

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für  
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

**Institutsleitung**

Prof. Dr. Philip Leistner

Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

Prüfbericht HoE-025k/2021

Korrektur von Prüfbericht HoE-025/2021

(Die Seiten 9, 11, 12 und 13 wurden ersetzt.)

## **Untersuchung des Emissionsverhaltens eines Raumluftr einigungsgerätes auf Basis einer Plasmatechnologie in ei nem Konferenzraum hinsichtlich der Bildung von VOCs (flüchtige organische Verbindungen), Stickoxiden und Ozon**

Durchgeführt im Auftrag der

SAMCO Autotechnik GmbH

Frau Sarah Colakoglu

Höhenhöfe 30

47918 Tönisvorst

Holzkirchen, den 16. August 2021



Deutsche  
Akkreditierungsstelle  
D-PL-11140-11-05

Prüflaboratorium  
durch DAKKS GmbH akkreditiert nach  
DIN EN ISO/IEC 17025:2018

**Prüfstelle Emissionen, Umwelt und Hygiene**

Fraunhoferstraße 10 | 83626 Valley

Telefon +49 8024 643-0

Telefax +49 8024 643

[www.pruefstellen.ibp.fraunhofer.de](http://www.pruefstellen.ibp.fraunhofer.de)

## 1 Untersuchter Raumluftreiniger

**Hersteller:** alphaklima GmbH  
Ludwig-Erhard-Str. 2c  
41564 Kaarst

**Produktname:** Plasmagerät steckerfertig 230 VAC

### Herstellerangaben:

Allg. Beschreibung: Raumluftreinigungsgerät auf Basis einer Plasmatechnologie

Abmessung: 73 cm x 88 cm x 40 cm (B x H x T)

Plasma-Modul: ERDWELLE Technologies Inc.

Luftdurchsatz: Stufe 1: 980 m<sup>3</sup>/h  
Stufe 2: 1390 m<sup>3</sup>/h (Einstellung während des Versuchs)  
Stufe 3: 1540 m<sup>3</sup>/h  
Stufe 4: 1580 m<sup>3</sup>/h  
Stufe 5: 1630 m<sup>3</sup>/h

Einsatzbereich: alle öffentlichen und privaten Bereiche (z. B. Hotels, Klassenzimmer, Sportstudios, Büros, Flughäfen, Kirchen, Busse, etc.)  
Ausnahmen: medizinische Labore (Umgebungen an denen Viren etc. gezüchtet werden oder überleben sollten) sowie Umgebungen mit einer Luftfeuchtigkeit über 70 %

### Produktfotos:



## 2 Randbedingungen

Aufstellungsraum:	Konferenzraum „Helmut-Künzel-Saal“ (Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Valley)
Ausstattung:	möbliert
Abmessungen:	10,6 m x 11,1 m Volumen 470 m <sup>3</sup>
Position Plasma-Gerät:	dezentral, an einer Wand des Raumes (siehe Bild 1)
Position Probenahme:	in etwa raummittig, Höhe 1,2 m
Raumtemperatur:	ca. 26 °C
Luftfeuchte:	40 % r. F.



Bild 1:  
Konferenzraum am IBP mit dem zu prüfenden Raumluftreinigungsgerät.

### **3 Durchführung**

#### **3.1 Probenahme**

Die interne Referenznummer für die durchgeführten Messungen lautet E3553.

Die Probenahmen wurden in Anlehnung an die Vorgaben der DIN EN ISO 16000-5 [1] am 21. Juli 2021 zwischen 10.00 Uhr und 14.00 Uhr im Konferenzraum durchgeführt (siehe Bild 3). Der Raum wurde während der Probenahme nicht genutzt. Das vorgeschriebene Lüftungsregime (mind. 8 Stunden vor Beginn der Probenahme alle Fenster für mindestens 15 Minuten so weit wie möglich öffnen und anschließend Fenster und Türen bis zur Probenahme verschließen) wurde eingehalten. Die Blindwertprobenahme erfolgte ca. 1½ Stunden nach Einschalten des Gerätes bei ausgeschaltetem Plasma und eingeschaltetem Ventilator (Stufe 2). Nach Einschalten des Plasmas und einer Gerätelaufzeit von ca. 1½ Stunden fand die Luftprobenahme bei laufendem Luftreiniger statt.




