

Gutachten

**zu den Messungen und der Bewertung der
Innenluftqualität des Lila Containers der
Europäischen Schule München 2014-2015**

11.01.2016

Benoît HAZEBROUCK, Umweltingenieur

Erstellt für: **Elternvereinigung der Europäischen Schule München**

Zum Autor

Benoît Hazebrouck verfügt über mehr als 20 Jahre Erfahrung in der Bewertung gesundheitlicher Risiken von Schadstoffen. Er war unter anderem 12 Jahre lang am französischen staatlichen „Nationalen Institut für die industrielle Umwelt und für Risiken“ (INERIS) tätig. Er hat Untersuchungen und Risikobewertungen im Bereich kontaminierte Standorte, Emissionen von industriellen Anlagen und Wiederverwertung von Abfällen selbst erstellt, und im Bereich Innenluftqualität solche Untersuchungen und Risikobewertungen begleitet.

Im Rahmen der Untersuchungen von kontaminierten Standorten hat er zahlreiche Messungen der Innenluftqualität für eine breite Palette von Schadstoffen durchgeführt und bewertet, insbesondere in Schulen. Er hat u.a. ein FAQ über Altlastenuntersuchungen auf und in der Nähe von Schulgeländen und einen methodologischen Bericht über die Charakterisierung der Innenluftqualität im Zusammenhang mit kontaminierten Standorten mit verfasst (MEEDDM, 2010; INERIS, 2010).

Zusammenfassung

Der provisorische „Lila Container“ der Europäischen Schule München (ESM) wurde im Sommer 2014 fertiggebaut und von September 2014 bis November 2015 für den Unterricht benutzt. Seit August 2014 wurde in wiederholten Messungen bis heute eine Verunreinigung der Innenluft festgestellt. Gesundheitliche Beschwerden von Kindern seit (spätestens) Oktober 2015 haben zur Evakuierung des Gebäudes Mitte November 2015 geführt. Symptome bei Kindern und Lehrern waren insbesondere Schleimhautreizung (Mund, Nase, Auge), Rhinokonjunktivitis sowie Hautausschlag an den Händen.

Infolge des Elterntreffens am 17.11.2015 wurden hier sämtliche zur Verfügung gestellte fachliche Unterlagen zum Fall (Messungen und Bewertungen) begutachtet, mit dem Ziel, folgende Fragen zu beantworten:

1. Sind die vom Bauherr BlmA beauftragten und zur Verfügung gestellten Messungen und Bewertungen glaubwürdig und befriedigend? Sollte die Elternvereinigung eigens zusätzliche „unabhängige“ Messungen beauftragen?
2. Welcher weitere Verlauf könnte empfohlen oder vorgeschlagen werden?

Dieses Gutachten führt zu den folgenden Schlussfolgerungen.

Messungen

Die Methode der Probenahmen und der Analysen durch das Synlab Umweltinstitut und dessen Protokollierung entsprechen dem Stand der Technik. Ein Wechsel des Labors für weitere „unabhängige“ Messungen wäre eher zu vermeiden, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erhalten. Eine vollständigere Dokumentation der Randbedingungen bei der Messung, zum Beispiel der möglichen Emissionsquellen in den Räumen und der vorherigen Belüftungs- und Heizungsabläufe, wäre aber notwendig.

Die Messungsbedingungen spiegeln jedoch nicht die Nutzungsbedingungen nach den Vorgaben des Umweltbundesamts (UBA) wieder. Die gemessenen Konzentrationen sind deshalb nicht direkt mit den Richtwerten des UBA vergleichbar. Diejenigen der vorliegenden Messungen, die ohne vorherige Belüftung durchgeführt wurden, erscheinen den Nutzungsbedingungen am nächsten, wenn wenig gelüftet wird (z.B. an den Unterrichtstagen im Winter). Die Messungen nach Belüftung werden zu früh (vor jeglicher Gleichgewichtseinstellung) und oft bei zu niedrigen Temperaturen durchgeführt. Sie entsprechen außerdem einem intensiven Lüftungsplan, dessen langfristige Durchführung (und Durchführbarkeit) in der Praxis fraglich erscheint.

Bewertung

In den begutachteten Bewertungen wurden für die -auffälligen- bicyclischen Terpene vorrangig die Leitwerte für den Mischparameter „*Total Volatile Organic Compounds*“ (TVOC) verwendet, die keine direkte gesundheitliche Bedeutung haben, statt die „genauer“ und gesundheitlich relevanten Richtwerte für bicyclische Terpene. Außerdem wurden die Richtwerte für die bicyclischen Terpene und die -ebenfalls auffälligen- C4-C11-Aldehyde (gesättigt, azyklisch, aliphatisch) für die einzelnen Komponenten verwendet, statt für die Summen der Konzentrationen der jeweils betroffenen Komponenten. Darüber hinaus wurde auf die Überschreitung der (neuen) Richtwerte für Acetaldehyd nicht hingewiesen. Zudem wurden nicht-aktuelle Referenzwerte der „üblichen“ Innenluftkonzentrationen in den Prüfberichten verwendet.

Die Bewertung der Konzentrationen (als hygienisch auffällig) wird durch diese Ungenauigkeiten in ihrer Gültigkeit nicht beeinträchtigt, außer bei punktuellen Einstufungen der Luftqualität nach Lüftung als „unauffällig“ (Raum LC 121 am 19.09.2015 und 21.11.2015).

Eine -begrenzte- Neubewertung der Messungsergebnisse führt zu dem Schluss, dass in den zwei wiederholt kontrollierten Räumen LC 121 und LC 213 der Richtwert I unter „Nutzungsbedingungen“ nach den Vorgaben des UBA stets überschritten wurde, der Richtwert II mindestens einmal.

Eine Überschreitung des Richtwertes I bedeutet keine unmittelbare Gefährdung der Gesundheit, kann aber zu Befindlichkeitsstörungen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen, die bei wiederholter oder längerer Einwirkung („> 12 Monate“) eine unzumutbare Belästigung darstellen. Maßnahmen sollen eine längere Einwirkung vermeiden: typischerweise wird zunächst eine verstärkte Lüftung empfohlen, nach einer gewissen Zeit ohne Erfolg („in der Regel einem Monat“) aber auch bauliche Maßnahmen oder Nutzungsänderungen.

Der Richtwert II ist ein wirkungsbezogener Wert, bei dessen Überschreiten unverzüglich zu handeln ist.

Mit Recht hatte das Synlab Umweltinstitut am 27.08.2014, vor der Benutzung des Lila Containers für den Unterricht, infolge der Überschreitung des Richtwertes II „*dringend*“ „eine Abklärung der Nutzung zum Schulbetrieb mit dem zuständigen Gesundheitsamt“ empfohlen. Die danach wiederholte alleinige Empfehlung vom Synlab Umweltinstitut und von der mplan eG, einen vorgelegten intensiven Lüftungsplan einzuhalten, kann spätestens nach einem Jahr als unzureichend bezeichnet werden, wegen der langfristigen Überschreitung des Richtwertes I auch nach Belüftung: tiefgreifende Maßnahmen waren dann notwendig geworden.

Eine Kumulierung der Auswirkungen der vier auffälligen Stoffe bzw. Stoffgruppen gilt wegen ähnlicher kritischer Auswirkungen als wahrscheinlich, so dass gesundheitliche Auswirkungen bei Konzentrationen nah unter den jeweiligen Richtwerten weniger unwahrscheinlich werden. Für das Formaldehyd existieren außerdem für die Reizung der Schleimhäute andere anerkannte Richtwerte, die unter dem deutschen Richtwert und nah über oder im Bereich der gemessenen Konzentrationen (ohne Lüftung) liegen.

Die gesamten Informationen weisen darauf hin, dass die bekannt gewordenen Symptome bezüglich der Schleimhäute und der Atemwege wahrscheinlich auf die gemessene Luftbelastung zurückzuführen sind. Das war auch ein ausreichender Grund, ab Oktober 2015 weitergehende Maßnahmen zu ergreifen (hier die Evakuierung des Lila Containers), um Kinder und Lehrer effizient vor dieser Luftbelastung zu schützen.

Empfehlungen und Vorschläge für das weitere Vorgehen

Wir gehen davon aus, dass **das Ziel** darin besteht, **das Gebäude so schnell wie möglich wieder für den Unterricht zu benutzen**. Dieses Ziel dient natürlich dem guten Ablauf des Unterrichts, aber auch der Vorbeuge vor neuen gesundheitlichen Auswirkungen, die mit der psychologischen Belastung beim aktuellen Unterricht in bedingt geeigneten Räumen verbunden sein könnten.

Eine Ermittlung und Dokumentation aller gesundheitlichen Auffälligkeiten bei Kindern und Lehrern hätte wenig Einfluss auf das weitere Vorgehen im Bezug auf den Lila Container. Lediglich gesundheitliche Beobachtungen, die eher nicht der Luftbelastung zuzuordnen wären (wie z.B. Hautausschlag an den Händen), könnten Hinweise über die Quelle(n) liefern.

Die Suche nach den Quelle(n) der Luftverunreinigung sollte höchste Priorität haben.

Die wahrscheinlichste Quelle der Terpene ist, wie von der mplan eG erläutert, das Holz der Gebäudestruktur. Andere Quellen der Terpene und der drei anderen Stoffe bzw. Stoffgruppen sollten jedoch nicht ohne weitere Dokumentation ausgeschlossen werden, z.B. Schreibtische aus Vollholz und ihre mögliche Lackierung oder Linoleum-Bodenbeläge, wenn solche vorkommen.

Für die Untersuchung von möglichen Quellen sind maßgeschneiderte Methoden zu entwickeln. Wir schlagen in diesem Gutachten zwei Methoden vor, die vor-Ort PID- oder FID-Luftmessungen¹ mit Luftprobenahmen und -analysen kombinieren.

Ist/sind die Quelle(n) erkannt, so ist -unter Voraussetzung der Machbarkeit- die Entfernung der Quelle(n) die zu bevorzugende Lösung zur Wiederherstellung der Luftqualität.

Die von mplan eG vorgeschlagene Ausgasung der Quellen durch sukzessive Heiz- und Lüftungsphasen könnte besonders lange dauern, da die Terpene nur bedingt flüchtig sind. Außerdem sollte die anschließende Effektivitätsprüfung erst nach einer ausreichenden Wartezeit (z.B. zwei Monate) durchgeführt werden, damit das Gleichgewicht der Konzentrationen innerhalb des Quellenmaterials wiederhergestellt ist.

Eine von mplan eG ebenfalls erwähnte mechanische Lüftung, z.B. mit dezentralen Anlagen (eine pro Raum) mit Wärmerückgewinnung, wäre eine potentiell realistische und effiziente Maßnahme, um die Konzentrationen unter den Richtwert I zu senken, auch in Unkenntnis der Quelle(n). Um diese Option zu prüfen und zu dimensionieren sollte die Dynamik der Emissionen quantitativ geschätzt werden. Eine erste grobe Berechnung anhand der Messungen nach Belüftung wäre sinnvoll.

