

WOHNEN UND LEBEN MIT HOLZ

Einfluss von Holzemissionen
auf die Wohngesundheit



NATURBAUSTOFFE

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

IMPRESSUM

Herausgeber

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
OT Gülzow, Hofplatz 1
18276 Gülzow-Prüzen
Tel.: 03843/6930-0
Fax: 03843/6930-102
info@fnr.de
www.fnr.de

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Redaktion

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR),
Abteilung Öffentlichkeitsarbeit

Autoren

Ahmed Al Samarraie, Geschäftsführer OeConsulting; Dr. Richard Gminski, Universitätsklinikum
Freiburg, Institut für Infektionsprävention und Krankenhaushygiene (IuK); Dr. Martin Ohlmeyer,
Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Holzforschung; Dr. Nina Ritter, Fraunhofer-Institut
für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Holzwerkstoff- und Naturfaser-Technologien (HNT);
Dr. Alexandra Schieweck, Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI),
Materialanalytik und Innenluftchemie; Karl-Heinz Weinisch, Institut für Qualitätsmanagement und
Umfeldhygiene, Geschäftsführer IQUH GmbH
Für den Inhalt sind ausschließlich die Autoren verantwortlich.

Bilder

Titel: visualspace/iStockphoto, Seite 4+5: contrastwerkstatt/Adobe.Stock,
Seite 22+23: drubig-photo/Adobe.Stock, Seite 36+37: tontectonix/Adobe.Stock

Gestaltung/Realisierung

www.tangram.de, Rostock

Druck

www.mkl-druck.de, Ostbevern

Gedruckt auf 100% Recyclingpapier mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 1.163

1. Auflage

FNR 2021

WOHNEN UND LEBEN MIT HOLZ

Einfluss von Holzemissionen
auf die Wohngesundheit



VORWORT

Sehr geehrte Damen und Herren,
die Verwendung von Holz als Baustoff ist mit einem enormen Klimaschutzpotenzial verbunden. Holz steht aus heimischen und nachhaltig bewirtschafteten Wäldern in ausreichendem Maß zur Verfügung und ist vielseitig einsetzbar. Der erneuerbare Baustoff nimmt zudem aufgrund seiner regulierenden hygroskopischen Wirkung positiven Einfluss auf das Raumklima. Hinzu kommen die optischen und haptischen Eigenschaften von Holz, die eine warme und naturnahe Wohnatmosphäre schaffen.

Neben der Baustoffwahl ist auch die Energieeffizienz von Gebäuden ein tragender Pfeiler zur Erreichung der Klimaschutzziele. Der Trend zu immer energieeffizienteren Gebäuden hat allerdings seinen Preis – die durchschnittliche Luftwechselrate in Innenräumen nimmt ab. Dadurch können sich flüchtige organische Verbindungen, sogenannte VOC (Volatile Organic Compounds), in Innenräumen leichter anreichern. Holz weist als natürlicher Baustoff typische Emissionen wie Terpene, Aldehyde und Carbonsäuren auf. Sie sind verantwortlich für den charakteristischen und zumeist als angenehm empfundenen Geruch des Holzes. Verschiedene Faktoren beeinflussen die Zusammensetzung und Höhe der VOC-Konzentrationen in Innenräumen – so kann beispielsweise das Lüftungsverhalten die Raumluftqualität entscheidend beeinflussen. Die Emission der flüchtigen organischen Verbindungen aus verbauten Holzprodukten nimmt zudem mit der Zeit ab.

Um die Komplexität der VOC-Thematik besser verstehen und wissenschaftlich belastbare Aussagen treffen zu können, förderte das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) im Rahmen des Förderschwerpunktes „Reduzierung bzw. Vermeidung von Emissionen aus Holz und Holzprodukten“ von 2015 bis 2019 eine Reihe von Forschungsprojekten. Die Projektkonsortien von zum Teil großen Verbänden untersuchten u. a. die Auswirkungen von Holzemissionen auf die Wohngesundheit und brachten neue Erkenntnisse zu deren Messung und Kontrolle (Sensorik). Die umfassenden Untersuchungen haben keine Hinweise geliefert, die auf eine Gefährdung der Gesundheit durch VOC-Emissionen aus Holzprodukten unter üblichen Einbaubedingungen hindeuten.



Die Broschüre fasst die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse aus diesen Projekten zusammen und gibt darüber hinaus einen umfassenden Überblick u. a. zu aktuellen Normen und Rahmenbedingungen, Messverfahren sowie weiterführenden Informationen.

Dem BMEL und der FNR ist es ein großes Anliegen, auch zukünftig die Förderung einer nachhaltigen und ressourceneffizienten Holzverwendung im Sinne der Ziele der Charta für Holz 2.0 voranzutreiben. Unter Berücksichtigung der spezifischen Eigenschaften von Holzprodukten ist dabei den Anforderungen und Standardisierungen in den Bereichen Bausicherheit, Hygiene, Gesundheit und Umwelt Rechnung zu tragen. Es sollte das Ziel sein, wissenschaftsbasierte, angemessene Rahmenbedingungen bei der Gewichtung der gesundheitlichen Bewertung von Holzbauprodukten zu schaffen.

Dr.-Ing. Andreas Schütte,
Geschäftsführer
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

INHALT

Holz als klimafreundlicher Baustoff	6
Innenraumluf – Qualität und Fremdstoffe in der Raumluf	7
Holz und VOC – Welche gibt es? Warum?	10
Emissionsverlauf und Abklingverhalten	12
Kurze geschichtliche Einordnung der Emissionen aus Holz	13
Anforderungen an Bauprodukte und die aktuelle Rechtslage	14
Rahmenbedingungen und VOC-Messungen	15
Bauvertragliche Pflichten und Rechtsfolgen	15
VOC-Baustoffbewertung versus VOC-Innenraumlufbewertung	15
Unterschiede in Prüf- und Bewertungsvorgaben	17
Raumluftrichtwerte	18
VOC-Freimessung bei Bauabnahme	19
Wie plant man gemäß den gesundheitlichen Anforderungen?	19
Erfolgreiche Hygiene- und Raumklimamaßnahmen zur Einhaltung der geforderten VOC-Raumluftrichtwerte – ein Best-Practice-Beispiel	20
Zusammenfassung	21
Forschungs- und Entwicklungsförderung des BMEL zur „Reduzierung bzw. Vermeidung von Emissionen aus Holz und Holzprodukten“	24
Projekt 1: GesundHOLZ: Gesundheitliche Bewertung von Emissionen aus Holz und Holzprodukten in Innenräumen mittels experimenteller toxikologischer Untersuchungen	26
Projekt 2: MC-VOC: Entwicklung einer Prüfmethode für die schnelle Bestimmung von VOC aus Holzprodukten zur frühzeitigen Ableitung des langfristigen Emissionsverhaltens und Qualitätskontrolle bei der Herstellung von Holzwerkstoffen	28
Projekt 3: HolnRaLu: Erarbeiten eines objektiven Verfahrens unter Berücksichtigung der Besonderheiten von Holz und Holzwerkstoffen bei der Bewertung ihres Einflusses auf die Innenraumlufqualität	30
Projekt 4: Identifikation und Verminderung der geruchsrelevanten Stoffe von Bauprodukten auf Basis von Holz und anderen nachwachsenden Rohstoffen für Anwendungen im Innenraum	32
Projekt 5: Evaluierung der Emissionen von sehr flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) aus Holz und Holzprodukten zur Bewertung gesundheitlicher Auswirkungen – Entwicklung von Reduzierungsansätzen unter Berücksichtigung realer Innenraumbedingungen	34
FAQ	38
Tipps und weiterführende Informationen	40
Empfehlungen für den Einkauf von Bauprodukten am Beispiel öffentlicher Bauvorhaben	40
Anhang	41
Abkürzungsverzeichnis	41
Glossar (Auswahl)	43
Literatur	44



Nachhaltige Holzverwendung
schützt das Klima.



Der typische Holzgeruch wird
als wohltuend empfunden.



Holz ist nachwachsend und
vielseitig einsetzbar.



Waldspaziergänge fördern
die Gesundheit.



Holz wirkt antibakteriell.



Holz strahlt Wärme und
Lebendigkeit aus.



HOLZ ALS KLIMAFREUNDLICHER BAUSTOFF

Die Nutzung des nachwachsenden Rohstoffes Holz leistet einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz. Während der Wachstumsphase von Bäumen wird der Atmosphäre das klimawirksame Gas Kohlenstoffdioxid (CO₂) entzogen und Kohlenstoff im Holz gebunden. Bei einer anschließenden stofflichen Verwendung in Form von langlebigen Holzprodukten, z.B. im Holzbau, kann der gebundene Kohlenstoff über viele Jahre gespeichert werden. Im besten Fall ersetzen Holzprodukte dabei Materialien mit einer vergleichsweise nachteiligen Ökobilanz.

Die Verwendung nachwachsender Rohstoffe im Bauwesen, insbesondere die von Holz, ist etabliert und hat einen hohen Fertigungsgrad sowie Qualitätsstandard erreicht. Veränderungen beeinflussender Rahmenbedingungen sowie gestiegene Anforderungen an die gesundheitliche Bewertung von Baustoffen erfordern eine stetige Überprüfung und Weiterentwicklung der Produkte und Herstellungsverfahren hinsichtlich der Reduzierung bzw. Vermeidung von Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen.

Das Grundverständnis und ein korrekter Umgang mit Begriffen wie Wohngesundheit, Emissionsrichtwerte, allergenfreies bzw. emissionsfreies Bauen sind für die Planer, Bewohner, Investoren und Holzbauer gleichermaßen von Bedeutung. Die folgenden Kapitel sollen zu diesem Verständnis beitragen.

DAS SPRICHT FÜR DEN HOLZBAU

- Holz ersetzt begrenzt vorhandene Ressourcen und energieintensive Baustoffe. Zudem leistet der Einsatz von Holzprodukten durch langfristige Speicherung von CO₂ einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz.
- Im Holzbau verbinden sich digitale High-Tech-Konstruktionsmethoden sinnvoll und effizient mit der handwerklichen Erfahrung von Generationen.
- Neu- und Ausbauten mit Holz können in der Werkhalle trocken, millimetergenau und qualitätsgesichert vorgefertigt und vor Ort in kürzester Zeit aufgerichtet werden.
- Moderne und anpassungsfähige Systembauweisen mit Holz erlauben es, Baukosten im Griff zu behalten und zu senken. Auf diese Weise kann Bauen mit Holz Zeit und Geld sparen.
- Holzbauten sind brandsicher und sorgen für gute Schalldämmung.
- Das Bauen mit Holz ermöglicht schlanke, wärme gedämmte Wandaufbauten. So entstehen nachhaltige Gebäude mit geringem Energieverbrauch in Bau und Betrieb.
- Aufgrund des geringen Eigengewichts eignet sich der Baustoff Holz für Aufstockungen, die im Zuge von Nachverdichtungen im kommunalen Bereich zum Tragen kommen.
- Mit intelligenten Systembauweisen kann der Heizenergiebedarf gesenkt werden.



© O+M ARCHITECTEN/C. Börner

Seehäuser Usedom – Teilnehmer HolzbauPlus 2018

INNENRAUMLUFT – QUALITÄT UND FREMDSTOFFE IN DER RAUMLUFT

Autor: Dr. Martin Ohlmeyer, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Holzforschung

In Industrieländern verbringen Menschen etwa 80 bis 90% ihrer Zeit in Innenräumen. Die Qualität der Innenraumluft ist somit von besonderem Interesse.

Das Wohlbefinden in Innenräumen kann durch physikalische, chemische, biologische und psychologische Faktoren beeinflusst werden (Tabelle 1). Werden einzelne oder eine Kombination der genannten Faktoren in einem Raum als belastend wahrgenommen, können Beschwerden oder Krankheitsbilder („Sick-Building-Syndrom“ – SBS, „Building-Related-Illness“ – BRI) beim Raumnutzer auftreten. Um diese zu vermeiden, sind bisher eine Reihe von Empfehlungen für die Innenraumluftqualität („Indoor Air Quality“ – IAQ) erarbeitet worden.

TABELLE 1: EINFLUSSFAKTOREN AUF DAS BEFINDEN IN INNENRÄUMEN (BMU¹ 2005)

physikalische	chemische	biologische	psychologische
Temperatur	Partikel/ Stäube	Pilze	Psyche
Luftfeuchte	Luftfeuchte	Bakterien	Irritation
Luftwechsel	Gase	Bioeffluentien	
Beleuchtung	Dämpfe	Exkrememente	
Schall	Aerosole	Pollen	
Ionen	Biozide		
	Gerüche		

Im Hinblick auf das Innenraumklima haben sich die physikalischen Faktoren für einen Komfortbereich etabliert, in dem sich der Mensch üblicherweise wohlfühlt: Die Temperatur sollte in einem Bereich zwischen 18°C und 24°C und die relative Luftfeuchte zwischen 40 und 70% liegen. Eine Luftwechselrate zwischen 0,5 und 1 je Stunde und eine Luftgeschwindigkeit (Zugluft) von 0,1 bis 0,3 m/s wird allgemein als angenehm empfunden. Auch hinsichtlich der Beleuchtungsstärke existieren Empfehlungen für den Wohnbereich, die sich an den Vorgaben für die Beleuchtung von Arbeitsstätten gemäß DIN EN 12464 Teil 1² orientieren.

Für chemische Faktoren wurden bereits eine Reihe von Richt- und Leitwerten festgelegt. Durch den Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR), der sich aus Fachleuten der Gesundheitsbehörden zusammensetzt und am Umweltbundesamt (UBA) angesiedelt ist, werden diese erarbeitet und im Bundesgesundheitsblatt veröffentlicht. Für Feinstaub wurde ein Leitwert von 25 µg PM_{2,5}/m³ festgelegt. Als hygienisch unbedenklich gilt der Leitwert für Kohlendioxid (CO₂) von unter 1.000 ppm, zwischen 1.000 ppm und 2.000 ppm ist der Innenraum hygienisch auffällig und darüber hinaus inakzeptabel. Für kanzerogene Substanzen existieren risikobezogene Leitwerte, anhand derer die Expositions-Risikobeziehung ermittelt werden kann.

TVOC-Konzentrationen beschreiben die Summe aller flüchtigen organischen Verbindungen in der Innenraumluft, die anhand eines Leitwertkonzeptes eine hygienische Bewertung ermöglichen (Tabelle 2), ein eindeutiger Bezug zu gesundheitlichen Wirkungen der TVOC-Werte ist nicht generell ableitbar. Die TVOC-Leitwerte bieten somit eine Möglichkeit zur Einschätzung der Gesamtsituation, lassen aber keine Einschätzung zu gesundheitlichen Gefährdungen zu. Auf Basis der TVOC-Konzentration können weitere Betrachtungen hinsichtlich der Einzelstoffe bzw. deren Quelle angestellt werden.

TABELLE 2: VORSCHLAG DES UBA ZU LEITWERTEN FÜR TVOC IN DER INNENRAUMLUFT (UBA³ 2007)

Stufe	Konzentrationsbereich in mg TVOC/m ³	hygienische Bewertung
1	≤ 0,30	hygienisch unbedenklich
2	0,30–1,0	hygienisch noch unbedenklich, sofern keine Richtwertüberschreitung für Einzelstoffe bzw. Stoffgruppen vorliegen
3	1,0–3,0	hygienisch auffällig
4	3,0–10	hygienisch bedenklich
5	> 10	hygienisch inakzeptabel

1 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: „Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen – Ausgewählte Handlungsschwerpunkte aus Sicht des BMU“, siehe www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4031/dokumente/bmu_bericht_innenraumluft_2005.pdf.

2 DIN EN 12464-1, Ausgabedatum 2011-08; Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Deutsche Fassung EN 12464-1:2011.

3 Umweltbundesamt: „Leitwerte für TVOC in der Innenraumluft“, siehe www.umweltbundesamt.de/bild/leitwerte-fuer-tvoc-in-der-innenraumluft.

Richtwerte werden durch den AIR auf Basis des toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisstandes für Einzelstoffe oder Stoffgruppen erarbeitet. Die Basis zur Ableitung des Richtwertes II (RW II) bildet die in der wissenschaftlichen Literatur beschriebene Wirkungsschwelle, bei der eine nachteilige Wirkung beobachtet wurde.

Unter Verwendung verschiedener Sicherheitsfaktoren (z. B. zur Berücksichtigung von empfindlichen Personengruppen) wird aus dieser Wirkungsschwelle der RW II abgeleitet. Ab dem Überschreiten dieses Richtwertes werden unmittelbare Maßnahmen empfohlen, weil davon ausgegangen wird, dass empfindliche Personen im Daueraufenthalt bereits gesundheitliche Beeinträchtigungen haben können.

Um den Faktor 10 geringer ist i. d. R. der Richtwert I (RW I). Wird dieser unterschritten, kann davon ausgegangen werden, dass selbst bei lebenslanger Exposition keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist.

Liegt die Konzentration für eine Substanz im Innenraum zwischen diesen beiden Richtwerten, sollten aus Vorsorgegründen technische, bauliche oder organisatorische Maßnahmen ergriffen werden, um die Konzentrationen zu reduzieren. Bisher wurden durch den AIR nach diesem Konzept 51 Substanzen bzw. Substanzgruppen betrachtet.

Ein wichtiger biologischer Faktor, der das Befinden in Innenräumen beeinflusst, sind Schimmelpilze. Für diesen Parameter existiert ein Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden (UBA 2017)⁴, da die Rahmenbedingungen und Anforderungen für ein einfaches Zielkonzept zu umfangreich wären.

Ein vergleichbares Konzept für Empfehlungen oder Richtwerte für psychologische Faktoren ist nicht etabliert.

Anhand von Leit- und Richtwertbetrachtungen kann die individuelle hygienische Belastung durch die o. g. chemischen Faktoren in Innenräumen bewertet werden. Möchte man aber die Einflussfaktoren auf die gesundheitlichen Auswirkungen des Wohnumfeldes für die Gesellschaft betrachten, muss eine andere Herangehensweise gewählt werden: Das DALY-Konzept (disability or disease-adjusted life years) beschreibt die Bedeutung verschiedener Krankheiten für die Gesellschaft. Die Krankheitslast wird anhand der Maßeinheit DALY gemessen. Ein DALY entspricht einem verlorenen, gesunden Lebensjahr.

In Europa (EU-26)⁵ beträgt die gesamte Krankheitslast, die auf die IAQ zurückgeführt werden kann, etwa 2 Millionen DALY, d. h. es gehen insgesamt zwei Millionen gesunde Lebensjahre jährlich verloren. Dies macht etwa 3 % der gesamten

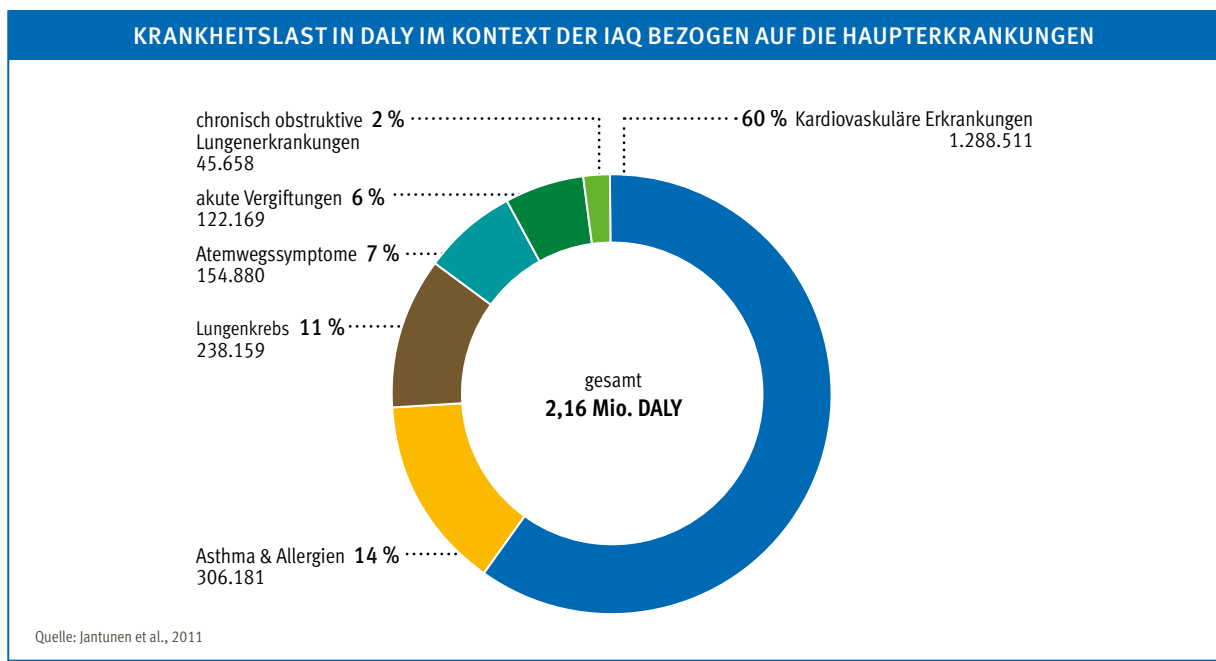


Abbildung 1: Krankheitslast im Kontext der IAQ bezogen auf die Haupterkrankungen

4 Umweltbundesamt: „Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden“, siehe www.umweltbundesamt.de/www.umweltbundesamt.de/schimmelleitfaden.