Bild 2:  
Probenahmen im Konferenzraum am IBP.

### 3.2 Messverfahren

Die Parameter für die Probenahme und die angewandten Analysenverfahren ([2], [3]) sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1:  
Probenahme- und Analysenverfahren.



Stoffgruppe	Probenvolumen [NL]	Dauer Probenahme [h]	Adsorbent	Analysenverfahren
VOC	3,0 5,0	0,50 0,83	Adsorptionsröhrchen nach Anforderung Tenax TA®	Thermodesorption, GC-MS <sup>1)</sup>
Aldehyde & Ketone	2 x 60	2 x 1,0	DNPH-Kartusche "DNPH Silica" (Fa. Waters)	HPLC-DAD <sup>2)</sup>
Ozon <sup>3)</sup>	Ozon-Analysator Modell O3 41M; Fa. ANSYCO Messprinzip: UV-Absorption bei 253,7 nm, Nachweisgrenze 1 ppb			
Stickoxide <sup>3)</sup>	NO/NOx/NO <sub>2</sub> (Stickoxid) Analysator AC31M; Fa. ANSYCO Messprinzip: Chemilumineszenz, Nachweisgrenze 1 ppb			

- 1) Qualitative und quantitative Analyse mittels TD-GC-MS (Thermodesorptions-Gaschromatografie-Massenspektrometrie) nach IBP – SAA 280/070, Kalibrierung über Flüssigdotierung der Standards auf Tenax TA™.
- 2) Untersucht wird auf die DNP-Hydrazone folgender Stoffe (nach IBP – SAA 280/072): Formaldehyd, Acetaldehyd, Acrolein, Aceton, Propionaldehyd, Butyraldehyd, 2-Butanon, Crotonaldehyd, Valeraldehyd, Isovaleraldehyd, Cyclohexanon, Hexanal, Benzaldehyd, o-Tolualdehyd, m-Tolualdehyd, p-Tolualdehyd, Heptanal, Octanal, Nonanal, Decanal. Die Quantifizierung erfolgt substanzspezifisch über Fünf-Punkt-Kalibrierfunktionen der DNP-Hydrazone in Acetonitril.
- 3) Die Ozon- und Stickoxid-Messung ist nicht Bestandteil der akkreditierten Prüfverfahren.



## 4 Ergebnisse

### 4.1 Flüchtige organische Verbindungen

Die erhaltenen Messergebnisse für die Konzentrationen an VOCs vor Einschalten des Plasma-Moduls und während des Betriebs im Konferenzraum sind in Tabelle 2 dargestellt. Berücksichtigt wurden nur Substanzen, bei denen ein Anstieg der Raumluftkonzentration über den Versuchszeitraum verzeichnet wurde.

Tabelle 2:

Zeitabhängige, chemisch-analytische Messwerte (Mittelwerte) für die Substanzen mit Konzentrationsanstieg und zugehörige Orientierungswerte.