Bei der Kontrolle der Luftqualität vor der Wiederinbetriebnahme und ggf. nach der Wiederinbetriebnahme (Bestätigungskontrolle) sollten die mit den Richtwerten verbundenen Vorgaben des UBA genau eingehalten werden, insbesondere die Repräsentativität der Messbedingungen (ggf. mittels wiederholter Kontrollmessungen), die vollständige Dokumentation der Messungen und der Randbedingungen (s. § 3.1) und die geeignete Verwendung der Richt- und Leitwerte (s. § 4). Folgende Stoffe bzw. Stoffgruppen sollten kontrolliert werden: Formaldehyd, Acetaldehyd, bicyclische Terpene und C4-C11-Aldehyde (gesättigt, azyklisch, aliphatisch), mindestens in den folgenden Räumen: LC15, LC 121, LC 213. Eine weitere (vorherige oder gleichzeitige) Kontrolle der Entwicklung der Innenluftqualität anhand unveränderter Messprotokolle kann sinnvoll sein.

Wir empfehlen, die Erfahrungen mit dem Lila Container in Fachkreisen zu kommunizieren, damit in anderen Fällen die Spezifikationen in den Ausschreibungen entsprechend geändert werden können (z.B. Vermeidung von weichem Holz).

¹ PID, FID: *Photo bzw. Flame Ionization Detector*.

Inhalt

1. EINLEITUNG, FRAGESTELLUNG, ZIELE.....	8
2. DOKUMENTATION ZUM FALL	9
3. MESSUNGEN	10
3.1 Messungsmethodik.....	10
3.2 Dokumentation der Randbedingungen	11
4. REFERENZ- UND RICHTWERTE	12
4.1 Statistisch abgeleitete „übliche“ Konzentrationen („Referenzwerte“)	12
4.2 TVOC Leitwerte	13
4.3 Toxikologisch abgeleitete Richtwerte	14
5. BEWERTUNG.....	16
5.1 Bewertung anhand von Referenzwerten	16
5.2 Bewertung anhand von Richtwerten.....	16
5.3 Bewertung anhand gesundheitlicher Beobachtungen	17
6. EMPFEHLUNGEN UND VORSCHLÄGE FÜR DAS WEITERE VORGEHEN.....	19
6.1 Ermittlung gesundheitlicher Auffälligkeiten bei Kindern und Lehrern.....	19
6.2 Quellensuche	19
6.2.1 Mögliche Quelle(n).....	19
6.2.2 Untersuchung von möglichen Quellen	20
6.3 Wiederherstellung der Luftqualität.....	21
6.3.1 Ausgasung der Quellen	21
6.3.2 Mechanische Lüftung.....	22
6.4 Kontrolle der Luftqualität vor und ggf. nach der Wiederinbetriebnahme	22
6.5 Verbesserung der zukünftigen Ausschreibungen	22
7. SCHLUSSFOLGERUNGEN	23
8. LITERATURVERZEICHNIS.....	26
 Anhang 1 : Fragebogen: Informationen über das Gebäude, die darin stattfindenden Tätigkeiten, die Messbedingungen	 28

Tabellenliste

Tabelle 1 : Positionierung der gemessenen Werte bezüglich der Richtwerte.....	16
---	----

Abkürzungen

ATSDR	<i>Agency for Toxic Substances and Disease Registry (USA)</i>
AGÖF	Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute
BlmA	Bundesanstalt für Immobilienaufgaben
ESM	Europäische Schule München
FID	<i>Flame Ionization Detector</i>
LOAEL	<i>Lowest Observable Adverse Effect Level</i>
NOAEL	<i>No Observable Adverse Effect Level</i>
PID	<i>Photo Ionization Detector</i>
RW	Richtwert
TRW	Toxikologischer Referenzwert
TVOC	<i>Total Volatile Organic Compounds</i>
UBA	Umweltbundesamt
VOC	<i>Volatile Organic Compounds</i>

1. EINLEITUNG, FRAGESTELLUNG, ZIELE

Der provisorische „Lila Container“ der Europäischen Schule München (ESM) wurde im Sommer 2014 fertiggebaut und von September 2014 bis November 2015 für den Unterricht benutzt. Seit August 2014 wurde in wiederholten Messungen bis heute eine Verunreinigung der Innenluft festgestellt. Gesundheitliche Beschwerden von Kindern seit (spätestens) Oktober 2015 haben zur Evakuierung des Gebäudes Mitte November 2015 geführt. Symptome bei Kindern und Lehrern waren insbesondere Schleimhautreizung (Mund, Nase, Auge), Rhinokonjunktivitis sowie Hautausschlag an den Händen.

Infolge des Elterntreffens am 17.11.2015 wurden hier sämtliche zur Verfügung gestellte fachliche Unterlagen zum Fall (Messungen und Bewertungen) begutachtet, mit dem Ziel, folgende Fragen zu beantworten:

1. Sind die vom Bauherr Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA) beauftragten und zur Verfügung gestellten Messungen und Bewertungen glaubwürdig und befriedigend? Sollte die Elternvereinigung eigens zusätzliche „unabhängige“ Messungen beauftragen?
2. Welcher weitere Verlauf könnte empfohlen oder vorgeschlagen werden?

Dementsprechend werden zunächst folgende Komponenten der Risikobewertung begutachtet:

1. Messungen,
2. Referenz- und Richtwerte,
3. Bewertung.

Dann werden Empfehlungen und Vorschläge für das weitere Vorgehen geäußert.

2. DOKUMENTATION ZUM FALL

Folgende Dokumente wurden begutachtet:

- Raumlufthuntersuchungen auf organische Lösemittel und Aldehyde, Europäische Schule München: Berichte und Ergebnisprotokolle von Synlab Umweltinstitut:

Probe-nahme	Ergebnis-protokolle	Bericht	Bedin-gungen	Räume	Analysen
13.08.2014	27.08.2014	27.08.2014	ungelüftet	13, 15, 121, 213	Aldehyde & Ketone
01.09.2014	09.09.2014	nicht vorhanden ²		121, 213	
13.09.2014	22.09.2014	08.10.2014	ungelüftet & gelüftet	121, 213	
19.02.2015	09.03.2015	23.03.2015		121, 213	VOC
23.05.2015	26.06.2015	26.06.2015		121, 213	
19.09.2015	28.09.2015	29.09.2015		121, 213	
21.11.2015	01.12.2015	02.12.2015		121, 213	VOC

- Gutachterliche Stellungnahmen der mplan eG zu den Untersuchungsberichten von Synlab Umweltinstitut:

Dokument	betrachtete Synlab Berichte
29.08.2014. Fachgutachterliche Stellungnahme. Email.	27.08.2014
15.05.2015. Zweiseitiges Anschreiben ohne die beiliegend versandte Stellungnahme.	27.08.2014, 08.10.2014, 23.03.2015, 26.06.2015
14.08.2015. Gutachterliche Stellungnahme (Vorabzug). Email.	27.08.2014, 08.10.2014, 23.03.2015, 26.06.2015
29.09.2015 (Datum nach dem Dateinamen). Fachgutachterliche Stellungnahme, Seiten 1-9 von einem Bericht.	27.08.2014, 08.10.2014, 23.03.2015, 26.06.2015, 29.09.2015

Folgende Informationen wurden zusätzlich einbezogen:

- Stellungnahmen von Herrn Prof. Nowak vom 05.11.2015:
 - Fachärztliche Bescheinigung zur Vorlage bei der Schulleitung der Europäischen Schule München-Neuperlach
 - Brief an eine Ärztin für Kinderheilkunde und Jugendmedizin.
- Informationstreffen der Elternvereinigung am 17.11.2015 und weitere Austausche mit der Elternvereinigung, insb. mit Simone Fausti, Chemikerin, die die Dokumente auch begutachtet und die Zusammenfassung dieses Berichtes gegengelesen hat.
- Diskussionen mit einzelnen Eltern und Lehrer(n).

² Dem Dateiname nach wurde der Prüfbericht „nicht bewertet“. Die Ergebnisse werden im Bericht vom 08.10.2014 nicht erwähnt (im Gegensatz zu den Ergebnissen vom August 2014).

3. MESSUNGEN

3.1 Messungsmethodik

Die Methode der Probenahmen (Adsorptionsmaterial, Ansaugraten, Probenvolumen...) und der Analysen durch Synlab Umweltinstitut und ihre Protokollierung entsprechen dem Stand der Technik. Lediglich eine genauere Bezeichnung der Probenahmehöhe („Atemhöhe der Nutzer“, mit eigentlich zwei denkbaren Nutzern: Lehrer und Kinder) wäre wünschenswert, ohne dass jedoch eine Einwirkung auf die Bewertung zu erwarten ist. Die Position der Pumpe in der Raummitte ergibt einen Mittelwert, wenn kein Hinweis auf eine bestimmte Lokalisierung von höheren Werten besteht. Für lokale Quellen ggf. unter Einfluss von lokalen Effekten (Heizung) könnten fokussierte Ziele (z.B. neben einer Heizung, neben Holzstrukturen) relevant sein.

Die minimale Dauer von 12 Stunden ohne Belüftung erscheint angemessen für eine stabile, „worst-case“ Messung (z.B. benutzte die Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) eine Dauer von 8 Stunden, um reproduzierbare Ergebnisse von Innenluftqualität zu bekommen). Die Ergebnisse „nach Belüftung“ verstehen sich als Konzentrationsmittel während der ersten Stunde nach Belüftung.

„Die Anwendung von Richtwerten als Vergleichsmaßstab setzt die Durchführung einer Messung unter üblichen Nutzungsbedingungen voraus“ (UBA, 2012). Der Begriff „übliche Nutzungsbedingung“ ist in der Handreichung zur Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten (UBA, 2007) erläutert, insbesondere für den Fall einer manuellen Belüftung:

1) Probenahmedauer:

- „Für die Bestimmung von meist akut und lokal wirkenden Reizstoffen wird in der Regel eine Kurzzeitprobenahme (...) in Frage kommen“, d.h. eine Probenahme von „weniger als eine[r] Stunde bis hin zu einigen wenigen Stunden“. Dies trifft bei den Schadstoffen zu, die hier aufgefallen sind: Terpene (Sagunski und Heinzow, 2003), Acetaldehyd (UBA, 2013), Aldehyde C4 bis C11 (gesättigt, azyklisch, aliphatisch; UBA, 2009) und Formaldehyd³.
- „Für solche [Stoffe] mit systemischer und chronischer Wirkung [kommt] überwiegend eine Langzeitprobenahme [mehreren Stunden bis hin zu Tagen oder Wochen] in Frage“.

2) Probenahmezeitpunkt: „Für z. B. eine Kurzzeitmessung in Schulen sollten als Annäherung an die realen Nutzungsbedingungen nach einer Lüftung über mindestens 5 Minuten die Fenster verschlossen und eine Gleichgewichtseinstellung für den Zeitraum von einer Schulstunde (45 Minuten) abgewartet werden. Anschließend erfolgt die Kurzzeitmessung bei weiterhin geschlossenem Raum“.

In diesem Sinn **sind weder die Messung ohne Belüftung noch die Messung unverzüglich nach Belüftung direkt mit den Richtwerten des UBA vergleichbar⁴: Sie ergeben eine Wertespanne⁵ um dem Wert der „idealen“ vergleichbaren**

³ Der Richtwert für Formaldehyd wurde auf der Basis von Reizeffekten auf die Atemwege in Schulen etabliert (AFSSET, 2007; UBA, 2006).

