.

Condensing the discussion to the TVOCs does not allow a differentiating consideration of the essential wood-based material-associated substance groups (terpenes, aldehydes, carboxylic acids), which were named by the expert MARUTZKY himself. However, the different origins of these substance groups (vapor pressure in the case of terpenes, chemical reactivity in the case of aldehydes and carboxylic acids) show a more complex picture.

In the test chamber procedure, the course of ambient air concentrations is determined analytically after three and after 28 days by taking air samples. However, the potency functions shown do not indicate that the emissions disappear after the test chamber examination is completed. Also, there is no permanent air exchange in a real room according to the test chamber conditions.

Acetic acid is one of the main components of wood-based material emissions. However, the detection of acetic acid must be subjected to a critical examination of the method in each individual case.

Referring to test chamber investigations of the emission of wood-based materials it is stated: "All substances show a similar decay behaviour". It is of fundamental importance that this "similarity" in decay behaviour does not allow conclusions to be drawn about the similarity and comparability of the chemical processes. Vapor pressure and chemical reactivity (hydrolysis, oxidation) are different in their speed. In

the test chamber, the high air exchange rate overlays the chemical formation processes. Therefore, the decay of the emission does not mean that the source is exhausted. In particular, the development of the carboxylic acid concentrations, but also that of the aldehydes in real space with time-delayed re-increase, indicates continuing formation processes outside the test chamber situation.

This real behaviour is not sufficiently discussed and appreciated. Also possible non-wood based material typical emissions are not considered.

Regarding the actual use of OSB and chipboard, it cannot be confirmed that "*constructive wood materials used in the building industry such as OSB and chipboard ...are not in direct contact with the air in the room*".

Rather, OSB boards are increasingly being installed openly and in direct contact with the ambient air in real space. In contrast, chipboard is installed in a concealed manner, but even then not necessarily without (indirect) contact with the ambient air.

The emission can therefore pass directly into the room air as immission. Other materials still present in the room as chemical-irreversible sinks cannot make a significant contribution to the reduction of the immission, whereas the physical sinks (adsorption) only have a reversible effect (e.g. through competition with the water vapour in the air).

The test chamber conditions for the emission test of OSB and particle boards do not represent a tightening of the test conditions with regard to the type of installation and sinks in a real room. On the contrary: The test chamber conditions as well as the evaluation scheme favour the evaluation of construction products such as wood-based materials in many respects.

In comparison with the MAK (average workplace concentration) values, formic and acetic acid are hazardous substances, whereby the much more acidic (and irritant corrosive) formic acid is not included in the VOC emissions of the wood-based materials solely because of the VOC definition. Formic acid is classified as VVOC.

Investigations in wooden buildings in connection with wood-based materials are only presented using the example of one study. Most of the buildings are equipped with a ventilation system. Thus, low TVOC contents in the room air are achieved. Only if pure window ventilation is possible, "a persistently increased load" is determined, which is "primarily caused by the constant release of typical construction product emissions".

DIN EN 16516:2018-01 defines a reference room and emission scenarios in order to be able to make specifications for emission testing with regard to the load. The reference room is only a model and not a real room. The AgBB scheme and the underlying test procedure represent a long-time proven and widely accepted procedure for emission testing of construction products including wood-based materials.

The measurement of VOC emissions from construction products based on wood-based materials in a test chamber under standardized conditions aims at evaluating the release of hazardous substances and determining the emissions into indoor air.

To be able to assess any health hazard, toxicologically based reference values and guide values for indoor air are used. The avoidance of health impairments is achieved by adherence to toxicologically derived reference values for indoor air.

Compliance with the emission NIK values for the wood-based aldehydes and terpenes generally ensures that the values for indoor air immissions fall below the hazardous values. For the emissions of carboxylic acids, the test procedure (as already recommended in DIN EN 16516) and the evaluation would have to be adapted to ensure that the values for indoor air are safely below the hazard values.

With regard to the immissions in a real room, the emission test of a construction product in the test chamber provides a basis for the estimation of the concentrations occurring in a real room and thus enables an assessment of possible exposure.

The manifold interactions that occur in a real interior, such as reactions between different construction products, light and UV radiation, ozone, temperature effects, user behavior, cannot be shown in a standardized test chamber investigation. This is also not the aim of standardized test chamber testing. Conversely, when assessing the immission or exposure of room users and determining sources, all other parameters influencing emissions must also be taken into account.

The R-value as a probability value for a health-based risk assessment is of considerable importance. The specific quotient of measured value to NIK value of a substance results in a probability for a health effect. The summation of all quotients to determine the R-value thus results in an overall hazard index for health effects, albeit of different types (irritative, neurological). Thus, an R-value above 1 would give a sufficient probability of health hazards.

The NIK values are toxicologically justified after their derivation. They are not independent evaluation criteria, but rather auxiliary variables for health evaluation by means of R-values. Nevertheless, they are in good agreement with the RW II reference values for indoor air, which were also toxicologically derived to ward off dangers. A reference to the occupational exposure limit values for the assessment of indoor air pollution is prohibited due to different protection groups, different exposure times and different (occupational) medical monitoring of an exposure. The calculation of the R-values on the basis of hazard-related NIK-values does not provide any precautionary measures (safe undercutting of the precautionary reference values I). This could only be achieved by the selection of low-emission construction products as well as additional structural measures (room loading, room air exchange).

