

**Schadstoffuntersuchung
(Teilbereiche)**

**James-Rizzi-Schule
Hoher Weg 15 - 17 in
47137 Duisburg**

**Raumlufthygienische und
Materialuntersuchung**

04. April 2019

Auftraggeber: IMD – Immobilien Management Duisburg
Herr Schiefke
Am Burgacker 3
47049 Duisburg

Objekt: Teilbereiche
James-Rizzi-Schule
Hoher Weg 15 - 17
47137 Duisburg

TÜV NORD-Geschäfts-Nr.: ISGBW-037/19
TÜV NORD-Auftrags-Nr.: 81 16 86 98 28

Bearbeiter: Uwe Faoro

Freigegeben: Klima- und Bautechnik Essen

(TÜV NORD Projektleiter)

Dieser Bericht umfasst 38 Seiten.

Liebe Kolleginnen aus 48,
Hr. Büddeckers ist un-
sicher, ob hier eine Be-
lastung vorliegt, oder
nicht. Wissen Sie,
wer keine Zweifel
verstehen unterschätzen
kann? 16.6. E. C. 11.00.00

1. Einleitung

Auf den Grundlagen des Angebotes der TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG, nachfolgend TÜV NORD genannt, vom 25.02.19 und der Beauftragung vom 25.03.19 sind von der TÜV NORD Klima- und Bautechnik Essen folgende Tätigkeiten im Rahmen der Bauwerksuntersuchung zu erbringen:

- Raumlufthygienische Untersuchung auf die Belastung mit leicht flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und Schimmelpilze in Teilbereichen der James-Rizzi-Schule, Hoher weg 15 - 17 in 47137 Duisburg.

Der Anlass für die Untersuchungen ist das Vorhandensein von Geruchsauffälligkeiten in Unterrichtsräumen im 2.OG.

Bei dem Objekt handelt es sich um den Teilbereich eines dreigeschossigen Schulgebäudes in Massivbauweise.

2. Raumlufthuntersuchungen

2.1 Probenahme und Randbedingungen

Die Probenahmen erfolgten unter Beachtung der Richtlinien VDI 4300, Blatt 1 und 6 sowie DIN EN ISO 16000-2, DIN EN ISO 16000-5 und DIN EN ISO 16000-6 (1/, 2/, 3/, 4/, 5/). Die Luftproben wurden am 11.03.2019 in den untersuchten Räumen in einer Höhe von ca. 1 bis 1,5 m über dem Fußboden genommen.

Die Messungen erfolgten im ungelüfteten Zustand (d. h. unter Ausgleichsbedingungen). Die Messung unter Ausgleichsbedingungen ermöglicht insbesondere den Vergleich mit Referenzwerten, die ebenfalls unter diesen Randbedingungen gewonnen wurden.

Die Dauer der Probenahmen und die dabei angesaugten Probenluftvolumina sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Proben-Nr.	Raum	Stoff/Stoffgruppe	Datum	Probenahmedauer	Probenahmenvolumen [Liter]	Adsorptionsmedium
037/19 - L1	Raum 24, 2.OG ungelüftet	VOC	11.03.2019	09:25 – 09:45	3,0	Tenax
037/19 - L2	Raum 27, 2.OG ungelüftet	VOC	11.03.2019	09:50 – 10:10	3,0	Tenax

Während der Probenahmen herrschten in dem untersuchten Raum die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen.

Raum	Raumlufttemperatur [°C]	Relative Luftfeuchtigkeit [%]
Raum 24, 2.OG (ungelüftet)	20,3	45,0
Raum 27, 2.OG (ungelüftet)	20,1	47,0

Die Temperatur der Außenluft lag in Gebäudenähe während der Messungen bei 2,0° C, die relative Luftfeuchtigkeit lag bei 68,0 %.

Während des Aufenthaltes in den Räumen wurden keine signifikanten Geruchsauffälligkeiten wahrgenommen.

2.2 Messmethoden

2.2.1 Leicht flüchtige organische Verbindungen (VOC)

Die Messung der VOC-Konzentrationen erfolgte mit Tenax als Adsorptionsmedium in Anlehnung an das in der DIN EN ISO 16000-6 beschriebene Verfahren /5/.

Die Probenluft wird mit einer Probenahmeverrichtung, bestehend aus einem Tenax-Sorptionsrohr und dahinter geschalteter Gaspumpe, angesaugt und über das Adsorbens geleitet. Die Konzentrationsbestimmung wird nach thermischer Desorption mit einem dem Gaschromatographen nachgeschalteten Flammenionisationsdetektor (GC/FID) durchgeführt.

2.3 **Messergebnisse**

Die Analyse der Raumlufthproben ergab die in den folgenden Tabellen zusammengestellten Messergebnisse in der Einheit $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Die chemischen Analysen wurden in unserem Vertragslabor, dem Hygiene-Institut des Ruhrgebiets, durchgeföhrt.

2.3.1 **Leicht flüchtige organische Verbindungen (VOC)**

Die Analyse der Raumlufthproben ergab die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Messergebnisse in der Einheit $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Stoff/Stoffgruppe	Konzentration [µg/m³]	Konzentration [µg/m³]
	R.24, 2.OG ungelüftet	R. 27, 2.OG ungelüftet
<i>Aromatische Kohlenwasserstoffe</i>		
Benzol	1	1
Toluol	2	1
Ethylbenzol	< 1	< 1
Σ Xylole (m-,p-)	< 1	< 1
o-Xylol	< 1	< 1
n-Propylbenzol	< 1	< 1
1,2,4-Trimethylbenzol	< 1	< 1
1,3,5-Trimethylbenzol	< 1	< 1
2-Ethyltoluol	< 1	< 1
Styrol	< 1	< 1
Naphthalin	< 1	< 1
1-Methylnaphthalin	< 1	< 1
2-Methylnaphthalin	< 1	< 1
Dimethylnaphthalin***	< 1	< 1
4-Phenyl-Cyclohexen	< 1	< 1
Summe Aromaten	3	2
<i>Kresole</i>		
o-Kresol	< 1	< 1
m/p-Kresole	< 1	< 1
Summe Kresole	-	-
<i>Aliphatische Kohlenwasserstoffe</i>		
n-Hexan	4	3
n-Heptan	< 2	< 2
n-Oktan	< 2	< 2
n-Nonan	< 2	< 2
n-Dekan	< 2	< 2
n-Undekan	< 2	< 2
n-Dodekan	< 2	< 2
n-Tridekan	< 2	< 2
n-Tetradecan	< 2	< 2
n-Pentadecan	< 2	< 2
n-Hexadecan	< 2	< 2
2-Methylpentan ¹⁾	< 2	< 2
3-Methylpentan ¹⁾	< 2	< 2
1-Octen	< 2	< 2
1-Decen	< 2	< 2
2-Methyl-1-propen trimer	< 2	< 2
Methylcyclopentan	2	3
Cyclohexan	39	30
Methylcyclohexan	< 2	< 2
Summe n-Alkane	45	36

Stoff/Stoffgruppe	Konzentration [µg/m³]	Konzentration [µg/m³]
	R.24, 2.OG ungelüftet	R. 27, 2.OG ungelüftet
<i>Terpene</i>		
3-Caren	< 2	< 2
α-Pinen	< 2	< 2
β-Pinen	< 2	< 2
Limonen	< 2	< 2
Summe Terpene	-	-
<i>Alkohole</i>		
2-Propanol ¹⁾	3	3
1-Butanol	< 2	2
2-Ethyl-1-hexanol	< 2	< 2
Benzylalkohol	< 2	< 2
Summe Alkohole	3	5
<i>Glykole / Glykolether</i>		
2-Methoxyethanol	< 2	< 2
2-Ethoxyethanol	< 2	< 2
2-Butoxyethanol	< 2	< 2
1-Methoxy-2-propanol	2	2
2-Butoxyethoxyethanol	< 2	< 2
2-Phenoxyethanol	< 2	< 2
2-(2-Methoxyethoxy)ethanol	< 2	< 2
1-Methoxy-2-(2-methoxyethoxy)-ethan	< 2	< 2
2-Ethoxyethylacetat	< 2	< 2
2-(2-Ethoxyethoxy)ethanol	< 2	< 2
2-n-Butoxyethylacetat	< 2	< 2
2-Hexoxyethanol	< 2	< 2
Dipropylenglykol-1-methylether	< 2	< 2
1-Ethoxypropan-2-ol	< 2	< 2
1(1,1-Dimethylethoxy)-2-propanol	< 2	< 2
Summe Glykole/Glykolether	2	2
<i>Aldehyde</i>		
Butanal ¹⁾	< 2	< 2
3-Methylbutanal	< 2	< 2
Pentanal	< 2	< 2
Hexanal	2	2
2-Ethylhexanal	< 2	< 2
Heptanal	< 2	< 2
Octanal	2	< 2
Nonanal	9	5
Decanal	< 2	< 2
Undecanal	< 2	< 2
Benzaldehyd	20	3
2-Furaldehyd	< 2	2
1-Methyl-2-pyrrolidon	< 2	< 2
Summe Aldehyde	33	12

