

Raumluftbelastung durch aliphatische Kohlenwasserstoffe: Fallbeispiel Schule

**Indoor air contamination by aliphatic hydrocarbons:
a case study of classrooms**

Raumluftmessungen auf flüchtige organische Verbindungen (VOC) in 2 Klassenräumen einer Schule ergaben in beiden Fällen eine Überschreitung des vom Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) angegebenen, toxikologisch abgeleiteten Richtwert I von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für die Summe an Alkanen, Isoalkanen und Cycloalkanen (C_9 bis C_{14}). Zum Auffinden der Raumluftbelastungsquelle sollten jedoch neben Untersuchungen der vorhandenen Bausubstanz auch alternative Quellen mit einbezogen werden.

Indoor air measurements for volatile organic compounds (VOC) were carried out in two classrooms of a school. It was found that in both cases the toxicologically derived guideline value I of $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for the sum of alkanes, isoalkanes and cycloalkanes ($\text{C}9$ to $\text{C}14$) given by the German Committee on Indoor Guide Values (AIR) was exceeded. To find the source of indoor air pollution, alternative sources should be included in addition to investigations of the existing building fabric.

■ MSC. FLORIAN WEESE
ALAB GmbH Analyselabor in Berlin; Sachverständiger für Innenraumschadstoffe

Alkane – auch gesättigte Kohlenwasserstoffe genannt – sind chemisch recht stabile Chemikalien und werden in der Regel als Substanzgemische (aromatenearme Kohlenwasserstoffgemische unter Produktnamen wie Testbenzin, „White Spirit“, Naptha usw.) eingesetzt. Zur Gruppe der Alkane gehören die n-Alkane, die Isoaliphäten

(Isoalkane, i-Alkane) und die Cycloalkane. Alkane sind wesentliche Bestandteile der als Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) bezeichneten Fraktionen des Erdöls. Die einzelnen Fraktionen unterschiedlicher Flüchtigkeit sind als Benzine, Kerosine, Dieselöle, Heizöl, Schmieröle, Paraffine und Ceresin im Handel.

Alkane: Vorkommen und Eigenschaften

Beim Gebäuderück- oder -umbau ist vor allem im Bereich von Werkstätten, Hydraulikanlagen, Maschinenstandorten (Pressen, Drehbänke, Fräsmaschinen usw.) auf Verunreinigungen der Bausubstanz u. a. mit MKW zu achten (BayLfU, 2004). In den relativ schwer flüchtigen Erdölfaktionen wie Heizöl oder Dieselkraftstoff sind neben den geradkettigen Alkanen auch charakteristische verzweigte Alkane enthalten. Diese mikrobiell schwer abbaubaren Alkane werden daher als Indikatoren für Mineralölaltlasten verwendet. Anhand des Alkan-Belastungsprofils in der Raumluft können Hinweise auf MKW wie Dieselkraftstoff oder Heizöl als Quelle einer Belastung mit Alkanen ermittelt werden.

Alkangemische sind gut fettlöslich bzw. fettlösend mit einer geringen Wasserlöslichkeit und einem kaum wahrnehmbaren Geruch. Sie werden u. a. als Lösungsmittel in Farben, Lacken und anderen Beschichtungsmitteln, zur Extraktion und zum Entfetten, als Lösemittel in chemischen Reinigungen, in Auto-, Schuh- und Bodenpflegemitteln sowie in Möbelpolituren eingesetzt. Hexan, Cyclohexan, Oktan, Dekan und Dodekan sind die Namen einiger Einzelstoffe aus dieser Chemikalienfamilie. Petrol-ether, Siedegrenzenbenzin und Testbenzin sind Sammelbezeichnungen für Gemische dieser Substanzen mit unterschiedlichen Siedepunkten. Dämpfe von Alkangemischen reizen die Schleimhäute, können zu Erbrechen führen und in sehr hohen Konzentrationen Lungenentzündung hervorrufen. Aufgrund ihrer Lipophilie können sie in höheren Konzentrationen narkotische und neurotoxische Wirkungen im zentralen und peripheren Nervensystem hervorrufen. In der Raumluft sind sie häufig nachweisbar, meist in etwas geringeren Konzentrationen als die aromatischen Lösemittel. Langkettige Alkane sind Bestandteile von Erdöl bzw. Heizölen.

Bewertung

Für Innenraumschadstoffe gibt es bislang mit wenigen Ausnahmen keine gesetzlich festgelegten Grenzwerte. Es existieren aber Bewertungskonzepte verschiedener Institutionen, die sich in 2 Gruppen unterteilen lassen:

- toxikologisch abgeleitete Bewertungskonzepte,
- statistisch abgeleitete Bewertungskonzepte.