⁴ Das Synlab Umweltinstitut weist auch darauf hin (23.03.2015), dass „ein genauer Vergleich [der gemessenen Konzentrationen nach Belüftung mit den Richtwerten] nicht möglich ist, weil [das Umweltinstitut] keinerlei Angaben [hat], ob die Räume nach [seinen] Vorgaben am Vortag wirklich quergelüftet wurden“.

⁵ Unter der Annahme eines kompletten Luftwechsels während der Belüftung und einer konstanten Emission in die Innenluft beträgt der maximale Unterschied zwischen den durchgeführten Messungen und dem vom UBA empfohlenen Protokoll den Faktor 2,5. Die Konstanz der Emission

Messung, unter einigermaßen⁶ stabilen Bedingungen und unabhängig vom realen Belüftungszyklus. Wobei im Fall niedriger Lüftung (z.B. beim kalten Wetter) die „Worst-case“ Messung wahrscheinlich am repräsentativsten ist.

- 3) Raumtemperatur: „Die Temperatur während der Durchführung der Messung sollte in einem für den Raum typischen Bereich liegen, in der Regel also in dem für Innenräume üblichen Temperaturbereich von 19–24°C. Wenn bei davon abweichenden Temperaturen gemessen wird, muss dies berücksichtigt und begründet und auch die für dieses Raumklima typische Lüftungssituation in die Messstrategie einbezogen werden“ (UBA, 2007).

Auch in dieser Beziehung **sind mehrere Messungen ohne Belüftung⁷ und die meisten Messungen nach Belüftung⁸ ungeeignet für einen direkten Vergleich mit den Richtwerten des UBA**, außer wenn die Repräsentativität der jeweiligen Temperaturen für den Lila Container begründet werden kann.

3.2 Dokumentation der Randbedingungen

„Die bei der Probenahme vorliegenden Randbedingungen sind zu registrieren, zu dokumentieren und bei der Bewertung zu diskutieren“ (UBA, 2007).

Das Synlab Umweltinstitut nimmt in seinen Berichten die ihm vorliegenden Informationen über Heizungs- und Belüftungsabläufe auf, und weist auf die Abwesenheit von genaueren Informationen hin (z.B. Bericht vom 08.10.2014, S. 1). Eine genauere Beschreibung dieser Heizungs- und Belüftungsabläufe inkl. Randbedingungen (wie z.B. Windverhältnisse und Außentemperaturen bei den Querlüftungen) wäre notwendig, um die Entwicklung der gemessenen Konzentrationen besser zu interpretieren, z.B. hinsichtlich der Messungen in Heizungsperioden (August-September 2014, November 2015 nach der Evakuierung).

Als weitere Randbedingungen gelten:

- momentane Benutzung der Räume;
- Präsenz von möglichen Emissionsquellen: Mobiliar, Farben, Bodenbeläge...;
- Sonneneinstrahlung auf diese Materialien vor und während der Messung;
- mögliche (Luft-)Verbindungen zwischen der Holzstruktur des Gebäudes und den Klassenräumen;
- Datum der letzten Reinigung und dabei verwendete Mittel (Name, Komponenten).

Diese Informationen sind bei jeder Messung zu aktualisieren. z.B. wurden unserer Kenntnis nach Schreibtische (mögliche Quellen u.a. für Terpene oder Formaldehyd), nach der Evakuierung des Lila Containers von diesem Gebäude in ein altes Gebäude verlegt. Die Unkenntnis so einer Verlegung kann ggf. zu schweren Missinterpretationen (und zu einer Verlagerung des Problems) führen, falls diese Schreibtische wesentlich zu den bekannt gewordenen Symptomen beigetragen hätten.

ist aber nicht gesichert, z.B. wegen möglicher Temperatureffekte (Wieder-Aufwärmung der Quellenoberfläche nach der Belüftung).

⁶ Die Querlüftungsbedingungen sind auch z.B. von den meteorologischen Verhältnissen abhängig.

⁷ außer den Messungen bei verstärkter Heizung (01.09.2014 und 21.11.2015, Temperaturen 25,2°C), vier von zwölf Raummessungen, wobei drei von diesen vier Messungen eine Abweichung kleiner als 1,3°C vom Referenzbereich 19-24°C aufweisen (s. Tabelle 1 S. 16, Ergebnisse in grau).

⁸ Temperaturen generell -teilweise weit- unter dem Temperaturbereich von 19–24°C (s. Tabelle 1).

Der Fragebogen "Informationen über das Gebäude, die darin stattfindenden Tätigkeiten, die Messbedingungen" im Anhang wird als Beispiel beigefügt (auf Französisch; deutsche Übersetzung auf Anfrage). Die Holzausstattung sollte im vorliegenden Fall noch genauer detailliert werden (s. § 6.2.1).

4. REFERENZ- UND RICHTWERTE

Drei Typen von Vergleichswerten wurden verwendet:

- statistisch abgeleitete „übliche“ Konzentrationen („Referenzwerte“);
- TVOC Leitwerte;
- Toxikologisch abgeleitete Richtwerte.

Diese Werte werden in den begutachteten Dokumenten wenig erklärt und an einigen Stellen fehlerhaft verwendet. Einige Ergänzungen und Korrekturen werden in diesem Kapitel vorgeschlagen.

4.1 Statistisch abgeleitete „übliche“ Konzentrationen („Referenzwerte“)

Entsprechend der Empfehlungen des Umweltbundesamtes (UBA, 2007) führt das Synlab Umweltinstitut in seinen Prüfberichten zwei sog. AGÖF-Werte als „AGÖF Orientierungswerte“ auf: einen Wert N als „Normalwert P50“ und einen Wert A als „Auffälligkeitwert P90“. Es handelt sich um das 50. Perzentil bzw. das 90. Perzentil der Messergebnisse des Forschungsvorhabens der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) zwischen 2006 und 2012⁹. Dabei wurde die Probenahme „in der Regel nach mindestens 8 Stunden Nichtbelüftung durchgeführt, weil diese Art der Probenahme am ehesten zu reproduzierbaren Ergebnissen führt“ (AGÖF, 2013). Dieses Vorgehen sollte aber im Vergleich zu üblichen Nutzungsbedingungen zu überhöhen Werten führen. **Die „worst-case“ Messungen** (nach mindestens 12 Stunden Nichtbelüftung) **sind deshalb direkt mit den AGÖF Auffälligkeitwerten vergleichbar, die Messungen kurz nach Belüftung hingegen nicht.**

Die AGÖF (2013) weist außerdem darauf hin, dass in ihrem Datensatz ein Bias für die Parameter Formaldehyd und TVOC dadurch entsteht, dass dieser Datensatz anlassbezogene Messungen beinhaltet, dort wo „höhere Konzentrationen ermittelt werden, als dies für Einzelstoffe innerhalb von Screeninguntersuchungen der Fall ist“. Deshalb erfolgte für die Parameter Formaldehyd und TVOC eine Absenkung des Orientierungswertes (30 µg/m³ bzw. 1 mg/m³) gegenüber dem Auffälligkeitwert (81 µg/m³ bzw. 1,6 mg/m³).

Wie vom UBA (2007) erläutert ist „aufgrund seiner ausschließlich statistischen Definition (...) mit einem Referenzwert grundsätzlich keine gesundheitliche Bewertung verknüpft“; „da Referenzwerte (...) die Gegenwart von Quellen und den alltäglichen Gebrauch von Substanzen und Produkten im Innenraum für den Referenzzeitraum widerspiegeln, sind Referenzwerte im Sinne der hygienischen Bewertung vor allem für Substanzen anwendbar, die seit vielen Jahren eine breite Verwendung finden. Für erst in jüngster Zeit verstärkt angewendete Substanzen und Ersatzprodukte kann dagegen (...) keine vergleichbar breite Datenbasis vorliegen (...) Die Aussagekraft eines auf diese Weise

⁹ Der eigentliche „AGÖF Orientierungswert“ wird in den Synlab Berichten nicht aufgeführt oder verwendet. Dieser Wert „gibt an, ab welchem Messwert eine Substanz in der Innenraumluft auf Grund statistischer Auffälligkeit oder toxikologischer Erkenntnisse zu bewerten ist“ (AGÖF, 2013).

abgeleiteten Referenzwertes ist gering“. Diese Warnung könnte in unserem Fall für neuartige Holzkonstruktionen gelten.

Die von Synlab aufgeführten AGÖF Normal- und Auffälligkeitswerte unterscheiden sich von den auf der AGÖF-Website aufgelisteten Werten (AGÖF, 2013). Zum Beispiel 32,5 und 84,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ statt 35 und 81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für Formaldehyd, 23 und 72,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ statt 20 und 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für Acetaldehyd, 8 und 93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ statt 4 und 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für alpha-Pinen. Dies hat aber keine Auswirkung auf die Bewertung der Ergebnisse.

4.2 TVOC Leitwerte

„Da die Innenraumluft viele organische Verbindungen enthält und Richtwerte nur für relativ wenige Einzelverunreinigungen zur Verfügung stehen, hat die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der IRK/AOLG Maßstäbe zur Beurteilung von flüchtigen organischen Verbindungen in der Innenraumluftqualität mit Hilfe der TVOC¹⁰-Werte erarbeitet“ (UBA, 2016).

„Der TVOC-Wert hat aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung des in der Innenraumluft auftretenden Substanzgemisches keine konkrete toxikologische Basis. Er kann zur Charakterisierung der Exposition und zur Quellensuche und in der Risikobewertung als Screening-Parameter für eine mögliche sensorische Irritation benutzt werden. (...) TVOC-Werte können (...) im Sinne von Referenzwerten interpretiert werden, da in Untersuchungen TVOC-Konzentrationen um 0,3 mg/m^3 im Bereich des 50. Perzentil liegen und um 1 mg/m^3 etwa ein 95. Perzentil abbilden. (...) Die Frage der Bewertung des gesundheitlichen Risikos wie auch der Bewertung einer Geruchsbelästigung [kann ...] nicht beantwortet werden, da diese nicht von der Summe der VOC, sondern entscheidend von Art und Anteilen einzelner Verbindungen abhängt“ (UBA, 2007).

Die logische Schlussfolgerung: *„Voraussetzung für die Anwendung [der TVOC Leitwerte] ist, dass toxikologisch begründete Richtwerte von Einzelstoffen dabei nicht überschritten werden!“* (UBA, 2007).

Da im vorliegenden Fall die gemessenen TVOC Werte zu 80 % aus bicyclischen Terpenen bestehen und daher eine Überschreitung des ersten TVOC Unbedenklichkeitswerts (Stufe 1: 0,3 mg/m^3) direkt mit einer Überschreitung des Richtwerts I für die bicyclischen Terpene verbunden ist, **ist die Anwendung der TVOC Leitwerte hier ungeeignet**: die bicyclischen Terpene sollten nur anhand ihrer eigenen Richtwerte bewertet werden, und nicht (ggf. zusätzlich) mit den ungenauen TVOC Leitwerten.