Stoff/Stoffgruppe	Konzentration [µg/m³]	Konzentration [µg/m³]
	R. 24, 2.OG ungelüftet	R. 27, 2.OG ungelüftet
<i>Ketone</i>		
Methylethylketon	4	3
Methylisobutylketon	< 2	< 2
Cyclohexanon	< 2	< 2
Acetophenon	6	< 2
Summe Ketone	10	3
<i>Halogen-Kohlenwasserstoffe</i>		
Trichlorethen	< 2	< 2
Tetrachlorethen	< 2	< 2
1,1,1-Trichlorethan	< 2	< 2
1,4-Dichlorbenzol	< 2	< 2
Summe halogenierte KW	-	-
<i>Ester</i>		
Ethylacetat ¹⁾	< 2	2
Butylacetat	< 2	< 2
Isopropylacetat	< 2	< 2
Methoxypropylacetat	< 2	< 2
Dimethylphthalat	< 2	< 2
Texanol	< 2	< 2
TXIB (Texanolisobutytrat)	< 2	< 2
Summe Ester	-	2
<i>Furane</i>		
2-Pentylfuran	< 2	< 2
THF (Tetrahydrofuran)	< 2	< 2
Summe Furane	-	-
<i>Siloxane</i>		
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	< 2	3
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	< 2	< 2
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	3	2
Dodecamethylcyclohexasiloxan (D6)	< 2	< 2
Summe Siloxane	3	5
<i>Sonstige²⁾</i>		
Ethanol ^{1,3)}	6	7
Aceton ^{1,3)}	9	14
Vinylbenzoat	13	-
Phenol	3	1
Summe Sonstige	28	21
Summe gesättigte acyclische, aliphatische C4-C11-Verbindungen	13	7
Summe VOC (TVOC)⁴⁾	112	63
Summe VVOC¹⁾	18	26

- ¹⁾ Parameter, die vor n-Hexan eluieren (= VVOC, besonders leicht flüchtige Verbindungen)
- ²⁾ nicht individuell identifizierte Substanzen anhand der Massenspektrometer-Bibliothek ermittelt und unter Verwendung des Responsefaktors für Toluol als Toluol-Äquivalent bestimmt.
- ³⁾ einzeln kalibriert
- ⁴⁾ TVOC: VOC-Summe gemäß /5/
VOC_{un}: Summe der nicht identifizierten VOC als Toluol-Äquivalent

3. Beurteilungsgrundlagen

3.1 Leicht flüchtige organische Verbindungen (VOC) Raumluft

Unter dem Sammelbegriff "VOC" wird eine Gruppe sehr verschiedener organischer Verbindungen zusammengefasst, die durch den Siedepunkt charakterisiert ist. Von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) wurde ein Siedebereich von 50 bis 100 °C als untere Grenze und ein Siedebereich von 240 bis 260 °C als obere Grenze für die VOC definiert.

Da für VOC in Innenräumen nahezu keine gesetzlich festgelegten Grenzwerte existieren, werden zur Beurteilung der Messergebnisse verschiedene Richt- und Leitwerte sowie Referenzwerte herangezogen:

- Richt- und Leitwerte der Kommission Innenraumlufthygiene des Umweltbundesamtes
- Referenzwerte der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) in der Fassung vom 28.11.2013

3.2.1 Richt- und Leitwerte des Umweltbundesamtes Raumluft Richtwerte Umweltbundesamt

Von einer Ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Gesundheitsbehörden der Länder (AOLG) werden seit einigen Jahren für einzelne Stoffe Innenraumluft-Richtwerte erarbeitet /6/. In der Regel werden zwei Richtwerte festgelegt. Richtwert II (RW II) wird hygienisch-toxikologisch unter Berücksichtigung empfindlicher Personengruppen abgeleitet und stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen oder Überschreiten ein unverzüglicher Handlungsbedarf besteht. Der Handlungsbedarf ist als Prüfbedarf hinsichtlich Maßnahmen zur Minderung der Raumluftbelastung zu verstehen.

Richtwert I (RW I) wird unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors (in der Regel 10) aus dem RW II berechnet und hat die Funktion eines Sanierungszielwertes. Wird der RW I unterschritten, ist im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Kenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition gegenüber dem betreffenden Stoff keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten.

Mit der Überschreitung des Richtwertes I ist keine unmittelbare Gesundheitsgefährdung verbunden. Insbesondere bei gleichzeitigem Auftreten von Gerüchen kann es jedoch zu Befindlichkeitsstörungen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen, die bei wiederholter oder lang anhaltender Einwirkung eine unzumutbare Belästigung darstellen /7/ (vgl. auch nachfolgende Ausführungen zu Geruchsleitwerten). Aus Vorsorgegründen sieht das Umweltbundesamt daher auch im Bereich zwischen den beiden Richtwerten Handlungsbedarf. Unter dem Gesichtspunkt der Verhältnismäßigkeit sollen sich die zu ergreifenden Maßnahmen aber zunächst auf intensiveres Lüften und Reinigen beschränken.

Nur wenn hierdurch keine ausreichende Verbesserung der Luftqualität erreicht wird, werden weitergehende Maßnahmen empfohlen /6/.

Im Unterschied zu Grenzwerten besitzen Richtwerte keine generelle rechtliche Bindung, sie können aber unter bestimmten Bedingungen rechtliche Verbindlichkeit erlangen. Die rechtliche Anwendbarkeit ist zum Beispiel dann gewährleistet, wenn im Zuge der wissenschaftlichen Ableitung von Richtwerten auf einen bestimmten Rechtsrahmen Bezug genommen wird (vgl. hierzu die weiteren Ausführungen in /6/).

Für die nachfolgend aufgeführten VOC liegen gegenwärtig Richtwertempfehlungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe vor /6/:

Stoff	Richtwert II [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Richtwert I [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Ethylenglykolmonomethylether	200	20
Diethylenglykolmethylether	6.000 (v)	2.000 (v)
Diethylenglykoldimethylether	300	30
Ethylenglykolmonoethylether	1.000	100
Ethylenglykolmonoethyletheracetat	2.000	200
Diethylenglykolmonomethylether	2.000 (v)	200 (v)
Ethylenglykolbutylether	1.000	100
Ethylenglykolbutyletheracetat	2.000 (v)	200 (v)
Diethylenglykolbutylether	1.000 (v)	400 (v)
Ethylglykolhexylether	1.000	100
2-Propylenglykol-1-methylether	10.000	1.000
Dipropylenglykol-1-methylether	7.000 (v)	2.000 (v)
2-Propylenglykol-1-ethylether	3.000	300
2-Propylenglykol-1-tertbutylether	3.000	300
2-Ethylhexanol	1000	100
Benzylalkohol	4000	400
1-Butanol	2000	700
Methylisobutylketon	1.000	100
Ethylbenzol	2.000	200
Alkylbenzole C9 – C15	1.000	100
Kresole	50	5
Phenol	200	20
Dichlormethan	2.000 (24 h) ¹	200
Toluol	3.000	300
Styrol	300	30
Monozyklische Monoterpene	10.000	1.000
Bicyclische Terpene ²	2.000	200
Naphthalin	30	10
Acetaldehyd	1000	100
Benzaldehyd ³	200	20
Gesättigte azyklische aliphatische C4- bis C11-Aldehyde	2.000	100
2-Furaldehyd	100	10
Zyklische Dimethylsiloxane D3-D6 ⁴	4.000	100
Monozyklische Monoterpene ⁵	10.000	1.000
C9 – C14-Alkane / Isoalkane ⁶	2.000	200
Diisocyanate ⁷	-	-

¹ Der Wert bezieht sich auf einen Mittelungszeitraum von 24 Stunden.

² Leitsubstanz α -Pinen

³ Vorläufiger Richtwert

⁴ Summenrichtwert

⁵ Leitsubstanz d-Limonen

⁶ aromatenarm

⁷ Keine Festlegung eines Richtwertes II, da anfänglich höhere Konzentration in der Raumluft bei Verarbeitung von Diisocyanat-haltigen Lacken und Klebern rasch absinkt und nicht mit einer Dauerbelastung zu rechnen ist.

Leitwerte VOC-Summe

Weiterhin liegen seitens der Ad-hoc-Arbeitsgruppe (IRK/AOLG) des Umweltbundesamtes Leitwerte für eine hygienische Bewertung der VOC-Summen und daraus abgeleitete Empfehlungen für Maßnahmen vor /6/, die nachfolgend in gekürzter Form tabellarisch zusammengestellt sind.

Leitwerte sind als gesundheitlich-hygienisch begründete Beurteilungswerte für Stoffe oder Stoffgemische definiert, für die der Erkenntnisstand nicht ausreicht, um einen toxikologisch begründeten Richtwert abzuleiten /7/.

Stufe	Konzentrationsbereich [mg/m³]	Hygienische Bewertung	Empfehlungen
1	≤0,3	Hygienisch unbedenklich. In der Regel keine Beschwerden	Keine weiteren Maßnahmen
2	>0,3-1	Hygienisch noch unbedenklich, soweit keine Richtwertüberschreitungen für Einzelstoffe bzw. Stoffgruppen vorliegen	Ausreichend lüften VOC-Quellen ermitteln Verwendung von Putz- und Reinigungsmitteln überprüfen
3	>1-3	Hygienisch auffällig. Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (< 12 Monate). Innerhalb von ca. 6 Monaten sollte die TVOC-Konzentration deutlich unter den anfangs gemessenen TVOC-Wert abgesenkt werden.	Richtwertüberschreitung umgehend durch Nachmessung kontrollieren. Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. Quellensuche durchführen und Lüftungsverhalten überprüfen: intensiv lüften und ggf. Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen. Liegt nach 12 Monaten trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 1mg/m³, so sind adäquate Sanierungsmaßnahmen in die weitere Planung aufzunehmen.