Although emissions from wood-based materials have been known for a long time, only recent studies have provided information on the occurrence of formic acid in emissions or the long-term behavior of formaldehyde or carboxylic acid immissions in wooden buildings. The behavior of short-chain carboxylic acids in the immission concentrations over time or through room ventilation is described only in isolated cases.

A "low toxic potential" for "all main components of emissions from wood-based materials (terpenes, carboxylic acids, saturated aldehydes)" cannot be attested, since the carboxylic acids, e.g. formic and acetic acid, are strong irritants for the mucous membranes.

A statement that "the VOC emissions of OSB and resin-bonded chipboard are decreasing rapidly, i.e. by about 40 to 60 percent within 3 months" ignores the fact that these are test chamber tests that cannot be transferred to a real room situation because of the high air exchange rate. It would be an inadmissible conclusion to conclude that the "VOC storage" of the test material is also exhausted.

The transferability of human-toxicological investigations from studies with test persons to the overall collective of users of wooden stud buildings (real rooms) is not justified (sensitive persons, long-term exposure, reduced room ventilation). One study shows that in one of four examined real buildings without window ventilation, the building use was still in a state that cannot yet be classified as "toxicologically safe" even after eight months after occupation. The study does not provide any information about the further course of the development of the irritants formic and acetic acid in particular. A technical ventilation has the same effect on the emission as in a test chamber. The use of wood-based materials therefore requires the installation of such systems. However, this also justifies a permanent hygienic control.

The aging behavior of wood-based materials with regard to the emission of carboxylic acids must be regarded as similar to the emission of formaldehyde: From the investigation of older buildings in timber-frame construction ("prefabricated houses"), a high correlation between formaldehyde, formic and acetic acid in indoor air is shown even after decades. Accordingly no difference is to be recognized between the technically introduced formaldehyde and the acids in the wood. Common to both is the hydrolytic process as a chemical reaction with water. Its continuous penetration into the wood-based material releases the substances acting as irritants over a very long period of time without any recognizable end point in the emission.

If the claimed "natural" emission of a wood-based material is not prevented by chemical-technical measures (in analogy to the reduction of formaldehyde emission), then with reference to the Chemicals Prohibition Ordinance, the exemption may also be considered when using a suitable coating.

## **11. Kurzfassung**

Der Anhang 8 „Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich des Gesundheitsschutzes (ABG)“ der MVV TB konkretisiert die gesundheitsbezogenen Anforderungen an bauliche Anlagen hinsichtlich der Inhaltsstoffe und der Freisetzung schädlicher Stoffe aus Bauprodukten (MVV TB 2017 / 1, MVV TB 2019 / 1). Die Grundlage dafür ist das Prüf- und Bewertungsschema des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (kurz AgBB-Schema).

In mehreren Normenkontrollverfahren erheben einzelne Hersteller von Grobspanplatten (OSB) und (kunstharzgebundenen) Spanplatten Bedenken gegen die ABG und das hier verankerte Regelungskonzept zur Beschränkung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compounds - VOC).

Auf der Grundlage von Ergebnissen und Erkenntnissen aus anlassbezogenen Messungen werden die gegen das Prüfverfahren und zum Emissionsverhalten von OSB- und Spanplatten vorgebrachten Einwände gegen die ABG behandelt. Hierzu werden das AgBB-Schema und die Bewertungssysteme für die Raumluft sowie Verwendung von OSB- und Spanplatten in Aufenthaltsräumen, das VOC-Emissionsverhalten, einschließlich des Abklingverhaltens und die Innenraumkonzentrationen in Gebäuden mit Verwendung von OSB/Spanplatten betrachtet.

Die Freisetzung von flüchtigen organischen Verbindungen aus Holzwerkstoffen wird wesentlich durch Terpene als primäre Emission sowie durch Aldehyde und Carbonsäuren als sekundäre (reaktive) Emission bestimmt. Während die Emissionen der Terpene in der Prüfkammer und in Realräumen im zeitlichen Verlauf abklingen, werden für Aldehyde und Carbonsäuren auch Wiederanstiege beobachtet. Der Emission der Carbonsäuren kommt eine besondere Bedeutung, da hohe Konzentrationen für Essigsäure auftreten können und der Verlauf der Emissionen weniger gut einschätzbar ist. Es muss damit gerechnet werden, dass das überwiegend eingesetzte analytische Verfahren für die Bestimmung der Carbonsäuren (ohne Ameisensäure) Fehlbefunde aufweist. Es besteht daher die Notwendigkeit für Emissions- und Immissionsmessungen das Prüfverfahren für die Carbonsäuren (wie in der DIN EN 16516 bereits empfohlen) und ihre Bewertung anzupassen.

