



Reduktion von Materialemissionen und Fehlgerüchen in der Innenraumluft von Gebäuden in Holzbauweise

Forschungsbericht

Bericht Nr.	R.007608-10-65FE-PB-01
Auftrag Nr.	R.007608-10-65FE
Klassifizierung	Öffentlich
Datum	20.02.2018
Auftraggeber	Bundesamt für Umwelt BAFU Abteilung Wald WHFF CH-3003 Bern
Adresse der Forschungsstelle	Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau Institut für Werkstoffe und Holztechnologie Kompetenzbereich Materialemissionen und Extraktstoffe Solithurnstrasse 102, CH-2504 Biel Tel / Fax +41 (0)32 344 03 41/91 www.ahb.bfh.ch
Verfasser	Prof. Dr. Ingo Mayer, Marco Paroni
Projektverantwortlicher	Prof. Dr. Ingo Mayer
Institutsleiter	Prof. Dr. Frédéric Pichelin

Abstract

An verschiedenen Wand- und Dachaufbauten in Holzbauweise konnte der Einfluss der einzelnen Baustoffe auf das Emissionsverhalten des Gesamtaufbaus belegt werden. Die vergleichsweise hohen VOC-Emissionen von OSB-Platten prägen die Gesamtemissionen der daraus erstellten Aufbauten. Diese Emissionen setzen sich aus Einzelstoffen der Stoffklassen der Aldehyde, Terpene und org. Säuren zusammen, alle drei geruchsrelevant. Ein Dachaufbau unter Einsatz einer Fi/Ta-Dreischichtplatte zeigte kaum Holzwerkstoff-basierte Emissionen und belegt, dass bei Wahl einer emissionsarmen Alternative zur OSB-Platte das Emissionsverhalten von Aufbauten in Holzbauweise deutlich abgesenkt werden kann. Der Einsatz einer emissionsreduzierten OSB-Platte (Pilotprodukt, kiefernholzfrei) führte zu geringeren Emissionswerten und zu einer Reduktion der Emission vergleichbarer Aufbauten um ca. 35 % gegenüber handelsüblichen OSB-Platten aus Kiefernholz. OSB-Platten, hergestellt aus Holzarten mit geringerem Emissionspotential, stellen eine wichtige Option für den Holzbau dar. Insbesondere inhaltsstoffarme Holzarten, darunter auch Laubhölzer wie Pappel oder Buche, sind hierbei aus emissionstechnischer Sicht für die OSB-Herstellung interessante Alternativen. Rauminnenseitig über den OSB-Platten installierte Gipsfaserplatten und eine Wandfarbe wiesen keine wesentliche Barrierewirkung gegenüber den VOC-Emissionen aus den OSB-Platten in Richtung Innenraumluft auf.

Weiter konnte gezeigt werden, dass der vorherrschende Luftwechsel in Innenräumen massgeblich zur sich einstellenden VOC-Konzentration in der Innenraumluft sowie zum Abklingverhalten der Emissionen in neu erstellten Objekten beiträgt. Messungen in einem Musterraum unter Einsatz einer emissionsreduzierten OSB-Platte, mit dem ein Holzbau in der Rohbauphase nachgestellt wurde (innere Oberflächen OSB-Platte) belegen die Möglichkeit, hohe VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft kurzfristig zu minimieren. Hierzu ist aber ein dauerhaft erhöhter Luftwechsel auf der Baustelle sowie eine ungehinderte Abgabe der Emissionen der OSB-Platten erforderlich. Die immer häufiger in Werkverträgen festgelegten Zielwerte zum Summenparameter TVOC und zu einzelnen VOC-Stoffgruppen sind für den Holzbau dann schwer einzuhalten, wenn keine raumlufttechnische Anlage verbaut ist und grossflächig OSB-Platten in Wand- und Deckenaufbauten verbaut sind. Von grosser Bedeutung bei der Umsetzung von Objekten in Holzbauweise ist demnach ein gesamthaftes Konzept, das unter anderem die Materialwahl, das Lüftungskonzept und eine geeignete Ausführung auf der Baustelle umfasst, um Innenräume mit niedrigen VOC-Konzentrationen realisieren zu können und im Falle bestehende Zielwerte in Werkverträgen diese sicher einhalten zu können.

Keywords: Holzbau, Emissionen, VOC, Geruch, Raumluftqualität

Inhaltsverzeichnis

1	Problemstellung	4
1.1	Zielwerte, Richt- und Leitwerte für die VOC-Konzentration in der Innenraumluft	4
1.2	Innenraumluftqualität in Neubauten	5
1.3	VOC-Emissionen aus Holzwerkstoffen im Holzbau	6
1.4	Holzwerkstoffe tragen zu Fehlgerüchen in der Innenraumluft bei	8
1.5	Emissionen aus mehrschichtigen Wand- und Dachaufbauten in die Innenraumluft	8
2	Zielsetzungen	9
3	Material und Methoden	10
3.1	Vorgehen	10
3.2	Baustoffe	10
3.3	Aufbau der Wand- und Dachaufbauten	11
3.4	Herstellung der Wand- und Dachaufbauten	13
3.5	Bestimmung des Emissionsverhaltens der einzelnen Baustoffe und der Wand- und Dachaufbauten	13
3.6	Bestimmung der Geruchseigenschaften	15
3.7	Herstellung eines Musterraums und Bestimmung der Raumluftqualität	16
4	Ergebnisse und Diskussion	18
4.1	Validierung Versuchsaufbau Emissionsprüfkammern	18
4.2	Emissionsverhalten und Geruchseigenschaften einzelner Baustoffe	19
4.2.1	Emissionsverhalten	19
4.2.2	Geruchseigenschaften	21
4.3	Emissionsverhalten von Wand- und Dachaufbauten	23
4.3.1	Ausgangszustand und Zuordnung der Emissionen der Aufbauten zu einzelnen Baustoffen	23
4.3.2	Zeit- und Luftwechsel-abhängiges Emissionsverhalten	27
4.3.3	Temperaturabhängiges Emissionsverhalten	30
4.4	Raumluftqualität im Musterraum	32
5	Schlussfolgerungen	33
6	Literatur	35
7	Publikation der Ergebnisse	35
8	Bestimmungen zum vorliegenden Bericht	36
8.1	Umfang des Berichts	36
Anhang A: Messwerte der VOC-Einzelstoffemissionen		37
A.1	Eingesetzte Baustoffe	37
A.2	Zeitabhängiges Emissionsverhalten	50
A.3	Temperaturabhängiges Emissionsverhalten	56
A.4	Raumluftmesswerte Musterraum	63
Anhang B: Geruchsbeurteilungsbogen		65

1 Problemstellung

1.1 Zielwerte, Richt- und Leitwerte für die VOC-Konzentration in der Innenraumluft

Mehrere Labels des nachhaltigen Bauens (Minergie-ECO, DGNB, Leed) berücksichtigen bei der Beurteilung der Objekte die emissionsrelevante Materialzusammensetzung, das Emissionsverhalten der eingesetzten Baustoffe sowie die daraus resultierende Raumluftqualität. Konkret werden dabei **Zielwerte** an die Konzentration flüchtiger organischer Verbindungen (engl. **VOC**, Volatile Organic Compounds) in der Innenraumluft gestellt. VOC bezeichnet die Gruppe der flüchtigen organischen Verbindungen, gas- und dampfförmige Stoffe der organischen Chemie in der Luft. Dazu gehören zum Beispiel Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Aldehyde und organische Säuren. Viele Lösemittel, Flüssigbrennstoffe und synthetisch hergestellte Stoffe können als VOC auftreten. VOC umfasst aber auch zahlreiche Stoffe, die aus Baustoffen biologischen Ursprungs gasförmig entweichen. Mehrere hundert verschiedene Einzelverbindungen können dabei in der Innenraumluft gemeinsam auftreten.

Die Bestimmung der Innenraumluftqualität zur Überprüfung von Zielwerten erfolgt dabei in aller Regel ein bis drei Monate nach Abschluss der Bauphase, zu einem Zeitpunkt, an dem Baustoffe noch vergleichsweise hohe Emissionsraten an VOC aufweisen. Bei den meisten Baustoffen verringert sich die Abgabe an VOC nach Einbau in Innenräume innerhalb der ersten Monate deutlich.

Häufig wird als Zielvorgabe zum VOC-Gesamtgehalt (**Summenparameter TVOC**, Total Volatile Organic Compounds) eine Konzentration von 1000 µg/m³ in der Innenraumluft vorgegeben (bei aktiver Luftprobenahme). Zudem kann ein Zielwert für Formaldehyd als Einzelsubstanz von z.B. 60 µg/m³ vorgegeben sein. Dabei wird in Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen (RTA) bei laufender Lüftung gemessen, bei Gebäuden ohne RTA wird eine Messung unter sogenannten "Standardbedingungen" vorgenommen. Letzteres beinhaltet eine intensive Lüftung der Räume, ein Schließen der Fenster und Türen für mindestens acht Stunden und eine anschließende Raumluftmessung.

Neben den Vorgaben der Label des Nachhaltigen Bauens werden auch immer häufiger in Bauprojekten ohne Labelbezug **individuelle Zielwerte in Werkverträgen** gesetzt. Häufig sind dies bislang Projekte, in denen die öffentliche Hand die Bauträgerschaft darstellt, darunter Schulen, Kindertagesstätten, etc. Die dabei einzuhaltenden Zielwerte liegen hier häufig im Bereich der genannten Werte der aufgeführten Labels, teilweise sogar noch darunter.

Unabhängig von in Werkverträgen definierten Zielwerten zum Summenparameter TVOC, werden zur hygienischen Beurteilung der Innenraumluftqualität die **Leitwerte zum Summenparameter TVOC** und die **Richtwerte** des Ausschusses für Innenraumrichtwerte in Deutschland (vormals Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden)^[1] herangezogen, da diese „allgemein für Innenräume einschliesslich Wohnräume abgeleiteten und toxikologisch begründeten Richtwerte sich für eine valide Beurteilung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen eignen.“^[2]

Häufig erfolgt diese Beurteilung bei Messungen, die nicht zur Überprüfung der oben genannten Zielwerte nach Abschluss der Bauphase, sondern aufgrund eines Verdachtes erhöhter VOC-Konzentrationen durchgeführt werden (z.B. bei gesundheitlichen Symptomen, Geruchsbelästigung, etc.)

Dabei wird zwischen dem Richtwert I (RW I) und dem Richtwert II (RW II) unterschieden^[1]:

- „Der **Richtwert II (RW II – Gefahrenrichtwert)** ist ein wirkungsbezogener Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einführung von Unsicherheitsfaktoren stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen bzw. Überschreiten unverzüglich zu handeln ist. Diese höhere Konzentration kann, besonders für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen, eine gesundheitliche Gefährdung sein.“
- „Der **Richtwert I (RW I – Vorsorgerichtwert)** beschreibt die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der bei einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch dann keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist, wenn ein Mensch diesem Stoff lebenslang ausgesetzt ist. Eine Überschreitung ist allerdings mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, unerwünschten Belastung verbunden.“

„Aus Gründen der Vorsorge sollte auch im Konzentrationsbereich zwischen Richtwert I und Richtwert II gehandelt werden, sei es durch technische und bauliche Massnahmen am Gebäude.... oder durch verändertes Nutzerverhalten. RW I kann als Zielwert bei der Sanierung dienen“^[1]. Im Gegensatz zu den auf acht Stunden bezogenen Arbeitsplatzgrenzwerten handelt es sich bei den Richtwerten üblicherweise um Langzeitwerte (24 Stunden an sieben Tagen pro Woche), die auch für Kinder und Kranke gelten.

Für den Holzbau sind hier insbesondere Richtwerte für die Stoffgruppen der sogenannten bicyklischen bzw. monozyklischen Terpene und Aldehyde relevant. Terpene sind flüchtige Bestandteile des Harzes der Nadelhölzer (Konzentrationsunterschiede in Abhängigkeit vom Harzgehalt). In heimischen Laubhölzern sind Terpene nicht enthalten. Zusätzlich bestehen Richtwerte für die Gruppe der Aldehyde zwischen C₄-C₁₁ (Kettenlänge des Kohlenstoff-Grundgerüsts der Moleküle. Formaldehyd als „kleinstes“ Aldehyd mit nur einem C-Atom zählt hier nicht dazu). Solche Aldehyde entstehen wie unten beschrieben beim Heißpressvorgang der Werkstoffherstellung durch Umwandlung von Fettsäuren im Holzgewebe.

Tabelle 1: Richtwerte für die Stoffklassen der Terpene und Aldehyde (Auszug aus Richtwert-Tabelle des Ausschusses für Innenraumrichtwerte, ^[1])

Verbindung	Richtwert II (µg/m ³)	Richtwert I (µg/m ³)
Terpene, bicyklisch (Leitsubstanz α -Pinen)	2'000	200
Monozyklische Monoterpene (Leitsubstanz d-Limonen)	10'000	1'000
Aldehyde, C ₄ bis C ₁₁ (gesättigt, azyklisch, aliphatisch)	2'000	100

1.2 Innenraumluftqualität in Neubauten

Die Baustoffe, aus denen Gebäude errichtet werden und mit denen Innenräume ausgestattet sind, stellen potenzielle Quellen für VOC-Emissionen dar. Dies gilt insbesondere für grossflächig eingesetzte Bauprodukte und Inneneinrichtungsgegenstände, wie z.B. Bodenbeläge sowie dafür eingesetzte Klebstoffe, Anstriche, Wand- und Deckenverkleidungen, Türblätter oder Möbel. Hinzu kommen auch alle Emissionen, die aus tiefer liegenden Schichten im Wand- bzw. Dachaufbau zeitverzögert in den Innenraum diffundieren.

Die Angabe allgemeingültiger Messwerte für Neubauten ist aufgrund der objektspezifischen Unterschiede bezüglich Raum-, Nutzungs-, Materialisierungs- und Lüftungskonzepten nicht möglich. Die langjährige Erfahrung von Raumluftmessungen in Gebäuden in Massivbau- sowie Holzbauweise belegen, dass der genannte Zielwert für den Summenparameter TVOC (z.B. 1000 µg/m³) zum Abschluss der Bauphase teilweise deutlich überschritten wird. Eine genauere Betrachtung von VOC-Einzelwerten bei Messungen in Neubauten in Holzbauweise ohne RTA zeigt nicht selten Konzentrationen an bicyklischen Terpenen von über 200 µg/m³, in Einzelfällen sogar bis zu 1000 µg/m³. Ebenso überschreiten die Messwerte für azyklische Aldehyde (C₄ bis C₁₁) mit häufig über 200 µg/m³ den Richtwert I^[3]. Zunehmend sind damit auch individuelle Zielwerte in Werkverträgen überschritten, die an den genannten Leit- und Richtwerten orientieren.

Zwischen Holzbau und Massivbau können Unterschiede in der Zusammensetzung der VOC-Emissionen in der Innenraumluft festgestellt werden. Objekte in Holzbauweise weisen in Abhängigkeit der eingesetzten Baustoffe einen höheren Anteil an VOC aus den Stoffklassen der Terpene, Aldehyde und Ester auf (Abbildung 1)^[3].

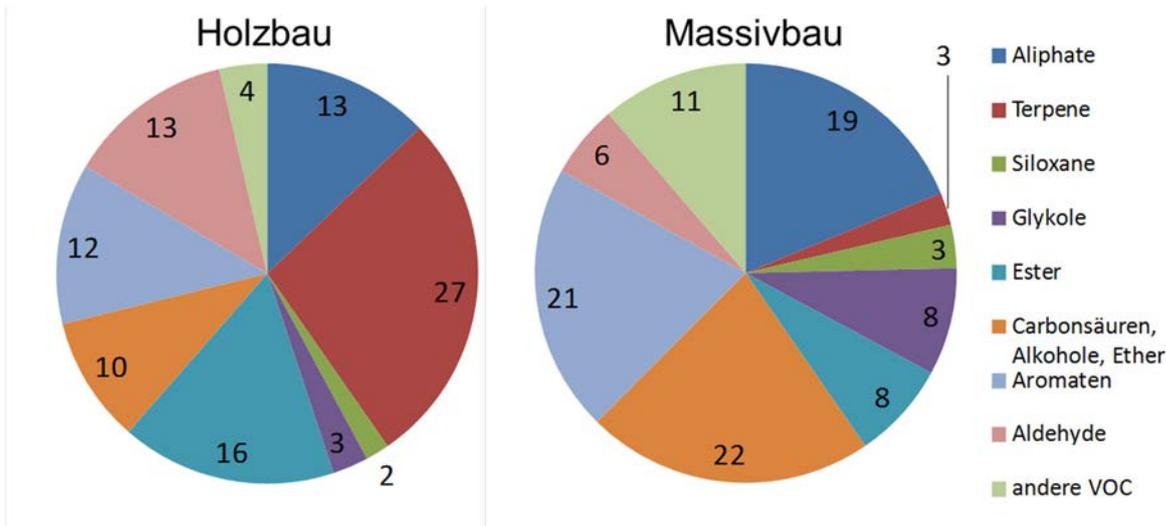


Abbildung 1: Prozentuale Zusammensetzung der VOC in der Innenraumluft neu errichteter Gebäude in Holz- und Massivbauweise, 11 bis 32 Tage nach Abschluss der Bauphasen inkl. Innenausbau. Messungen der Berner Fachhochschule zwischen 2009 und 2016, n=23 (Massivbau), n=21 (Holzbau) ^[3].

Holzwerkstoffe tragen dabei zu den VOC-Emissionen in Gebäuden in Holzbauweise maßgeblich bei. Grund hierfür ist die Tatsache, dass Emissionen aus Holzwerkstoffen (insbesondere Terpene, Aldehyde und organische Säuren) aus dem Wand-, Boden- und Deckenaufbau in die Innenraumluft abgegeben werden und im Rahmen des TVOC-Wertes miterfasst werden. Dies gilt auch für Werkstoffe, die als mittlere Schichten in einem mehrschichtigen Wandaufbau vorkommen und innerhalb einer möglichen Dampfsperre liegen. Diese Emissionen aus Holzwerkstoffen "addieren" sich dann zu den ohnehin vorhandenen Lösemittlemissionen weiterer Baustoffe (Bodenbelagskleber, Parkettsiegel, Farben, Dichtmassen, etc.).

1.3 VOC-Emissionen aus Holzwerkstoffen im Holzbau

VOC-Emissionen aus Holzwerkstoffen sind auf Holzinhaltstoffe, die teilweise bei der Holzwerkstoffherstellung unter Temperatur- und Sauerstoffeinfluss chemisch verändert werden, zurückzuführen. Es bestehen sehr große Unterschiede in der Zusammensetzung und Höhe der VOC-Emissionen je nach eingesetzter Holzart. Neben der Emission an Formaldehyd aus Klebstoffsystemen (insbesondere UF-Harze), welche an dieser Stelle nicht thematisiert werden sollen, kommt es zu keinen relevanten VOC-Emissionen aus Klebstoffbestandteilen von Holzwerkstoffen.

Bei Nadelhölzern sind die emissionsrelevanten Inhaltstoffe im Wesentlichen Terpene (z.B. α -Pinen und 3-Caren) und Fettsäuren. Bei Kiefernholz ist der Harzanteil (Terpene) und der Anteil an Fettsäuren im Vergleich zu anderen heimischen Nadelholzarten hoch. OSB-Platten aus Kiefernholz haben deshalb ein großes Emissionspotential für VOC ^[5,6]. Die im Harz enthaltenen Fette und freien Fettsäuren, werden unter Temperatureinfluss leicht durch Sauerstoff oxidiert ^[11]. Bei einer fortschreitenden Oxidation der Fettsäuren werden schließlich Aldehyde gebildet, insbesondere Pentanal und Hexanal. Fettsäuren sind so empfindlich gegenüber oxidativen Veränderungen, dass auch bei Raumtemperatur fortlaufend Fettsäuren zu Aldehyden und anderen VOC durch Luftsauerstoff oxidiert werden und als VOC abgegeben werden.

Bei Laubhölzern besteht eine andere Ausgangslage. Da heimisch Laubholzarten keine Harzkanäle beinhalten, kommen im Laubholz keine Terpene oder Harzsäuren vor. Auch Fettsäuren kommen hier in deutlich geringerem Umfang als bei Nadelhölzern vor, da Laubhölzer, wie z.B. die Rotbuche eher Polysaccharide (Stärke) als Energiespeicher-Moleküle nutzen. Diese sind nicht flüchtig und erzeugen beim Heißpressen keine emissionsrelevanten Abbauprodukte. Lediglich die chemisch etwas unterschiedlich aufgebauten Hemicellulosen (höherer Anteil an Xylanen und Acetyl-Seitengruppen) resultieren in höheren Emissionen an Essigsäure und (in sehr geringem Umfang) an Furfural. Im Vergleich zu den Emissionen aus harzreichen Nadelhölzern stellen heimische Laubhölzer jedoch

emissionsarme Alternativen für die Holzwerkstoffindustrie dar. Der Einsatz alternativer Holzarten für die OSB-Herstellung kann die VOC-Emission deutlich reduzieren. So wiesen z.B. OSB-Platten hergestellt im Technikums-Maßstab und basierend auf Buchenholz-Strands stark reduzierte VOC-Emissionen auf ($\text{VOC} < 150 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$, Tag 28 der Emissionsprüfung; Vergleich: OSB aus Kiefer bei ca. $1000 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) Bei der Verwendung von Pappel-Strands konnten sogar noch tiefere Emissionsraten von ca. $60 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ erzielt werden ^[4].

Holzwerkstoffe wurden in mehreren Studien hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens untersucht ^[5-13]. In einigen Studien wurde zur Erfassung und Bewertung der VOC-Emissionen auch das AgBB-Bewertungsschema zugrundegelegt^[14]. Dabei konnten einige OSB-Produkte aus Kiefernholz die Anforderungen des AgBB-Schemas hinsichtlich der VOC-Emissionen nicht erfüllen. Arbeiten an der Universität Hamburg zeigen einen Einfluss der Trocknungsparameter für OSB-Strands auf die resultierenden VOC-Emissionen von OSB-Platten auf, der produktionstechnische Spielraum bei der OSB-Herstellung ist jedoch begrenzt, so dass keine wesentliche Reduktion des Emissionsverhaltens von OSB-Platten erzielt werden konnte ^[15,16].

