

**Gemeinschaftsgrundschule
Friedenstr. 7 in
47053 Duisburg**

**Raumlufthygienische
Untersuchung**

22. Oktober 2019

**TÜV NORD Systems
GmbH & Co. KG**
Klima – und Bautechnik
Essen
Am TÜV 1
45307 Essen
Telefon +49 (0)201 825-3381
essen@tuev-nord.de
www.tuev-nord.de
Amtsgericht Hamburg
HRB 88330
Geschäftsführung
Rudolf Wieland (Sprecher)
Dr. Ralf Jung
Ulf Theike

TÜV®

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

Objekt: Computerraum, UG
Gemeinschaftsgrundschule
Friedenstr. 7
47053 Duisburg

TÜV NORD-Geschäfts-Nr.: ISGBW-0211/19
TÜV NORD-Auftrags-Nr.: 81 17 47 27 62

Bearbeiter: Uwe Faoro

Freigegeben: Klima- und Bautechnik Essen

(TÜV NORD Projektleiter)

Dieser Bericht umfasst 24 Seiten.

1. Einleitung

Auf den Grundlagen des Angebotes der TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG, nachfolgend TÜV NORD genannt, vom 06.06.19 und der Beauftragung vom 01.07.19 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) im Computerraum der Gemeinschaftsgrundschule Friedenstr. 7 in 47053 Duisburg.

Der Anlass für die Untersuchungen ist das Vorhandensein von Geruchsauffälligkeiten im Computerraum im UG.

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

2. Raumlufthuntersuchungen

2.1 Probenahme und Randbedingungen

Die Probenahme erfolgte 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 Luftprobe wurde am 01.10.2019 im untersuchten Raum in einer Höhe von ca. 1 bis 1,5 m über dem Fußboden genommen.

Die Messung erfolgte 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 Probenahme und das dabei angesaugten Probenluftvolumen ist in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Proben-Nr.	Raum	Stoff/Stoffgruppe	Datum	Probenahmedauer	Probenahmenvolumen [Liter]	Adsorptionsmedium
211/19 – L1	Computerraum UG ungelüftet	VOC	01.10.2019	08:55 – 09:15	3,0	Tenax

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

Raum	Raumluft- temperatur [°C]	Relative Luft- feuchtigkeit [%]
Computerraum UG (ungelüftet)	20,2	75,0

Die Temperatur der Außenluft lag in Gebäudenähe während der Messung bei 16,0° C, die relative Luftfeuchtigkeit bei 68,0 %.

Während des Aufenthaltes im Raum wurden keine signifikante Geruchsauffälligkeit 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 Raumluftproben 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, durchgeführt.

2.3.1 Leicht flüchtige organische Verbindungen (VOC)

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

Stoff/Stoffgruppe	Konzentration [µg/m³]
	Computerraum UG ungelüftet
<i>Aromatische Kohlenwasserstoffe</i>	
Benzol	2
Toluol	5
Ethylbenzol	2
Σ Xylole (m-,p-)	2
o-Xylol	2
n-Propylbenzol	4
1,2,4-Trimethylbenzol	13
1,3,5-Trimethylbenzol	5
2-Ethyltoluol	3
Styrol	4
Naphthalin	< 1
1-Methylnaphthalin	< 1
2-Methylnaphthalin	< 1
Dimethylnaphthalin***	< 1
4-Phenyl-Cyclohexen	< 1
Summe Aromaten	42
<i>Kresole</i>	
o-Kresol	< 1
m/p-Kresole	< 1
Summe Kresole	-
<i>Aliphatische Kohlenwasserstoffe</i>	
n-Hexan	4
n-Heptan	< 2
n-Oktan	< 2
n-Nonan	< 2
n-Dekan	4
n-Undekan	< 2
n-Dodekan	< 2
n-Tridekan	< 2
n-Tetradecan	< 2
n-Pentadecan	< 2
n-Hexadecan	< 2
2-Methylpentan ¹⁾	< 2
3-Methylpentan ¹⁾	< 2
1-Octen	< 2
1-Decen	< 2
2-Methyl-1-propen trimer	< 2
Methylcyclopentan	< 2
Cyclohexan	7
Methylcyclohexan	< 2
Summe n-Alkane	15