Innenraumuntersuchungen zeigen ein für die Verwendung von Holzwerkstoffen typisches Immissionspektrum. Anlässe für Raumluftuntersuchungen im Zusammenhang mit der Verwendung von OSB-Platten sind gesundheitliche Beschwerden (u.a. Reizungen der Schleimhäute) und störende Gerüche. Beschwerdefälle sind in Abhängigkeit von der Art und Menge der verwendeten Holzwerkstoffe insbesondere in Räumen mit hoher Beladung und geringer Luftwechselrate zu erwarten. Die Auswertung der Prüfkammeruntersuchungen von OSB- und Spanplatten ergab ein heterogenes Bild. Aus dem Vergleich der NIK-Werte für die Prüfkammeruntersuchung mit den Innenraumrichtwerten RW II als Gefahrenwert kann abgeleitet werden, dass bei Nicht-Einhaltung von Einzelstoff-NIK-Werten auch im Innenraum gesundheitlich bedenkliche Raumluftkonzentrationen zu erwarten sind. Anhand von Emissionsprüfungen können Raumluftkonzentrationen abgeschätzt und Quellen für Belastungen ermittelt werden. Eine direkte Übertragung der Emissionsprüfergebnisse auf einen Realraum ist aufgrund der Vielzahl an weiteren Einflussfaktoren oftmals nicht möglich.

## **12. Short Summary**

Appendix 8 "Requirements for structural facilities with regard to health protection (ABG)" of the MVV TB specifies the health-related requirements for structural facilities by specifying requirements for constituents and for the release of harmful substances from building products (MVV TB 2017 / 1, MVV TB 2019 / 1). This is based on the testing and evaluation scheme of the Committee for Health-related Evaluation of Building Products (AgBB scheme).

In several standardization control procedures, individual manufacturers of coarse particleboard (OSB) and (resin-bonded) particleboard have raised objections to the ABG and the regulatory concept anchored here to limit emissions of volatile organic compounds (VOCs).

The objections to the ABG raised against the test procedure and the emission behavior of OSB and particleboard are dealt with on the basis of results and findings from measurements taken on specific occasions. For this purpose, the AgBB scheme and evaluation systems for indoor air as well as the use of OSB and particleboard in common rooms, the VOC emission behaviour, including the decay behaviour, and indoor air concentrations in buildings using OSB/particleboard are considered.

The release of volatile organic compounds from wood-based materials is mainly determined by terpenes as primary emission and by aldehydes and carboxylic acids as secondary (reactive) emission. While the emissions of the terpenes in the test chamber and in real rooms decrease over time, increases are also observed for aldehydes and carboxylic acids. The emission of the carboxylic acids is of particular importance, since high concentrations of acetic acid can occur and the course of the emissions is less predictable. It must be expected that the analytical method mainly used for the determination of carboxylic acids (without formic acid) will show false results. It is therefore necessary to adapt the test procedure for the carboxylic acids (as already recommended in DIN EN 16516) and their evaluation for emission and immission measurements.

Indoor air measurements show a typical immission spectrum for the use of wood-based materials. Occasions for indoor air investigations in connection with the use of OSB panels are health complaints (including irritation of the mucous membranes) and unpleasant odors. Depending on the type and quantity of the wood-based materials used, complaints are to be expected, especially in rooms with a high load and low air exchange rate. The evaluation of the test chamber examinations of OSB and particleboard showed a heterogeneous picture. From the comparison of the NIK values for the test chamber investigation with the interior guide values RW II as a hazard value, it can be deduced that if single material NIK values are not complied with, indoor air concentrations that are harmful to health can also be expected. By means of emission tests, indoor air concentrations can be estimated and sources of pollution can be determined. A direct transfer of the emission test results to a real room is often not possible due to the multitude of other influencing factors.



## **13. Verzeichnisse**

### **13.1 Verwendete Literatur**

Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden (2007): Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2007 (50): 990–1005

Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden Richtwerte für die Innenraumluft (2012): erste Fortschreibung des Basischemas. Bundesgesundheitsbl 2012 (55): 279–290

Ad-hoc-Arbeitsgruppe (2011): Ergebnisprotokoll der 43. Sitzung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der IRK und der AOLG am 5. und 6.04.2011, Internetseite: Umweltbundesamt, URL: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1/dokumente/43\\_kurzprotokoll.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1/dokumente/43_kurzprotokoll.pdf), Abruf am 15.09.2020

Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden (2015): Gesundheitlich-hygienische Beurteilung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft mithilfe von Geruchsleitwerten. Entwurf der zur öffentlichen Diskussion bis Ende Dezember 2015; Bundesgesundheitsbl 2014 (57): 148–153

AgBB Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten 2000: Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) aus Bauprodukten. Stand Oktober 2000. DIBt-Mitteilungen 1/2001: 3-12.