Bei der toxikologischen Ableitung von Richtwerten geht man meist von Experimenten aus, bei denen Versuchstiere verschiedenen hohen Konzentrationen eines einzelnen Schadstoffes ausgesetzt wurden. Mit Hilfe dieser Versuche wird eine Dosis ermittelt, bei der im Tierversuch keine erkennbaren Gesundheitsschäden wie Organveränderungen oder Stoffwechselstörungen mehr auftreten. Aus den Ergebnissen des Tierversuchs werden dann mit Hilfe sogenannter Unsicherheitsfaktoren Richtwerte für den Menschen berechnet. Für eine Auswahl an Alkanen gibt der AIR, vormals Ad-hoc Arbeitsgruppe, die in Tabelle 1 aufgeführten Richtwert- (RW-)I- und RW-II-Werte an.

Tabelle 1: Im Jahr 2005 festgelegte Richtwerte für eine Auswahl an Alkanen

Verbindung	RW I in mg/m ³	RW II in mg/m ³
C₉- bis C₁₄-Alkane / Isoalkane (aromatenarm)	0,20	2,00

Die von der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute e. V. angegebenen AGÖF-Normalwerte (ANW) und AGÖF-Orientierungswerte (AOW) stellen eine Bewertungshilfe dar (AGÖF, 2013). Statistisch abgeleitete Orientierungswerte werden mit Hilfe der Ergebnisse einer Vielzahl möglichst repräsentativer Raumluftmessungen berechnet. Mit Hilfe statistischer Rechenverfahren werden aus diesen Daten für die einzelnen Schadstoffe Schadstoffbelastungen ermittelt, deren Überschreitung eine Auffälligkeit darstellt. In Tabelle 2 sind die ANW- und AOW-Werte für Alkane zusammengefasst.

Tabelle 2: ANW- und AOW-Werte für Alkane

Substanz	ANW in µg/m³	AOW in µg/m³
n-Hexan	1,8	8,0
n-Heptan	2,0	9,0
n-Octan	1,0	5,0
n-Nonan	0,5	5,0
n-Decan	1,0	11,0
n-Undecan	2,0	14,0
n-Dodecan	1,0	9,0
n-Tridecan	1,0	5,0
n-Tetradecan	1,0	4,0
n-Pentadecan	1,0	3,0
n-Hexadecan	1,0	2,0
n-Heptadecan	0,5	2,0
n-Octadecan	0,5	1,0
2-Methylpentan	1,0	7,0
3-Methylpentan	1,0	4,0
2-Methylhexan	1,0	4,0
3-Methylhexan	1,0	6,3
2,2,4-Trimethylpentan	0,5	1,0
2,2,4,6,6-Pentamethylheptan	0,5	4,8
2,2,4,6,8,8-Heptamethylnonan	0,5	1,0
Methylcyclopantan	0,5	3,0
Cyclohexan	1,0	9,0
Methylcyclohexan	0,5	4,0

ANW Normalwerte der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute e.V.
AÖW Orientierungswerte der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute e.V.

Analytik

Die Raumluft- bzw. Luftprobenahmen erfolgten mit Hilfe von mit Tenax TA als Sorptionsmedium gefüllten Sammelförderchen. Für die Analyse mittels Gaschromatografie-Massenspektrometer (GC/MS) wurden die zu untersu-

genden Substanzen von dem beladenen Tenaxröhrchen thermisch desorbiert.

Sofern erhöhte Konzentrationen an Kohlenwasserstoffen in der Raumluft vorhanden sind, kann es im Chromatogramm zum Auftreten sogenannter Kohlenwasserstoffberge kommen. Diese bestehen in der Regel aus einer Vielzahl an unterschiedlichen Kohlenwasserstoffen. Nach den Vorgaben des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBT) werden die Flächen aller Peaks addiert und als Toluoläquivalent quantifiziert. Hierbei werden neben den n-Alkanen auch cyclische Kohlenwasserstoffe und andere Aliphaten mit erfasst. Abb. 1 zeigt ein Total Ion Chromatogramm (TIC) im Retentionszeitbereich von 15:00 bis 23:00 Minuten mit einem typischen Muster bei erhöhter Alkankonzentration in der Raumluft (DIBt, 2019).

Fallbeispiel Schule

Alkangemische weisen häufig einen nur sehr gering wahrnehmbaren Geruch auf. So klagten in einer neu errichteten Schule mehrere Lehrer und Schüler vermehrt über Kopfschmerzen, obwohl in den betroffenen Räumen kein auffälliger Geruch wahrgenommen werden konnte.

Angaben zum Gebäude

Das Gebäude wurde Mitte der 2010er-Jahre in Modulbauweise errichtet. Die Betongeschoßdecken sind in den Klassenräumen mit Deckenplatten aus Mineralfaser abgehängt. Als Bodenbelag wurde Linoleum, als Wandbelag Glasfasertapete und teilweise Putz mit Dispersionsfarbe verwendet. Die Konvektionsheizkörper befinden sich unterhalb der verbauten Isolierglasfenster mit Gummilippenabdichtungen. Eine raumlufttechnische Anlage (RLT-Anlage) ist nicht vorhanden. Die Lüftung erfolgt ausschließlich über die Fenster.