Stoff/Stoffgruppe	Konzentration [µg/m³]
	Computerraum UG ungelüftet
<i>Terpene</i>	
3-Caren	< 2
α-Pinen	< 2
β-Pinen	< 2
Limonen	2
Summe Terpene	2
<i>Alkohole</i>	
2-Propanol ¹⁾	14
1-Butanol	55
2-Ethyl-1-hexanol	15
Benzylalkohol	< 2
Summe Alkohole	84
<i>Glykole / Glykolether</i>	
2-Methoxyethanol	< 2
2-Ethoxyethanol	< 2
2-Butoxyethanol	< 2
1-Methoxy-2-propanol	3
2-Butoxyethoxyethanol	< 2
2-Phenoxyethanol	2
2-(2-Methoxyethoxy)ethanol	< 2
1-Methoxy-2-(2-methoxyethoxy)-ethan	< 2
2-Ethoxyethylacetat	< 2
2-(2-Ethoxyethoxy)ethanol	< 2
2-n-Butoxyethylacetat	< 2
2-Hexoxyethanol	< 2
Dipropylenglykol-1-methylether	< 2
1-Ethoxypropan-2-ol	< 2
1(1,1-Dimethylethoxy)-2-propanol	< 2
Summe Glykole/Glykolether	5
<i>Aldehyde</i>	
Butanal ¹⁾	3
3-Methylbutanal	< 2
Pentanal	3
Hexanal	6
2-Ethylhexanal	< 2
Heptanal	2
Octanal	2
Nonanal	5
Decanal	2
Undecanal	2
Benzaldehyd	38
2-Furaldehyd	< 2
1-Methyl-2-pyrrolidon	< 2
Summe Aldehyde	63

Stoff/Stoffgruppe	Konzentration [µg/m³]
	Computerraum UG ungelüftet
<i>Ketone</i>	
Methylethylketon	8
Methylisobutylketon	< 2
Cyclohexanon	22
Acetophenon	9
Summe Ketone	39
<i>Halogen-Kohlenwasserstoffe</i>	
Trichlorethen	< 2
Tetrachlorethen	< 2
1,1,1-Trichlorethan	< 2
1,4-Dichlorbenzol	< 2
Summe halogenierte KW	-
<i>Ester</i>	
Ethylacetat ¹⁾	2
Butylacetat	< 2
Isopropylacetat	< 2
Methoxypropylacetat	< 2
Dimethylphthalat	< 2
Texanol	< 2
TXIB (Texanolisobutytrat)	< 2
Summe Ester	2
<i>Furane</i>	
2-Pentylfuran	< 2
THF (Tetrahydrofuran)	< 2
Summe Furane	-
<i>Siloxane</i>	
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	31
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	7
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	8
Dodecamethylcyclohexasiloxan (D6)	< 2
Summe Siloxane	46
<i>Sonstige²⁾</i>	
Ethanol ^{1,3)}	11
Aceton ^{1,3)}	22
m-/p-Ethyltoluol	25
Benzothiazol	15
Phenol	3
Summe Sonstige	76
Summe gesättigte acyclische, aliphatische C4-C11-Verbindungen	25
Summe VOC (TVOC)⁴⁾	322
Summe VVOC¹⁾	52