AgBB Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten 2018: Anforderungen an die Innenraumluftqualität in Gebäuden: Gesundheitliche Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VVOC, VOC und SVOC) aus Bauprodukten. Stand August 2018  
URL: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/360/dokumente/agbb-bewertungsschema\\_2018.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/360/dokumente/agbb-bewertungsschema_2018.pdf)  
Abruf am 20.08.2020

Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF 2013): AGÖF-Leitfaden "Gerüche in Innenräumen - sensorische Bestimmung und Bewertung" (AGÖF-Geruchsleitfaden). Aktualisierte Fassung vom 25. September 2013, Eldagsen

Beier H. (1978): Lehrbuch der organischen Chemie. 18., überarb. Aufl., Stuttgart, Hirzel

Brdička R (1976): Grundlagen der Physikalischen Chemie, 13. Aufl., Berlin, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (Hrsg.) (2018): Bundesanzeiger. Bekanntmachung analytischer Verfahren für Probenahmen und Untersuchungen für die in Anlage 1 der Chemikalien-Verbotsverordnung genannten Stoffe und Stoffgruppen. Veröffentlicht am Montag, 26. November 2018 BAnz AT 26.11.2018 B2

Chemikalien-Verbotsverordnung (ChemVerbotsV) vom 20. Januar 2017 (2017): Anlage 1 zu § 3: Inverkehrbringensverbote. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil I Nr. 4, ausgegeben zu Bonn am 26. Januar 2017.

Derbez M, Berthineau B, Cochet V, Lethrosne M, Pignon C (2014a): Indoor air quality and comfort in seven newly built, energy-efficient houses in France. Building an Environment 72 (2014) 173-187

Derbez M, Berthineau B, Cochet V, Pignon C, Ribéron J, Wyart G, Mandin C, Kirchner S (2014b): A 3-year follow-up of indoor air quality and comfort in two energy-efficient houses. *Building an Environment* 82 (2014) 288-299

DIBt Deutsches Institut für Bautechnik Mitteilungen 2017 Veröffentlichung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen Ausgabe 2017/1 mit Druckfehlerkorrektur vom 11. Dezember 2017

URL: [https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Bauregellisten/MVV\\_TB\\_2017-1\\_inkl\\_Druckfehlerkorrektur.pdf](https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Bauregellisten/MVV_TB_2017-1_inkl_Druckfehlerkorrektur.pdf)

Abruf am 17.09.2020

DIBt Deutsches Institut für Bautechnik Mitteilungen 2019: Veröffentlichung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen Ausgabe 2019/1 mit Druckfehlerberichtigung vom 7. August 2020

URL: [https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Technische\\_Bestimmungen/MVVTB\\_2019.pdf](https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Technische_Bestimmungen/MVVTB_2019.pdf)

Abruf am 17.09.2020

DIN EN 15251:2012 (2012): Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. Beuth Verlag

DIN ISO 16000-3:2013-01 (2013): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen in der Innenraumluft und in Prüfkammern - Probenahme mit einer Pumpe. Beuth Verlag

DIN ISO 16000-6:2012-11 (2012): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID, Beuth Verlag

DIN EN ISO 16000-11:2006-06 (2006): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 11: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen - Probenahme, Lagerung der Proben und Vorbereitung der Prüfstücke. Beuth Verlag

DIN ISO 16000-28 (2012): Innenraumluftverunreinigungen - Teil 28: Bestimmung der Geruchsstoffemissionen aus Bauprodukten mit einer Emissionsprüfkammer. (ISO 16000-28:2012). Beuth Verlag

DIN EN 16516 (2018): Bauprodukte - Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen - Bestimmung von Emissionen in die Innenraumluft. (EN 16516:2018). Beuth Verlag

DIN EN 300 2006-09 (2006): Platten aus langen, flachen, ausgerichteten Spänen (OSB) - Definitionen, Klassifizierung und Anforderungen

DIN EN 312 2010-12 (2010): Spanplatten - Anforderungen

ECHA European Chemicals Agency (2020): Substance Infocard Formic acid

<https://www.echa.europa.eu/web/guest/substance-information/-/substanceinfo/100.000.527>

Abruf am 17.09.2020

Eurostat 2020: Sawnwood and panels. Last update 21-04-2020. Particle board, oriented strandboard (OSB) and similar board. Imports from non-EU countries.

URL: [https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?query=BOOKMARK\\_DS-060557\\_QID\\_-411070F7\\_UID\\_-](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?query=BOOKMARK_DS-060557_QID_-411070F7_UID_-)

3F171EB0&layout=TIME,C,X,0;GEO,L,Y,0;TREESPEC,L,Z,0;PROD\_WD,L,Z,1;STK\_FLOW,L,Z,2;UNIT,L,Z,3;INDICATORS,C,Z,4;&zSelection=DS-060557INDICATORS,OBS\_FLAG;DS-060557UNIT,THS\_M3;DS-060557STK\_FLOW,IMP\_XEU;DS-060557TREESPEC,TOTAL;DS-

060557PROD\_WD,PN\_PB;&rankName1=STK-FLOW\_1\_2\_-1\_2&rankName2=UNIT\_1\_2\_-1\_2&rankName3=INDICATORS\_1\_2\_-1\_2&rankName4=PROD-WD\_1\_2\_-1\_2&rankName5=TREESPEC\_1\_2\_-1\_2&rankName6=TIME\_1\_0\_0\_0&rankName7=GEO\_1\_2\_0\_1&sortC=ASC\_1\_FIRST&rStp=&cStp=&rDCh=&cDCh=&rDM=true&cDM=true&footnes=false&empty=false&wai=false&time\_mode=NONE&time\_most\_recent=false&lang=EN&cfo=%23%23%23%2C%23%23%23.%23%23%23  
Abruf am 14.08.2020

