

# UNTERSUCHUNGSBERICHT

---

—  
— SPEZIAL- UND OBERSTUFENTRAKT  
— SCHULHAUS MANUEL  
— CH-3006 BERN



AUFTRAGGEBER Stadtbauten Bern, Renato Nell, Schwanengasse 10, 3000 Bern 14; vertreten durch:  
dadarchitekten GmbH, Dieter Aeberhard, Rodtmattstrasse 66, 3014 Bern

OBJEKT Schulanlage Manuel, Spezial- und Oberstufentrakt, Elfenuweg 10, 3006 Bern

PROJEKTNUMMER 2014-0414-22

KUNDENREFERENZ I:\DAT\PRO\MESS\2014\sh manuel, bern\bericht 0414-22.docx

PROJEKTLEITER Hans-Lukas Kramer

AUFTRAG VOM April 2014

AUSFÜHRUNG DER ABKLÄRUNGEN: April bis Mai 2014


QUALITÄTSSICHERUNG: mz

ANZAHL SEITEN BERICHT: 16

---

Zürich, 2. Juni 2014

BAU- UND UMWELTCHEMIE  
Beratungen + Messungen AG

i.V. 

M. Zachau  
Geschäftsführer



Hans-Lukas Kramer  
Projektleitung

Dieser Bericht besteht aus oben genannter Anzahl Seiten einschliesslich Deckblatt und darf nur vollinhaltlich, ohne Weglassung oder Hinzufügung, veröffentlicht werden. Wird er auszugsweise vervielfältigt, so ist vorab die Genehmigung der Firma *BAU- UND UMWELTCHEMIE Beratungen + Messungen AG*, Zürich einzuholen. Dieser Bericht wurde nach bestem Wissen und Gewissen unter Bedachtnahme aller bekannten und erhobenen Umstände erstellt. Für über die Aussagen des Berichts hinausgehende Folgerungen und Konsequenzen übernehmen die Aussteller keinerlei Haftung. Bei allfälligen Vorladungen als Zeuge durch das Gericht, muss der Aufwand, sofern nicht vom Gericht gedeckt, durch den Auftraggeber in voller Höhe im Stundenansatz entschädigt werden. Die auf dem Internet publizierten Allgemeinen Geschäftsbedingungen der *BAU- UND UMWELTCHEMIE Beratungen + Messungen AG* sind integrierender Bestandteil dieses Berichts ([www.raumlufthygiene.ch](http://www.raumlufthygiene.ch) -> AGB).

---

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Ausgangslage</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>Untersuchungen</b>	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>Messergebnisse und Interpretation</b>	<b>8</b>
4.1	Chemie – Analyse	8
4.2	Klima – Analyse	11
<b>5.</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen</b>	<b>12</b>
5.1	Schlussfolgerungen	12
5.2	Fazit	12
<b>6.</b>	<b>Fotodokumentation</b>	<b>14</b>
<b>7.</b>	<b>Anhang I Probenahme</b>	<b>15</b>
7.1	Chemie – Analyse	15
7.2	Klima – Analyse	15
<b>8.</b>	<b>Anhang II Klima – Analyse – Raumluft</b>	<b>16</b>

# 1. ZUSAMMENFASSUNG

## AUSGANGSLAGE

In den Schulräumen 5/104 im 1. OG des Oberstufentrakts und 3/003 im EG des Spezialtrakts mit unterschiedlichen Belastungen an Teerölinhaltstoffen soll untersucht werden, welchen Einfluss der Betrieb von Lüftungsgeräten auf die Schadstoffkonzentrationen in der Raumluft der Schulzimmer im Schulhaus Manuel hat. Weiter sind mögliche Eingriffe bei den anstehenden Erneuerungsarbeiten zu berücksichtigen. Dies sind der Ersatz der Bodenbeläge, der Einbau neuer dichter Fenster sowie die mögliche Durchdringung des Bodenaufbaus für die Verlegung von Lüftungskanälen.

## UNTERSUCHUNGEN UND ERGEBNISSE

Eine Übersicht zu den durchgeführten Messungen mit den Resultaten im Verlauf der Probesanierung ist in der Tab. 1 aufgeführt.