4	>3-10	<p>Hygienisch bedenklich. Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (< 1 Monat). Die TVOC-Konzentration sollte innerhalb eines Monats unter 3 mg/m³ abgesenkt werden.</p>	<p>Richtwertüberschreitung umgehend durch Nachmessung kontrollieren.</p> <p>Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. Toxikologische Bewertung von Einzelstoffen oder Stoffgruppen erforderlich.</p> <p>Quellensuche durchführen und intensiv lüften und ggf. Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen und geeignete Minimierungsmaßnahmen veranlassen.</p> <p>Ein ggf. notwendiger Aufenthalt ist nur mit zeitlicher Beschränkung pro Tag über einen vom Gesundheitsamt vorgegebenden maximalen Zeitraum tolerabel. Kontrollmessung bzw. Nachmessung nach ca. 1 Monat empfohlen.</p> <p>Liegt nach 1 Monat trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 3 mg/m³, so sind adäquate Sanierungsmaßnahmen in die weitere Planung aufzunehmen.</p>
5	>10	<p>Hygienisch inakzeptabel. Raumnutzung möglichst vermeiden. Ein Aufenthalt ist allenfalls pro Tag stundenweise/zeitlich befristet zulässig.</p> <p>Bei Werten oberhalb von 25 mg/m³ ist eine Raumnutzung zu unterlassen.</p> <p>Die TVOC-Konzentration sollte innerhalb eines Monats unter 3 mg/m³ abgesenkt werden.</p>	<p>Richtwertüberschreitung umgehend durch Nachmessung kontrollieren.</p> <p>Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. Toxikologische Bewertung von Einzelstoffen oder Stoffgruppen erforderlich.</p> <p>Quellensuche durchführen und intensiv lüften und Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen und geeignete Minimierungsmaßnahmen veranlassen. Ein ggf. notwendiger Aufenthalt ist nur mit zeitlicher Beschränkung pro Tag über einen vom Gesundheitsamt vorgegebenen maximalen Zeitraum tolerabel. Kontrollmessung bzw. Nachmessung innerhalb von 1 Monat.</p> <p>Werden durch Minimierungsmaßnahmen 10 mg/m³ im betrachteten Zeitraum zwar unterschritten, eine Konzentration von 3 mg/m³ allerdings weiterhin überschritten, gelten die Maßnahmenempfehlungen wie unter Stufe 4.</p> <p>Liegt nach 1 Monat trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 10 mg/m³, so sollte die Raumnutzung unterbleiben, und es sind adäquate Sanierungsmaßnahmen zu veranlassen.</p>

Geruchsleitwerte

Die oben aufgeführten Richtwerte sollen Schutz vor möglichen gesundheitsschädlichen Wirkungen von Innenraumluftverunreinigungen bieten; ihre Ableitung basiert auf epidemiologischen und toxikologischen Erkenntnissen zu den jeweiligen Wirkungsschwellen. Die Geruchswahrnehmung wird bei diesen Verfahren nicht berücksichtigt. Dem liegt die allgemeine toxikologische Auffassung zugrunde, dass von Geruchswahrnehmungen in der Regel keine toxischen Wirkungen ausgehen. Gerüche können aber Befinden, Verhalten und Leistungen beeinflussen. Einige chemische Verbindungen weisen zudem sehr niedrige Geruchswahrnehmungsschwellen auf, die unterhalb der jeweiligen Richtwerte I (Vorsorgewerte) liegen können. Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe hat daher ein Konzept zur gesundheitlich-hygienischen Bewertung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft abgeleitet, das zunächst in einer zweijährigen Pilotphase erprobt werden soll /8/.

Ziel des Konzepts ist die Abgrenzung geringer geruchlicher (zumutbarer) Belästigungen von erheblichen geruchlichen Belästigungen, die als unzumutbar bewertet werden. Nach Auffassung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe ist eine erhebliche Belästigung im baurechtlichen Sinne als regulatorisch relevante Eigenschaft anzusehen, auch wenn sie im toxikologischen Sinne keine gesundheitliche Gefährdung darstellt /8/.

Analog zu dem oben beschriebenen Richtwertschema werden auch hinsichtlich der Geruchsbelästigungen zwei Werte abgeleitet. Die Ableitung der Werte erfolgt aus Geruchswahrnehmungsschwellen.

Liegt die Konzentration eines Geruchsstoffs oberhalb des vorläufigen Geruchsleitwerts II (vGLW II), wird sie (vorläufig) als „geruchlich erheblich belästigend“ eingestuft. Die Raumnutzung wird in diesem Fall nur als befristet zumutbar eingestuft.

Weiterhin sollen Maßnahmen zur Senkung der Geruchsstoffkonzentration ergriffen werden (Anpassung des Nutzungs- und Lüftungsverhaltens, Einsatz von Luftreinigern etc.) /8/.

Liegt die Konzentration eines Geruchsstoffs zwischen dem vorläufigen Geruchsleitwert I (vGLW I) und dem vorläufigen Geruchsleitwert II (vGLW II), wird sie (vorläufig) als „geruchlich auffällig“ eingestuft und kann möglicherweise als belästigend empfunden werden. In diesem Fall wird empfohlen, die Quelle des Geruchs zu ermitteln und die Belüftbarkeit des Raumes zu überprüfen /8/.

Für die nachfolgend aufgeführten relevanten VOC liegen gegenwärtig vorläufige Geruchsleitwerte der Ad-hoc-Arbeitsgruppe vor /8/:

Stoff	Vorläufiger Geruchsleitwert I [µg/m³]	Vorläufiger Geruchsleitwert II [µg/m³]
Butanal	8	70
Pentanal	9	70
Hexanal	8	70
Heptanal	5	40
Octanal	5	40
Nonanal	20	150
Decanal	20	100
1-Butanol	100	800
Ethylacetat	5.000	43.000
Butylacetat	60	500
Phenol	100	1000
o-Kresol	8	60
m-Kresol	3	20
p-Kresol	1	10
TXIB	80	700
Toluol	2.000	14.000
Ethylbenzol	200	1.000
α-Pinen	600	5.000
β-Pinen	1.000	9.000
Limonen	5.000	4.000
Hexansäure	30	200

3.2.2 Referenzwerte AGÖF

Von der AGÖF wurden aus mehr als 300000 Raumlufthuntersuchungen Vergleichswerte ermittelt, die als Referenzwerte für die Beurteilung von Innenraumbelastungen herangezogen werden können (aktualisierter Datenpool 2002 bis 2012). Sie stellen statistische Kennzahlen dar, die eine Unterscheidung zwischen „Normal- und Auffälligkeitswerten“ ermöglichen. Als Normalwert wird das 50-Percentil und als Auffälligkeitswert das 90-Percentil der Messwertverteilung verwendet /9/. Mit den genannten Referenzwerten ist aufgrund ihrer rein statistischen Ableitung keine gesundheitliche Bewertung verbunden.

Die Untersuchungsergebnisse sind in eine Datenbank des Umweltbundesamtes zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Innenraumluft eingeflossen /10/.

Die Werte werden von der AGÖF wie folgt definiert:

Normalwert:

Der Normalwert entspricht dem 50-Percentilwert und kennzeichnet die durchschnittliche Belastungssituation des betrachteten Untersuchungskollektivs, die im Allgemeinen auf Innenraumquellen zurückgeht. Ein zwingender Handlungsbedarf im Sinne einer Minimierung lässt sich daraus üblicherweise aber noch nicht ableiten.

Auffälligkeitswert:

Der Auffälligkeitswert entspricht dem 90-Percentilwert. Er kennzeichnet die Überschreitung üblicher Innenraumkonzentrationen. Das Vorhandensein einer entsprechenden Emissionsquelle liegt nahe. Bei einem Erreichen oder bei einer Überschreitung des Auffälligkeitswertes sollte geprüft werden, ob im Sinne einer vorbeugenden Minimierung ein Handlungsbedarf besteht. Unter Umständen besteht Sanierungsbedarf.

Zu den Verbindungen, deren Konzentrationen oberhalb der üblichen Normalbelastung, d. h. oberhalb der Auffälligkeitswerte, liegen, ist grundsätzlich anzumerken, dass mit der Überschreitung keine Aussage über eine gesundheitliche Relevanz getroffen wird. Die Überschreitung kann aber auf spezifische Innenraumquellen hinweisen.

Orientierungswert:

Aus den Referenzwerten wurden Orientierungswerte abgeleitet, die in der Regel den gerundeten Auffälligkeitswerten oder toxikologisch abgeleiteten Werten entsprechen, wenn diese darunter liegen.

Die Referenz- und Orientierungswerte für die überprüften Verbindungen sind in den nachfolgenden Tabellen zusammengestellt.