Euwid Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH 2017: Europa: Holzwerkstoffproduktion ist weiter gestiegen. 18.05.2017  
URL  
<https://www.euwid-holz.de/news/sonstiges/einzelansicht/Artikel/europa-holzwerkstoffproduktion-ist-weiter-gestiegen.html>  
Abruf am 17.09.2020

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) 2019: Anteil Holzbauweise an genehmigten Wohngebäuden  
URL: <https://mediathek.fnr.de/anteil-holzbauweise-an-genehmigten-wohngebauten.html>  
Abruf am 17.09.2020

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) 2019a: Anteil Holzbauweise an genehmigten Nichtwohngebäuden  
URL: <https://mediathek.fnr.de/anteil-holzbauweise-an-genehmigten-nichtwohngebauten.html>  
Abruf am 17.09.2020

Falk, A. A, Hagberg M. T., Löf, A.E., Wigaeus-Hjelm E.M., Wang, Z (1990): Uptake, distribution and elimination of  $\alpha$ -Pinen in man after exposure by inhalation. Scan J Work Environ Health 16, 372-378

Fengel, D.; Wegener, G. (1989): Wood – Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter de Gruyter, Berlin, New York, 613 Seiten

Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut (2018): Evaluierung der Emissionen von sehr flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) aus Holz und Holzprodukten zur Bewertung gesundheitlicher Auswirkungen - Entwicklungen von Reduzierungsansätzen unter Berücksichtigung realer Innenraumbedingungen. Schlussbericht zum Vorhaben 22008L1.4 der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe  
URL:<https://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22008114.pdf> (Abruf 11.09.2020)

Fürhapper, C., Habla, E., Stratev, D., Weigl, M., Dobianer, K., Waldhör, T. Hutter, H.P. (2017): Wood2New - Konkurrenzfähige Materialien aus Holz für den Innenbereich und Systeme für moderne Holzkonstruktionen. Endbericht AP3 - Innenraum, Holz Forschung Austria, Wien

Fürhapper, C., Habla E., Stratev, D., Weigl, M. (2019): Wohnen im Holzbau – Bewertung von Raumluftqualität, Toxikologie und gesundheitlichen Aspekten; 59-71. 12. Fachkongress der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V.

Fürhapper, C., Habla E., Stratev, D., Weigl M., Dobianer K. (2020): Living Conditions in Timber Houses: Emission Trends and Indoor Air Quality, Front. Built Environ., 22 January 2020| <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00151>  
Gibson, L., Watt, C. (2009): Acetic and formic acids emitted from wood samples and their effect on selected materials in Museum environments. Corrosion Science, S. 172-178.

Gminski, R.; Marutzky, R.; Kevekordes, S.; Fuhrmann, F.; Bürger, W.; Hauschke, D.; Ebner, W.; Mersch-Sundermann, V. (2011) Chemosensory irritations and pulmonary effects of acute exposure to emissions from oriented strand board, *Human & Experimental Toxicology* 30 (9) 1204-1221

Haag I. 2020 OSB-Platten: Beliebt beim Innenausbau  
URL: <https://www.bauen.de/a/osb-platten-beliebt-beim-innenausbau.html>  
Abruf 04.09.2020

Hofmann H, Plieninger P (2008): Bereitstellung einer Datenbank zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Innenraumluft. WaBoLu-Hefte 05/08; Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Hofmann H, Erdmann G, Müller A. (2014): Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumluftqualität - Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege), UFOPLAN Vorhaben FKZ 3709 62 211  
URL: <https://www.agoef.de/forschung/fue-ii-voc-datenerhebung/abschlussbericht.html>  
Abruf am 18.09.2020

IBISWorld 2020: Herstellung von Holzwerkstoffen in Deutschland. Marktforschung, Kennzahlen, Statistiken, Studien und Analysen. IBISWorld Bericht - C16.21DE - Juli 15, 2020  
URL: <https://www.ibisworld.com/de/branchenreporte/herstellung-holzwerkstoffen/1347/>  
Abruf am 05.09.2020

IWU (2003): Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt

Körner, W., Walker, G. (2016): Vorankündigung: Richtlinie VDI 4301 Blatt 7 - Messen von Carbonsäuren. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, S. 91.

Kutschera, U., Winter B. (2006): Stand der Technik zur Span- und Faserplattenherstellung.. Beschreibung von Anlagen in Österreich und Luxemburg. Umweltbundesamt Report-0070. Wien  
URL <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0070.pdf>  
Abruf 04.09.2020

Maraun, W. (2018): Raumluftkonzentrationen von Carbonsäuren und anderen VOC in Holzmodul- und Holzständerbauten Gebäudeschadstoffe und Innenraumluft Band 6, 2018, Seite 26-38

Maraun, W. (2018): Raumluftgutachten 10278/2018, bisher unveröffentlicht

Maraun, W. (2020): Statistische Kennzahlen zu Schadstoffen-Konzentrationen der Raumluft in älteren Fertighäusern bis Baujahr 1983, bisher unveröffentlicht