5 Ausgenommen Malta (EU-27), da keine Daten zur Verfügung standen.

Krankheitslast in Europa aus. Eine Studie hat diese Krankheitslasten im Kontext der Innenraumluftqualität (IAQ) für die Generaldirektion Gesundheit der Europäischen Kommission ermittelt (Jantunen et al., 2011): Die Hauptlast der Erkrankungen sind demnach in Europa kardiovaskuläre Erkrankungen (60%), Asthma (14%) und Lungenkrebs (11%) (Abbildung 1). Diese gehen von Verbrennungspartikeln (66%), Gebäudefeuchtigkeit (10%), Bio-Aerosolen (8%) und

Radon (8%) als vornehmliche Expositionssubstanzen aus. VOC haben mit einem Anteil von 1,3% in dieser Kategorie einen geringen Stellenwert (Abbildung 2). Die Hauptquellen der Exposition sind Außenluftqualität (67%), Heizungs- und Verbrennungsanlagen (14%) und Leckagen in Wassersystemen sowie Kondensation (10%). Baumaterialien (0,2%) haben in dieser Kategorie den geringsten Stellenwert aller betrachteten Parameter an der gesamten Last (Abbildung 3)

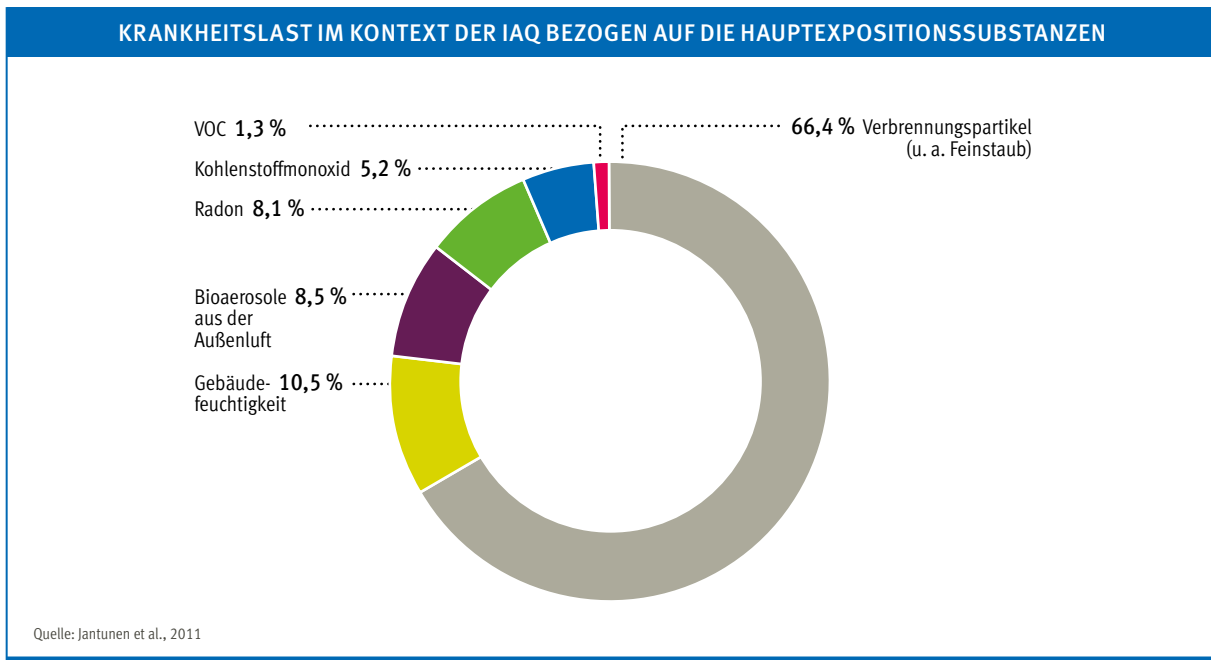


Abbildung 2: Krankheitslast im Kontext der IAQ bezogen auf die Hauptexpositionssubstanzen

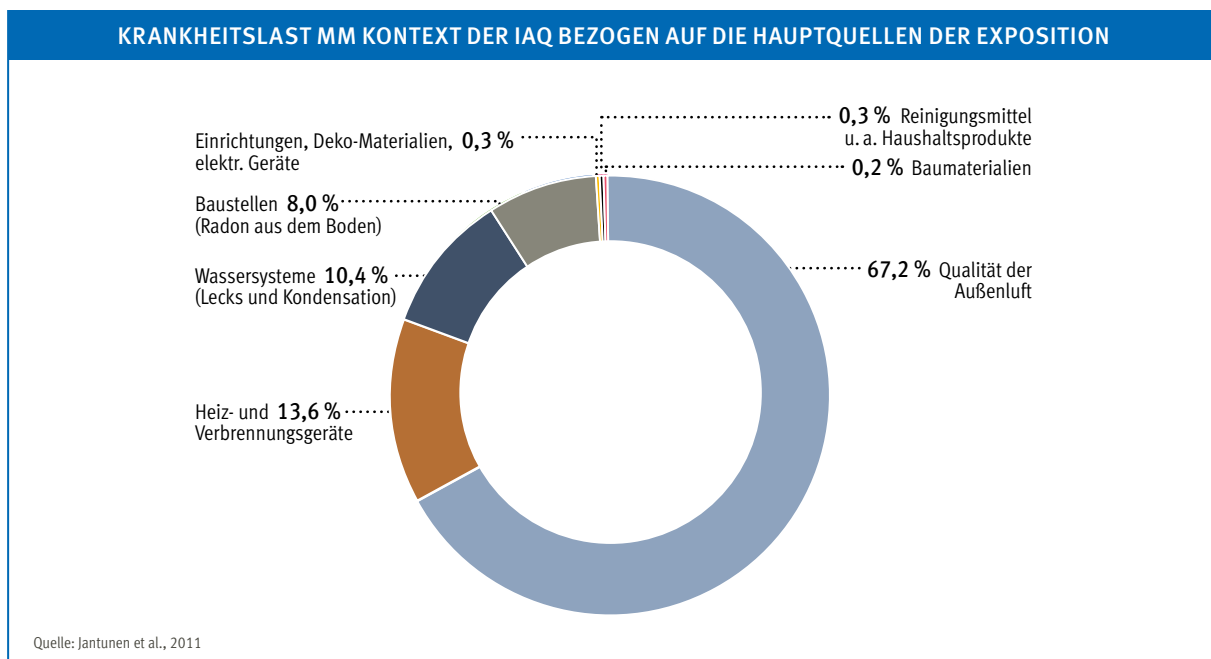


Abbildung 3: Krankheitslast im Kontext der IAQ bezogen auf die Hauptquellen der Exposition

HOLZ UND VOC – WELCHE GIBT ES? WARUM?

Autor: Dr. Martin Ohlmeyer, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Holzforschung

Holz als organisches Naturprodukt enthält eine Vielzahl an organischen Verbindungen, die aufgrund ihres hohen Dampfdrucks bei Raumtemperatur flüchtig sein können. Diese Substanzen sind als Emissionen messbar und zum Teil auch geruchlich wahrnehmbar. Sie sind damit verantwortlich für den typischen Eigengeruch des jeweiligen Holzes.

Hölzer können eine sehr unterschiedliche Zusammensetzung an flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) aufweisen: Viele Holzarten haben akzessorische Inhaltsstoffe, die frei im Holz vorliegen (Extraktstoffe). In nennenswerten Mengen werden diese, insbesondere in den Nadelhölzern, z. B. als Harz gefunden. Substanzen dieser Extraktstoffe mit einem hohen Dampfdruck können direkt an die Umgebungsluft abgegeben werden (Primäremissionen). Bei Nadelhölzern haben hierbei Terpene die größte Bedeutung, wobei die Substanzen α -Pinen, 3-Caren, β -Pinen, Terpinolen und andere auftreten können. Terpene fungieren als Abwehrstoffe gegen holzabbauende Organismen, die von vielen Nadelhölzern im Kernholz oder fakultativ im Bedarfsfall eingelagert werden. Die Emissionshöhe ist in erster Linie von dem Gehalt dieser Extraktstoffe abhängig, der in Abhängigkeit von der Baumart variiert. So hat das Kernholz der Kiefer üblicherweise höhere Emissionen als ihr Splintholz und auch als das Holz der Fichte.

Neben den Terpenen finden sich als Holzemissionen oft gesättigte und ungesättigte Aldehyde, hierbei sind Hexanal (neben anderen) sowie 2-Octenal die bedeutendsten Vertreter. Diese sind kein eigentlicher Holzbestandteil – sie sind nicht aus dem Holz extrahierbar. Sie bilden sich aufgrund von Autoxidationsprozessen aus ungesättigten Fettsäuren und deren Estern und werden daher als Sekundäremissionen bezeichnet. Aldehyde treten in den Emissionen von Hölzern auf, die nennenswerte Mengen von Fettsäuren beinhalten, die als Speicherstoffe vom Baum eingelagert werden können. Insbesondere die Kiefer und Birke sind Baumarten, in denen größere Mengen an Fetten gebildet werden. Daher weisen die Emissionen dieser Hölzer häufig Aldehyde auf.

Holz setzt auch Formaldehyd in sehr geringen Konzentrationen (im ppb-Bereich) frei. Diese Substanz kommt im Holz sowie in allen organischen Materialien und Lebewesen als Stoffwechselprodukt vor. Im Holz kann es zudem aus den Gerüstsubstanzen (Cellulose, Hemicellulosen und Lignin) abgespalten und dadurch gebildet werden.



Holz weist als natürlicher Baustoff typische Emissionen wie Terpene, Aldehyde und Carbonsäuren auf

Eine weitere bedeutende Gruppe der Sekundäremissionen sind die organischen Säuren, deren bedeutendste Vertreterin die Essigsäure ist. Sie wird im Holz in Gegenwart von Wasser infolge der Hydrolyse von Acetylgruppen der Hemicellulosen gebildet. Nadelhölzer haben i. d. R. einen geringeren Acetylgruppengehalt als die meisten Laubhölzer, daher sind die Essigsäureemissionen von Laubhölzern, insbesondere der Buche, Birke und Eiche, zumeist höher als die von Fichte oder Kiefer. Da die Hydrolyse insbesondere von der Temperatur und Feuchte abhängig ist, können auch Hölzer mit einem geringen Acetylgruppengehalt höhere Säureemissionen aufweisen, wenn sie z. B. bei der Verarbeitung erhöhten Temperaturen ausgesetzt waren.

Darüber hinaus können auch noch weitere unterschiedliche Substanzgruppen oder Einzelstoffe gefunden werden, die hier nicht weiter aufgeführt werden sollen, weil sie entweder sehr spezifisch oder nur in geringen Konzentrationen auftreten.

Diese Zusammenhänge haben bei der Herstellung von Holzwerk- und Faserstoffen eine wichtige Bedeutung: Grundsätzlich emittieren Holzwerkstoffe die gleichen Substanzen, die auch von dem Holz freigesetzt werden, aus dem sie hergestellt sind. Allerdings können sich die Zusammensetzung und Verhältnisse verändern.

Die Holzwerkstoffherstellung ist dadurch charakterisiert, dass das Ausgangsmaterial zerkleinert und getrocknet wird. Unter Zugabe von Bindemitteln (um 12% oder weniger) werden diese Partikel heiß zu Platten verpresst. Dies führt bei Spanplatten und OSB dazu, dass die Terpenemissionen geringer sind als vom Ausgangs-Nadelholz. Werden aber fettreiche Hölzer für diese Produkte verwendet, dann kann es zu vorübergehend höheren Aldehydemissionen als vom Ausgangsmaterial kommen, weil der Oxidationsprozess unter diesen Bedingungen schneller stattfinden kann. Die Verarbeitungstemperatur führt i. d. R. zu höheren Säureemissionen. Insbesondere bei Faserplatten (Dämmstoffe) und -platten (MDF) kann dies ausgeprägt sein, weil das Holz unter hoher Feuchte, Temperatur und Druck aufgeschlossen wird.

Die Prozesstemperaturen können auch zu einer erhöhten Abspaltung von Formaldehyd führen. Allerdings sind die Formaldehyd-Emissionen auch von verarbeitetem Holz erheblich geringer als es die Grenzwerte erlauben. Erhöhte Formaldehydwerte sind nur dann messbar, wenn formaldehydhaltige Klebstoffsysteme zur Herstellung von Holzwerkstoffen verwendet werden.



Der Herstellungsprozess nimmt Einfluss auf das Emissionsverhalten von Holzwerkstoffen

Für ein allgemeines Verständnis zum Einfluss der Holzherkunft und der Wuchsbedingungen auf das Emissionsverhalten von Holz fehlen bisher systematische und umfassende Untersuchungen. Die Variabilität der Emissionshöhe und -zusammensetzung ist infolge der Differenziertheit des Materials weitestgehend unerforscht. Einzig die Unterscheidung zwischen verschiedenen Holzgeweben (Splint-/Kernholz, juveniles/adultes Holz, Holz mit/ohne Äste(n)) wurde näher untersucht. Bisherige Studien haben sich vermehrt damit auseinandergesetzt, welchen Einfluss einzelne Holzbearbeitungsschritte auf das Emissionsverhalten ausüben. Dabei wurden die Auswirkungen von verschiedenen Trocknungsverfahren, Lagerbedingungen, Holzmodifizierungen sowie Oberflächenbehandlungen (Beschichtung, Lackierung, Lasierung) auf die VOC-Emissionen diskutiert. Diese Faktoren sind weitestgehend durch den Menschen beeinflussbar. Im Gegensatz dazu ist die Einflussnahme auf den Baum und dessen Holz nur sehr begrenzt möglich.

EMISSIONSVERLAUF UND ABKLINGVERHALTEN

Autor: Dr. Martin Ohlmeyer, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Holzforschung

Das Anfangsniveau von Primäremissionen ist maßgeblich vom Gehalt an flüchtigen Extraktstoffen des Holzes geprägt. Die Emissionshöhe an Terpenen der Fichte oder Kiefer wird somit bestimmt von deren Gehalt im Holz. Diese nehmen mit der Zeit deutlich ab. Nach der Prüfnorm werden die Emissionen von Bauprodukten über einen Zeitraum von 28 Tagen betrachtet, in diesem Zeitraum klingen sie um etwa 50% ab. Aber auch danach werden die Konzentrationen immer geringer: Langzeituntersuchungen an Kiefernholz zeigen, dass nach wenigen Monaten nur noch etwa 10% der Anfangsemissionen an Terpenen messbar sind.

Sekundäremissionen können sich unterschiedlich verhalten: Aldehyde, die von Holzwerkstoffen abgegeben werden können, resultieren aus der Oxidation der im Holz enthaltenen Fette. Diese Reaktion wird während der Herstellung vornehmlich durch die Verarbeitungstemperaturen induziert, sodass unmittelbar nach der Fertigung zunächst nur geringe Aldehydemissionen messbar sind. Im weiteren Verlauf der Prüfung steigen die Werte zunächst an, weil die Autoxidation abläuft und dabei die Aldehyde aus den ungesättigten Fettsäuren gebildet werden. Diese Reaktion ist nach einer gewissen Zeit (meist nach 20 bis 30 Tagen) weitestgehend abgeschlossen, sodass dann die Aldehydemissionen ihr Maximum erreichen und danach im weiteren zeitlichen Verlauf ebenfalls abklingen.

Wie bereits beschrieben, hängt die Emission von Essigsäure vom Acetylgruppengehalt des Holzes sowie der Temperatur unter Einwirkung von hohen Materialfeuchten beim Herstellungsprozess ab. Bei Spanplatten und OSB sind diese Bedingungen eher moderat, sodass die anfängliche Säureemission i. d. R. meist rasch abklingt. Bei faserbasierten Materialien und Sperrholz wird das Holz bei hoher Feuchte unterschiedlichen Prozesstemperaturen ausgesetzt, was häufig zu höherer Essigsäureabspaltung und somit entsprechenden Emissionen führt. Übersteigt der Essigsäuregehalt ein gewisses Maß, kann der Säuregehalt im Produkt so groß sein, dass die Hydrolyse der Acetylgruppen selbst bei Gebrauchsfeuchte und -temperatur weiter abläuft. In diesem Fall können bei Produkten selbst über sehr lange Zeiträume Sekundäremissionen in nennenswerten Konzentrationen gemessen werden.



Das Emissionsverhalten von Holz und Holzwerkstoffen unterscheidet sich



KURZE GESCHICHTLICHE EINORDNUNG DER EMISSIONEN AUS HOLZ

Autor: Ahmed Al Samarraie, OeConsulting

Die heutige Diskussion über Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen ist der Geschichte der die Raumluft belastenden Schadstoffe geschuldet, die ab den 1970er Jahren erstmalig in größerem Umfang thematisiert wurden. Allen voran Formaldehyd, welches schon 1855 entdeckt wurde und mit der Entwicklung der Harnstoff- und Phenolharze ab Beginn des 20. Jahrhunderts mit ansteigendem Bedarf Anwendung fand. Seit der Ölkrise Mitte der 1970er Jahre wurden die Baustandards stetig energetisch optimiert, was zu einer zunehmend höheren konstruktiven Luftdichtheit der Gebäudehülle führte. Hinzu kam ein aus heutiger Sicht falsch verstandener Holzschutz. Die flächendeckende Verwendung der sogenannten „Holzschutzmittel“, die meist hochdosierte Polychlorierte Biphenyle (PCB) oder die toxisch stark wirksamen Insektizide DDT und Lindan enthielten, führte insbesondere zu Nerven- und Leberschädigungen. So kam es sukzessive zu Verboten der Innenraumnutzung dieser Mittel, bis die EU aufgrund des Biozidrechts Holzschutzmittel mit o.g. Wirkstoffen verbot. Die EU-Verordnung Nr. 528/2012 regelt das Thema umfassend.⁶

Der seither ausschließlich von Pionieren des „baulichen Gesundheitsschutzes“ schon seit den 1980er Jahren propagierte konstruktive Holzschutz hat zu einer Umstellung auch innerhalb der Produktion von Werkstoffen aus Holz geführt. Rezepturen für Kleber, Dichtstoffe und Zuschlagstoffe wurden neugestaltet, um die stetig erhöhten Anforderungen an die Raumluft – auch durch die sich ebenfalls erhöhenden energetisch bedingten Anforderungen an die Luftdichtheit der Gebäude – zu erfüllen. Ab den 2000er Jahren wurden vermehrt Feinstäube, Schimmelpilzderivate, flüchtige organische Verbindungen (VOC) und „Gerüche“ in der Innenraumluft festgestellt, da oftmals der raumlufthygienisch notwendige Luftwechsel durch mangelnde Lüftung durch die Nutzer oder durch fehlende mechanische Lüftungsanlagen nicht erreicht wurde und dadurch Emissionen kumulierten.

Neu ist hierbei, dass auch natürlich vorkommende Emissionen aus nachwachsenden Rohstoffen, vornehmlich aus Holz, zu Schadstoffen erklärt wurden und nun bei den Emissionsmessungen meist in Form von Terpenen und Aldehyden nachgewiesen werden. Diese Stoffgruppen sind folglich in den Fokus gerückt, weil sie zum einen messbar wurden und zum anderen bei hohen, labortechnisch erzeugten Konzentrationen zu Reizungen und Wirkungen auf Organismen führen. Bei den in Gebäuden üblichen Emissionswerten konnten nega-

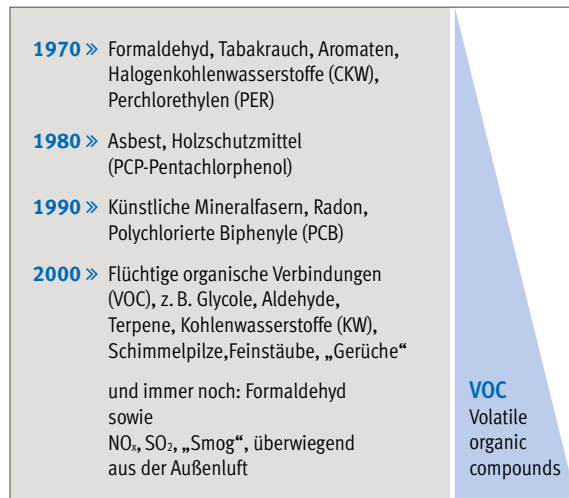


Abbildung 4: Geschichtliche Einordnung von Holzemissionen in Innenräumen

tive Wirkungen bisher nicht wissenschaftlich nachgewiesen werden. Die in Gebäuden üblichen Emissionswerte liegen stets um das Vielfache bis zum mehrere Hundertfachen unter den wissenschaftlich ermittelten Wirkungsgrenzen.

Eine europäische Studie (Jantunen et al., 2011) beschäftigte sich u. a. mit der Frage, mit welchen Anteilen unterschiedliche Emissionsquellen die Raumluft beeinflussen und zu welchen Krankheitsbildern dies anteilig führt. Dafür wurden zahlreiche Statistiken ausgewertet und Untersuchungsergebnisse analysiert (siehe auch Seite 8–9, Abbildung 1–3). Demnach sind VOC durchschnittlich nur mit geringem Anteil als Einflussfaktoren auf die Innenraumluftqualität beteiligt. Innerhalb der VOC muss aber differenziert werden. Bestimmte Stoffgruppen haben nachweislich gesundheitlich beeinflussende Wirkung auch bei niedrigen Dosierungen, wie z. B. Lösungsmittel in Farben oder in Reinigungsmitteln, andere erst bei hohen, bis sehr hohen in der Praxis irrelevanten Mengen. Im Gegensatz zu normiert hergestellten Produkten weisen natürliche Materialien wie Holz ungleiche und je nach Zeit- und Klimafaktoren sich verändernde Werte auf. Diese können von Baum zu Baum, vom Kernholz- zum Splintholzanteil und in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer und den umgebenden Klimafaktoren stark variieren. Dies macht die Einschätzung nicht einfach.

