



Bremer Umweltinstitut[⊕]

Gesellschaft für Schadstoffanalysen
und Begutachtung mbH



Bremer Umweltinstitut GmbH · Fahrenheitstr. 1 · D-28359 Bremen

Stadt Lüneburg FB 8 Gebäudewirtschaft
z. Hd. Frau Sunder
Postfach 2540

21315 Lüneburg

Fahrenheitstr. 1
D-28359 Bremen
Fon +49(0)421 / 7 66 65
Fax +49(0)421 / 7 14 04
mail@bremer-umweltinstitut.de
www.bremer-umweltinstitut.de

AZ: K 9530 BB

14.08.2019

Sehr geehrte Frau Sunder,

anbei erhalten Sie den Bericht über die Untersuchung der Luftproben auf PAK und PCN aus der Grundschule Schule in Lüneburg. Die Probenahme erfolgte durch den Unterzeichner am 19.07.2019.

Der UNTERSUCHUNGSBERICHT besteht aus der BEFUNDUNG und dem ANALYSENBERICHT und ist wie folgt gegliedert:

TEIL 1: BEFUNDUNG:

1. ALLGEMEINE ANGABEN ZUM AUFTRAG
2. ERGEBNISDARSTELLUNG
3. INFORMATIONEN ZU DEN ANALYSIERTEN PARAMETERN
4. BEWERTUNGSGRUNDLAGEN
5. FAZIT UND EMPFEHLUNGEN

TEIL 2: ANALYSENBERICHT:

1. AUFTRAGSBESCHREIBUNG
2. PRÜFVERFAHREN
3. ERGEBNISSE

Das größtmögliche Verständnis gewinnen Sie, wenn Sie den gesamten Untersuchungsbericht durchlesen. Einen Überblick über die Ergebnisse und die daraus folgenden Empfehlungen geben die Kapitel 2 ERGEBNISDARSTELLUNG und Kapitel 5 FAZIT UND EMPFEHLUNGEN.

Sollten Sie Fragen zum Bericht haben, stehen wir Ihnen gerne telefonisch beratend zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen
Bremer Umweltinstitut

Dr. Norbert Weis,
Fachapotheker für Toxikologie und Ökologie

Anlagen: UNTERSUCHUNGSBERICHT (BEFUNDUNG und ANALYSENBERICHT)



Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL-18812-01-00

Die Bremer Umweltinstitut GmbH ist ein nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 durch die DAKKS akkreditiertes Prüflaboratorium. Bei der Akkreditierung handelt es sich um eine externe Qualitätsüberwachung nach internationalen Standards. Diese gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren, siehe auch www.bremer-umweltinstitut.de

Geschäftsführung:
Dr. Norbert Weis, Ulrike Siemers
Amtsgericht Bremen HRB 14617
Steueridentnummer DE 154288998
Es gelten unsere Geschäftsbedingungen,
die wir Ihnen auf Wunsch zuschicken.
Erfüllungsort und Gerichtsstand ist Bremen.

Bankverbindung:
Sparkasse Bremen
IBAN: DE55 29050101 0001 117167
BIC: SBREDE 22
Konto 1 117 167
BLZ 290 501 01

UNTERSUCHUNGSBERICHT

TEIL 1: BEFUNDUNG

1 Allgemeine Angaben zum Auftrag

Auftraggeber:	Stadt Lüneburg FB 8 Gebäudewirtschaft Frau Sunder Neue Sülze 32 21335 Lüneburg
Auftragsdatum:	19.07.2019
Auftragnehmer:	Bremer Umweltinstitut Gesellschaft für Schadstoffanalysen und Begutachtung mbH Fahrenheitstraße 1 28359 Bremen
Prüfberichtsnummer:	K 9530 BB
Erstellungsdatum:	14.08.2019
Untersuchungsobjekt:	Grundschule Lüne in Lüneburg
Veranlassung / Ziel:	<p>In der Pausenhalle der Grundschule Lüne in Lüneburg wird ein unangenehmer Geruch wahrgenommen. Bei der Untersuchung vor 5 Jahren wurde eine erhöhte Belastung mit PCN festgestellt (s. unser Bericht H 9183 BB). Als Quelle wurde das behandelte Holz in der Dachkonstruktion der Pausenhalle identifiziert</p> <p>Diese Untersuchung dient nun der erneuten Überprüfung der Raumluft auf PCN und zusätzlich auf PAK bzw. leichtflüchtige PAK unter worse-case-Bedingungen (es handelt sich um die Ausgleichskonzentration, wie sie sich bei Räumen einstellt, wenn sie über mehrere Stunden [in der Regel über Nacht] nicht gelüftet wurden. Weiterhin wurde eine Messung auf leichtflüchtige PAK unter Nutzungsbedingungen durchgeführt. Dazu wurde der Raum im Anschluss an die worse-case Messung für 10 Minuten gründlich gelüftet , danach verschlossen und (am Ende einer fiktiven Schulstunde, also) von Minute 30 bis 45 erneut gemessen.</p> <p>Die Probenahme erfolgte am 19.07.2019 durch Herrn Dr. Norbert Weis (Bremer Umweltinstitut).</p>

2 Ergebnisdarstellung

Untersuchung von Luftproben auf PAK und PCN unter worst-case-Bedingungen (die Pausenhalle war über Nacht ungelüftet):

Der Summengehalt an PAK (16 EPA-PAK) in der Raumluft der Pausenhalle (Zwischengang) im Bereich des Kiosks im EG beträgt zum Zeitpunkt der Messung **710 ng/m³**. Die Leitsubstanz Benzo(a)pyren wurde nicht festgestellt. Naphthalin wurde mit 260 ng/m³ ermittelt. Das Summen-Karzinogenitätsequivalent (Summen-KE), welches als toxikologische Hilfsgröße ermittelt wurde, beträgt **0,74**. Die Summe der naphthalinähnlichen Verbindungen beträgt 1.400 ng/m³.