Tab. 1: Übersicht Probesanierung

Ablauf Probesanierung	5/104, Oberstufentrakt, 1. OG	3/003, Spezialtrakt, EG
Statusmessung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] 7. April 2014	TVOC: 53 Teerölinhaltstoffe: 29 <b>Naphthalin: 10</b>	TVOC: 95 Teerölinhaltstoffe: 62 <b>Naphthalin: 37</b>
Massnahme	Inbetriebnahme Lüftungsanlage Luftwechsel: $1.5 \text{ h}^{-1}$	Inbetriebnahme Lüftungsanlage Luftwechsel: $2.7 \text{ h}^{-1}$
Raumluftmessung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] bei laufender Lüftung 11. April 2014	TVOC: 98 Teerölinhaltstoffe: 8 <b>Naphthalin: 3</b>	TVOC: 9 Teerölinhaltstoffe: 9 <b>Naphthalin: 6</b>
Massnahme	Ersatz: neuer Linoleum Bodenbelag Luftwechsel: $1.5 \text{ h}^{-1}$	Ersatz: neuer Linoleum Bodenbelag Luftwechsel: $2.7 \text{ h}^{-1}$
Raumluftmessung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] bei laufender Lüftung 15. April 2014	TVOC: 489 Teerölinhaltstoffe: 17 <b>Naphthalin: 6</b>	TVOC: 467 Teerölinhaltstoffe: 50 <b>Naphthalin: 27</b>
Massnahme	Entfernen UB und Schüttung auf $2\text{m} * 0.5\text{m}$ Abdichtung Anschluss Lino abgeklebt	Entfernen UB und Schüttung auf $2\text{m} * 0.5\text{m}$ Abdichtung Anschluss Lino abgeklebt
Raumluftmessung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] bei laufender Lüftung 17. April 2014	TVOC: 431 Teerölinhaltstoffe: 14 <b>Naphthalin: 5</b>	TVOC: 247 Teerölinhaltstoffe: 27 <b>Naphthalin: 16</b>

Ablauf Probesanierung	5/104, Oberstufentrakt, 1. OG	3/003, Spezialtrakt, EG
Massnahme	Rückbau Lüftungsanlage	Neu-Programmierung der Lüftungsanlage Steuerung über CO <sub>2</sub> -Sensor und mit minimalem Dauerbetrieb (Luftwechsel ca. 1.5 h <sup>-1</sup> während den Nutzungszeiten (7 h bis 18 h) genauer Luftwechsel nicht bekannt
Raumluftmessung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] bei laufender Lüftung 1. Mai 2014	Keine Messung	TVOC: 115 Teerölinhaltsstoffe: 16 <b>Naphthalin: 10</b>
Massnahme	--	Neu-Programmierung der Lüftungsanlage Luftwechsel: 3.1 h <sup>-1</sup>
Raumluftmessung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] bei laufender Lüftung 1. Mai 2014	Keine Messung	TVOC: 57 Teerölinhaltsstoffe: 9 <b>Naphthalin: 6</b>

#### SCHLUSSFOLGERUNGEN

Nachhaltig sinnvoll für Sanierungen bei Naphthalin-Belastungen ist die Entfernung des kontaminierten Materials mit ergänzenden Abdichtungsarbeiten. Durch die Messungen während der Probesanierung lässt sich jedoch zeigen, dass mit dem Betrieb von Lüftungsanlagen die Konzentrationen in Räumen mit tiefer und mittlerer Belastung unter die entsprechenden Richtwerte gesenkt werden können, auch wenn das belastete Material im Gebäude verbleibt. Dies fordert jedoch den ständigen Betrieb der Lüftungsanlagen während der Nutzungszeit und einer ausreichenden Vorlaufzeit.

In Räumen mit hoher Naphthalin-Belastung ist eine Sanierung durch Entfernen der Quelle durchzuführen, da hier die Reduzierung durch den Lüftungsbetrieb voraussichtlich nicht ausreichend ist. Dies gilt auch für Räume, für die ein grösserer Eingriff in den Unterlagsboden geplant ist.

Während den Erneuerungsarbeiten in den Schulzimmern (an den Böden) sind emissionsmindernde Massnahmen zu treffen und die Abdichtungen von Deckendurchstössen sind gemäss den Sanierungsvorgaben durchzuführen und rigoros zu kontrollieren.

Wird das Verfahren der Konzentrationsminderung über den Betrieb von Lüftungsanlagen im Rahmen einer Sanierung der Gebäude gewählt, empfehlen wir zur Kontrolle Abschlussmessungen durchzuführen.

## 2. AUSGANGSLAGE

### OBJEKT

Die Angaben zur Schulanlage und bisher durchgeführten Massnahmen sind in den Berichten<sup>1</sup> aus dem Jahr 2005, 2006, 2009, 2011 und 2012 vermerkt.