Die TVOC Bewertungen vom Synlab Umweltinstitut und von der mplan eG werden dementsprechend als ungültig betrachtet. Insbesondere die Einstufung durch die mplan eG von Messungen am 19.09.2015 im Raum LC 121 als „hygienisch unbedenklich“ trotz Überschreitung des Richtwerts I für -Pinen steht im Gegensatz zu der Beschreibung der TVOC Stufe 2 als *„hygienisch unbedenklich (...) sofern keine Richtwerte überschritten werden“*.

¹⁰ Total Volatile Organic Compounds: Summe der Konzentrationen aller flüchtigen organischen Verbindungen.

4.3 Toxikologisch abgeleitete Richtwerte

Das Synlab Umweltinstitut und die mplan eG stützen sich für ihre Bewertungen auch auf die Richtwerte (RW) I und II des UBA. Diese wurden aufgrund toxikologischer Bewertungen etabliert.

Die Definition der Richtwerte ist in den Berichten vom Synlab Umweltinstitut (nur Richtwert I) und von der mplan eG aufgeführt. Zur Erinnerung (UBA, 2016):

- *„Richtwert I (RW I - Vorsorgerichtwert) beschreibt die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der bei einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch dann keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist, wenn ein Mensch diesem Stoff lebenslang ausgesetzt ist. **Eine Überschreitung ist allerdings mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, unerwünschten Belastung verbunden. Aus Gründen der Vorsorge sollte auch im Konzentrationsbereich zwischen Richtwert I und II gehandelt werden, sei es durch technische und bauliche Maßnahmen am Gebäude (handeln muss in diesem Fall der Gebäudebetreiber) oder durch verändertes Nutzerverhalten. RW I kann als Zielwert bei der Sanierung dienen**“.*
- *„Richtwert II (RW II) ist ein wirkungsbezogener Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einführung von Unsicherheitsfaktoren stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen beziehungsweise Überschreiten unverzüglich zu handeln ist. Diese höhere Konzentration kann, besonders für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen, eine gesundheitliche Gefährdung sein. Je nach Wirkungsweise des Stoffes kann der Richtwert II als Kurzzeitwert (RW II K) oder Langzeitwert (RW II L) definiert sein“ (in unserem Fall handelt es sich ausschließlich um Langzeitwerte).*

Das UBA (2007) detailliert weiter die Anwendung der Richtwerte beim Risikomanagement:

Bei Überschreitung des Richtwertes I:

- *„Nutzungsempfehlungen [sind] auszusprechen und unverzüglich expositions mindernde Maßnahmen einzuleiten zur Abwendung möglicher Gesundheitsgefahren für empfindliche Personen.*
- *Wenn die Quelle der Belastung identifiziert ist, ist sie in der Regel zu entfernen (...).*
- *Falls die Quelle nicht kurzzeitig entfernt werden kann, sind in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten und in Absprache mit dem zuständigen Amt vorläufige oder alternative Maßnahmen (Versiegelung, Abschottung, Anstriche und/oder Einschränkung oder Aufgabe der Raumnutzung) angezeigt. Die Lage der Quelle(n) und die Maßnahmen müssen hierbei nachvollziehbar dokumentiert werden“.*

Im Bereich zwischen Richtwert I und Richtwert II:

- *„Eine unmittelbare Gefährdung der Gesundheit ist nicht zu erwarten. Insbesondere bei der Wahrnehmung von Gerüchen kann es jedoch zu Befindlichkeitsstörungen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen. Nach derzeitiger wissenschaftlicher Auffassung führen diese Beeinträchtigungen nicht zu adversen Auswirkungen auf die Gesundheit, können aber unter Umständen bei wiederholter oder längerer Einwirkung eine unzumutbare Belästigung darstellen.*
- *Unter dem Gesichtspunkt der Verhältnismäßigkeit sind (...) zunächst keine baulichen oder sonstigen quellenbezogenen Veränderungen vorzunehmen, sondern es ist vor allem verstärkt zu lüften und einzelfallbezogen (z. B. bei SVOC) verstärkt zu reinigen. (...)*

- Wenn jedoch trotz nachweisbar intensiveren Lüftens eine Kontrollmessung nach einer gewissen Zeit (in der Regel nach einem Monat) keine erkennbare Verbesserung der Luftqualität anzeigt und der Richtwert I nach wie vor überschritten wird, sind in einem zweiten Schritt (...) gegebenenfalls auch bauliche Maßnahmen zu empfehlen, da eine über einen längeren Zeitraum (> 12 Monate) erhöhte Belastung aus Gründen der Vorsorge nicht akzeptabel ist.

Die in der Definition erwähnten „adversen Auswirkungen auf die Gesundheit“ beinhalten nicht unbedingt:

- als minderwertig eingestufte Beeinträchtigungen wie Reizempfindungen, z.B. von Auge, Nase und Rachen für -Pinen¹¹ (Sagunski und Heinzow, 2003);
- unspezifische Beeinträchtigungen wie Kopfschmerzen, Konzentrationsstörungen etc (AGÖF, 2013);
- Geruchsempfindung (AGÖF, 2013), obwohl diese zu weiteren Beeinträchtigungen (z.B. Kopfschmerzen) führen kann.

Nach dem internationalen Stand der Risikobewertung für die Gesundheit würde man sich eher an dem Richtwert I orientieren, der einem „No Observable Adverse Effect Level“ (NOAEL) entspricht, statt an dem Richtwert II, der einem „Lowest Observable Adverse Effect Level“ (LOAEL) entspricht (s. z.B. AFSSET, 2007, US EPA, 2016; ATSDR, 2015). Die Ableitung und die Verwendung der international betrachteten Toxikologischen Referenzwerte (TRW) weichen jedoch teilweise von der Ableitung und der Verwendung der deutschen Richtwerte ab¹².

Für Formaldehyd gibt es nur einen deutschen Richtwert, der in 1977 etabliert und seitdem bestätigt wurde (UBA, 2006). Er entspricht einer Konzentration, oberhalb derer Reizeffekte auf die Atemwege in deutschen Schulen beobachtet wurden (AFSSET, 2007). Hier sollten auch zwei toxikologische Referenzwerte erwähnt werden, die vom amerikanischen ATSDR etabliert wurden und vom französischen AFSSET (2007) nach Prüfung der weltweit renommiertesten TRW ausgewählt wurden:

- ein TRW von 50 µg/m³ für eine kurzzeitige Exposition (ab 2 Stunden), der gegen Reizeffekte bei Augen und Nase „schützen“ soll;
- ein TRW von 10 µg/m³ für langzeitige Exposition, der gegen eine Schädigung der Schleimhäute der Nase „schützen“ soll. Die Exposition ist hier in einen 24h Mittelwert (inkl. alle Aufenthaltsplätze) umzurechnen.

Die Richtwerte für die bicyclischen Terpene und für die C4-C11-Aldehyde (gesättigt, azyklisch, aliphatisch) gelten für die Summen der jeweiligen Einzelkomponenten, d.h. -Pinen, -Pinen und 3-Caren einerseits (Sagunski und Heinzow, 2003), alle gesättigten, azyklischen, aliphatischen Aldehyde andererseits (UBA, 2016; von Butanal bis Nonanal in den Prüfberichten), und nicht für die jeweiligen Komponenten wie in den Berichten des Synlab Umweltinstituts und der mplan EG (nur für die bicyclischen Terpene) praktiziert. Entsprechend korrigiert überschreiten die gemessenen Konzentrationen von bicyclischen Terpenen den RW II in LC 121 am 13.08.2015 und den RW I in LC 121 und LC 213 nach Belüftung am 13.09.2015, und unterschreiten nur knapp den RW I (0,2 mg/m³) in LC 121 nach Belüftung am 19.09.2015 (0,183 mg/m³).

¹¹ im Gegensatz z.B. zu „irritativ-entzündlicher Wirkung auf Schleimhäute“, die als adverse Auswirkung für -Pinen eingestuft wird (Sagunski und Heinzow, 2003).

¹² Zum Beispiel ist vor dem Vergleich mit den internationalen Werten eine Umrechnung der gemessenen Konzentrationen in 24-Stunden-Mittelwerte anhand der Aufenthaltszeit üblich. Dies ist mit den deutschen Richtwerten aber nur unter bestimmten Umständen möglich (UBA, 2007).

5. BEWERTUNG

5.1 Bewertung anhand von Referenzwerten

Wie vom Synlab Umweltinstitut erläutert (z.B. Bericht vom 23.03.2015), liegt die Überschreitung der Auffälligkeitswerte (bei den bicyclischen Terpenen, den gesättigten, azyklischen, aliphatischen C4-C11 Aldehyden, dem Acetaldehyd) das Vorhandensein einer spezifischen Schadstoffquelle nahe.

5.2 Bewertung anhand von Richtwerten

Zum Zweck der Vorstellung ohne direkten Handlungswert (s. § 3.1) werden Richtwertüberschreitungen in der Tabelle 1 unten dokumentiert. Sie betreffen auch dem Stoff Acetaldehyd (RW I von 0,1 mg/m³), der vom Synlab Umweltinstitut und von der mplan eG nicht erwähnt wird.

		Ohne Belüftung					Nach 15-Min. Belüftung				
		Temperatur (°C)	Formaldehyd	Acetaldehyd	GAA C4-C11 Aldehyde	Bicyclische Terpene	Temperatur (°C)	Formaldehyd	Acetaldehyd	GAA C4-C11 Aldehyde	Bicyclische Terpene
13.08.2014	LC 13	21,85	<RW	RW1-2	RW1-2	>RW2	-	-	-	-	-
	LC 15	21,9	<RW	RW1-2	RW1-2	RW1-2	-	-	-	-	-
	LC 121	23,25	<RW	RW1-2	RW1-2	>RW2	-	-	-	-	-
	LC 213	25,2	<RW	RW1-2	RW1-2	>RW2	-	-	-	-	-
01.09.2014	LC 121	26,0	>RW	RW1-2	RW1-2	RW1-2	-	-	-	-	-
	LC 213	29,45	>RW	RW1-2	RW1-2	>RW2	-	-	-	-	-
13.09.2014	LC 121	20,4	<RW	RW1-2	RW1-2	RW1-2	19,6-21,9	<RW	<RW1	<RW1	RW1-2
	LC 213	20,9-21,6	<RW	RW1-2	RW1-2	RW1-2	18,7-21,7	<RW	<RW1	<RW1	RW1-2
19.02.2015	LC 121	15,1	<RW	RW1-2	RW1-2	>RW2	8,5	<RW	<RW1	<RW1	RW1-2
	LC 213	20,8	<RW	RW1-2	RW1-2	>RW2	11,7	<RW	<RW1	RW1-2	RW1-2
23.05.2015	LC 121	17,75	<RW	RW1-2	RW1-2	RW1-2	16,7	<RW	<RW1	<RW1	RW1-2
	LC 213	18,5	<RW	RW1-2	RW1-2	RW1-2	18,4	<RW	<RW1	<RW1	RW1-2
19.09.2015	LC 121	21,8	<RW	RW1-2	RW1-2	RW1-2	20,1	<RW	<RW1	<RW1	RW1-2
	LC 213	21,9	<RW	RW1-2	RW1-2	RW1-2	22,2	<RW	<RW1	<RW1	<RW1
21.11.2015	LC 121	25,3	-	-	-	>RW2	24,5	-	-	-	RW1-2
	LC 213	28,3	-	-	-	RW1-2	28	-	-	-	RW1-2

GAA C4-C1 Aldehyde: gesättigte, azyklische, aliphatische C4-C11 Aldehyde
 Bicyclischen Terpene: -Pinen, -Pinen und 3-Caren
 -: Keine Messung
 RW1-2: zwischen RW I und RW II
 In grau: Messungen bei Temperaturen außerhalb des Referenzbereichs 19-24°C.