Der Summengehalt an Polychlorierten Naphthalinen (PCN) beträgt **2.800 ng/m³**.

Der Summengehalt an PAK (16 EPA-PAK) in der Raumluft der Pausenhalle (Zwischengang) im Bereich vor dem Nebenflügel im EG beträgt zum Zeitpunkt der Messung **610 ng/m³**. Die Leitsubstanz Benzo(a)pyren wurde nicht festgestellt. Naphthalin wurde mit 280 ng/m³ ermittelt. Das Summen-Karzinogenitätsequivalent (Summen-KE), welches als toxikologische Hilfsgröße ermittelt wurde, beträgt **0,64**.

Die Summe der naphthalinähnlichen Verbindungen beträgt 1.300 ng/m³.

Der Summengehalt an Polychlorierten Naphthalinen (PCN) beträgt **2.200 ng/m³**.

Untersuchung von Luftproben auf leichtflüchtige PAK und methylierte Naphthaline nach schulüblichen Nutzungsbedingungen:

(Nutzungssimulation: Die Pausenhalle wurde für 10 Minuten über alle zur Verfügung stehenden Fenster und Türen quergelüftet, die Messung erfolgte dann eine halbe Stunde später und war nach 45 Minuten also nach Abschluss einer Schulstunde beendet).

In der Raumluft der Pausenhalle (Zwischengang) im Bereich bei Kiosk im EG nach Nutzungssimulation/Lüftung wurde Naphthalin mit 210 ng/m³ sowie Acenaphthen mit 170 ng/m³ nachgewiesen. Die Summe der naphthalinähnlichen Verbindungen (leichtflüchtige PAK plus methylierte Naphthaline) beträgt 1.000 ng/m³.

In der Raumluft der Pausenhalle (Zwischengang) im Bereich vor Nebenflügel im EG nach Nutzungssimulation/Lüftung wurde Naphthalin mit 260 ng/m³ sowie Acenaphthen mit 170 ng/m³ nachgewiesen. Die Summe der naphthalinähnlichen Verbindungen (leichtflüchtige PAK plus methylierte Naphthaline) beträgt 1.000 ng/m³.

3 Informationen zu den analysierten Parametern

3.1 Allgemeine Informationen für Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

PAK kommen als wesentliche Inhaltsstoffe von Steinkohleteerölprodukten wie z.B. Steinkohleteeröl oder bestimmten Asphaltprodukten vor. Steinkohleteeröle sind stark riechende, teerig-ölige Imprägnieröle, die z.T. auch im Holzschutz verwendet werden. Sie schützen vor Pilz- und Insektenbefall. Häufig werden sie auch als Carbolinum bezeichnet. Bei den Teerölen handelt es sich um Stoffgemische aus mehreren tausend Einzelstoffen, von denen nur ca. 500 eindeutig identifiziert sind. Als am toxikologisch bedeutendsten unter diesen gelten die PAK.

Darüber hinaus entstehen PAK immer, wenn organisches Material im Sauerstoffunterschuss auf hohe Temperaturen (mind. 400 bis 1.500 °C) erhitzt wird. Sie sind daher immer in Kontaminationen aus Bränden (Wohnungs- oder Hausbränden) enthalten.

Einige der PAK sind als krebserregend erkannt worden. Dies gilt besonders für den direkten Hautkontakt, aber auch für die inhalative Aufnahme. Bekannt ist dies vor allem von Benzo(a)pyren, allerdings sind auch Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Dibenz(a,h)anthracen und Indeno(1,2,3-cd)perylene als krebserregend anzusehen.

Die Senatskommission zur Prüfung gesundheitlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) hat Steinkohleteeröle als "Stoffe, die beim Menschen erfahrungsgemäß bösartige Geschwülste zu verursachen vermögen" (MAK-Liste, III 1) bewertet. Andere Substanzgemische, die die oben genannten krebserregenden PAK enthalten sind als eindeutig krebserregend im Tierversuch, und zwar unter Bedingungen, die der möglichen Exposition am Arbeitsplatz vergleichbar sind, bzw. aus denen Vergleichbarkeit abgeleitet werden kann, anzusehen (MAK III 2). Auch bei Naphthalin besteht Verdacht auf ein krebserzeugendes Potential (MAK III 3).

Darüber hinaus können toxische Wirkungen bei chronischer Exposition nicht ausgeschlossen werden; berichtet wird von Hautentzündungen, Hautschäden, Atembeschwerden, Erscheinungen am Zentralnervensystem, Kopfschmerzen, Erbrechen, Durchfall, Fieber, Nierenreizungen, allgemeines Unwohlsein, Ohrensausen, Schwindel. In schweren Fällen können Blutbildveränderungen, Leber- und Nierenschäden und Herzversagen auftreten.

Seit 1991 ist die sogenannte Teerölverordnung in Kraft getreten, die die Verwendung und das Inverkehrbringen von Teerölpräparaten in Innenräumen verbietet (mit der Neufassung der Gefahrstoffverordnung 1993 wurde die TeerölV in die GefStoffV §15 Abs.3, bzw. die ChemVerbotsV §1 Abschnitt 17 übernommen).