⁶ Verordnung (EU) Nr. 528/2012 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Mai 2012 über die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozidprodukten, siehe <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2012/528/oj/deu>.

ANFORDERUNGEN AN BAUPRODUKTE UND DIE AKTUELLE RECHTSLAGE

Autor: Ahmed Al Samarraie, OeConsulting

Ein erklärtes Ziel der Landesbauordnungen (LBO) und der EU-Bauprodukteverordnung ist es, die Gesundheit von Gebäudenutzenden zu schützen. Auch die Musterbauordnung (MBO)⁷, die den Landesbauordnungen als Grundlage dient, hat die Gesundheit im Blick: „Bauliche Anlagen sind so zu errichten und instand zu halten, dass Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden.“ (§ 3 MBO)⁸ Bauprodukte, mit denen Gebäude errichtet oder die in solche eingebaut werden, haben diese Anforderungen insbesondere in der Weise zu erfüllen, dass „durch chemische, physikalische oder biologische Einflüsse Gefahren oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen“ (§ 13 MBO). Landesbauordnungen sind Hauptbestandteil des Bauordnungsrechts und regeln die Anforderungen, die bei Bauvorhaben zu beachten sind. Da von baulichen Anlagen keine (Gesundheits-) Gefahr ausgehen darf, sind in diesem Sinne abgeleitete Richtwerte zur Gefahrenabwehr geeignet. Für die Ausführung von baulichen Anlagen sowie die Verwendung von Bauprodukten gelten in Deutschland die Bestimmungen der 16 Landesbauordnungen, die sich an den aktuellen Muster-Verwaltungsvorschriften Technische Baubestimmungen (MVV TB)⁹ orientieren. Diese konkretisieren allgemeine Anforderungen an bauliche Anlagen, Bauprodukte und andere Anlagen und Einrichtungen. Hier sind im Anhang 8 Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich des Gesundheitsschutzes (ABG)¹⁰ formuliert. Diese sind umzusetzen, indem für bestimmte Produkte (insbesondere Spanplatten und OSB) ein Prüfzeugnis erbracht werden muss. Die Prüfung ist dem Grunde nach der Emissionsnachweis gemäß dem AgBB-Schema (AgBB = Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten).

Dagegen wurde von Herstellen dieser Produkte u. a. vor dem Verwaltungsgerichtshof (VGH) Baden-Württemberg (BW) ein Normenkontrollverfahren angestrengt. Das Gericht hat die oben beschriebene Verwaltungsvorschrift in BW für Span- und OSB-Platten hinsichtlich der in ihrem Anhang 8 enthaltenen Anforderungen an die folgenden Parameter rechtskräftig

für unwirksam erklärt: die Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOCspez) und der Konzentrationen der schwerflüchtigen organischen Verbindungen (TSVOC), den nach einer Einzelstoffbewertung gebildeten (Summen)-R-Wert und die Mengenbegrenzung für nicht bewertbare VOC. Nach Ansicht des Gerichtes geht die Regelung der Verordnung insbesondere deswegen zu weit, weil durch die Anforderungen lediglich Risiken minimiert werden können und sollen. Die Ermächtigung der LBO erstreckt sich aber lediglich auf konkrete oder abstrakte Gefahren. Eine konkrete Gefahr liegt vor, wenn in dem zu beurteilenden konkreten Einzelfall in überschaubarer Zukunft mit dem Schadenseintritt hinreichend wahrscheinlich gerechnet werden kann; eine abstrakte Gefahr ist gegeben, wenn eine generell-abstrakte Betrachtung für bestimmte Arten von Verhaltensweisen oder Zuständen zu dem Ergebnis führt, dass mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ein Schaden im Einzelfall einzutreten pflegt und daher Anlass besteht, diese Gefahr mit generell-abstrakten Mitteln, also einem Rechtssatz zu bekämpfen.

Aufgrund des wissenschaftlichen Kenntnisstandes ist aber nicht erwiesen, dass von VOC-Emissionen aus Spanplatten und OSB eine solche konkrete oder abstrakte Gefahr ausgeht. Vielmehr konnte auch im Gerichtsverfahren nicht nachgewiesen werden, dass bei Überschreitung der geltenden VOC-Anforderungen eine so geartete Gefahr besteht.

Mit dieser Gerichtsentscheid ist in BW die Anwendung des Anhangs 8 der MVV TB außer Vollzug gesetzt worden. Auch in anderen Bundesländern ist die Aussetzung seitdem in Diskussion oder teilweise schon vollzogen (u. a. in Nordrhein-Westfalen und Thüringen). Entscheidend ist aber, dass bei der Bewertung von Produktemissionen im Rahmen des aktuellen Baurechts eine Gefährdung durch die Überschreitung von Grenzwerten nachgewiesen werden muss. Für die o. g. Summenwerte fehlt aber die wissenschaftliche Basis zur Begründung, diese existiert im Wesentlichen nur für einzelne Stoffe (z.B. Formaldehyd, siehe ChemVerbotsV¹¹).

⁷ Die AG Bauen mit Holz in Stadt und Land des Dialogprozesses Charta für Holz 2.0 veröffentlichte Empfehlungen zur einheitlichen Umsetzung der Musterbauordnung in Landesrecht. Die Empfehlungen sollen dabei unterstützen, die angestrebte Harmonisierung des Bauordnungsrechts in Bezug auf die Gleichstellung der Holzbauweise mit anderen Bauweisen auf Basis des Stands der Technik und des Wissens umzusetzen. Siehe auch www.charta-fuer-holz.de/fileadmin/charta-fuer-holz/dateien/aktivitaeten/Empfehlungen_Charta_AG_Bauen_zur_Umsetzung_MBO_in_Landesrecht.pdf.

⁸ Musterbauordnung in der Fassung vom 25.09.2020, siehe auch www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Rechtsgrundlagen/MBO_2019.pdf.

⁹ Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen in der Fassung von 19.01.2021, siehe auch www.eu-bauproduktenverordnung.de/resource/blob/249706/c7f259ca3fc3cae1d11d44222b717cce/mvv-tb-als-pdf-data.pdf.

¹⁰ Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich des Gesundheitsschutzes, siehe auch izw.baw.de/publikationen/tr-w/0/Anhang_8_MVV_TB.pdf.

¹¹ Chemikalien-Verbotsverordnung, siehe auch www.gesetze-im-internet.de/chemverbotsv_2017/.

RAHMENBEDINGUNGEN UND VOC-MESSUNGEN

Autor: Karl-Heinz Weinisch, IQUH GmbH

Konsumenten werden umwelt- und gesundheitsbewusster. Das wirkt sich auf die Zielvorstellungen der Bauwilligen, bezogen auf eine gesunde Wohnraumluft, aus. Vor allem bei öffentlichen Bauvorhaben wie Büro- und Verwaltungsgebäuden, Schulen und Kitas sind im Rahmen des baulichen Gesundheitsschutzes die Qualitätsansprüche an die Bauprodukte und die Raumluft schon im Werkvertrag definiert. Die Grundlage bildet hier der Erlass des Bundesbauministeriums zur Einführung des Leitfadens Nachhaltiges Bauen und die im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) definierten Anforderungen an und Ziele und Richtwerte für Bauprodukte. Da die VOC-Kontrollwerte bei der Bauabnahme vorgelegt werden müssen, lohnt es sich, die daraus resultierenden rechtsrelevanten Pflichten beim Bauen mit Holz und Holzwerkstoffen genauer anzusehen. Planer oder Bauunternehmer sind in der Pflicht und müssen die werkvertraglichen Anforderungen zum baulichen Gesundheitsschutz erfüllen. Sie müssen zudem berücksichtigen, dass Materialien nicht verarbeitet werden dürfen, wenn VOC-Emissionsprüfzertifikate fehlen. Es gibt für die Durchführung von Raumluftmessungen eine Reihe von Empfehlungen zur regel- und normgerechten Durchführung, damit die im Werkvertrag festgelegten und vom Umweltbundesamt (UBA) empfohlenen Zielwerte sicher eingehalten werden können.

Bauvertragliche Pflichten und Rechtsfolgen

Wird die Einhaltung der vom UBA empfohlenen Raumluftrichtwerte¹² werkvertraglich vereinbart, erlangen sie automatisch Grenzwertharakter und somit eine strenge rechtliche Verbindlichkeit. Auch die Güteanforderungen an schadstoffgeprüfte Baustoffe im Bauvertrag nehmen zu oder es wird die Verwendung von bestimmten Bauprodukten oder Holzarten wegen einer hohen Emissionserwartung untersagt.



Vorbereitung der Raumluftmessung

VOC-Baustoffbewertung versus VOC-Innenraumluftbewertung

Der Anhang 8 der Muster-Verwaltungsvorschrift mit dem Titel „ABG – Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich des Gesundheitsschutzes“ besagt, dass Bauprodukte mit Bezug zum Innenraum den Emissionsstandard nach AgBB (Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten) für flüchtige organische Verbindungen (VOC) erfüllen müssen.

Bei öffentlichen Ausschreibungen beispielsweise für Schulbauten oder Verwaltungsgebäude werden vermehrt Anforderungen an die Emissions- oder Gesundheitseigenschaften von Bauprodukten gestellt.

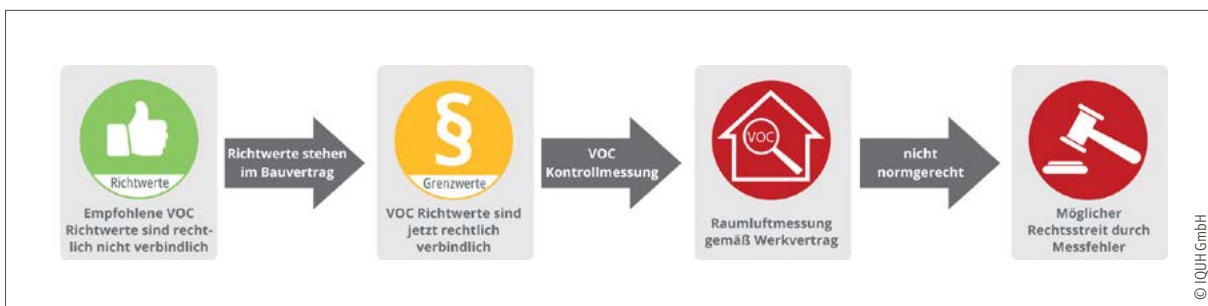


Abbildung 5: Bauvertragliche Pflichten und Rechtsfolgen

¹² Aktuelle Richtwerte vom Umweltbundesamt (UBA), siehe www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte-vormals-ad-hoc#ausschuss-fur-innenraumrichtwerte.

Die oberste technische Behörde im Baubereich für die Zulassung von nicht geregelten Bauprodukten und Bauarten ist das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt), das für die Grundsätze zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten in Innenräumen mit dem AgBB-Prüfschema¹³ verantwortlich ist. Das AgBB-Schema basiert auf den NIK-Werten (Niedrigste Interessierende Konzentration). Hierbei wird davon ausgegangen, dass unterhalb des NIK-Wertes

bei Langzeitexposition keine nachteiligen Gesundheitsauswirkungen zu befürchten sind. Bei der gesundheitlichen Gesamtbewertung der Bauproduktmissionen werden die jeweils gemessenen Einzelstoffkonzentrationen ins Verhältnis zu ihrem NIK-Wert gesetzt. Die so erhaltenen Quotienten dürfen in der Summe nicht ≤ 1 sein. NIK-Werte stellen Rechengrößen zur toxikologischen Wichtung eines Bauproduktes dar, sind aber nicht als Innenraumluftfrischwerte

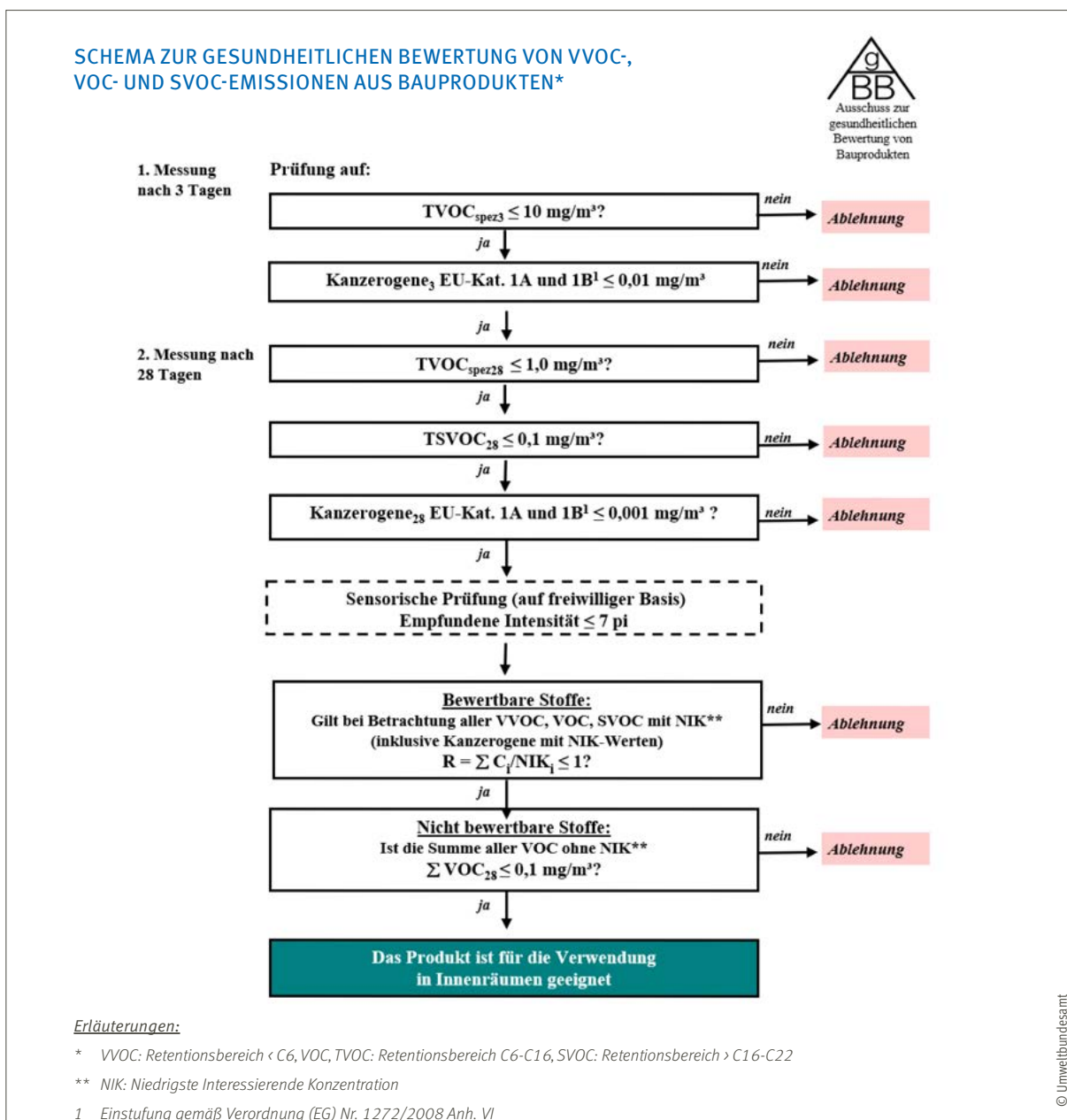


Abbildung 6: AgBB-Schema zur gesundheitlichen Bewertung von VVOC-, VOC- und SVOC-Emissionen aus Bauprodukten

¹³ Der Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) wurde im Jahr 1997 durch Beschlüsse der Gesundheitsministerkonferenz (GMK) und der Bauministerkonferenz (BMK) ins Leben gerufen. Er ist ein Gremium der Länderarbeitsgruppe „Umweltbezogener Gesundheitsschutz“ (LAUG) der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG). Der AgBB wird von den Gremien der Bauministerkonferenz (ARGEBAU) unterstützt. Im AgBB sind neben den Landesgesundheitsbehörden das Umweltbundesamt, das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt), die ARGEBAU, die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) und das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) vertreten.

zu verstehen. Freiwillige Umwelt- und Emissionsprüfzeichen wie der „Blaue Engel“ oder „natureplus“ basieren auf dem AgBB-Prüfschema. In der öffentlichen Beschaffung und bei privaten Bauvorhaben wird in Ausschreibungen immer öfter die Verwendung von emissionsarmen Produkten mit solchen Prüfzeichen festgeschrieben.

Unterschiede in Prüf- und Bewertungsvorgaben

Anders als bei VOC-Prüfungen im Labor gemäß AgBB für einzelne Baustoffzulassungen gelten für Realraummessungen andere Prüfrichtlinien¹⁴ und den Messwert beeinflussende Baustellenunsicherheiten. Der bei der Bauabnahme in neu erstellten Gebäuden gemessene VOC-Wert kann von vielerlei Einflussfaktoren abhängen, wie beispielsweise unzureichender Luftwechsel, Klimaextreme, Messfehler oder Kombinationswirkungen zwischen verschiedenen Bauprodukten durch Verarbeitungsfehler. Diese VOC fördernden Faktoren können vor Messungen mit entsprechenden Maßnahmen wie Erhöhung der Luftwechselraten, optimale Raumtemperierung und Vermeidung emissionsfördernder Arbeiten verringert werden. Gleichzeitig wird dadurch erfahrungsgemäß das Abklingverhalten vieler VOC beschleunigt. Besonders Beschichtungen, Dicht- und Klebstoffe, aber auch der Naturbaustoff Holz benötigen für eine „Emissionsberuhigung“ Zeit, Frischluftzufuhr und ein geeignetes Klima. Die Berücksichtigung dieser Zusammenhänge ist entscheidend, um den tatsächlichen Einfluss eines Baustoffs auf die Raumluftqualität, aber auch die Abklingzeit der VOC verlässlich beurteilen zu können.

Es ist für Planer und Handwerker, erst recht für Laien und selbst für Prüftechniker schwer nachvollziehbar, dass ein Holzwerkstoff mit Kiefernholz die normgerechte (VOC) Emissionsprüfung für die Markt- und Bauzulassung zwar besteht, aber in einigen städtischen Ausschreibungen wegen Geruchsbildungen und Terpenemissionen ausgeschlossen wird.

DIN EN 16516:2020-10 (Bauproduktprüfungen)

Die Norm legt die Messmethodik für die Freisetzung von gefährlichen Stoffen unter Laborbedingungen fest und regelt damit die Bestimmung von Baustoffemissionen in die Innenraumluft – ohne Fremdeinfluss und bei konstanten Prüfraum- und Klimabedingungen. Bei Einhaltung der im AgBB-Schema vorgegebenen Prüfwerte werden die Mindestanforderungen der vorgenannten Bauordnungen zum Schutz der Gesundheit im Hinblick auf die Emission flüchtiger organischer Verbindungen erfüllt. Gleichwohl werden Initiativen der Hersteller, emissionsärmere Produkte herzustellen, unterstützt. Hersteller können deshalb besse-

re Leistungsparameter (VOC-Emissionen) ihrer Produkte z. B. mit Hilfe von Gütesiegeln deklarieren (ECA 24, 2005; ECA 27, 2012).

DIN ISO 16000 (Raumluftprüfung)

Diese Normenreihe ist für die Messmethodik der TVOC und Einzel-VOC in Innenräumen verpflichtend. VOC-Werte verändern sich jedoch bei nicht normgerechten Raumklimafaktoren (Temperatur, Feuchte, Luftwechsel etc.), was folglich bei Nichtbeachtung zu Vertragskonflikten wegen Messwertverfälschungen führen kann.

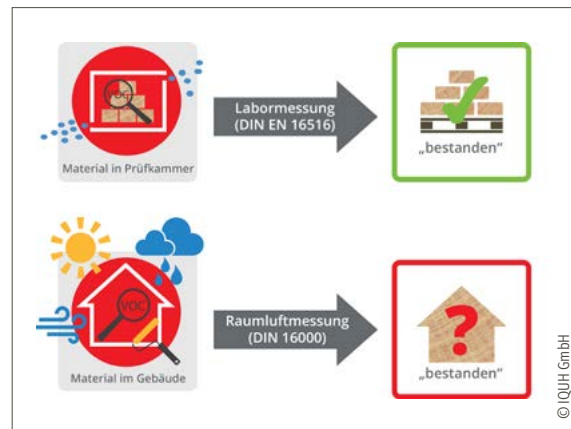


Abbildung 7: Labor- und Raumluftmessungen unterliegen nicht den gleichen Prüf- und Bewertungsvorgaben

Messmethodik und Messwertverfälschung

Vor der Messung werden die Räume intensiv mindestens 15 Minuten lang gelüftet. Lüftungsanlagen dürfen im Standardbetrieb zugeschaltet werden. Anschließend bleiben alle Türen und Fenster für einen Zeitraum von mindestens acht Stunden – in der Regel über Nacht – geschlossen (Verschlusszeit). Bei der VOC Bauabnahme von neu errichteten Gebäuden wird eine Messung ohne Möbel und bei 90 bzw. 45-minütiger Verschlusszeit empfohlen, was einem regelgerechten Lüftungsintervall entspricht. Die Probenahmen in den nicht belegten Räumen erfolgen im Anschluss bei weiterhin geschlossenen Türen und Fenstern. Die Probenahmen erfolgen mit geeigneten volumenstromgeregelten Probenahmepumpen. Der Abstand dieser Pumpen zu den Wänden beträgt jeweils mindestens 1,5 m, der Ansaugpunkt liegt ca. 1,2 m über dem Fußboden. Vor der Messung müssen Raumklimaextreme, emissionsträchtige Arbeiten und Staubaufkommen, aber auch starke Sonneneinstrahlungen vermieden werden. Bei Raumluftmessungen werden sonst nur wegen eines vermeidbaren Fehlverhaltens, wegen Klimaextremen ($> 24\text{ °C}$ Raumtemperatur) oder nicht abgelüfteter Schadstoffen überhöhte VOC-Werte erreicht.