### AUFGABENBESCHREIBUNG

Im Schulhaus Manuel sind im Bodenaufbau verschiedene teeröhlhaltige Materialien vorhanden, die zu einer geruchs- und gesundheitsrelevanten Belastung führen. Da im Rahmen anstehender baulicher Massnahmen eine geregelte Lüftung geplant ist, soll vorgängig eruiert werden, welche Auswirkungen ein definierter Luftwechsel auf die Naphthalin-Konzentrationen hat, ohne einen tieferen Eingriff mit umfassenden Sanierungs- und Rückbaumassnahmen durchzuführen.

Hierbei sind gesamthaft die zu realisierenden baulichen Massnahmen (energetische Sanierung, Ausführung von Bodendurchdringungen etc.) und auch die späteren Bedingungen im Betrieb (Betrieb der Lüftungsanlage etc.) in einer Probesanierung zu simulieren. Die Massnahmen sind in zwei exemplarischen Räumen messtechnisch zu kontrollieren und zu bewerten.

### UMFANG DER PROBESANIERUNG

Für die Probesanierung wurden zwei Räume mit unterschiedlichen Naphthalin-Belastungen gewählt: Das Zimmer 3/003 mit einer höheren und das Zimmer 5/104 mit einer durchschnittlichen Belastung. Die in den Räumen getroffenen Massnahmen sind im Folgenden aufgeführt.

- Einbau und Inbetriebnahme einer provisorischen Lüftungsanlage mit unterschiedlichen Luftwechseln (Szenarien)
- Ausbau alter Linoleum Bodenbelag
- Anschleifen des Unterlagbodens (UB)<sup>2</sup>
- Verlegen und verkleben eines neuen Linoleum Bodenbelags
- Entfernen von UB und Schüttung auf 2m \* 0.5m (Grösse für Lüftungskanalelement)
- Abdichten mit Dachbahnen und Abkleben der Anschlüsse
- Abdichten der Fenster

Auf den Durchbruch einer Geschossdecke wurde verzichtet, da das Gebäude in Betrieb ist.

### BISHER DURCHGEFÜHRTE MASSNAHMEN/ MESSUNGEN

In den zwei untersuchten Räumen wurden früher bereits Messungen der Raumlufbelastung mit Naphthalin und flüchtigen Teerölinhaltsstoffen durchgeführt<sup>3</sup>. Unter Standardbedingungen wurden im Jahr 2006 im 3/003 43 µg/m<sup>3</sup> und im Zimmer 5/104 des Oberstufentrakts 18 µg/m<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> BAU- UND UMWELTCHEMIE Beratungen + Messungen AG, Bericht 0414-02 bis -21, 2005- 2012

<sup>2</sup> Für die Arbeiten wurde ein Schleifgerät mit Direktabsaugung verwendet und die Wände wurden mit Folien abgeklebt.

<sup>3</sup> BAU- UND UMWELTCHEMIE Beratungen + Messungen AG, Bericht 0414-02 bis -21, 2005- 2012

Naphthalin in der Raumlufte gemessen. Im Jahr 2011 ergab eine Messung im 3/003 unter Nutzungsbedingungen eine Naphthalin-Konzentration von 23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 3. UNTERSUCHUNGEN

#### AUFTRAG

Die Fa. BAU- UND UMWELTCHEMIE AG wurde beauftragt, gemäss den Offerten vom 4. März und 17. April 2014 eine Probesanierung in zwei Schulzimmern fachlich zu begleiten und mittels Raumluftemessungen auf Naphthalin zu bewerten. Ergänzend soll in einem Raum die  $\text{CO}_2$ -Konzentration über 3 Wochen aufgezeichnet werden.

#### MESSPUNKTE

Die untersuchten Messpunkte sind in Tab. 2 zusammengestellt.

Tab. 2: Übersicht über die durchgeführten Messungen

Bereich	Parameter	5/104	3/003
Chemie	Flüchtige organische Verbindungen in der Raumlufte	x	x
Physik	Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) in der Raumlufte	--	x

#### MESS- UND RANDBEDINGUNGEN

Die chemischen Luftanalysen erfolgten mittels aktiver Probenahme<sup>4</sup> - beschrieben im Anhang I - unter Standardbedingungen<sup>5</sup>, in belüfteten Räumen<sup>6</sup> oder unter Nutzungsbedingungen an den untersuchten Messpunkten. Die jeweils gewählten Bedingungen sind wie die Angaben zur Raumlufte Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit mit den Resultaten in Kapitel 4.1 aufgeführt. Die Messungen fanden jeweils zwischen 10:30 und 12:00 Uhr statt.

Die kontinuierlichen  $\text{CO}_2$ -Messungen fanden vom 17. April bis zum 15. Mai 2014 statt. Während dieser Periode wurden die Parameter Kohlendioxidgehalt, (Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit) alle fünf Minuten erfasst und auf Datenloggern aufgezeichnet.