Folgende Ausnahmen vom Herstellungs- und Verwendungsverbot werden in der Gefahrstoffverordnung explizit genannt: Holzschutzmittel, die Rohteere, Teeröle, oder deren Bestandteile oder Destillationsprodukte (Pech) enthalten, dürfen hergestellt und in geschlossenen Anlagen unter folgenden Bedingungen verwendet werden:

Benzo(a)pyren-Gehalte bis zu höchstens 5 mg/kg (ppm), sofern die Holzschutzmittel:

- a) nicht an den privaten Endverbraucher in den Verkehr gebracht werden
- b) nicht in Innenräumen verwendet werden,

Benzo(a)pyren-Gehalte größer als 5 mg/kg (ppm) bis zu höchstens 50 mg/kg (ppm):

- a) zu Druckimprägnierung mit Schlussvakuum von Erzeugnissen aus Holz- oder Holzwerkstoffen
- b) zu anderen Imprägnierungsverfahren zur Teilimprägnierung von Holzpfählen, mit denen ein Tiefenschutz gewährleistet ist, insbesondere die Einstelltränkung im Heiß-Kalt-Verfahren, wobei zum Schluss des Imprägnierungsvorganges der Gehalt an Teerölen auf der Oberfläche der Holzpfähle zu vermindern ist, oder
- c) zur Imprägnierung von Erzeugnissen aus Holz oder Holzwerkstoffen durch andere Verfahren, bei denen ein gleich guter oder besserer Schutz von Menschen oder Umwelt sichergestellt ist,

Benzo(a)pyren-Gehalte größer als 50 mg/kg (ppm) bis zu höchstens 500 mg/kg (ppm): nur zur Druckimprägnierung mit Schlussvakuum von Bahnschwellen und Leitungsmasten.

3.1 Allgemeine Informationen zu Polychlorierten Naphthalinen (PCN)

Polychlorierte Naphthaline sind eine Gruppe chlorierter Derivate des Naphthalins. Je nach Chlorierungsgrad handelt es sich dabei um hochsiedende, chemisch inerte, unbrennbare Flüssigkeiten oder wachsartige Feststoffe. Die PCN stellen die erste Gruppe hochchlorierter, aromatischer Kohlenwasserstoffe dar, die industriell produziert wurden. Sie wurden stets als Gemische unterschiedlicher Derivate des Naphthalins mit unterschiedlichem Chlorierungsgrad, aber nie als Einzelsubstanzen verwendet. Die Stoffe kommen natürlicherweise nicht vor, werden jedoch als Gemische vielfach für elektrische Isolatoren, als Additive oder Biozide eingesetzt.

Sie wurden erstmalig als Holzschutz- und Imprägnierungsmittel in den USA hergestellt, die bedeutendste Produktion wurde aber in Deutschland während des 1. Weltkrieges aufgenommen. Hier diente das Produkt zuerst zur Imprägnierung von Gasmaskenfiltern ("Perna" von Perchlornaphthalin), dann vorwiegend als Flammschutzimprägnierung für Holz und Bauten (Handelsname "Nibren"-Wachs (Bayer) von "nicht brennbar") oder für die Herstellung gummiartiger, ölfester Arbeitskleidung.

Das wichtigste Einsatzgebiet der PCN, vor allem der niedrig chlorierten Kongeneren (Mono- und Dichlornaphthaline) war allerdings die Verwendung als Holzschutzmittel. In den 50er Jahren nahm die Produktion stark zu (Herstellung von "Xylamon"-Holzschutzanstrichen) und ist heute, nach Bekanntwerden der toxischen Eigenschaften, rückläufig.

PCN wurden allerdings auch als Weichmacher in Lacken und Harzen sowie Kunststoffen, als Schmiermittel und in elektrischen Bauteilen (Kondensatoren, Transformatoren etc.) verwendet. Auch als Zusatz zu Insektiziden traten sie auf.

Schließlich fanden sie auch im Zeitraum 1970 bis 1980/81 als Holzschutzmittelkomponente in Holzwerkstoffen Verwendung.

3.1.1 Gesundheitliche Auswirkungen

Die Exposition des Menschen erfolgt hauptsächlich über die Luft und Nahrungsmittel. Die Gefährlichkeit einer Exposition mit polychlorierten Naphthalinen hängt vom Chlorgehalt des eingesetzten Produktes ab - hochchlorierte Verbindungen haben ein höheres toxisches Potential.

Schon früh wurde erkannt, dass PCN-Gemische, die 3- und mehrfach chlorierte PCN enthalten, beim Menschen chronische Hauterkrankungen (Chlorakne, "Perna-Krankheit") hervorrufen können. Bei langer Einwirkungszeit von PCN als Substanz auf die Haut können niedrig chlorierte PCN starken Juckreiz und Ekzeme auslösen. Weiterhin muss mit einer leberschädigenden Wirkung der PCN gerechnet werden.

Allgemein kann davon ausgegangen werden, dass die höher chlorierten PCN deutlich gesundheitsschädlicher sind, als die niedrig chlorierten Mono- und Dichlornaphthaline.

Zu chronischen Belastungen im Niedrigdosisbereich mit PCN liegen jedoch kaum Informationen vor.