Stoff/Stoffgruppe	AGÖF			
	Normalwert P 50 [µg/m³]	Auffällig- keitswert P 90 [µg/m³]	Orientierungs- wert [µg/m³]	Hinweise
<i>Aromatische KW</i>				
Benzol	1,0	3,0	3,0	kanzerogen
Toluol	7,0	30,0	30	
Ethylbenzol	1,0	10,0	10	
Σ Xylole (m-,p-)	3,0	29,0	29	
o-Xylol	1,0	9,0	9,0	
1,2,4-Trimethylbenzol	1,0	10,9	11	
1,3,5-Trimethylbenzol	< 1	3,0	3,0	
2-Ethyltoluol	< 1	3,0	3,0	
3-Ethyltoluol	1,0	6,7	6,7	
4-Ethyltoluol	< 1	3,0	3,0	
Styrol	1,0	12,0	12	
Phenol	< 1	3,0	3,0	
o-Kresol	< 1	< 1		
m-/p-Kresol	< 1	< 1		
Naphthalin	< 1	1,2	1,2	kanzerogen
4-Phenyl-Cyclohexen	< 1	< 1		
1,2,3-Trimethylbenzol	< 1	2,6	2,6	
1,2,4,5-Tetramethylbenzol	< 1	< 1		
1,3-Diisopropylbenzol	< 1	< 1		
1,4-Diisopropylbenzol	< 1	< 1		
Isopropylbenzol	< 1	1,0	1,0	
n-Butylbenzol	< 1	< 1		
n-Propylbenzol	< 1	2,1	2,1	
<i>Aliphatische KW</i>				
n-Hexan	1,8	8,0	8,0	
n-Heptan	2,0	9,0	9,0	
n-Oktan	1,0	5,0	5,0	
n-Nonan	< 1	5,0	5,0	
n-Dekan	1,0	11,0	11	
n-Undekan	2,0	14,0	14	
n-Dodekan	1,0	9,0	9,0	
n-Tridekan	1,0	5,0	5,0	
n-Tetradecan	1,0	4,0	4,0	
n-Pentadecan	1,0	3,0	3,0	
n-Hexadecan	1,0	2,0	2,0	
2-Methylpentan	< 1	1,2	1,2	
3-Methylpentan	< 1	1,3	1,3	
1-Octen	< 1,5	< 2		
1-Decen	< 1,5	< 2		
2,2,4,6,6-Pentamethylheptan	< 1	4,8	4,8	
3-Methylhexan	1,0	6,3	6,3	

Stoff/Stoffgruppe	AGÖF			Hinweise
	Normalwert P 50 [µg/m³]	Auffällig- keitswert P 90 [µg/m³]	Orientierungs- wert [µg/m³]	
<i>Cycloalkane</i>				
Methylcyclopentan	< 1	3,0	3,0	
Cyclohexan	1,0	9,0	9,0	
Methylcyclohexan	< 1	4,0	4,0	
<i>Terpene</i>				
Delta-3-Caren	1,0	25,9	26	
α-Pinen	4,0	68,0	68	
β-Pinen	1,0	8,7	8,7	
Limonen	4,0	23,0	23	
Camphen	< 1	2,1	2,1	
β-Caryophyllen	< 1	< 1,5		
Longifolen	< 1	2,0	2,0	
<i>Alkohole</i>				
2-Propanol	20,0	91,4	91	
1-Butanol	8,0	35,0	35	
Isobutanol (2-Methyl-1-propanol)	1,0	10,0	10	
1-Pentanol	< 1	5,4	5,4	
1-Hexanol	< 1	1,0	1,0	
2-Ethyl-1-hexanol	3,0	13,0	13	
Benzylalkohol	< 1	4,6	4,6	
<i>Glykole / Glykolether</i>				
2-Methoxyethanol (EGME)	< 3	< 5		
2-Ethoxyethanol (EGEE)	< 1	< 2,5		
2-Butoxyethanol (EGBE)	1,9	13,4	13	
1-Methoxy-2-propanol (2PG1ME)	2,0	14,0	14	
2-Butoxyethoxyethanol (DEGBE)	< 2	8,0	8	
2-Phenoxyethanol (EGPhE)	1,0	5,0	5,0	
Dipropylenglykol-1-methylether (D2PGME)	< 1	7,0	7,0	
<i>Aldehyde</i>				
Formaldehyd	35,0	81,0	30	kanzerogen
Acetaldehyd	20,0	72,2	70	
Propanal	4,0	14,0	14	
Butanal	2,0	10,0	10	
Pentanal	4,0	20,3	20	
Hexanal	11,0	54,0	54	
n-Heptanal	2,0	6,7	6,7	
n-Octanal	2,0	8,0	8,0	
Nonanal	6,0	19,0	19	
n-Decanal	2,0	7,0	7,0	
2-Furaldehyd (Furfural)	1,0	4,0	4,0	
Benzaldehyd	4,0	15,0	15	

Stoff/Stoffgruppe	AGÖF			
	Normalwert P 50 [µg/m³]	Auffällig- keitswert P 90 [µg/m³]	Orientierungs- wert [µg/m³]	Hinweise
<i>Ketone</i>				
Methylethylketon	4,1	33,4	33	
Methylisobutylketon	< 1	4,0	4,0	
Cyclohexanon	1,0	5,0	5,0	
Acetophenon	1,3	4,0	4,0	
<i>Chlorierte KW</i>				
Trichlorethen	< 1	< 1		kanzerogen
Tetrachlorethen	< 1	< 1		
1,1,1-Trichlorethan	< 1	< 1		
Tetrachlormethan	< 1	< 1		
1,4-Dichlorbenzol	< 1	< 1		
<i>Ester</i>				
Ethylacetat	3,0	22,9	23	
Butylacetat	2,0	26,6	27	
Isopropylacetat	< 1	< 1,5		
2-Ethoxyethylacetat (EGEEA)	< 1	< 2		
Ethylenglykolmonobutyletheracetat (EGBEA, 2- Butoxyethylacetat)	< 1	< 1		
Dimethylphthalat	< 1	< 2		
Texanol	< 1	2,0	2,0	
TXIB (Texanolisobutytrat)	< 1	3,0	3,0	
<i>Sonstige</i>				
1,4 Dioxan	< 1	< 3		
2-Pentylfuran	< 0,8	2,0	2,0	
Tetrahydrofuran (THF)	< 1	1,0	1,0	
Hexamethyltricyclosiloxan	2,5	16,0	16	

4. Auswertung und Bewertung der Messergebnisse

4.1. Leicht flüchtige organische Verbindungen (VOC) Raumluft

In der nachfolgenden Tabelle sind die gemessenen VOC-Konzentrationen den zugrunde gelegten Beurteilungswerten (Referenz-, Orientierungs- und Richtwerte) gegenübergestellt. Unterschreitungen der Auffälligkeitswerte bzw. Orientierungswerte oder des Richtwertes I gemäß UBA sind grün, Überschreitungen gelb unterlegt. Überschreitungen des toxikologisch begründeten Richtwertes II sind rot gekennzeichnet.

In der nachfolgenden Tabelle bedeuten:

N: Normalwert (AGÖF)
A: Auffälligkeitswert (AGÖF)
O: Orientierungswert (AGÖF)
RW I: Richtwert I (IRK/AOLG)
RW II: Richtwert II (IRK/AOLG)

Stoff/Stoffgruppe	Beurteilungswerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]					Messwerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Messwerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
	N	A	O	RW I	RW II	R. 24 ungelüftet	R. 27 ungelüftet
<i>Aromatische KW</i>							
Benzol	1,0	3,0	3,0	5,0		1	1
Toluol	7,0	30,0	30	300	3000	2	1
Ethylbenzol	1,0	10,0	10	200	2000	< 1	< 1
Σ Xylole (m-,p-)	3,0	29,0	29			< 1	< 1
o-Xylol	1,0	9,0	9,0			< 1	< 1
n-Propylbenzol	1,0	10,9	11			< 1	< 1
1,2,4-Trimethylbenzol	< 1	3,0	3,0			< 1	< 1
1,3,5-Trimethylbenzol	< 1	3,0	3,0			< 1	< 1
2-Ethyltoloul	1,0	6,7	6,7			< 1	< 1
Styrol	1,0	12,0	12	30	300	< 1	< 1
Phenol	< 1	3,0	3,0	20	200	3	1
o-Kresol	< 1	< 1		5	50	< 1	< 1
m-/p-Kresol	< 1	< 1				< 1	< 1
Naphthalin	< 1	1,2	1,2	10	30	< 1	< 1
4-Phenyl-Cyclohexen	< 1	< 1				< 1	< 1
<i>Aliphatische KW</i>							
n-Hexan	1,8	8,0	8,0			4	3
n-Heptan	2,0	9,0	9,0			< 2	< 2
n-Oktan	1,0	5,0	5,0			< 2	< 2
n-Nonan	< 1	5,0	5,0			< 2	< 2
n-Dekan	1,0	11,0	11			< 2	< 2
n-Undekan	2,0	14,0	14			< 2	< 2
n-Dodekan	1,0	9,0	9,0			< 2	< 2
n-Tridekan	1,0	5,0	5,0			< 2	< 2
n-Tetradecan	1,0	4,0	4,0			< 2	< 2
n-Pentadecan	1,0	3,0	3,0			< 2	< 2
n-Hexadecan	1,0	2,0	2,0			< 2	< 2
2-Methylpentan	< 1	1,2	1,2			< 2	< 2
3-Methylpentan	< 1	1,3	1,3			< 2	< 2
1-Octen	< 1,5	< 2				< 2	< 2
1-Decen	< 1,5	< 2				< 2	< 2
<i>Cycloalkane</i>							
Methylcyclopentan	< 1	3,0	3,0			2	3
Cyclohexan	1,0	9,0	9,0			39	30
Methylcyclohexan	< 1	4,0	4,0			< 2	< 2
<i>Terpene</i>							
Delta-3-Caren	1,0	25,9	26			< 2	< 2
α -Pinen	4,0	68,0	68			< 2	< 2
β -Pinen	1,0	8,7	8,7			< 2	< 2
Limonen	4,0	23,0	23			< 2	< 2
Bicyclische Terpene				200	2000	-	-
<i>Alkohole</i>							
2-Propanol	20,0	91,4	91			3	3
1-Butanol	11,0	45,7	45			< 2	2
2-Ethyl-1-hexanol	3,0	13,0	13			< 2	< 2
Benzylalkohol	< 1	4,6	4,6			< 2	< 2