Raumluftmessungen

Die untersuchten Unterrichtsräume waren vor Beginn der Probenahmen für einen Zeitraum von mindestens 8 Stun-

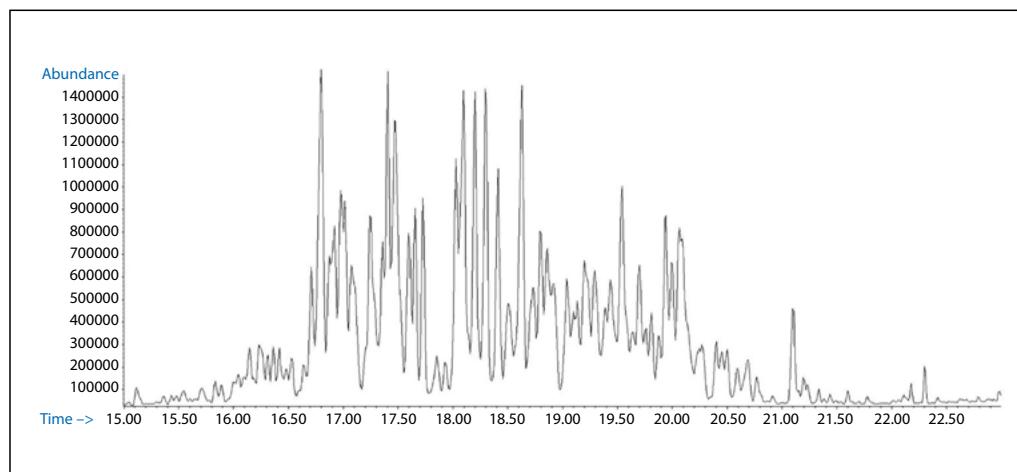


Abb. 1: TIC (Retentionszeitbereich von 15:00 bis 23:00 Minuten) der Raumluft im Klassenraum A. Aufgetragen wurde die Signalintensität über der Retentionszeit.

den nicht gelüftet worden. Die Probenahmen wurden somit unter sogenannten Ausgleichsbedingungen durchgeführt. In der Raumluft des zum Zeitpunkt der Probenahme ungelüfteten Klassenraums A (EG) lag die Gesamtbelastung mit VOC (TVOC-Wert) mit $730 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im oberen Konzentrationsbereich, in der Raumluft des Klassenraums B (1. OG) mit $450 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im unteren Konzentrationsbereich von > 300 bis $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe als hygienisch noch unbedenklich eingestuft ist.

Bei Anwendung der AÖW konnten im Klassenraum A statistisch auffällige Raumluftkonzentrationen für die Substanzen n-Undecan, 2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonan, Cyclopentan und Methylcyclohexan festgestellt werden. Im Klassenraum B wurde lediglich n-Undecan als statistisch auffällig ermittelt. Als deutlicher Hinweis auf das Vorhandensein weiterer Iso- und Cycloalkane kann das Auftreten von sogenannten Kohlenwasserstoffbergen im TIC der beiden Klassenräume gewertet werden (siehe Abb. 1).

Mit $586 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde der toxikologisch begründete RW I für die Summe der Alkane/Isoalkane/Cycloalkane (C_9 bis C_{14}) von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in dem Klassenraum A überschritten. Aufgrund der Überschreitung in dem ungelüfteten Raum um den Faktor 2,9 war mit hoher Wahrscheinlichkeit auch bei Einhaltung der Technischen Regel für Arbeitsstätten: Lüftung (ASR A3.6, 2012) mit einer Richtwertüberschreitung zu rechnen.

Bezüglich des Klassenraums B wurde der toxikologisch begründete RW I für die Summe der Alkane/Isoalkane/Cycloalkane (C_9 bis C_{14}) mit $362 \mu\text{g}/\text{m}^3$ um den Faktor 1,8 überschritten.

Anhand der Raumluftmessungen konnte somit ein weiterführender Handlungsbedarf hinsichtlich des Auffindens der Raumluftbelastungsquelle mit Alkanen abgeleitet werden.

Vergleichende Messungen mit dem Fotoionisationsdetektor

TVOC-Messungen (Isobutenäquivalent) mittels Fotoionisationsdetektor (PID) eignen sich vor allem für vergleichende Luftuntersuchungen, z. B. im Rahmen der Quellensuche. Der PID ist ein direktanzeigendes Messgerät, bei dem die Umgebungsluft von einer Pumpe durch eine Messkammer gesaugt und dort dem UV-Licht einer hochenergetischen Gasentladungslampe ausgesetzt wird. Befinden sich Substanzen in der Luft, die durch die UV-Strahlung ionisierbar sind, entsteht im elektrischen Feld der Messkammer ein Stromfluss, der verstärkt und auf dem Display des Gerätes als Luftkonzentration in einer Einheit von $\mu\text{g}/\text{m}^3$ angezeigt wird.