4 Bewertungsgrundlagen

4.1 **Gesundheitliche Bewertung von luftgetragenen PAK-Belastungen**

Bislang gibt es keine offiziellen Grenz- oder Richtwerte für die Innenraumluft zur Bewertung von verschiedenen PAK. Es liegen für den Innenraum ebenfalls keine toxikologischen Bewertungsmaßstäbe für luftgetragene PAK-Belastungen (Ausnahme Naphthalin) vor. Um eine gesundheitliche Bewertung zu ermöglichen, schlägt das Bremer Umweltinstitut im folgenden ein eigenes Bewertungskonzept vor¹. Dies wird ergänzt durch ein Bewertungskonzept der ad-hoc-Arbeitsgruppe, das sich jedoch ausschließlich auf Naphthalin bezieht.

4.1.1 **Vorschlag des Bremer Umweltinstitutes zur Berechnung der Toxizitätsequivalent-Summe für PAK-Belastungen**

Prinzipiell wird für PAK als gesundheitsgefährdende Wirkung eine mögliche Krebsentstehung angenommen. Dies resultiert aus Untersuchungen an Arbeitsplätzen, an denen Arbeiter in der Regel sehr viel höheren PAK-Belastungen als im Innenraum ausgesetzt waren oder sind, also bspw. Kokereien, Teerverarbeitende Industrie und Schornsteinfeger. Auch Innenraumbelastungen in normalen Wohnräumen und öffentlichen Gebäuden können jedoch Größenordnungen erreichen, die kritisch sind. Diese bedürfen einer gesundheitlichen Bewertung.

Von den 16 PAK nach EPA (die hier analysiert wurden) sind nicht alle PAK in gleichem Maße krebserregend - vielmehr gibt es deutliche Unterschiede. Das gefährlichste der untersuchten PAK ist das Benzo(a)pyren kurz BaP. Durch verschiedene Studien wurde deutlich, dass es möglich ist, die krebserregende Wirkung der einzelnen PAK im Vergleich zu BaP zu gewichten und einen Umrechnungsfaktor festzulegen. Diese Faktoren werden als Toxizitäts-Äquivalenz-Faktoren (kurz TEF) bezeichnet. Sie können den Tabellen des Analyseberichts entnommen werden.

Aus den TEF wird nun durch Multiplikation mit der nachgewiesenen Konzentration ein Kanzerogenitätsäquivalent (kurz KE) gebildet. Alle 16 einzelnen KE werden nun zu einer Summe **KE_{Gemisch}** addiert und diese Summe einer weiteren Bewertung unterzogen.

4.1.2 **Risikoabschätzung**

Für kanzerogene Substanzen kann in der Regel keine Konzentration angegeben werden, ab der eine krebserzeugende Wirkung *sicher* nicht mehr gegeben ist. Aufgrund von Studien können jedoch statistische Daten bezüglich eines zusätzlichen Krebsrisikos gewonnen werden (es wird nur das zusätzliche Risiko beachtet, das statistisches Grundrisiko für eine Krebserkrankung wird hierunter nicht berücksichtigt).

So wurden für PAK Angaben zum zusätzlichen Risiko einer Krebserkrankung bei definierter Exposition mit Kokereiabgasen gemacht. Konkret wird angenommen, dass bei der Exposition über Kokereiabgase mit einer Benzo(a)pyren-Konzentration von 1 ng/m³ ein zusätzliches Krebsrisiko von $7 \cdot 10^{-5}$ besteht (hierbei handelt es sich, da auf 1 ng/m³ BaP normiert wird, definitionsgemäß um das sog. Unit risk des Kokereiabgases). Dies heißt, dass statistisch bei einer Exposition mit einem Kokereigemisch, das 1 ng/m³ BaP enthält, von 700.000 Exponierten einer zusätzlich an Krebs erkranken würde. Da die Zusammensetzung von Kokereigemischen (bezüglich der unterschiedlichen PAK) als weitgehend konstant angesehen werden kann, kann ein **KE_{Gemisch} für das Kokereigemisch von 1,360** berechnet werden.

Vorausgesetzt, dass andere Gemische bei gleichem KE aufgrund der gleichartigen Mechanismen auch gleich starkes kanzerogenes Potenzial haben, kann ausgehend von diesen Angaben nun für jedes andere

¹ C. Zorn et al.: Proposal for assessment of indoor air polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH). Proceedings of the 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate (2005) pp2535-2540.

KE_{Gemisch} unterschiedlicher PAK-Zusammensetzung das statistische zusätzliche Krebsrisiko angegeben werden.

Nun muss noch entschieden werden, welches zusätzliche kanzerogene Risiko akzeptabel erscheint. Als „praktisch sichere Dosis“ wird von der EPA (environmental protection agency, Umweltbehörde der USA) ein zusätzliches Risiko von 10^{-6} angegeben. Diesem Risiko entspräche ein KE_{Gemisch} von 0,02. Auch unsere Außenluft weist jedoch häufig bereits PAK-Belastungen auf, die diese als praktisch sicher geltende Konzentration in der Außenluft nicht einhalten. Daher kann in dieser Situation der Wert nicht als Sanierungsziel festgelegt werden. Ein „akzeptiertes Risiko“ liegt nach Angaben der EPA bei 10^{-4} . Dies entspricht einem KE_{Gemisch} von 2 und kann nach Erfahrungen des Bremer Umweltinstituts auch für die Außenluft eingehalten werden. Außerdem liegt dieses Risiko in einem Bereich, in dem bereits andere Risikofaktoren für Krebsentstehung eine bedeutendere Rolle spielen.