Substanz	CAS-Nr.	Stoffkonzentration in der Raumluft [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] <sup>1)</sup>			OW <sup>2)</sup> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
		mit Plasma	ohne Plasma	Zunahme	
<b>VVOC</b>					
Formaldehyd <sup>3)</sup>	50-00-0	147	143	4	30
Aceton <sup>3)</sup>	67-64-1	111	106	5	161
Propanal <sup>3)</sup>	123-38-6	8	7	1	14
Acetonitril <sup>4)</sup>	75-05-8	24	10	14	-- <sup>6)</sup>
<b>VOC</b>					
Heptanal <sup>3)</sup>	111-71-7	6	5	1	6,7
Nonanal <sup>3)</sup>	124-19-6	13	11	2	19
1-Methyl-2-pyrrolidon <sup>5)</sup>	872-50-4	84	71	13	2,0
Decamethylcyclopentasiloxan <sup>5)</sup>	541-02-6	13	9	4	22
n-Octansäure <sup>5)</sup>	124-07-2	12	4	8	2,0
Decansäure	334-48-5	7	2	5	-- <sup>6)</sup>
n-Tridecan <sup>5)</sup>	629-50-5	3	2	1	5,0
Laurinsäure <sup>4)</sup>	143-07-7	1	< 1	1	-- <sup>6)</sup>
Alkohol <sup>4)</sup>	-- <sup>8)</sup>	3	1	2	-- <sup>6)</sup>
<b>Zunahme VVOC für <math>c_i \geq 1 \mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>				<b>24</b>	
<b>Zunahme VOC (= TVOC) für <math>c_i \geq 1 \mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>				<b>37</b>	
<b>Zunahme SVOC für <math>c_i \geq 1 \mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>				<b>0</b>	

- 1) ohne Plasma = Raumluftkonzentration vor Einschalten des Plasma-Moduls; Ventilator auf Stufe 2  
mit Plasma = Raumluftkonzentration während des Plasma-Moduls; Ventilator auf Stufe 2  
Zunahme = Differenz „mit Plasma“ minus „ohne Plasma“, d.h. Zunahme durch den Raumluftreiniger
- 2) AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Stoffe in der Raumluft (Aktualisierte Fassung vom 5. Oktober 2013) [6].
- 3) Identifizierung und Quantifizierung mittels HPLC/DAD-Referenzsubstanz.
- 4) Identifizierung über GC-MS-Spektrenbibliothek, Quantifizierung als Toluoläquivalent.
- 5) Identifizierung und Quantifizierung mittels Referenzsubstanz, GC/MS.
- 6) Substanz in der Liste der AGÖF-Orientierungswerte VOC nicht enthalten [6].
- 7) Identifizierung über GC-MS-Spektrenbibliothek, substanzähnliche Quantifizierung.
- 8) Keine CAS-Nummer vorhanden.

## 4.2 Ozon

Der Verlauf der Ozon-Konzentration im Konferenzraum vor Einschalten des Plasma-Moduls und während des Betriebs des Plasma-Moduls ist in Bild 3 dargestellt.