Der PID zeigte sowohl in den Klassenräumen A und B als auch auf den Fluren und in einigen Nebenräumen deutlich erhöhte Immissionen von VOC (TVOC_{PID}) an. Die Werte lagen in einem Bereich von mehreren Tausend $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Weiterhin konnte an einigen Stellen im Gebäude durch unterschiedliche Belastung der Bodenplatte ein geringer Pumpeffekt des Fußbodens festgestellt werden (siehe Abb. 2). Eine nähere Eingrenzung der Raumluftbelastungsquelle konnte anhand der vergleichenden PID-Messungen jedoch nicht vorgenommen werden.

Oberflächenemissionsprüfungen

Im Rahmen eines zweiten Ortstermins wurden Oberflächenemissionsprüfungen durchgeführt. Hierfür wurde eine Oberflächen-Emissionsprüfzelle verwendet. Es handelt sich um eine mobile Vorrichtung zur Bestimmung flüchtiger Verbindungen, die z. B. von Bauprodukten emittiert werden. Die Emissionsprüfzelle wird auf die zu prüfende Oberfläche aufgesetzt. Die Prüfzelle dichtet die zu untersuchende Oberfläche mit einer elastischen ringförmigen Dichtung gegen die Umgebungsluft ab. Hierüber soll eine Beeinflussung der Messwerte durch möglicherweise belastete Raumluft ausgeschlossen werden. Bei der Prüfung nicht ausreichend glatter Oberflächen (z. B. Glasfasertapete) wird die Prüfzelle zusätzlich mit einer emissionsgeprüften plastischen Dichtschnur abgedichtet. Bei der Prüfung an Deckenflächen wurde die Prüfzelle mit Hilfe eines Stativs fixiert. Die Emissionsprüfzelle weist einen Durchmesser von 150 mm (= 0,0177 m² Testoberfläche) bei einem Volumen von 35 cm³ auf. Die Zelle wird mit 700 ml/min gereinigter Zuluft durchspült. Die Abluft der Zelle enthält die VOC, welche von der Testoberfläche abgegeben werden (siehe Abb. 3). Die Ergebnisse der Messungen mittels Oberflächen-Emissionsprüfzelle werden als flächenbezogene Emissionsrate in µg/(m²h) angegeben.

In einem ersten Schritt wurde die Oberflächen-Emissionsprüfzelle in Kombination mit dem PID verwendet, um direkt vor Ort Hinweise auf stark VOC emittierende Oberflächen zu erhalten. Für die Oberflächenemissionsprüfung wurde der Ansaugschlauch des PID mit der Abluftöffnung der Oberflächen-Emissionsprüfzelle über einen Teflonschlauch verbunden (siehe Abb. 4). Der mit dem PID gemessene TVOC_{PID} ist nur bedingt vergleichbar mit dem mittels GC/MS ermittelten TVOC_{GC/MS}, da der PID auf Einzelsubstanzen unterschiedlich empfindlich anspricht.



Abb. 2: PID-Messung zur Ermittlung des TVOC_{PID}

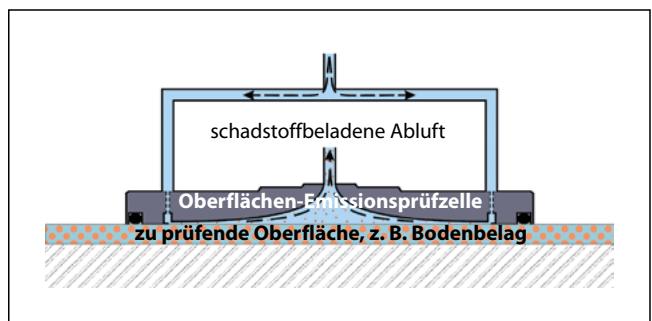


Abb. 3: Querschnitt durch eine Oberflächen-Emissionsprüfzelle

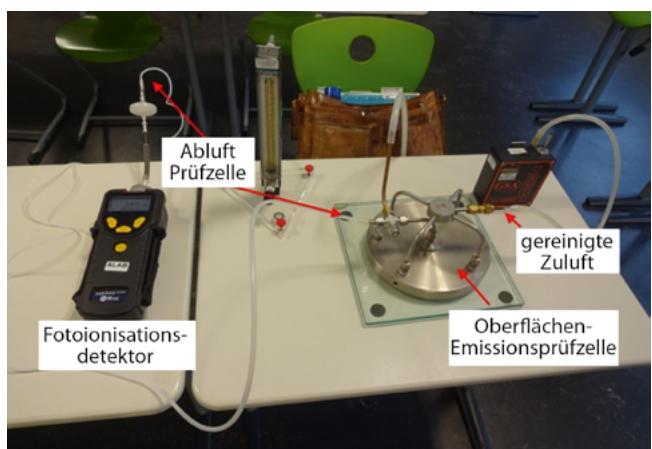


Abb. 4: Messanordnung Oberflächen-Emissionsprüfzelle / PID

Im zweiten Schritt wurden Oberflächenemissionsprüfungen auf VOC mit Hilfe von mit Tenax TA als Sorptionsmedium gefüllten Sammelrörchen durchgeführt.