Neben dem Emissionspotential der eingesetzten Holzart besitzt der Zerkleinerungsgrad der Holzpartikel (Strands, Späne, Fasern) einen Einfluss auf die VOC-Emissionen, welche mit zunehmendem Zerkleinerungsgrad kleiner werden (Tabelle 2). So variieren die VOC-Emissionen in frisch produzierten Holzwerkstoffen in einem Bereich von ca. $100 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (MDF-Platte mit hohem Laubholzanteil) und in Einzelfällen von mehr als $5000 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (OSB-Platten mit sehr hohem Kiefernholz-Anteil (Tabelle 2).

Tabelle 2: Zusammenstellung typischer VOC-Emissionsraten handelsüblicher Holzwerkstoffe. Messwerte von Emissionskammerprüfungen, ISO 16000-9, Tag 28 ^[4]. Formaldehyd als VVOC ist nicht miterfasst.

Baustoff	Emissionsrate TVOC ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$)
MDF-Platte	< 150
Spanplatte, Holzmix	< 250
OSB 3/OSB 4, Kiefer	500 - 1'200 (- 5'000)
3-Schichtplatte, Fichte	< 250
3-Schichtplatte, Tanne/Fichte	< 20
Leimholz-Platte, Kiefer	500 – 1'500
Massivholz, Kiefer, Kernholz	5'000 – 10'000
Massivholz, Kiefer, Splintholz	1'000 – 2'000

Bei Verfolgung des zeitlichen Verlaufs der Emissionen ist festzuhalten, dass insbesondere die Terpen-Emissionen in den ersten Wochen nach offener Exposition eines Holzwerkstoffes zur Raumluft stark zurückgehen. Dies ist ebenfalls an Messwerten von Emissionskammerprüfungen ersichtlich. Solange ein Holzwerkstoff über mehrere Wochen ungehindert VOC-Emissionen abgeben kann, ist schnell ein markanter Rückgang der Terpen-Emissionen feststellbar. Weniger günstig ist das zeitliche Emissionsverhalten für die aus Fettsäuren gebildeten Aldehyde. Die zugrundeliegenden Oxidationsreaktionen laufen langsam aber kontinuierlich ab und führen zu langanhaltenden Aldehyd-Emissionen. Durch Lagerung und Transport der Platten in Plattenstapeln und anschließend rascher Verbauung in mehrschichtigen Konstruktionen ist diese ungehinderte Auslüftungsphase in der Praxis - im Gegensatz zum normierten Emissionsprüfkammerversuch - in der Regel jedoch nicht gegeben. Holzwerkstoffe aus harzreichen Hölzern (insbesondere OSB-Platten mit hohem Kiefernanteil) stellen auch aufgrund Ihrer Einbausituation ein mittel- bis langfristiges Emissionsquelle für VOC-Emissionen dar.

1.4 Holzwerkstoffe tragen zu Fehlgerüchen in der Innenraumluft bei

Zunehmend kommt es in den letzten Jahren auch zu Klagen und Reklamationen von Endverbrauchern aufgrund auffälliger Gerüche in Innenräumen bei neu errichteten Gebäuden oder nach Bauen im Bestand. Auffällige Gerüche sind mittlerweile die am häufigsten genannte Ursache für Untersuchungen zur Raumluftqualität in Gebäuden (noch vor Überprüfung von Richtwerten, auftretenden Reizerscheinungen und Gesundheitsbeschwerden). Eine Reklamation von Fehlgerüchen trifft nicht selten bei Gebäuden in Holzbauweise auf, da die aus OSB entweichenden Aldehyd-Emissionen als olfaktorisch unangenehm empfunden werden ("Fehlgerüche") (Abbildung 2).

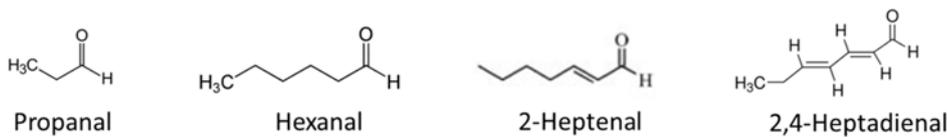


Abbildung 2: Strukturformeln geruchsintensiver Aldehyde aus Holz und Holzwerkstoffen, die beim oxidativen Abbau der im Holz enthaltenen Fettsäuren entstehen und an die Raumluft abgegeben werden

1.5 Emissionen aus mehrschichtigen Wand- und Dachaufbauten in die Innenraumluft

Weitestgehend unbekannt und empirisch noch nicht erfasst ist das Verhalten von Emissionen aus mehrschichtigen Aufbauten über einen längeren Zeitraum. Dies gilt insbesondere für die Frage der Migration von VOC-Emissionen durch eine oder mehrere darüberliegende Materialschichten in die Raumluft. Dies betrifft z.B. die Frage, ob VOC-Emissionen und Fehlgerüche, die von innenliegenden Materialschichten (z.B. Isolation oder OSB-Platte) abgegeben werden, durch eine rauminnenseitig angebrachte Gipsfaserplatte und darüberliegende Putz- und Farbschicht langfristig zurückgehalten werden oder diese nur eine kurzzeitige Verzögerung der Emission in die Innenraumluft zur Folge haben.

Nahezu vollständig fehlt das Wissen zum Einfluss vielschichtiger Aufbauten in Aussenwänden und im Dachbereich, wie sie im modernen Holzbau üblich sind. Dies betrifft z.B. die Frage, ob VOC-Emissionen und Fehlgerüche, die von innenliegenden Materialschichten (z.B. Isolation oder OSB-Platte) abgegeben werden, durch eine rauminnenseitig angebrachte Gipsfaserplatte und darüberliegende Putz- und Farbschicht langfristig zurückgehalten werden oder diese nur eine kurzzeitige Verzögerung der Emission in die Innenraumluft zur Folge haben.

Ausserdem ist für Holzwerkstoffe und daraus hergestellter Wand- und Dachaufbauten bei beiden Eigenschaften - VOC-Emissionen und Geruch - nicht geklärt, wie sich diese über den Verlauf der Zeit bei den vorhandenen niedrigen Luftwechselraten in Innenräumen und bei hohen Beladungszahlen verhalten. Obwohl Terpen-Emissionen aus einzeln geprüften Plattenwerkstoffen in der Regel in den ersten Wochen stark zurückgehen, wird der Rückgang bei mehrschichtigen Aufbauten durch die Sperrwirkung mutmasslich stark verzögert. Dies trifft vermutlich umso mehr für die oxidativ gebildeten Sekundäremissionen der Aldehyde zu, die in sensorischen Prüfungen als unangenehm riechend beschrieben werden und massgeblich zum negativen Geruchsbild einiger Holzwerkstoffe beitragen.

Zusammengefasst fehlen den Planern und Ausführenden im Holzbau Entscheidungshilfen, wie Aufbauten und Materialwahl zu gestalten sind, damit weder erhöhte VOC-Emissionen noch auffällige Fehlgerüche in der Innenraumluft zum Ende des Bauprozesses auftreten.

Da Holzwerkstoffe in relevantem Masse zur Konzentration von VOC und insbesondere zur Konzentration geruchsaktiver VOC in der Raumluft beitragen, laufen sie Gefahr, durch emissionsärmere Alternativen substituiert zu werden, um das Risiko von Zielwertüberschreitungen (VOC) oder Fehlgerüchen in Bauprozessen zu minimieren.

2 Zielsetzungen

Ausgehend vom aktuellen Stand des Wissens und der Praxis sollten folgende Hauptziele im Rahmen des Projektes erreicht werden:

- a) Bestimmung der VOC-Emissionsverhaltens und des Geruchsverhaltens typischer mehrschichtiger Aufbauten (diverse Varianten für Wand- und Deckenaufbauten) im modernen Holzbau, sowie der hierfür eingesetzten einzelnen Materialien. Identifikation und Quantifizierung der VOC-Einzelstoffe. Bestimmung des Geruchsverhaltens anhand normativ geregelter Parameter (Intensität, Hedonik, Akzeptanz).
- b) Identifizierung der chemischen Einzelstoffe der Baustoffemissionen, die für die Geruchsausprägung einzelner Baustoffe verantwortlich sind (geruchstragende Einzelverbindungen)
- c) Bestimmung des VOC-Emissionsverhaltens über den Verlauf der Zeit in einem praxisnahen Expositionsszenarium (Hohe Flächenbeladung, niedrige bis mittlere Luftwechselzahlen)
- d) Definition besonders geeigneter Konstruktionen für Wand- und Decke/Dachaufbauten
- e) Validierung der Konzepte für Aufbauten und Materialwahl durch entsprechende Ausstattung eines Prüfraums im Praxismassstab
- f) Bestimmung des Emissionsverhaltens kompletter Aussenwand- und Dachaufbauten in adaptierten Emissionskammerprüfungen bei Simulation unterschiedlicher Klimaszenarien (Normklima, „Sommerzenario mit erhöhter Innen- und Aussentemperatur)

Damit soll die wissenschaftlich-technische Grundlage für die Planung und Umsetzung emissionsarmer und geruchsneutraler Innenräume in Gebäuden mit Holzbauweise geschaffen sowie der Nachweis ihrer Realisierbarkeit erbracht werden.

3 Material und Methoden

3.1 Vorgehen

Zu Beginn der Untersuchungen wurden typische Wand- und Dachaufbauten, die in Holzkonstruktionen in Modulbauweise üblicherweise eingesetzt werden definiert. Darauf aufbauend wurden typische Baustoffe, mit denen entsprechende Konstruktionen in der Praxis umgesetzt werden, ausgewählt. Von diesen Baustoffen wurden zunächst grundlegende Daten zum Emissionsverhalten der einzelnen Baustoffe gesammelt. Dies erfolgte in normgerechten Prüfungen im Rahmen von Emissionskammerprüfungen. Zusätzlich wurde das Geruchsverhalten der Baustoffe durch ein Humanpanel bestimmt.

In einem weiteren Schritt wurden Abschnitte der Wand- und Dachaufbauten unter Variation der Konstruktion und Baustoffauswahl hergestellt und das Emissionsverhalten dieser Aufbauten über einen Zeitraum von bis zu 55 Tage gemessen. Dabei wurden Luftwechselraten gewählt, die ein Gebäude ohne Lüftungsanlage und manueller Fensterlüftung simulieren. Zusätzlich wurde eine aussenseitige Erwärmung der Konstruktionen bedingt durch direkte Sonneneinstrahlung an der Aussenseite auf eine Temperatur 60°C simuliert und der Einfluss auf das Emissionsverhalten der Aufbauten zur Innenraumluft durch die aussenseitige Erwärmung gemessen.

Zur Validierung eines Konzeptes für Aufbau und Materialwahl wurde ein Musterraum errichtet und die Raumluftqualität unter Standardbedingungen gemessen.

3.2 Baustoffe

Tabelle 3 : Auflistung der Einzelbaustoffe für Dach- und Wandaufbauten

Baustoff-Typ	Bemerkung
OSB _{std}	OSB4, hergestellt aus Kiefernholz, Isocyanat-verleimt
OSB _{low}	OSB4, Pilotprodukt mit hohem Fichten-Anteil, Kiefernholz-frei, Isocyanat-verleimt
Gipsfaserplatte	
3S-Platte Fi/Ta	hergestellt aus Fichte und Tanne, MUF-verleimt
Akustikdecke	
Ständer	Fichte
Steg	Fichte
Glaswolle-Isolation	PF-gebunden
Spachtelung	
Innenraumfarbe	Acryldispersion, wasserverdünnbar
Dachabdichtung EPDM	
Gefälledämmung EPS	
Folie PP	selbstklebend

3.3 Aufbau der Wand- und Dachaufbauten

Häufig in der Praxis eingesetzte Wand- und Dachaufbauten wurden zu Beginn des Projektes definiert (Materialtyp, Materialstärke, Aufbau). Dabei wurden zwei Wandaufbauten definiert, die sich im Aufbau hinsichtlich des Einsatzes der OSB-Platten unterscheiden (Abbildung 3 und Abbildung 4).

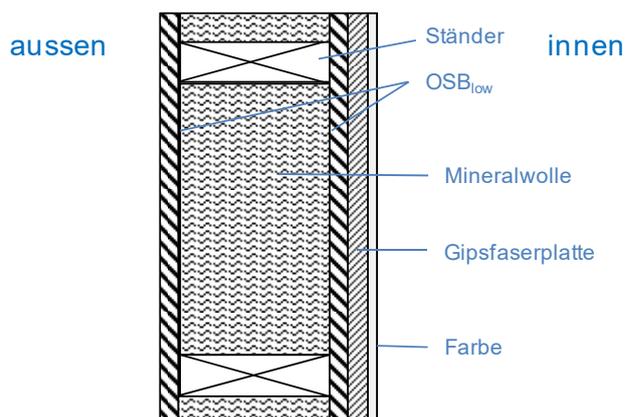


Abbildung 3: Konstruktiver Aufbau des Wandaufbaus "WA_OSB2x"

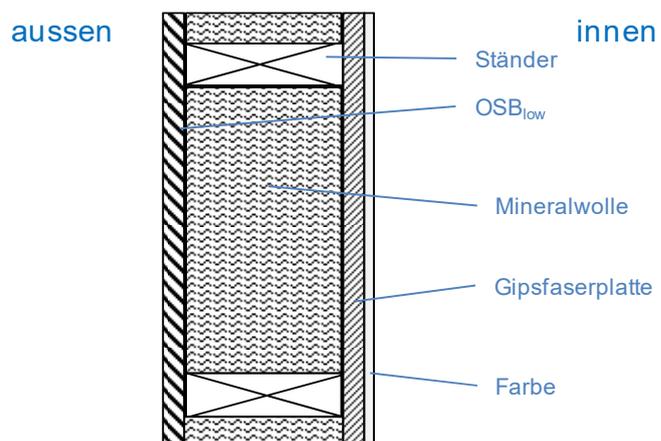


Abbildung 4: Konstruktiver Aufbau des Wandaufbaus "WA_OSB1x"

Zwei Dachaufbauten wurden definiert, die sich im Typ der eingesetzten OSB-Platte unterscheiden. Aufbau DA-OSB_{low} (Abbildung 5) weist die emissionsreduzierte Variante (OSB_{low}) der praxisüblichen OSB-Platte (OSB_{std}) auf, die in Aufbau DA_OSB_{std} (Abbildung 6) eingesetzt wurde.

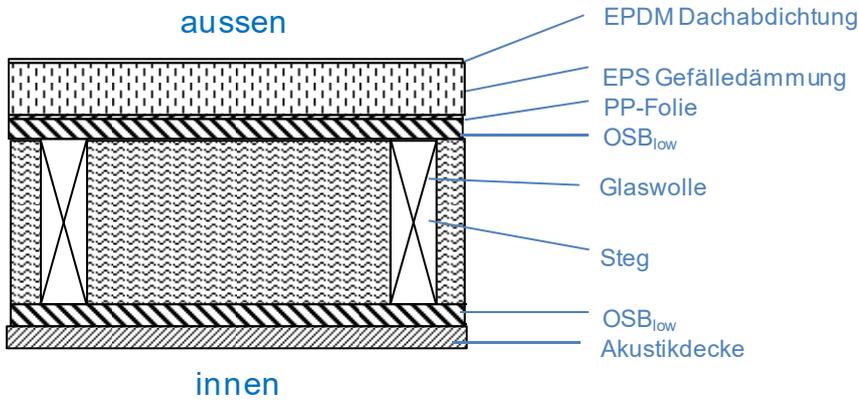


Abbildung 5: Konstruktiver Aufbau des Dachaufbaus "DA_OSB_{low}"

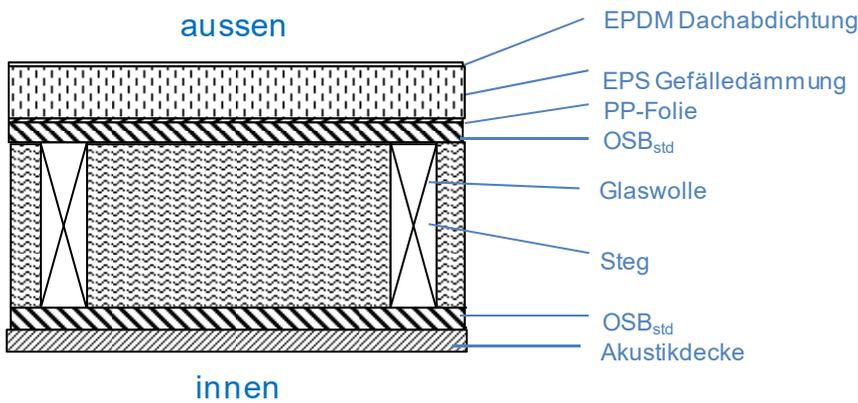


Abbildung 6: Konstruktiver Aufbau des Dachaufbaus "DA_OSB_{std}"

Als Alternative wurde ein dritter Dachaufbau definiert, beim dem eine 3-Schichtplatte eingesetzt wurde (Abbildung 7).

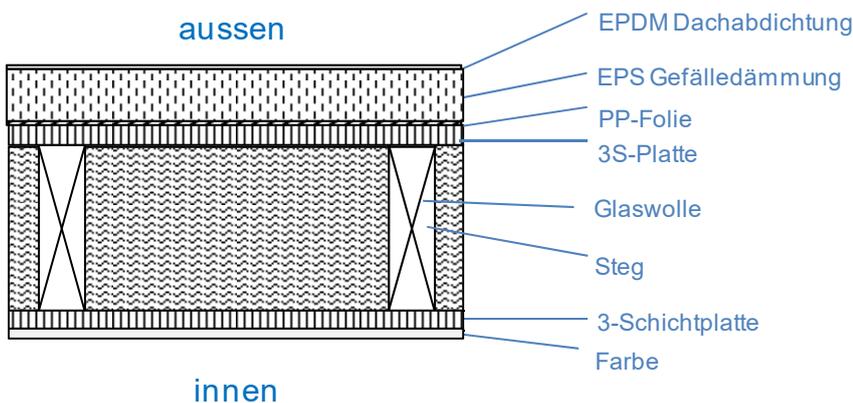


Abbildung 7: Konstruktiver Aufbau des Dachaufbaus "DA_3S"

3.4 Herstellung der Wand- und Dachaufbauten

Von den unter 3.2 definierten Wand- und Dachaufbauten wurden Prüfmuster mit einer Grundfläche von 450 mm x 450 mm erstellt.

3.5 Bestimmung des Emissionsverhaltens der einzelnen Baustoffe und der Wand- und Dachaufbauten

Zur Erfassung des Emissionsverhaltens der einzelnen in den Aufbauten eingesetzten Baustoffe wurden diese Emissionsprüfungen nach der Prüfkammermethode gemäss ISO 16000-6/-9 bzw. TS 16516 unterzogen. In Abweichung zu den genannten Prüfvorschriften wurde das Emissionsverhalten am 3. Tag nach Platzieren der Materialproben in den Emissionsprüfkammern gemessen, da für das Projekt die Ausgangssituation bei Erstellung der Aufbauten von Interesse war (gemäss ISO 16000-6/-9 bzw. TS 16516 wird das Emissionsverhalten zusätzlich am 28. Tag der Prüfung bestimmt). Ziel der Messungen war die Identifikation und Quantifizierung der von den einzelnen Baustoffen abgegebenen VOC-Einzelstoffe.

In Anlehnung an den Aufbau von Emissionsprüfkammern gemäss ISO 16000-9 wurden bestehende Emissionsprüfkammern zur Bestimmung der Emissionen aus Aufbauten adaptiert (Abbildung 8). Dabei wurden im Wesentlichen die Aufbauten mit der Raumluft-zugewandten Seite direkt mit dem Körper der Emissionsprüfkammer verbunden und alle weiteren Flächen gasdicht versiegelt. Dies erfolgt mit Hilfe von mehrlagigen Laminaten und Abdichtband mit gasdichter Aluminiuminnenlage. Die Eigenemission des Klebebandes wurde überprüft und stellt keine Beeinflussung der Messergebnisse im vorliegenden Projekt dar. In der Versuchsreihe zur aussenseitigen konduktiven Erwärmung wurden Heizplatten mit einer Oberflächentemperatur von 60°C auf die Aufbauten aufgelegt und an drei Messpunkten die Temperaturentwicklung über den Prüfzeitraum von 48 h kontinuierlich aufgezeichnet (Abbildung 9).

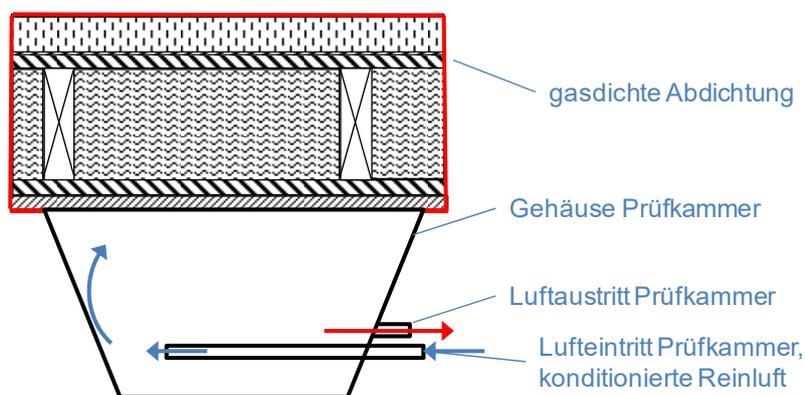


Abbildung 8: Schematischer Aufbau zur Prüfung von Wand- und Deckenaufbauten in adaptierten Emissionsprüfkammern. Rot: Gasdichte Versiegelung, blauer Pfeil: einströmende Luft, roter Pfeil: ausströmende Luft.

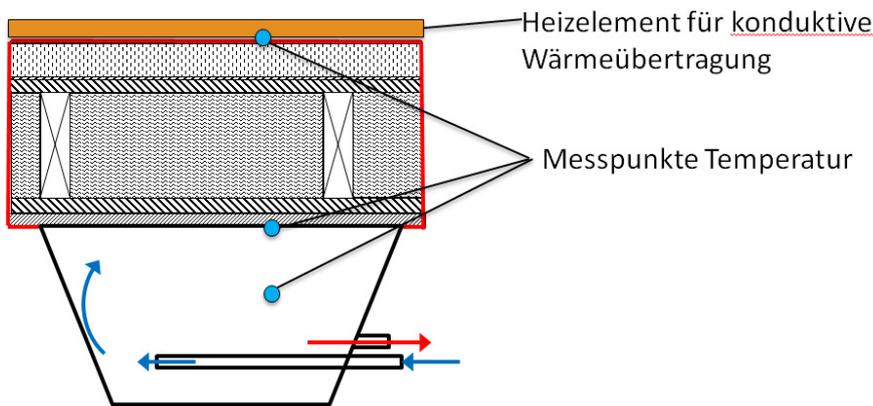


Abbildung 9: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur Nachstellung einer aussenseitigen Erwärmung der Aufbauten.