Maraun, W. (2020a): Orientierende Studie zur sensorischen Beurteilung von Raumluft bei Beladung durch Holzwerkstoffe; bisher unveröffentlicht

Maraun, W. (2015): Raumluftgutachten 019/2015, bisher unveröffentlicht

Mersch-Sundermann V. (2007): Gesundheitliche Bewertung von  $\alpha$ -Pinen in der Innenraumluft - Aktueller Erkenntnisstand, *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 12, 129 – 151

Mersch-Sundermann V. (2020): Medizinisch-wissenschaftliche Stellungnahme zum Schriftsatz Redeker/Sellner/Dahs Rechtsanwälte, 53003 Bonn vom 20. März 2020 an den Verwaltungsgerichtshof Baden-Württemberg, 68032 Mannheim in der Normenkontrollsache SWISS KRONO GmbH u.a./.. Land Baden-Württemberg -852944/t8 Mannheim vom 23.05.2020

Ministerium für Soziales, Gesundheit, Wissenschaft und Gleichstellung des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.) (2015): Raumlufthuntersuchungen in öffentlichen Gebäuden in Schleswig-Holstein Teil 6: Auswertung von Beschwerdefällen der Jahre 2002 bis 2011.

URL: [https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/G/gesundheitschutz\\_umweltbezogen/Luft/Downloads/studie\\_Raumluft\\_6\\_2015.pdf;jsessionid=C5CB61A5872939B10FED78459DB57EAC.delivery2-master?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/G/gesundheitschutz_umweltbezogen/Luft/Downloads/studie_Raumluft_6_2015.pdf;jsessionid=C5CB61A5872939B10FED78459DB57EAC.delivery2-master?__blob=publicationFile&v=1)  
Abruf am 31.08.2020

Paul W. (2006): Thermische Modifizierung von Spanmaterial und Holzwerkstoffplatten zur Verbesserung ausgewählter Eigenschaften Dissertation Universität Hamburg, Hamburg 2006

Prieto, J., & Kiene, J. (2007): Holzbeschichtung: Chemie und Praxis. Hannover

Ohlmeyer, M., Makowski, M., Schöler, M., Hasch, J., & Fried, H. (2008): Entwicklung von Konzepten zur Reduzierung von VOC-Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen unter Berücksichtigung des Herstellungsprozesses - weiterführende Untersuchungen. Hamburg: Universität Hamburg - Zentrum Holzwirtschaft.

Ohlmeyer M, Vagt J, Schöler M, Hasch J (2012): Untersuchung über den Einfluss des Produktionsprozesses auf die Entstehung von VOC-Emissionen aus Mitteldichten Faserplatten (MDF) Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie Nr. 2012/4

OLG Celle, Urteil vom 11.3.2020, Az. U 32/16

Roffael, E. (1989): Abgabe von flüchtigen organischen Säuren aus Holzspänen und Holzspanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff, S. 447 - 452.

Seifert B. (1999): Richtwerte für die Innenraumlufth: Die Beurteilung der Innenraumlufthqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert). Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 1999 (42): 270–278

Schieweck A., Gunschera, J., Deniz Varol, D., Salthammer, T. (2018): Analytical procedure for the determination of very volatile organic compounds (C3–C6) in indoor air Analytical and Bioanalytical Chemistry volume 410, pages 3171–3183

Statista 2020: Erzeugung von Spanplatten in der Europäischen Union in den Jahren 2006 bis 2018. URL <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/158566/umfrage/erzeugung-von-spanplatten-in-der-eu-seit-2005/>  
Abruf am 17.09.2020

Tigges, D., Roth, K. (2018): Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen. Ursachen, Einflussfaktoren und Prüfmethode, Gebäudeschadstoffe und Innenraumlufth Band 6, 2018 S.17-25

Uhde E, Salthammer T. Impact of reaction products from building materials and furnishings on indoor air quality – a –review of recent advances in indoor chemistry. Atmos. Environ 2007: 41, 3111-28

Umweltbundesamt UBA (2001): Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) aus Bauprodukten. Fachgespräch am 17.05.2020 im DIBt. URL: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/1AgBB\\_Fachgespraech05\\_2001.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/1AgBB_Fachgespraech05_2001.pdf)  
Abruf am 20.08.2020

Umweltbundesamt (2008): Vergleichswerte für flüchtige organische Verbindungen (VOC und Aldehyde) in der Innenraumlufth von Haushalten in Deutschland. Bundesgesundheitsblatt 1; Seiten 109-112

Umweltbundesamt UBA (2017): Protokoll der 6. Sitzung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR) am 02. und 03. November 2017 in Berlin vom 07.05.2017.