Stoff/Stoffgruppe	Beurteilungswerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]					Messwerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Messwerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
	N	A	O	RW I	RW II	R. 24 ungelüftet	R. 27 ungelüftet
<i>Glykole / Glykolether</i>							
2-Methoxyethanol (EGME)	< 3	< 5		20	200	< 2	< 2
2-Ethoxyethanol (EGEE)	< 1	< 2,5		100	1000	< 2	< 2
2-Butoxyethanol (EGBE)	1,9	13,4	13	100	1000	< 2	< 2
1-Methoxy-2-propanol (2PG1ME)	2,0	14,0	14	1000	10000	2	2
2-Butoxyethoxyethanol (DEGBE)	< 2	8,0	8	400	1000	< 2	< 2
2-Phenoxyethanol (EGPhE)	1,0	5,0	5,0			< 2	< 2
Dipropylenglykol-1-methylether (D2PGME)	< 1	7,0	7,0	2000	7000	< 2	< 2
<i>Aldehyde</i>							
Butanal	2,0	10,0	10			< 2	< 2
Pentanal	4,0	20,3	20			< 2	< 2
Hexanal	11,0	54,0	54			2	2
Heptanal	2,0	6,7	6,7			< 2	< 2
Octanal	2,0	8,0	8,0			2	< 2
Nonanal	6,0	19,0	19			9	5
Decanal	2,0	7,0	7,0			< 2	< 2
2-Furaldehyd	1,0	4,0	4,0	10	100	< 2	3
Benzaldehyd	4,0	15,0	15	20	200	20	2
Σ C4 – C11 Aldehyde	-	-	-	100	2000	13	7
<i>Ketone</i>							
Methylethylketon	4,1	33,4	33			4	3
Methylisobutylketon	< 1	4,0	4,0	100	1000	< 2	< 2
Cyclohexanon	1,0	5,0	5,0			< 2	< 2
Acetophenon	1,3	4,0	4,0			6	< 2
<i>Chlorierte KW</i>							
Trichlorethen	< 1	< 1				< 2	< 2
Tetrachlorethen	< 1	< 1				< 2	< 2
1,1,1-Trichlorethan	< 1	< 1				< 2	< 2
1,4-Dichlorbenzol	< 1	< 1				< 2	< 2
<i>Ester</i>							
Ethylacetat	3,0	22,9	23			< 2	< 2
Butylacetat	2,0	26,6	27			12	< 2
Isopropylacetat	< 1	< 1,5				< 2	< 2
2-Ethoxyethylacetat (EGEEA)	< 1	< 2		200	2000	< 2	< 2
Ethylenglykolmonobutyletheracetat (EGBEA, 2- Butoxyethylacetat)	< 1	< 1		200	2000	< 2	< 2
Dimethylphthalat	< 1	< 2				< 2	< 2
Texanol	< 1	2,0	2,0			< 2	< 2
TXIB (Texanolisobutyrat)	< 1	3,0	3,0			< 2	< 2
<i>Furane</i>							
2-Pentylfuran	0,5	2,0	2			< 2	< 2
Tetrahydrofuran (THF)	< 1	1,0	1,0			< 2	< 2

Beim Vergleich der Messwerte mit den unterschiedlichen Beurteilungswerten ist zu beachten, dass sich die Referenzwerte der AGÖF/UBA-Datenbank auf Messungen im Ausgleichszustand (ungelüfteter Zustand) beziehen. Die Richtwerte des Umweltbundesamtes gelten jeweils für übliche Nutzungsbedingungen, die je nach Nutzungstyp (Privatwohnung, Büroarbeitsplatz, Schulklassenraum etc.) unterschiedlich sein können.

Vergleich mit den Richt- und Leitwerten des Umweltbundesamtes

Im Raum 24 im 2.Obergeschoss ist der Richtwert I des Stoffes Benzaldehyd geringfügig überschritten. In allen weiteren untersuchten Räumen wurden die Richt- und Leitwerte des Umweltbundesamtes nicht überschritten.

Vergleich mit den Referenz- und Orientierungswerten der AGÖF

In beiden untersuchten Räumen wurden der Auffälligkeitswert des Stoffes Cyclohexan überschritten.

Eine weitgehende geringfügige Überschreitung der Auffälligkeitswerte der Stoffe Phenol und Acetophenon wurde im Raum 24 im 2.Obergeschoss ermittelt.

Vergleich mit den vorläufigen Geruchsleitwerten des Umweltbundesamtes

In den untersuchten Räumen wurden die vorläufigen Geruchsleitwerte nicht überschritten.

Fazit

Die Gesamtbelastung der Raumluft mit leicht flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) fallen nach den zugrunde gelegten Kriterien des Umweltbundesamtes für den Raum 24 im 2.Obergeschoss auf Grund der Richtwertüberschreitung trotz einer Gesamtbelastung von $< 1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in die Kategorie „hygienisch auffällig“.

Der Raum 27 ist in die Kategorie „hygienisch unbedenklich“ einzustufen.

4.2 Gesamtbewertung und Vorschläge zur weiteren Vorgehensweise

Insgesamt ist das Belastungsniveau der Raumluft in den untersuchten Räumen mit leicht flüchtigen organischen Verbindungen, als nicht erhöht einzuordnen. Die Gesamtbelastung mit Ausnahme des Raumes 24 im 2.Obergeschoss ist nach den Kriterien des Umweltbundesamtes als „hygienisch unbedenklich“ einzustufen.

Im Raum 24 wurde eine geringfügige Überschreitung des Richtwertes I des Stoffes Benzaldehyd ermittelt. Hierbei handelt es um einen Stoff der Gruppe der Aldehyde und besitzt einen auffälligen Bittermandelgeruch. Daher findet Benzaldehyd auch in der Lebensmittelindustrie als Aromastoff und bei der Herstellung von Parfum Anwendung. In Baustoffen wurde eine Verwendung in Kunstharzprodukten nachgewiesen.

Im Raum konnten jedoch keine entsprechenden Baustoffe oder Materialien festgestellt werden.

Längere Aufenthalte in Räumen mit stark erhöhten Benzaldehyd-Konzentrationen führen zu Reizungen der oberen Atemwege, der Geruch wird bei sehr hohen Konzentrationen als penetrant empfunden.

Grundsätzlich ist für die Nutzung des Raumes ein verstärktes Lüften zu empfehlen. Hier ist das Lüftungsschema für Schulräume des Umweltbundesamtes zu beachten.

Die Raumluft sollte unter Beachtung des verstärkten Lüftens in einem Zeitrahmen von ca. 3 Monaten noch einmal überprüft werden.

In beiden Räumen konnten jedoch leicht erhöhte Belastung mit dem Stoff Cyclohexan ermittelt werden. Darüber hinaus im Raum 24 eine ebenfalls leicht erhöhte Belastung mit den Stoffen Phenol und Acetophenon. Diese Stoffe finden sich in Steinkohleteer-Produkten, die möglicherweise auf Reste von PAK-haltigen oder -belasteten Materialien hinweisen. Die Belastungen liegen jedoch unterhalb kritischer Werte. Können jedoch auf Grund ihrer niedrigen Geruchsschwelle für zeitweise auftretende Geruchsauffälligkeiten verantwortlich sein.

Die Nutzung der Räume im gegenwärtigen Belastungsniveau ist allerdings ohne weitere Maßnahmen uneingeschränkt möglich.

5. Materialuntersuchungen

5.1 Probenahmen

Die Probenahme erfolgte durch uns am 11.03.2019.

Die entnommenen Materialproben sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Materialproben mit Verdacht auf PAK:

James-Rizzi-Schule, Hoher Weg 15 - 17 in 47137 Duisburg			
Proben-Nr.	Material/ Probenart	Beschreibung	Herkunft
037/19 - M 1	Parkett	Parkett mit schwarzem Kleber	Flur, 2.OG

5.2 Messmethode

5.2.1 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Das Probenmaterial wurde zerkleinert und mit Toluol extrahiert. Die Bestimmung des PAK-Gehaltes erfolgte mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) mit Fluoreszenzdetektor (gemäß EPA 610 nach Kaltextraktion).

5.3 Mess- und Untersuchungsergebnisse

5.3.1 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Die Analyse der Materialprobe ergab die in der folgenden Tabelle aufgeführten Messergebnisse für die überprüften Parameter.