<sup>4</sup> Die Ergebnisse einer Aktivmessung spiegeln die Emissionen der Bau- und Einrichtungsmaterialien wieder, da mögliche äussere Einflüsse auf ein Minimum reduziert sind.

<sup>5</sup> Um die Ergebnisse von verschiedenen Raumlufte Messungen miteinander zu vergleichen und gegenüber Richtwerten bewerten zu können, erfolgen die Messungen unter Standardbedingungen. Entsprechend der ISO Norm 16000-2 und 16000-5 muss der zu messende Raum 15 Minuten intensiv gelüftet werden und danach etwa 8 Stunden bis zum Ende der Messung geschlossen bleiben. Raumlufte technische Anlagen sind während dieser Zeit ausgeschaltet oder sämtliche Zuluftdurchlässe luftdicht verklebt.

<sup>6</sup> Die RLT-Anlage ist vor den Probenahmen drei Stunden lang bei den für den Raum üblichen Betriebsbedingungen zu betreiben.

## 4. MESSERGEBNISSE UND INTERPRETATION

### 4.1 CHEMIE – ANALYSE

#### ERGEBNISSE

Tab. 3 und Tab. 4 zeigen den TVOC-Wert, die Konzentration an flüchtigen Teerölinhaltsstoffen und die Verbindung Naphthalin in den untersuchten Räumen. Es sind die zuletzt gemessenen Werte vor während und nach der Probesanierung aufgeführt.

Tab. 3: Naphthaline und weitere Teeröl-Inhaltsstoffe im Zimmer 5/104

Parameter	Zimmer 5/104			
	vor Sanierung		Nach Neuverlegung Linoleumbelag	Nach Abbruch und Abdichtung Bodenaufbau
Lüftungsbedingungen	Standard (Raum 8 h geschlossen)	Mechanische Lüftung Luftwechsel 1.5 h <sup>-1</sup>		
Messzeitpunkt	07.04.2014	11.04.2014	15.04.2014	17.04.2014
Temp. /rel. Luftfeuchte	23.0°C 37%	22.9°C 33.6%	22.8°C 23.5%	22.2°C 29%
	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
TVOC	53	98	489	431
Summe flüchtige Teeröl- Inhaltsstoffe	29	8	17	14
Naphthalin CAS-Nr. 91-20-3	10	3	6	5



Tab. 4: Naphthaline und weitere Teeröl-Inhaltsstoffe im Zimmer 3/003

Parameter	Zimmer 3/003					
	vor Sanierung		Nach der Neuverlegung Linoleumbelag	Nach Abbruch & Abdichtung des UB-Stücks	Schulbetrieb	
Lüftungsbedingungen	Standard (Raum 8 h geschlossen)	Mechanische Lüftung Luftwechsel 2.7 h <sup>-1</sup>			Mechanische Lüftung, CO2-Sensor <sup>7</sup>	Mechanische Lüftung, Luft- wechsel 3.1 h <sup>-1</sup>
Messzeitpunkt	07.04.2014	11.04.2014	15.04.2014	17.04.2014	01.05.2014	15.05.2014
Temperatur	23.8°C	23.5°C	23.5°C	23.1°C	24.4°C	22.1°C
rel. Luftfeuchte	38%	33.8%	24%	32%	44%	43%
	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
TVOC	95	9	467	247	115	57
Summe flüchtige Teeröl- Inhaltsstoffe	62	9	50	27	16	9
Naphthalin CAS-Nr. 91-20-3	37	6	27	16	10	6

## GESAMTSITUATION (TVOC) - INTERPRETATION

Der gemessene Gehalt an Lösemitteln in der Raumluft, die sogenannte TVOC-Konzentration, liegt an den Messpunkten bei unterschiedlichen Bedingungen zwischen 9 bis 489 µg/m<sup>3</sup>. Üblicherweise werden in Wohnungen und Büros Werte zwischen 250 und 500 µg/m<sup>3</sup> gemessen. In Büros und Wohnungen, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind, sollte für einen beschwerdefreien Aufenthalt auf Dauer ein TVOC-Wert im Bereich von 1000 bis 3000 µg/m<sup>3</sup> nicht überschritten werden. Ziel sollte es sein, zur Sicherung raumlufthygienischer (keine toxikologische Begründung) und angenehmer Raumluftverhältnisse<sup>8</sup> in Innenräumen im langzeitigen Mittel eine TVOC-Konzentration von 200 bis 300 µg/m<sup>3</sup> zu erreichen bzw. nach Möglichkeit sogar zu unterschreiten.