4.1.3 Toxikologisches Bewertungsschema des Bremer Umweltinstitutes für PAK-Belastungen

Das Bremer Umweltinstitut schlägt daher für die Bewertung von luftgetragenen PAK-Belastungen folgendes Schema vor:

KE _{Gemisch}	Zusätzliches Krebsrisiko	Bewertung
2,0	10^{-4}	Sanierungsleitwert Bei Unterschreitung des Sanierungsleitwertes KE _{Gemisch} von 2,0 liegt ein noch akzeptables Risiko einer zusätzlichen Krebserkrankung vor. Das Risiko wird gegenüber bestehenden Krebserkrankungsrisiken als vernachlässigbar angesehen.
10	$5 \cdot 10^{-4}$	Interventionswert Bei einer Überschreitung des KE _{Gemisch} von 10 wird ein relevantes zusätzliches Risiko angenommen. Eine Aussetzung der Nutzung der betreffenden Räume ist in der Regel anzustreben. Eine Sanierung wird vor einer weiteren Nutzung als zwingend notwendig betrachtet.

Im Bereich von einem KE_{Gemisch} zwischen 2 und 10 ist aus gesundheitsvorsorgenden Überlegungen eine Minderung der Belastung zu empfehlen.

Es sei darauf hingewiesen, das es sich um ein grobes Schema handelt, Einzelfallbetrachtungen können durchaus zu einer von diesen Schemata abweichenden Beurteilung führen. Außerdem muss auf Vorläufigkeit dieses Schemas hinsichtlich neuerer Erkenntnisse über die kanzerogene Potenz einzelner EPA-PAK und weiterer PAK hingewiesen werden.

4.2 Bewertung von Naphthalin und Naphthalin-ähnlichen Substanzen entsprechend Richtwerten der ad-Hoc-AG²:

Zur Bewertung von **Naphthalin und Naphthalin-ähnlichen Substanzen** (hierunter werden neben Naphthalin auch die Methylnaphthaline, Dimethylnaphthaline und trizyklischen PAK wie Acenaphthen, Acenaphthylen, Fluoren, Anthracen und Phenanthren verstanden) in der Innenraumluft gibt es zwei Richtwerte, die von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe³ Innenraumrichtwerte, bestehend aus Mitgliedern der Innenraumkommission des Umweltbundesamtes und Vertretern der Bundeslandregierungen, festgelegt wurden.

² Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte (2013): Richtwerte für Naphthalin und Naphthalin-ähnliche Verbindungen in der Innenraumluft. Bundesgesundhbl. 10, S. 1448 - 1458

³ Zur Begründung: Sagunski, H. und Hege, W.(2004): Richtwerte für die Innenraumluft: Naphthalin. Bundesgesundhbl. 7

Man unterscheidet zwischen Richtwert II ($0,03 \text{ mg/m}^3 = 30.000 \text{ ng/m}^3$) und Richtwert I ($0,01 \text{ mg/m}^3 = 10.000 \text{ ng/m}^3$). Der Richtwert II ist ein wirkungsbezogener, begründeter Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen bzw. Überschreiten unverzüglich Handlungsbedarf besteht, da diese geeignet ist, insbesondere für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen eine gesundheitliche Gefährdung darzustellen.

Bei Einhaltung des Richtwertes I sind nach gegenwärtigem Kenntnisstand der Ad-hoc-AG keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten. Eine Überschreitung des RW I ist mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, hygienisch unerwünschten Belastung verbunden. Aus Vorsorgegründen besteht auch bei Konzentrationen zwischen RW I und RW II Handlungsbedarf.

Die genannten Richtwerte ersetzen im Oktober 2013 das bisherige – deutlich niedrigere - Richtwertepaar für Naphthalin (bisherige, seit 2004 bestehende Richtwerte RW II: 20.000 ng/m^3 , RW I: 2.000 ng/m^3). Die Erhöhungen der Richtwerte werden u.a. vor allem mit einer verbesserten und gesicherteren Datenlage begründet. Gleichzeitig werden weitere Substanzen in die Bewertung mit aufgenommen, wobei insbesondere für die bislang i.a. nicht erfassten Methyl- und Dimethylnaphthaline kaum Erfahrungen hinsichtlich üblicher oder zu erwartender Innenraumkonzentrationen vorhanden sind. Während bei der Bewertung von 2004 der Vorsorge-orientierte Richtwert für Naphthalin nahe der üblichen Hintergrundkonzentration in Innenräumen lag, und somit eine erhöhte Belastung mit Naphthalin zu einer Überschreitung des Richtwerts I und damit zu vorsorge-orientierten Minderungs- oder Sanierungsmaßnahmen führte, ist dies bei den neuen, nun gültigen Richtwerten nicht mehr der Fall.

Insbesondere vor dem Hintergrund, dass Naphthalin und andere trizyklische PAK weiterhin im Verdacht stehen, krebserregende Wirkungen zu haben, ist dies unseres Erachtens als kritisch anzusehen.

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe weist darauf hin, dass die neuen Richtwerte Geruchsbelästigungen ausgehend von Naphthalin-ähnlichen Substanzen nicht ausschließen können. Bei Geruchsbelästigungen sind ergänzende Bewertungsansätze zu verfolgen.

4.3 Bewertungsgrundlagen zu Raumluftbelastungen mit PCN

Zu Belastungen mit PCN liegen gesetzliche Grenzwerte bislang nicht vor. Substanzgemische mit höher chlorierten PCB-Kongeneren können in erster Näherung entsprechend den Vorgaben für polychlorierte Biphenyle (PCB) bewertet werden, da hier von einer ähnlichen Toxizität ausgegangen werden kann.