Tabelle 1 : Positionierung der gemessenen Werte bezüglich der Richtwerte

In den zwei wiederholt kontrollierten Räumen wurde nur in einer Messung keiner der Richtwerte I überschritten, nämlich im Raum LC 213 nach Belüftung am 19.09.2015. Dabei wurde der Richtwert I für die bicyclischen Terpene nur knapp unterschritten ($183 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, für einen Richtwert I von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dies bedeutet, dass **unter „Nutzungsbedingungen“, der Richtwert I in den zwei Räumen LC 121 und LC 213 stets -sogar auch nach Belüftung- überschritten wurde.**

Außer in der ersten Messung im August 2014 wurde der Richtwert II einmal überschritten, nämlich im Februar 2015. Damals waren keine spezifischen Lüftungsanweisungen in Kraft, und bei kaltem Wetter war wahrscheinlich die Belüftung minimal: diese Messung „ungelüftet“ erfolgte in Bedingungen nah an den realen Nutzungsbedingungen: Dies weist darauf hin, dass **der Richtwert II in den Räumen LC 121 und LC 213 mindestens einmal unter „Nutzungsbedingungen“ überschritten wurde.** Dieser Zeitpunkt im Winter weist außerdem auf eine mögliche Rolle der Heizung in der Luftbelastung hin.

Mit Recht hatte das Synlab Umweltinstitut am 27.08.2014, vor der Benutzung des Lila Containers für den Unterricht, infolge der Überschreitung des Richtwertes II „*dringend*“ „*eine Abklärung der Nutzung zum Schulbetrieb mit dem zuständigen Gesundheitsamt*“ empfohlen. Die danach wiederholte alleinige Empfehlung vom Synlab Umweltinstitut und von der mplan eG, einen vorgelegten intensiven Lüftungsplan einzuhalten, kann spätestens nach einem Jahr als unzureichend bezeichnet werden: der Richtwert I war langfristig überschritten geworden (s. die UBA-Vorgaben, § 4.3), auch nach Belüftung¹³. Tiefgreifende Maßnahmen waren dann notwendig geworden.

Außerdem hätte in diesem ersten Jahr auch die Realisierbarkeit des vorgegebenen Belüftungsplans bewertet werden sollen. Die mplan eG (14.08.2015) beschreibt ein halbes Jahr als „*politisch vertretbaren Zeitraum*“ für die häufige Querlüftung durch das Personal. Das Synlab Umweltinstitut (23.03.2015) weist darauf hin, dass es „*keinerlei Angaben [hat], ob die Räume nach [seinen] Vorgaben am Vortag wirklich quergelüftet wurden*“ und stellt weiter die Einhaltung des von ihm empfohlenen Lüftungsplans infrage.

5.3 Bewertung anhand gesundheitlicher Beobachtungen

Die Benutzung von Richtwerten gilt der Vorbeugung von gesundheitlichen Auswirkungen. Im Fall des Lila Containers aber wurden spätestens ab Oktober 2015 gesundheitliche Beschwerden bekannt, die

- genau den Auswirkungen der auffälligen Stoffe entsprechen (Reizung von Schleimhäuten an Nase, Rachen, Augen);
- zeitlich genau mit der Schulzeit übereinstimmen.

Darüber hinaus sind die kritischen gesundheitlichen Auswirkungen aller vier auffälligen Stoffe bzw. Stoffgruppen ähnliche Reizungen und lokale Schädigungen der Schleimhäute der Atemwege und ggf. auch der Augen. In so einem Fall gilt eine **Kumulierung der Auswirkungen** der vier Stoffe bzw. Stoffgruppen als wahrscheinlich¹⁴, so dass gesundheitliche Auswirkungen bei Konzentrationen nah unter den jeweiligen Richtwerten weniger unwahrscheinlich werden. Dies trifft hier besonders für die bicyclischen Terpene zu, bei denen alle (außer eine) ohne Lüftung gemessene Konzentrationen die Hälfte des Richtwertes II überschreiten.

¹³ wobei die Messungen „nach Belüftung“ darüber hinaus die realen Konzentrationen unter „Nutzungsbedingungen“ nach UBA (§ 3.1) unterschätzen.

¹⁴ So eine Kumulierung der Auswirkungen wird rechnerisch in die quantitative Risikobewertung einbezogen durch die Summe von Risiko-Indices.

Dies würde sogar für das Formaldehyd gelten, wenn man den internationalen toxikologischen Referenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (für Expositionen ab 2 Stunden) betrachtet: Die ohne Lüftung gemessenen Konzentrationen liegen meistens zwischen 30 und $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Das Synlab Umweltinstitut berichtet sogar von möglichen Auswirkungen (Reizung der Schleimhäute) ab $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ein vorläufiger Richtwert I von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde auch in Deutschland vorgeschlagen (Sagunski, 2006, in UBA, 2013).

Die gesamten Informationen weisen darauf hin, dass die gemeldeten gesundheitlichen Beschwerden bezüglich der Schleimhäute und der Atemwege wahrscheinlich auf die gemessene Luftbelastung zurückzuführen sind. Das war auch ein ausreichender Grund, ab Oktober 2015 weitergehende Maßnahmen zu ergreifen (hier die Evakuierung des Lila Containers), um Kinder und Lehrer effizient vor dieser Luftbelastung zu schützen. Eine fachärztliche Zusammenfassung und Beurteilung der gesundheitlichen Beobachtungen könnte diese Aussage bestätigen (oder ggf. nicht).

Es wurden gesundheitliche Auffälligkeiten bekannt, die ebenfalls den möglichen Auswirkungen von einem dermalen Kontakt mit Terpenen entsprechen, nämlich Hautausschlag an den Händen. Solche Auffälligkeiten sollten auch bei der Suche nach Schadstoffquellen und bei der Beseitigung der gesundheitlichen Gefahr berücksichtigt werden.

6. EMPFEHLUNGEN UND VORSCHLÄGE FÜR DAS WEITERE VORGEHEN

Wir gehen davon aus, dass das Ziel darin besteht, das Gebäude so schnell wie möglich wieder für den Unterricht zu benutzen. Dieses Ziel dient natürlich dem guten Ablauf des Unterrichts, aber auch der Vorbeuge vor neuen gesundheitlichen Auswirkungen, die mit der psychologischen Belastung beim aktuellen Unterricht in bedingt geeigneten Räumen verbunden sein könnten.

6.1 Ermittlung gesundheitlicher Auffälligkeiten bei Kindern und Lehrern

Da der Lila Container zur Zeit nicht benutzt wird und außerdem allein schon die Ergebnisse der Messungen seine Nicht-Benutzung rechtfertigen, hätte eine Ermittlung und Dokumentation aller gesundheitlichen Auffälligkeiten bei Kindern und Lehrern wenig Einfluss auf das weitere Vorgehen im Bezug auf den Lila Container. Lediglich gesundheitliche Beobachtungen, die eher nicht der Luftbelastung zuzuordnen wären (wie z.B. Hautausschlag an den Händen), könnten Hinweise über die Quelle(n) liefern.

Wenn überhaupt, sollte eine Ermittlung der gesundheitlichen Auffälligkeiten durch fachlich qualifiziertes Personal durchgeführt werden. Der vom UBA (2008) publizierte „Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden“ (insb. „Teil D - Vorgehensweisen in Beschwerdefällen“) könnte hier benutzt werden.

6.2 Quellensuche

Die Suche der Quelle(n) der Luftverunreinigung sollte höchste Priorität haben.

6.2.1 Mögliche Quelle(n)

Die auffälligsten Konzentrationen wurden für folgende Stoffe bzw. Stoffgruppen gemessen:

1. bicyclischen Terpene (eine Größenordnung über dem AGÖF Auffälligkeitswert),
2. gesättigte, azyklische, aliphatische C4-C11 Aldehyde, insbesondere Hexanal (eine halbe Größenordnung über dem AGÖF Auffälligkeitswert).
3. Acetaldehyd.

Formaldehyd fällt eher geringfügig auf (50 % über dem AGÖF Orientierungswert).

Bezüglich der bicyclischen Terpene schreiben Sagunski und Heinzow (2003): „*Vermutlich wegen der häufigeren Verwendung von Weichhölzern (vor allem Kiefer und Fichte) sowie so genannter Biolacke und terpenhaltiger Kleber ist in den 90er-Jahren eine deutliche Zunahme der Konzentration bicyclischer Terpene in der Innenraumluft zu verzeichnen*“ (Erhöhung um einer Größenordnung innerhalb eines Jahrzehnts)¹⁵. Die mplan eG (29.09.2015) weist auf Terpene als Bestandteile von ätherischen Ölen und Terpentinölen hin. INERIS (2007) zitiert -Pinen als Bestandteile von Desodorant, Innenraumparfüm und Reinigungsmitteln.

Bezüglich der gesättigten, azyklischen, aliphatischen C4-C11 Aldehyde schreibt das UBA (2009): „*Eine Reihe von Aldehyden bildet sich durch Oxidation ungesättigter Fettsäuren wie Linol-, Linolen- oder Ölsäure (...) durch den Einfluss von Wärme, Licht und Luftsauerstoff. Beim Abbau von Linolsäure entsteht Hexanal, von Ölsäure die gesättigten C7- bis C10-Aldehyde Heptanal, Octanal, Nonanal und Decanal (...). Wesentliche*

¹⁵ Außerdem: In Waldluft, „für die man wahrscheinlich von höheren Gehalten als für Stadtluft ausgehen kann“, wurden Konzentrationen unter 10 µg/m³ gemessen.

Emissionsquellen stellen fettsäurereiche Hölzer und Holzwerkstoffe, Lacke, Alkydharzfarben, Öle und Klebstoffe, Beschichtungsprodukte auf Naturöl-Basis sowie Bodenbeläge wie etwa Linoleum dar. (...) Die vorgenannten Zersetzungsprozesse [laufen] oftmals relativ langsam ab. (...). Aldehyde werden in geringen Mengen auch als Geruchs- und Aromastoffe in Raumsprays sowie in Lebensmitteln eingesetzt“.

Bezüglich Acetaldehyd weist das UBA (2013) auf höhere Innenluftkonzentrationen in Räumen mit Linoleum oder Korkfußboden, Holzpellets, Holzfußboden, einer Holzverkleidung sowie Vollholzmöbeln hin, ohne einen direkten Zusammenhang zu bestätigen. Die ANSES (2014) verweist auf verschiedenartige Quellen für die Innenluft: Verbrennung von organischen Stoffen inkl. Tabak, Baustoffe und Innenaustattungsmaterialien, Möbel, Bodenreiniger, Parkette, Klebstoffe, Holzfarben...