Stoff	Konzentration [mg/kg]
	Probe 000/19 – M 1 (Parkett mit Kleber)
Naphthalin	0,2
Acenaphthylen	0,1
Acenaphthen	0,1
Fluoren	0,2
Phenanthren	4,7
Anthracen	0,2
Fluoranthren	7,1
Pyren	4,8
Benzo(a)anthracen	1,9
Chrysen	1,9
Benzo(b)fluoranthren	1,9
Benzo(k)fluoranthren	0,8
Benzo(a)pyren	1,1
Dibenzo(a,h)anthracen	0,3
Benzo(g,h,i)perylene	0,5
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	0,4
Σ PAK nach EPA	26,2

6. Bewertungsgrundlagen

6.1 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Gemäß TRGS 905 ist ein Produkt als krebserzeugend (Kategorie 1 oder 2 im Sinne des § 3 Abs. 2 GefStoffV) zu bewerten, wenn der Benzo(a)pyren-Gehalt mehr als 0,005 % (entsprechend 50 mg/kg) beträgt /10/.

7. Bewertung

7.1 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Der stichpunktartig untersuchte Parkettboden weist keinen erhöhten Benzo(a)pyren-Gehalt auf und ist daher nicht als krebserzeugend (Kategorie 1) einzustufen.

8. Raumlufthuntersuchungen Schimmelpilz

8.1 Methodisches Vorgehen und Randbedingungen

Probenahmen und Auswertung erfolgten unter Berücksichtigung der VDI-Richtlinie 4300, Blatt 10 /11/.

Die Erfassung der Pilzsporen in der Luft erfolgte nach dem Impaktionsprinzip mit dem Luftkeimsammelgerät MAS 100. Mittels einer Pumpe wird dabei ein definiertes Luftvolumen über eine sterile Nährbodenplatte gesaugt, wobei sich die Mikroorganismen auf dem Nährboden abscheiden. Der Nährboden wird im Labor unter bestimmten Temperaturbedingungen bebrütet, wobei die Mikroorganismen zu visuell erkennbaren Kolonien heranwachsen. Als Selektiv-Nährmedien für die Schimmelpilze wurden DG 18- und MEA-Agar verwendet. Die Nährböden mit den Schimmelpilzsporen wurden eine Woche lang bei 25° C bebrütet und in diesem Zeitraum mehrmals die Anzahl der gebildeten Schimmelpilz-Kolonien bis zur Konstanz der Werte ausgezählt. Hieraus wurde die Anzahl der Kolonien bildenden Einheiten pro Volumeneinheit errechnet (KBE/m³). Zusätzlich wurden die dominierenden Gattungen bestimmt.

Die Luftproben wurden am 11.03.2019 in einer Höhe von ca. 1,5 m über dem Fußboden genommen. Es wurden je zwei Parallelproben genommen und ausgewertet. Die Dauer der Probenahme betrug jeweils etwa eine Minute, das Probenahmenvolumen 100 Liter. Zum Vergleich wurden weiterhin zwei Proben der Außenluft in Gebäudenähe genommen (Probenahmenvolumen ebenfalls 100 Liter).

8.2 Messergebnisse

Die Ermittlung der Schimmelpilzsporenkonzentrationen in der Raumluft und in der Außenluft führte zu den in der Tabelle 1 dargestellten Ergebnissen.

Tabelle 1: Kultivierbare Schimmelpilze in den Luftproben vom 11.03.2019
(Auswertung gemäß VDI-Richtlinie 4300, Blatt 10)

Probe-Nr.	Messort	Schimmelpilz-konzentration [KBE*/m³]	Dominierende Gattungen [KBE*/m³]	
037/19 - L 3	Raum 24 2.OG	230	10	Cladosporium sp. ²
			30	Penicillium spp. ¹
			180	Steriles Mycel ³
			10	Sonstige
037/19 - L 4	Flur 2.OG	290	50	Cladosporium spp. ¹
			90	Penicillium spp. ¹
			10	Aspergillus flavus
			40	Hefen
037/19 - L 5	Raum 27 2.OG	170	100	Steriles Mycel ³
			20	Cladosporium spp. ¹
			20	Penicillium spp. ¹
			10	Aspergillus sp.
037/19 - L 6	Außen- luft	380	10	Hefen
			80	Steriles Mycel ³
			30	Sonstige
			90	Cladosporium spp. ¹
			20	Penicillium spp. ¹
			10	Aspergillus fumigatus
			30	Hefen
			210	Steriles Mycel ³
			20	Sonstige

* KBE: koloniebildende Einheiten

¹ spp.: mehrere Arten dieser Gattung

² sp.: eine Art dieser Gattung

³ Steriles Mycel: Um eine Pilzgattung oder -art bestimmen zu können, müssen Sporen (Konidien) und Fruchtkörper (Konidiophoren) vorhanden sein. Ist bei einer Analyse nur ein Mycel (Schimmelpilzhyphen) nachweisbar, kann der Pilz nicht identifiziert werden. Der Befund wird als „steriles Mycel“ angegeben.

⁴ KMT: Kolonie-Morphologie-Typ. Ein KMT entspricht einer Art dieser Gattung.

9.1 Bewertung der Untersuchungsergebnisse zur Schimmelpilzsporenbelastung

9.2 Beurteilungsgrundlagen

Für Büroarbeitsplätze, Versammlungsstätten und private Innenräume bestehen im Gegensatz zu bestimmten Arbeitsplätzen der Abfallwirtschaft keine amtlichen oder gesetzlichen Begrenzungswerte für Schimmelpilze in der Raumluft.

Die Bewertung von Schimmelpilzsporenkonzentrationen in der Raumluft wird u. a. dadurch erschwert, dass Schimmelpilze in der Umwelt natürlicherweise vorkommen und die Konzentrationen jahreszeitlich bedingt stark schwanken. Die vorliegenden epidemiologischen Studien bestätigen zwar einen Zusammenhang zwischen Schimmelpilzbefall in Wohnräumen und Gesundheitsbeschwerden der Bewohner; es lassen sich bisher aber keine quantitativen Dosis-Wirkungsbeziehungen und damit keine Richtwerte für „akzeptable“ Schimmelpilzsporenkonzentrationen in Innenräumen ableiten /12/.

Vom Umweltbundesamt wurde eine Bewertungshilfe für Luftproben entwickelt, die nachfolgend in tabellarischer Form (Tabelle 3) wiedergegeben ist.

Tabelle 3: Bewertungshilfe für Luftproben – kultivierbare Schimmelpilze
(aus /13/)

Bewertungshilfe für Luftproben – kultivierbare Schimmelpilze (KBE/m³)

Cladosporium sowie andere Pilzgattungen, die in der Außenluft erhöhte Konzentrationen erreichen können (z. B. sterile Myzelien, Hefen, Alternaria, Botrytis)	Wenn in der Innenraumluft nicht mehr Sporen einer Gattung als in der Außenluft vorliegen $A_{\text{int}} \leq A_{\text{ext}}$	Wenn die Konzentration einer Gattung in der Innenraumluft über dem 1-fachen und bis zum 2-fachen der Außenluft liegt $A_{\text{int}} + 1 \cdot A_{\text{ext}} \leq A_{\text{ext}} \times 2$	Wenn die Konzentration einer Gattung in der Innenraumluft über dem 2-fachen der Außenluft liegt $A_{\text{int}} > A_{\text{ext}} \times 2$
Summe der KBE aller untypischen Außenluftarten	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 150 KBE/m³ liegt $I_{\text{untyp}} \leq A_{\text{untyp}} + 150$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 150 KBE/m³ und bis zu 500 KBE/m³ liegt. $A_{\text{untyp}} + 150 < I_{\text{untyp}} \leq A_{\text{untyp}} + 500$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 500 KBE/m³ liegt. $I_{\text{untyp}} > A_{\text{untyp}} + 500$
eine Gattung (Summe der KBE aller zugehörigen Arten) der untypischen Außenluftarten	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 100 KBE/m³ liegt $I_{\text{untyp}} \leq A_{\text{untyp}} + 100$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 100 KBE/m³ und bis zu 300 KBE/m³ liegt. $A_{\text{untyp}} + 100 < I_{\text{untyp}} \leq A_{\text{untyp}} + 300$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 300 KBE/m³ liegt. $I_{\text{untyp}} > A_{\text{untyp}} + 300$
eine Art der untypischen Außenluftarten mit guter luftgetragener Verbreitung z. B. Aspergillus spp.	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 50 KBE/m³ liegt* $I_{\text{untyp}} \leq A_{\text{untyp}} + 50$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 50 KBE/m³ und bis zu 100 KBE/m³ liegt* $A_{\text{untyp}} + 50 < I_{\text{untyp}} \leq A_{\text{untyp}} + 100$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 100 KBE/m³ liegt $I_{\text{untyp}} > A_{\text{untyp}} + 100$
eine Art der untypischen Außenluftarten mit schlechter luftgetragener Verbreitung, z. B. Phidlophora spp., Stachybotrys chartarum	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 30 KBE/m³ liegt* $I_{\text{untyp}} \leq A_{\text{untyp}} + 30$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 30 KBE/m³ und bis zu 50 KBE/m³ liegt* $A_{\text{untyp}} + 30 < I_{\text{untyp}} \leq A_{\text{untyp}} + 50$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 50 KBE/m³ liegt* $I_{\text{untyp}} > A_{\text{untyp}} + 50$

Legende:

Die fünf Zeilen der Tabelle sind nicht als eigenständige Kriterien gedacht, sondern sind in einer umfassenden Auswertung gemeinsam zu betrachten.