Für die Bewertung der Belastungen mit niedrig-chlorierten PCN wurden einige Orientierungswerte veröffentlicht; so wurde in Hamburg zur Bewertung der Raumluftverhältnisse ein Orientierungswert von $20 \mu\text{g/m}^3$ (20.000 ng/m^3) als **Interventionswert** herangezogen. Von Mohr (UFU, Kiel) wurde ein **Orientierungswert** von 5 bis $10 \mu\text{g/m}^3$ (5.000 bis 10.000 ng/m^3) für Monochlornaphthalin vorgeschlagen.

Das Landesgesundheitsamt Niedersachsen nennt zurzeit einen **Zielwert für Sanierungen** von $4 \mu\text{g/m}^3$ (4.000 ng/m^3) für die Summe der PCN-Konzentrationen.

Aufgrund der starken Geruchsentwicklung muss allerdings bisweilen auch bei deutlich geringeren Belastungen über Sanierungsmaßnahmen nachgedacht werden.

Prinzipiell sollten Belastungen mit polychlorierten Naphthalinen jedoch soweit als möglich vermieden werden.

5 Fazit und Empfehlungen

PAK in der Raumluf:

In der Pausenhalle (Zwischengang) im Bereich bei Kiosk und im Bereich bei Nebenflügel im EG ist der Sanierungszielwert von $< 2.000 \text{ ng/m}^3$ mit PAK-Raumlufkonzentrationen von 710 ng/m^3 bzw. 610 ng/m^3 deutlich unterschritten.

Das KE von 0,74 bzw. 0,64 liegt deutlich unter dem Zielwert von < 2 .

Die Belastung mit **leichtflüchtigen PAK** ist ebenfalls als niedrig zu bewerten. Der Richtwert I von 10.000 ng/m^3 wird jeweils deutlich unterschritten.

Hier besteht diesbezüglich kein weiterer Handlungsbedarf.

Polychlorierte Naphthaline (PCN) in der Raumluf:

Die PCN-Konzentrationen in der Pausenhalle (Zwischengang) im Bereich bei Kiosk und im Bereich bei Nebenflügel im EG liegen mit 2.800 ng/m^3 bzw. 2.200 ng/m^3 unter dem Sanierungszielwert von 4.000 ng/m^3 .

Leichtflüchtige PAK in der Raumluf nach Nutzungssimulation:

In der Raumluf der Pausenhalle (Zwischengang) im Bereich bei Kiosk und im Bereich bei Nebenflügel im EG nach **Nutzungssimulation, d.h. 30 Minuten nach Querlüftung** wurden niedrige Belastungen mit leichtflüchtigen PAK ermittelt, die deutlich unter dem Richtwert I von $< 10.000 \text{ ng/m}^3$ liegen.

Auch der Sanierungszielwert des Bremer Umweltinstitutes von 2.000 ng/m^3 , der sich u.a. auch an der Geruchsschwelle orientiert, bleibt unterschritten.

Der Effekt des Lüftens zur Schadstoffreduktion ist zwar erkennbar, aber letztlich als eher gering einzustufen (Abnahme von in der Summe 1400 ng/m^3 leichtfl. PAK auf 1.000 ng/m^3).

Die Schadstoffbelastung mit PAK und PCN ist sehr stark temperaturabhängig. Die Messungen wurden unter sommerlichen Bedingungen durchgeführt allerdings gibt es auch deutlich wärmere Perioden.

Unter den zum Messzeitpunkt vorliegenden Bedingungen wurde kein Wert erreicht oder überschritten, der sofortigen Handlungsbedarf erforderlich macht. Bei höheren Temperaturen sind höhere Werte, bei niedrigeren Temperaturen sind geringere Konzentrationen zu erwarten

**Eine gesundheitliche Gefährdung ist im vorliegenden Fall nicht anzunehmen.
Eine Beschränkung der Aufenthaltsdauer ist u.E. daher nicht erforderlich.**

Aufgrund der geruchlichen Belastung und der Annahme, dass gelegentlich auch höhere Konzentrationen vorkommen können, empfehlen wir mittelfristig einen Ausbau der belasteten Hölzer. Bis dahin empfehlen wir die Pausenhalle vor Schulbeginn gründlich zu Lüften und soweit es möglich ist auch während der Schulstunden für ausreichend Belüftung (offene Fenster und Türen) zu sorgen.

Bremen, 14.08.2019

Dr. Norbert Weis,
Fachapotheker für Toxikologie und Ökologie

Die Untersuchungsergebnisse beziehen sich nur auf die geprüften Probenmaterialien. Der UNTERSUCHUNGSBERICHT bestehend aus TEIL 1 BEFUNDUNG und TEIL 2 ANALYSENBERICHT darf nur vollständig, bzw. nach Absprache mit dem Bremer Umweltinstitut auszugsweise, wiedergegeben werden.