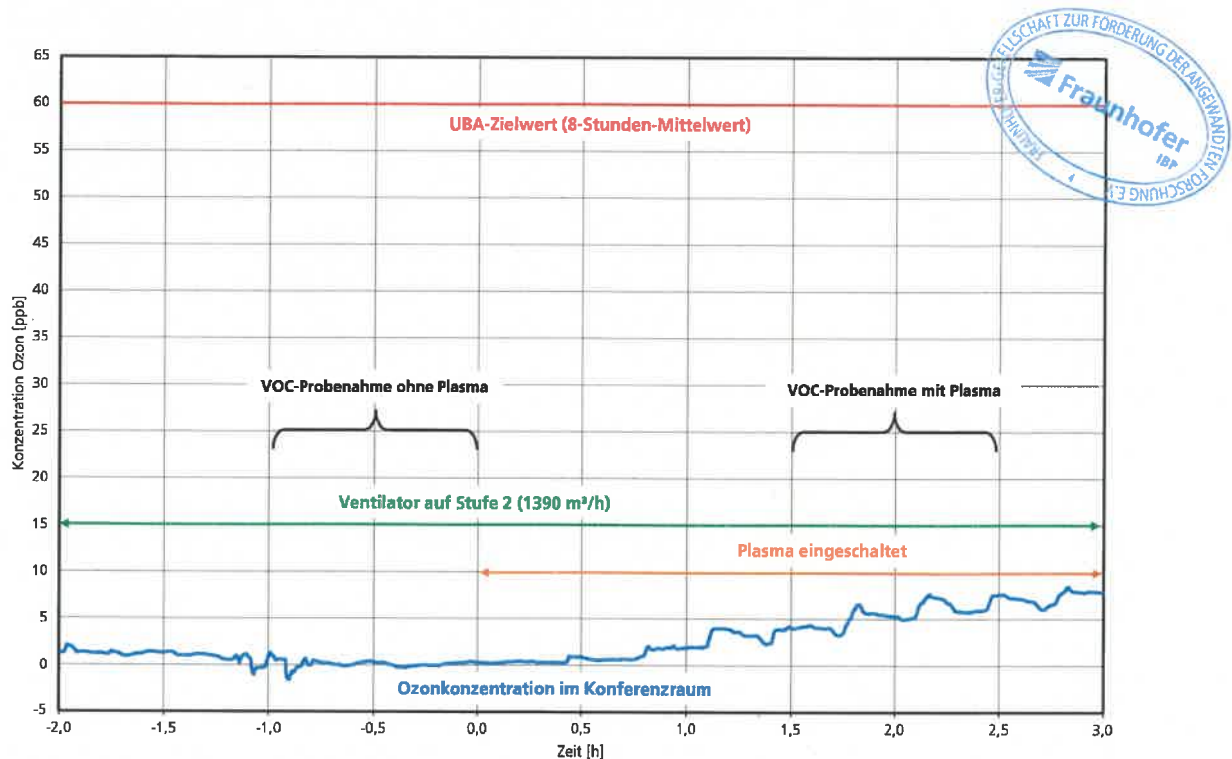


Bild 3:  
Verlauf der Ozon- Konzentration im Konferenzraum vor Einschalten des Plasma-Moduls und während des Betriebs des Plasma-Moduls.

Durch den Betrieb des Gerätes wird Ozon gebildet. Die Ozon-Konzentration liegt nach 3 Stunden Geräteaufzeit unter 10 ppb. Für Ozon existieren keine Richtwerte für die Innenraumluft. Laut UBA [7] soll langfristig der 8-Stunden-Mittelwert von 60 ppb ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in der Außenluft während eines Kalenderjahres nicht mehr überschritten werden.



### 4.3 Stickoxide

Die Verläufe der Stickoxid-Konzentrationen im Konferenzraum vor Einschalten des Plasma-Moduls und während des Betriebs des Plasma-Moduls sind in Bild 4 dargestellt.