Die Angaben beziehen sich auf Luftproben, die unter Nutzung oder nutzungsähnlichen Umständen in normalen Wohnräumen ohne Staubaufwirbelung entsprechend

DIN ISO 16000-16 bzw. DIN ISO 16000-18 genommen wurden (siehe auch Anlage 7).

* Konzentrationen von unter 100 KBE/m³ bzw. unter 50 KBE/m³ lassen sich bei einem Probevolumen von 100 l bzw. 200 l nicht mit einer ausreichenden Genauigkeit nachweisen, da erst ab einer Anzahl von 10 Kolonien pro Platte quantitativ mit ausreichender statistischer Sicherheit ausgewertet werden kann. Trotzdem kann der Nachweis einzelner Kolonien dieser Schimmelpilze ein erster Hinweis auf eine mögliche Innenraumquelle sein.

KBE Kolonie bildende Einheiten

I Konzentration in der Innenraumluft in KBE/m³

A Konzentration in der Außenluft in KBE/m³

typ A typische Außenluftarten bzw. -gattungen (extramurale Pilze wie *Cladosporium*, sterile Myzelien, ggf. Hefen, ggf. *Alternaria*, ggf. *Botrytis*)

untyp A untypische Außenluftarten bzw. -gattungen (intramurale Pilze wie Pilzarten mit hoher Indikation für Feuchteschäden z. B. *Acremonium* spp., *Aspergillus versicolor*, *A. penicillioides*, *A. restrictus*,

Chaetomium spp., *Phialophora* spp., *Scopulariopsis brevicaulis*, *S. lusca*, *Stachybotrys chartarum*, *Tritirachium (Engyodontium) album*, *Trichoderma* spp.)

Euntyp A Summe der untypischen Außenluftarten (andere als *typ A*)

Euntyp A eine Art, die untypisch ist in der Außenluft mit guter luftgetragener Verbreitung

Euntyp AS eine Art, die untypisch ist in der Außenluft mit schlechter luftgetragener Verbreitung

Euntyp G eine Gattung, die untypisch ist in der Außenluft

Tabelle 3 (Forts.): Bewertungshilfe für Luftproben – kultivierbare Schimmelpilze (aus /13/)

Bewertungshilfe von Luftproben – Gesamtsporensammlung (Sporen oder Myzelstücke/m³)

Bewertungshilfe von Luftproben – Gesamtsporensammlung (Sporen oder Myzelstücke/m³)				
Sporentypen, die in der Außenluft erhöhte Konzentrationen erreichen z. B. Typ Ascosporen Typ <i>Alternaria/Ulocladium</i> , Typ Basidiosporen Typ <i>Cladosporium</i>	Die Zählung von Basidio- und Ascosporen typischer Außenluftarten ist für das Aufdecken von Schimmelquellen nicht relevant. Allerdings kann man i.d.R. anhand der Konzentration dieser Sporen den Außenlufteinfluss erkennen und dadurch eine Plausibilitätsprüfung der angegebenen Probenherkunft (Außenluft, Innenraum, Lager, Keller) durchführen. Für die Beurteilung von Sporen der Gattungen <i>Cladosporium</i> und <i>Alternaria/Ulocladium</i> können wegen stark schwankenden Außenluftkonzentrationen, Depotwirkung von Staubbelägen sowie schlechter Sporenfreisetzung bei Innenraumschäden keine allgemeinen Aussagen zu Konzentrationen, die auf einen Schimmelbefall hindeuten, gemacht werden. Bei Verdacht auf Schimmelbefall mit <i>Cladosporien</i> sollte insbesondere geprüft werden, ob außen und innen die gleichen <i>Cladosporientypen</i> vorkommen.			
Typ <i>Penicillium/Aspergillus</i>	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 300 Sporen/m³ liegt $I_{\text{typ}} \leq A_{\text{typ}} + 300$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 300 Sporen/m³ und bis zu 800 Sporen/m³ liegt $A_{\text{typ}} + 300 < I_{\text{typ}} \leq A_{\text{typ}} + 800$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 800 Sporen/m³ liegt $I_{\text{typ}} > A_{\text{typ}} + 800$	
Andere typische Sporen aus Feuchteschäden Typ <i>Scopulariopsis</i> Typ <i>Acromonium murorum</i> Typ <i>Paeecilomyces</i> Typ <i>Microascus</i> Typ <i>Ascatricha</i> (Typ <i>Alternaria</i> , Typ <i>Ulocladium</i>)	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 100 Sporen/m³ liegt $I_{\text{typ}} \leq A_{\text{typ}} + 100$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 100 Sporen/m³ und bis zu 300 Sporen/m³ liegt $A_{\text{typ}} + 100 < I_{\text{typ}} \leq A_{\text{typ}} + 300$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 300 Sporen/m³ liegt $I_{\text{typ}} > A_{\text{typ}} + 300$	
Typische Sporen aus Feuchteschäden mit schlechter luftgetragener Verbreitung Typ <i>Chaetomium</i> Typ <i>Stachybotrys</i> Typ <i>Chromelosporium</i> Typ <i>Pyrenopeziza</i>	Wenn in der Innenraumluft nicht mehr Sporen als in der Außenluft vorliegen $I_{\text{typ}} \leq A_{\text{typ}}$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft bis zu 20 Sporen/m³ liegt* $A_{\text{typ}} < I_{\text{typ}} \leq A_{\text{typ}} + 20$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 20 Sporen/m³ liegt* $I_{\text{typ}} > A_{\text{typ}} + 20$	
Myzelstücke	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 150 Myzelstücke/m³ liegt $I_{\text{Myz}} \leq A_{\text{Myz}} + 150$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 150 Myzelstücken/m³ und bis zu 300 Myzelstücken/m³ liegt $A_{\text{Myz}} + 150 < I_{\text{Myz}} \leq A_{\text{Myz}} + 300$	Wenn die Differenz der Konzentration zwischen Innenraumluft und Außenluft über 300 Myzelstücken/m³ liegt $I_{\text{Myz}} > A_{\text{Myz}} + 300$	

Legende:

Die fünf Zeilen der Tabelle sind nicht als eigenständige Kriterien gedacht, sondern sind in einer umfassenden Auswertung gemeinsam zu betrachten.

Die Angaben beziehen sich auf Luftproben, die unter Nutzung oder nutzungsähnlichen Umständen in normalen Wohnräumen ohne Staubaufwirbelung entsprechend DIN ISO 16000-20 genommen wurden (siehe auch Anlage 8).

* Konzentrationen von unter 10 Sporen/m³ bzw. unter 5 Sporen/m³ lassen sich bei einem Probenvolumen von 100 l bzw. 200 l auch bei Auswertung der Gesamtspur nicht mit einer ausreichenden statistischen Genauigkeit nachweisen, da erst ab einer Anzahl von 10 Sporen pro Objektträger quantitativ ausgewertet

werden kann. Trotzdem kann der Nachweis einzelner Sporen dieser Schimmelpilze ein erster Hinweis auf eine mögliche Innenraumquelle sein.

A Konzentration in der Außenluft in Anzahl Sporen/m³,

I Konzentration in der Innenraumluft in Anzahl Sporen/m³

$\Sigma P+A$ Summe der Sporen vom Typ *Penicillium* und *Aspergillus*

$\Sigma typF$ = Summe der anderen typischen Sporen aus Feuchteschäden

$typFS$ Sporentypen aus Feuchteschäden mit schlechter luftgetragener Verbreitung

Die Mikroorganismengehalte in der Raumluft sind in sehr starkem Maße abhängig von der Außenluft. In ihr sind aber die Keimgehalte sehr starken jahreszeitlichen und witterungsbedingten Schwankungen unterworfen (vgl. Ausführungen oben). Ein verlässlicher Hinweis auf das Vorliegen einer mikrobiellen Belastung in Innenräumen ist dann gegeben, wenn die Innenraumluft signifikant höhere Keimgehalte als die Außenluft aufweist. Aber auch bei niedrigen Keimgehalten in der Innenraumluft kann eine Innenraumquelle vorliegen. Aus einer Keimquelle werden oft nur wenige Mikroorganismen freigesetzt, die dann in der Innenraumluft dominieren, während sie in der Außenluft nur in geringerer Konzentration oder gar nicht vorkommen. Eine Analyse der Artenzusammensetzung der Mikroorganismen in der Innenraumluft gemäß dem Schema der Tabelle 3 ermöglicht daher weitergehende Hinweise auf Keimquellen innerhalb des Gebäudes.

9.3 Grundsätzliche Hinweise zu Gesundheitsgefährdungen durch Schimmelpilze

Schimmelpilze können über die Atemwege, den Mund, die Haut oder über die Schleimhäute aufgenommen werden. Hinsichtlich der gesundheitlichen Auswirkungen ist zwischen allergenen, toxischen und infektiösen Wirkungen zu unterscheiden.