UNTERSUCHUNGSBERICHT

TEIL 2: ANALYSENBERICHT

1 Auftragsbeschreibung

Auftraggeber:	Stadt Lüneburg FB 8 Gebäudewirtschaft Frau Sunder Neue Sülze 32 21335 Lüneburg
Auftragsdatum:	19.07.2019
Auftragnehmer:	Bremer Umweltinstitut Gesellschaft für Schadstoffanalysen und Begutachtung mbH Fahrenheitstraße 1 28359 Bremen
Prüfberichtsnummer:	K 9530 BB
Probeneingang:	19.07.2019
Prüfzeitraum:	23.07.2019 bis 05.08.2019
Probenahmeort:	Grundschule Lüne
Probenehmer:	Dr. Norbert Weis, Bremer Umweltinstitut

1.1 Probenbeschreibung

Probennummer	Bezeichnung	Probenmenge	Prüfziel
K 9530 BB - 1	<i>Luftprobe</i> EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich bei Kiosk	Volumen 5.619 Liter	PAK und PCN
K 9530 BB - 2.1	<i>Luftprobe</i> EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich bei Kiosk	Volumen 3,00 Liter	Naphthalin und methylierte Naphthaline
K 9530 BB - 2.2	<i>Luftprobe</i> EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich bei Kiosk	---	<i>Rückstellprobe</i>
K 9530 BB - 3	<i>Luftprobe</i> EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich vor Nebenflügel	Volumen 5.955 Liter	PAK und PCN
K 9530 BB - 4.1	<i>Luftprobe</i> EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich vor Nebenflügel	Volumen 3,00 Liter	Naphthalin und methylierte Naphthaline
K 9530 BB - 4.2	<i>Luftprobe</i> EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich vor Nebenflügel	---	<i>Rückstellprobe</i>

Probennummer	Bezeichnung	Probenmenge	Prüfziel
K 9530 BB - 5.1	<i>Luftprobe</i> EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich bei Kiosk, nach Nutzungssimulation (5 Minuten lüften - Messung nach 30 Minuten)	Volumen 3,00 Liter	leichtflüchtige PAK und methylierte Naphthaline
K 9530 BB - 5.2	<i>Luftprobe</i> EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich bei Kiosk, nach Nutzungssimulation (5 Minuten lüften - Messung nach 30 Minuten)	---	<i>Rückstellprobe</i>
K 9530 BB - 6.1	<i>Luftprobe</i> EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich vor Nebenflügel, nach Nutzungssimulation	Volumen 3,00 Liter	leichtflüchtige PAK und methylierte Naphthaline
K 9530 BB - 6.2	<i>Luftprobe</i> EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich vor Nebenflügel, nach Nutzungssimulation	---	<i>Rückstellprobe</i>

Rückstellproben = Proben, die im Bremer Umweltinstitut zur eventuellen späteren Verwendung eingelagert bzw. zu Vergleichszwecken in ein nicht ausgewertetes Chromatogramm überführt werden.

2 Prüfverfahren

2.1 Vorbereitung und Durchführung der Probenahme

Zur Vorbereitung der Luftprobenahme war mit dem Auftraggeber folgendes vereinbart worden: Fenster und Türen der zu untersuchenden Räume sollten vor der Begehung über eine Dauer von ca. acht Stunden geschlossen gehalten werden. In den Räumen sollte während dieser Frist nicht geraucht werden. Die Raumtemperatur sollte ca. 20 °C betragen. Die Probenahme erfolgt nach Möglichkeit in der Mitte des Raumes in einer Höhe 1 bis 1,5 m (nach VDI 4300 Blatt 1).

2.2 Prüfverfahren zur Untersuchung von Raumluftproben auf Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Polychlorierte Naphthaline (PCN)

PAW 007:2018-02

1. Aktive Probenahme mit Pumpe in Anlehnung an VDI 4300 Blatt 1 und 2
2. Soxhlet-Extraktion mit Toluol
3. Aufreinigung über Minikieselgelsäule
4. Trennung, Identifizierung und Quantifizierung kapillargaschromatographisch mit GC/MS

2.3 Prüfverfahren zur Untersuchung der Raumluft mittels Thermodesorption

Die Durchführung erfolgt nach DIN EN ISO 16.000-6:2012-11.

1. Probenahme mit Thermodesorptionsröhrchen normabweichend auf Mehrbettssystem (Tenax TA und Carbo-pack X)
2. Thermische Desorption der Röhrchen bei 240 °C
3. Trennung, Identifizierung und Quantifizierung kapillargaschromatographisch mittels GC-MS

3 Ergebnisse

3.1 Klimatische Parameter

Probennummer	Probenahmeort	Temperatur [°C]	relative Luft- feuchte [%]
K 9530 BB – 1, - 2.1, - 2.2	EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich bei Kiosk	24,8	50
K 9530 BB – 3, - 4.1, - 4.2	EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich vor Nebenflügel	24,8	50
K 9530 BB – 5.1, - 5.2	EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich bei Kiosk, nach Nutzungssimulation	25,9	48
K 9530 BB – 6.1, - 6.2	EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich vor Nebenflügel, nach Nutzungssimulation	25,7	48