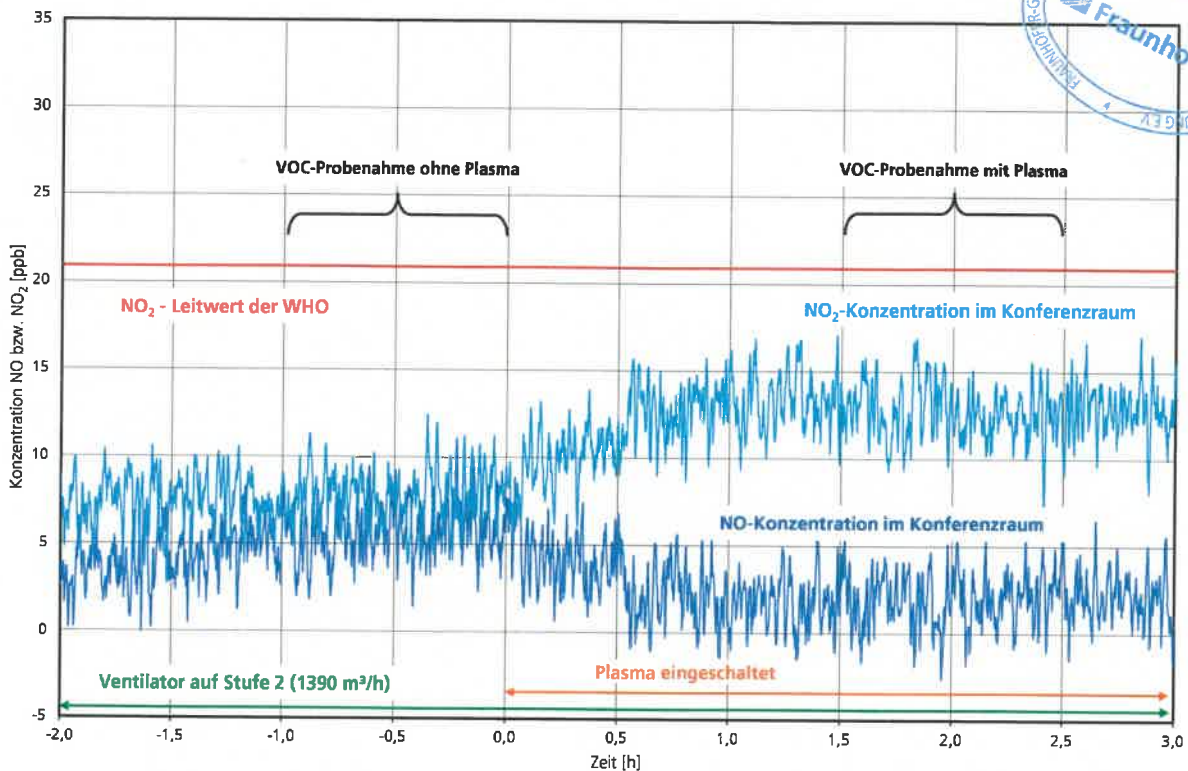


Bild 4:  
Verlauf der NO- und NO<sub>2</sub>-Konzentration im Konferenzraum vor Einschalten des Plasma-Moduls und während des Betriebs des Plasma-Moduls.

#### Fazit:

- Durch den Betrieb des Gerätes wird kein NO (Stickstoffmonoxid) gebildet.
- Die Konzentration an NO<sub>2</sub> (Stickstoffdioxid) im Konferenzraum nimmt bei eingeschaltetem Plasma-Modul zu. Die Konzentration steigt um ca. 5 ppb auf ca. 13 ppb. Der von der WHO im Jahr 2005 festgelegte „langfristige Richtwert“ für die Außenluft beträgt 21 ppb (40 µg/m<sup>3</sup>) [8] und wird auch als Richtwert für die Innenraumluftherangezogen [9].

## 5 Gegenüberstellung der Messwerte

### 5.1 Richtwerte des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR)

Die durch den Luftreiniger im Konferenzraum gebildeten flüchtigen organischen Stoffe (Tabelle 2, Spalte „Zunahme“) werden, soweit bis Juni 2021 vorhanden, den Richtwertempfehlungen des AIR [4] gegenübergestellt (Tabelle 3). Der AIR besteht aus Fachleuten des Bundes und der Länder,

die auf Mandat der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) benannt werden. Das UBA beruft zusätzliche Expertinnen und Experten für die Arbeit im Ausschuss.

Es existieren zwei Richtwert-Kategorien: Richtwert II (RW II) ist ein wirkungsbezogener Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes, unter Miteinbeziehung von Unsicherheitsfaktoren, stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen beziehungsweise Überschreiten unverzüglich zu handeln ist. Diese erhöhte Konzentration kann, besonders bei empfindlichen Personen, die sich länger andauernd in entsprechenden Räumen aufhalten, zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Der Richtwert I (RW I) 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. RW I kann als Zielwert bei der Sanierung dienen. Die Richtwerte beziehen sich auf Einzelstoffe und beinhalten keine Aussage über mögliche Kombinationswirkungen verschiedener Stoffe.

Tabelle 3:

Gegenüberstellung der durch den Luftreiniger gebildeten flüchtigen organischen Stoffe (Tabelle 2, Spalte „Zunahme“) mit den dafür vorhanden Richtwertempfehlungen des AIR [4].