Bezüglich Formaldehyd schreibt das UBA (2009): „*Formaldehyd (...) [kommt] zumeist aufgrund spezifischer Anwendungen (in Desinfektionsmitteln) oder gezielter Verwendung von Formaldehyd-Harnstoff-Harzen (Spanplatten, Ortschaftäume) [vor] und [kann] daher in der Regel primären Quellen zugeordnet werden“.*

Die mplan eG geht davon aus, dass „*die ermittelten TVOC-Raumluftgehalte mit hoher Wahrscheinlichkeit als baustoffbürtig anzusehen sind, d.h. sie wurden mit der verbauten Bausubstanz (hier wohl Holz) eingebracht“.*

Diese Einschätzung erscheint kompatibel mit den oben gelisteten Quellen und insbesondere mit dem Hinweis von Sagunski und Heinzow (2003) über die neue Zunahme der Konzentration bicyclischer Terpene in der Innenraumluft. Auch wurde mündlich von Fällen von hohen Terpene-Konzentrationen in der Innenluft an anderen Schulen berichtet, die mit Holz gebaut wurden (diese Information wurde hier nicht geprüft).

Andere Quellen der aufgefallenen Stoffe sollten jedoch nicht ohne weitere Dokumentation ausgeschlossen werden, z.B. Schreibtische aus Vollholz und ihre mögliche Lackierung¹⁶ oder Linoleum-Bodenbeläge, wenn solche vorkommen.

6.2.2 Untersuchung von möglichen Quellen

Das UBA (2007) erwähnt in der Normenreihe DIN ISO 16000 über Innenraummessungen die Definition von verschiedenen Messzielen, u.a. „*Identifizierung von Quellen“.* Die entsprechende Dokumentation wurde hier nicht konsultiert, könnte aber für die Untersuchung von möglichen Quellen benutzt werden.

Wir gehen hier davon aus, dass es keine Standards für eine Quellenuntersuchung gibt, die dem vorliegenden Fall angepasst wären, und dass maßgeschneiderte Methoden dafür zu entwickeln sind. Wir schlagen hier zwei solche Methoden vor:

- PID- oder FID-Messungen¹⁷, nahe an den möglichen Quellen bzw. Quellenwegen (auch in Verbindung mit den Heizkörpern) und an Kontrollpunkten. Dies jeweils

¹⁶ So eine Quelle könnte z.B. mit Hautausschlag an den Händen verbunden sein. Allerdings müssen solche Erscheinungen natürlich nicht unbedingt mit Innenraumschadstoffen in der Schule zusammenhängen.

¹⁷ *Photo* bzw. *Flame Ionization Detector*, je nachdem, welches Gerät die fraglichen Substanzen inkl. bicyclische Terpene detektieren kann. Bei Konzentrationen über 0,1 mg/m³ liegt man im Detektionsbereich dieser Detektoren.

unverzöglich nach Belüftung und nach verschiedenen Wartezeiten (z.B. im Stundentakt) ohne Belüftung und mit wenig Luftbewegung. Dann Probenahme der Luft und analytische Messung, wo das PID/FID die höchsten Werte gezeigt hat und an Kontrollpunkten.

- Variante: zuerst mögliche Quelle(n) (z.B. Holzmobiliar, Linoleum) mit einer Folie umwickeln bzw. abdecken, und nach einer Weile (z.B. 30 min) mit PID/FID bzw. Probenahme unter der Folie wie oben vorgehen. Vorher natürlich prüfen, ob/inwieweit das PID/FID mit der Folie allein "reagiert".

Die Entfernung bestimmter möglicher Quellen (z.B. Schreibtische) aus Raum LC 121 oder LC 213 und die nachfolgende Messung nach üblichem Protokoll wird hier nicht vorgeschlagen, wegen der hohen Variabilität der Messergebnisse.

6.3 Wiederherstellung der Luftqualität

Ist/sind die Quelle(n) erkannt, so ist -unter Voraussetzung der Machbarkeit- die Entfernung der Quelle(n) die zu bevorzugende Lösung zur Wiederherstellung der Luftqualität.

In den folgenden Kapiteln werden zwei Alternativen analysiert.

6.3.1 Ausgasung der Quellen

Die mplan eG (29.09.2015) schlägt einen Zyklus von Heiz- und Lüftungsphasen vor, um die Quellen ausgasen zu lassen. In der Nacht und im ungelüfteten Zustand sollte die Heizung auf maximale Stärke eingeregelt werden.

Folgende Bemerkungen können dazu gemacht werden:

- Ein solches Verfahren wäre nur außerhalb der Benutzung des Gebäudes für den Unterricht anwendbar: es führt (wunschgemäß) zu höheren Konzentrationen in der Luft, wegen des Heizens zwischen der Lüftungsphasen und wegen der thermischen Inertie der Bau- oder Ausstattungsmaterialien, die als mögliche Quelle(n) gelten.
- Die anschließende Effektivitätsprüfung sollte erst nach einer ausreichenden Wartezeit (zwei Monate?) durchgeführt werden, damit das Gleichgewicht der Konzentrationen innerhalb des Quellenmaterials wiederhergestellt wird¹⁸.
- Ein starkes Heizen wurde vor den Messungen von November 2015 durchgeführt. Die gemessenen Konzentrationen waren nur bedingt (weniger als zwei Mal) höher als in den anderen Messungen.
- Die bicyclischen Terpene sind nur bedingt flüchtig: Ihre Ausgasung sollte länger dauern als z.B. für Acetaldehyd oder Hexanal.

Diese Bemerkungen weisen auf ein langes Verfahren hin zur Wiederherstellung der Luftqualität, im Gegensatz zu dem oben definierten Ziel. Dieser Hinweis könnte mit der nächsten Messung (Januar 2016) besser bewertet werden, vorausgesetzt die Heiz- und Belüftungsabläufe werden genau detailliert.

¹⁸ Nach einer Heizperiode ist zu erwarten, dass die Oberfläche des Quellenmaterials „ausgegasst“ ist. Danach sorgen langsame Diffusionsprozesse innerhalb dieses Materials für die Wiederherstellung eines Gleichgewichts.

6.3.2 Mechanische Lüftung

Eine von mplan eG ebenfalls erwähnte (14.08.2015) mechanische Lüftung, z.B. mit dezentralen Anlagen (eine pro Raum) mit Wärmerückgewinnung, wäre eine potentiell realistische und effiziente Maßnahme, um die Konzentrationen unter den Richtwert I zu senken, auch in Unkenntnis der Quelle(n).

Um diese Option zu prüfen und zu dimensionieren sollte die Dynamik der Emissionen, d.h. die Emissionsraten der verschiedenen Schadstoffe in die Innenluft, quantitativ geschätzt werden. Dafür sollte die Anreicherung der Luft mit diesen Schadstoffen nach einer starken Belüftung (manuelle Querlüftung) erfasst werden. Eine erste grobe Berechnung anhand der vorhandenen Messungen nach Lüftung wäre sinnvoll. Wenn diese grobe Berechnung vielversprechend wäre, wäre eine Reihe von kurzen (z.B. zehnmütigen) Messungen denkbar: die Konzentrationen der fraglichen Stoffen liegen mit dem jetzigen Messprotokoll weit über den Bestimmungsgrenzen der Analyseverfahren.

6.4 Kontrolle der Luftqualität vor und ggf. nach der Wiederinbetriebnahme

Wir empfehlen, bei der Kontrolle der Luftqualität vor der Wiederinbetriebnahme und ggf. nach der Wiederinbetriebnahme (Bestätigungskontrolle) die mit den Richtwerten verbundenen Vorschriften genau einzuhalten, insbesondere:

- repräsentative Messbedingungen (s. § 3.1), insbesondere:
 - repräsentative Lüftungs- und Heizungsbedingungen;
 - Raumtemperaturen zwischen 19 und 24°C, oder Begründung von Abweichungen;
 - Messung erst nach einer Wartezeit von 45 Minuten im Fall einer Querlüftung;
 - ggf. wiederholte Kontrollmessungen bei verschiedenen repräsentativen Nutzungsbedingungen.
- vollkommene Dokumentation der Messungen und der Randbedingungen (§ 3.1);
- geeignete Benutzung der Richt- und Leitwerte (s. § 4)..

Folgende Stoffe bzw. Stoffgruppen sollten kontrolliert werden: Formaldehyd, Acetaldehyd, bicyclische Terpene und C4-C11-Aldehyde (gesättigt, azyklisch, aliphatisch), mindestens in den folgenden Räumen: LC15, LC 121, LC 213.

Eine weitere (vorherige oder gleichzeitige) Kontrolle der Entwicklung der Innenluftqualität anhand unveränderter Messprotokolle kann sinnvoll sein.

6.5 Verbesserung der zukünftigen Ausschreibungen

Wir empfehlen, die Erfahrungen mit dem Lila Container in Fachkreisen zu kommunizieren, damit in anderen Fällen die Spezifikationen in den Ausschreibungen entsprechend geändert werden können (z.B. Vermeidung von weichem Holz).

7. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die obige Analyse führt zu den folgenden Schlussfolgerungen.

Messungen

Die Methode der Probenahmen und der Analysen durch das Synlab Umweltinstitut und dessen Protokollierung entsprechen dem Stand der Technik. Ein Wechsel des Labors für weitere „unabhängige“ Messungen wäre eher zu vermeiden, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erhalten. Eine vollständigere Dokumentation der Randbedingungen bei der Messung, zum Beispiel der möglichen Emissionsquellen in den Räumen und der vorherigen Belüftungs- und Heizungsabläufe, wäre aber notwendig.

Die Messungsbedingungen spiegeln jedoch nicht die Nutzungsbedingungen nach den Vorgaben des Umweltbundesamts (UBA) wieder. Die gemessenen Konzentrationen sind deshalb nicht direkt mit den Richtwerten des UBA vergleichbar. Diejenigen der vorliegenden Messungen, die ohne vorherige Belüftung durchgeführt wurden, erscheinen den Nutzungsbedingungen am nächsten, wenn wenig gelüftet wird (z.B. an den Unterrichtstagen im Winter). Die Messungen nach Belüftung werden zu früh (vor jeglicher Gleichgewichtseinstellung) und oft bei zu niedrigen Temperaturen durchgeführt. Sie entsprechen außerdem einem intensiven Lüftungsplan, dessen langfristige Durchführung (und Durchführbarkeit) in der Praxis fraglich erscheint.

Bewertung

In den begutachteten Bewertungen wurden für die -auffälligen- bicyclischen Terpene vorrangig die Leitwerte für den Mischparameter „*Total Volatile Organic Compounds*“ (TVOC) verwendet, die keine direkte gesundheitliche Bedeutung haben, statt die „genauerer“ und gesundheitlich relevanten Richtwerte für bicyclische Terpene. Außerdem wurden die Richtwerte für die bicyclischen Terpene und die -ebenfalls auffälligen- C4-C11-Aldehyde (gesättigt, azyklisch, aliphatisch) für die einzelnen Komponenten verwendet, statt für die Summen der Konzentrationen der jeweils betroffenen Komponenten. Darüber hinaus wurde auf die Überschreitung der (neuen) Richtwerte für Acetaldehyd nicht hingewiesen. Zudem wurden nicht-aktuelle Referenzwerte der „üblichen“ Innenluftkonzentrationen in den Prüfberichten verwendet.