- 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 vorzugebenden 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 vorzugebenden 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 Messwerteverteilung 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 Innenraumlufth 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			
	Normalwert P 50 [µg/m³]	Auffällig- keitswert P 90 [µg/m³]	Orientierungs- wert [µg/m³]	Hinweise
<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 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
	N	A	O	RW I	RW II	Computer- raum ungelüftet
<i>Aromatische KW</i>						
Benzol	1,0	3,0	3,0	5,0		2
Toluol	7,0	30,0	30	300	3000	5
Ethylbenzol	1,0	10,0	10	200	2000	2
Σ Xylole (m-,p-)	3,0	29,0	29			2
o-Xylol	1,0	9,0	9,0			2
n-Propylbenzol	1,0	10,9	11			4
1,2,4-Trimethylbenzol	< 1	3,0	3,0			13
1,3,5-Trimethylbenzol	< 1	3,0	3,0			5
2-Ethyltoloul	1,0	6,7	6,7			3
Styrol	1,0	12,0	12	30	300	4
Phenol	< 1	3,0	3,0	20	200	4
o-Kresol	< 1	< 1		5	50	< 1
m-/p-Kresol	< 1	< 1				< 1
Naphthalin	< 1	1,2	1,2	10	30	< 1
4-Phenyl-Cyclohexen	< 1	< 1				< 1
<i>Aliphatische KW</i>						
n-Hexan	1,8	8,0	8,0			4
n-Heptan	2,0	9,0	9,0			< 2
n-Oktan	1,0	5,0	5,0			< 2
n-Nonan	< 1	5,0	5,0			< 2
n-Dekan	1,0	11,0	11			4
n-Undekan	2,0	14,0	14			< 2
n-Dodekan	1,0	9,0	9,0			< 2
n-Tridekan	1,0	5,0	5,0			< 2
n-Tetradecan	1,0	4,0	4,0			< 2
n-Pentadecan	1,0	3,0	3,0			< 2
n-Hexadecan	1,0	2,0	2,0			< 2
2-Methylpentan	< 1	1,2	1,2			< 2
3-Methylpentan	< 1	1,3	1,3			< 2
1-Octen	< 1,5	< 2				< 2
1-Decen	< 1,5	< 2				< 2
<i>Cycloalkane</i>						
Methylcyclopentan	< 1	3,0	3,0			< 2
Cyclohexan	1,0	9,0	9,0			7
Methylcyclohexan	< 1	4,0	4,0			< 2
<i>Terpene</i>						
Delta-3-Caren	1,0	25,9	26			< 2
α -Pinen	4,0	68,0	68			< 2
β -Pinen	1,0	8,7	8,7			< 2
Limonen	4,0	23,0	23			2
Bicyclische Terpene				200	2000	2
<i>Alkohole</i>						
2-Propanol	20,0	91,4	91			14
1-Butanol	11,0	45,7	45			55
2-Ethyl-1-hexanol	3,0	13,0	13			15
Benzylalkohol	< 1	4,6	4,6			< 2

Stoff/Stoffgruppe	Beurteilungswerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]					Messwerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
	N	A	O	RW I	RW II	Computer- raum ungelüftet
<i>Glykole / Glykolether</i>						
2-Methoxyethanol (EGME)	< 3	< 5		20	200	< 2
2-Ethoxyethanol (EGEE)	< 1	< 2,5		100	1000	< 2
2-Butoxyethanol (EGBE)	1,9	13,4	13	100	1000	< 2
1-Methoxy-2-propanol (2PG1ME)	2,0	14,0	14	1000	10000	3
2-Butoxyethoxyethanol (DEGBE)	< 2	8,0	8	400	1000	< 2
2-Phenoxyethanol (EGPhE)	1,0	5,0	5,0			2
Dipropylenglykol-1-methylether (D2PGME)	< 1	7,0	7,0	2000	7000	< 2
<i>Aldehyde</i>						
Butanal	2,0	10,0	10			3
Pentanal	4,0	20,3	20			3
Hexanal	11,0	54,0	54			6
Heptanal	2,0	6,7	6,7			2
Octanal	2,0	8,0	8,0			2
Nonanal	6,0	19,0	19			5
Decanal	2,0	7,0	7,0			2
2-Furaldehyd	1,0	4,0	4,0	10	100	< 2
Benzaldehyd	4,0	15,0	15	20	200	38
Σ C4 – C11 Aldehyde	-	-	-	100	2000	25
<i>Ketone</i>						
Methylethylketon	4,1	33,4	33			8
Methylisobutylketon	< 1	4,0	4,0	100	1000	< 2
Cyclohexanon	1,0	5,0	5,0			22
Acetophenon	1,3	4,0	4,0			9
<i>Chlorierte KW</i>						
Trichlorethen	< 1	< 1				< 2
Tetrachlorethen	< 1	< 1				< 2
1,1,1-Trichlorethan	< 1	< 1				< 2
1,4-Dichlorbenzol	< 1	< 1				< 2
<i>Ester</i>						
Ethylacetat	3,0	22,9	23			2
Butylacetat	2,0	26,6	27			< 2
Isopropylacetat	< 1	< 1,5				< 2
2-Ethoxyethylacetat (EGEEA)	< 1	< 2		200	2000	< 2
Ethylenglykolmonobutyletheracetat (EGBEA, 2- Butoxyethylacetat)	< 1	< 1		200	2000	< 2
Dimethylphthalat	< 1	< 2				< 2
Texanol	< 1	2,0	2,0			< 2
TXIB (Texanolisobutytrat)	< 1	3,0	3,0			< 2
<i>Furane</i>						
2-Pentylfuran	0,5	2,0	2			< 2
Tetrahydrofuran (THF)	< 1	1,0	1,0			< 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 Computerraum im Untergeschoss ist der Richtwert I für den Stoff Benzaldehyd deutlich überschritten.