## SUMME TEERÖLINHALTSSTOFFE UND NAPHTHALINE – INTERPRETATION

Die gemessenen Summenkonzentrationen der flüchtigen Teerölinhaltsstoffe lagen unter Standardbedingungen bei 29 µg/m<sup>3</sup> im „Oberstufentrakt 1. OG, 104“ und bei 62 µg/m<sup>3</sup> im „Spezialtrakt Raum EG, 003“. Unter dem beschriebenen Betrieb der Lüftungsanlage wurden an

<sup>7</sup> Luftwechsel von der Raumbelagung abhängig, jedoch mindestens 1.3 h<sup>-1</sup>; Betrieb während Nutzungszeiten von 7h bis 18 h

<sup>8</sup> Seifert B., Richtwerte für die Innenraumluft - Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert), Bundesgesundheitsblatt – Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 42, S. 270-278, 1999

den Messpunkten abhängig vom Messzeitpunkt Konzentrationen im Bereich von 8 bis 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nachgewiesen.

Die Teerölinhaltstoffe setzen sich hauptsächlich aus Naphthalinen zusammen. Als weitere Teerölinhaltstoffe konnten einzig Dibenzofuran und Diphenyl in Konzentrationen zwischen 2 und 4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nachgewiesen werden. Für die Summe der Teerölinhaltstoffe besetzt ein vorläufiger Eingreifwert<sup>9</sup> von 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und ein vorsorglicher Richtwert von 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Je nach Zusammensetzung bewegt sich die Geruchsschwelle von Teerölinhaltstoffen erfahrungsgemäss zwischen 20 und 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Teerölinhaltstoffe sind Bestandteile von Teerölen, mit denen beispielsweise Isolationsmaterialien imprägniert wurden sowie von PAK-haltigen Klebern. Naphthaline werden auch bei der unvollständigen Verbrennung freigesetzt.

#### NAPHTHALIN – INTERPRETATION

Die Naphthalin-Konzentrationen lagen unter Standardbedingungen bei 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  im „Oberstufentrakt 1. OG, 104“ und bei 37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  im „Spezialtrakt Raum EG, 003“. Unter dem beschriebenen Betrieb der Lüftungsanlage wurden an den Messpunkten abhängig vom Messzeitpunkt nach den Massnahmen Konzentrationen im Bereich von 3 bis 27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nachgewiesen.

Naphthalin ist für die gesundheitliche Bewertung die Leitkomponente der flüchtigen Teerölinhaltstoffe.

Der gesundheitliche Eingreifwert<sup>10</sup> für Naphthalin liegt bei 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , der empfohlene WHO-Jahresmittelwert<sup>11</sup> bei 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

---

<sup>9</sup> Umweltbundesamt, Richtwerte für die Innenraumluft: Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen, Bundesgesundheitsblatt 56(10): 1448-1459, 2013

<sup>10</sup> Sagunski H, Heger W, Richtwerte für die Innenraumluft: Naphthalin, Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 47, S. 705-712, 2004

<sup>11</sup> World Health Organization, WHO Guidelines for Indoor Air Quality: selected Pollutants, Dezember 2010

## 4.2 KLIMA – ANALYSE

### ERGEBNISSE KOHLENDIOXID

In Tab. 5 sind Durchschnittswerte (während der Nutzungszeit des Raumes) und Maximalwerte der über drei Wochen unter verschiedenen Lüftungsbedingungen gemessenen Kohlendioxidkonzentration (CO<sub>2</sub>) aufgeführt. Im Anhang ist der vollständige Verlauf der Kohlendioxidkonzentration grafisch dargestellt.

Tab. 5: Ergebnisse der Kohlendioxidauswertung

Raum	Zimmer 3/003 (190 m <sup>3</sup> )		
	CO <sub>2</sub> Sensor: Luftwechsel Variabel 1.3 – 3.1 h <sup>-1</sup>	Luftwechsel Konstant 2.6 h <sup>-1</sup>	Luftwechsel Konstant 3.1 h <sup>-1</sup>
Einstellung Lüftungsanlage	ppm	ppm	ppm
Mittelwert über Nutzungszeit	694	698	620
Höchstwert	1173	1230	1117
Überwiegende Personenbelegung während Schulstunden	22	22	22

### INTERPRETATION - KOHLENDIOXID

Die Mittelwerte über die Nutzungszeit liegen am Messpunkt bei allen drei Einstellungen der Lüftungsanlage im Bereich für Raumluf mit hoher Luftqualität<sup>12,13</sup>. Es treten vereinzelt Spitzenkonzentrationen von über 900 ppm auf. Die Spitzenwerte für die CO<sub>2</sub>-Konzentration liegen an keinem Messpunkt über 1'300 ppm. Die Raumluf entspricht damit immer noch einer Raumluf mit mittlerer Luftqualität. Diese Kategorien gelten für Räume, die dem Aufenthalt von Personen dienen, und bei denen erhöhte Ansprüche gestellt werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass auf Grund der Ergebnisse der Messkampagne die den Räumen zugeführte Frischluftmenge im Verhältnis zur Raumbelugung jederzeit ausreichend war.