¹⁴ Richtliniengruppe VDI 4300 „Messen von Innenraumluftverunreinigungen“; Normenreihe DIN EN ISO 16000 „Innenraumluftverunreinigungen“

Raumluftrichtwerte

Die Handreichung des Ausschusses für Innenraumluftrichtwerte (AIR, früher Ad-hoc-Arbeitsgruppe) im UBA und der Obersten Landesgesundheitsbehörden¹⁵ schlägt eine Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten vor. Die Handreichung beurteilt nur die Fraktion der leicht flüchtigen organischen Verbindungen (VOC).

Die Beurteilung von Messergebnissen für die Innenraumluft beruht auf einer Bewertungshierarchie, die als gesundheitliche Einstufung toxikologisch abgeleitete Richtwerte für einzelne Substanzen heranzieht sowie als vergleichende Bewertung sich an statistischen Ergebniswerten (Referenzwerten) orientiert.

Richtwert I und Richtwert II

VOC-Richtwerte für Einzel- oder Gruppenstoffe basieren auf toxikologischen und epidemiologischen Erfahrungen und Untersuchungen und stellen die Grundlage für eine hygienische Bewertung der Innenraumluft dar.

Die Richtwerte haben keinen rechtlich zwingenden Charakter und sind somit im Gegensatz zu den rechtlich verbindlichen Grenzwerten als „Empfehlung“ für eine Zielwertfestlegung der Innenraumluftqualität zu sehen. Die rechnerisch ermittelten Richtwerte können für eine hygienische Beurteilung der Raumlufthierarchie herangezogen werden. Geringfügige Richtwertüberschreitungen geben keinen Anlass dazu, vor unbegründeten Gesundheitsgefahren zu warnen und Ängste zu schüren. Vielmehr sollte folgerichtig auf einen hygienischen Missstand hingewiesen werden. Lösungsorientiert und konfliktvermeidend sind Maßnahmen wie eine Erhöhung der Lüftungsintervalle und der Raumlufthierarchie, um das natürliche Abklingverhalten zu fördern. Sind im Bauvertrag bestimmte VOC-Ziel- und Richtwerte vereinbart, werden sie bei Nichteinhaltung und im Streitfall als vom Auftragnehmer geschuldete und rechtlich verbindliche Werte zwingend eingefordert.

Richtwert I (RW I)

Unterhalb dieses Vorsorgerichtwertes sind lt. UBA nach aktuellem Kenntnisstand keine gesundheitlichen Risiken zu erwarten. Seit 2012 wird der RW I als Konzentration definiert, bei der auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Belastungen zu erwarten sind.

Richtwert II (RW II)

Er ist ein wirkungsbezogener Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einführung von Unsicherheitsfaktoren stützt. Eine Überschreitung des RW II ist besonders für empfindliche Personen und bei Daueraufenthalt in den Räumen aus hygienischen Gründen nicht tolerierbar. Wenn dieser Gefahrenwert erreicht oder überschritten wird, besteht unverzüglicher Handlungsbedarf.

Im Gegensatz zu den auf acht Stunden bezogenen Maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK)¹⁶ handelt es sich bei den Richtwerten üblicherweise um Langzeitwerte (24 Stunden an sieben Tagen pro Woche), die auch für Kinder, Ältere und Kranke noch ausreichenden Schutz bieten.

DIN EN 16798 (Lüftungs- und Behaglichkeitsnorm)¹⁷

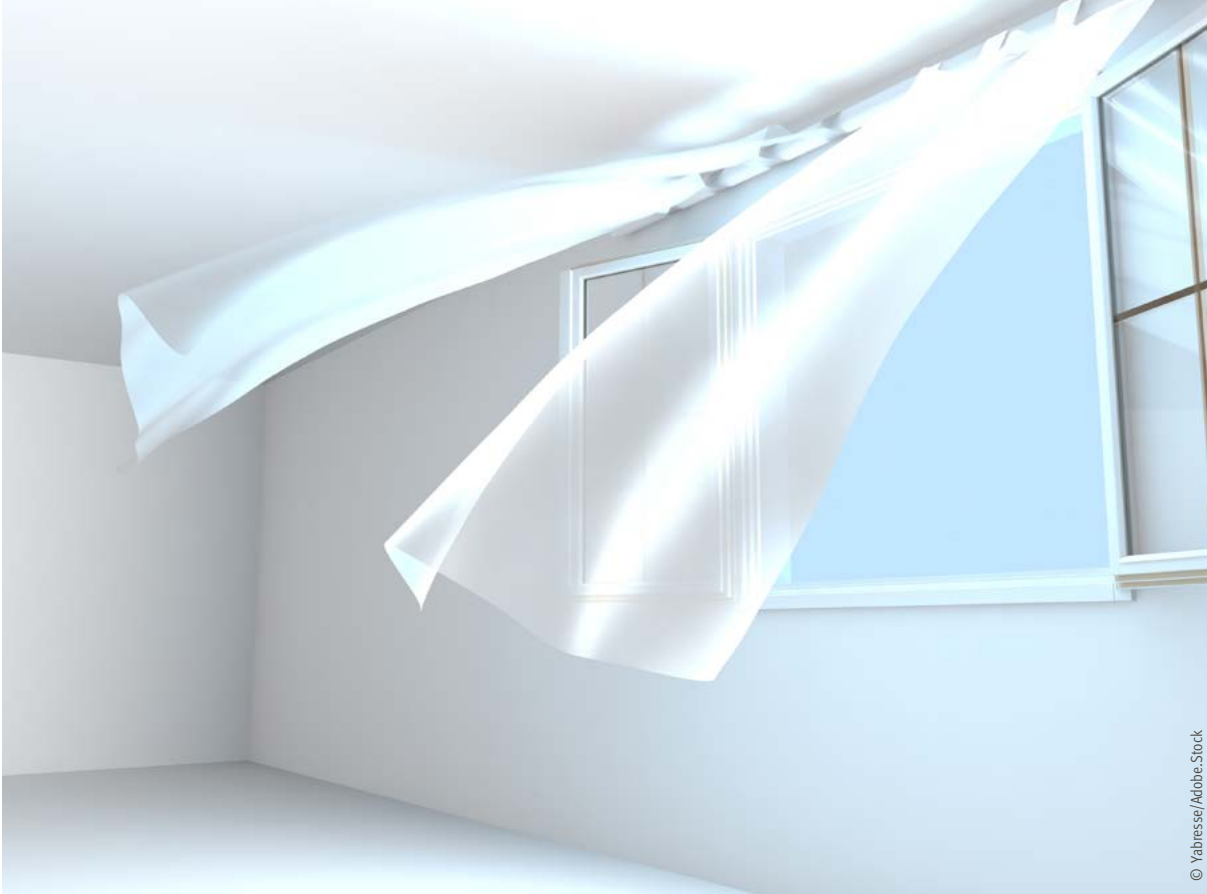
Für Raumlufthierarchieprüfungen werden die Richtwerte der europäischen Raumklimanorm empfohlen. Bei einem anzunehmenden Luftwechsel von $< 0,1 \text{ [h}^{-1}\text{]}$ (ohne Lüftungsanlage) in luftdichten und gut gedämmten Gebäuden wird eine normgerechte Vorbereitung der zu prüfenden Räume gefordert, um mögliche Probenahmefehler und folglich Messwertverfälschungen zu vermeiden. Daher sollte vor der Raumlufthierarchieprüfung vom verantwortlichen Messingenieur eine qualitätssichernde Klima- und Luftwechselplanung gemäß DIN EN 16798 vorgeschlagen werden.

Der bauliche Gesundheitsschutz wird durch eine VOC-Qualitätskontrolle überwacht. Bauprozessbeteiligte zeigen erfahrungsgemäß wenig Verständnis dafür, dass es nach einer Kontrollmessung zu erhöhten VOC-Werten kommen kann, obwohl nur VOC-geprüfte und zugelassene Bauprodukte eingesetzt wurden. Wie kann das sein? Solch ein vermeintlicher Baumangel führt möglicherweise zum Rechtsstreit darüber, ob nur beauftragte und schadstoffgeprüfte Baustoffe verwendet wurden, ob tatsächlich eine normgerechte Messraumvorbereitung durchgeführt wurde oder ob nur deshalb erhöhte Werte vorliegen, weil der Messtechniker die Mess- und Klimavorgaben nicht überwacht hat. Deshalb ist es ratsam, dass man neben den Raumlufthierarchiewerten auch die Raumklimaparameter und die Prüfbedingungen im Werkvertrag konkret vereinbart und dass sie vor und während der Messung exakt umgesetzt und protokolliert werden müssen.

¹⁵ Bekanntmachung des Umweltbundesamtes: „Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten“, siehe www.innenraumanalytik.at/pdfs/handreichung.pdf.

¹⁶ Aufstellung von MAK-Werten, siehe https://series.publisso.de/sites/default/files/documents/series/mak/lmbv/Vol2021/Iss1/Doc001/mbwl_2021_deu.pdf.

¹⁷ DIN EN 16798, Ausgabedatum 2021-04; Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumlufthierarchiequalität, Temperatur, Licht und Akustik – Modul M1-6; Deutsche Fassung EN 16798-1:2019.



© Yabresse/Adobe.Stock

Ein angemessenes Lüftungsverhalten beeinflusst die Innenraumluftqualität entscheidend

Ein unkalkulierbares Innen- und Außenklima kann zu nicht normgerechten Prüfbedingungen führen, wenn bspw. am Tag der VOC-Messung die Räume bei starker Sonneneinstrahlung nicht beschattet wurden. Zudem können erfahrungsgemäß hohe Material- und Luftfeuchtwerte oder ein Reinigungs- oder Lösemittel Einsatz holzeigene Emissionen wie Terpene zusätzlich fördern.

VOC-Freimessung bei Bauabnahme

Haben Bauunternehmer und Auftraggeber Anforderungen zur Raumluftqualität im Werkvertrag vereinbart, muss die Einhaltung der Richtwerte durch Kontrollmessungen nachgewiesen werden. Dazu sollten holzbauerfahrene Messingenieure beauftragt werden, um vor der Messung gravierende Fehler zu vermeiden, die zu Messwert verfälschungen führen können. Im Werkvertrag sollten zudem Zielwerte für das Raumklima zum Zeitpunkt der Kontrollmessung vereinbart werden. Diese sind vor und während der Raumluftmessung einzuhalten, ganz gleich, ob das Gebäude mechanisch oder technisch be- und entlüftet wird. Gebäude müssen heute luftdicht erstellt werden, daher wäre man mit einer klimatechnischen Anlage¹⁸ mit Kühlung, Wärmerückgewinnung und Sensorsteuerung hinsichtlich Raumluftfeuchte und Kohlendioxid auf der „sicheren Seite“.

Können vereinbarte Werte nicht eingehalten werden, hat der Auftragnehmer das Recht, emissionsreduzierende Maßnahmen durchzuführen, bevor eine Nachmessung erforderlich wird.

Wie plant man gemäß den gesundheitlichen Anforderungen?

Vorgaben für den baulichen Gesundheitsschutz können durch die Verwendung VOC-geprüfter Bauprodukte und mit Einhaltung der nutzungsangepassten VOC-, Klima- und Lüftungszielwerte umgesetzt werden. Die Maßnahmen sollten schon während der Baukosten- und Grundlagenermittlung festgelegt werden. Es ist selbst für Laien verständlich, dass sowohl bei zu hohen als auch bei zu niedrigen Temperatur- und Feuchtwerten keine vergleichbaren und rechtssicheren VOC-Werte ermittelt werden können. Weil nach einem Neubaubezug grundsätzlich die Gefahr besteht, dass es wegen auffälliger Neubaugerüche oder VOC-Richtwertüberschreitungen zu einer Mängelrüge und folglich zu Restzahlungseinbehalten und Schadenersatzforderungen oder langjährigen Prozessverläufen kommen kann, wird die Umsetzung der beschriebenen Präventionsmaßnahmen empfohlen.

¹⁸ DIN EN 16798-3: Lüftung von Nichtwohngebäuden; VDI 6022 Blatt 3: Raumlufttechnik – Raumluftqualität – Beurteilung der Raumluftqualität; DIN 1946-6: Lüftung von Wohnungen.

Erfolgreiche Hygiene- und Raumklima- maßnahmen zur Einhaltung der geforderten VOC-Raumluftrichtwerte – ein Best-Practice-Beispiel

Kindertagesstätte in Holzbauweise

Als Beispiel für eine erfolgreich durchgeführte Raumluftprüfung mit vorangegangenen planerischen und baulichen Vorsorgemaßnahmen zur Verringerung von Emissionen aus Baustoffen wird ein Kita-Projekt in Holzbauweise in Bayern vorgestellt.

Der Auftraggeber hatte im Leistungsverzeichnis drei „Raumluftuntersuchungen zur Feststellung der VOC-Raumluftkonzentrationen“ verlangt. Die Messungen mussten gleich nach Fertigstellung zur Bauabnahme und dann wieder nach acht Wochen mit Möbeln und nach weiteren vier Wochen unter Nutzungsbedingungen durchgeführt werden.

Ziel der durchgeführten Maßnahmen war die Überprüfung der Frage, ob in den Räumen des Neubaus die vertraglich geschuldeten VOC-Richtwerte eingehalten werden. Hierzu wurde ein Messingenieur beauftragt, eine Raumluftuntersuchung gem. Normenreihe DIN EN ISO 16000 und VDI 4301, Blatt 7, Oktober 2018 zur Feststellung der VOC-Raumluftkonzentrationen ausgewählter Substanzen durchzuführen. Des Weiteren wurden Vorabprüfungen in Bezug auf Materialinhaltsstoffe, Bauteilaufbauten und im Leistungsverzeichnis geforderte Emissionszertifikate durchgeführt. Im Zuge der werkvertraglich festgelegten Qualitätskontrolle wurden Messungen nach achtstündiger Verschlusszeit (ohne Fensterlüftung, aber bei laufender RLT Anlage) durchgeführt. Während der Endbauphase sorgten die Bauleiter und verantwortlichen Mitarbeiter auf der Baustelle nach Anweisung des Messingenieurs rechtzeitig für eine regelmäßige Belüftung und eine nutzungsgemäße Raumtemperierung.

Die Bauleitung prüfte die Technischen Merkblätter der emissionsträchtigen Materialien und glich sie mit dem freigegebenen Material ab. Dadurch kann beispielsweise bei den Wandbeschichtungs- und Bodenbelagsarbeiten der Einsatz von nicht zugelassenen und emissionsfördernden Vorstrichen oder Grundierungen rechtzeitig verhindert werden. Der Bauleiter überwachte zudem die Einhaltung der Verarbeitungshinweise der Baustoffhersteller bei den durchgeführten Oberflächen- und Schlussarbeiten. Rauchen war strengstens verboten. Die Verwendung von Lösemitteln und aggressiven Reinigern zur Schlussreinigung wurde untersagt.

In allen Stockwerken wurden Messgeräte für Temperatur und Luftfeuchte installiert, um bei erhöhten Aufwechungen durch Beton-, Estrich- und Verputzarbeiten mit entsprechenden Heiz-, Be- und Entlüftungsmaßnahmen entgegenwirken zu können.

Im Zuge der Messraumvorbereitung wurden die zu messenden Räume klimatisch normgerecht vorbereitet. Dazu gehörte schon Wochen vor der Messung auch die Koordination der Lüftungs- und Klimaanlage und ein Filterwechsel. Zudem mussten vor dem Messtermin der Auftraggeber und die vor Ort befindlichen Handwerker bzw. der Bauleiter angeleitet werden.

Am Tag vor der Messung wurden die Messräume leerräumt und ohne Putzmitteleinsatz grob gereinigt. Auf Anraten des Messingenieurs wurde anschließend noch eine Feinreinigung der Messräume aufgrund der sehr staubträchtigen Restarbeiten in den Fluren und Treppenhäusern der Kita durchgeführt.

Die Räume wurden vor der Messung durch den Messingenieur abgenommen, mit CO₂- und Klimadatenloggern versehen und verschlossen.



oben: Kita in Holzbauweise

unten: Aufbau der VOC-Messtechnik in einer Kita



© IQUH GmbH

VOC-Messtechnik zur Erfassung von Belastungen der Innenraumluft

Ergebnis bei der Kontrollmessung

Nach Durchführung der empfohlenen Hygiene- und Raumklimamaßnahmen konnten alle VOC-Richtwert-Vereinbarungen eingehalten werden. Es lässt sich anschaulich erkennen, dass die Werte selbst mit Möbeln unverändert blieben oder noch weiter gesunken sind. Selbst die Einzelstoffmesswerte für holztypische Emissionen wie Terpene waren gemäß dem natürlichen Abklingverhalten bereits nach zwei Monaten weit unter dem strengeren RW I angekommen. Auch der TVOC-Leitwert lag bei der ersten Messung schon weit unter dem vertraglich geschuldeten Wert von 1,0 mg/m³ und ist nach zwei Monaten unter den Ziel- und Leitwert I von 0,3 mg/m³ gesunken (siehe Tabelle 3).

Zusammenfassung

Die Landesbaubehörden schlagen vor, dass für die Einhaltung des baulichen Gesundheitsschutzes nur VOC-geprüfte Bauprodukte zum Einsatz kommen sollen, damit die geforderten VOC-Raumluftrichtwerte eingehalten werden. Die Praxis zeigt, dass neben der Verwendung VOC-zertifizierter Produkte weitere Aspekte berücksichtigt werden müssen, um ausreichend vor Richtwertüberschreitungen zu schützen. Ausschlaggebend ist eine Qualitätsüberwachung der Verarbeitung, der Trocknungszeiten und die regelgerechte Einstellung aller Raumklimawerte, um vergleichbare und rechtssichere VOC-Raumluftwerte erzielen zu können.

TABELLE 3: MESSERGEBNISSE EINES RAUMES NACH FERTIGSTELLUNG, MÖBLIERUNG UND IN DER NUTZUNGSPHASE

Einheit	03.01.2020 nach Fertigstellung mg/m ³	29.02.2020 nach Möblierung mg/m ³	02.04.2020 in Nutzung mg/m ³	RW II UBA mg/m ³	RW I UBA mg/m ³
Summe bicyclische Terpene	0,063	0,049	0,017	2	0,2
Summe Alkanale C4-C11	0,016	0,032	0,018	2	0,1
Formaldehyd	0,009	0,012	0,009	0,1	
Essigsäure	–	0,019	0,013	–	–
TVOC	0,464	0,248	0,087	Leitwerte*	

* (Leitwerte)

- ≤ 0,3 → Hygienisch unbedenklich
- 0,3–1,0 → Hygienisch noch unbedenklich, sofern keine Richtwertüberschreitungen für Einzelstoffe bzw. Stoffgruppen vorliegen
- 1–3 → Hygienisch auffällig
- 3–10 → Hygienisch bedenklich
- > 10 → Hygienisch inakzeptabel



Eine Vielzahl von physikalischen, chemischen, biologischen und psychologischen Faktoren beeinflussen die Innenraumluftqualität.



Baumaterialien machen lediglich 0,2 % aller gesundheitsbelastenden Einflüsse auf die Raumluftqualität aus. Zudem ist der Einfluss des VOC-Anteils mit 1,3 % im Vergleich zu anderen Substanzen äußerst gering.



Nach der Musterbauordnung sind *„Bauliche Anlagen [...] so zu errichten und instand zu halten, dass Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden“*.



Bei der Bewertung und Regulierung von Produktemissionen ist nach aktueller Rechtslage zwischen der Regelungsnotwendigkeit bei Gefährdung und nicht zu regulierenden Vorsorgeaspekten zu unterscheiden.



Eine regulatorische Bewertung und Einschränkung von Holzbaustoffen ist nach aktuellem Stand der Wissenschaft nicht durch Gefahrenabwehr begründbar. Als reine Vorsorge ist sie nicht gerechtfertigt (in Baden-Württemberg und einigen anderen Bundesländern aktuell juristisch begründet).





FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSFÖRDERUNG DES BMEL ZUR „REDUZIERUNG BZW. VERMEIDUNG VON EMISSIONEN AUS HOLZ UND HOLZPRODUKTEN“

Die Bundesregierung hat sich im Rahmen des Klimaschutzplans 2050 das Ziel gesetzt, den Beitrag nachhaltiger Holzverwendung zur Erreichung der Klimaschutzziele zu stärken. Der Einsatz innovativer Produkte aus Holz für neue oder bestehende Anwendungsgebiete im Neubau und der Sanierung im Bestand erfordern eine ständige Weiterentwicklung. Unter Berücksichtigung der spezifischen Eigenschaften von Produkten aus Holz und anderen nachwachsenden Rohstoffen ist den Anforderungen und Standardisierungen in den Bereichen Bausicherheit, Hygiene, Gesundheit und Umwelt Rechnung zu tragen.