Die Sammelrörchen wurden mit der Abluftöffnung der Oberflächen-Emissionsprüfzelle verbunden und mit 2 l Abluft beladen (siehe Abb. 5).

Für die Analyse mittels GC/MS wurden die zu untersuchenden Substanzen von dem beladenen Tenaxrörchen thermisch desorbiert. Die quantitative Analyse erfolgte mittels GC/MS.

Die Ergebnisse der Oberflächenemissionsprüfungen für den Klassenraum A sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Es wurden insgesamt 6 verschiedene Messpunkte in dem Raum für die Oberflächenprüfungen gewählt, 3 an der Unterseite der Betondecke und jeweils ein Messpunkt an der Außen-, der Innenwand und dem Fußboden.

Auch die Ergebnisse der Oberflächenemissionsprüfungen erbrachten keine nähere Eingrenzung der Raumluftbelastungsquelle. Eine Sekundärkontamination der untersuchten Oberflächen konnte nicht ausgeschlossen werden. Tendenziell scheint die Fußbodenoberfläche die geringsten Emissionen an VOC und insbesondere an Alkanen aufzuweisen.

Untersuchungen von Materialproben

Ziel der Untersuchungen war die Eingrenzung der Quellbereiche der in der Raumluft mehrerer Räume der Schule in erhöhten Konzentrationen nachgewiesenen Alkane/Isoalkane/Cycloalkane. Im Rahmen eines dritten Ortstermins wurden im Klassenraum A sowohl an der massiven Außenwand als auch an der Leichtbauinnenwand Bohrkerne entnommen. Zusätzlich wurde eine Probe der Mineralwolle aus der Leichtbauwand untersucht. Die Bohrkerne wurden mit Hilfe einer Diamantbohrkrone (Bohrkern Außenwand) bzw. einer Lochsäge (Bohrkern Leichtbauwand) mit Durchmessern von ca. 50 mm entnommen. Die Mineralwolle wurde aus dem Zwischenraum der Leichtbauwand mit Hilfe einer Pinzette entnommen (siehe Abb. 6 und 7).

Ein Aliquot des jeweiligen Probenmaterials wurde in einem kleinen Prüfraum auf 60 °C temperiert. Dabei wurde über einen Zeitraum von 2 Stunden gereinigte Luft über

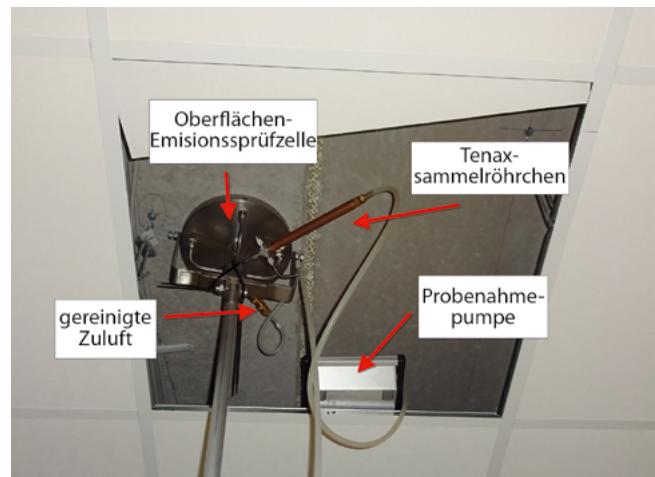


Abb. 5: Messanordnung Oberflächen-Emissionsprüfzelle / Tenaxsammelrörchen für GC/MS-Analyse



Abb. 6: Probenahme Außenwand Schicht 1



Abb. 7: Probenahme Leichtbauwand Gipskarton und Mineralwolle

Tabelle 3: Ergebnisse der Oberflächenemissionsprüfungen im Klassenraum A. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in Mikrogramm Substanz pro Quadratmeter Oberfläche und Stunde ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$).

Substanz	MP 1 Betondecke in $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$	MP 2 Betondecke in $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$	MP 3 Betondecke in $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$	MP 4 Außenwand in $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$	MP 5 Innenwand in $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$	MP 6 Fußboden in $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$	BG in $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$
n-Hexan	2	< BG	2	2	2	2	2
n-Heptan	< BG	< BG	< BG	< BG	1	1	1
n-Octan	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	1	1
n-Nonan	< BG	< BG	1	1	< BG	1	1
n-Decan	1	1	1	3	1	< BG	1
n-Undecan	10	14	20	35	16	2	1
n-Dodecan	< BG	1	1	1	1	< BG	1
n-Tridecan	1	1	2	2	1	< BG	1
n-Tetradecan	< BG	3	3	n. a.	3	2	1
n-Pentadecan	2	3	2	2	2	2	1
n-Hexadecan	2	2	2	2	2	2	1
n-Heptadecan	1	1	1	1	1	2	1
n-Octadecan	< BG	< BG	< BG	1	< BG	1	1
2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonan	< BG	1	1	1	< BG	< BG	1
TVOC_{GC/MS}	480	480	600	680	680	140	
TVOC_{PID}	824	730	1.129	870	865	126	
ΣC_9 bis C_{14}	330	370	460	550	560	40	