Anhand der Daten kann der Rückschluss gezogen werden, dass die Lüftungsanlage während der Steuerung über den CO<sub>2</sub>-Sensor einen durchschnittlichen Luftwechsel zwischen 2.6 und 3.1 h<sup>-1</sup> über die Nutzungszeit erreichte und somit auf recht hohem Niveau lief.

<sup>12</sup> SIA 382/1, Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, 2007

<sup>13</sup> prEN 13779, Leistungsanforderungen für raumluftechnische Anlagen, Deutsches Institut für Normungen e.V. (DIN), Entwurf Februar 2000

## 5. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

### 5.1 SCHLUSSFOLGERUNGEN

#### LÜFTUNGSANLAGE

Durch den Betrieb der Lüftungsanlagen konnten die Raumluftkonzentrationen in den Schulzimmern 5/104 und 3/003 deutlich gesenkt werden. Sind die baulichen Massnahmen zunächst mit einer stärkeren Emission einhergegangen, konnten über einen längeren zeitlichen Verlauf der gültige WHO-Jahresmittelwert für Naphthalin von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  letztlich eingehalten werden. Die Gesamtkonzentrationen der Teerölinhaltstoffe bewegen sich unter Lüftungsbetrieb in geruchlich nicht wahrzunehmenden Konzentrationen.

Im Zimmer 5/104, welches eine tiefere Naphthalin Belastung unter Standardbedingungen (8 h nicht gelüfteter Raum) aufweist, konnte mit einem 1.5 fachen Luftwechsel der Naphthalin-Wert halbiert werden. Im stärker belasteten Zimmer 3/003 lag die Naphthalin-Konzentration bei einem 2.5 bis 3.1-fachen Luftwechsel rund um den Faktor 4 bis 6 tiefer als unter Standardbedingungen.

Aufgrund der im Zimmer 3/003 aufgezeichneten  $\text{CO}_2$ -Konzentration lässt sich ableiten, dass ein Luftwechsel in dieser Grössenordnung ( $2.5 \text{ h}^{-1}$  bis  $3.1 \text{ h}^{-1}$ ) auch für eine sehr gute Luftqualität betreffend  $\text{CO}_2$  bei einer Personenbelegung von rund 23 Personen führte.

Es ist zu beachten, dass die Messungen jeweils durchgeführt wurden als die Lüftungsanlage bereits 3 Stunden in Betrieb war. Direkt nach Inbetriebnahme der Anlagen ist mit höheren Konzentrationen zu rechnen.

#### ERNEUERUNG BODENBELAG UND DURCHSTOSS UNTERBELAGSBODEN (DECKE)

Die Erneuerung des Linoleumbelags in den untersuchten Zimmern führte wie erwartet zu einem Ansteigen der Naphthalin-Konzentrationen. Dies ist durch den kontaminierten Unterlagsboden zu erklären, der an der Oberfläche abgeschliffen wurde. Nach der Verlegung des neuen Linoleum Bodenbelags reduzierte sich die Belastung in Raum dank der guten Durchlüftung innerhalb einiger Tage wieder deutlich.

Das Abdichten des aufgebrochenen Unterlagbodens mit Bitumenbahnen hat sich bewährt. Diese Arbeiten führten im kleinflächigen Ausmass und unter Betrieb der Lüftungsanlage zu keinem Anstieg der Naphthalin-Belastungen in den untersuchten Räumen.

### 5.2 FAZIT

Nachhaltig sinnvoll für PAK-Sanierungen ist die Entfernung des belasteten Materials mit ergänzenden Abdichtungsarbeiten der Betonplatten. Anhand der Messwerte zeigt sich aber, dass mit dem Betrieb von Lüftungsanlagen die Konzentrationen in Räumen mit tiefer und mittlerer Belastung unter die Referenzwerte gesenkt werden können, ohne das kontaminierte Material zu entfernen. In Räumen, deren Naphthalin-Belastungen unter Standardbedingungen den WHO-Richtwert um bis zu einem Faktor 3 überschreiten, können bei entsprechender Durchlüftung

Werte unterhalb des WHO-Richtwerts erwartet werden. Voraussetzung dafür ist jedoch der fortlaufende Betrieb der Anlagen während der Nutzungszeit und die Einstellung einer ausreichenden Vorlaufzeit vor dem Unterricht, da die Konzentrationen bei nicht laufender Lüftungsanlage (z.B. über Nacht) wie bisher wieder ansteigen.