3.2 Ergebnisse der Untersuchungen der Raumluft auf PAK

Parameter	TEF	K 9530 BB – 1 EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich bei Kiosk		K 9530 BB – 3 EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich vor Nebenflügel		NG [ng/m ³]
		Konzentration [ng/m ³]	KE	Konzentration [ng/m ³]	KE	
Naphthalin	0,001	260	0,2600	280	0,2800	20
Acenaphthylen	0,001	1,1	0,0011	0,9	0,0009	0,2
Acenaphthen	0,001	130	0,1300	94	0,0940	0,2
Fluoren	0,001	71	0,0710	57	0,0570	0,2
Phenanthren	0,001	210	0,2100	170	0,1700	0,3
Anthracen	0,01	3,2	0,0320	2,5	0,0250	0,3
Fluoranthren	0,001	26	0,0260	7,2	0,0072	0,3
Pyren	0,001	10	0,0100	2,8	0,0028	0,3
Chrysen	0,01	n.n.	0,0000	n.n.	0,0000	0,3
Benzo(a)anthracen	0,1	n.n.	0,0000	n.n.	0,0000	0,3
Benzo(b)fluoranthren	0,1	n.n.	0,0000	n.n.	0,0000	0,3
Benzo(k)fluoranthren	0,1	n.n.	0,0000	n.n.	0,0000	0,3
Benzo(a)pyren	1	n.n.	0,0000	n.n.	0,0000	0,6
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,1	n.n.	0,0000	n.n.	0,0000	0,6
Dibenzo(a,h)anthracen	1	n.n.	0,0000	n.n.	0,0000	0,6
Benzo(g,h,i)perylene	0,01	n.n.	0,0000	n.n.	0,0000	0,6
Summe		711,3	0,7401	614,4	0,6369	
Summe, gerundet		710	0,74	610	0,64	

Bemerkung: Der Naphthalin Gehalt wurde mittels Thermodesorption bestimmt.

NG = Nachweisgrenze

ng = Nanogramm; 1 Milliardstel Gramm

TEF = Kanzerogenitätsäquivalentfaktor

n.n. = nicht nachweisbar

ng/m³ = Nanogramm pro Kubikmeter

KE = Kanzerogenitätsäquivalente

3.3 Ergebnisse der Untersuchung der Luftproben auf methylierte Naphthaline

Parameter	K 9530 BB – 2.1 EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich bei Kiosk [ng/m ³]	K 9530 BB – 4.1 EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich vor Nebenflügel [ng/m ³]	NG [ng/m ³]
1-Methylnaphthalin	120	120	50
2-Methylnaphthalin	180	180	50
Σ Dimethylnaphthaline ¹⁾	460	400	50
Σ Naphthalinähnliche Verbindungen ²⁾	1.400	1.300	

ng/m³ = Nanogramm pro Kubikmeter

n.n. = nicht nachgewiesen

NG = Nachweisgrenze

¹⁾Quantifizierung über technisches Dimethylnaphthalin-Isomerenmischung

²⁾ Summe der Verbindungen Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, 1-Methylnaphthalin, 2-Methylnaphthalin, Σ Dimethylnaphthalin

3.4 Ergebnisse der Untersuchung der Raumluft auf PCN

Parameter	K 9530 BB - 1 EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich bei Kiosk [ng/m ³]	K 9530 BB - 3 EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich vor Nebenflügel [ng/m ³]	NG [ng/m ³]
1-Chlornaphthalin	1.100	920	0,2
2-Chlornaphthalin	110	71	0,2
1,4-Dichlornaphthalin	1.300	960	0,2
1,5-Dichlornaphthalin	190	170	0,2
1,2-Dichlornaphthalin	14	11	0,2
2,3-Dichlornaphthalin	24	23	0,2
1,8-Dichlornaphthalin	81	71	0,2
1,2,3,4-Tetrachlornaphthalin	n.n.	n.n.	0,3
Octachlornaphthalin	n.n.	n.n.	0,6
Summe PCN	2.800	2.200	

NG = Nachweisgrenze

ng = Nanogramm; 1 milliardstel Gramm

n.n. = nicht nachweisbar

ng/m³ = Nanogramm pro Kubikmeter

3.5 Ergebnisse der Untersuchung der Raumluft auf leichtflüchtige PAK und methylierte Naphthaline mittels Thermodesorption

Parameter	K 9530 BB - 5.1 EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich bei Kiosk, nach Nutzungssimulation [ng/m ³]	K 9530 BB - 6.1 EG, Pausenhalle (Zwischengang), Bereich vor Nebenflügel, nach Nutzungssimulation [ng/m ³]	NG [ng/m ³]
Naphthalin	210	260	20
Acenaphthylen	n.n.	n.n.	20
Acenaphthen	170	170	20
1-Methylnaphthalin	84	89	50
2-Methylnaphthalin	120	140	50
Σ Dimethylnaphthaline ¹⁾	460	380	50
Σ Naphthalinähnliche Verbindungen ²⁾	1.000	1.000	

ng/m³ = Nanogramm pro Kubikmeter n.n. = nicht nachgewiesen NG = Nachweisgrenze

¹⁾Quantifizierung über technisches Dimethylnaphthalin-Isomerenmischung

²⁾ Summe der Verbindungen Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, 1-Methylnaphthalin, 2-Methylnaphthalin, Σ Dimethylnaphthalin

Anmerkung:

Der Summengehalt ausgewählter PCN (1-Chlornaphthalin, 2-Chlornaphthalin, 1,4-Dichlornaphthalin und 1,5-Dichlornaphthalin) beträgt in

Probe 5.2: 2.700 ng/m³

Probe 6.2: 3.000 ng/m³

- Ende des ANALYSENBERICHTS -

Die Untersuchungsergebnisse beziehen sich nur auf die geprüften Prüfgegenstände. Der UNTERSUCHUNGSBERICHT bestehend aus TEIL 1 BEFUNDUNG und TEIL 2 ANALYSENBERICHT darf nur vollständig, bzw. nach Absprache mit dem Bremer Umweltinstitut auszugsweise, wiedergegeben werden.

Mit freundlichen Grüßen
Bremer Umweltinstitut

Florian Nitschke,
Dipl. Chemiker, Prüfleiter