Nach der Aufnahme wirken Schimmelpilze sensibilisierend und können demzufolge allergische Reaktionen auslösen, die kurz- aber auch langfristig auftreten können. So kann es beispielsweise zu Augenjucken und -tränen, Fließschnupfen, trockenem Husten und Atemnot kommen. Auch die Haut kann mit Jucken, Rötung und Quaddelbildung betroffen sein. Der Dosis-Wirkungs-Zusammenhang von Sensibilisierungen ist komplex. Er hängt u. a. von der genetischen Prädisposition, der Menge und von dem allergenen Potential der Schimmelpilzsporen ab /14/.

Schimmelpilze können toxische Stoffwechselprodukte bilden (Mykotoxine). Schimmelpilztoxine können verschiedene Organe wie z.B. die Nieren, die Leber, das Blut, das Nervensystem oder das Immunsystem betreffen. Von einigen Mykotoxinen sind auch krebserregende Wirkungen bekannt. Da die Toxine vorwiegend im Mycel lokalisiert sind, ist die Freisetzung von sehr hohen Sporenzahlen oder kontaminierten Staubmengen aus Bauprodukten in die Luft nötig, um über die Atemluft größere Toxinmengen aufzunehmen.

Infektionserkrankungen durch Schimmelpilze sind sehr selten. Ein Infektionsrisiko durch Schimmelpilze besteht vor allem für Personen, deren Immunsystem geschwächt ist (beispielsweise durch chronische Erkrankungen oder durch die Einnahme immunsuppressiver Medikamente).

Epidemiologische Studien aus verschiedenen Ländern belegen, dass es einen Zusammenhang zwischen Schimmelbefall und Feuchtigkeitsschäden in Wohnungen einerseits und Gesundheitsbeschwerden andererseits gibt. Gesundheitliche Auswirkungen treten dabei vor allem in Form von Atemwegserkrankungen, Allergien, Asthma, Augenreizungen, Müdigkeit, Schwindel und Kopfschmerzen auf (/14/, /15/). Aufgrund verschiedener Faktoren lässt sich aber derzeit keine quantitative Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Schimmelpilzsporenkonzentration und Gesundheitsbeschwerden ableiten.

Zu diesen Faktoren zählen die regional und jahreszeitlich stark schwankenden Konzentrationen von Schimmelpilzsporen in der Luft, die unzureichende Kenntnis über weitere mögliche krankheitsauslösende Faktoren wie Zellwandbestandteile, Mykotoxine und Bakterien sowie die unterschiedliche individuelle Empfindlichkeit der Bewohner /12/.

Hinsichtlich ihres Infektionsrisikos werden biologische Arbeitsstoffe, zu denen neben natürlichen und gentechnisch veränderten Mikroorganismen auch Zellkulturen und Parasiten zählen, nach der Biostoffverordnung (BioStoffV) in vier Risikogruppen eingestuft /16/. Das Allergie auslösende und toxische Potential bleiben dabei unberücksichtigt. Nachfolgend sind die Definitionen der Risikogruppen zusammengestellt:

Risikogruppe 1: Biologische Arbeitsstoffe, bei denen es unwahrscheinlich ist, dass sie beim Menschen eine Infektionskrankheit verursachen (hierzu zählen auch Pilzarten, die bei stark immungeschwächten Personen Krankheiten verursachen können oder Arten, denen „nur“ ein allergenes Potential zugeschrieben wird).

Risikogruppe 2: Biologische Arbeitsstoffe, die eine Krankheit beim Menschen hervorrufen können und eine Gefahr für Beschäftigte darstellen können; eine Verbreitung des Stoffes in der Bevölkerung ist unwahrscheinlich; eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung ist normalerweise möglich.

Risikogruppe 3: Biologische Arbeitsstoffe, die eine schwere Krankheit beim Menschen hervorrufen können und eine ernste Gefahr für Beschäftigte darstellen können; die Gefahr einer Verbreitung in der Bevölkerung kann bestehen; normalerweise ist eine Vorbeugung oder Behandlung möglich.

Risikogruppe 4: Biologische Arbeitsstoffe, die eine schwere Krankheit beim Menschen hervorrufen können und eine ernste Gefahr für Beschäftigte darstellen können; die Gefahr einer Verbreitung in der Bevölkerung ist unter Umständen groß; normalerweise ist eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung nicht möglich.

10. Bewertung der Untersuchungsergebnisse und Vorschläge zur weiteren Vorgehensweise

10.1 Raumluftbelastung

Die in den untersuchten Räumen gemessenen Pilzsporenkonzentrationen der Raumluft lagen in der Summe sehr deutlich unterhalb der Belastung der Außenluft, so dass eine Innenraumquelle unwahrscheinlich ist.

Zur Bewertung hinsichtlich gesundheitlicher relevanter Schimmelpilze sind die in den untersuchten Räumen und in der Außenluft nachgewiesenen Schimmelpilze in der Tabelle 4 mit der Zuordnung zu den Risikogruppen aufgelistet.

Tabelle 4: Nachgewiesene Schimmelpilze und zugeordnete Risikogruppen gemäß TRBA 460 /17/

Art	Vorkommen		Risiko- gruppe
	Raum- luft	Außen- luft	
Aspergillus fumigatus	-	x	2
Penicillium spp.	x	x	-*
Cladosporium spp.	x	x	-*
Aspergillus flavus	x	-	-*
Aspergillus sp.	x	-	-*

Bemerkungen:

-* keine Zuordnung möglich

11. Fazit und weitere Vorgehensweise

Die untersuchten Räume im 2.Obergeschoss weisen keine signifikante Schimmelpilzbelastung auf.

12. Literatur

- /1/ VDI-Richtlinie 4300, Blatt 1, "Messen von Innenraumluchtverunreinigungen; Allgemeine Aspekte der Messstrategie", Dezember 1995
- /2/ VDI-Richtlinie 4300, Blatt 6, "Messen von Innenraumluchtverunreinigungen. Messstrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC)", Dezember 2000
- /3/ DIN EN ISO 16000-2, Innenraumluchtverunreinigungen – Probenahmestrategie für Formaldehyd, Juni 2006
- /4/ DIN EN ISO 16000-5, Innenraumluchtverunreinigungen – Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC), Mai 2007
- /5/ DIN EN ISO 16000-6, Innenraumluchtverunreinigungen – Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS/FID, Dezember 2004
- /6/ Ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygienekommission des Umweltbundesamtes und Vertretern der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden, Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten, Bundesgesundheitsblatt 50, H. 7, S. 990-1005, 2007
- /7/ Ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygienekommission des Umweltbundesamtes und Vertretern der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden, Ermittlung und Beurteilung chemischer Verunreinigungen der Luft von Innenraumarbeitsplätzen (ohne Tätigkeit mit Gefahrstoffen), Bundesgesundheitsblatt 57, H. 8, S. 1002-1018, 2014
- /8/ Ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygienekommission des Umweltbundesamtes und Vertretern der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden, Gesundheitlich-hygienische Beurteilung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft mithilfe von Geruchsleitwerten, Bundesgesundheitsblatt 57, H. 1, S. 148-153, 2014
- /9/ Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), AGÖF-Orientierungswerte für Inhaltsstoffe von Raumlufthausstaub, <http://www.agoef.de>

- /10/ Hoffmann, H., Plieninger, P., Bereitstellung einer Datenbank zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Innenraumluft, WaBoLu-Hefte 05/08, 2008
- /11/ Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 905, Verzeichnis krebserzeugender, keimzellmutagener oder reproduktionstoxischer Stoffe, Ausgabe März 2016, zuletzt geändert und ergänzt 2018
- /12/ VDI-Richtlinie 4300, Blatt 10, Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messstrategien bei der Untersuchung von Schimmelpilzen im Innenraum, Juli 2008
- /13/ Moriske, H.-J., Szewzyk, R. (2002): Leitfaden des Umweltbundesamtes zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilz-Leitfaden“). Schriftenreihe des Instituts für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Universität Lübeck, Band 6, S. 83 – 104.
- /14/ Umweltbundesamt (Hrsg.): Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelpilzbefall in Gebäuden. November 2017
- /15/ Gabrio, T., Dill, I., Grüner, Ch., Fischer, G., Palmgren, U., Richardson, N., Seidl, H. P., Szewzyk, R., Trautmann, Ch., Weidner, U. (2002): Wohnungshygienische Umgebungsanalyse – Begehungsprotokoll – und Qualitätssicherung aus der Sicht des LGA Baden-Württemberg. Schriftenreihe des Instituts für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Universität Lübeck, Band 6, S. 105 – 168.
- /16/ Herr, C., Eikmann, S., Eikmann, F. (2002): Umweltepidemiologische Studien über gesundheitliche Auswirkungen mikrobieller Expositionen im Innenraum durch Schimmelpilze und Feuchtigkeit. Schriftenreihe des Instituts für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Universität Lübeck, Band 6, S. 61 – 74.
- /17/ Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung – BioStoffV) vom 27. Januar 1999 (BGBl. I, S. 50), zuletzt geändert durch Art. 3 der Verordnung vom 18. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2768)
- /18/ Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA) 460, Einstufung von Pilzen in Risikogruppen, Neufassung Bundesarbeitsblatt 10/2002

Essen, 04.04.2019

gez. der Sachverständige

Anlage:

- Fotodokumentation