Stoff/Stoffgruppe	[µg/m <sup>3</sup> ]		durch Luftreiniger gebildete VOCs [µg/m <sup>3</sup> ]
	RW II	RW I	
Formaldehyd	--	100	4
1-Methyl-2-pyrrolidon	1000	100	13
Summe gesättigte azyklische aliphatische C4- bis C11-Aldehyde	2000	100	3
Summe Zyklische Dimethylsiloxane (D3 - D6)	4000	400	4
Summe aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische (C9 - C14)	2000	200	1

## 5.2 TVOC-Leitwert

Eine weitere Größe für die Beurteilung der Innenraumhygiene stellt der sog. TVOC-Leitwert (Summe VOC) dar. Mit dem TVOC-Wert wird der Tatsache Rechnung getragen, dass bislang nur für eine geringe Anzahl an Stoffen und Stoffgruppen Richtwerte abgeleitet werden konnten, in der Innenraumluft aber eine Vielzahl von organischen Stoffen in Erscheinung treten kann. Da sich der TVOC-Wert aus der Summe der Einzelstoff-Konzentrationen errechnet, ohne z. B. die Reaktivität der Einzelstoffe zu berücksichtigen, werden für die Bewertungsstufen in Tabelle 4 keine Konzentrationswerte sondern Konzentrationsbereiche angegeben.

Tabelle 4:  
Leitwert für TVOC in der Innenraumluft [5].



Stufe	Konzentrationsbereich [mg TVOC/m <sup>3</sup> ]	Hygienische Bewertung, Hinweise
1	≤ 0,3 mg/m <sup>3</sup>	Hygienisch unbedenklich; Zielwert
2	> 0,3 bis 1 mg/m <sup>3</sup>	Hygienisch noch unbedenklich; erhöhter Lüftungsbedarf
3	> 1 bis 3 mg/m <sup>3</sup>	Hygienisch auffällig; befristet (< 12 Monate) als Obergrenze für Räume, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind
4	> 3 bis 10 mg/m <sup>3</sup>	Hygienisch bedenklich; Raum befristet (maximal 1 Monat) und bei verstärkter Lüftung nutzbar
5	> 10 mg/m <sup>3</sup>	Hygienisch inakzeptabel; die Raumnutzung ist allenfalls vorübergehend täglich (stundenweise) und bei Durchführung verstärkter regelmäßiger Lüftungsmaßnahmen zumutbar

### 5.3 Orientierungswerte (nach AGÖF [6])

Die Orientierungswerte der AGÖF sind statistisch abgeleitet. Sie beruhen auf einem aktualisierten Datenpool aus den Jahren 2006 bis 2012, der im Rahmen des Forschungsprojekts „Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumluftqualität - Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege)“ gewonnen wurde [10]. Die Liste der AGÖF-Orientierungswerte umfasst über 300 Einzelverbindungen. Sie enthält auch Stoffe, die außerhalb des TVOC-Bereichs (C6 – bis C16) liegen, aber mit den genannten Methoden erfasst wurden und für die Bewertung relevant sind. Für jeden Stoff werden die statistischen Kennwerte Stichprobengröße (n), 50. Perzentil (P 50) und 90. Perzentil (P 90) bezugnehmend auf die Ergebnisse des aktuellen AGÖF-Forschungsvorhabens genannt.

Der AGÖF-Orientierungswert entspricht in den meisten Fällen dem Auffälligkeitwert und damit dem 90. Perzentil. Anhand von Orientierungswerten können Messergebnisse bezüglich einer statistischen Wahrscheinlichkeit eingestuft und damit in ihrer Relevanz für die Suche nach Ursachen gesundheitlicher Beschwerden gewichtet werden. Die Bewertung eines konkreten gesundheitlichen Risikos ist mit den Orientierungswerten nicht möglich. Der Orientierungswert gibt an, ab welchem Messwert eine Substanz in der Innenraumluft auf Grund statistischer Auffälligkeit oder toxikologischer Erkenntnisse zu bewerten ist.