Um dieser Herausforderung gerecht zu werden, veröffentlichte das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über seinen Projektträger Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) in der Zeit vom 01.10.2013 bis 31.03.2014 den Förderschwerpunkt „Reduzierung bzw. Vermeidung von Emissionen aus Holz und Holzprodukten“ im Rahmen des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“.

Im Fokus der Forschungsförderung des BMEL standen dabei Vorhaben zur korrekten toxikologischen Bewertung, mit deren Hilfe bestehende Grenzwerte beurteilt und überprüft werden können. Zudem waren vielversprechende Forschungsan-

sätze zur Anpassung bestehender und die Entwicklung neuer und innovativer Lösungen zur stofflichen Nutzung von Holz gefragt.

Im Rahmen des Förderschwerpunkts wurden zwölf Forschungsvorhaben, davon drei Einzelvorhaben und drei Verbundvorhaben, mit einem Fördervolumen von insgesamt 3,564 Millionen Euro über einen Zeitraum von 2015 bis 2019 gefördert. In Tabelle 4 sind die für diese Broschüre relevanten Projekte zusammengefasst.

Es konnte u.a. gezeigt werden, dass weder eine Exposition mit Kiefernvollholz noch OSB aus Nadelholz in den für Innenräume üblichen Konzentrationen zu einer Reizung oder Schädigung gesunder Zellen kam. Auch bei potentiell vorbelasteten Zellen z.B. durch eine Dermatitis oder Asthma kam es zu keiner weiteren Reizung und Verstärkung der krankhaften Veränderung durch Holzemissionen.

Die Ergebnisse der geförderten Projekte werden auf den folgenden Seiten vorgestellt.

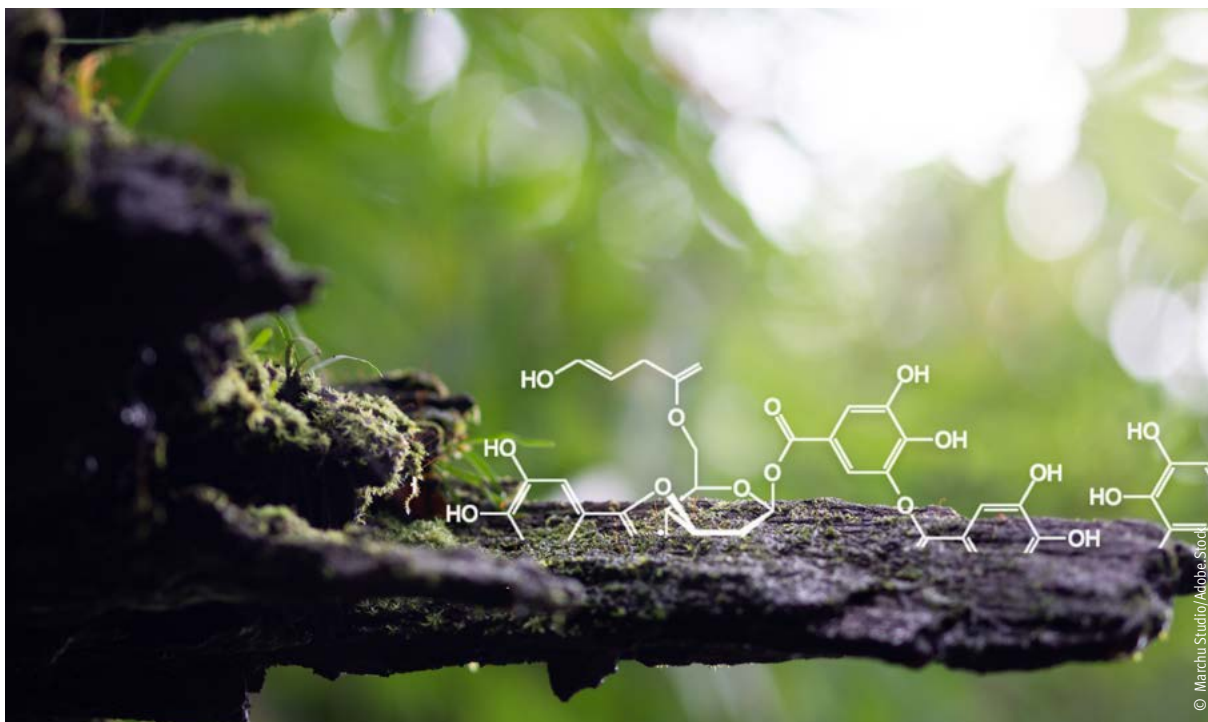


TABELLE 4: AUSGEWÄHLTE PROJEKTE AUS DEM FÖRDERSCHWERPUNKT „EMISSIONEN“

FKZ	Zuwendungsempfänger	Teilvorhaben	Laufzeit
Verbundvorhaben: Gesundheitliche Bewertung von Emissionen aus Holz und Holzprodukten in Innenräumen mittels experimenteller toxikologischer Untersuchungen und humanbasierter Beobachtungen (GesundHOLZ)			
22008714	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Medizinische Fakultät – Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene	Teilvorhaben 1: Projektkoordination und humantoxikologische Untersuchungen	01.05.2016–31.10.2019
22010915	Forschungsgesellschaft für Arbeitsphysiologie und Arbeitsschutz e. V.	Teilvorhaben 2: Charakterisierung und Bewertung chemosensorischer Effekte von Leitsubstanzen der Emissionen	01.05.2016 –31.10.2019
22011015	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ	Teilvorhaben 3: Untersuchungen allergischer und entzündlicher Effekte im Tiermodell	01.05.2016 –31.10.2019
22011115	Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei – Thünen-Institut für Holzforschung	Teilvorhaben 4: Untersuchung von Holzprodukten sowie Bereitstellung der holztechnologischen Expertise	01.05.2016 –31.10.2019
22011215	Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München – Zentrum für Allergie und Umwelt München (TUM-ZAUM)	Teilvorhaben 5: Untersuchungen zum Einfluss auf das atopische Ekzem im Tiermodell	01.05.2016–31.10.2019
Einzelvorhaben: Entwicklung einer Prüfmethode für die schnelle Bestimmung von VOC aus Holzprodukten zur frühzeitigen Ableitung des langfristigen Emissionsverhaltens und Qualitätskontrolle bei der Herstellung von Holzwerkstoffen (MC-VOC)			
22018013	Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei – Thünen-Institut für Holzforschung	–	01.07.2016–31.08.2018
Verbundvorhaben: Erarbeiten eines objektiven Verfahrens unter Berücksichtigung der Besonderheiten von Holz und Holzwerkstoffen bei der Bewertung ihres Einflusses auf die Innenraumluftqualität (HolnRaLu)			
22008514	Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei – Thünen-Institut für Holzforschung	Teilvorhaben 1: Untersuchungen unter realen Raumluftbedingungen	01.04.2016–31.12.2019
22005615	Fraunhofer-Institut für Holzforschung – Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI)	Teilvorhaben 2: Vergleich von Untersuchungen in unterschiedlichen Prüfkammern	01.04.2016–31.03.2019
Einzelvorhaben: Identifikation und Verminderung der geruchsrelevanten Stoffe von Bauprodukten auf Basis von Holz und anderen nachwachsenden Rohstoffen für Anwendungen im Innenraum			
22006714	Fraunhofer-Institut für Holzforschung – Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI)	–	01.09.2015–31.12.2018
Einzelvorhaben: Evaluierung der Emissionen von sehr flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) aus Holz und Holzprodukten zur Bewertung gesundheitlicher Auswirkungen – Entwicklung von Reduzierungsansätzen unter Berücksichtigung realer Innenraumbedingungen			
22008114	Fraunhofer-Institut für Holzforschung – Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI)	–	01.07.2015–31.12.2017

GesundHOLZ: Gesundheitliche Bewertung von Emissionen aus Holz und Holzprodukten in Innenräumen mittels experimenteller toxikologischer Untersuchungen

Autor: Dr. Richard Gminski, Universitätsklinikum Freiburg, Institut für Infektionsprävention und Krankenhaushygiene (IuK)

Hintergrund und Fragestellung

Holz und Holzprodukte sind vor allem im Innenbereich vielfältig genutzte Baustoffe. Das Projekt GesundHOLZ untersuchte die möglichen Auswirkungen von Emissionen aus Holz und Holzprodukten auf die Gesundheit (speziell von Kiefernholz und Oriented Strand Boards, OSB) im Kontext von Innenraumbedingungen. Aus den Ergebnissen einer zu Projektbeginn durchgeführten Literaturstudie zu diesem Thema und den experimentellen Ergebnissen aus dem Projekt wurde eine Grundlage für die Einschätzung des Gefährdungspotenzials von Holzemissionen auf den Nutzer erarbeitet.

Methoden

Zunächst wurde eine umfangreiche Literaturstudie zu dem Thema „Emissionen aus Holz und Holzprodukten und ihre gesundheitliche Bedeutung“ durchgeführt. Ziel dieser Studie war es, den aktuellen Stand des Wissens über das Vorkommen holztypischer VOC und deren möglicher gesundheitlicher Einflüsse auf den Menschen sowie über deren regulatorische Aspekte zu erstellen. Danach wurden experimentell etablierte und zum Teil auch neue Expositionsmethoden (Zellkultur und tierexperimentelle Studien) zur Erfassung eines möglichen toxischen Effekts von holztypischen VOC auf den Menschen entwickelt und eingesetzt. Hierzu wurde mittels verschiedener Expositionswege (u.a. Inhalation, Hautkontakt) die Wirkung von Emissionen aus Holzprodukten auf biologische Systeme (Lungenzellen, sensorische Nervenfasern, Lunge, Augen, Haut) in einem multizentrischen Ansatz experimentell untersucht.

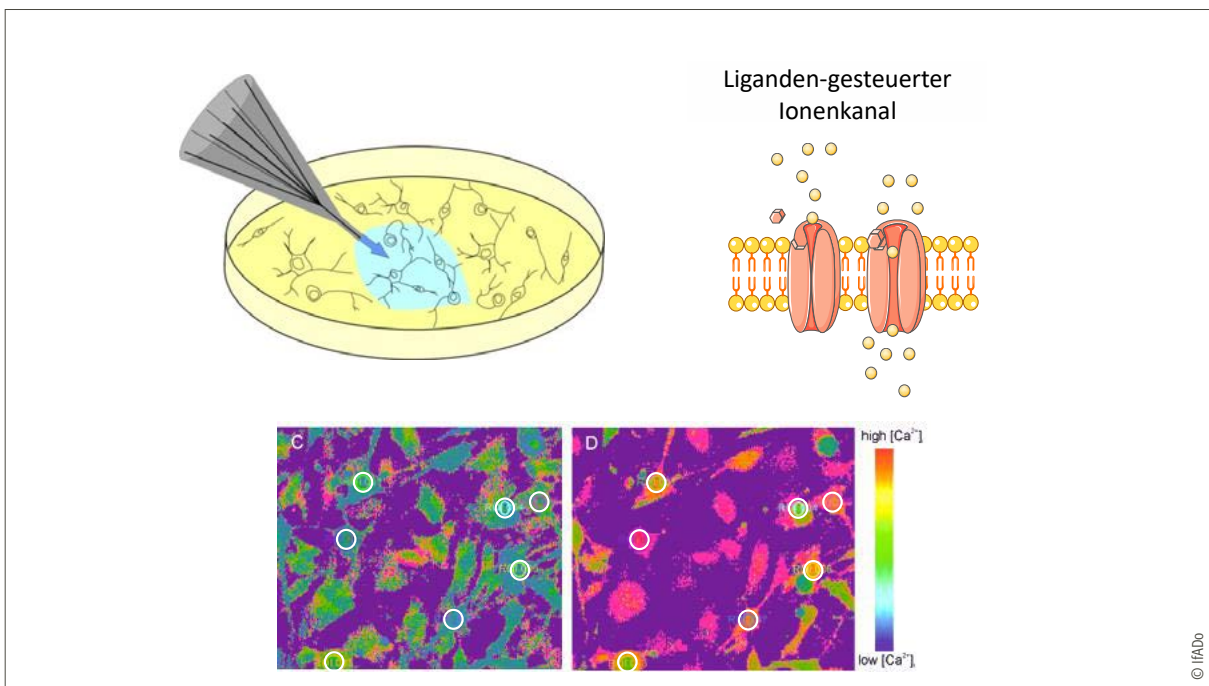


Abbildung 8: Zur Erfassung einer möglichen sensorischen Irritation durch holztypische VOC wurden im Rahmen des GesundHOLZ-Projektes Ca^{2+} -Imaging-Experimente durchgeführt. Hierzu wurden primäre Neurone des trigeminalen Ganglions von CD1-Mäusen mit den Testsubstanzen, z.B. α -Pinen, überspült (links oben). Rechts oben die Funktionsweise eines Liganden-gesteuerten Ionenkanals (geschlossen und geöffnet). Chemorezeptoren des peripheren Nervensystems, wie der TRPA1-Kanal (englisch: transient receptor potenzial channel), funktionieren auf diese Weise. Beispiele von inaktiven Neuronen mit niedrigem Ca^{2+} -Gehalt (links unten) und aktiven Neuronen mit erhöhtem Ca^{2+} -Gehalt (rechts unten).

Projektergebnisse

Aus den Ergebnissen der Literaturstudie lässt sich ableiten, dass es bis dato keine überzeugenden Hinweise auf klinisch relevante Effekte nach Exposition gegenüber innenraumüblichen Konzentrationen an Holzemissionen gibt. Somit ist eine Gefährdung des Menschen durch Freisetzung von Emissionen aus Holz und Holzprodukten in die Raumluft bei praxisüblicher und sachgerechter Verbauung von Hölzern und Holzprodukten nicht zu erkennen. Trotzdem gibt es wissenschaftliche Hinweise auf sogenannte „Terpen-sensitive Personen“, die gegenüber Terpenen (aber auch anderen Umweltchemikalien) mit unspezifischen Symptomen wie z.B. Kopfschmerzen reagieren. Daraus lässt sich aber keine grundsätzliche gesundheitliche Unverträglichkeit gegenüber Holzemissionen ableiten.

Die durchgeführten Zellkulturstudien zeigten, dass die Toxizität der primären Holz-Emissionen (vorwiegend mono- und bicyclische Monoterpene) und der sekundären Emissionen (vorwiegend Aldehyde) in den eingesetzten Bioassays teilweise sehr unterschiedlich einzustufen ist. So wirkten die mono- und bicyclischen Monoterpene nicht toxisch auf menschliche Zellen und ihre Potenz, sensorische Irritation auszulösen, ist deutlich geringer als die der anderen Emissionsbestandteile, wie z.B. der Aldehyde. Bei der Untersuchung der VOC-Gemische verursachten die Aldehyde eine deutliche Verstärkung der Effekte, die über die postulierte additive Wirkung der holztypischen VOC hinausgingen. Aus diesen Experimenten lassen sich auch die unterschiedlichen EU-LCI-Werte für diese beiden Stoffgruppen erklären. Der EU-LCI-Wert (lowest concentration of interest, dt. niedrigste interessierende Konzentration) wird in Europa für eine gesundheitsbezogene Qualitätsbewertung der Emissionen von Bauprodukten für eine Substanz als stoffspezifische Rechengröße abgeleitet. Er ist toxikologisch begründet.

Das Emissions-Monitoring während der Tierstudien zeigte eine zeitliche Dynamik der VOC-Belastungen durch die Emissionen aus Holz und Holzprodukten und eine rasche Abnahme der VOC-Konzentrationen nach wenigen Tagen. Empfindliche, sensibilisierte Tiere zeigten keine eindeutigen adversen Effekte beim allergischen Asthma nach Exposition gegenüber den Holzemissionen, sogar bei „worst-case“-Szenarien mit zum Teil hygienisch bedenklichen bzw. inakzeptablen Konzentrationen an TVOC. Bei der atopischen Dermatitis dagegen fanden sich bei sehr hohen inakzeptablen TVOC-Konzentrationen ($> 10 \text{ mg/m}^3$) in den Emissionen aus Kiefernholz und OSB Hinweise auf eine Verstärkung dieser Hauterkrankung. Andererseits zeigten sich bei niedrigen Konzentrationen an Holzemissionen symptomverbessernde Wirkungen auf die atopische Dermatitis (bei Kiefernholz) und auf das allergische Asthma (bei OSB).

Was lässt sich aus den Ergebnissen des Projektes ableiten?

Die Emissionen von Holzprodukten setzen sich je nach Holzart und Holzwerkstoff aus den verschiedensten Substanzen zusammen. Deren flächenspezifische Emissionsraten sind zudem zeitlichen Schwankungen unterlegen. Diese Heterogenität und Komplexität der Emissionen erschwert daher eine allgemeingültige gesundheitliche Bewertung von Holzprodukten. Zudem ergeben sich hinsichtlich der gesundheitlichen Bewertung Zweifel, ob vor dem Hintergrund der vielfältigen anderen Belastungsfaktoren, denen der Mensch täglich im Innenraum ausgesetzt ist (z. B. Feinstaub, Schimmel, Radonstrahlung etc.), Emissionen aus Holz und Holzprodukten überhaupt einen relevanten gesundheitsschädlichen Beitrag leisten.

Es fanden sich in den Zellkulturversuchen teilweise erhebliche Unterschiede in der Toxizität der holztypischen VOC, wobei die mono- und bicyclischen Terpene ein geringes, die holztypischen Aldehyde jedoch ein relativ hohes toxisches Potenzial aufwiesen. Insbesondere das Monoterpene α -Pinen, das in den typischen Holz-Emissionen meistens in der höchsten Konzentration vorliegt, zeigte kein auffälliges toxisches oder chemosensorisches Potenzial. Aus diesen Ergebnissen lassen sich für realistische Innenraumkonzentrationen an Terpenen keine gesundheitsrelevanten Effekte ableiten.

Sogar bei hygienisch inakzeptablen Konzentrationen von mehr als 10 mg/m^3 an holztypischen TVOC fanden sich selbst in allergen-sensiblen Mäusen während einer chronischen Exposition keine adversen Effekte beim allergischen Asthma. Aus diesen Tierstudien lässt sich ableiten, dass niedrige Innenraumkonzentrationen an holztypischen VOC nicht gesundheitsschädlich sind.

Weiterhin gibt es aus den Erkenntnissen der Literaturstudie und aus den im Projekt durchgeführten Studien Hinweise auf gesundheitsfördernde Effekte für den Menschen durch holztypische VOC, die auch in Waldluft zu finden sind. Dies gilt vor allem im relevanten Niedrig-Dosis-Bereich, bei dem u. a. auch psychisch vermittelte Effekte (z. B. angenehme Geruchsempfindungen) eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielen.

Aus den experimentellen Ergebnissen und aus den Ergebnissen der Literaturstudie wird das Gefährdungspotenzial von typischen, in Innenräumen zu findenden Konzentrationen an Holzemissionen für den Nutzer als gering eingeschätzt.

MC-VOC: Entwicklung einer Prüfmethode für die schnelle Bestimmung von VOC aus Holzprodukten zur frühzeitigen Ableitung des langfristigen Emissionsverhaltens und Qualitätskontrolle bei der Herstellung von Holzwerkstoffen

Autor: Dr. Martin Ohlmeyer, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Holzforschung

Hintergrund und Fragestellung

Nach der derzeitigen Norm zur Bestimmung der Emissionen in der Innenraumluft (DIN EN 16516) beträgt die Prüfdauer zur Bestimmung der Langzeitemissionen von VOC aus Bauprodukten 28 Tage. Für viele Anwender ist dieser vierwöchige Prüfzeitraum mit einem erheblichen zeitlichen und damit finanziellen Aufwand verbunden, sodass für Qualitätsmanagement und Entwicklung die Forderung nach einer alternativen Prüfmethode besteht, die eine Ableitung des standardisierten Wertes binnen weniger Stunden ermöglicht. Das Kooperationsvorhaben MC-VOC hatte das Ziel, ein abgeleitetes Schnelltestverfahren für die Bestimmung des langfristigen Emissionsverhaltens von Holz und Holzwerkstoffen zu entwickeln. Dessen Resultate sollten mit den Ergebnissen des 28. Tages der standardisierten Prüfkammermethode korrelieren, um so die Prüfdauer zu verkürzen.

Methoden

Hierzu wurden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt:

1. Zum einen wurde eine Micro-Chamber (μ -CTE, Markes International Ltd, Llantrisant, UK) als Prüfkammer in Verbindung mit einem TD-GC-MS-System verwendet. Die μ -CTE enthält sechs einzelne Prü fzellen mit einem Durchmesser von jeweils ca. 45 mm, die in einem Heizblock angeordnet sind, sodass die Prüfung auch bei höheren Temperaturen durchgeführt werden kann. Die Proben wurden in den Zellen auf ein Federsystem platziert, welches beim Verschließen der Zelle die Probe gegen einen Abstandhalter am Deckel presst, sodass zwischen der Probenoberfläche und dem Zellendeckel ein definiertes Prüfvolumen entsteht (siehe Abbildung). Die Methode charakterisiert sich durch einen hohen Beladungsgrad sowie eine hohe Luftwechselrate. Die Probenahme der VOC wurde nach einer bestimmten Zeit durchgeführt, indem für eine definierte Dauer ein mit dem Sammelmedium Tenax[®]TA gefülltes Probenahmerohr an den Gasausgang des Zellendeckels angeschlossen wurde.
2. Der zweite Ansatz untersuchte die Methodik der Gasanalyse (GA) (in Anlehnung an EN ISO 12460-3) in Kombination mit einer SPME-GC-FAIMS-Analyse. Dafür wurden Prüfkörper in einer Gasanalyse-Anlage eingebracht, die kontinuierlich von getrockneter und gereinigter Luft durchströmt wurde. Die abgegebenen VOC wurden auf einer SPME-Faser gesammelt, welche dafür für einen definierten Zeitraum im Prüfgasstrom positioniert wurde. Im Anschluss daran erfolgte die Analyse in einem GC-FAIMS.