Für die Emissionsprüfungen wurden die in Tabelle 4 und Tabelle 5 aufgeführten Einstellungen gewählt.

Die flächenspezifische Luftdurchflussrate $q = 0.5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ entspricht den Verhältnissen des Europäischen Referenzraums gemäss EN 16516 für Wandflächen.

Tabelle 4 : Parametereinstellungen bei Emissionsprüfung in Glas-Emissionsprüfkammern

Parameter	Bedingung
Temperatur:	$23 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$
Relative Luftfeuchtigkeit:	$50 \% \pm 5 \%$
Luftgeschwindigkeit:	Keine aktive Homogenisierung der Kammerluft
Volumen Emissionsprüfkammer:	$17.5 \text{ l} = 0.0175 \text{ m}^3$
Emissionsoffene Fläche:	$855.3 \text{ cm}^2 = 0.08553 \text{ m}^2$
Flächenspezifische Luftdurchflussrate q :	$0.5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ bzw. $0.1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$
Luftaustauschrate n :	2.44 h^{-1} bei Messungen an Einzelbaustoffen und die ersten 14 Tage bei Messungen von Wand- und Dachaufbauten, anschliessend Umstellung auf 0.488 h^{-1}
Luftdurchfluss:	37.69 bzw. 7.54 nl h^{-1}
Raumbeladung L :	$4.88 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$
Flächenspezifische Emissionsrate $SERa$	$SERa = C * q$

Tabelle 5 : Parametereinstellungen bei Emissionsprüfung in Edelstahl-Emissionsprüfkammern

Parameter	Bedingung
Temperatur:	23 °C ± 1 °C
Relative Luftfeuchtigkeit:	50 % ± 5 %
Luftgeschwindigkeit:	0.1 - 0.3 m s ⁻¹
Volumen Emissionsprüfkammer:	25 l
Emissionsoffene Fläche:	622.5 cm ²
Luftaustauschrate:	3 h ⁻¹
Luftdurchflussrate:	75 l h ⁻¹
Raumbeladung:	2.49 m ² /m ³
Flächenspezifische Luftdurchflussrate q:	1.20
Flächenspezifische Emissionsrate SERa	SERa = C * q

3.6 Bestimmung der Geruchseigenschaften

Zur Bestimmung der olfaktorischen Eigenschaften der einzelnen Baustoffe wurde jedem Baustoff ein Stück von 4 cm * 10 cm in ein 1 L Braunglas mit PTFE-Deckel gelegt und für 24 h bei 23 °C gelagert. Aus den 10 Panelisten wurden zwei 5er Gruppen gebildet, welche jeweils ein eigenes Set erhielt. Damit die Proben nicht erkannt werden konnten, wurden die Gläser codiert. Die Panelisten mussten dabei folgendes Vorgehen einhalten:

- Glasflasche öffnen
- Augen schliessen sobald der Flaschendeckel vom Glas entfernt ist und während die Geruchsbeurteilung vorgenommen wird
- Glasflasche ca. 5 cm entfernt unter die Nase halten
- 3 Sekunden warten, bei erstmaligem Öffnen einer Probe
- max. 5 Sekunden riechen
- Flasche wieder schliessen und an den nächsten Assessor der Gruppe weitergeben
- Während der Prüfung nicht mit den anderen Assessoren sprechen

Die Geruchsbeurteilung erfolgt dann mit zwei getrennten Skalen, der Akzeptanz und der Intensität.

Akzeptanz:

0 = ich finde den Geruch vollkommen akzeptabel, der Geruch ist für mich ohne Relevanz

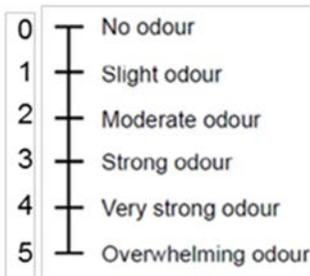
1 = ich finde den Geruch akzeptabel, ich kann mich für mehrere Stunden im Raum aufhalten

2 = ich finde den Geruch gerade noch akzeptabel, ich kann ihn für mehrere Stunden ertragen

3 = der Geruch ist gerade noch inakzeptabel, ich müsste nach mehreren Stunden den Raum verlassen

4 = der Geruch ist inakzeptabel, ich müsste nach kurzer Zeit den Raum verlassen

5 = der Geruch ist vollkommen inakzeptabel, ich müsste den Raum sofort verlassen

Intensität:

0 = nicht wahrnehmbar

1 = ich muss zwei dreimal riechen bis ich den Geruch richtig wahrnehme

2 = mir fällt der Geruch auf, ich vergesse ihn aber sofort wieder

3 = starker Geruch, welchen ich aber nach längerer Zeit ausblenden kann (ich denke nicht ständig daran)

4 = sehr starker Geruch den ich auch nach längerem Verweilen nicht ausblenden kann

5 = extremer Geruch (Beispiel für einen in tieferen Konzentrationen eigentlich angenehmen Geruch: z.B. direktes Riechen an einer Parfümflasche!)

3.7 Herstellung eines Musterraums und Bestimmung der Raumlufthqualität

Basierend auf dem Holzwerkstofftyp OSB_{low} wurde ein Innenraum mit den Massen 3450 mm x 4710 mm x 2500 mm (BxTxH) erstellt.

Ziel des Versuchsaufbaus war die Prüfung der sich einstellenden VOC-Konzentration in der Innenraumluft eines Raumes, der auf Basis der emissionsverbesserten OSB_{low}-Platten hergestellt wird und keine kontinuierliche Lüftungsanlage aufweist.

Der Raum besaß eine Türe und ein Fenster. Der Luftaustausch wurde nach Herstellung des Raumes durch ein konstantes Öffnen des Fensters und der Türe sichergestellt (keine Lüftungsanlage!).

Während des gesamten Prüfzeitraums befand sich das Raummodul witterungsgeschützt in einer stark durchlüfteten Werkshalle. 8, 30 und 51 Tage nach der Herstellung des Raumes wurden

Raumluftmessung nach der Standardmethode (siehe ISO 16000-2 und -5) durchgeführt. Dabei wird der Raum einer intensiven und vollständigen Durchlüftung unterzogen, anschliessend Türen und Fenster geschlossen und 8 h nach Durchlüftung eine Raumluftmessung durchgeführt. Dieses Vorgehen wird in der Praxis bei allen Gebäuden ohne Lüftungsanlage durchgeführt.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Validierung Versuchsaufbau Emissionsprüfkammern

Zur Validierung des Versuchsaufbaus wurden Prüfmuster von Spanplatten (18 mm, roh, UF-verleimt, Späne bestehend aus Buche/Fichte-Mix) in den insgesamt fünf Emissionsprüfkammern geprüft, um die Messunsicherheit des Gesamtaufbaus zu bestimmen.

Die in den Emissionsprüfkammern bestimmten Konzentrationen an VOC-Einzelstoffen streuen zwischen den 5 Emissionskammerprüfungen in einem für die Methode typischen Rahmen. In der Regel liegt die rel. Standardabweichung bei den Einzelstoffen unter 10 %, mit Ausnahme der Essigsäure, die sich methodenbedingt erst ab höheren Konzentrationen von ca. 400 µg/m³ präzise bestimmen lässt (Tabelle 6). Die höhere rel. Standardabweichung für die Verbindung Furfural ist bei den hier vorliegenden geringen Konzentrationen von nicht mehr als 5 µg/m³ ebenfalls methodentypisch. Die Ergebnisse belegen Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus den insgesamt 5 für die Untersuchungen eingesetzten Glas-Prüfkammern.

Tabelle 6: Vergleich der VOC-Einzelstoffkonzentrationen (µg/m³) in den fünf Glas-Emissionsprüfkammern (K1-K5) bei Prüfung eines identischen Baustofftyps (Spanplatte), d₃

VOC-Einzelstoff	K 1	K2	K3	K4	K5	Mittelwert	STD	STD _{rel} (%)
2-Butanone	2,4	2,6	2,8	2,5	2,4	2,5	0,2	6,7
Essigsäure	141,5	90	126,8	61	131,6	110,2	33,7	30,6
Butanal, 3-methyl	2,0	1,9	2,1	1,7	2,1	2,0	0,2	8,6
Toluene	75,3	70,4	80,1	70,3	71,8	73,6	4,2	5,7
Hexanal	6,4	5,8	6,1	5,2	6,7	6,0	0,6	9,7
Essigsäurebutylester	27,9	25	28,4	24,5	25,9	26,3	1,7	6,6
Furfural	4,0	4,1	4,3	3,2	5,4	4,2	0,8	18,8
Ethylbenzen	14,1	13,3	14,9	13,2	13,2	13,7	0,8	5,5
Xylen-Isomere	54,1	51,1	57,3	51,0	50,6	52,8	2,9	5,4
a-Pinen	8,0	7,5	9,1	7,6	8,1	8,1	0,6	7,9
Benzaldehyde	3,6	3	3,3	3,2	2,9	3,2	0,3	8,5
b-Pinen	2,5	2,3	2,9	2,6	2,6	2,6	0,2	8,3
3-Caren	2,6	2,4	2,9	2,5	2,5	2,6	0,2	7,5
D-Limonene	3,2	3	3,7	3,3	3,3	3,3	0,3	7,9
Verzw. Aliphat	1,8	1,6	2,1	1,8	1,8	1,8	0,2	9,8
Verzw. Aliphat	2,1	2	2,3	2	2	2,1	0,1	6,3

4.2 Emissionsverhalten und Geruchseigenschaften einzelner Baustoffe

4.2.1 Emissionsverhalten

Zur Bestimmung der VOC-Einzelstoffemissionen der eingesetzten Baustoffe wurden diese einzeln in Emissionsprüfkammern geprüft und die flächenspezifische Emissionsrate SER_A (angegeben in $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$) für alle VOC-Einzelstoffe und den Summenparameter TVOC bestimmt.

Das Emissionsverhalten der OSB-Platte "OSB_{std}" auf Basis von Kiefern-Strands ergibt einen SER_A von $1270 \mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$, im Wesentlichen zusammengesetzt aus Terpenen (Herkunft: Baumharz) sowie Emissionen an C₄-C₉-Aldehyden und -Säuren (Tabelle 7). Aldehyde und Säuren entstehen beim oxidativen und temperaturunterstützten Abbau der im Kiefernholz enthaltenen Fettsäuren und entweichen als Spaltprodukte der Reaktion (Sekundäremissionen). Im Vergleich hierzu weist die OSB-Platte "OSB_{low}", mit hohem Fichten -Anteil und Kiefernholz-frei, deutlich verringerte Emissionsraten auf (SER_A $706 \mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$). Dies ist auf den verringerten Anteil an Fettsäuren im Holz der Fichte gegenüber der Kiefer zurückzuführen und spiegelt sich in deutlich geringeren Emissionsraten bei den gesättigten sowie ungesättigten C₄-C₉-Aldehyden (u.a. Pentanal, Hexanal, 2-Heptenal, 2-Octenal) sowie den organischen C₄-C₉-Säuren (u.a. Pentan- und Hexansäure) wieder (Tabelle 8). Deutlich niedrigere Emissionsraten weist die 3-Schicht-Massivholzplatte mit einem Mix aus Fi/Ki auf, bedingt durch die geringere emissionsrelevante innere Oberfläche des Werkstoffs sowie mutmasslich durch die geringere Temperatureinwirkung im Herstellungsprozess, der die Erzeugung der oben genannten Spaltprodukte wesentlich beschleunigt.

Tabelle 7 : Flächenspezifische Emissionsraten SER_A für den Parameter TVOC der eingesetzten Einzelbaustoffe, ermittelt am Tag 3 der Emissionskammerprüfungen

Baustoff-Typ	Wichtigste VOC-Einzelstoffe	Ursprung Emissionen	Emissionsrate SER_A TVOC ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
OSB4 Std	Terpene, Aldehyde, org. Säuren	Harz, Fettsäuren	1256
OSB4 low	Terpene, Aldehyde, org. Säuren	Harz, Fettsäuren	706
Gipsfaserplatte	Toluol, Essigsäureester, Aldehyde, org. Säuren	Hilfsmittel, Holzfaser	91
3S-Platte	Terpene, Aldehyde, org. Säuren	Harz, Fettsäuren	62
Akustikdecke	Glykolether		52
Glaswolle-Isolation	Phenol-Derivate, Silan	Klebstoff, Haftmittel	51
Farbe	Essigsäure, Glykole, Glykolether, org. Säuren	Lösungsvermittler, Filmbildner	1338
Dachabdichtung EPDM	Benzothiazole		87
Gefälledämmung EPS	Styren, Benzaldehyd, Acetophenon	Grundstoffe, Verunreinigungen	70
Folie PP	Alkohole, Glykolether, Säureester	Klebstoff, Lösemittel	247

Auch die Gipsfaserplatte weist relevante Eigenemissionen auf, die sich im Wesentlichen aus Emissionen der in der Gipsmatrix eingebetteten Holzfasern ergeben, darunter Essigsäureester, Aldehyde und org. Säuren. Die übrigen Baustoffe weisen flächenspezifische Emissionsraten zwischen SER_A $51 \mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$ (Glaswolle-Isolation) und $87 \mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$ (EPDM Dachabdichtung) auf. Ausnahmen bilden hier die selbstklebende PP-Folie (Emissionen aus der Klebeschicht) sowie die Farbe (SER_A $1338 \mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$), die welche als Wandfarbe eingesetzt wird. Letztere weist insbesondere hohe

Emissionen an Glycolen und Glykolether auf, typische Emissionen von Lösungsvermittlern und Filmbildnern in wasserverdünnbaren Dispersionsfarben. Eine detaillierte Auflistung der VOC-Einzelstoffemissionen der geprüften Baustoffe ist Anhang A1 zu entnehmen.

Für die beiden OSB-Platten OSB_{std} und OSB_{low} wurden zusätzlich Emissionswerte nach einer Verweilzeit von 28 Tagen in der Emissionsprüfkammer ermittelt. Dabei konnte für beide Plattenwerkstoffe eine signifikante Abnahme von Tag 3 zu Tag 28 festgestellt werden.

Für die OSB_{std}-Platte sinken die TVOC-Konzentration in der Prüfkammerluft hierbei von 1256 µg m² h⁻¹ auf 432 µg m² h⁻¹, die Emissionswerte der OSB_{low}-Platte nehmen von 706 µg m² h⁻¹ auf 161 µg m² h⁻¹ ab.

Tabelle 8 : Flächenspezifische Emissionsraten SER_A für die am höchsten konzentrierten Einzelverbindungen der OSB-Plattenwerkstoffe, ermittelt am Tag 3 und Tag 28 der Emissionskammerprüfungen

Substanz	Stoffklasse	Emissionsrate SER _A TVOC (µg m ² h ⁻¹)			
		OSB _{std}		OSB _{low}	
		Tag 3	Tag 28	Tag 3	Tag 28
α-Pinen	Terpene	102	13	167	8
β-Pinen	Terpene	20	2	138	6
Pentanal	Aldehyde	165	54	37	24
Hexanal	Aldehyde	488	169	165	108
2-Heptenal	Aldehyde	210	77	50	21
2-Octenal	Aldehyde	184	94	87	43
Pentansäure	Org. Säuren	52	44	39	3
Hexansäure	Org. Säuren	135	80	35	25
TVOC	Summenparameter	1256	432	706	161

Die Emissionswerte der Terpenverbindungen α-Pinen und β-Pinen, Hauptbestandteile des flüchtigen Anteils des Baumharzes, fallen erwartungsgemäss unter den Prüfkammerbedingungen (hoher kontinuierlicher Luftwechsel) bis zum Tag 28 deutlich ab. Beide OSB-Plattentypen weisen am Tag 28 in der Regel weniger als 10 % der Terpenemissionen im Vergleich zu Tag 3 auf.

Die weiteren in Tabelle 8 aufgeführten VOC-Einzelstoffe (Aldehyde und organische Säuren) entstehen hauptsächlich durch die Zersetzung von Fettsäuren im Holzgewebe. Fettsäuren dienen Nadelbäumen als Energiespeicher-Moleküle und zersetzen sich im Verlauf des Heisspressens sowie auch nachfolgend durch Sauerstoffzutritt zu Spaltprodukten, von denen die in Tabelle 8 aufgeführten, die mengenmässig wichtigsten Vertreter darstellen. Grundsätzlich kann für alle Aldehyde und org. Säuren eine Abnahme von Tag 3 zu Tag 28 festgestellt werden. Der Rückgang ist aber im Gegensatz zu den Terpenemissionen deutlich geringer ausgeprägt. Die Aldehyd-Emissionen gehen stoff- und konzentrationsabhängig um etwa 40-60 % zurück, bei den organischen Säuren, die sich allerdings methodenbedingt in diesem niedrigen Konzentrationsbereich nur unzureichend quantifizieren lassen, sind dies zwischen 20-90 %.

Wichtig in Zusammenhang mit der Einbausituation der OSB-Platten im Holzbau ist die Tatsache, dass die Bedingungen der standardisierten Emissionskammerprüfungen zwar einen Vergleich der geprüften Baustoffe untereinander zulassen, sich die ermittelten Emissionswerte jedoch nicht direkt auf die Situation der OSB-Platten im Praxiseinsatz übertragen lassen. Im Rahmen der Kammerprüfungen wird ein einzelner Baustoff über einen Zeitraum von 28 Tagen unter kontinuierlich hohem Luftwechsel geprüft. Durch den kontinuierlichen Luftwechsel wird ein Austrag von abgegebenen VOC-Emissionen aus der Prüfkammer und eine Zufuhr von VOC-freie Frischluft ermöglicht. In der Folge wird eine Partialdruckdifferenz für die VOC in der Prüfkammerluft zur Grenzschicht Baustoff/Luft geschaffen. Dieses Partialdruckgefälle ermöglicht eine weitere und kontinuierliche Abgabe von VOC aus dem Baustoff an die Prüfkammerluft. Dies ist die Grundvoraussetzung für die abnehmende VOC-Emissionen in den 28 Tagen Prüfzeit in der Kammerprüfung. Der Herstellprozess von Wand- und Deckenelementen im modernen Holzbau beinhaltet jedoch kürzere Zeiträume, in denen eine ungehinderte Emission von VOC erfolgen kann. Werden mehrschichtige Aufbauten werkseitig vorproduziert, so sinkt diese Zeitspanne zwischen Entnahme einer Holzwerkstoffplatte aus dem Plattenstapel bis zum Aufbringen einer weiteren Schicht auf - im Extremfall - wenige Minuten. Eine

direkte Übertragung des Abklingverhaltens von in Prüfkammerversuchen gemessenen Einzelbaustoffe auf die geschilderte Praxissituation ist also nicht möglich.

4.2.2 Geruchseigenschaften

Zur Beurteilung der Geruchseigenschaften wurden die Baustoffe einer Geruchsprüfung in Anlehnung an die Normen ISO 16000-28 (Beurteilung der Akzeptanz) und der Intensität) und VDA 278 (Vorbereitung Prüfmuster) unterzogen.

Die höchste Akzeptanz (niedrigste Werte auf der Beurteilungsskala) wurden für die 3-Schichtplatte erzielt (Abbildung 10). Der hierbei erzielte Mittelwert von 0.85 entspricht gemäss der in der Norm ISO 16000-28 definierten Beurteilungsskala einem "akzeptablen Geruch", bei dem sich die Testpersonen "für mehrere Stunden im Raum aufhalten" und dem sie "für mehrere Stunden ausgesetzt sein" können. Schlechtere Akzeptanzwerte (Mittelwerte) wurden für die weiteren Holzwerkstoffe OSB_{std} und OSB_{low} ermittelt, die beide in einem Bereich von 2 Punkten auf der Beurteilungsskala liegen, die einem "gerade noch akzeptablen" Geruch entsprechen, den sie "für mehrerer Stunden ertragen" können. Die meisten weiteren Baustoffe liegen in der Regel in einem Bereich von 2.5 bis 4 Punkten auf der Beurteilungsskala, der (in Abstufungen) als inakzeptabel gekennzeichnet ist. Die Aussagekraft der Ergebnisse wird durch die starke Streuung der einzelnen Messwerte eingeschränkt. Die Streuung ist methodenbedingt und lässt sich kaum weiter eingrenzen.

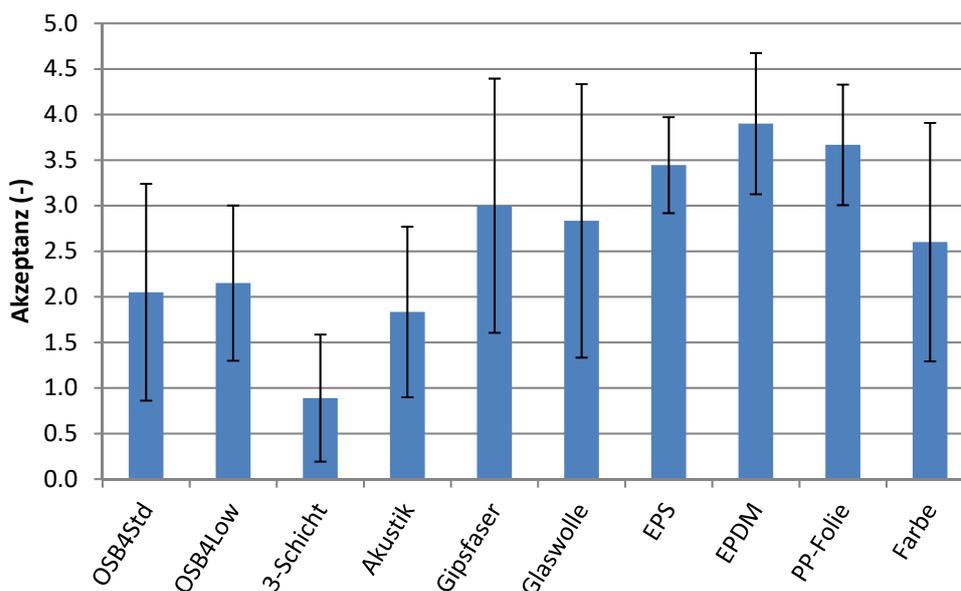


Abbildung 10 : Beurteilung der Akzeptanz des Geruchs der Einzelbaustoffe. Angegeben sind Mittelwerte (n=10), Fehlerindikatoren zeigen die Standardabweichung)

Die ermittelten Intensitätswerte liegen auf der verwendeten Skale zwischen 1.5 und knapp 4 Skalenpunkten (Abbildung 11). Die geringste Geruchsintensität konnte für das Akustikpaneel mit einer Intensität von 1.5 ermittelt werden, dies entspricht einer Beurteilung der Geruchsintensität von «leicht bis moderat».