URL:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/360/dokumente/empfehlungen\\_und\\_richtwerte\\_ergebnisprotokoll\\_der\\_6.\\_sitzung\\_am\\_2.und3.\\_november\\_2017.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/360/dokumente/empfehlungen_und_richtwerte_ergebnisprotokoll_der_6._sitzung_am_2.und3._november_2017.pdf)

Abruf am 15.09.2020

Umweltbundesamt UBA (2018): NIK-Bearbeitungsliste Stand September 2018

URL:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/dokumente/nik-bearbeitungsliste\\_internet\\_september\\_18.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/dokumente/nik-bearbeitungsliste_internet_september_18.pdf)

Abruf am 21.08.2020

Umweltbundesamt (2020): Internet-Seite des Umweltbundesamtes,

URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte-vormals-ad-hoc#ausschuss-fur-innenraumrichtwerte>

Abruf am 08.08.2020

VDI 2100 Blatt 2 (2010): Messen gasförmiger Verbindungen in der Außenluft - Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Gaschromatografische Bestimmung organischer Verbindungen - Aktive Probenahme durch Anreicherung auf Aktivkohle – Lösemittlextraktion, Beuth Verlag 2010

VDI 4301 Blatt 7 (2018): Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Messen von Carbonsäuren, Beuth Verlag

VDI 4302 Blatt 1 (2015): Geruchsprüfung von Innenraumluft und Emissionen aus Innenraummaterialien – Grundlagen. (VDI 4302 Blatt 1:2015-04), Beuth Verlag

Von Hahn N., Van Gelder R., von Mering Y., Breuer D., Peters S. (2018): Ableitung aktueller Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 78, 63-71

Wagenführ, A., & Scholz, F. (2012). Taschenbuch der Holztechnik. München

Wiegner, K., Hahn, O., Horn, W., Farke, M., Kalus, S., Nohr, M., & Jann, O. (2012): Determination of formic and acetic acid emissions in indoor air from building products. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, S. 84-88.

Wilke, O., Wiegner, K.; Jann, O., Brödner, D., Scheffer, H. (2012): Emissionsverhalten von Holz und Holzwerkstoffen. UBA-Forschungsbericht 001-580 der BAM Bundesanstalt für Materialforschung und prüfung. Hrsg. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

URL: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4262.pdf>

Abruf am 17.09.2020)

## 13.2 Tabellen

Tabelle 1: Vergleich der Innenraumrichtwerte RW II und RW I und der NIK-Werte zu diesen Substanzen. (Die Holzwerkstoff-assoziierten Substanzen sind fett gedruckt.) .....	9
Tabelle 2: Ergebnisse der Emissionsprüfungen von OSB-Platten.....	22
Tabelle 3: Vergleich der Raumluftkonzentrationen für Formaldehyd, Lindan und PCP in Fertighäusern von "OKAL" (mehr Spanplatte) und "STREIF" (auch Gipskarton) .....	37
Tabelle 4: Rechnerisch ermittelte Wirksamkeit von Gipskartonplatten als Abschottung auf die Emission von Holzwerkstoffen .....	38
Tabelle 5: Entwicklung von Immissionskonzentrationen im Objekt „Krippe“ in der Zeit von September 2014 bis Juli 2020 .....	39
Tabelle 6: VOC-Messungen in einem Holzmodulgebäude über zwei Jahre, ungelüfteter Zustand. ....	41
Tabelle 7: Prozentuale Abnahme der Leitsubstanz-Gruppen innerhalb eines Jahres mit nutzungsüblichem Schulbetrieb. ....	41
Tabelle 8: VOC-Messungen in einem Holzmodulgebäude über zwei Jahre, gelüfteter Zustand .....	42
Tabelle 9: Ergebnisse der Prüfkammer- und Raumluftuntersuchungen für ausgewählte VOC. ....	45
Tabelle 10: Emissions- und Immissionsdaten für ausgewählte VOC in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . ....	50
Tabelle 11: Emissions- und Immissionsdaten für ausgewählte VOC in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die Kammerluftkonzentrationen wurden auf die jeweilige flächenspezifische Belüftungsrate entsprechend der Anwendung umgerechnet. $q = 0,36 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ für Wand und Decke, $q = 1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ für den Fußboden. ....	52
Tabelle 12: Raumluftkonzentrationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für ausgewählte Summenwerte in einem Büroraum mit OSB-Platten im Wandaufbau im zeitlichen Verlauf.....	55
Tabelle 13: Raumluftkonzentrationen für ausgewählte VOC in einem Büroraum mit OSB-Platten im Wandaufbau .....	56
Tabelle 14: Kammerluftkonzentrationen für ausgewählte VOC nach 3 Tagen Kammerprüfdauer.....	58
Tabelle 15: Lüftungseffekt durch „nutzungsübliches“ Lüften. ....	60
Tabelle 16: Daten der Abklingfunktionen nach Wilke et al (2012). ....	74