Anordnung einer OSB-Probe in einer Zelle der μ -CTE

Für beide Methodenansätze wurden die Einflüsse unterschiedlicher Prüfparameter auf die Emissionsraten der VOC untersucht und jeweils eine geeignete Prüftemperatur, Luftwechselrate sowie der optimale Zeitpunkt der Luftprobenahme bestimmt. Letzterer entsprach dem frühesten Zeitpunkt, zu dem die Aldehyde ihr Maximum der Emissionsraten durchschritten hatten.

Im nächsten Schritt wurden Proben parallel mit der Schnelltestmethode unter Verwendung der zuvor bestimmten Parameter und in einer standardisierten Emissionskammer nach DIN EN ISO 16000-9 bzw. DIN EN 16516 geprüft. Im Fokus standen dabei frisch produzierte und gelagerte OSB sowie Kiefernholz. Für den Vergleich der Ergebnisse beider Methoden wurden die VOC-Konzentrationen unter Berücksichtigung des Luftwechsels und Beladungsgrades in flächenspezifische Emissionsraten (SER) umgerechnet. Anschließend wurden aus den Ergebnissen der Standardmethode (Tag 28) und Schnelltestmethode Regressionsgeraden und Bestimmtheitsmaße für die SER bestimmter VOC berechnet (Tabelle 5).

TABELLE 5: REGRESSIONSFUNKTIONEN UND BESTIMMTHEITSMASSE DER KORRELATIONEN ZWISCHEN μ -CTE-TD-GC-MS UND REFERENZTEST AUS ERGEBNISSEN VON OSB

Substanz	Regressionsfunktion	Bestimmtheitsmaß
α -Pinen	$y = 0,025x + 2,9325$	0,973
β -Pinen	$y = 0,0465x - 6,9232$	0,999
3-Caren	$y = 0,0142x + 22,329$	0,938
Hexanal	$y = 0,0321x + 159,48$	0,981
(trans)-2-Octenal	$y = 0,0478x + 4,0382$	0,568

Projektergebnisse

Holz und Holzwerkstoffe emittieren VOC unterschiedlicher Gruppen. Terpene, wie α -Pinen, β -Pinen und 3-Caren, sind natürliche Bestandteile des Holzes, deren Emissionsraten bei frischen Holzprodukten kontinuierlich abnehmen. Aldehyde (z.B. Hexanal, trans-2-Octenal) sowie Hexansäure sind Oxidationsprodukte, die durch Autoxidation der im Holz vorliegenden ungesättigten Fettsäuren gebildet werden. Diese Oxidationsprozesse werden durch die Bedingungen beschleunigt, die während der Holzwerkstoffherstellung herrschen, sodass die Emissionen unmittelbar nach der Herstellung für einen bestimmten Zeitraum ansteigen. Im Anschluss an die Holzwerkstoff-Produktion verlangsamen sich die Reaktionsprozesse, sodass die Emissionsraten nach einigen Tagen beginnen abzunehmen. Die Bestimmung des Probenahmezeitpunkts bei unterschiedlichen Temperaturen in der μ -CTE zeigte bei Messungen einer OSB aus Kiefer, dass die Aldehydemissionen bei höherer Temperatur stärker ansteigen und so ihr Maximum früher erreichen (Abbildung Seite 28). Die höheren Emissionsraten der VOC bei höheren Temperaturen wurden auf die Temperaturabhängigkeit des Dampfdrucks zurückgeführt. Die Variation des Durchflusses bei der Gasanalyse ergab, dass die Emissionsraten der VOC mit höherer Durchflussrate ansteigen, jedoch war ein Einfluss auf den Zeitpunkt des Aldehydmaximums nicht erkennbar.

Im Vergleich ergaben die Schnelltestmethoden höhere Werte für die Emissionsraten als die standardisierten Kammermessungen, was zum einen auf den früheren Probenahmezeitpunkt der Schnelltestmethoden und zum anderen auf die höheren Prüftemperaturen zurückgeführt werden kann. Nichtsdestotrotz resultierten aus den Korrelationen zwischen den Ergebnissen der Schnell- und Standardmethode hohe Bestimmtheitsmaße und zeigen das Potenzial der Schnelltestmethoden als alternatives Verfahren auf, den 28-Tageswert des Standardverfahrens und damit die Langzeitemissionen von Holz- und Holzwerkstoffen abzuleiten.

Beide Methodenansätze machen dabei sichtbar, dass Terpene, Aldehyde und organische Säuren getrennt voneinander bewertet werden müssen, da sich diese insbesondere bei frisch produzierten Holzwerkstoffen in ihren Emissionsverläufen unterscheiden.

Die Konditionierungsdauer wurde zur Ableitung der Terpenemissionen so gewählt, dass sie dem frühestmöglichen Zeitpunkt eines stabilen Zustandes der SER entsprach. So ergab die Prüfung von OSB in der μ -CTE bei Raumtemperatur bereits nach 16 Stunden Prüfdauer bei Terpenen Werte, die gut mit den SER des Referenzverfahrens korrelierten. Um Langzeitemissionen von Aldehyden aus OSB abzuleiten, war diese Prüfdauer nicht geeignet, da die Methoden, bedingt durch den Emissionsverlauf und frühen Zeitpunkt der VOC-Probenahme, unterschiedliche Tendenzen für die SER aus frischen und gelagerten Proben ergaben. Voraussetzung für gute Korrelationen der Aldehydemissionen war, dass bei der Schnelltestmethode zum Zeitpunkt der Probenahme der Anstieg der Emissionsraten bereits durchlaufen war. Durch Verwendung einer erhöhten Prüftemperatur ließen sich auch die Aldehyde nach einem Prüfzyklus von wenigen Tagen ableiten.

Was lässt sich aus den Ergebnissen des Projektes ableiten?

Die Prüfdauer der Schnelltestmethoden betrug zwei (μ -CTE-TD-GC-MS) bzw. drei Tage (GA-SPME-GC-FAIMS) und verminderte so den zeitlichen Prüfaufwand gegenüber dem standardisierten Verfahren (28 Tage) erheblich. Es soll an dieser Stelle jedoch darauf hingewiesen werden, dass Holz und Holzwerkstoffe je nach Rohstoffeinsatz und Herstellungsverfahren unterschiedliche Emissionscharakteristika aufweisen, sodass derzeit nur eine produktspezifische Prüfung möglich erscheint. Das bedeutet, dass geeignete Prüfparameter und Regressionsgeraden, die für ein Produkt oder eine Produktgruppe ermittelt wurden, nicht zwingend auf andere Produkte übertragen werden können.

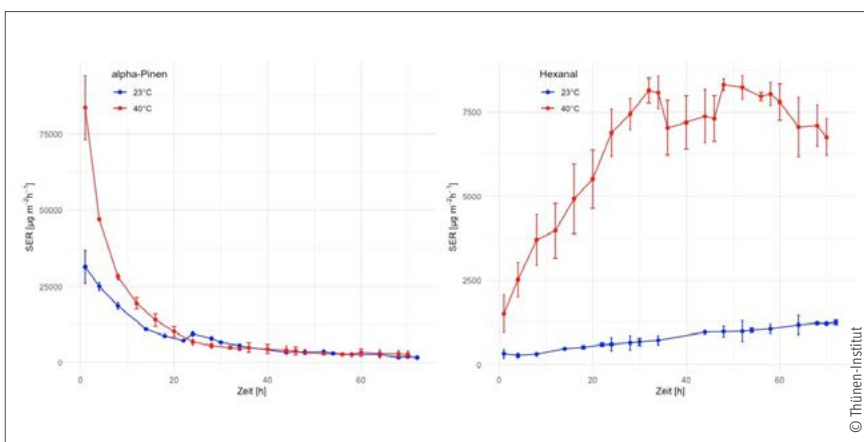


Abbildung 9: Emissionsraten von α -Pinen und Hexanal, gemessen in der μ -CTE bei 23°C und 40°C

Die untersuchten Ansätze zeigen aber, dass die erarbeiteten Schnelltestmethoden hohes Potenzial für eine abgeleitete Methode haben. Für weitere Produkte (z.B. Holzarten) und Parameter (z.B. Plattendichte und -dicke) müsste dies im Weiteren verifiziert werden.

HolnRaLu: Erarbeiten eines objektiven Verfahrens unter Berücksichtigung der Besonderheiten von Holz und Holzwerkstoffen bei der Bewertung ihres Einflusses auf die Innenraumluftqualität

Autor: Dr. Martin Ohlmeyer, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Holzforschung

Hintergrund und Fragestellung

Für die Bewertung seiner VOC-Emissionen wird ein Baustoff unter festgelegten Prüfbedingungen nach der in DIN EN 16516 beschriebenen Verfahrensweise getestet. Neben der Materialeigenschaft eines Baustoffes wirken jedoch Umgebungsfaktoren auf dessen VOC-Abgabe und schließlich auch auf die Innenraumluftkonzentration ein. Es stellt sich folglich die Frage, ob sich die Innenraumluftkonzentration allein durch die Ergebnisse von Bauproduktprüfungen darstellen lässt. Fokussiert auf Holzbau und -produkte ging das Verbundvorhaben HolnRaLu dieser Frage nach. Das Ziel des Verbundvorhabens war, den Zusammenhang zwischen den Ergebnissen einer Baustoffprüfung und einer sich mit der Zeit einstellenden VOC-Konzentration im Innenraum und den Einfluss darauf wirkender Umgebungsparameter zu untersuchen. Aus den Erkenntnissen sollten wissenschaftlich belastbare Bewertungskriterien für die Abgabe von VOC von Holz-Bauprodukten unter Berücksichtigung von realistischen Einbaubedingungen erarbeitet werden. Zu diesem Zweck wurden vier Modellhäuser, die den Maßen des Referenzraums der DIN EN 16516 entsprechen, mit verschiedenen Wandkonstruktionen und Materialkombinationen gefertigt und auf einem Freigelände am Thünen-Institut in Hamburg aufgestellt (Tabelle 6).

TABELLE 6: BAUWEISEN DER MODELLHÄUSER

Modellhaus	Bauweise
Typ 1	Holztragkonstruktion in Holzmassivbauweise mit diffusionsoffener Außendämmung
Typ 2	Holzrahmenbauweise aus Konstruktionsvollholz (KVH) Fichte mit diffusionsoffener Außendämmung
Typ 3	Holzrahmenbauweise aus KVH Kiefer mit diffusionsoffener Außendämmung
Typ 4	Holzrahmenbauweise aus KVH Kiefer mit diffusionsbremsender Außendämmung

Methoden

Alle Baumaterialien, die für den Bau der Modellhäuser Verwendung fanden, wurden normgerecht in Emissionskammern hinsichtlich ihrer VOC-Abgabe geprüft. Diese Ergebnisse wurden mit der Innenraumkonzentration sowie der Temperatur und relativen Luftfeuchte in den Modellhäusern verglichen, die wöchentlich ab Fertigstellung der Häuser über zwei Jahre lang gemessen wurden. Darüber hinaus wurden am Fraunhofer WKI Wandaufbauten der vier Modellhaustypen in Emissionskammern hinsichtlich ihrer VOC- und VVOC-Abgabe geprüft. Dazu erfolgten ebenfalls parallele Emissionsprüfungen der Einzelbaustoffe.



Prüfkammern von bis 48 m³ Größe machen am Fraunhofer WKI die Untersuchung ganzer Wände möglich

Projektergebnisse

Diese Produktprüfungen ergaben, dass Nadelvollholzprodukte überwiegend Terpene emittierten und Holzwerkstoffe neben diesen auch Aldehyde sowie organische Säuren abgaben. Bei einer Langzeitmessung an OSB verringerte sich die Abnahme der Kammerkonzentration für Terpene nach ca. vier Wochen deutlich. Anschließend blieb die Konzentration weitgehend stabil. Das Abklingverhalten für Aldehyde hingegen setzte sich noch bis zum Messende nach 90 Tagen fort. Je langkettiger das VOC und damit je weniger flüchtig die Substanz, desto weniger verringerte sich die Konzentration. Bei einer Langzeitmessung eines Wandbauteils in der Prüfkammer wurde für Terpene und die langkettigen Aldehyde zwischenzeitlich eine Erhöhung der Kammerkonzentrationen beobachtet. Das wurde darauf zurückgeführt, dass die Substanzen aus tiefer in der Wand liegenden Schichten an die Oberfläche diffundierten und einzelne Schichten als reversible Diffusionsbarrieren wirkten. Kurzkettige Aldehyde dagegen diffundierten schneller an die Oberfläche der Wand, sodass eine solche Anreicherung in den Zwischenschichten nicht oder in erheblich geringerem Maße stattfand. Die Kammerkonzentration der aus in der Wand befindlichen Baumaterialien emittierten Essigsäure stieg bei den Wandbauteilen im Gegensatz zu den

Einzelbaustoffprüfungen an, wenn vor diesen Baumaterialien eine Gipskartonplatte verbaut war. Die Effekte wesentlicher bauphysikalischer Prozesse (Adsorption, Desorption, Diffusion) sowie die Position des Produktes in der Wand und auch insbesondere die Kombination der Baumaterialien sind von erheblicher Bedeutung, werden jedoch durch die derzeitigen Regularien nicht berücksichtigt. Zu realisieren wäre dies durch die Anwendung von Bauteil- bzw. Bauelementprüfungen.

In der Raumluft der Modellhäuser wurden hauptsächlich Terpene und Aldehyde nachgewiesen. Dabei zeigte sich bei allen Haustypen ein ähnlicher Konzentrationsverlauf der flüchtigen Substanzen (Abbildung 10). Mit den Raumluftmessungen wurde im Sommer begonnen. Zu diesem Zeitpunkt wurden die höchsten VOC-Konzentrationen gemessen, die dann zunächst abnahmen. Im Winter erreichten die Konzentrationen einen Tiefstwert, stiegen dann aber im Verlauf der Frühlings- und Sommermonate wieder an und reduzierten sich im Herbst und Winter. Dies wiederholte sich im darauffolgenden Jahr, wobei die Ausgangswerte nicht wieder erreicht wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass die VOC-Konzentrationen im Innenraum im zeitlichen Verlauf dem Grunde nach abnehmen, jedoch von der Außen- und Innentemperatur zunehmend beeinflusst wurden. Die Raumluftkonzentrationen korrelierten stark mit den Temperaturen.

Einfluss auf die Konzentrationen in der Raumluft hatte insbesondere die Luftwechselrate. Für einige Wochen wurden die Lüftungsanlagen der Modellhäuser bei variierenden Luftwechselraten betrieben. Eine Erhöhung der Luftwech-

selrate bis auf $0,5\text{ h}^{-1}$ führte zu geringeren VOC-Konzentrationen – bei einer weiteren Steigerung der Luftwechselrate war dieser Effekt geringer. Um den Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Produktprüfung und der Raumluftkonzentration zu bewerten, wurden für alle Modellhäuser verschiedene theoretische Raumluftkonzentrationen berechnet. Dafür wurden die Ergebnisse des 28. Tages der Emissionsprüfung aller für das entsprechende Haus verwendeten Baustoffe unter verschiedenen Annahmen aufsummiert: Es wurden Beladungsfaktoren angenommen, nach denen für jeden Haustyp mehrere Szenarien berechnet und mit dem Mittelwert der tatsächlich gemessenen Raumluftkonzentration verglichen wurden. Keine der Berechnungsweisen ergab für alle Stoffgruppen eine gute Übereinstimmung mit der Raumluftkonzentration. Die Innenraumluftqualität konnte somit nicht aus den Bauteilemissionen abgeleitet werden. Insbesondere die jahreszeitlichen Schwankungen waren nicht darstellbar. Aus diesen Gründen reflektiert eine Bewertung der Produktemissionen die festgestellten Zusammenhänge zur Raumluftkonzentration nicht hinreichend. Zwar war erkennbar, dass die eingesetzten Baustoffe und deren Emissionspotenzial einen Einfluss auf die Höhe der Innenraumluftkonzentration haben, jedoch war dies nur beim Vergleich der Häuser untereinander darstellbar. Rückschlüsse auf die tatsächlichen VOC-Konzentrationen im Innenraum konnten nicht durch den 28-Tageswert der Produktprüfung abgeleitet werden.

Was lässt sich aus den Ergebnissen des Projektes ableiten?

Die alleinige Betrachtung von Produktemissionen, die über den normativ festgelegten Referenzraum ermittelt werden, ermöglicht keine hinreichende Bewertung im Hinblick auf die sichere Verwendbarkeit im realen Innenraum. Die VOC-Konzentration im Gebäude kann nur durch Innenraummessungen unter realistischen Bedingungen bewertet werden. Dabei muss jedoch zusätzlich beachtet werden, dass eine einmalige Messung ein lediglich zufälliges und unter den am Prüftag herrschenden Messbedingungen ermitteltes Ergebnis liefert, das keine allgemeingültige Aussagekraft hat, sondern nur eine Momentaufnahme ist. Eine belastbare Aussage ist nur möglich, wenn Messungen auch bei niedrigen und hohen Außentemperaturen erfolgen, da die Temperaturen einen deutlichen Einfluss auf die Höhe und auch Zusammensetzung der Konzentrationen haben.

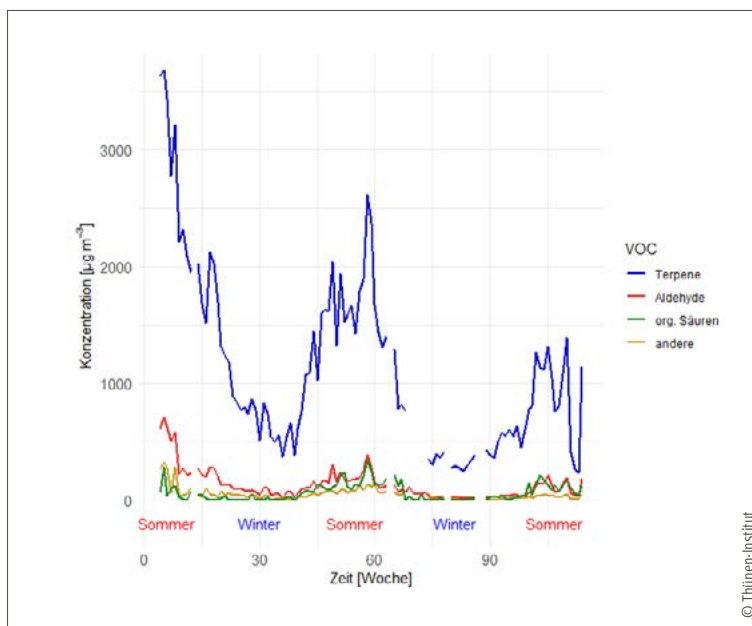


Abbildung 10: Verlauf der VOC-Konzentration in Modellhaus 3 über die gesamte Messdauer

Identifikation und Verminderung der geruchsrelevanten Stoffe von Bauprodukten auf Basis von Holz und anderen nachwachsenden Rohstoffen für Anwendungen im Innenraum

Autorin: Dr. Nina Ritter, Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Holzwerkstoff- und Naturfaser-Technologien (HNT)

Hintergrund und Fragestellung

Das Projekt wurde am Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) in den Fachbereichen Holzwerkstoff- und Naturfaser-Technologien sowie Materialanalytik und Innenluftchemie (Geruchs- und Emissionsmessungen) in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP sowie den assoziierten Praxispartnern Pfeleiderer Holzwerkstoffe GmbH, Sasol Wax GmbH und Steico SE durchgeführt.

Ziel des Projekts war die Erfassung und Vermeidung und/oder Verminderung der VOC- und Geruchsstoffemissionen bei Holzwerkstoffen aus inhaltsstoffreichem und daher emissions- und geruchsintensivem Kiefernholz für den Dämmbereich (Holzfaserdämmplatten) sowie für den konstruktiven Baubereich (Grobspanplatten). Im Vorhaben konzentrierten sich die Untersuchungen auf diese beiden Werkstoffe, da diese sich im Rohmaterial deutlich unterscheiden. Die Versuchsführung konzentrierte sich vordringlich auf die Reduzierung von Geruchsemissionen, die sich aus der stofflichen Zusammensetzung des Rohstoffs in Verbindung mit verfahrenstechnisch unumgänglichen Prozessschritten (thermo-mechanischer Holzaufschluss, Heißtrocknung, Heißpressung) ergeben. Eine Reduzierung von für Fehlgerüche ursächliche Emissionen sollte durch die Anpassung von Produktionsparametern und/oder den Einsatz von Additiven zur Geruchsbindung sowie zur Verhinderung von Sekundärreaktionen erreicht werden.

Die chemische Zusammensetzung der VOC sowie ihre mengenmäßigen Anteile werden bei Holz- und Naturfaserverbundwerkstoffen von zahlreichen Faktoren beeinflusst. Dies sind z. B. Holz-/Pflanzenart, Standort, Alter/Erntezeit, Aufbereitung, Trocknung, Polymer/Bindemittel, Additive, Herstellungsprozess, Nachbehandlungen und Alter der Werkstoffe. Die Arbeiten konzentrierten sich auf extraktstoffreiches Kiefernholz, das für die Herstellung von Grobspanplatten sowie Holzfaserdämmplatten eingesetzt wurde. Die beiden Werkstoffe unterscheiden sich in ihren verfahrenstechnischen Prozessschritten der Partikel- bzw. Faseraufbereitung deutlich. Zum einen zeigt die Spantrocknung einen deutlichen Effekt auf die Emissionen und zum anderen treten bei der thermischen Belastung des Holzes während der Faserherstellung Sekundärreaktionen auf und damit geruchsrelevante Emissionen.