Da sich die Belastungen auch bei hohem Luftwechsel nicht vollständig auslüften lassen, ist in Räumen mit hoher Naphthalin-Belastung eine Sanierung gemäss der Probesanierung in den Räumen 3/105 und 3/106 im Jahr 2011 durchzuführen<sup>14</sup>. Dies gilt auch für Räume, für die ein stärkerer Eingriff in den Unterlagsboden geplant ist.

Während den Erneuerungsarbeiten in den Schulzimmern (an den Böden) ist für eine gute Durchlüftung der Räume zu sorgen, Wände sollten mit Folien abdeckt werden, die Türen zu den Korridoren sind zu verschliessen. Abdichtungen von Deckendurchstössen (für Lüftungskanalelemente) sind gemäss den Sanierungsvorgaben durchzuführen und rigoros zu kontrollieren.

Wird das Verfahren der Konzentrationsminderung über den Betrieb von Lüftungsanlagen im Rahmen einer Sanierung der Gebäude gewählt, empfehlen wir eine messtechnische Kontrolle nach Abschluss der Arbeiten.

---

<sup>14</sup> BAU- UND UMWELTCHEMIE Beratungen + Messungen AG, Bericht 0414-21, 2012

## 6. FOTODOKUMENTATION



Abb. 1: Zimmer 5/104, Raumluftmessung vor Probesanierung



Abb. 2: Zimmer 3/003, Raumluftmessung vor Probesanierung



Abb. 3: Zimmer 5/104, Raumluftmessung nach Verlegung des neuen Bodenbelags



Abb. 4: Zimmer 3/003, Raumluftmessung nach Abdichten des aufgebrochenen Bodenaufbaus



Abb. 5: Zimmer 3/003, Raumluftmessung nach Abschluss der Sanierungsarbeiten

---

## 7. ANHANG I PROBENAHME

### 7.1 CHEMIE – ANALYSE

Die Probenahme erfolgte nach der Arbeitsvorschrift *AV VOC LUFT*, die sich auf die Richtlinien ISO 16000-5 und ISO 16000-6 abstützt.

Der Summenparameter für flüchtige organische Verbindungen (TVOC = Total Volatile Organic Compounds) wird gemäss ISO 16000-6 bestimmt und umfasst alle auf TENAX eluierbaren und identifizierten Stoffe im Retentionszeitbereich zwischen n-Hexan und n-Eicosan und oberhalb ihrer Bestimmungsgrenzen von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die Bestimmungsgrenze für chlorierte Verbindungen sowie Acetophenon beträgt  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , für Naphthalin und Benzol  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die nicht identifizierten Signale werden oberhalb von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bei der Summenberechnung des TVOC berücksichtigt.

### 7.2 KLIMA – ANALYSE

Die Aufzeichnung der  $\text{CO}_2$ -Konzentration, der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit wurde mit Klimadatenloggern durchgeführt. Die Genauigkeit der Geräte beträgt für die Temperatur  $\pm 0.3^\circ\text{C}$ , für die Feuchte  $\pm 3\%$  und für den  $\text{CO}_2$ -Gehalt  $\pm 50 \text{ ppm}$  bzw. 5%.