Die beiden OSB-Platten liegen im Mittelwert auf etwa gleichem Niveau bei 2.5 Skalenpunkten (Beurteilung «moderater» bis «starker» Geruch). Die höchsten Intensitätswerte wurden für die EPDM-Dachabdichtung (4.1, entspr. einem «sehr starken» Geruch) und die PP-Folie (3.2) gemessen.

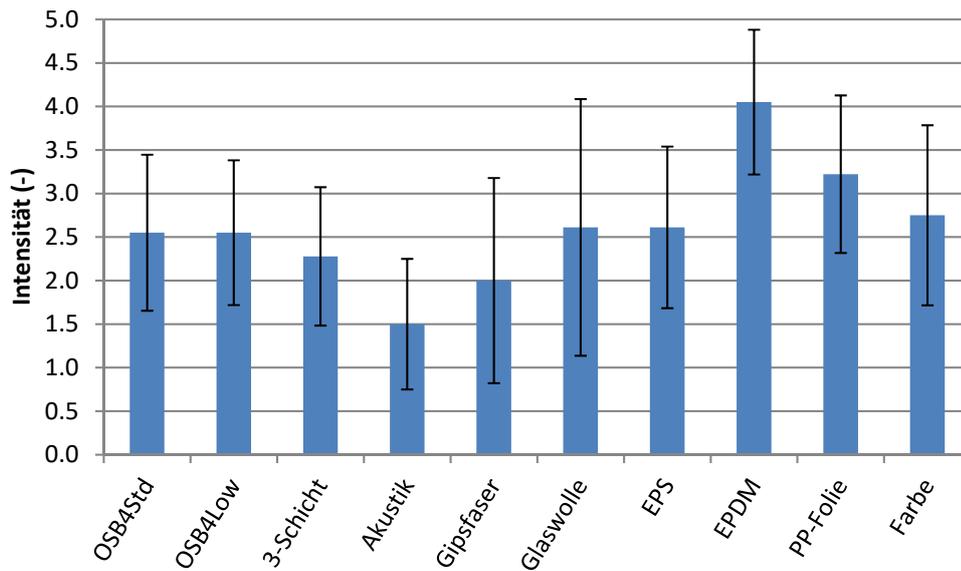


Abbildung 11 : Geruchsbeurteilung aller Baustoffe nach der Intensität. Angegeben sind Mittelwerte (n=10), Fehlerindikatoren zeigen die Standardabweichung)

Für die eingesetzten OSB-Platten weisen demnach nur eine geringfügig höhere Geruchsintensität als die 3-Schichtplatte auf, jedoch wird ihr Geruch von den Panelisten als weniger akzeptabel beurteilt. Überraschend ist die gleichartige Beurteilung der beiden OSB-Platten. Der geänderte Holzartenmix für die Platte OSB_{low} (Kiefernholz-frei) macht sich hier nicht bemerkbar. Aufgrund der höheren Fettsäure-Gehalte des Kiefern-Holzes und der daraus resultierenden höheren Aldehyd-Bildung beim Heisspressen und bei Luftkontakt war mit einer vergleichsweise besseren Beurteilung der Platte OSB_{low} gegenüber OSB_{std} gerechnet worden.

4.3 Emissionsverhalten von Wand- und Dachaufbauten

Das Emissionsverhalten der insgesamt fünf Wand- und Dachaufbauten wurden für einen Zeitraum von insgesamt 55 Tagen nach der Herstellung aufgezeichnet. Dabei wurde der Versuchsaufbau so gestaltet, dass der Luftwechsel in den Emissionsprüfkammern den Bedingungen der Praxis bei der Erstellung von Holzbauelementen möglichst ähneln. Dies beinhaltet insbesondere eine Absenkung des Luftwechsels nach 14 Tagen (Simulation des Schliessens der Gebäudehülle auf der Baustelle) sowie kurzfristige Temperaturerhöhungen auf der Aussenseite zur Simulation des Einflusses der Sonneneinstrahlung auf die resultierenden raumzugewandten Emissionen.

4.3.1 Ausgangszustand und Zuordnung der Emissionen der Aufbauten zu einzelnen Baustoffen

Die unterschiedlichen Aufbauten weisen im Ausgangszustand ein material- und konstruktionsbedingt stark unterschiedliches Emissionsverhalten auf. Die niedrigsten Emissionswerte weist der Dachaufbau DA_OSB_{low} mit einer TVOC-Konzentration von 774 µg/m³ auf (Tabelle 9). Die Emissionen setzen sich mehrheitlich aus holzwerkstoffeigenen VOC-Einzelstoffen zusammen, die den Stoffklassen der Terpene (242 µg/m³), Aldehyde (173 µg/m³) und organischen Säuren (17 µg/m³) sowie weiteren Stoffklassen (58 µg/m³) zugeordnet werden können (Abbildung 12). Die Emissionen, die nachweislich nicht von Holzwerkstoffen abgegeben werden, liegen mit betragen mit 69 µg/m³ nur ca. 10 % der Gesamtemissionen.

Höhere Emissionen weist der konstruktionsgleiche Aufbau DA_OSB_{std} auf, bei dem im Gegensatz zum Aufbau DA_OSB_{low} eine handelsübliche OSB-Platte aus Kiefernholz zum Einsatz kam. Der TVOC-Wert liegt hier bei 1139 µg/m³. Die Verteilung der VOC-Einzelstoffe auf die einzelnen Stoffklassen ist vergleichbar mit dem Aufbau DA_OSB_{low}, nur dass jeweils höhere Werte für die aus Holzwerkstoffen stammenden Emissionen gemessen werden konnten (Terpene 458 µg/m³, Aldehyde 173 µg/m³, organische Säuren 28 µg/m³).

Deutlich höhere Emissionswerte wurden für den Aufbau DA_3S gemessen (TVOC 1739 µg/m³). Bei genauer Betrachtung der vorliegenden Stoffklassen und Einzelstoffe fällt jedoch auf, dass sich nur ein geringer Anteil der Gesamtemissionen aus holzwerkstoffeigenen VOC-Einzelstoffen zusammensetzen (Terpene 42 µg/m³, Aldehyde 15 µg/m³). Der Grossteil der Emissionen sind den Stoffklassen der organischen Säuren sowie Glykolen und Glykolethern zuzuordnen (letztere in der Stoffklasse «Weitere_div» aufsummiert), die nachweislich nicht aus der hier verbauten 3-Schichtplatte abgegeben werden. Das Emissionsprofil des Aufbaus wird somit massgeblich von den Einzelstoffemissionen der eingesetzten Farbe dominiert. Die oben genannten organischen Säuren, Glykole und Glykolether konnten zuvor alle und in vergleichbarem Konzentrationsverhältnis bei Emissionsbestimmung der Farbe nachgewiesen werden. Auffällig sind jedoch hohen Essigsäure-Emissionen des Dachaufbaus DA_3S. Zwar können wie oben beschrieben hohe Essigsäureemissionen bei Einzelmessung der Farbe detektiert werden, so dass das Auftreten von Essigsäureemissionen nicht verwundert. Die gleiche Farbe wird jedoch auch in den Wandaufbauten eingesetzt. Hier werden am Tag 3 jedoch nur geringe Essigsäurekonzentrationen von jeweils 18 µg/m³ gemessen. Unter Umständen hängen die unterschiedlichen Essigsäure-Emissionen mit der Wechselwirkung der Wandfarbe mit der darunterliegenden Materialschicht zusammen. Im Fall der Wandaufbauten wird die Farbe auf eine Gipsfaserplatte aufgebracht. Im Fall des Dachaufbaus DA_3S auf eine 3-Schichtplatte. Es ist möglich, dass die Farbe in Wechselwirkung mit der obersten Fichte/Tanne-Massivholz-Lage der 3-Schichtplatte tritt und eine Abspaltung der Acetylseitengruppen der Hemicellulosen im Holz hervorruft, in deren Folge Essigsäure-Emissionen generiert werden.

Die Wandaufbauten WA_OSB2x und WA_OSB1x weisen etwa ähnlich hohe TVOC-Werte von 1990 µg/m³ bzw. 1979 µg/m³ auf. Wie bei Dachaufbau DA_3S dominieren auch hier Einzelstoff-Emissionen der eingesetzten Wandfarbe (Glykole, Glykolether), aufsummiert in den Stoffklassen "Weitere_div".) ein relevanter Anteil der Gesamtemissionen können den holzwerkstoffeigenen Stoffgruppen Aldehyde (102 µg/m³ bzw. 81 µg/m³) und Terpenen (223 µg/m³ bzw. 388 µg/m³) zugeordnet werden.

Tabelle 9: VOC-Emissionen wichtiger VOC-Stoffklassen aus mehrschichtigen Aufbauten nach deren Erstellung. Messwerte sind Mittelwerte (n=2) der Konzentration in der Prüfkammerluft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	DA_OSBLow	DA_OSBSStd	DA_3S	WA_OSBB 2x	WA_OSBB 1x
Weitere_HWSt	58	99	0	51	81
Weitere_div	69	108	2398	2502	2013
Säuren_HWSt	17	28	0	36	81
Säuren_div	0	0	758	0	36
Aldehyde_HWSt	173	208	15	102	81
Terpene_HWSt	242	458	42	223	388
TVOC ¹⁾	774	1139	1739	1990	1979
Summenparameter					

1) Die Bestimmung des Summenparameters TVOC erfolgt gemäss ISO 16000-6 über Toluol-Äquivalente und entspricht nicht der Summe der Einzelverbindungen, die über analytische Einzelstoffstandards genauer quantifiziert werden.

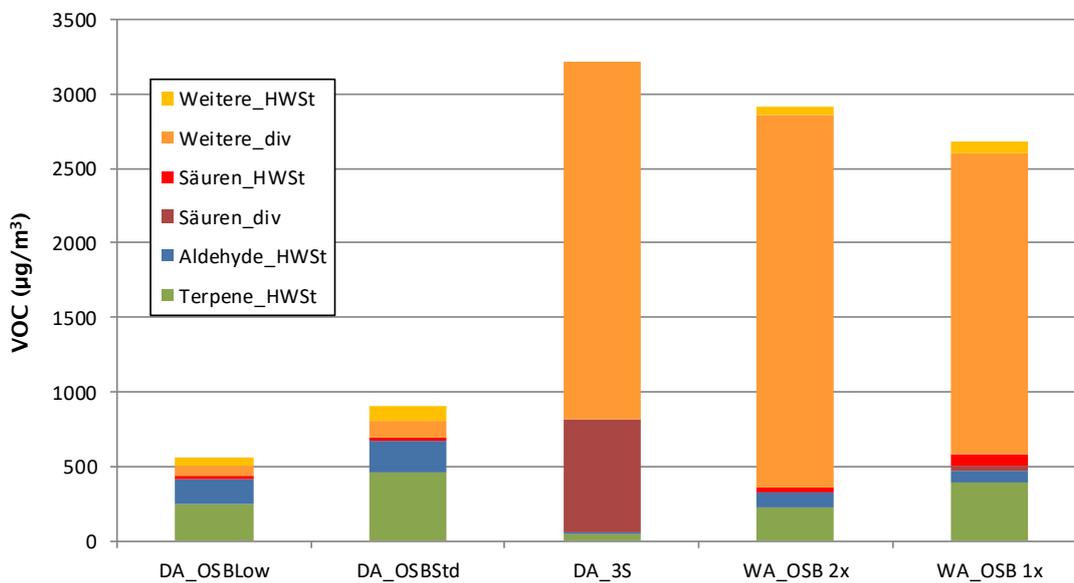


Abbildung 12 : VOC-Emissionen wichtiger VOC-Stoffklassen aus mehrschichtigen Aufbauten nach deren Erstellung (n=2).

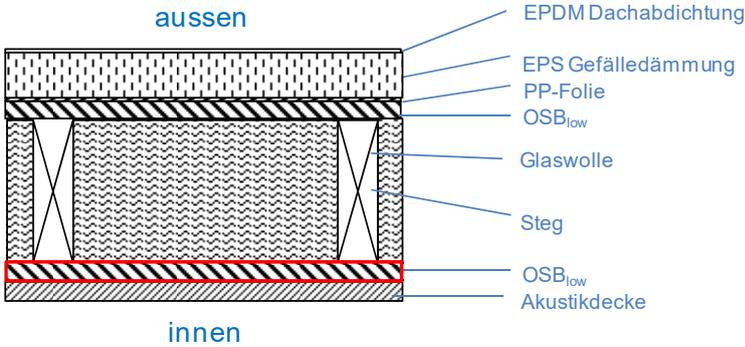
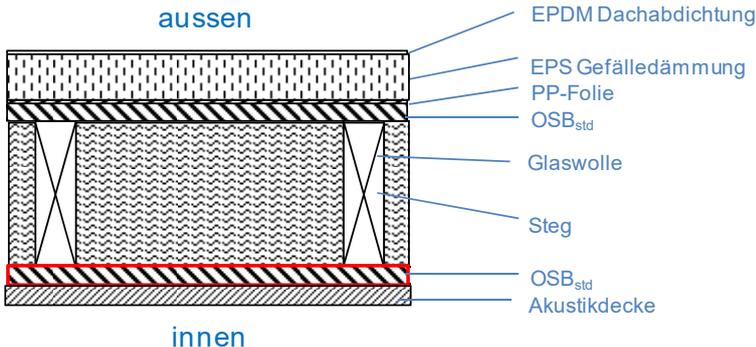
Eine Gegenüberstellung der Einzelstoffemissionen der Aufbauten mit denen der dafür eingesetzten Baustoffe lässt Aussagen über das Migrationsverhalten von Emissionen aus einzelnen Baustoffen in die Raumluft zu.

Für jeden Aufbau lassen sich ein bis zwei Materialschichten identifizieren, die im wesentlichen Anteil an den Emissionen des Aufbaus besitzen (Abbildung 10). Bei beiden Dachaufbauten unter Anwendung von OSB-Platten (DA_OSBlow und DA_OSStd) sind die jeweils eingesetzten OSB-Platten die primäre Quelle der Emissionen des Aufbaus. Die darüber hinaus im Aufbau gemessenen Einzelstoffemissionen setzen sich aus Emissionen der Akustikplatte, der PP-Folie (insb. Essigsäurebutylester, Butanol) sowie der EPS-Gefälledämmung (Styren, Ethylbenzen, Benzaldehyd) zusammen. Selbst die eher aussenseitig liegenden Baustoffe tragen demnach (in geringem Umfang) zu den Emissionen des Aufbaus Richtung Innenraumluft bei.

Die Emissionen des Aufbaus DA_3S setzen sich wie oben beschrieben aus den Emissionen der Farbe und möglicherweise aus der 3S-Platte (möglicherweise Essigsäureabspaltung auf Grund von Wechselwirkungen mit der Farbe) zusammen. Auch hier können Emissionen aus der PP-Folie gemessen werden.

Die beiden Wandaufbauten WA_OS2x und WA_OS1x werden nach deren Erstellung durch die Emissionen der Farbe dominiert. OSB-Emissionen sind aber dennoch in vergleichbarem Umfang anzutreffen wie bei den OSB-basierten Dachaufbauten.

Tabelle 10 : Schematische Darstellung der in jedem Aufbau besonders emissionsrelevanten Baustoffen (rot) und wesentliche Emissionen aus Schichten der Aufbauten.

Aufbau	Wesentliche Emissionsquellen
<p>DA_OSBlow</p> 	<p>Primäre Emissionsquelle: - OSBlow</p> <p>Weitere: - Akustikplatte (Nonanal, ua.)</p> <p>Geringfügige Spuren: Emissionen aus - PP (Essigsäurebutylester, Butanol) - EPS (Styren, Ethylbenzen, Benzaldehyd)</p>
<p>DA_OSStd</p> 	<p>Primäre Emissionsquelle: - OSStd</p> <p>Weitere: - Akustikplatte (Nonanal, ua.)</p> <p>Geringfügige Spuren: Emissionen aus - PP (Essigsäurebutylester, Butanol) - EPS (Styren, Ethylbenzen, Benzaldehyd)</p>

<p>DA_3S</p> <p>aussein</p> <p>innen</p> <ul style="list-style-type: none"> EPDM Dachabdichtung EPS Gefälledämmung PP-Folie 3S-Platte Glaswolle Steg 3-Schichtplatte Farbe 	<p>Primäre Emissionsquelle: - Farbe</p> <p>Weitere: - 3S-Platte - PP (Essigsäurebutylester)</p>
<p>WA_OSB2x</p> <p>aussein</p> <p>innen</p> <ul style="list-style-type: none"> Ständer OSB_{low} Mineralwolle Gipsfaserplatte Farbe 	<p>Primäre Emissionsquellen: - Farbe (im zeitlichen Verlauf abnehmend)</p> <p>- OSB_{low}</p>
<p>WA_OSB1x</p> <p>aussein</p> <p>innen</p> <ul style="list-style-type: none"> Ständer OSB_{low} Mineralwolle Gipsfaserplatte Farbe 	<p>Primäre Emissionsquellen: - Farbe (im zeitlichen Verlauf abnehmend)</p> <p>- OSB_{low}</p>

4.3.2 Zeit- und Luftwechsel-abhängiges Emissionsverhalten

Die Dach- und Wandaufbauten wurden in fünf parallel betriebenen Emissionsprüfkammern zunächst über einen Zeitraum von 14 Tagen mit einem kontinuierlichen Luftwechsel betrieben, der in Übertragung der Oberflächen/Volumenverhältnisse auf den Europäischen Musterraum einem in der Norm EN 16516 definierten flächenspezifischen Luftwechsel $q = 0.5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ für Wandflächen entspricht. In diesem Zeitraum sollte der in der Praxis kaum zu kontrollierende Luftwechsel simuliert werden, der zwischen Zusammenbau einzelner Aufbauten, dem Transport auf die Baustelle, der Errichtung und dem kurzfristigen Schliessen der Gebäudehülle durch Einbau von Fenstern und Türen (falls nicht werksseitig erfolgt) stattfindet.

Bei Gegenüberstellung der beiden Dachaufbauten basierend auf OSB-Platten (DA_OSBLow und DA_OSBstd) ergeben sich sowohl an Tag 3 als auch an Tag 14 bei den Stoffgruppen Terpene, Aldehyde und organische Säuren höhere Emissionswerte für Dachaufbau DA_OSBstd, der mit herkömmlichen kiefernholz-basierten OSB4-Platten ausgeführt wurde (Abbildung 13, Tabelle 11). Am Tag 14 betragen die VOC-Werte des Aufbaus DA_OSBstd für Aldehyde $205 \mu\text{g}/\text{m}^3$, org. Säuren $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und Terpene $409 \mu\text{g}/\text{m}^3$, wohingegen die entsprechenden Werte für den Aufbau DA_OSBLow für Aldehyde $154 \mu\text{g}/\text{m}^3$, org. Säuren $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und Terpene $228 \mu\text{g}/\text{m}^3$ betragen. Im Vergleich dazu weist der Dachaufbau DA_3S ein gänzlich unterschiedliches Emissionsverhalten auf. Die Emission an Terpenen ($36 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und Aldehyden ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) liegen am Tag 14 in einem sehr niedrigen Bereich. Im Gegensatz dazu werden mit $394 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für organische Säuren und $1283 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für weitere Verbindungen hohe Emissionen gemessen. Eine Detailanalyse der detektierten Einzelstoffe zeigt jedoch, dass nur ein kleiner Anteil der beiden Stoffgruppen auf die Emissionen aus dem eingesetzten Holzwerkstoff zurückzuführen ist. Vielmehr können die erhöhten Emissionen an weiteren Verbindungen (Propylenglykol, 2-Butoxyethanol und weitere Glykolether) und org. Säuren (insb. Essigsäure) eindeutig dem Emissionsprofil der Farbe zugeordnet werden, die im vorliegenden Wandaufbau für den Grossteil der VOC-Emissionen (ca. 90%) verantwortlich ist.

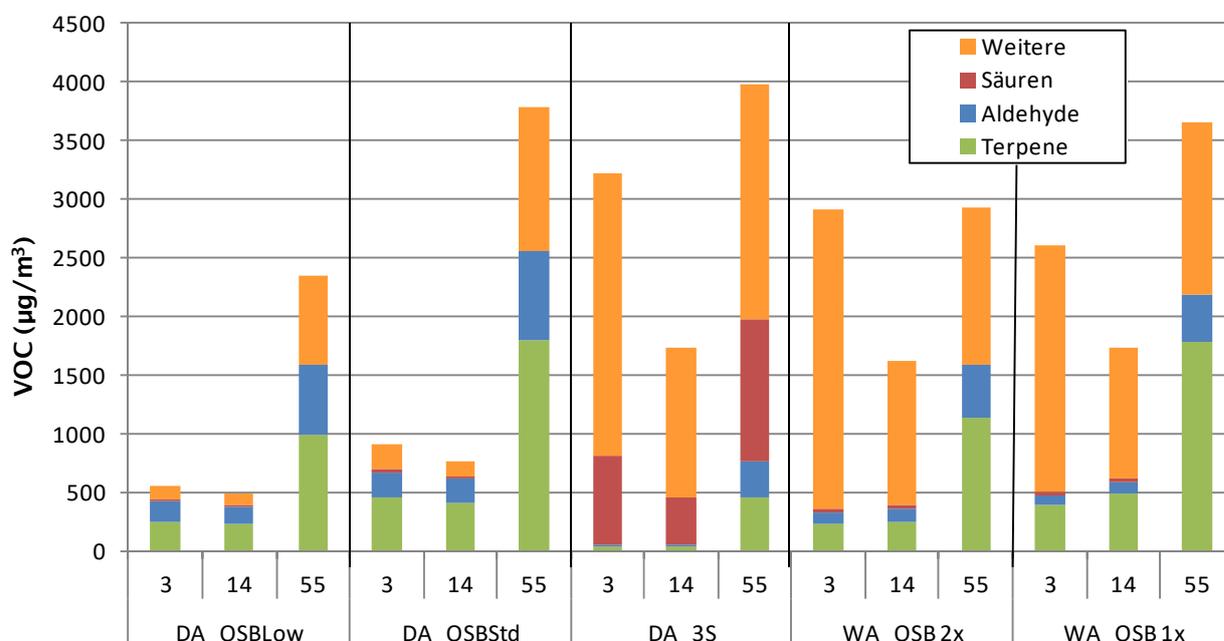


Abbildung 13: Emissionswerte der Dachaufbauten und Wandaufbauten in Abhängigkeit von der Versuchsdauer. Messwerte sind Mittelwerte (n=2) der Konzentration in der Prüfkammerluft

Nach Verringerung des Luftwechsels nach Tag 14 auf einen flächenspezifischen Luftwechsel von $q = 0.1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ weisen alle Dachaufbauten in den Emissionsprüfkammern deutlich erhöhte Messwerte im Vergleich zu den Tagen 3 und 14 auf. Der bei beiden Aufbauten mit OSB-Platten (DA_OSBLow und DA_OSBstd) steigen die Messwerte des Parameters TVOC, der über Toluol-Äquivalente bestimmt wird

deutlich an (z.B. für den Aufbau DA_OSB_{Std} von 622 µg/m³ (Tag 14) auf über 3000 µg/m³ (Tag 28) (Tabelle 12, Abbildung 14, Abbildung 15). Ein ähnliches Verhalten ist auch für die übrigen Dachaufbauten zu erkennen. DA_OSB_{Std} weist nach 14 Tagen einen TVOC-Wert von 989 µg/m³ und nach 28 Tagen von ca. 3600 µg/m³ auf. Der moderate Anstieg der VOC-Emissionen der Dachaufbauten ist mutmasslich auf die hohe Isolationsleistung der EPS-Gefälledämmung zurückzuführen.