Ferner wurden verschiedene Standorte und Alter des Holzes, unterschiedliche Trocknungstemperaturen bei der Spanherstellung sowie verschiedene Binde- und Hydrophobierungsmittel mit in die Untersuchungen einbezogen. Zusätzlich wurden vom Fraunhofer IAP partikuläre Systeme zur Bindung relevanter Geruchsstoffe entwickelt und evaluiert.

Methoden

Im Vorhaben erfolgte eine qualitative und quantitative Identifizierung der Emissionen an flüchtigen organischen Verbindungen unter besonderer Berücksichtigung der geruchsrelevanten Stoffe aus Kiefernholz, den Zwischenprodukten (Span/Faser) bei der Werkstoffherstellung und den im Labor unter industrieeüblichen Bedingungen (verschiedene Binde- und Hydrophobierungsmittel sowie Einsatz von partikulären Systemen) hergestellten Holzwerkstoffen. Die Untersuchung der von den Werkstoffen freigesetzten Emissionen erfolgte in Prüfkammern gemäß DIN EN ISO 16000-9:2008-04 und DIN EN ISO 16000-11:2006-06. Geruchsrelevante Einzelstoffe, insbesondere Substanzen, die Fehlgerüche verursachen, wurden durch Gaschromatographie/Massenspektrometrie (GC/MS) gemäß DIN ISO 16000-6:2012-11 und Gaschromatographie/Olfaktometrie (GC-O/FID) erfasst. Ferner wurden die flüchtigen Aldehyde gemäß DIN ISO 16000-3:2013-01 analysiert. Da schwache VOC-Quellen nicht auch zwingend schwache Geruchsquellen sind und umgekehrt starke VOC-Quellen nicht immer starke Geruchsquellen darstellen, war es sinnvoll, die Ausgangssituation auch anhand der DIN ISO 16000-28:2012 mittels der empfundenen Geruchsintensität zu



Geruchslabor des Fraunhofer WKI

bewerten. Im Anschluss an die Messung der empfundenen Intensität erfolgte zusätzlich die Bestimmung der Lästigkeit eines Geruchs über die hedonische Wirkung sowie über die Beschreibung der Geruchsart.

Zur Maskierung bzw. Ausschaltung von geruchsrelevanten Verbindungen wurden ferner partikuläre Systeme entwickelt und evaluiert, wobei zum einen poröse Partikel mit großen Oberflächen (Absorber – effektives Binden der Geruchsstoffe) hergestellt und zum anderen während des Herstellungsprozesses der Holzwerkstoffe Reduktionsmittel bzw. Radikalfänger eingesetzt wurden.

Projektergebnisse

Die Erfassung der chemischen und sensorischen Emissionen der einzelnen Roh- und Werkstoffe hat folgende Ergebnisse aufgezeigt:

- Standort und Alter der Baumstämme, die Lage des Holzes im Stamm (Kern/Splint) sowie das Waschen der Fasern haben Einfluss auf die Emissionen gezeigt.
- Eine thermische Behandlung (feucht, 60°C und 120°C) der Späne (Kern und Splint) hat gezeigt, dass mit zunehmender Trocknungstemperatur die Summe der gemessenen VOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) deutlich abnimmt. Das Level an geruchsrelevanten Stoffen wie Essigsäure, Aldehyden, Terpenen/ Terpenoiden sowie Säuren sank von sehr stark auf mäßig.
- Durch den Einsatz verschiedener Binde- und Hydrophobierungsmittel konnten keine relevanten Unterschiede festgestellt werden. Alle untersuchten Werkstoffe waren moderate Quellen für flüchtige organische Verbindungen ($300\text{--}900\ \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- Der Großteil der hergestellten Span- und Faserdämmplatten war eine moderate Quelle für flüchtige organische Verbindungen. Einige der hergestellten Faserplatten waren jedoch starke bis sehr starke Quellen ($900\text{--}1.500\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ sowie $> 1.500\ \mu\text{g}/\text{m}^3$). Die aus den Spanplatten detektierten Hauptkomponenten waren Essigsäure, α -Pinen, 3-Caren und diverse andere Terpen-Kohlenwasserstoffe in moderaten bis hohen Konzentrationen. Bei den Faserplatten waren es überwiegend die Carbonsäuren Ameisensäure und Essigsäure. Darüber hinaus wurden bei fast allen Faserplatten die geruchsrelevanten Verbindungen Furfural, 1-Hydroxy-2-propanol, Dimethylstyrene sowie 4-Isopropylbenzaldehyd freigesetzt. Zwar wurden diese Komponenten größtenteils in niedrigen Konzentrationen nachgewiesen; können aber durch ihre niedrige Geruchsschwelle bereits in Spurenkonzentrationen von der menschlichen Nase detektiert werden. Die empfundenen Intensitäten der Spanplatten lagen in einem Intensitätsbereich von 5,3 bis 8,4 pi, die der Faserplatten zwischen 5,7 bis 9,2 pi (pi, „perceived intensity“ – Bewertung der empfundenen Intensität).

- Ferner konnte kein nennenswerter positiver Effekt durch die Additive im Hinblick auf das chemische und sensorische Emissionsverhalten der Werkstoffe beobachtet werden.
- Die Ergebnisse der GC-O gehen mit den VOC-Ergebnissen und den Geruchsbeschreibungen der Probanden einher. Es konnten verschiedene geruchsverursachende Einzelsubstanzen wahrgenommen werden. Zumeist wurden die Proben als holzartig, säuerlich oder muffig beschrieben. Vor allem konnten gesättigte Aldehyde (z.B. Hexanal, Nonanal, Decanal), ungesättigte Aldehyde (z.B. trans-2-Octenal, trans-2-Nonenal), Säuren (zumeist Essigsäure) und diverse Terpene und Terpenoide (z.B. α -Pinen, 3-Caren, α -Terpineol) detektiert werden. Bei allen Proben konnte 1-Octen-3-ol bzw. 1-Octen-3-on wahrgenommen werden. Das pilzig riechende 1-Octen-3-ol konnte zudem bei einzelnen Proben auch mittels GC-MS nachgewiesen werden. Der säureartige, teilweise auch als eklig bzw. schweißig beschriebene Geruch war teils auf Essigsäure, aber auch auf weitere Säuren wie Buttersäure, Isobuttersäure, Pentansäure oder Isopentansäure rückführbar. Der Geruch der Proben wurde zum Teil als würzig/geräuchert beschrieben, hierfür kann das teils in Spuren detektierte Dimethylstyrene, aber auch Carvon verantwortlich sein.

Was lässt sich aus den Ergebnissen des Projektes ableiten?

Die Herausforderung des Vorhabens lag insbesondere in der Verminderung von Geruchsemissionen durch die Maskierung bzw. Reduzierung von geruchsrelevanten Verbindungen durch partikuläre Systeme, die den Werkstoffen während des Herstellungsprozesses zugesetzt wurden. Durch die kombinierte GC/MS, GC-O/FID sowie Intensitätsbestimmung gemäß DIN EN ISO 16000-28:2012 konnten die Geruchsemissionen der Holzwerkstoffe qualitativ und quantitativ erfasst und bewertet werden. Hier konnten erste vielversprechende Ergebnisse bei den ausgewählten verfahrenstechnischen Maßnahmen erzielt werden. Bei der Entwicklung der Additive bedarf es einer gezielteren Auswahl zur Emissionsverringerng.

Evaluierung der Emissionen von sehr flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) aus Holz und Holzprodukten zur Bewertung gesundheitlicher Auswirkungen – Entwicklung von Reduzierungsansätzen unter Berücksichtigung realer Innenraumbedingungen

Autorin: Dr. Alexandra Schieweck, Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Materialanalytik und Innenluftchemie

Hintergrund und Fragestellung

Hinsichtlich der Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten und der Innenraumluftqualität ist in den letzten Jahren neben den flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) die Gruppe der sogenannten leichtflüchtigen organischen Verbindungen (VOC) in den Fokus der Aufmerksamkeit geraten.

Innerhalb der European Collaborative Action (ECA) „Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure“ wurden sowohl Kriterien für ein harmonisiertes Prüfverfahren als auch ein Schema für eine einheitliche und reproduzierbare gesundheitsbezogene Bewertung von Emissionen aus für den Innenbereich vorgesehenen Bauprodukten entwickelt (ECA, 2005; 2012). Die gesundheitsbezogene Bewertung der Emissionen basiert auf sogenannten LCI-Werten (Lowest Concentration of Interest; deutsch: NIK-Werte, Niedrigste Interessierende Konzentration). Für Substanzen aus der Gruppe der VVOC werden seit 2013 EU-LCI-Werte abgeleitet und publiziert. Auch der Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR), der am Umweltbundesamt angesiedelt ist und Richtwerte für Luftverunreinigungen festlegt, hat Ende 2013 erstmals Innenraumrichtwerte für eine zu den VVOC zählende Substanz benannt.

Diese Veränderungen auf regulatorischer Ebene sind für die Holzverarbeitende Industrie und für den Bausektor von Relevanz. Allerdings war bislang keine analytische Methode für den quantitativen Nachweis von VVOC in der Emissionsprüfkammer bzw. in der Innenraumluft verfügbar, sodass folglich weder Daten zum Emissionsverhalten von holzbasierten Werkstoffen noch zur Raumluftqualität in holzbasierten Fertighäusern hinsichtlich VVOC vorlagen.

In Zusammenarbeit mit Verbänden der Holzverarbeitenden Industrie und des holzbasierten Fertigbaus sowie mit assoziierten Firmen wurden daher in dem Vorhaben zwei wichtige Grundlagen erarbeitet:

1. die Entwicklung einer analytischen Methode für den quantitativen Nachweis von VVOC in der Prüfkammer und in der Innenraumluft sowie
2. die Bewertung der Relevanz von VVOC-Emissionen aus Holz und holzbasierten Werkstoffen sowie in Bezug auf die Raumluftqualität in holzbasierten Fertighäusern.

Methoden

In einem Schwerpunkt des Vorhabens wurde ein analytisches Verfahren für den quantitativen Nachweis von VVOC in Prüfkammern und in der Innenraumluft entwickelt. Im Anschluss wurde mit dieser Methode erstmals eine große Auswahl an Vollhölzern und holzbasierten Werkstoffen auf ihr Emissionsverhalten hinsichtlich eines breiten Spektrums an VVOC untersucht. Zusätzlich umfasste die Prüfung die Detektion von niedermolekularen Carbonylverbindungen (einschließlich Formaldehyd und Acetaldehyd), niedermolekularen Carbonsäuren (Ameisensäure, Essigsäure) und von VOC. Bei der Werkstoffauswahl für die Emissionsprüfungen wurden verschiedene Stufen der Produktionskette berücksichtigt, um Fragestellungen nach der Art und Menge freigesetzter Verbindungen und möglichen Abhängigkeiten zwischen Holzart, Zusatzstoffen und Herstellungsbedingungen beantworten zu können.

Da in vielen Forschungsvorhaben die gesamtheitliche Betrachtung von Emissionsprüfergebnissen und Realbauten fehlt, wurden zusätzlich zu den Prüfungen von Einzelmaterialeinheiten auch Modellwände in Großkammern (30 m³) analog zum Referenzraum gemäß DIN EN 16516 (2018) auf VVOC-Emissionen untersucht und die Raumluftqualität in holzbasierten Fertighäusern unterschiedlicher Hersteller in verschiedenen Bauphasen analysiert (Fertigstellung Rohbau, Fertigstellung Innenausbau/Übergabe, bewohnter Zustand). Damit wurde die Prozesskette Fertigung Einzelmaterialeinheiten – Hauswände – Hausbau abgedeckt. Die Untersuchungen der Modellwände erfolgte in Kooperation mit dem Vorhaben „HolnRaLu“ (siehe Seite 30).

Projektergebnisse

Analytische Methode für den quantitativen Nachweis von VVOC in der Gasphase

Für die Entwicklung einer analytischen Methode für den quantitativen Nachweis von VVOC in der Gasphase (Prüfkammern, Innenraumluft) waren sowohl die Modifikation der Sammelphase als auch die des analytischen Aufbaus erforderlich. Durch Verwendung des graphitisierten Kohlenstoffs (englisch graphitized carbon blacks, GCB) Carbograph 5TD als Festadsorber und einer mittelpolaren gaschromatographischen Kapillarsäule ist der quantitative Nachweis eines breiten Spektrums von VVOC unterschiedlicher Flüchtigkeiten und Polaritäten im analytischen Bereich von C3 bis C6 möglich. Die erreichten Bestimmungsgrenzen liegen substanzspezifisch zwischen 1 µg/m³ und 8 µg/m³. Die Grenzen der Methode bestehen hinsichtlich der Erfassung von nie-

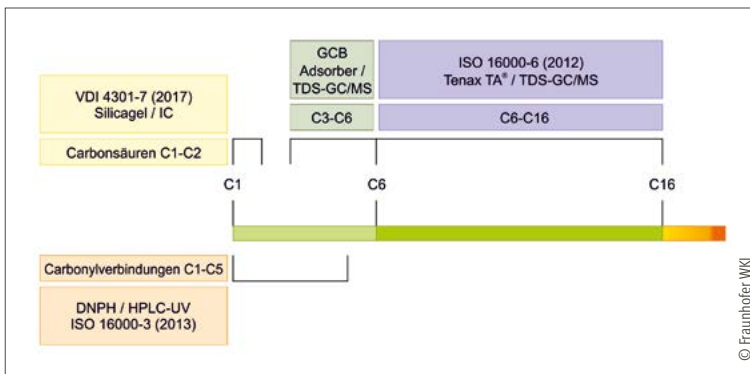


Abbildung 11: Grafische Übersicht über derzeit verfügbare Methoden für die quantitative Bestimmung eines möglichst breiten Spektrums von VVOC in der Prüfkammer bzw. in der Innenraumluft

dermolekularen VVOC \leq C3 und hier besonders hinsichtlich polarer Substanzen, wie beispielsweise Carbonsäuren, und einiger Aldehyde und Alkohole. Um ein möglichst breites Spektrum von VVOC mit Relevanz für die Innenraumluft zu erfassen, sind derzeit mindestens drei verschiedene analytische Methoden notwendig (siehe Abbildung 11).

VVOC als Emissionen von Vollhölzern und Holzwerkstoffen und in der Raumluft von holzbasierten Fertighäusern

Durch Anwenden der neuen analytischen Methode konnte gezeigt werden, dass auch Vollhölzer und holzbasierte Werkstoffe eine Emissionsquelle für VVOC darstellen. Neben der häufig untersuchten Verbindung Formaldehyd wurden als Hauptsubstanzen Acetaldehyd, Ameisen- und Essigsäure sowie Ethanol, 2-Propanol und Aceton (2-Propanon) detektiert. In geringeren Konzentrationen wurden n-Pentan, 2-Methylbutan, Methylacetat und 2-Propenal (Acrolein) identifiziert. Aufgrund verhältnismäßig ähnlicher Emissionsspektren der für die Untersuchung

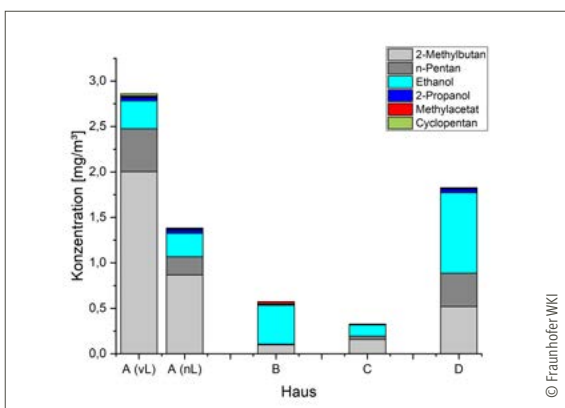


Abbildung 12: Konzentrationen von VVOC-Hauptsubstanzen, die in neu gebauten, holzbasierten Fertighäusern in der Nutzungsphase nachgewiesen wurden. Haus A: natürliche Belüftung ($n=0,06 h^{-1}$). Messung vor der Lüftung (vL) und nach der Lüftung (nL). Haus B-D mit Lüftungsanlage (B: $n=0,56 h^{-1}$, C: $n=0,54 h^{-1}$, D: $n=0,7 h^{-1}$)

ausgewählten Werkstoffe war ein Rückschluss auf eine bestimmte Produktionsstufe leider nicht möglich. Weiterführende Versuchsreihen zur Detektion von Acrolein in der Gasphase mit der im Vorhaben entwickelten analytischen Methode sind für die Veröffentlichung vorgesehen.

In allen Bauphasen wurden hohe Konzentrationen von n-Pentan, 2-Methylbutan und n-/iso-Butan in der Raumluft detektiert, die auf die Verwendung von Treibmitteln in den eingesetzten Dämmstoffen hinweisen (siehe Abbildung 12). Auch wenn der Betrieb einer Lüftungsanlage für einen höheren Luftwechsel sorgt, zeigten die Ergebnisse, dass eine

Reduzierung von Luftfremdstoffen und damit eine hygienische Luftqualität allein durch den Betrieb einer RLT-Anlage nicht zwangsläufig erreicht wird. Die umsichtige Auswahl von Konstruktionsmaterialien und Bauprodukten ist daher von unverändert hoher Wichtigkeit.

Was lässt sich aus den Ergebnissen des Projektes ableiten?

Auch wenn Vollhölzer und holzbasierte Werkstoffe leichtflüchtige Verbindungen freisetzen können, so zeigten die Messreihen in den holzbasierten Fertighäusern, dass der Einfluss von Holzwerkstoffen auf Raumluftkonzentrationen von VVOC von untergeordneter Bedeutung ist. Die Konzentrationen von Formaldehyd lagen in allen Häusern unterhalb des geltenden Richtwerts I (RW I: $0,10 mg/m^3$). Die Einhaltung des gesetzlichen Grenzwertes der Chemikalien-Verbotsverordnung scheint daher ein wirksames Instrument zur Einhaltung des RW I zu sein.

Stattdessen werden zukünftig die Substanzen Acetaldehyd und Essigsäure in den Fokus der Aufmerksamkeit rücken. Mit Ausnahme eines natürlich belüfteten Hauses wurde der für Acetaldehyd geltende RW I ($0,10 mg/m^3$) bei der Übergabe bzw. im bewohnten Zustand eingehalten. Der für die Gruppe der C1-C8-Alkansäuren zukünftige RW I ($0,30 mg/m^3$) wurde in zwei Häusern (natürliche/mechanische Lüftung) überschritten, da die Essigsäure-Konzentrationen über die Bauphasen und im bewohnten Zustand zunahmen.

Angesichts fortlaufender Entwicklungen auf regulatorischer Ebene sind weiterführende Studien zur Raumluftqualität in Realhäusern unter unterschiedlichen Randbedingungen (Konstruktion, Nutzung, Lüftung) zu empfehlen, um umfassende Informationen zum Emissionsverhalten von Bauprodukten und zu den Einflussfaktoren (u. a. Senken, Wechselwirkungen) zu erhalten und um auf dieser Grundlage Handlungsempfehlungen für die Baubranche ableiten zu können.



„Der Einfluss von Holzwerkstoffen auf Raumluftkonzentrationen von VVOC ist von untergeordneter Bedeutung.“

Projekt 5 – Evaluierung der Emissionen von VVOC



„Es gibt Hinweise auf gesundheitsfördernde Effekte für den Menschen durch holztypische VOC, die auch in Waldluft zu finden sind.“

Projekt 1 – GesundHOLZ



„Das Monoterpen α -Pinen, das in den typischen Holz-Emissionen meistens in der höchsten Konzentration vorliegt, zeigte kein auffälliges toxisches oder chemosensorisches Potenzial. Für realistische Innenraumkonzentrationen an Terpenen lassen sich keine gesundheitsrelevanten Effekte ableiten.“

Projekt 1 – GesundHOLZ



„Die Ergebnisse zeigen, dass die VOC-Konzentrationen im Innenraum von der Außen- und Innentemperatur zunehmend beeinflusst wurden.“

Projekt 3 – HolnRaLu



„Geeignete Prüfparameter und Regressionsgeraden, die für ein Produkt oder eine Produktgruppe ermittelt wurden, können nicht zwingend auf andere Produkte übertragen werden.“

Projekt 2 – MC-VOC



FAQ

Was bedeutet die Abkürzung VOC?

VOC ist die Abkürzung des englischen Begriffs „Volatile Organic Compounds“ und bedeutet „flüchtige organische Verbindungen“.

Fachleute unterscheiden VOC von den sehr flüchtigen organischen Verbindungen (Very Volatile Organic Compounds, VVOC) und den schwerflüchtigen organischen Verbindungen (Semivolatile Organic Compounds, SVOC).

Daneben gibt es noch den sogenannten TVOC-Wert (Total Volatile Organic Compounds). Der TVOC-Wert ist ein Summenwert, bei dem alle Einzelmesswerte aus einem genormten VOC-Spektrum addiert werden.

Woraus bestehen flüchtige organische Verbindungen?