## 8. ANHANG II KLIMA – ANALYSE – RAUMLUFT

### 3/003 – KOHLENDIOXIDKONZENTRATION

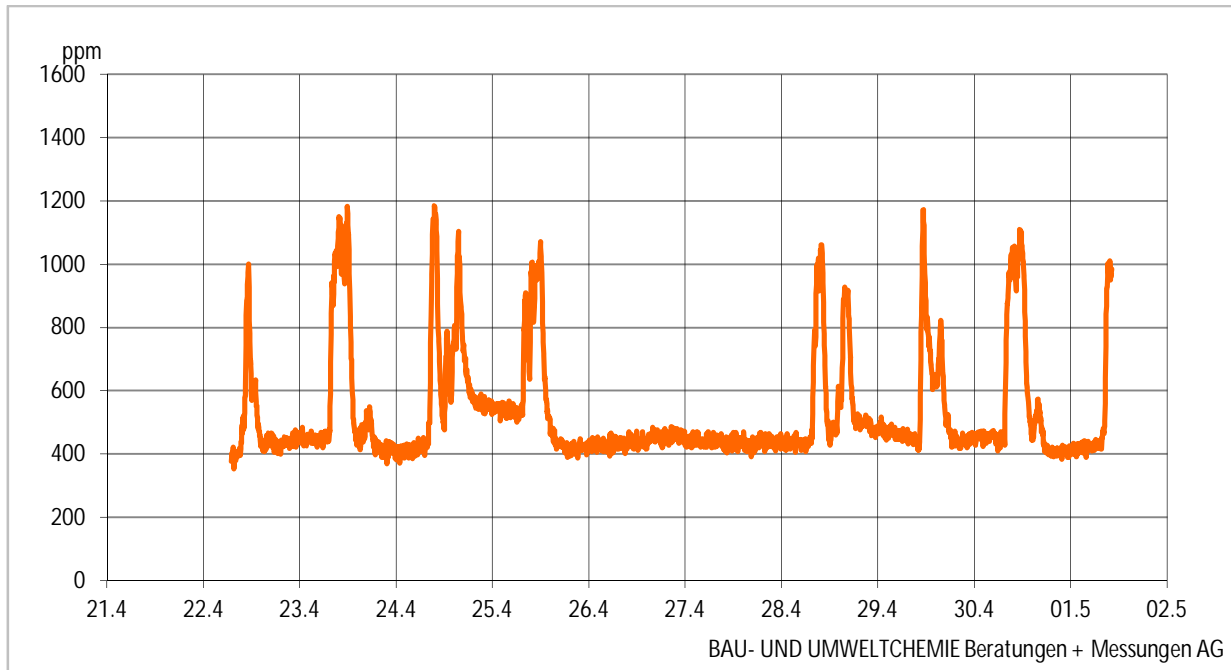


Abb. 6: Kohlendioxidkonzentration im Zimmer 3/003 vom 22. April bis am 1. Mai 2014

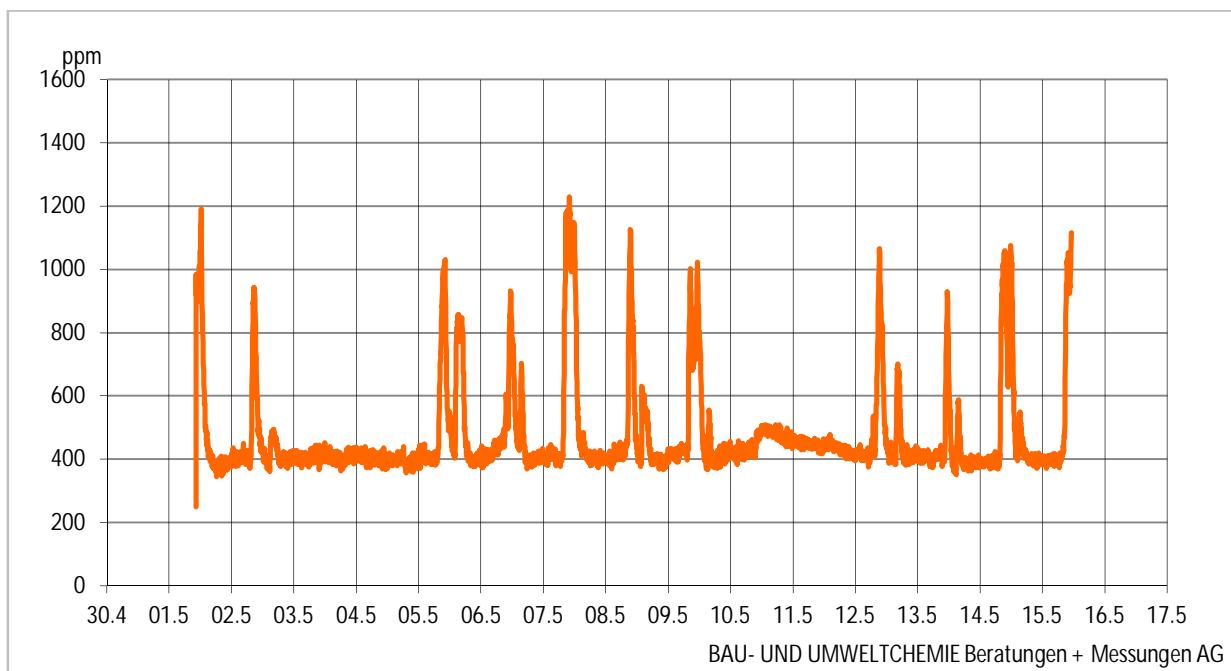


Abb. 7: Kohlendioxidkonzentration im Zimmer 3/003 vom 1. Mai bis am 15. Mai 2014