< BG unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG)

MP Messpunkt

n. a. nicht auswertbar

TVOC_{GC/MS} Gesamtbelastung mit flüchtigen organischen Verbindungen, gemessen mit Gaschromatografie-MassenspektrometerTVOC_{PID} Gesamtbelastung mit flüchtigen organischen Verbindungen, gemessen mittels Fotoionisationsdetektor

die Probe gezogen und die freigesetzten Substanzen wurden auf einem Tenaxröhrchen angereichert. Die adsorbier-ten Substanzen wurden von dem beladenen Tenaxröhr-chen thermisch desorbiert und mittels GC/MS analysiert.

Die Untersuchung der 2 Schichten (0 bis ca. 5 mm, ca. 5 bis ca. 7,5 mm) des aus der Betonaußenwand des Klassen-raumes A entnommenen Bohrkerns ergab keine Hinweise auf eine Belastung des Außenwandaufbaus mit den in der Raumluft nachgewiesenen Alkanen/Isoalkanen/Cycloalkanen. Die Außenwand war somit mit sehr hoher Wahr-

scheinlichkeit keine primäre Quelle der in der Raumluft nachgewiesenen Alkane/Isoalkane/Cycloalkane.

Die Untersuchung der beiden Gipskartonschichten (GK-Schichten) der Leichtbauwand (Wand zwischen Klas-senraum A und Flur) erbrachte für die Schicht 1 (raumsei-tige GK-Schicht) eine Konzentration von 30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ an Al-kanen/Isoalkanen/Cycloalkanen (C_9 bis C_{14}) und für die Schicht 2 (dem Zwischenraum der Leichtbauwand zuge-wandte GK-Schicht) eine Konzentration von 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ an Alkanen/Isoalkanen/Cycloalkanen (C_9 bis C_{14}). Die dem

Zwischenraum der Leichtbauwand entnommene Mineralwolle wies keine Belastung mit Alkanen/Isoalkanen/Cycloalkanen (C_9 bis C_{14}) auf.

Anhand der Materialuntersuchungen konnten somit keine eindeutigen Hinweise auf die Primärquelle der in der Raumluft vom Klassenraum A nachgewiesenen Alkane/Isoalkane/Cycloalkane (C_9 bis C_{14}) gefunden werden.

Untersuchungen einer Luftprobe aus dem Hohlraum der Leichtbauinnenwand

Nach der Entnahme des Bohrkerns im Klassenraum A aus der Leichtbauinnenwand wurde zusätzlich eine Luftprobe auf Tenaxröhren aus dem Hohlraum hinter der Mineralwolle gezogen. Die Untersuchung der aus dem Zwischenraum der Leichtbauwand entnommenen Luftprobe erbrachte eine deutliche Belastung mit Alkanen/Isoalkanen/Cycloalkanen (C_9 bis C_{14}) von $1.110 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Das Muster der ermittelten Substanzen wies im TIC eine weitestgehende Übereinstimmung mit dem in der Raumluft ermittelten Substanzmuster auf. Im Vergleich zur Raumluft des Klassenraums A konnten in dem Hohlraum der Leichtbauinnenwand deutlich höhere Konzentrationen an Alkanen/Isoalkanen/Cycloalkanen (C_9 bis C_{14}) nachgewiesen werden.

Mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit wurden die Belastungen der Raumluft und der Luft im Hohlraum der Leichtbauinnenwand durch dieselbe Belastungsquelle verursacht. Da die Untersuchungen der Materialproben keine Schlüsse auf die Primärquelle der erwähnten Substanzen zugelassen haben, war die Ursache der Luft- bzw. Raumluftbelastung weiterhin ungeklärt.

Untersuchungen eines im Putzraum befindlichen Staubbindemittels

Kurz vor Beendigung des dritten Ortstermins konnte nach erstmaligem Zugang zum Lagerraum der Schule ein Kanister mit Staubbindemittel gesichtet werden, auf dessen Etikett sowohl Kohlenwasserstoffe (C_{11} bis C_{12}) als auch Isoalkane deklariert waren. Laut Produktbeschreibung dient die Flüssigkeit zum Binden von Staub und Schmutz

von allen Bodenbelägen. Eine Probe des flüssigen Staubbindemittels wurde auf Alkane/Isoalkane/Cycloalkane (C_9 bis C_{14}) untersucht und das Substanzmuster mit dem Muster der Luftprobe aus dem Hohlraum der Leichtbauinnenwand verglichen.