Tabelle 11: Emissionswerte der Dachaufbauten in Abhängigkeit von der Versuchsdauer. Messwerte sind Mittelwerte (n=2) der Konzentration in der Prüfkammerluft (µg/m³).

	DA_OSB _{Low}			DA_OSB _{Std}			DA_3S		
	t=3	t=14	t=55	t=3	t=14	t=55	t=3	t=14	t=55
Aldehyde	173	154	584	208	205	771	15	20	307
Säuren	17	16	0	28	19	0	758	394	1210
Terpene	242	228	996	458	409	1791	42	36	458
Weitere	127	86	773	207	125	1217	2398	1283	2009

Tabelle 12 : TVOC-Werte aller Aufbauten in Abhängigkeit von der Versuchsdauer. Messwerte sind Mittelwerte (n=2) der Konzentration in der Prüfkammerluft (µg/m³). (n=2)

Aufbau	t=3	t=7	t=14	t=28	t=42	t=55
DA_OSB _{Low}	774	768	622	3101	3016	2725
DA_3S	1739	1108	980	2297	2186	2637
DA_OSB _{Std}	1139	1133	989	3622	3976	4128
WA_OSB2x	1990	1417	1256	2850	3165	3254
WA_OSB1x	1979	1712	1450	3836	3835	4101

1) Die Bestimmung des Summenparameters TVOC erfolgt gemäss ISO 16000-6 über Toluol-Äquivalente und entspricht nicht der Summe der Einzelverbindungen, die über analytische Einzelstoffstandards genauer quantifiziert werden.

Die Wandaufbauten WA_OSB1x und WA_OSB2x unterscheiden sich im direkten Vergleich an Tag 3 und 14 kaum in der Zusammensetzung und der Höhe der abgegebenen VOC-Emissionen. Die erklärbar durch den identischen Aufbau der obersten Schichten bis inklusive Steg/Dämmungs-Schicht. Wie oben beschrieben wird der Grossteil der Emissionen durch die VOC-Emissionen der Farbe dominiert (fliessen in die Kategorie «Weitere» mit ein). Diese gehen zwar von Tag 3 auf Tag 14 zurück, durch den verringerten Luftwechsel besitzen sie aber weiterhin einen Anteil von ca. 40 % an den Gesamtemissionen.

Die Ergebnisse belegen bei allen hier geprüften Aufbauten einerseits die Möglichkeit die in der Raumluft vorherrschenden Emissionen nach Fertigstellung der Aufbauten bzw. Daraus hergestellter Räume bei moderatem Luftwechsele von 0.5 h⁻¹ in den ersten Wochen abzusenken. Andererseits zeigen die Ergebnisse auch, dass eine Absenkung des Luftwechsels auf niedrige 0.1 h⁻¹, wie sie in nur gelegentlich gelüfteten Räumen ohne Lüftungsanlage anzutreffen sind, zu langanhaltend hohen Emissionen in der Raumluft führen kann.

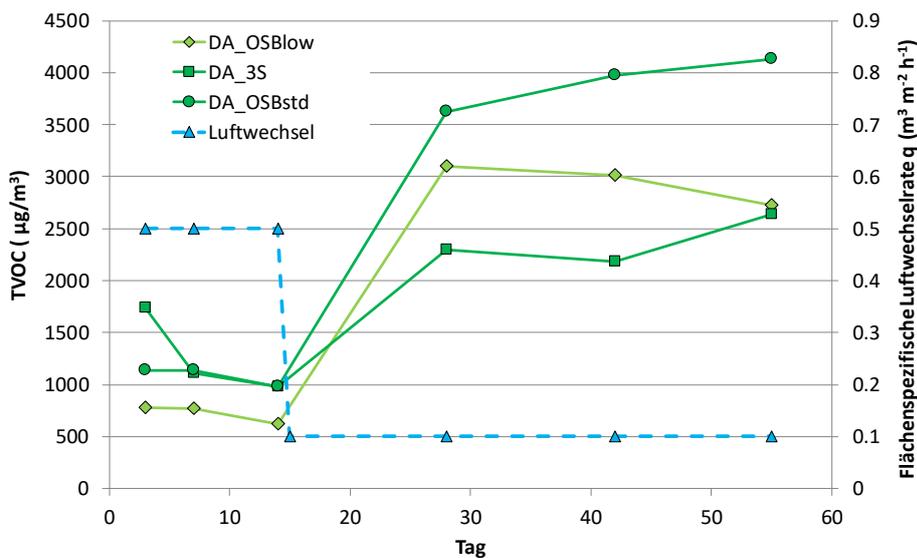


Abbildung 14 : TVOC-Werte der drei Dachaufbauten über den gesamten Prüfzeitraum

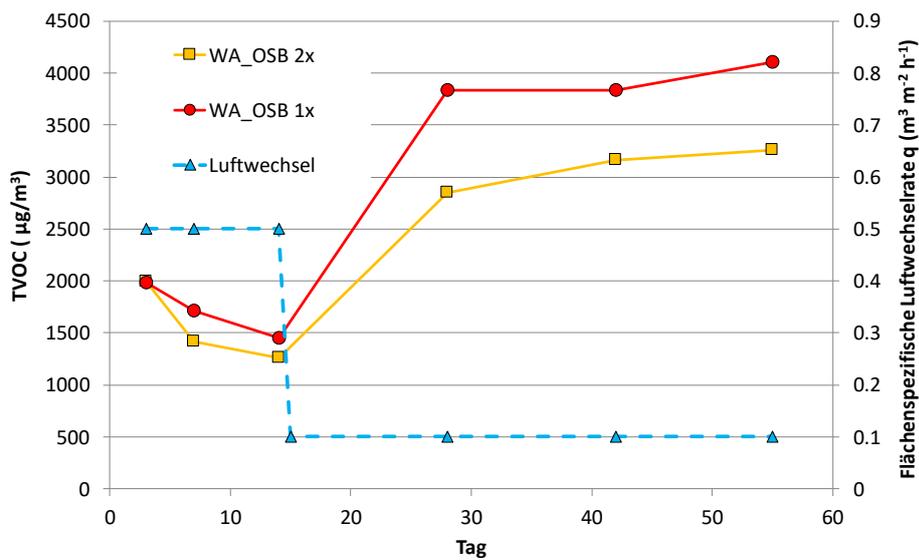


Abbildung 15: TVOC-Werte der zwei Wandaufbauten über den gesamten Prüfzeitraum

4.3.3 Temperaturabhängiges Emissionsverhalten

Zur Ermittlung des von der Oberflächentemperatur der Aussenfläche abhängigen Emissionsverhaltens wurden alle Aufbauten aussenseitig mittels konduktiver Wärmeübertragung auf eine äussere Oberflächentemperatur von 60°C gebracht und über einen Zeitraum von bis zu 48 h die innenseitige VOC-Emission bestimmt.

Die im Versuchsaufbau durchgängig geprüfte Temperatur ergab auch nach einer Versuchsdauer von 48 h nur eine geringfügige Erhöhung der inneren Oberflächentemperatur von 1.3°C (WA_OSB1x), 1.4 °C (WA_OSB2x) sowie ca. 0.5°C bei allen Dachaufbauten.

Die Emissionswerte aller drei Dachaufbauten stiegen über den Zeitraum von 48 h leicht an. So betrug die TVOC-Konzentration im Versuchsaufbau bei Aufbau DA_OSB_{std} 4741 µg/m³ und nach 48 h 5888 µg/m³. Bei DA_OSB_{low} stieg die TVOC-Konzentration von 3482 µg/m³ (Zeitpunkt t₀) auf 3834 µg/m³ (t₄₈) an. Der mit 3-Schichtplatten versehene Aufbau DA_3S wies einen Anstieg von 2083 µg/m³ auf 2297 µg/m³ auf.

Der moderate Anstieg ist mutmasslich auf die hohe Dämmleistung der EPS-Gefälledämmung zurückzuführen, die eine massgebliche Aufwärmung der rauminnenseitig gelegenen Baustoffschichten und damit eine Erhöhung der Emissionen aus diesen deutlich verzögert.

Im Gegensatz dazu steigen die Emissionen der Wandaufbauten bis zu Zeitpunkt t₄₈ deutlich an. Wandaufbau WA_OSB 2x weist am Zeitpunkt t₄₈ um etwa 60% erhöhte Emissionswerte auf, bei Aufbau WA_OSB1x steigen die Emissionswerte sogar um ca. Faktor 3. Mutmasslich ist dies auf dies primär auf die stärkere Erwärmung der rauminnenseitig verbauten OSB-platte zurückzuführen. Insbesondere bei Wandaufbau WA_OSB1x, bei dem die innenseitige OSB-platte fehlt, können die Emissionen aus der aussenseitig installierten und mit zunehmender Versuchsdauer stärker erwärmten OSB-platte ohne wesentliche Diffusionsbarriere bis zum rauminnenseitigen Schichtaufbau Gipsfaserplatte/Farbe gelangen und auch diese Schichten passieren.

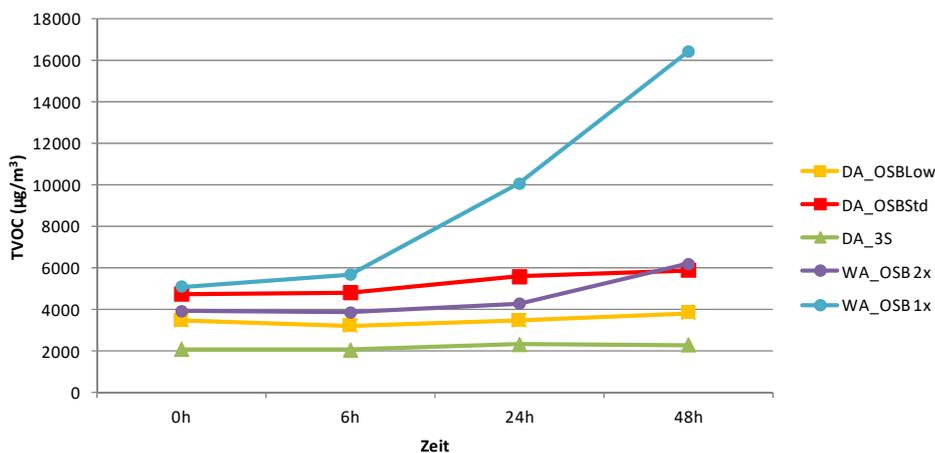


Tabelle 13 : TVOC-Messwerte aller Aufbauten während 48 Stunden bei 60 °C aussenseitiger Erwärmung in Abhängigkeit von der Versuchsdauer. Messwerte sind Mittelwerte (n=2) der Konzentration in der Prüfkammerluft (µg/m³).

	t=3	t=7	t=14	t=28
DA_OSB _{Low}	3482	3208	3487	3834
DA_3S	2083	2043	2310	2297
DA_OSB _{Std}	4741	4810	5571	5888
WA_OSB _{2x}	3913	3849	4280	6177
WA_OSB _{1x}	5101	5679	10048	16408

1) Die Bestimmung des Summenparameters TVOC erfolgt gemäss ISO 16000-6 über Toluol-Äquivalente und entspricht nicht der Summe der Einzelverbindungen, die über analytische Einzelstoffstandards genauer quantifiziert werden.

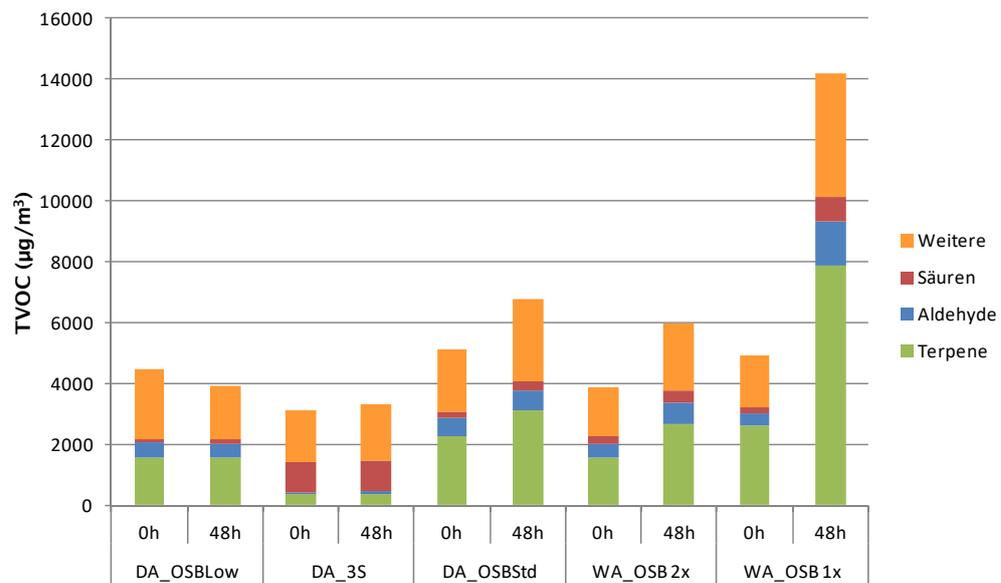


Abbildung 16 : Veränderung der Zusammensetzung der VOC-Emissionen der Aufbauten während der äusseren Oberfläche auf 60°C

4.4 Raumlufqualität im Musterraum

Zur Bestimmung der Holzwerkstoff-abhängigen VOC-Emissionen im Praxismassstab wurde ein Musterraum mit einem Volumen von ca. 40 m³ errichtet der Innenseitig mit der Emissionsreduzierten OSB-Platte «OSB_{low}» ausgestattet wurde. Auf weitere darüber aufzubringende Schichten (Gipsfaserplatte, Wandfarbe) wurde im vorliegenden Fall verzichtet um ein «worst case»-Szenarium in Bezug auf die holzwerkstoffeigenen Emissionen nachzustellen. Über einen Zeitraum von 51 Tagen wurde an drei Zeitpunkten Messungen der Raumlufqualität nach dem Standardverfahren (Abschluss des Raums für 8 h vor der Raumlufprobenahme) durchgeführt. Zwischen den Messpunkten wurde ein unregelmäßiger Luftwechsel durch die geöffnete Tür und das geöffnete Fenster ermöglicht. Im Gegensatz zu den übrigen Emissionsmessungen im Projekt wurden zudem die Emissionen an Formaldehyd nach der DNPH-Methode gemäss ISO 16000-3 bestimmt.

Die TOVC-Konzentration lag an den Zeitpunkten t=8, t=30 und t=51 bei 8190 µg/m³, 3084 µg/m³ bzw. 1686 µg/m³ (Tabelle 14). Die ermittelten Messwerte direkt nach Erstellung des Musterraums (t0) sind sehr hoch. Dies ist aber nachvollziehbar, da hier konstruktionsbedingt ein Beladungsgrad von 1.825 m² m⁻³ vorliegt und die Raumlufprobenahme unter den Bedingungen einer «Standardmessung» erfolgte. Die ermittelten VOC-Einzelstoffe sind im Wesentlichen den Stoffgruppen der Terpene (insb. α-Pinen, β-Pinen, Camphen, 3-Caren, Δ-Limonen), Aldehyde (Pentanal, Hexanal) und organischen Säuren (Essigsäure) zuzuordnen, wie die ebenfalls bei der Bestimmung des Einzelbaustoffs OSB_{low} bereits gemessen werden konnten.

Tabelle 14 : VOC-Messwerte in der Raumluf des Musterraums an drei Probenahmezeitpunkten für die am höchsten konzentrierten Einzelverbindungen und den Summenparameter TVOC

Name	CAS Nr.	Tag 8	Tag 30	Tag 51
Aceton	67-64-1	861	606	364
Acetic acid	64-19-7	274	<13	<13
Pentanal	110-62-3	165	90	88
Hexanal	66-25-1	574	289	245
alpha-Pinene	7785-26-4	1785	577	251
Camphene	79-92-5	184	54	20
Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	535-77-3	179	60	27
beta-Pinene	18172-67-3	1587	421	170
3-Carene	13466-78-9	177	41	35
p-Cymene	99-87-6	185	77	42
D-Limonene	5989-27-5	484	129	69
TVOC¹⁾		8190	3084	1686
Formaldehyd _{DNPH}	50-00-0	57	34	26
Acetaldehyd _{DNPH}	75-07-0	449	362	252

1) Die Bestimmung des Summenparameters TVOC erfolgt gemäss ISO 16000-6 über Toluol-Äquivalente und entspricht nicht der Summe der Einzelverbindungen, die über analytische Einzelstoffstandards genauer quantifiziert werden.

Über den weiteren Verlauf der Prüfzeit von insgesamt 51 Tagen konnte durch die zwischen den Messungen erfolgten Lüftungszeiten eine deutliche Abnahme der Emissionen verzeichnet werden (TVOC $t_{30}=606 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t_{51}=364 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Wie bereits bei den Messungen den Einzelbaustoffs OSB_{low} nehmen auch hier insbesondere die VOC-Einzelverbindungen der Stoffgruppe der Terpene stark ab (z.B. Leitsubstanz α -Pinen von $t_0=1785 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf $t_{51}=251 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Niedriger fällt der Rückgang bei den besonders geruchsrelevanten Aldehyden aus. Die Konzentrationen an Pentanal und Hexanal halbieren sich etwa über gesamten Prüfzeitraum.

Die gemessenen Formaldehyd-Konzentrationen liegen bereits direkt nach Erstellung des Musterraums bei niedrigen $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und gehen bis zum Tag 51 auf $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zurück.

Ein direkter Vergleich der erzielten Messwerte mit relevanten Richt- bzw. Zielwerten ist kann mit der Einschränkung durchgeführt werden, dass sich im vorliegenden Fall nicht um einen fertig ausgebauten Innenraum (oberste Schichten fehlen) handelt und die Lüftungsform (Raum verfügt über keine kontrollierte Lüftungsanlage) sich von den Anforderungen bestimmter Zertifikate des Nachhaltigen Bauens (z.B. Minergie-ECO) abhebt, die ebenfalls Zielwerte zur Innenraumluft definieren.

Der Richtwert für Formaldehyd in der Innenraumluft des Bundesamtes für Gesundheit BAG von $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kann sicher eingehalten wird. Die Anforderungen der Labels des Nachhaltigen Bauens zum Summenparameter TVOC ($1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) würde nach den vorliegenden Messungen nicht eingehalten werden. Erschwerend kommt beim vorliegenden Messaufbau allerdings hinzu, dass hier ohne kontinuierlichen Luftwechsel einer Lüftungsanlage gemessen wurde (sondern unter Abschluss des Raumes für 8 h vor der Messung) was zu höheren Messwerten führt. Andererseits wurde im vorliegenden Fall ein Austrag der VOC-Emissionen aus dem Innenraum durch a) dauerhaft Öffnung der Tür und des Fensters zwischen den Messungen und b) ungehinderter Austrag der VOC-Emissionen aus er OSB-platte durch fehlende darüberliegende Schichten begünstigt. Eindrücklich kann jedoch gezeigt werden, dass ein deutlicher Rückgang der VOC-Emissionen in der Innenraumluft, insbesondere durch starke Abnahme der Terpen- und moderte Abnahme der Aldehyd-Emissionen zu verzeichnen ist. Dies zeigt die Möglichkeit auf, das Emissionspotential von Wand- und Deckenaufbauten in der Rohbauphase und vor Beginn des Innenausbau durch gezieltes starkes Lüften abzusenken.

5 Schlussfolgerungen

In den insgesamt fünf verschiedenen Wand- und Dachaufbauten konnte der Einfluss der einzelnen Baustoffe auf Emissionsverhalten des Gesamtaufbaus bestimmt werden. Signifikant ist hierbei der Einfluss der Materialwahl im Bereich der Holzwerkstoffe.

Die vergleichsweise hohen VOC-Emissionen der OSB-Platten prägen die Gesamtemissionen der daraus erstellten Aufbauten. Diese Emissionen setzen sich aus Einzelstoffen der Stoffklassen der Aldehyde, Terpene und org. Säuren zusammen. Die Einzelstoffe aller drei Stoffklassen besitzen vergleichsweise niedrige Geruchsschwellen, können also bereits in geringen Konzentrationen vom Menschen geruchlich wahrgenommen werden. Zudem wird der Geruch der ungesättigten Aldehyde und organischen Säuren, die als Spaltprodukte bei der Produktion der OSB-Platten und bei Luftkontakt gebildet werden, häufig als inakzeptabel beurteilt. Solche Emissionen sind häufig für die wahrgenommenen Fehlgerüche in der Raumluft von Innenräumen in Objekten in Holzbauweise verantwortlich.

Ein Dachaufbau unter Einsatz einer Fi/Ta-Dreischichtplatte zeigte kaum Holzwerkstoff-basierte Emissionen und belegt, dass bei Wahl einer emissionsarmen Alternative zur OSB-Platte das Emissionsverhalten von Aufbauten in Holzbauweise deutlich abgesenkt werden kann. Der Einsatz solcher Dreischichtplatten wird jedoch durch den damit einhergehenden Kostenmehraufwand deutlich eingeschränkt.