VOC umschreibt gas- und dampfförmige Stoffe organischen Ursprungs in der Luft. Dazu gehören zum Beispiel Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Aldehyde und organische Säuren.

VOC sind normale Bestandteile der Innenraumluft von Wohngebäuden und Aufenthaltsräumen. Sie werden emittiert von Menschen, Tieren, Pflanzen und entstehen durch menschliche Aktivitäten, z. B. Kochen, Reinigen, Körperpflege, Hobbytätigkeiten, Rauchen. Die meisten VOC oder ihre Mischungen sind bei entsprechender Konzentration für den Menschen riechbar. Auch Baustoffe oder Einrichtungsgegenstände geben Geruchsstoffe an die Umgebung ab – etwa Möbel, Bodenbeläge, Tapeten oder Konstruktionshölzer, Platten, Dämm- und Klebstoffe, Dichtmassen, Anstrich- und Imprägniermittel.

Wie entstehen VOC?

VOC sind organische Verbindungen. Gemeinhin fasst man unter VOC Verbindungen zusammen, die mindestens sechs und maximal 16 Kohlenstoffatome aufweisen.

Sie haben aufgrund ihres niedrigen Siedepunkts (bzw. hohen Dampfdrucks) die Fähigkeit zu verdampfen oder zu verdunsten und werden so an die Umwelt abgegeben.

Pflanzen, Tiere, Böden und Meere sind natürliche VOC-Quellen. Zum Großteil handelt es sich dabei um die von vielen Pflanzen emittierten Terpene, darunter vor allem das Pinen.

Werden VOC ausschließlich von Holz und Holzprodukten abgegeben?

Nein, auch andere Produkte und Materialien, mit denen wir uns im täglichen Leben umgeben, emittieren flüchtige organische Substanzen. Geruchlich wahrnehmbar sind zum Beispiel das Schälen einer Orange, der Gebrauch von Eau de



Der Geruch beim Schälen von Mandarinen ist auf flüchtige organische Verbindungen zurückzuführen

Cologne, Klebern, Farbanstrichen, Duftkerzen, Reinigungsmitteln, das Tabakrauchen und vieles mehr.

Enthalten alle Holzarten VOC?

Alle Holzarten enthalten einen natürlichen Anteil an VOC. Die natürlichen chemischen Verbindungen, die Bäume im Laufe ihres Lebens zu ihrer Stabilisierung, zur Wundheilung oder als Fraßschutz produzieren, sind bei der Verarbeitung der Stämme als typischer Holzgeruch wahrnehmbar.

Grundsätzlich verfügen Nadelhölzer über ein höheres Emissionspotenzial als Laubbäume. Unter den Nadelbäumen hat das harzig riechende Holz der Kiefer das größte VOC-Potenzial.

Je nach Holzart lassen sich unterschiedliche Anteile der holztypischen Emissionen nachweisen. Selbst bei gleicher Holzart lassen sich erhebliche Abweichungen aufgrund der Holzherkunft, der Lagerung und Bearbeitung messen. Die ermittelten VOC-Werte sind immer eine Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Messung.

Welche VOC kommen in Holz und Holzprodukten vor?

Emissionen aus holzbasierten Bau- und Werkstoffen stammen zumeist aus natürlichen Inhaltsstoffen des Holzes („Holz-VOC“). Durch Schutzmittel, Anstriche, Beschichtungen und Bindemittel können aber auch Nicht-Holz-VOC eingebracht werden. Die holztypischen VOC kommen hauptsächlich aus drei Stoffgruppen: Terpene, Aldehyde und Carbonsäuren.

Für Laubhölzer typisch sind Carbonsäuren und zudem Aldehyde in fettreichen Laubhölzern (z. B. Linde und Birke), bei Nadelhölzern treten zusätzlich die Terpene auf. Terpene sind eine Gruppe von im Pflanzenreich sehr verbreitet auftretenden Inhaltsstoffen. Die Gruppe umfasst etwa 900 Einzelverbindungen, etwa 25 davon finden sich in Nadelhölzern wieder. Die Terpenegehalte von Nadelhölzern sind in der Regel vergleichsweise hoch, wodurch Nadelholzprodukte zumeist höhere VOC-Emissionen aufweisen als Laubholzprodukte.

Sind VOC in Gebäuden mit hohem Holzanteil für Menschen und Haustiere wirklich gesundheitsschädlich?

Nein. Üblicherweise sind die VOC-Konzentrationen in Gebäuden mit Holzanteil sehr gering und gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht zu befürchten.

Das Umweltbundesamt hat eine repräsentative Übersicht der in Wohnungen in Deutschland vorkommenden VOC erstellt. Konzentrationen, die gesundheitliche Beeinträchtigungen bewirken, können unmittelbar nach Bau- und umfangreichen Renovierungsmaßnahmen sowie bei unsachgemäßer Verarbeitung und unverhältnismäßigem Einsatz wenig geeigneter Produkte auftreten. Geruchsbelästigungen, Reizungen und Symptome, die nicht unmittelbar einer Krankheit zugeordnet werden können, wurden als akute Wirkungen auf Menschen beschrieben.

Holz und Holzprodukte verursachen bei sachgemäßem Einsatz keine gesundheitsschädigenden Wirkungen und dürfen deshalb verwendet werden.



Holzprodukte schaffen ein angenehmes Raumklima

Wie werden VOC in Innenräumen gemessen?

Raumluftmessungen werden nach der DIN 16000 ff. durchgeführt. Um ein aussagekräftiges und objektives Ergebnis zu erhalten, wird die Messung durch eine sachgerechte Messplanung vorbereitet. Zum Beispiel dürfen kurz vor der Messung keine alkohol- oder chlorhaltigen Reinigungsmittel verwendet werden, Temperatur und Luftfeuchtwerte müssen bestimmten Vorgaben entsprechen.

Wie kann der VOC-Gehalt in Innenräumen vermindert werden?

Grundsätzlich ist es immer hilfreich, durch richtiges Lüften die VOC-Konzentration in Innenräumen zu vermindern. Sollten neue Möbel oder Wandfarben, Lacke, Tapeten, Raufaser, Bodenbeläge etc. gekauft werden oder stehen umfangreiche Bau- und Renovierungsmaßnahmen an, sollte auf emissionsarme Produkte und Materialien geachtet werden. Hilfreich ist dabei die Orientierung an Umweltzeichen wie dem Blauen Engel oder der Euro-Margerite.

Welche Produkte des täglichen Bedarfs geben nennenswerte VOC-Emissionen ab?

VOC umgeben uns täglich in verschiedener Konzentration. Oft können wir sie schon bei sehr geringen Konzentrationen in der Raumluft riechen. Sie kommen aus „Lufterfrischern“, Baustoffen, Raumtextilien, Möbeln und entstehen etwa beim Putzen mit alkohol- und chlorhaltigen Putzmitteln, beim Kochen oder beim Basteln und eben beim Bauen.

Der Einfluss des Nutzers im Raum ist als sehr viel höher einzustufen als jener der verwendeten Holz- bzw. Bauprodukte.

Über welchen Zeitraum sondert Holz flüchtige Substanzen ab und wie lange dauert es, bis sie verfliegen sind?

Die üblichen in Holz und Holzwerkstoffen vorkommenden flüchtigen Stoffe weisen ein natürliches Abklingverhalten auf. Generell verflüchtigen sich leichtflüchtige Stoffe aus holzbasierten Produkten relativ schnell. Bei normaler Gebäudenutzung mit entsprechendem Luftaustausch nimmt die Konzentration dieser natürlichen VOC nach wenigen Monaten deutlich ab. Zudem haben Temperatur, Feuchte und die äußeren klimatischen Bedingungen einen Einfluss auf das Abklingverhalten.

Welche Folgen könnten erhöhte VOC-Konzentrationen aus holzbasierten Produkten in Innenräumen für Menschen und Tiere haben?

Studien am Menschen mit größtenteils sehr hohen Konzentrationen an Holz-VOC (u.a. Terpene, Aldehyde, Carbonsäuren) geben bis dato für den Innenraum und akute Expositionen keinen belastbaren Hinweis auf negative gesundheitliche Effekte.

Bisherige wissenschaftliche Erkenntnisse lassen hingegen den Schluss zu, dass bestimmte Holzemissionen und deren Inhaltsstoffe – insbesondere solche mit Terpenegehalten – sich konzentrationsabhängig sogar gesundheitsfördernd auf den menschlichen Organismus auswirken können.

Weitere Antworten zu FAQ zum Thema VOC finden Sie unter: baustoffe.fnr.de/bauen/oekologie/faq-zum-thema-voc

TIPPS UND WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

Empfehlungen für den Einkauf von Bauprodukten am Beispiel öffentlicher Bauvorhaben

Die umweltfreundliche und zukunftssichere Nutzung der Ressource Holz aus heimischen Wäldern ist Maßstab der Forschungsagenda und der Nationalen Bioökonomiestrategie der Bundesregierung. Zudem findet sie sich als primäres Ziel der Charta für Holz 2.0 als Klimaschutzbeitrag der Forst- und Holzwirtschaft wieder.

Zur Erreichung dieser Ziele setzt zukunftsfähiges öffentliches Bauen zunehmend eine ganzheitliche Betrachtungsweise voraus, die neben den reinen Investitionskosten auch dauerhafte Effekte auf Umwelt und Klima berücksichtigt sowie die Stadt- und Raumentwicklung im Blick behält. Grundsätzliche und wichtige Voraussetzungen für umweltgerechtes Bauen sowie die Wohngesundheit können bereits im Rahmen der Bauleitplanung getroffen werden. Weitere Weichen werden auf der Produktebene gestellt.

Öffentliche Bauvorhaben werden immer komplexer und lassen sich oft nicht mehr mit den Methoden des Projektmanagements beherrschen. Hierzu bedarf es eines ausgereiften Programm-Managements und ausgewiesener Fachkompetenz, die bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht nur die reinen Kosten im Blick hat. Entsprechende Fortbildungen sollten daher in Bau- und Planungsabteilungen sowie in Bauämtern oberste Priorität haben. Bedarfsträger, Einkäufer und Planer in öffentlichen Verwaltungen müssen über Kenntnisse in Bezug auf nachhaltige und innovative Produkte sowie technische Lösungen verfügen.



Die Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe (FNR) liefert mit dem Themenheft „Öffentliches Bauen & Sanieren“ erste Einblicke in die Vergabe von Bauvorhaben mit umweltfreundlichen Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen

Informationen zum Download: mediathek.fnr.de/broschuren/nachwachsende-rohstoffe/nachhaltige-beschaffung/themenheft-iv-oeffentliches-bauen-sanieren.html



Grundsätzlich würde eine eindeutige Formulierung zur nachhaltigen (Bau-)Vergabe vieles vereinfachen und positive Effekte auf Umwelt, Klima, Ressourcen, Mittelstand sowie Innovationen haben.

In ihrem Onlineangebot bietet die FNR weitere Informationen zum Thema Bauen und Wohnen mit nachwachsenden Rohstoffen an:

- Virtuelle Baustelle mit Konstruktionsvorschlägen für Bauherren, Hausbesitzer und Verbraucher: hausbau.fnr.de
- Eigenschaften/Anwendung von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen: baustoffe.fnr.de
- Erfreuliche Beispiele aus der Praxis: architekturfuehrer.fnr.de
- Mediathek Bauen: mediathek.fnr.de/broschuren/nachwachsende-rohstoffe/bauen.html
- Produkte und Anbieter: www.die-nachwachsende-produktwelt.de
- Ausschreibungshilfen und Gütezeichen: beschaffung.fnr.de

ANHANG

Abkürzungsverzeichnis

AgBB	Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten; der AgBB wurde 1997 von der Länderarbeitsgruppe „Umweltbezogener Gesundheitsschutz“ (LAUG) der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) ins Leben gerufen
AIR	Ausschuss für Innenraumrichtwerte
BRI	Building related illness – allergene, mikrobielle oder chemische Belastungen als nachweisbare Ursachen für gebäudebezogene Erkrankungen
COPD	Chronic obstructive pulmonary disease – eine chronisch-obstruktive Bronchitis (COB) mit oder ohne Lungenemphysem
DALY	Disability oder Disability-Adjusted Life Year – Konzept zur Messung der Krankheitslast für die Gesellschaft; eine Maßeinheit DALY entspricht einem verlorenen, gesunden Lebensjahr
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan – ist ein Insektizid, das seit Anfang der 1940er Jahre als Kontakt- und Fraßgift eingesetzt wurde; Herstellung und Vertrieb von DDT sind in der Deutschland seit 1977 verboten
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
ECA	European Collaborative Action – Expertengremium der Europäischen Kommission
FAIMS	Field Asymmetric Ion Mobility Spectrometry – Ionenmobilitätsspektrometrie mit asymmetrischer Feldwellenform
GC	Gaschromatografie
GCB	Graphitized Carbon Blacks – graphitisierter Kohlenstoff
IAQ	Indoor Air Quality – englisch für Innenraumluftqualität
LBO	Landesbauordnung
LCI-Wert	Lowest Concentration of Interest – NIK-Wert, Niedrigste Interessierende Konzentration
MAK-Wert	Maximale Arbeitsplatz Konzentration – die höchstzulässige Konzentration eines Arbeitsstoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz
MBO	Musterbauordnung
MDF	Mitteldichte Holzfaserplatte
MS	Massenspektrometrie
MVV TB	Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen
NIK	Niedrigste Interessierende Konzentration – NIK-Werte stellen Rechengrößen zur toxikologischen Wichtung eines Bauproduktes dar, sind aber nicht als Richtwerte zu verstehen

OSB	Oriented Strand Board – Grobspanplatten
PCB	Polychlorierte Biphenyle – sind giftige und krebsauslösende chlorierte Kohlenwasserstoffe, die Verwendung von PCB in Deutschland ist seit 1989 verboten
pi	Einheit der empfundenen Geruchsintensität [I] – Werte von 0–4 pi sind schwache Gerüche, starke Gerüche liegen bei Werten über 12 pi
PM	Particulate Matter – Feinstaub
RLT	Raumlufttechnische Anlage – beeinflusst den Zustand der Raumluft hinsichtlich Lufttemperatur, Luftfeuchte und Luftqualität
RW	Richtwert
SBS	Sick Building Syndrom – unspezifische Beschwerden mit unklarer Ursache, die beim Aufenthalt in Gebäuden entstehen können
SER	Flächenspezifische Emissionsrate
SPME	Solid Phase Micro Extraction – Festphasenmikroextraktion
SPME-GC-FAIMS	Solid Phase Micro Extraction Gas Chromatography Field Asymmetric Ion Mobility Spectrometry – Festphasenmikroextraktion gekoppelt an Gaschromatografie und Ionenmobilitätsspektrometrie mit asymmetrischer Feldwellenform
SVOC	Semivolatile Organic Compounds – schwerflüchtigen organischen Verbindungen
TD	Thermal Desorption – Thermodesorption
TD-GC-MS	Thermal Desorption Gas Chromatography Mass Spectrometry – Thermodesorption gekoppelt an Gaschromatografie und Massenspektrometrie
TRPA1 Kanal	Transient Receptor Potenzial Channel – TRPA-Kanäle spielen eine Rolle bei der Schmerz- und Temperaturrezeption
TVOC	Total Volatile Organic Compounds – Summe flüchtiger organischer Verbindungen
UBA	Umweltbundesamt
VOC	Volatile Organic Compounds – flüchtige organische Verbindungen
VVOC	Very Volatile Organic Compounds – sehr flüchtige organische Verbindungen
WDVS	Wärmedämmverbundsystem – System zum Dämmen von Gebäudeaußenwänden

Glossar (Auswahl)

atopisch	Allergisch; genetisch determinierte Bereitschaft, auf Kontakt mit natürlichen oder künstlichen Umweltstoffen mit gesteigerter Bildung von Immunglobulinen (IgE) zu reagieren
Autoxidation	Oxidation durch Luftsauerstoff
Bioassay	Kurz für biological assay – <i>In-vivo</i> -Untersuchung der Wirkung, die bestimmte chemische Stoffe auf lebende Organismen haben
Caren	Organisch-chemische Verbindung aus der Stoffgruppe der Carene, farblose Flüssigkeit mit terpenartigem Geruch, 3-Caren ist der Hauptbestandteil von Terpentin
Dichlordiphenyl-trichlorethan	kurz DDT, ist ein Insektizid, das seit Anfang der 1940er Jahre als Kontakt- und Fraßgift eingesetzt wurde; Herstellung und Vertrieb von DDT sind in der Deutschland seit 1977 verboten
Essigsäure	flüssige, farblose, ätzende, nach Essig riechende Carbonsäure
Formaldehyd	einfachster Vertreter aus der Stoffgruppe der Aldehyde, farbloses und stechend riechendes Gas, Klebstoffbestandteil in vielen Holzwerkstoffen
Furfural	organische Verbindung aus der Stoffgruppe der Aldehyde, farbloses Öl mit karamellartigem Geruch, natürlicher Bestandteil von ätherischen Ölen
hedonische Wirkung	Wirkung eines Geruchsstoffs in der Bandbreite der Bewertung zwischen „äußerst angenehm“ und „äußerst unangenehm“
Hexanal	organische Verbindung aus der Stoffgruppe der Aldehyde; farblose Flüssigkeit mit stechendem Geruch, Bildung durch Oxidation ungesättigter Fettsäuren
Lindan	γ -Hexachlorcyclohexan, ein Halogenkohlenwasserstoff, der früher als Insektizid verwendet wurde
2-Octenal	chemische Verbindung aus der Stoffgruppe der Aldehyde, farblose Flüssigkeit mit zitrusähnlichem Geruch
Olfaktometrie	Messung der Reaktion von Prüfpersonen auf den Geruchssinn betreffende Reize
Pentanal	organisch-chemische Verbindung aus der Stoffgruppe der Aldehyde, farblose, stechend riechende Flüssigkeit
Pinen	Monoterpen-Kohlenwasserstoff, wird unterschieden in α -Pinen, β -Pinen, γ -Pinen und δ -Pinen; natürlicher Bestandteil von ätherischen Ölen
Polychlorierte Biphenyle	kurz PCB, sind giftige und krebserregende chlorierte Kohlenwasserstoffe. Die Verwendung von PCB in Deutschland ist seit 1989 verboten
ppb-Bereich	parts per billion (zu Deutsch „Teile pro Milliarde“) steht für die Zahl 10^{-9} , also ein Milliardstel
Trigeminales Ganglion	Das <i>Ganglion trigeminale</i> ist ein halbmondförmiges sensibles Ganglion („Nervenknoten“) des fünften Hirnnerven, des <i>Nervus trigeminus</i>

Literatur

DIN 1946-6:2019-12 (2019). Raumluftechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung. Beuth-Verlag

DIN EN 12464-1:2011-08 (2011). Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. Beuth-Verlag

DIN EN 16798-3:2017-11 (2017). Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 3: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme (Module M5-1, M5-4). Beuth-Verlag

DIN EN 16798-1:2021-04 (2021). Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 1: Eingangparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumlufqualität, Temperatur, Licht und Akustik – Modul M1-6. Beuth-Verlag

DIN EN ISO 16000-1:2006-06 (2006). Innenraumlufverunreinigungen – Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahme-strategie (ISO 16000-1:2004). Beuth-Verlag

European Collaborative Action (ECA) (2005). Harmonisation of indoor material emissions labelling systems in the EU – Inventory of existing schemes – Report No. 24. Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure – Office for Official Publications of the European Communities. ISBN: 92-79-01043-3

European Collaborative Action (ECA) (2012). Harmonisation framework for indoor products labelling schemes in the EU – Report No. 27.v Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure – Office for Official Publications of the European Communities. ISBN: 978-92-79-22535-2

Jantunen, M., Oliveira Fernandes, E., Carrer, P. & Kephelopoulos, S. (2011). Promoting actions for healthy indoor air (IAAQ). European Commission Directorate General for Health and Consumers. <https://doi.org/10.2772/61352>

Mersch-Sundermann, V. & Marutzky, R. (2011, 18. Februar). Holz – ein gesundheitsverträglicher Baustoff? Holz-Zentralblatt, S. 186.

Schieweck, A., Gunschera, J., Varol, D. & Salthammer, T. (2018). Analytical procedure for the determination of very volatile organic compounds (C3–C6) in indoor air. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, (410), 3171-3183. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-1004-z>

Umweltbundesamt (UBA) (2007). Beurteilung von Innenraumlufkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz*, (7), 990–1005. <https://doi.org/10.1007/s00103-007-0290-y>

Umweltbundesamt (UBA). Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelfall in Gebäuden. Umweltbundesamt. Abgerufen am 01. Juli 2021 von www.umweltbundesamt.de/www.umweltbundesamt.de/schimmelleitfaden

Umweltbundesamt (UBA). Leitwerte für TVOC in der Innenraumluft. Umweltbundesamt. Abgerufen am 01. Juli 2021 von www.umweltbundesamt.de/bild/leitwerte-fuer-tvoc-in-der-innenraumluft

VDI 4300 Blatt 1:1995-12 (1995). Messen von Innenraumlufverunreinigungen – Allgemeine Aspekte der Meßstrategie. Beuth-Verlag

VDI 6022 Blatt 3:2011-07 (2011). Raumluftechnik – Raumlufqualität – Beurteilung der Raumlufqualität. Beuth-Verlag

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)
OT Gülzow, Hofplatz 1
18276 Gülzow-Prüzen
Tel.: 03843/6930-0
Fax: 03843/6930-102
info@fnr.de
www.fnr.de

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier
mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 1.163
mediathek.fnr.de
FNR 2021



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.