### 13.3 Abbildungen

Abbildung 1: Ermittelte Ameisen- und Essigsäurekonzentrationen in Abhängigkeit von Sammelmedien während Prüfkammeruntersuchungen von Bauprodukten. Aus Schieweck et al. (2018).....	13
Abbildung 2: Perzentilwerte für $\alpha$ -Pinen.....	31
Abbildung 3: Perzentilwerte für Formaldehyd .....	31
Abbildung 4: Perzentilwerte für Hexanal .....	32
Abbildung 5: Perzentilwerte für Essigsäure .....	33
Abbildung 6: Monatsmittelwerte MW der Raumlufkonzentrationen von Formaldehyd aus „Fertighäusern“ der Baujahre 1970 bis 1980, Probenahme in 2016 bis 2019, n = 853 Messungen .....	34
Abbildung 7: Monatsmittelwerte MW der Raumlufkonzentrationen von Essigsäure aus „Fertighäusern“ der Baujahre 1970 bis 1980, Probenahme in 2016 bis 2019, n = 289 Messungen; Anreicherung über Silicagel .....	35
Abbildung 8: Monatsmittelwerte MW der Raumlufkonzentrationen von Ameisensäure aus „Fertighäusern“ der Baujahre 1970 bis 1980, Probenahme in 2016 bis 2019, n = 290 Messungen, Anreicherung über Silicagel .....	36
Abbildung 9: Vergleich der Immission mit der OSB-Emission; Kammerprüfung nach DIN EN ISO 16000-9:2008-04, Prüfkammerluft nach 3 Tagen. Die Platten wurden Anfang 2014 produziert, in 09/2015 aus dem Gebäude entnommen und Anfang Oktober 2015 in der Prüfkammer geprüft. ....	40
Abbildung 10: Errichtung der Aufstockung auf dem vorhandenen Flachdach .....	47
Abbildung 11: Herstellung des Fußboden-Unterbodens mit OSB-Platten .....	47
Abbildung 12: Errichtung der Innen- und Außenwände in Holzrahmenbauweise mit innen- und außenseitiger OSB-Beplankung.....	48
Abbildung 13: Herstellung des Dachaufbaus mit Holzbalken .....	48



### 13.4 Verwendete Abkürzungen

ABG	Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich des Gesundheitsschutzes
AG	Auftraggeber
AgBB	Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten
AGÖF	Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute
AIR	Ausschuss für Innenraumrichtwerte
AOLG	Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden
BG	Bestimmungsgrenze
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung
DNPH	2,4-Dinitrophenylhydrazin, dient als Nachweisreagenz für Carbonyle
ECA	European Collaborative Action
EN	Europäische Norm
EU	Europäische Union
FID	Flammenionisationsdetektor
FKZ	Förderkennzeichen
GC	Gaschromatographie
GM	Geometrischer Mittelwert
HPLC	Hochdruckflüssigkeitschromatographie (High Pressure Liquid Chromatographie)
IRK	Innenraumlufthygiene-Kommission
ISO	Internationale Organisation für Normung
Kat.	Kategorie
L	Beladung in [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]
LA	Lüftungsanlage
LDS	Lösemitteldesorption
LW	Luftwechsel
LWR	Luftwechselrate
Max	Maximum
Min	Minimum
MS	Massenselektiver Detektor
MUF	Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz
MUPF	Melamin-Harnstoff-Phenol-Formaldehydharz
MW	Arithmetischer Mittelwert
MVV	Muster-Verwaltungsvorschrift
N	Stichprobenumfang
n	Luftwechsel [/h]
NG	Nachweisgrenze
NIK	Niedrigste interessierende Konzentration
OSB	Platte aus ausgerichteten Spänen (Oriented Strand Board)
P	Perzentil, statistische Kenngröße, die den Wert angibt, der von der genannten Prozentzahl der Werte unterschritten wird
PMDI	Polymeres Diphenylmethandiisocyanat

q	flächenspezifische Lüftungsrate in [m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )]
R-Wert	Gefahrenindex zur Beurteilung kombinatorischer Effekte, Summe der Quotienten von Konzentration und NIK-Wert
RW	Richtwert
S	Summe
SVOC	Schwerflüchtige organische Verbindungen (semi-volatile organic compounds) (> C <sub>16</sub> – C <sub>22</sub> )
TB	Technische Baubestimmungen
TD	Thermodesorption
TD/MS	Thermodesorption mit massenselektiver Detektion
TSVOC	Summe aller Einzelstoffe ≥ 5µg/m <sup>3</sup> im Retentionsbereich >C <sub>16</sub> –C <sub>22</sub> (gemäß AgBB)
TVOC	Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (Total Volatile Organic Compounds) berechnet nach der Definition durch den AgBB (TVOC <sub>spez</sub> ) bzw. Ad-Hoc-Arbeitsgruppe IRK/AOLG aus der Summe der identifizierten und nicht identifizierten Verbindungen im Bereich C <sub>6</sub> – C <sub>16</sub>
TVOCspez	Summe der flüchtigen organischen Verbindungen berechnet aus der Summe der Konzentrationen der substanzspezifisch quantifizierten Zielverbindungen (NIK-Stoffe) sowie der über das Toluoläquivalent quantifizierten nicht identifizierten und nicht-Zielverbindungen mit jeweils einer Konzentration ab 5 µg/m <sup>3</sup> (gemäß AgBB)
TVOC Toluol	Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (Total Volatile Organic Compounds) berechnet als Toluoläquivalent der Fläche des Chromatogramms im Bereich C <sub>6</sub> – C <sub>16</sub>
UBA	Umweltbundesamt
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VOC	Flüchtige organische Verbindungen (Volatile Organic Compounds)
VVOC	Einzelstoffe im Retentionsbereich < C <sub>6</sub> (Very Volatile Organic Compounds)