Die Bewertung der Konzentrationen (als hygienisch auffällig) wird durch diese Ungenauigkeiten in ihrer Gültigkeit nicht beeinträchtigt, außer bei punktuellen Einstufungen der Luftqualität nach Lüftung als „unauffällig“ (Raum LC 121 am 19.09.2015 und 21.11.2015).

Eine -begrenzte- Neubewertung der Messungsergebnisse führt zu dem Schluss, dass in den zwei wiederholt kontrollierten Räumen LC 121 und LC 213 der Richtwert I unter „Nutzungsbedingungen“ nach den Vorgaben des UBA stets überschritten wurde, der Richtwert II mindestens einmal.

Eine Überschreitung des Richtwertes I bedeutet keine unmittelbare Gefährdung der Gesundheit, kann aber zu Befindlichkeitsstörungen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen, die bei wiederholter oder längerer Einwirkung („> 12 Monate“) eine unzumutbare Belästigung darstellen. Maßnahmen sollen eine längere Einwirkung vermeiden: typischerweise wird zunächst eine verstärkte Lüftung empfohlen, nach einer gewissen Zeit ohne Erfolg („in der Regel einem Monat“) aber auch bauliche Maßnahmen oder Nutzungsänderungen.

Der Richtwert II ist ein wirkungsbezogener Wert, bei dessen Überschreiten unverzüglich zu handeln ist.

Mit Recht hatte das Synlab Umweltinstitut am 27.08.2014, vor der Benutzung des Lila Containers für den Unterricht, infolge der Überschreitung des Richtwertes II „*dringend*“ „*eine Abklärung der Nutzung zum Schulbetrieb mit dem zuständigen Gesundheitsamt*“ empfohlen. Die danach wiederholte alleinige Empfehlung vom Synlab Umweltinstitut und von der mplan eG, einen vorgelegten intensiven Lüftungsplan einzuhalten, kann spätestens nach einem Jahr als unzureichend bezeichnet werden, wegen der langfristigen Überschreitung des Richtwertes I auch nach Belüftung: tiefergreifende Maßnahmen waren dann notwendig geworden.

Eine Kumulierung der Auswirkungen der vier auffälligen Stoffe bzw. Stoffgruppen gilt wegen ähnlicher kritischer Auswirkungen als wahrscheinlich, so dass gesundheitliche Auswirkungen bei Konzentrationen nah unter den jeweiligen Richtwerten weniger unwahrscheinlich werden. Für das Formaldehyd existieren außerdem für die Reizung der Schleimhäute andere anerkannte Richtwerte, die unter dem deutschen Richtwert und nah über oder im Bereich der gemessenen Konzentrationen (ohne Lüftung) liegen.

Die gesamten Informationen weisen darauf hin, dass die bekannt gewordenen Symptome bezüglich der Schleimhäute und der Atemwege wahrscheinlich auf die gemessene Luftbelastung zurückzuführen sind. Das war auch ein ausreichender Grund, ab Oktober 2015 weitergehende Maßnahmen zu ergreifen (hier die Evakuierung des Lila Containers), um Kinder und Lehrer effizient vor dieser Luftbelastung zu schützen.

Empfehlungen und Vorschläge für das weitere Vorgehen

Wir gehen davon aus, dass **das Ziel** darin besteht, **das Gebäude so schnell wie möglich wieder für den Unterricht zu benutzen**. Dieses Ziel dient natürlich dem guten Ablauf des Unterrichts, aber auch der Vorbeuge vor neuen gesundheitlichen Auswirkungen, die mit der psychologischen Belastung beim aktuellen Unterricht in bedingt geeigneten Räumen verbunden sein könnten.

Eine Ermittlung und Dokumentation aller gesundheitlichen Auffälligkeiten bei Kindern und Lehrern hätte wenig Einfluss auf das weitere Vorgehen im Bezug auf den Lila Container. Lediglich gesundheitliche Beobachtungen, die eher nicht der Luftbelastung zuzuordnen wären (wie z.B. Hautausschlag an den Händen), könnten Hinweise über die Quelle(n) liefern.

Die Suche nach den Quelle(n) der Luftverunreinigung sollte höchste Priorität haben.

Die wahrscheinlichste Quelle der Terpene ist, wie von der mplan eG erläutert, das Holz der Gebäudestruktur. Andere Quellen der Terpene und der drei anderen Stoffe bzw. Stoffgruppen sollten jedoch nicht ohne weitere Dokumentation ausgeschlossen werden, z.B. Schreibtische aus Vollholz und ihre mögliche Lackierung oder Linoleum-Bodenbeläge, wenn solche vorkommen.

Für die Untersuchung von möglichen Quellen sind maßgeschneiderte Methoden zu entwickeln. Wir schlagen in diesem Gutachten zwei Methoden vor, die vor-Ort PID- oder FID-Luftmessungen¹⁹ mit Luftprobenahmen und -analysen kombinieren.

¹⁹ PID, FID: Photo bzw. Flame Ionization Detector.

Ist/sind die Quelle(n) erkannt, so ist -unter Voraussetzung der Machbarkeit- die Entfernung der Quelle(n) die zu bevorzugende Lösung zur Wiederherstellung der Luftqualität.

Die von mplan eG vorgeschlagene Ausgasung der Quellen durch sukzessive Heiz- und Lüftungsphasen könnte besonders lange dauern, da die Terpene nur bedingt flüchtig sind. Außerdem sollte die anschließende Effektivitätsprüfung erst nach einer ausreichenden Wartezeit (z.B. zwei Monate) durchgeführt werden, damit das Gleichgewicht der Konzentrationen innerhalb des Quellenmaterials wiederhergestellt ist.

Eine von mplan eG ebenfalls erwähnte mechanische Lüftung, z.B. mit dezentralen Anlagen (eine pro Raum) mit Wärmerückgewinnung, wäre eine potentiell realistische und effiziente Maßnahme, um die Konzentrationen unter den Richtwert I zu senken, auch in Unkenntnis der Quelle(n). Um diese Option zu prüfen und zu dimensionieren sollte die Dynamik der Emissionen quantitativ geschätzt werden. Eine erste grobe Berechnung anhand der Messungen nach Belüftung wäre sinnvoll.

Bei der Kontrolle der Luftqualität vor der Wiederinbetriebnahme und ggf. nach der Wiederinbetriebnahme (Bestätigungskontrolle) sollten die mit den Richtwerten verbundenen Vorgaben des UBA genau eingehalten werden, insbesondere die Repräsentativität der Messbedingungen (ggf. mittels wiederholter Kontrollmessungen), die vollständige Dokumentation der Messungen und der Randbedingungen (s. § 3.1) und die geeignete Verwendung der Richt- und Leitwerte (s. § 4). Folgende Stoffe bzw. Stoffgruppen sollten kontrolliert werden: Formaldehyd, Acetaldehyd, bicyclische Terpene und C4-C11-Aldehyde (gesättigt, azyklisch, aliphatisch), mindestens in den folgenden Räumen: LC15, LC 121, LC 213. Eine weitere (vorherige oder gleichzeitige) Kontrolle der Entwicklung der Innenluftqualität anhand unveränderter Messprotokolle kann sinnvoll sein.

Wir empfehlen, die Erfahrungen mit dem Lila Container in Fachkreisen zu kommunizieren, damit in anderen Fällen die Spezifikationen in den Ausschreibungen entsprechend geändert werden können (z.B. Vermeidung von weichem Holz).

8. LITERATURVERZEICHNIS

- AFSSET, 2007. Valeurs guides de qualité d'air intérieur. Le formaldéhyde. Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail. Juli 2007
- AGÖF, 2013. AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft. Aktualisierte Fassung vom 28. November 2013.
<http://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-voc-orientierungswerte.html>.
- ANSES, 2014. Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur - L'acétaldéhyde. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Avril 2014.
- ATSDR, 2015. Minimal Risk Levels for Hazardous Substances (MRLs). MRL List October 2015. www.atsdr.cdc.gov/mrls/
- INERIS, 2010. Gestion des sites et sols pollués : Caractérisation de la qualité de l'air ambiant intérieur en relation avec une éventuelle pollution des sols par des substances chimiques volatiles et semi-volatiles. C. Marchand, L. Lethielleux, C. Hulot, J. Larbre, B. Hazebrouck. DRC-10-109454-02386B. 25/6/2010. www.ineris.fr
- MEEDDM, 2010. Diagnostiquer les sols dans les lieux accueillant les enfants et les adolescents. Fiches Questions – Réponses (FAQ). B. Hazebrouck et groupe de travail MEEDDM. http://www.sites-pollues.developpement-durable.gouv.fr/spip.php?page=document&id_article=871&lang=fr.
- Sagunski, H. und Heinzow B., 2003. Richtwerte für die Innenraumluft1): Bicyclische Terpene (Leitsubstanz -Pinen). Empfehlung. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2003. 46:346–352. DOI 10.1007/s00103-003-0584-7.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/Bicycl_Terpene.pdf
- UBA, 2006. Krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd – Änderung des Richtwertes für die Innenraumluft von 0,1 ppm nicht erforderlich. Ad-hoc-AG aus Mitgliedern der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und Vertretern der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Empfehlung des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2006 · 49:1169. DOI 10.1007/s00103-006-0081-x. Online publiziert: 7. November 2006. © Springer Medizin Verlag 2006.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/Formaldehyd-keine_aenderung_2006.pdf.
- UBA, 2007. Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bekanntmachung des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2007 - 50:990–1005. DOI 10.1007/s00103-007-0290-y. Online publiziert: 21. Juni 2007. © Springer Medizin Verlag 2007.
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/Handreichung.pdf>
- UBA, 2008. Leitfaden für die Innenraumthygiene in Schulgebäuden. Umweltbundesamt.
- UBA, 2009. Richtwerte für gesättigte azyklische aliphatische C4- bis C11-Aldehyde in der Innenraumluft Mitteilungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bekanntmachung des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsbl. - Gesundheitsforsch -Gesundheitsschutz 2009 · 52:650–659. DOI 10.1007/s00103-009-0860-2. © Springer-Verlag 2009.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/alkanale_c4-c11.pdf

UBA, 2012. Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bekanntmachung des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsbl 2012 · 55:279–290. DOI 10.1007/s00103-011-1420-0. © Springer-Verlag 2012.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/basisschema_2012.pdf

UBA, 2013. Richtwerte für Acetaldehyd in der Innenraumluft. Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bekanntmachung des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsbl 2013 · 56:1434–1447. DOI 10.1007/s00103-013-1835-x. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/acetaldehyd_riw_irl_2013-10.pdf

UBA, 2016. Ausschuss für Innenraumrichtwerte (Vormals Ad-hoc-Arbeitsgruppe). Webseite des Ausschusses. Konsultation am 04.01.2016.

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte-vormals-ad-hoc>.

US EPA, 2016. Integrated Risk Information System. www.epa.gov/iris.