## 6 Konformitätsbewertung

### TVOC

Trotz Zunahme des TVOC-Wertes ( $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) durch den Betrieb des Luftreinigers mit eingeschaltetem Plasma kann der untersuchte Raum in Stufe 1 „hygienisch unbedenklich“ eingeordnet werden.

### RW I-/RWII-Werte

Für alle nachgewiesenen Substanzen, bei denen ein Anstieg der Raumluftkonzentration über den Versuchszeitraum verzeichnet wurde und für die Richtwertempfehlungen des AIR existieren, werden die RW I- und RW II-Werte deutlich unterschritten.

### Orientierungswerte

Für 9 der 13 in Tabelle 2 aufgelisteten Stoffe existieren Orientierungswerte (OW). Für zwei der Substanzen (1-Methyl-2-pyrrolidon und n-Octansäure), bei denen ein Anstieg der Raumluftkonzentration über den Versuchszeitraum verzeichnet wurde und für die Orientierungswerte existieren, werden die Orientierungswerte um mehr als 50 % überschritten.

Für die Bewertung der Konformität wurden die Messwerte zusammen mit der Messunsicherheit betrachtet. Die angewandte Entscheidungsregel ist in der SAA 280/081 dokumentiert. Die Entscheidungsregel und die berechnete Messunsicherheit können auf Wunsch zur Verfügung gestellt werden. Die metrologische Rückführbarkeit der Messergebnisse ist sichergestellt.

### Literaturverzeichnis

- [1] DIN ISO 16000-5: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 5: Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbinden (VOC) (ISO 16000-5:2007).
- [2] DIN ISO 16000-6: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf TENAX TA®, thermische Desorption und Gaschromatografie mit MS oder MS//FID (ISO 16000-6:2012-11).
- [3] DIN ISO 16000-3: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen in der Innenraumluft und in Prüfkammern; Probenahme mit einer Pumpe (ISO 16000-3:2013-01).
- [4] Richtwertempfehlungen des AIR; Stand April 2021  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte-vormals-ad-hoc#hygienische-leitwerte-fur-die-innenraumluft>; aufgerufen am 13. August 2021.
- [5] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes: Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. In: Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz; 50(7); 2007; S. 990 – 1005.
- [6] AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft (Aktualisierte Fassung vom 5. Oktober 2013)

<https://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-voc-orientierungswerte.html>; aufgerufen am 13. August 2021.

- [7] Umweltbundesamt: Ozon-Belastung  
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/ozon-belastung#zielwerte-und-langfristige-ziele-fur-ozon>; aufgerufen am 13. August 2021.
- [8] WHO Regional Office for Europe: Air quality guidelines: global update 2005 – Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe (Scherfigsvej 8, DK-2100 Copenhagen).
- [9] WHO Regional Office for Europe: WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants; (2010); [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0009/128169/e94535.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf); aufgerufen am 13. August 2021.
- [10] Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e. V. UFOPLAN Vorhaben FKZ 3709 62 211: Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumluftqualität - Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege); <https://www.agoef.de/forschung/fue-ll-voc-datenerhebung/abschlussbericht.html>; aufgerufen am 13. August 2021.

Hinweis:

Die Prüfung wurde in der Prüfstelle Emissionen, Umwelt und Hygiene durchgeführt, die nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 von der DAkkS mit der Nr. D-PL-11140-11-05 flexibel akkreditiert ist (exklusive Ozon und Stickoxide).

Dieser Prüfbericht umfasst:

13 Seiten Text,  
4 Tabellen  
4 Bilder.

Holzkirchen, den 16. August 2021

Technischer Leiter der Prüfstelle

Dr.-Ing. Christian Scherer



Sachbearbeiterin

Sabine Wolfgruber

*Auszugsweise Veröffentlichung nur mit schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik gestattet.*