Das untersuchte Staubbindemittel wies für die Summe an Alkanen/Isoalkanen/Cycloalkanen (C_9 bis C_{14}) eine Konzentration von $5.970.000 \mu\text{g}/\text{kg}$ auf. Abb. 8 zeigt den Vergleich der Substanzmuster im TIC des Staubbindemittels und der analysierten Luftprobe aus dem Hohlraum der Leichtbauinnenwand. Es konnte ein nahezu identisches Muster an Alkanen/Isoalkanen/Cycloalkanen ermittelt werden.

Fazit

Aufgrund der festgestellten Übereinstimmungen der Verteilungsmuster der Alkane/Isoalkane/Cycloalkane in der Raumluft von Klassenraum A, in der aus dem Zwischenraum der Leichtbauwand gezogenen Luftprobe und in dem Staubbindemittel ist aus gutachterlicher Sicht mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass die Ursache der im Klassenraum A nachgewiesenen Raumluftbelastung mit Alkanen/Isoalkanen/Cycloalkanen der Einsatz des Staubbindemittels oder eines Produktes mit weitestgehend identischer Rezeptur ist.

In dem Zwischenraum der Leichtbauwand (Wand zwischen Klassenraum A und Flur) war im Vergleich zu den Ergebnissen der gezogenen Raumluftprobe eine deutlich höhere Konzentration an Alkanen/Isoalkanen/Cycloalkanen nachweisbar. Der Zwischenraum der Leichtbauwand ist somit mit hoher Wahrscheinlichkeit ein relevanter Quellbereich der Raumluftbelastung mit Alkanen/Isoalkanen/Cycloalkanen. Abhängig von Einsatzort und -menge des verwendeten Produktes kann die Existenz weiterer Quellbereiche nicht ausgeschlossen werden. In welchem Umfang das Staubbindemittel eingesetzt wurde, konnte nachträglich nicht mehr ermittelt werden.

Die in dem Zwischenraum der Leichtbauwand nachgewiesene, im Vergleich zur Raumluft des Klassenraums A deutlich höhere Konzentration an Alkanen/Isoalkanen/

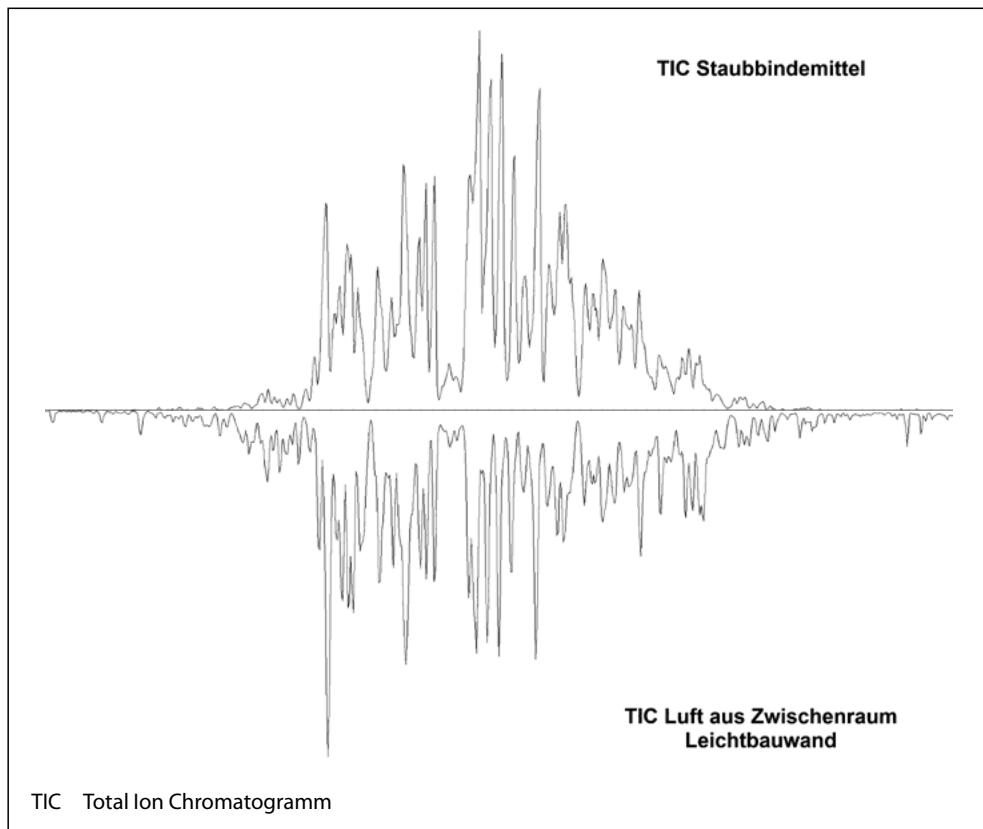


Abb. 8: Gespiegelte TIC (Retentionszeitbereich von 15:00 bis 23:00 Minuten) der Probe des Staubbindemittels und der aus dem Zwischenraum der Leichtbauwand entnommenen Luftprobe