Der Einsatz einer emissionsreduzierten OSB-Platte (Pilotprodukt, kiefernholzfrei) führt zu geringeren Emissionswerten und zu einer Reduktion der Emission vergleichbarer Aufbauten um ca. 35 % gegenüber handelsüblichen OSB-Platten aus Kiefernholz. Mittel- bis langfristig sind insbesondere OSB-Platten, hergestellt aus Holzarten mit geringerem Emissionspotential, eine Option. Insbesondere inhaltsstoffarme Holzarten, darunter auch Laubhölzer wie Pappel oder Buche, sind hierbei aus emissionstechnischer Sicht interessante Alternativen.

Rauminnseitig über den OSB-Platten installierte Gipsfaserplatten und eine Wandfarbe wiesen keine wesentliche Barrierewirkung gegenüber den VOC-Emissionen aus den OSB-Platten in Richtung Innenraumluft auf.

Weiter konnte gezeigt werden, dass der vorherrschende Luftwechsel in Innenräumen massgeblich zur sich einstellenden VOC-Konzentration in der Innenraumluft sowie zum Abklingverhalten der Emissionen in neu erstellten Objekten beiträgt. Wird kurze Zeit nach Erstellung des Rohbaus die Gebäudehülle durch Installation von Türen und Fenstern geschlossen und liegt im weiteren zeitlichen Verlauf kein oder nur ein geringer Luftwechsel an, sind vergleichsweise hohe VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft und eine nur langsame Abnahme der VOC-Konzentration die Folge.

Messungen in einem Musterraum unter Einsatz einer emissionsreduzierten OSB-Platte, mit dem ein Holzbau in der Rohbauphase nachgestellt wurde (innere Oberflächen OSB-Platte) zeigen deutlich, dass durchaus die Möglichkeit besteht, hohe VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft kurzfristig zu minimieren. Hierzu ist aber ein dauerhaft erhöhter Luftwechsel auf der Baustelle sowie eine ungehinderte Abgabe der Emissionen der OSB-Platten erforderlich.

Erneut konnte im vorliegenden Projekt aufgezeigt werden, dass die Materialwahl (neben der Umsetzung und dem Lüftungskonzept) Grundvoraussetzung für niedrige VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft darstellt. Neben den OSB-Platten traf dieser Umstand vor allem auf eine marktgängige Innenraum-Farbe zu, die im vorliegenden Fall massgeblich zur Gesamtemission der Aufbauten beitrug.

Die immer häufiger in Werkverträgen festgelegten Zielwerte zum Summenparameter TVOC und zu einzelnen VOC-Stoffgruppen sind für den Holzbau dann schwer einzuhalten, wenn bestimmte Faktoren zusammenkommen. Wenn keine raumlufttechnische Anlage verbaut ist (Konsequenz: Raumluftmessung bei Standardbedingungen, für 8 h geschlossener Raum) und grossflächig OSB-Platten in Wand- und Deckenaufbauten verbaut sind, ist es schwierig, die entsprechenden Werte einzuhalten. Hinzu kommen immer häufiger Reklamationen der Raumnutzer entsprechender Objekte aufgrund von wahrgenommenen Fehlgerüchen, die ebenfalls mehrheitlich auf Emissionen handelsüblicher OSB-Platten zurückgeführt werden können.

Von grosser Bedeutung bei der Umsetzung von Objekten in Holzbauweise ist ein gesamthafte Konzept, das unter anderem die Materialwahl, das Lüftungskonzept und eine geeignete Ausführung auf der Baustelle umfasst, um Innenräume mit niedrigen VOC-Konzentrationen realisieren zu können und im Falle bestehende Zielwerte in Werkverträgen diese sicher einhalten zu können.

6 Literatur

- [1] Umweltbundesamt, Richtwerte Innenraumluft, Stand 16.02.2018, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/bilder/dateien/0_ausschuss_fuerinnenraumrichtwerte_empfehlungen_und_richtwerte_20171115.pdf
- [2] Grenzwerteliste 2015, Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, IFA Report 4/2015, DGUV Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
- [3] Mayer, I. und von Arx, U. 2009-2016, unveröffentlichte Ergebnisse aus Messungen der Berner Fachhochschule BFH-AHB.
- [4] Akrami, A. 2016, Dissertation Universität Hamburg, 2014
- [5] Roffael, E.; Dix, B.; Schneider, T. WKI-Kurzberichte 2004, 21/04.
- [6] Horn, W.; Jann, O.; Kasche, J.; Bitter, J.; Müller, D.; Final-report UFOPLAN: 202 62 320; Federal Environmental Agency (Germany): 2007.94
- [8] Salthammer, T., Boehme, B., Meyer, B., Siwinski, N. Proceedings of the 7th International Conference Healthy Buildings 2003, 2003; pp 160-165.
- [9] Manninen; Pasanen; Holopainen Science Direct- Atmospheric Environment 2002, 36, 1763-1768.
- [10] Augustin, H.; Puls, J. Timber Bulletin for Europe 1982, 34.
- [11] Roffael, E. Ursachen für Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen. Holz-Zentralblatt, 2006.
- [12] Jann O., Wilke O., Brödner D. UBA-Texte 74/99; UBA - Umweltbundesamt: Berlin, 1999.
- [13] Aehlig, K.; Broege, M. Holztechnologie 2005, 46, 11-17.
- [14] Wilke, Brozowski, Wiegner, Brauer (2013): UMID 1. Schwerpunkt Chemikalien, Umwelt und Gesundheit
- [15] Makowski, M.; Ohlmeyer, M. Holzforschung 2006, 60, 414-422.
- [16] Makowski, M.; Ohlmeyer, M. Holzforschung 2006, 60, 533-538.

7 Publikation der Ergebnisse

In folgenden Konferenzbeiträgen, Vorträgen und Lehrveranstaltungen erfolgte Publikation der Projektergebnisse:

- 8. HolzBauSpezial Bauphysik, 22./23. März 2017, Bad Wörishofen, Vortrag und Beitrag im Tagungsband: I. Mayer «VOC-Emissionen im Holzbau in Abhängigkeit von der Konstruktion und der Materialisierung»
- WirHOLZBAUER 4.2017, Anonymus «VOC-Emissionen im Holzbau minimieren»
- Internationale Weiterbildungsveranstaltung BFH-AHB, Biel, CAS «WoodBasedPanels», Modul «Adhesives and Emissions», I. Mayer, 29.1.-2.2. 2018
- Vorlesung «Werkstoffkunde 3, Holzchemie», Studiengang BSc «Holztechnik», I. Mayer
- SWIN-Statusseminar, 16. Mai 2018, Vortrag und Beitrag im Tagungsband: I. Mayer, «VOC-Emissionen im Holzbau minimieren» (geplant)

8 Bestimmungen zum vorliegenden Bericht

Dieser Bericht darf nicht ohne Genehmigung der Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau auszugsweise vervielfältigt werden. Jegliche Veröffentlichung des Berichts oder von Teilen davon bedarf der schriftlichen Zustimmung der Fachhochschule. Ein Original dieses Berichts wird für 5 Jahre aufbewahrt. Dieser Bericht ist nur mit den Unterschriften des Institutsleiters für Werkstoffe und Holztechnologie und des Projektverantwortlichen gültig.

8.1 Umfang des Berichts

Dieser Bericht besteht aus 47 Seiten inkl. Anhang.

Anhang A: Messwerte der VOC-Einzelstoffemissionen

A.1 Eingesetzte Baustoffe

OSB_{std}, Tag 3

Name	CAS Nr.	Emissionsrate SER _A ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
Acetone	67-64-1	106
2-Propanol	67-63-0	11
Butanal	123-72-8	20
2-Butanone	78-93-3	15
Acetic acid	64-19-7	326
Cyclohexane	110-82-7	4
2-Pentanone	107-87-9	4
Pentanal	110-62-3	165
Heptane	142-82-5	28
1-Pentanol	71-41-0	98
n.i.-10.57499		7
Hexanal	66-25-1	488
Octane	111-65-9	15
Formic acid, pentyl ester	638-49-3	4
Furfural	98-01-1	14
2-Heptanone	110-43-0	30
Heptanal	111-71-7	22
Pentanoic acid	109-52-4	52
Oxirane, pentyl-	5063-65-0	11
alpha-Pinene	80-56-8	102
Camphene	79-92-5	7
n.i.-18.4		9
2-Heptenal, (Z)-	18829-55-5	210
Benzaldehyde	100-52-7	58
1-Heptanol	111-70-6	9
Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	535-77-3	26
B-Pinene	18172-67-3	20
Furan, 2-pentyl-	3777-69-3	4
Hexanoic acid	142-62-1	135
1-Decene	872-05-9	4
Octanal	124-13-0	29
3-Carene	13466-78-9	19
Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	535-77-3	3

p-Cymene	99-87-6	35
Limonene	5989-27-5	8
2-Octenal, (E)-	2548-87-0	184
Heptanoic acid	111-14-8	7
n.i.-24.13273		3
n.i.-24.26435		7
Nonanal	124-19-6	22
Bicyclo[3.1.1]hept-3-en-2-ol, 4,6,6-trimethyl-	473-67-6	7
3-Oxatricyclo[4.1.1.0(2,4)]octane, 2,7,7-trimethyl-	1686-14-2	17
n.i.-26.03825		4
Bicyclo[3.1.1]heptan-3-one, 2,6,6-trimethyl-	18358-53-7	5
2(10)-Pinen-3-one, (+/-)-	30460-92-5	11
Octanoic acid	124-07-2	3
n.i.-26.94		4
n.i.-27.14		3
Verbenon	80-57-9	14
2-Decenal, (E)-	3913-81-3	83
Nonanoic acid	112-05-0	87
tert-Butyl-p-benzoquinone	3602-55-9	7
2-Undecenal	2463-77-6	3
1,4-Methanoazulene, decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.)]-	475-20-7	4
n.i.-38.34373		3
Summenparameter:		
TVOC (Summe leichtflüchtiger organische Verbindungen)		58
TVOC (Summe flüchtiger organischer Verbindungen)		1256
TSVOC (Summe schwerflüchtiger organische Komponenten)		37

n.i.: non identified compound

OSB_{std} Tag 28

Name	CAS Nr.	Emissionsrate SER _A ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$)
Acetone	67-64-1	26
Butanal	123-72-8	6
2-Butanone	78-93-3	5
Acetic acid	64-19-7	100
Pentanal	110-62-3	54
Heptane	142-82-5	3
2-Pentenal, (E)-	1576-87-0	8
1-Pentanol	71-41-0	33
Hexanal	66-25-1	169
Octane	111-65-9	3
Furfural	98-01-1	10
2-Heptanone	110-43-0	9
Heptanal	111-71-7	17
Pentanoic acid	109-52-4	44
alpha-Pinene	80-56-8	13
2-Heptenal, (Z)-	18829-55-5	77
Benzaldehyde	100-52-7	27
1-Heptanol	111-70-6	7
Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	535-77-3	4
Hexanoic acid	142-62-1	80
Octanal	124-13-0	26
3-Carene	13466-78-9	6
p-Cymene	99-87-6	4
2-Octenal, (E)-	2548-87-0	94
n.i.-24.26435		3
Nonanal	124-19-6	16
3-Oxatricyclo[4.1.1.0(2,4)]octane, 2,7,7-trimethyl-	1686-14-2	6
Octanoic acid	124-07-2	5
Verbenon	80-57-9	9
2-Decenal, (E)-	3913-81-3	40
Nonanoic acid	112-05-0	6
tert-Butyl-p-benzoquinone	3602-55-9	3
Summenparameter:		
TVOC (Summe leichtflüchtiger organische Verbindungen)		7
TVOC (Summe flüchtiger organischer Verbindungen)		432
TSVOC (Summe schwerflüchtiger organische Komponenten)		12

OSB_{low}, Tag 3

Name	CAS Nr.	Emissionsrate SER _A ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
Acetone	67-64-1	18
Dimethyl ether	115-10-6	4
Butanal	123-72-8	4
2-Butanone	78-93-3	4
Acetic acid	64-19-7	61
Pentanal	110-62-3	37
1-Pentanol	71-41-0	6
Hexanal	66-25-1	165
Heptanal	111-71-7	4
Pentanoic acid	109-52-4	39
alpha-Pinene	80-56-8	167
Camphene	79-92-5	7
2-Heptenal, (Z)-	18829-55-5	50
Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	535-77-3	10
.beta.-Phellandrene	555-10-2	5
B-Pinene	18172-67-3	138
Hexanoic acid	142-62-1	35
Furan, 2-pentyl-	3777-69-3	5
Octanal	124-13-0	4
3-Carene	13466-78-9	40
p-Cymene	99-87-6	6
Limonene	5989-27-5	36
2-Octenal, (E)-	2548-87-0	87
Heptanoic acid	111-14-8	4
Furan, 2-butyltetrahydro-	1004-29-1	4
3-Oxatricyclo[4.1.1.0(2,4)]octane, 2,7,7-trimethyl-	1686-14-2	6
Nonanal	124-19-6	4
Octanoic acid	124-07-2	11
Verbenon	80-57-9	<3
2-Decenal, (E)-	3913-81-3	23
Nonanoic acid	112-05-0	30
n.i.-38.3443		5
Summenparameter:		
TVOC (Summe leichtflüchtiger organische Verbindungen)		18
TVOC (Summe flüchtiger organischer Verbindungen)		706
TSVOC (Summe schwerflüchtiger organische Komponenten)		37

OSB_{low}, Tag 28

Name	CAS Nr.	Emissionsrate SER _A ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
Acetone	67-64-1	10
Butanal	123-72-8	<3
2-Butanone	78-93-3	<3
Pentanal	110-62-3	24
1-Pentanol	71-41-0	4
Hexanal	66-25-1	108
Heptanal	111-71-7	3
Pentanoic acid	109-52-4	<3
alpha-Pinene	80-56-8	8
2-Heptenal, (Z)-	18829-55-5	21
B-Pinene	18172-67-3	6
Hexanoic acid	142-62-1	25
Octanal	124-13-0	4
3-Carene	13466-78-9	3
Limonene	5989-27-5	3
2-Octenal, (E)-	2548-87-0	43
Nonanal	124-19-6	3
Octanoic acid	124-07-2	<3
2-Decenal, (E)-	3913-81-3	7
Nonanoic acid	112-05-0	<3
Summenparameter:		
TVOC (Summe leichtflüchtiger organische Verbindungen)		<3
TVOC (Summe flüchtiger organischer Verbindungen)		161
TSVOC (Summe schwerflüchtiger organische Komponenten)		17

3-Schichtplatte

Tabelle 15 : VOC-Messwerte der 3-Schichtplatte

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Emissionsrate SER _A (µg m ² h ⁻¹)
4.94	67-64-1	Aceton	std	2
6.06	64-19-7	Acetic acid	std	33
8.21	110-62-3	Pentanal	std	6
10.50	71-41-0	1-Pentanol	std	2
11.81	66-25-1	Hexanal	std	12
13.08	98-01-1	Furfural	std	2
14.94	109-52-4	Valeric acid	std	13
17.71	7785-26-4	alpha-Pinene	std	25
18.51	79-92-5	Camphene	std	1
19.48	142-62-1	Hexanoic acid	std	17
19.50	535-77-3	Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	te	2
19.84	18172-67-3	beta-Pinene	std	12
21.27	13466-78-9	3-Carene	std	6
22.16	5989-27-5	D-Limonene	std	13
23.20	2548-87-0	2-Octenal, (E)-	std	1
28.97	112-05-0	Nonanoic acid	std	20

n.i.: non identified compound

Tabelle 16 : Summenparameter VVOC, TVOC und SVOC der 3-Schichtplatte

	Quant type	Emissionsrate SER _A (µg m ² h ⁻¹)
VVOC	te	1
TVOC	te	124
SVOC	te	2

Akustikplatte

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Emissionsrate SER _A ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
7.57	107-98-2	2-Propanol, 1-methoxy-	std	2
7.29	6921-35-3	Oxetane, 3,3-dimethyl-	te	1
10.50	71-41-0	1-Pentanol	std	2
11.81	66-25-1	Hexanal	std	2
12.32	541-05-9	Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	te	2
14.49	108-65-6	1-Methoxy-2-propyl acetate	std	2
16.21	111-76-2	Ethanol, 2-butoxy-	std	8
17.86	5131-66-8	2-Propanol, 1-butoxy-	te	1
19.02	100-52-7	Benzaldehyde	std	3
20.54		n.i.-20.538	te	2
20.70		n.i.-20.706	te	2
20.90	124-13-0	Octanal	std	1
21.23	20324-32-7	2-Propanol, 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)-	te	7
21.97	104-76-7	1-Hexanol, 2-ethyl-	std	4
24.84	124-19-6	Nonanal	std	3
26.08	103-09-3	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	te	1
27.58	112-40-3	Dodecane	std	1

n.i.: non identified compound

	Quant type	Emissionsrate SER _A ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
VVOC	te	-4
TVOC	te	103
SVOC	te	8

Gipsfaserplatte

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Emissionsrate SER _A ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
4.73	64-17-5	Ethanol	std	3
4.95	67-64-1	Aceton	std	3
5.99	78-93-3	2-Butanone	std	4
7.30	6921-35-3	Oxetane, 3,3-dimethyl-	te	3
7.58	107-98-2	2-Propanol, 1-methoxy-	std	3
8.21	110-62-3	Pentanal	std	2
10.56	108-88-3	Toluene	std	14
11.80	66-25-1	Hexanal	std	7
12.33	123-86-4	Acetic acid, butyl ester	std	10
14.38	100-41-4	Ethylbenzene	std	2
14.48	108-65-6	1-Methoxy-2-propyl acetate	std	1
14.77	108-38-3	m-Xylene	std	6
14.84	106-42-3	p-Xylene	std	2
15.78	95-47-6	o-Xylene	std	1
17.70	7785-26-4	alpha-Pinene	std	2
19.02	100-52-7	Benzaldehyde	std	4
19.31	142-62-1	Hexanoic acid	std	14
20.89	124-13-0	Octanal	std	1
21.26	13466-78-9	3-Carene	std	1
21.97	104-76-7	1-Hexanol, 2-ethyl-	std	7
22.15	5989-27-5	D-Limonene	std	2
24.68	1120-21-4	Undecane	std	2
24.83	124-19-6	Nonanal	std	2
25.51	143-08-8	1-Nonanol	te	2
25.56		n.i.-25.562	te	1
25.65		n.i.-25.646	te	3
25.98	110453-78-6	(S)-(+)-6-Methyl-1-octanol	te	2
26.79	2456-28-2	Decane, 1,1'-oxybis-	te	1
27.57	112-40-3	Dodecane	std	2

n.i.: non identified compound

	Quant type	Emissionsrate SER _A ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
VVOC	te	1
TVOC	te	182
SVOC	te	12

Glaswolle

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
4.73	115-10-6	Dimethyl ether	te	1
10.40	2037-26-5	Toluene-D8	te	6
10.56	108-88-3	Toluene	std	5
12.32	123-86-4	Acetic acid, butyl ester	std	5
13.08	98-01-1	Furfural	std	1
14.83	108-38-3	m-Xylene	std	2
16.20	111-76-2	Ethanol, 2-butoxy-	std	2
19.52	108-95-2	Phenol	std	3
22.40	5989-27-5	D-Limonene	std	1
22.77	90-02-8	Benzaldehyde, 2-hydroxy-	te	4
22.86	95-48-7	Phenol, 2-methyl-	te	2
23.64	106-44-5	Phenol, 4-methyl-	te	5
26.08	108-68-9	Phenol, 3,5-dimethyl-	te	2
26.55	698-27-1	Benzaldehyde, 2-hydroxy-4-methyl-	te	2
27.00	30462-53-4	Bicyclo[2.2.1]heptane, 2-chloro-1,7,7-trimethyl-, (1R-endo)-	te	1
27.75	697-82-5	Phenol, 2,3,5-trimethyl-	te	1
28.82	1666-02-0	2-Hydroxy-4,6-dimethylbenzaldehyde	te	1
30.36	2761-24-2	Silane, triethoxypentyl-	te	7
33.77	128-37-0	Butylated Hydroxytoluene	std	1

n.i.: non identified compound

	Quant type	Emissionsrate SER_A ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
VVOC	te	0
TVOC	te	103
SVOC	te	1

EPS

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Emissionsrate SER _A ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
4.75		n.i.-4.7539	te	8
4.79	78-78-4	Butane, 2-methyl-	te	5
4.95	591-87-7	Allyl acetate	te	3
10.40	2037-26-5	Toluene-D8	te	6
12.30	541-05-9	Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	te	2
14.39	100-41-4	Ethylbenzene	std	15
15.75	100-42-5	Styrene	std	48
18.23	873-49-4	Benzene, cyclopropyl-	te	1
18.61	103-65-1	Benzene, propyl-	te	2
19.03	620-14-4	3-Ethyltoluene	std	4
19.03	100-52-7	Benzaldehyde	std	10
19.03	622-96-8	4-Ethyltholuene	std	4
23.57	98-86-2	Acetophenone	std	14

n.i.: non identified compound

	Quant type	Emissionsrate SER _A ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
VVOC	te	12
TVOC	te	141
SVOC	te	0

EPDM

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Emissionsrate SER _A ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
4.95	67-64-1	Aceton	std	3
4.50		n.i.-4.49808	te	2
4.74	115-10-6	Dimethyl ether	te	5
6.00	78-93-3	2-Butanon	std	2
7.64	107-98-2	2-Propanol, 1-methoxy-	std	2
9.11	108-87-2	Methylcyclohexan	std	2
10.41	2037-26-5	Toluene-D8	te	94
12.31	541-05-9	Cyclotrisiloxan, hexamethyl-	te	8
13.10	98-01-1	Furfural	std	1
15.89	108-94-1	Cyclohexanon	std	1
17.70	7785-26-4	alpha-Pinene	std	2
19.01	620-14-4	3-Ethyltoluene	std	1
19.02	100-52-7	Benzaldehyd	std	3
19.52	108-95-2	Phenol	std	2
19.93	98-83-9	alpha-Methylstyrene	std	1
20.74	124-18-5	Decan	std	1
21.27	13466-78-9	3-Carene	std	2
22.15	5989-27-5	D-Limonene	std	2
23.56	98-86-2	Acetophenone	std	2
27.58	112-40-3	Dodecan	std	1
28.47	95-16-9	Benzothiazol	te	63
35.68	615-22-5	Benzothiazol, 2-(methylthio)-	te	32
35.96	119-61-9	Benzophenone	std	1

n.i.: non identified compound

	Quant type	Emissionsrate SER _A ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
VVOC	te	25
TVOC	te	174
SVOC	te	35