Anhang 1 : Fragebogen: Informationen über das Gebäude, die darin stattfindenden Tätigkeiten, die Messbedingungen

"Renseignements sur le bâtiment, les activités intérieures, les conditions de mesures" (INERIS, 2010).

1+6 Seiten.

Dénomination du bâtiment :		Date :
Un questionnaire pour l'ensemble du site étudié A remplir par l'opérateur avec l'aide du propriétaire ou d'un responsable du site		
1. Environnement extérieur à proximité (rayon de 500 m) ?		
1.1	Présence d'une nappe	
	Oui	<input type="text"/>
	Non	<input type="text"/>
	Si oui, préciser la gamme de profondeurs :	
	Autres renseignements (contamination connue, etc.) :	
1.2.	Situation routière ?	
	Autoroute	<input type="text"/>
	Route à fort trafic.....	<input type="text"/>
	Route à trafic modéré.....	<input type="text"/>
	Route à trafic faible.....	<input type="text"/>
1.3	Situation du site surveillé	
	Zone urbaine.....	<input type="text"/>
	Zone péri-urbaine.....	<input type="text"/>
	Zone industrielle	<input type="text"/>
	Zone rurale.....	<input type="text"/>
1.4	Présence d'une zone industrielle (rayon de 1 km) ?	
	Oui	<input type="text"/>
	Non	<input type="text"/>
	Si oui, préciser la nature des activités industrielles environnantes :	
	
1.5	Source de pollution potentielle environnante	
	Industrie (précisée au 1.2.).....	<input type="text"/>
	Parking	<input type="text"/>
	Tour de refroidissement.....	<input type="text"/>
	Aucune.....	<input type="text"/>
1.6	Nature de l'ancienne activité hébergée sur le site ? (industrielle ou non)	
	
2. Description générale du bâtiment		
2.1.	Année de construction	<input type="text"/>
2.2.	Nombre d'étages	<input type="text"/>
2.3.	Nombre de pièces	<input type="text"/>
2.4.	Usage du bâtiment	
	Bureaux	<input type="text"/>
	Logements.....	<input type="text"/>
	Mixte : préciser.....	<input type="text"/>
	Crèche.....	<input type="text"/>
	Scolaire / périscolaire.....	<input type="text"/>
	Autre : préciser.....	<input type="text"/>

2.5.	Type de construction	
	Moellon	
	Bois	
	Autre : préciser.....	
2.6.	Existence de locaux annexes	
	Vide sanitaire.....	
	Parking enterré	
	Sous-sol.....	
	Cave.....	
	Autre : préciser.....	
2.7.	Évènement important survenu dans le bâtiment	
	Incendie	
	Autre : préciser	
2.8.	Rénovation récente au niveau du bâti (moins de 6 mois)?	
	Oui.....	
	Non.....	
2.9.	Type d'assainissement	
	Collectif.....	
	Individuel.....	
2.10.	Énergie principale de chauffage	
	Gaz	
	Fioul	
	Électrique.....	
	Autre : préciser	
	Si chaudière : préciser le lieu.....	
	Si fioul : préciser le lieu.....	
2.10.1.	Fréquence d'utilisation d'un chauffage d'appoint en hiver	
	Toujours.....	
	Fréquemment.....	
	Occasionnellement.....	
	Jamais.....	
2.10.2.	Type de chauffage d'appoint	
	Fioul	
	Électrique.....	
	Autre : préciser	
2.11.	Présence d'un système spécifique de ventilation (extraction mécanique, ventilation naturelle par conduit)/climatisation	
	Oui.....	
	Non	
2.12.	Présence d'un garage attenant au bâtiment ?	
	Oui	
	Non	

3. Description de la pièce investiguée	Dénomination :.....	Témoin <input type="checkbox"/> Échantillon <input type="checkbox"/>
Prévoir un questionnaire par pièce étudiée pour cette partie		
3.1. A quel étage se situe la pièce étudiée ?		
RdC.....		
1er		
2 ^{ème}		
3 ^{ème}		
4 ^{ème}		
Sous-sol		
Autre : préciser		
3.2. Rénovation de la pièce (depuis moins de 6 mois) ?		
Oui		
Non		
Si oui -> 3.2.1. (si non -> question 3.3.)		
3.2.1. Type de revêtement au sol		
Moquette		
Parquet		
Carrelage		
Sol plastique		
Autre : préciser		
3.2.2. Mode de fixation du revêtement au sol		
Posé		
Collé		
3.2.3. Type de revêtement aux murs		
Papier-peint		
Toile de verre + peinture		
Peinture seule		
Plâtre peint.....		
Bois (lambris)		
Moquette murale.....		
Autre : préciser		
3.2.4. Présence de faux plafond ?		
Oui		
Non		
3.3. Mobilier neuf (depuis moins de 6 mois) ?		
Oui		
Non		
Si oui -> 3.3.1. (si non -> question 3.4.)		
3.3.1. Type et nature du mobilier		
Aggloméré/contreplaqué		
Massif		
3.4. Les entrées d'air sont-elles dégagées ?		
Oui		
Non		
Pas d'entrée d'air		

3.5.	Nature des éléments de distribution de chaleur	
	Radiateurs/convecteurs	
	Sol	
	Climatisation	
3.5.1.	Le réglage de la température peut il être modifié par les occupants ?	
	Oui	
	Non	
3.6.	Y-a-t-il une source de combustion dans la pièce ?	
	Poêle	
	Cheminée	
	Gazinière	
	Chauffe-eau.....	
	Autre : préciser	
3.7.	Un système de ventilation spécifique est-il présent dans la pièce ?	
	Oui.....	
	Non	
	Si oui -> 3.7.1. (si non -> question 3.8.)	
3.7.1.	Quel est le type de système de ventilation spécifique ?	
	Ventilation naturelle (grilles ou conduits).....	
	Ventilation mécanique contrôlée	
	Absence de système spécifique de ventilation.....	
3.7.2.	Quel est l'état des bouches d'aération ou des bouches de soufflage ?	
	Bon.....	
	Moyen	
	Mauvais	
3.8.	Type de fenêtre : ouvrables ?	
	Oui	
	Non	
3.8.1.	Type de vitrage	
	Simple	
	Double	
	Triple.....	
3.9.	Vecteurs privilégiés de transfert au sein même de la pièce	
	Lavabos, éviers	
	Canalisations, tuyauteries.....	
	Gaines électriques	
	Autres vecteurs	
3.9.1.	Vérification de l'état des parois et de la dalle de la pièce (fissures...)	
	Bon état.....	
	Mauvais état	
	Pas d'accès visuel facile à la dalle	
3.9.2.	Epaisseur de la dalle	
	Préciser :	
3.10.	Stockage de produits chimiques/entretiens/hydrocarbures dans une pièce voisine ?	
	Oui	
	Non	

4. Activité et observations ¹⁴ des occupants avant et pendant l'échantillonnage et en temps normal				
4.1	Les mesures sont-elles réalisées en conditions d'occupation normale des locaux			
	Oui			
	Non			
4.2.	Population occupant la pièce échantillonnée	Avt	Pdt	Nor
	Enfants.....			
	Nouveau-nés.....			
	Adultes			
	Personnes âgées			
4.2.1.	Durées usuelles des activités dans la pièce			
	Horaires approximatifs passés à l'intérieur de la pièce			
			
	Total du temps passé à l'intérieur de la pièce			
			
4.3.	Plaintes ou signalements relatifs à des odeurs ou à des troubles ?	Avt	Pdt	Nor
	Oui			
	Non			
4.4.	Fréquence du nettoyage de la pièce			
			
4.4.1.	Nature des produits utilisés (javel, cire...)			
			
4.4.2.	Lieu de stockage des produits d'entretien utilisés			
			
4.4.3.	Le nettoyage du local a-t-il eu lieu pendant la période du prélèvement ou la veille ?			
	Oui			
	Non.....			
4.5.	Des activités spécifiques ont-elles eu lieu durant le prélèvement?	Avt	Pdt	Nor
	Collage, utilisation de marqueurs			
	Activités de loisirs (dessin, peinture, ...)			
	Activités mécaniques.....			
	Bricolage			
	Cuisson d'aliments			
	Jardinage (herbicides...)			
	Autres : préciser.....			
4.6.	Présence de fumeurs / de cendriers dans la pièce échantillonnée ?		Pdt	Nor
	Oui			
	Non.....			
4.7.	Présence d'un photocopieur / imprimante ?			
	Oui			
	Non			
4.8.	Utilisation d'insecticide, de répulsifs à insectes ou d'antimite dans la pièce ?	Avt	Pdt	Nor
	Oui			
	Non.....			
4.9.	Habitudes de vie		Pdt	Nor
	Utilisation de barbecue.....			
	Stockage de produits de beauté, savons, dissolvant.....			
	Parfums, désodorisant.....			
Pdt : pendant le prélèvement ; Avt : sur les quelques jours précédents ; Nor : en temps normal.				

¹⁴ A distinguer des observations du préleveur reportées sur la fiche de prélèvement (Annexe 1).

4.10.	Y a-t-il eu un évènement inhabituel durant le prélèvement (dans les locaux ou à l'extérieur à proximité (incendie, groupe électrogène mis en marche, etc.))			
	Oui			
	Non.....			
5. Activité des équipements pendant et avant l'échantillonnage				
5.1.	Nombre d'appareils à combustion utilisés simultanément dans la pièce étudiée			
5.1.1.	Sont-ils tous raccordés à l'extérieur ?	Avt	Pdt	Nor
	Oui			
	Non.....			
5.1.2.	Fréquence d'utilisation			
	En continu			
	Plusieurs fois sur une durée de mesure.....			
	Une fois sur une durée de mesure.....			
	Jamais			
5.1.3.	Nature du combustible utilisé dans les appareils à combustion	Avt	Pdt	Nor
	Gaz			
	Pétrole.....			
	Bois.....			
	Charbon			
	Radiateur à huile.....			
	Autre			
	Aucune (pas d'utilisation du chauffage d'appoint).....			
5.2.	D'autres sources de combustion ont-elles été utilisées (bougies, encens, cigarette,...)	Avt	Pdt	Nor
	Oui			
	Non.....			
5.3	Ventilation			
5.3.1.	Une VMC fonctionne-t-elle ?	Avt	Pdt	Nor
	Oui			
	Non.....			
5.3.2.	Fréquence d'ouverture des fenêtres (préciser le cas échéant)			
	En continu			
	Plusieurs fois sur une durée de mesure.....			
	Une fois sur une durée de mesure.....			
	Jamais			
5.3.2.	Fréquence d'ouverture des portes (préciser le cas échéant)			
	En continu			
	Plusieurs fois sur une durée de mesure.....			
	Une fois sur une durée de mesure.....			
	Jamais			
5.4	Chauffage :	Avt	Pdt	Nor
5.4.1.	Réglage du chauffage (curseur)			
5.4.2.	Température dans la pièce (°C)			
Pdt : pendant le prélèvement ; Avt : sur les quelques jours précédents ; Nor : en temps normal.				
6. Activité extérieure pendant l'échantillonnage				
6.1.	Chantier se faisant à proximité de la pièce durant le prélèvement			
	Oui			
	Non.....			
	Si oui, descriptif rapide			
			