Cycloalkanen ist mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht auf eine Anwendung des Staubbindemittels in dem Zwischenraum selbst zurückzuführen. Vermutlich führte die Anwendung des Staubbindemittels temporär zu einer stark erhöhten Konzentration an Alkanen/Isoalkanen/Cycloalkanen im Klassenraum A. Durch kleine Undichtigkeiten in der Wandbeplankung (z. B. an Steckdosen, Lichtschaltern, Randfugen) kann kontaminierte Raumluft in den Hohlraum der Leichtbauwand eindringen. Werden bei der nächsten Raumlüftung die Fenster kurzzeitig (wenige Minuten) geöffnet, sinkt die Konzentration an Alkanen/Isoalkanen/Cycloalkanen in der Raumluft schnell ab, während in dem Hohlraum der Leichtbauwand aufgrund des durch die kleinflächigen Undichtigkeiten deutlich langsameren Luftaustauschs die Luftbelastung nur langsam abnimmt. Nach Schließen der Fenster führt der Transfer von weiterhin stark belasteter Luft aus dem Hohlraum der Leichtbauwand zu einem langsamen Anstieg der Raumluftbelastung mit Alkanen/Isoalkanen/Cycloalkanen im

Klassenraum A. Der Hohlraum der Leichtbauwand fungiert aufgrund dieser „Pufferwirkung“ somit als Sekundärquelle.

Der Schule wurde empfohlen, die Verwendung von kohlenwasserstoffhaltigen Produkten für die staubbindende Reinigung in dem Schulgebäude umgehend einzustellen. Falls das oben beschriebene Szenario zutrifft, ist ab dem Zeitpunkt des Anwendungsstopps mit einem kontinuierlichen Rückgang der Raumluftbelastung mit Alkanen/Isoalkanen/Cycloalkanen zu rechnen. Es wurde empfohlen, dies durch ein entsprechendes Monitoring zu überprüfen und zu dokumentieren. Im Rahmen des Monitorings sollten in einer repräsentativen Auswahl von Räumen des modularen Schulerweiterungsbau Raumlufmessungen auf Alkane/Isoalkane/Cycloalkane in regelmäßigen Zeitabständen so lange durchgeführt werden, bis der RW I für die Summe der Alkane/Isoalkane/Cycloalkane (C_9 bis C_{14}) von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sicher und dauerhaft eingehalten wird.

Literatur

Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der IRK/AOLG (2012): Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas. In: Bundesgesundheitsblatt 55 (2), S. 279–290. DOI 10.1007/s00103-011-1420-0

[Die Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) ist eine Kommission des Umweltbundesamtes (UBA), die 1984 im damaligen Bundesgesundheitsamt (BGA) eingerichtet wurde. Nach Auflösung des BGA 1994 und Überführung des BGA-Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in das UBA 1994 wurde die IRK als UBA-Kommission fortgeführt. Die IRK berät den Präsidenten des UBA sachkundig zu allen Fragen der Innenraumlufthygiene.]

Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute e. V. (AGÖF) (2013): AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft. In: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Schadstoffe, Gerüche und schadstoffarmes Bauen. Ergebnisse des 10. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute 2013. AGÖF, Springe-Eldagsen, S. 8–36

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (BayLfU; LfU) (2004): Nutzungsbedingte Kontaminationen. Stand: März 2004. Online verfügbar unter <http://www.lfu.bayern.de/boden/fachinformationen/schadstoffratgeber/suchregister/doc/432.pdf>, zuletzt geprüft am 20.01.2010

Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) (2019): Laborhandbuch der Projektgruppe „Prüf- und Messverfahren zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten“; Referat „Gesundheits- und Umweltschutz“. Stand: 2019. Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin

DIN EN ISO 16000-1 (2006): Innenraumluftverunreinigungen – Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie. Ausgabe Juni 2006. Beuth, Berlin

Sagunski H, Mangelsdorf I (2005): Richtwerte für die Innenraumluft: Aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische (C_9-C_{14}). In: Bundesgesundheitsblatt 48 (7), S. 803–812. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/KWL.pdf>, zuletzt geprüft am 06.02.2017

Schleibinger H, Hott U, Braun P, Marchl D, Rüden H (2003): Recommendations for establishing target values and guidance values for volatile organic compounds (VOC) in indoor air. 7th International Conference 7th–11th December 2003 in Singapore. In: Healthy Buildings, S. 586–592

Technische Regeln für Arbeitsstätten: Lüftung (ASR A3.6). GMBL (2012) Nr. 6, S. 92–97, geänd. GMBL (2013), S. 359. Online verfügbar unter <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Arbeitsstaetten/ASR/ASR-A3-6.html>, zuletzt geprüft am 06.02.2017