Folie PP

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Emissionsrate SER _A ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
6.28	64-19-7	Acetic acid	std	10
7.30	71-36-3	Butanol	std	26
10.41	2037-26-5	Toluene-D8	te	6
15.26	142-96-1	n-Butyl ether	te	24
16.38	590-01-2	Propanoic acid, butyl ester	te	2
16.38	111-76-2	Ethanol, 2-butoxy-	std	6
20.31	13475-82-6	Heptane, 2,2,4,6,6-pentamethyl-	te	2
20.49	109-21-7	Butanoic acid, butyl ester	te	6
20.54		n.i.-20.54582	te	10
20.72	111-90-0	Ethanol, 2-(2-ethoxyethoxy)-	std	13
20.72		n.i.-20.7235	te	12
21.27	20324-32-7	2-Propanol, 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)-	te	36
21.84	529-21-5	#N/A	te	9
22.00	104-76-7	1-Hexanol, 2-ethyl-	std	34
26.08	103-09-3	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	te	2
26.84	2682-20-4	3(2H)-Isothiazolone, 2-methyl-	te	2
27.05	464-45-9	Borneol	std	2
27.36	112-41-4	1-Dodecene	te	2
27.57	112-40-3	Dodecane	std	2
27.83	112-31-2	Decanal	std	2
28.21	103-11-7	2-Ethylhexyl acrylate	std	1
30.00	629-50-5	Tridecane	std	2
30.00		n.i.-29.9997	te	4
30.12		n.i.-30.11623	te	3
30.44		n.i.-30.43988	te	3
30.56		n.i.-30.55965	te	3
30.99		n.i.-30.99012	te	9
30.99	124-17-4	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-, acetate	std	3
31.79		n.i.-31.78633	te	2
32.47		n.i.-32.46603	te	6
32.58	87-44-5	Caryophyllene	std	1
32.84		n.i.-32.835	te	1
32.87		n.i.-32.87383	te	2
40.52		n.i.-40.51907	te	4

n.i.: non identified compound

	Quant type	Emissionsrate SER _A ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
VVOC	te	2
TVOC	te	493
SVOC	te	37

Farbe

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Emissionsrate SER _A ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
6.28	64-19-7	Acetic acid	std	305
7.46	79-20-9	Acetic acid, methyl ester	te	2
8.21	110-62-3	Pentanal	std	2
8.94	1066-42-8	Silanediol, dimethyl-	te	5
9.67	57-55-6	Propylenglykol	std	1531
10.41	2037-26-5	Toluene-D8	te	6
11.81	66-25-1	Hexanal	std	3
12.31	541-05-9	Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	te	17
15.15	109-52-4	Valeric acid	std	17
16.14	111-71-7	Heptanal	std	2
16.22	111-76-2	Ethanol, 2-butoxy-	std	7
18.04		n.i.-18.03383	te	1
19.70	556-67-2	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	te	4
20.54		n.i.-20.54707	te	3
20.71	111-90-0	Ethanol, 2-(2-ethoxyethoxy)-	std	8
20.71		n.i.-20.71741	te	4
20.90	124-13-0	Octanal	std	1
21.28	20324-32-7	2-Propanol, 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)-	te	42
21.75		n.i.-21.74798	te	2
21.84		n.i.-21.83721	te	3
23.20	2548-87-0	2-Octenal, (E)-	std	1
24.37	56114-69-3	Benzaldehyde, 2,5-bis[(trimethylsilyl)oxy]-	te	4
27.11		n.i.-27.1126	te	2
27.12	112-34-5	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-	std	2187
28.57		n.i.-28.57557	te	38
28.68	29911-28-2	2-Propanol, 1-(2-butoxy-1-methylethoxy)-	te	53
28.85		n.i.-28.84745	te	3
28.88		n.i.-28.88305	te	3
29.03	112-05-0	Nonanoic acid	std	28
29.38	112-30-1	1-Decanol	te	4
29.54		n.i.-29.53685	te	2
31.06	124-17-4	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-, acetate	std	3
31.32		n.i.-31.317	te	1
32.88	1000153-57-1	Benzoic acid, 3-methyl-2-trimethylsilyloxy-, trimethylsilyl ester	te	4
34.04		n.i.-34.03872	te	1
35.08	629-73-2	Cetene	te	3

n.i.: non identified compound

	Quant type	Emissionsrate SER _A ($\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$)
VVOC	te	7
TVOC	te	2675
SVOC	te	9

A.2 Zeitabhängiges Emissionsverhalten

DA_OSB_{low}

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Konzentration Tag 3 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Konzentration Tag 55 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
4.75	78-78-4	Butane, 2-methyl-	te	6	<4
4.93	67-64-1	Aceton	std	38	414
5.23	79-20-9	Acetic acid, methyl ester	te	<4	10
5.95	123-72-8	Butanal	std	4	<4
5.98	78-93-3	2-Butanone	std	6	30
6.26	64-19-7	Acetic acid	std	17	<4
7.28	71-36-3	Butanol	std	5	17
8.21	110-62-3	Pentanal	std	33	121
10.52	71-41-0	1-Pentanol	std	26	<4
10.56	108-88-3	Toluene	std	8	73
11.85	66-25-1	Hexanal	std	89	327
12.32	123-86-4	Acetic acid, butyl ester	std	7	44
14.40	100-41-4	Ethylbenzene	std	<4	24
14.79	108-38-3	m-Xylene	std	<4	25
15.55	110-43-0	2-Heptanone	std	6	22
15.76	100-42-5	Styrene	std	<4	19
16.14	111-71-7	Heptanal	std	7	22
17.76	7785-26-4	alpha-Pinene	std	125	312
18.52	79-92-5	Camphene	std	8	18
18.69	36262-09-6	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	te	<4	13
19.03	100-52-7	Benzaldehyde	std	8	23
19.51	535-77-3	Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	te	9	22
19.85	18172-67-3	beta-Pinene	std	35	159
20.25	123-35-3	.beta.-Myrcene	std	<4	12
20.92	124-13-0	Octanal	std	15	32
21.29	13466-78-9	3-Carene	std	43	236
21.96	99-87-6	p-Cymene	std	8	35
22.17	5989-27-5	D-Limonene	std	31	231
22.30	555-10-2	.beta.-Phellandrene	te	<4	28
23.21	2548-87-0	2-Octenal, (E)-	std	<4	13
24.84	124-19-6	Nonanal	std	17	46
26.77	30460-92-5	2(10)-Pinen-3-one, (.+/-.)-	te	<4	10
32.47	475-20-7	1,4-Methanoazulene, decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.)]-	te	8	16

n.i.: non identified compound

	Quant type	Konzentration Tag 3 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Konzentration Tag 55 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
VVOC	te	30	114
TVOC	te	774	2725
SVOC	te	12	32

DA_3S

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Konzentration Tag 3 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Konzentration Tag 55 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
4.96	67-64-1	Aceton	std	<4	24
5.98	78-93-3	2-Butanone	std	<4	17
6.51	64-19-7	Acetic acid	std	672	1129
7.35	71-36-3	Butanol	std	<4	7
8.22	110-62-3	Pentanal	std	<4	57
10.36	57-55-6	Propylenglykol	std	686	574
10.56	108-88-3	Toluene	std	<4	35
11.81	66-25-1	Hexanal	std	11	123
13.08	98-01-1	Furfural	std	4	<4
16.02	109-52-4	Valeric acid	std	20	30
16.17	111-71-7	Heptanal	std	<4	40
16.62	111-76-2	Ethanol, 2-butoxy-	std	898	669
17.72	7785-26-4	alpha-Pinene	std	24	184
18.53	79-92-5	Camphene	std	<4	16
18.72	18829-55-5	2-Heptenal, (Z)-	std	<4	14
19.70	556-67-2	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	te	6	<4
20.23	142-62-1	Hexanoic acid	std	22	28
19.85	18172-67-3	beta-Pinene	std	4	64
20.68		n.i.-20.68125	te	119	107
20.88		n.i.-20.88251	te	117	106
20.89	111-90-0	Ethanol, 2-(2-ethoxyethoxy)-	std	69	<4
20.95	124-13-0	Octanal	std	<4	24
20.98		n.i.-20.9838	te	9	<4
21.29	13466-78-9	3-Carene	std	<4	68
21.48		n.i.-21.49357	te	232	234
21.83		n.i.-21.83631	te	6	<4
22.17	5989-27-5	D-Limonene	std	14	126
23.23	2548-87-0	2-Octenal, (E)-	std	<4	16
23.70	111-14-8	Heptanoic acid	std	21	<4
24.85	124-19-6	Nonanal	std	<4	17
27.35	112-34-5	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-	std	193	228
27.63	98-55-5	3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,.alpha.4-trimethyl-	te	28	11
28.53		n.i.-28.52514	te	13	<4
28.64		n.i.-28.63318	te	16	<4
29.04	112-05-0	Nonanoic acid	std	23	23
29.11	3913-81-3	2-Decenal, (E)-	std	<4	16
32.88		n.i.-32.88007	te	7	<4

n.i.: non identified compound

	Quant type	Konzentration Tag 3 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Konzentration Tag 55 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
VVOC	te	1	23
TVOC	te	1739	2637
SVOC	te	8	7

DA_OSB_{std}

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Konzentration Tag 3 in µg/m ³	Konzentration Tag 55 in µg/m ³
4.74	78-78-4	Butane, 2-methyl-	te	17	<4
4.79	109-66-0	Pentane	te	6	10
4.93	67-64-1	Aceton	std	64	745
5.22	79-20-9	Acetic acid, methyl ester	te	<4	15
5.95	123-72-8	Butanal	std	6	<4
5.97	78-93-3	2-Butanone	std	8	39
6.26	64-19-7	Acetic acid	std	28	<4
7.29	71-36-3	Butanol	std	4	<4
7.87	107-87-9	2-Pentanone	te	<4	10
8.21	110-62-3	Pentanal	std	44	172
10.52	71-41-0	1-Pentanol	std	26	30
10.56	108-88-3	Toluene	std	10	66
11.86	66-25-1	Hexanal	std	109	445
12.32	123-86-4	Acetic acid, butyl ester	std	7	28
14.40	100-41-4	Ethylbenzene	std	<4	23
14.78	108-38-3	m-Xylene	std	<4	17
15.55	110-43-0	2-Heptanone	std	7	28
15.76	100-42-5	Styrene	std	<4	17
16.14	111-71-7	Heptanal	std	8	28
16.21	111-76-2	Ethanol, 2-butoxy-	std	11	11
17.36		n.i.-17.36038	te	<4	14
17.78	7785-26-4	alpha-Pinene	std	197	490
18.52	79-92-5	Camphene	std	10	24
18.68		n.i.-18.67375	te	6	25
19.03	100-52-7	Benzaldehyde	std	8	26
19.51	535-77-3	Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	te	14	49
19.88	18172-67-3	beta-Pinene	std	101	332
20.26	123-35-3	.beta.-Myrcene	std	<4	23
20.71	111-90-0	Ethanol, 2-(2-ethoxyethoxy)-	std	6	<4
20.92	124-13-0	Octanal	std	15	37
21.30	13466-78-9	3-Carene	std	69	367
21.96	99-87-6	p-Cymene	std	13	62
22.19	5989-27-5	D-Limonene	std	71	498
22.27	555-10-2	.beta.-Phellandrene	te	10	46
23.21	2548-87-0	2-Octenal, (E)-	std	<4	14
24.84	124-19-6	Nonanal	std	18	49
26.77	30460-92-5	2(10)-Pinen-3-one, (.+/-.)-	te	<4	12
27.97	80-57-9	Verbenone	std	<4	11
32.47	475-20-7	1,4-Methanoazulene, decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.)]-	te	7	16

n.i.: non identified compound

	Quant type	Konzentration Tag 3 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Konzentration Tag 55 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
VVOC	te	50	170
TVOC	te	1139	4128
SVOC	te	11	31

WA_OSB2x

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Konzentration Tag 3 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Konzentration Tag 55 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
4.94	67-64-1	Aceton	std	26	192
5.23	79-20-9	Acetic acid, methyl ester	te	<4	18
5.96	123-72-8	Butanal	std	4	<4
5.98	78-93-3	2-Butanone	std	6	28
6.26	64-19-7	Acetic acid	std	18	<4
7.35	71-36-3	Butanol	std	5	18
8.21	110-62-3	Pentanal	std	24	111
10.36	2037-26-5	Toluene-D8	te	107	<4
10.42	57-55-6	Propylenglykol	std	883	340
10.56	108-88-3	Toluene	std	6	70
11.84	66-25-1	Hexanal	std	56	275
12.34	123-86-4	Acetic acid, butyl ester	std	<4	39
14.78	108-38-3	m-Xylene	std	<4	26
15.56	110-43-0	2-Heptanone	std	<4	17
16.15	111-71-7	Heptanal	std	5	22
16.56	111-76-2	Ethanol, 2-butoxy-	std	718	325
17.75	7785-26-4	alpha-Pinene	std	88	278
18.52	79-92-5	Camphene	std	<4	12
19.04	100-52-7	Benzaldehyde	std	<4	12
19.51	535-77-3	Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	te	9	15
19.72	556-67-2	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	te	72	29
19.87	18172-67-3	beta-Pinene	std	49	226
20.26	123-35-3	.beta.-Myrcene	std	<4	28
20.65		n.i.-20.65746	te	96	52
20.85		n.i.-20.85255	te	95	52
20.86	111-90-0	Ethanol, 2-(2-ethoxyethoxy)-	std	57	<4
20.94	124-13-0	Octanal	std	7	23
21.30	13466-78-9	3-Carene	std	48	256
21.45		n.i.-21.445	te	198	<4
21.80		n.i.-21.80762	te	5	<4
21.97	99-87-6	p-Cymene	std	6	20
22.18	5989-27-5	D-Limonene	std	32	278
22.27	555-10-2	.beta.-Phellandrene	te	6	49
24.84	124-19-6	Nonanal	std	6	24
25.61	541-02-6	Decamethylcyclopentasiloxane	std	6	<4
25.61		n.i.-25.6139	te	7	<4
27.35	112-34-5	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-	std	235	97
28.51		n.i.-28.50896	te	8	<4
28.62		n.i.-28.61427	te	8	<4
28.96	112-05-0	Nonanoic acid	std	18	<4

n.i.: non identified compound

	Quant type	Konzentration Tag 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Konzentration Tag 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
VVOC	te	15	66
TVOC	te	1990	3254
SVOC	te	12	21

WA_OSBIx

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Konzentration Tag 3 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Konzentration Tag 55 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
4.93	67-64-1	Aceton	std	29	295
5.20	79-20-9	Acetic acid, methyl ester	te	8	33
5.95	123-72-8	Butanal	std	5	<4
5.98	78-93-3	2-Butanone	std	8	30
6.26	64-19-7	Acetic acid	std	18	<4
7.16	590-86-3	Butanal, 3-methyl-	te	<4	13
7.29	71-36-3	Butanol	std	<4	15
8.20	110-62-3	Pentanal	std	22	103
10.29	57-55-6	Propylenglykol	std	754	297
10.56	108-88-3	Toluene	std	12	94
11.84	66-25-1	Hexanal	std	50	249
12.33	123-86-4	Acetic acid, butyl ester	std	4	52
14.39	100-41-4	Ethylbenzene	std	<4	14
14.79	108-38-3	m-Xylene	std	<4	35
15.56	110-43-0	2-Heptanone	std	<4	10
16.15	111-71-7	Heptanal	std	<4	15
16.52	111-76-2	Ethanol, 2-butoxy-	std	599	296
17.77	7785-26-4	alpha-Pinene	std	126	345
18.52	79-92-5	Camphene	std	5	16
19.51	535-77-3	Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	te	8	16
19.71	556-67-2	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	te	51	26
19.88	18172-67-3	beta-Pinene	std	88	327
20.25	123-35-3	.beta.-Myrcene	std	8	68
20.63		n.i.-20.63447	te	79	48
20.82		n.i.-20.82604	te	79	49
20.83	111-90-0	Ethanol, 2-(2-ethoxyethoxy)-	std	47	<4
20.93	124-13-0	Octanal	std	4	15
21.31	13466-78-9	3-Carene	std	65	369
21.41		n.i.-21.4101	te	162	<4
21.97	99-87-6	p-Cymene	std	8	32
22.20	5989-27-5	D-Limonene	std	78	566
22.28	555-10-2	.beta.-Phellandrene	te	18	90
24.29		n.i.-24.28688	te	<4	31
24.84	124-19-6	Nonanal	std	<4	19
25.61		n.i.-25.61063	te	6	<4
25.61	541-02-6	Decamethylcyclopentasiloxane	std	4	<4
27.35	112-34-5	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-	std	223	90
28.51		n.i.-28.50915	te	6	<4
28.62		n.i.-28.61809	te	7	<4
28.96	112-05-0	Nonanoic acid	std	18	<4

n.i.: non identified compound

	Quant type	Konzentration Tag 3 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Konzentration Tag 55 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
VVOC	te	21	97
TVOC	te	1979	4101
SVOC	te	9	22

A.3 Temperaturabhängiges Emissionsverhalten

DA_OSB_{low}

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Konzentration 23 °C in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Konzentration 48h 60 °C in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
4.87	67-64-1	Aceton	std	1741	966
4.68	78-78-4	Butane, 2-methyl-	te	44	125
4.72	109-66-0	Pentane	te	17	46
5.14	79-20-9	Acetic acid, methyl ester	te	25	32
5.88	123-72-8	Butanal	std	20	22
5.91	78-93-3	2-Butanone	std	28	35
6.18	64-19-7	Acetic acid	std	93	170
7.21	71-36-3	Butanol	std	23	22
8.12	110-62-3	Pentanal	std	104	101
10.30	2037-26-5	Toluene-D8	te	35	94
10.43	71-41-0	1-Pentanol	std	82	77
10.46	108-88-3	Toluene	std	43	61
11.75	111-66-0	1-Octene	std	70	64
11.75	66-25-1	Hexanal	std	281	259
12.22	541-05-9	Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	te	21	22
14.27	100-41-4	Ethylbenzene	std	20	22
15.44	110-43-0	2-Heptanone	std	19	18
15.62	100-42-5	Styrene	std	22	22
17.67	7785-26-4	alpha-Pinene	std	715	770
18.40	79-92-5	Camphene	std	30	31
18.91	100-52-7	Benzaldehyde	std	22	22
19.38	527-84-4	Benzene, 1-methyl-2-(1-methylethyl)-	te	23	31
19.75	18172-67-3	beta-Pinene	std	250	234
20.80	124-13-0	Octanal	std	23	20
21.19	13466-78-9	3-Carene	std	283	245
21.85	99-87-6	p-Cymene	std	43	37
22.08	5989-27-5	D-Limonene	std	249	220
22.16	555-10-2	.beta.-Phellandrene	te	26	26
24.76	124-19-6	Nonanal	std	39	35
25.76		n.i.-25.7629	te	23	20
26.69	30460-92-5	2(10)-Pinen-3-one, (.+/-.)-	te	21	26
27.90	80-57-9	Verbenone	std	16	20
32.46	475-20-7	1,4-Methanoazulene, decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.)]-	te	34	34

n.i.: non identified compound

DA_3S

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Konzentration 23 °C in µg/m ³	Konzentration 48h 60 °C in µg/m ³
4.88	67-64-1	Aceton	std	18	21
6.43	64-19-7	Acetic acid	std	750	438
7.22	71-36-3	Butanol	std	6	12
8.12	110-62-3	Pentanal	std	14	15
9.84	57-55-6	Propylenglykol	std	445	395
10.30	2037-26-5	Toluene-D8	te	35	94
10.45	108-88-3	Toluene	std	5	11
11.70	66-25-1	Hexanal	std	37	39
12.20	541-05-9	Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	te	8	60
12.98	98-01-1	Furfural	std	9	10
15.59	109-52-4	Valeric acid	std	75	184
16.02	111-71-7	Heptanal	std	10	11
16.24	111-76-2	Ethanol, 2-butoxy-	std	501	519
17.61	7785-26-4	alpha-Pinene	std	166	184
18.39	79-92-5	Camphene	std	11	12
19.58	556-67-2	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	te	5	18
20.07	142-62-1	Hexanoic acid	std	115	310
19.72	18172-67-3	beta-Pinene	std	43	46
20.48	20324-32-7	2-Propanol, 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)-	te	86	89
20.66	20324-32-7	2-Propanol, 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)-	te	87	89
20.79	124-13-0	Octanal	std	8	10
21.15	13466-78-9	3-Carene	std	39	41
21.24	13429-07-7	2-Propanol, 1-(2-methoxypropoxy)-	te	264	270
21.85	99-87-6	p-Cymene	std	15	13
22.06	5989-27-5	D-Limonene	std	80	80
23.11	2548-87-0	2-Octenal, (E)-	std	6	2
27.21	112-34-5	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-	std	235	243
29.03	112-05-0	Nonanoic acid	std	44	80
29.05	3913-81-3	2-Decenal, (E)-		9	9
32.46	475-20-7	1,4-Methanoazulene, decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.)]-		14	14

n.i.: non identified compound

DA_OS_Bstd

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Konzentration 23 °C in µg/m ³	Konzentration 48h 60 °C in µg/m ³
4.88	67-64-1	Aceton	std	1285	1794
4.68	78-78-4	Butane, 2-methyl-	te	57	<1
4.74	109-66-0	Pentane	te	18	59
5.15	79-20-9	Acetic acid, methyl ester	te	25	30
5.91	78-93-3	2-Butanone	std	27	35
6.19	141-78-6	Ethyl Acetate	std	9	7
6.32	64-19-7	Acetic acid	std	115	151
7.21	71-36-3	Butanol	std	22	26
7.78	107-87-9	2-Pentanone	te	10	13
8.13	110-62-3	Pentanal	std	117	126
10.30	2037-26-5	Toluene-D8	te	35	94
10.44	71-41-0	1-Pentanol	std	91	103
10.46	108-88-3	Toluene	std	41	59
11.76	66-25-1	Hexanal	std	329	340
12.22	123-86-4	Acetic acid, butyl ester	std	8	9
14.27	100-41-4	Ethylbenzene	std	18	23
14.66	108-38-3	m-Xylene	std	6	7
15.17		n.i.-15.16922	te	9	9
15.23	109-52-4	Valeric acid	std	49	51
15.44	110-43-0	2-Heptanone	std	22	25
15.62	100-42-5	Styrene	std	18	21
16.03	111-71-7	Heptanal	std	16	18
16.11	111-76-2	Ethanol, 2-butoxy-	std	6	7
17.08		n.i.-17.08207	te	13	19
17.22	2867-05-2	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	te	9	11
17.70	7785-26-4	alpha-Pinene	std	927	1483
18.40	79-92-5	Camphene	std	32	49
18.56	36262-09-6	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	te	27	37
18.91	100-52-7	Benzaldehyde	std	23	29
19.39	535-77-3	Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	te	43	47
19.78	18172-67-3	beta-Pinene	std	420	563
20.12	123-35-3	.beta.-Myrcene	std	10	11
20.64		n.i.-20.63455	te	9	9
20.81	124-13-0	Octanal	std	25	27
21.21	13466-78-9	3-Carene	std	351	398
21.60		n.i.-21.60365	te	7	9
21.86	99-87-6	p-Cymene	std	59	66
22.11	5989-27-5	D-Limonene	std	475	542
22.18	555-10-2	.beta.-Phellandrene	te	39	42
24.34		n.i.-24.34185	te	14	16
24.75	124-19-6	Nonanal	std	37	42
25.07		n.i.-25.07008	te	6	10
25.38		n.i.-25.37757	te	6	7
25.57	1000190-	1,7,7-Trimethylbicyclo[2.2.1]hept-5-en-	te	7	8