Vergleich mit den Referenz- und Orientierungswerten der AGÖF

Im untersuchten Raum wurden darüber hinaus die Auffälligkeitswerte der Stoffe 1,2,4- und 1,3,5-Trimethylbenzol, Phenol, 1-Butenol, 2-Ethyl-1-Hexanol, Cyclohexanon sowie Acetophenon überschritten.

Vergleich mit den vorläufigen Geruchsleitwerten des Umweltbundesamtes

In dem untersuchten Raum wurden keine Geruchsleitwerte überschritten.

Fazit

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

4.2 Gesamtbewertung und Vorschläge zur weiteren Vorgehensweise

Insgesamt ist das Belastungsniveau der Raumluft im untersuchten Raum mit leicht flüchtigen organischen Verbindungen, als leicht erhöht einzuordnen. Die Gesamtbelastung ist auf Grund der Richtwert I – Überschreitung nach den Kriterien des Umweltbundesamtes als „hygienisch auffällig“ einzustufen.

Im Computerraum wurde eine deutliche Überschreitung des Richtwertes I des Stoffes Benzaldehyd ermittelt. Hierbei handelt es um einen Stoff der Gruppe der Aldehyde und besitzt einen auffälligen Bittermandelgeruch. Aldehyde werden in Kunststoffen, Lösungsmitteln und Farbstoffen verwendet und fallen durch ihre Geruchintensität auf. Auch der den Auffälligkeitswert überschreitende Stoff 2-Ethyl-1-hexanol findet in erster Linie als Lösungsmittel und Weichmacher Anwendung. Alle Stoffe finden sich häufig als

Zersetzungsstoff von Weichmachern in Folge von Feuchtigkeitsschäden.

Im Computerraum 33 hierfür in erster Linie der PVC-Bodenbelag in Frage, da der Raum nicht unterkellert ist.

Längere Aufenthalte in Räumen mit stark erhöhten Aldehyd-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.

Auch sollten die angrenzenden und ähnlich ausgestatteten Räume ebenfalls untersucht werden. Der Bodenbelag als mögliche Quelle sollte durch eine Prüfkammeruntersuchung isoliert betrachtet werden.

5. Literatur

- /1/** VDI-Richtlinie 4300, Blatt 1, "Messen von Innenraumluftverunreinigungen; Allgemeine Aspekte der Messstrategie", Dezember 1995
- /2/** VDI-Richtlinie 4300, Blatt 6, "Messen von Innenraumluftverunreinigungen. Messstrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC)", Dezember 2000
- /3/** DIN EN ISO 16000-2, Innenraumluftverunreinigungen – Probenahmestrategie für Formaldehyd, Juni 2006
- /4/** DIN EN ISO 16000-5, Innenraumluftverunreinigungen – Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC), Mai 2007
- /5/** DIN EN ISO 16000-6, Innenraumluftverunreinigungen – 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 Innenraumlufthygiene-Kommission 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 Innenraumlufthygiene-Kommission 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 Innenraumlufthygiene-Kommission 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 Raumluft und Hausstaub, <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

Essen, 22.10.2019

gez. der Sachverständige