	98-1	2-ol			
25.76	40702-26-9	3-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 1,3,4-trimethyl-	te	38	38
25.88	1195-92-2	7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-	te	19	17
26.01	38651-65-9	Bicyclo[3.1.1]heptan-2-one, 6,6-dimethyl-, (1R)-	te	8	8
26.08	547-61-5	Bicyclo[3.1.1]heptan-3-ol, 6,6-dimethyl-2-methylene-, [1S-(1.alpha.,3.alpha.,5.alpha.)]-	te	18	26
26.69	30460-92-5	2(10)-Pinen-3-one, (.+/-)-	te	27	47
27.28		n.i.-27.27423	te	10	11
27.52		n.i.-27.51375	te	7	8
27.59	564-94-3	Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene-2-carboxaldehyde, 6,6-dimethyl-	te	24	39
27.90	80-57-9	Verbenone	std	18	32
28.98	112-05-0	Nonanoic acid	std	33	76
32.47	475-20-7	1,4-Methanoazulene, decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.)]-	te	30	34

n.i.: non identified compound

WA_OSB2x

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Konzentration 23 °C in µg/m ³	Konzentration 48h 60 °C in µg/m ³
4.89	67-64-1	Aceton	std	392	791
5.16	79-20-9	Acetic acid, methyl ester	te	34	48
5.92	78-93-3	2-Butanone	std	24	41
6.19	141-78-6	Ethyl Acetate	std	14	22
6.29	64-19-7	Acetic acid	std	125	248
7.22	71-36-3	Butanol	std	25	26
8.13	110-62-3	Pentanal	std	92	156
9.83	57-55-6	Propylenglykol	std	241	199
10.31	2037-26-5	Toluene-D8	te	35	94
10.44	71-41-0	1-Pentanol	std	64	70
10.46	108-88-3	Toluene	std	40	91
11.22	591-78-6	2-Hexanone	std	5	1
11.75	66-25-1	Hexanal	std	248	369
12.22		n.i.-12.21874	te	31	41
12.23	123-86-4	Acetic acid, butyl ester	std	25	33
14.66	108-38-3	m-Xylene	std	13	17
15.47	109-52-4	Valeric acid	std	64	115
15.44	110-43-0	2-Heptanone	std	19	21
16.03	111-71-7	Heptanal	std	16	19
16.21	111-76-2	Ethanol, 2-butoxy-	std	314	346
17.66	7785-26-4	alpha-Pinene	std	543	1424
18.40	79-92-5	Camphene	std	18	33

18.56		n.i.-18.56307	te	9	17
18.91	100-52-7	Benzaldehyde	std	16	21
19.39		n.i.-19.39041	te	16	29
19.59	556-67-2	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	te	20	28
19.77	18172-67-3	beta-Pinene	std	309	422
20.13	123-35-3	.beta.-Myrcene	std	17	20
20.49	20324-32-7	2-Propanol, 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)-	te	38	40
20.66	20324-32-7	2-Propanol, 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)-	te	39	40
20.81	124-13-0	Octanal	std	19	21
21.20	13466-78-9	3-Carene	std	284	358
21.86	99-87-6	p-Cymene	std	26	28
22.10	5989-27-5	D-Limonene	std	326	338
22.18	555-10-2	.beta.-Phellandrene	te	57	59
24.35		n.i.-24.34868	te	10	11
24.75	124-19-6	Nonanal	std	23	26
25.08		n.i.-25.07662	te	9	12
25.54		n.i.-25.53947	te	8	10
25.77	40702-26-9	3-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 1,3,4-trimethyl-	te	32	43
25.89	1195-92-2	7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-	te	14	15
26.09	547-61-5	Bicyclo[3.1.1]heptan-3-ol, 6,6-dimethyl-2-methylene-, [1S-(1.alpha.,3.alpha.,5.alpha.)]-	te	14	16
26.70	30460-92-5	2(10)-Pinen-3-one, (.+/-.)-	te	26	26
27.17	112-34-5	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-	std	81	85
27.60	564-94-3	Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene-2-carboxaldehyde, 6,6-dimethyl-	te	23	24
27.90	80-57-9	Verbenone	std	13	17
28.98	112-05-0	Nonanoic acid	std	33	66
30.25	473-06-3	Bicyclo[3.1.1]hept-2-en-6-one, 2,7,7-trimethyl-	te	9	7
32.47	475-20-7	1,4-Methanoazulene, decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.)]-	te	12	13

n.i.: non identified compound

WA_OSBIx

RT	CAS Nr.	Name	Quant type	Konzentration 23 °C in µg/m ³	Konzentration 48h 60 °C in µg/m ³
4.88	67-64-1	Aceton	std	661	1405
5.16	79-20-9	Acetic acid, methyl ester	te	54	94
5.92	78-93-3	2-Butanone	std	25	76
6.19	141-78-6	Ethyl Acetate	std	14	40
6.48	64-19-7	Acetic acid	std	42	161
7.08	107-87-9	2-Pentanone	te	11	47
7.22	71-36-3	Butanol	std	20	45
8.13	110-62-3	Pentanal	std	89	340
9.95	57-55-6	Propylenglykol	std	176	321
10.31	2037-26-5	Toluene-D8	te	35	94
10.46	108-88-3	Toluene	std	53	146
11.75	66-25-1	Hexanal	std	245	939
12.23	123-86-4	Acetic acid, butyl ester	std	23	58
14.28	100-41-4	Ethylbenzene	std	5	11
14.66	108-38-3	m-Xylene	std	14	26
15.41	109-52-4	Valeric acid	std	60	255
15.45	110-43-0	2-Heptanone	std	10	37
16.03	111-71-7	Heptanal	std	10	33
16.19	111-76-2	Ethanol, 2-butoxy-	std	239	580
17.68	7785-26-4	alpha-Pinene	std	794	3885
18.41	79-92-5	Camphene	std	27	99
18.56		n.i.-18.55923	te	9	<1
18.91	100-52-7	Benzaldehyde	std	11	24
19.39	535-77-3	Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	te	21	146
19.60	556-67-2	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	te	13	17
19.89	142-62-1	Hexanoic acid	std	90	315
19.79	18172-67-3	beta-Pinene	std	554	1384
20.14	123-35-3	.beta.-Myrcene	std	48	73
20.51	20324-32-7	2-Propanol, 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)-	te	30	93
20.68	20324-32-7	2-Propanol, 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)-	te	33	93
20.82	124-13-0	Octanal	std	11	22
21.23	13466-78-9	3-Carene	std	467	1439
21.87	99-87-6	p-Cymene	std	38	73
22.14	5989-27-5	D-Limonene	std	693	912
24.19		n.i.-24.18977	te	8	12
24.35	768-49-0	Benzene, (2-methyl-1-propenyl)-	te	11	20
24.56		n.i.-24.55875	te	6	8
24.75	124-19-6	Nonanal	std	16	25
25.07		n.i.-25.07337	te	8	26
25.49		n.i.-25.49413	te	6	8
25.54		n.i.-25.53945	te	8	11
25.58		n.i.-25.57505	te	8	30
25.77	1195-92-2	7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-	te	29	166

25.89	6909-30-4	(+)-(E)-Limonene oxide	te	14	55
26.09	547-61-5	Bicyclo[3.1.1]heptan-3-ol, 6,6-dimethyl-2-methylene-, [1S-(1.alpha.,3.alpha.,5.alpha.)]-	te	15	44
26.70	30460-92-5	2(10)-Pinen-3-one, (.+/-.)-	te	30	86
27.17	112-34-5	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-	std	62	177
27.60	564-94-3	Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene-2-carboxaldehyde, 6,6-dimethyl-	te	26	81
27.90	80-57-9	Verbenone	std	12	47
28.98	112-05-0	Nonanoic acid	std	32	67
30.25	473-06-3	Bicyclo[3.1.1]hept-2-en-6-one, 2,7,7-trimethyl-	te	8	29
32.47	475-20-7	1,4-Methanoazulene, decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.)]-	te	10	12

n.i.: non identified compound

A.4 Raumlufmesswerte Musterraum

Name	CAS Nr.	Konzentration Tag 8 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Konzentration Tag 30 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Konzentration Tag 51 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Aceton	67-64-1	861	606	364
Isopropyl Alcohol	67-63-0	33	<13	<13
Acetic acid, methyl ester	79-20-9	24	19	17
Butanal	123-72-8	28	15	17
Ethyl Acetate	141-78-6	17	15	18
Acetic acid	64-19-7	274	<13	<13
2-Pentanone	107-87-9	14	<13	<13
Pentanal	110-62-3	165	90	88
1-Pentanol	71-41-0	46	19	17
Octane	111-65-9	18	<13	<13
Hexanal	66-25-1	574	289	245
1-Nonen-4-yne	31508-12-0	84	47	<13
2-Heptanone	110-43-0	15	15	<13
Nonane	111-84-2	16	<13	<13
n.i.-16.172		16	<13	<13
Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,7,7-trimethyl-	508-32-7	40	<13	<13
Cumene	98-82-8	18	<13	<13
Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	2867-05-2	54	<13	<13
alpha-Pinene	7785-26-4	1785	577	251
Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	471-84-1	68	17	<13
Camphene	79-92-5	184	54	20
n.i.-18.786		27	15	<13
Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	535-77-3	179	60	27
beta-Pinene	18172-67-3	1587	421	170
Furan, 2-pentyl-	3777-69-3	17	<13	<13
3-Carene	13466-78-9	177	41	35
p-Cymene	99-87-6	185	77	42
D-Limonene	5989-27-5	484	129	69
n.i.-22.468		16	<13	<13
2-Heptanone, 4,6-dimethyl-	19549-80-5	15	<13	<13
2-Octenal, (E)-	2548-87-0	29	13	<13
n.i.-24.539		22	<13	<13
Nonanal	124-19-6	<13	<13	13
3-Oxatricyclo[4.1.1.0(2,4)]octane, 2,7,7-trimethyl-	1686-14-2	69	20	<13
Bicyclo[3.1.0]hex-3-en-2-ol, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-, (1.alpha.,2.alpha.,5.alpha.)-	97631-68-0	21	14	<13
n.i.-25.527		15	<13	<13
n.i.-25.633		15	<13	<13
1,7,7-Trimethylbicyclo[2.2.1]hept-5-en-2-ol	1000190-98-1	17	<13	<13
2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-	7212-40-0	40	26	<13

methylethenyl)-, trans-				
Bicyclo[3.1.1]heptan-2-one, 6,6-dimethyl-, (1R)-	38651-65-9	22	<13	<13
Bicyclo[3.1.1]heptan-3-ol, 6,6-dimethyl-2-methylene-, [1S-(1.alpha.,3.alpha.,5.alpha.)]-	547-61-5	30	16	<13
Bicyclo[3.1.0]hex-3-en-2-ol, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-, (1.alpha.,2.alpha.,5.alpha.)-	97631-68-0	15	<13	<13
(+)-2-Bornanone	464-49-3	20	<13	<13
Bicyclo[3.1.1]heptan-3-one, 2,6,6-trimethyl-	18358-53-7	19	<13	<13
2(10)-Pinen-3-one, (.+/-.)-	30460-92-5	55	43	15
(1R)-(-)-Myrtenal	18486-69-6	37	25	<13
Verbenone	80-57-9	29	20	<13
Nonanoic acid	112-05-0	45	73	<13
1,4-Methanoazulene, decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.)]-	475-20-7	26	<13	<13

	Quant type	Konzentration Tag 8 (µg/m³)	Konzentration Tag 30 (µg/m³)	Konzentration Tag 51 (µg/m³)
VVOC	te	248	177	142
TVOC	te	8190	3084	1686
SVOC	te	48	27	32

Verbindung	CAS-Nr.	Konzentration Tag 8 (µg/m³)	Konzentration Tag 30 (µg/m³)	Konzentration Tag 51 (µg/m³)
Formaldehyd	50-00-0	57	34	26
Acetaldehyd	75-07-0	449	362	252
Acrolein	107-02-8	<1	<1	<1
Propionaldehyd	123-38-6	61	48	33
Crotonaldehyd	4170-30-3	4	4	4
Butyraldehyd	123-72-8	57	44	30
Benzaldehyd	100-52-7	12	11	6
Isovaleraldehyd	590-86-3	21	19	11
Valeraldehyd	110-62-3	243	189	113
o-Tolualdehyd	529-20-4	<1	2	<1
m+p-Tolualdehyd	620-23-5 +104-87-0	<1	2	<1
Hexanal	66-25-1	936	638	351
2,5-Dimethylbenzaldehyd	5779-94-2	<1	<1	<1
Summe Aldehyde_{DNPH}		1838	1352	825

Anhang B: Geruchsbeurteilungsbogen

Name:

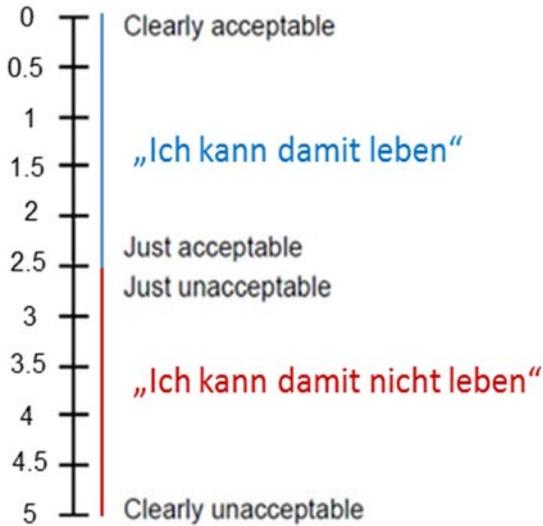
Datum: Uhrzeit: Temperatur: 23°C 60°C

Prüfernummer: 1 2 3 4

- Halten Sie die Flaschen vertikal (um zu vermeiden, dass die Pulver verschüttet werden).
- Öffnen Sie die Glasflasche
- Schliessen Sie die Augen sobald der Flaschendeckel vom Glas entfernt ist und während Sie die Geruchsbeurteilung vornehmen.
- Halten Sie die Glasflasche ca. 5 cm entfernt unter die Nase.
- Warten Sie 3 Sekunden (nur wenn Sie die Probe als erste Person beurteilen).
- Riechen Sie kurz (max. 5 Sekunden) daran.
- Schliessen Sie dann die Glasflasche wieder und geben Sie sie Ihrem Nachbarn weiter.
- Nehmen Sie dann die Geruchsbeurteilung vor.
- Sprechen Sie während der Prüfung nicht mit ihrem Nachbarn.
- Bleiben Sie konzentriert.
- Nach der Beurteilung einer jeden Probe dürfen Sie zur Neutralisierung an dem definierten Kaffeepulver riechen.
- Machen Sie ca. 2 Minuten Pause nach jeder Probe.

Geruchsbeurteilung

1. Entscheiden Sie zuerst ob der Geruch unter Annahme einer täglichen Exposition über mehrere Stunden für Sie annehmbar ist oder nicht (Hedonik). „Können Sie damit leben?“
2. Treffen Sie dann eine Aussage über das Ausmass der Akzeptanz resp. Ablehnung des Geruchs auf einer Skala von -5 bis 5.



0 = ich finde den Geruch vollkommen akzeptabel, der Geruch ist für mich ohne Relevanz

1 = ich finde den Geruch akzeptabel, ich kann mich für mehrere Stunden im Raum aufhalten

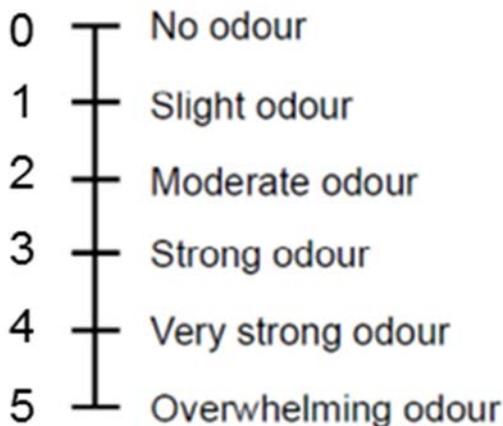
2= ich finde den Geruch gerade noch akzeptabel, ich kann ihn für mehrerer Stunden ertragen

3= der Geruch ist gerade noch inakzeptabel, ich müsste nach mehreren Stunden den Raum verlassen

4= der Geruch ist inakzeptabel, ich müsste nach kurzer Zeit den Raum verlassen

5= der Geruch ist vollkommen inakzeptabel, ich müsste den Raum sofort verlassen

3. Treffen Sie eine Entscheidung über die Intensität des Geruchs auf einer Skala von 0 – 5 unabhängig ob Sie ihn mögen oder nicht:



0 = nicht wahrnehmbar

1 = ich muss zwei dreimal riechen bis ich den Geruch richtig wahrnehme

2 = mir fällt der Geruch auf, ich vergesse ihn aber sofort wieder

3 = starker Geruch, welchen ich aber nach längerer Zeit ausblenden kann (ich denke nicht ständig daran)

4 = sehr starker Geruch den ich auch nach längerem Verweilen nicht ausblenden kann

5 = extremer Geruch (Beispiel für einen in tieferen Konzentrationen eigentlich angenehmen Geruch: z.B. direktes Riechen an einer Parfümflasche!)

Proben Nummer:

Akzeptanz

vollkommen akzeptabel			akzeptabel		gerade noch akzeptabel		gerade noch inakzeptabel		inakzeptabel		vollkommen inakzeptabel
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Intensität

nicht wahrnehmbar		schwach wahrnehmbar		wahrnehmbar		starker, aber ausblendbarer Geruch		sehr starker, nicht ausblendbarer Geruch		extremer Geruch
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Proben Nummer:

Akzeptanz

vollkommen akzeptabel			akzeptabel		gerade noch akzeptabel		gerade noch inakzeptabel		inakzeptabel		vollkommen inakzeptabel
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Intensität

nicht wahrnehmbar		schwach wahrnehmbar		wahrnehmbar		starker, aber ausblendbarer Geruch		sehr starker, nicht ausblendbarer Geruch		extremer Geruch
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Proben Nummer:

Akzeptanz

vollkommen akzeptabel			akzeptabel		gerade noch akzeptabel		gerade noch inakzeptabel		inakzeptabel		vollkommen inakzeptabel
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Intensität

nicht wahrnehmbar		schwach wahrnehmbar		wahrnehmbar		starker, aber ausblendbarer Geruch		sehr starker, nicht ausblendbarer Geruch		extremer Geruch
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Proben Nummer:

Akzeptanz

vollkommen akzeptabel			akzeptabel		gerade noch akzeptabel		gerade noch inakzeptabel		inakzeptabel		vollkommen inakzeptabel
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Intensität

nicht wahrnehmbar		schwach wahrnehmbar		wahrnehmbar		starker, aber ausblendbarer Geruch		sehr starker, nicht ausblendbarer Geruch		extremer Geruch
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Proben Nummer:

Akzeptanz

vollkommen akzeptabel			akzeptabel		gerade noch akzeptabel		gerade noch inakzeptabel		inakzeptabel		vollkommen inakzeptabel
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Intensität

nicht wahrnehmbar		schwach wahrnehmbar		wahrnehmbar		starker, aber ausblendbarer Geruch		sehr starker, nicht ausblendbarer Geruch		extremer Geruch
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Proben Nummer:

Akzeptanz

vollkommen akzeptabel			akzeptabel		gerade noch akzeptabel		gerade noch inakzeptabel		inakzeptabel		vollkommen inakzeptabel
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Intensität

nicht wahrnehmbar		schwach wahrnehmbar		wahrnehmbar		starker, aber ausblendbarer Geruch		sehr starker, nicht ausblendbarer Geruch		extremer Geruch
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Proben Nummer:

Akzeptanz

vollkommen akzeptabel			akzeptabel		gerade noch akzeptabel		gerade noch inakzeptabel		inakzeptabel		vollkommen inakzeptabel
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Intensität

nicht wahrnehmbar		schwach wahrnehmbar		wahrnehmbar		starker, aber ausblendbarer Geruch		sehr starker, nicht ausblendbarer Geruch		extremer Geruch
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Proben Nummer:

Akzeptanz

vollkommen akzeptabel			akzeptabel		gerade noch akzeptabel		gerade noch inakzeptabel		inakzeptabel		vollkommen inakzeptabel
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Intensität

nicht wahrnehmbar		schwach wahrnehmbar		wahrnehmbar		starker, aber ausblendbarer Geruch		sehr starker, nicht ausblendbarer Geruch		extremer Geruch
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Proben Nummer:

Akzeptanz

vollkommen akzeptabel			akzeptabel		gerade noch akzeptabel		gerade noch inakzeptabel		inakzeptabel		vollkommen inakzeptabel
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Intensität

nicht wahrnehmbar		schwach wahrnehmbar		wahrnehmbar		starker, aber ausblendbarer Geruch		sehr starker, nicht ausblendbarer Geruch		extremer Geruch
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Proben Nummer:

Akzeptanz

vollkommen akzeptabel		akzeptabel		gerade noch akzeptabel		gerade noch inakzeptabel		inakzeptabel		vollkommen inakzeptabel
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				

Intensität

nicht wahrnehmbar		schwach wahrnehmbar		wahrnehmbar		starker, aber ausblendbarer Geruch		sehr starker, nicht ausblendbarer Geruch		extremer Geruch
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
