

PAK - Sanierungen: Zur Umsetzbarkeit von ambitionierten Zielwerten für die Raumluft

Michael Köhler, Yvonne Kranz, Jörg Mertens, Heidrun Hofmann, Norbert Weis

Einleitung

Obgleich teerige und somit PAK-haltige Baustoffe eine hohe Anwendungsbreite bis in die 70er Jahre des vergangenen Jahrhunderts gefunden haben, lenkte erst 1997/1998 die "Wiederentdeckung" der Teerkleber in den sog. US-Housings die Aufmerksamkeit auf staubgetragene PAK-Belastungen in Innenräumen. Ausgehend von dieser Problematik wurde ein Bewertungsschema¹ etabliert, dass u.a. die Analyse von Benzo(a)pyren (BaP) als Leitsubstanz im Staub voraussetzt.

In Untersuchungen der Folgejahre wurden durch verschiedene Autoren^{2,3} jedoch auch Belastungssituationen beschrieben, bei denen vor allem auch gasförmige PAK in höheren Konzentrationen in Innenräumen nachgewiesen werden. Unterschiedliche Materialien weisen hierbei teilweise unterschiedliche PAK-Muster auf, die auch zu entsprechender Musterbildung in der Innenraumluft führen.

Zur Bewertung der auftretenden Belastungen wurden verschiedene Bewertungsschemata für gasförmige PAK veröffentlicht^{2,4,5,6}. Von besonderer Bedeutung sind hierbei die gesundheitsbezogenen Bewertungsschemata.

So nennt bspw. die Ad-Hoc-Arbeitsgruppe "Innenraum" seit 2004⁵ für Naphthalin einen vorsorgeorientierten Richtwert RW I für Naphthalin von 0,002 mg/m³ bzw. einen interventionsorientierten Richtwert RW II von 0,02 mg/m³. Den jüngsten Protokollen der Kommission ist zu entnehmen, dass es hier zu Veränderungen der Richtwerte kommen könnte und dass Methyl- und Dimethylnaphthaline ggf. in die Richtwertermittlung einbezogen werden sollen⁷. Zur Zeit gilt als Sanierungsziel jedoch noch ein Messwert von 0.002 mg/m³ (entspricht 2.000 ng/m³).

Ein durch das Bremer Umweltinstitut erarbeitetes Schema⁶ legt für die 16 EPA-PAK (EPA= Environmental Protection Agency) gemeinsam Richtwerte für luft- bzw. schwebstaubgetragene Belastungen fest. Basis des Schemas ist die Verwendung rel. Kanzerogenitätsequivalentfaktoren (KE) im Bezug für die 16 PAK nach EPA im Vergleich zu BaP und die Bildung einer toxikologisch gewichteten KE-Summe. Das hier festgelegte Sanierungsziel liegt bei einer KE-Summe von 2.

Die genannten Sanierungsziele für Naphthalin bzw. die KE-Summe gelten als ambitioniert, bislang in der Literatur beschriebene Sanierungen enden teilweise mit höheren Luftkonzentrationen⁸.

Anhand von Fallbeispielen werden im Folgenden Sanierungen unterschiedlicher PAK-Quellen beschrieben, um darzustellen, dass auch die ambitionierten Zielwerte nach Wiederaufbau der Räume erreichbar sind. Gleichzeitig wird auf Schwierigkeiten bei Sanierungen hingewiesen.

Materialien und Methoden

Die dargestellten Daten basieren auf Statuserhebungen und sanierungsbegleitenden Kontroll- oder sanierungsabschließenden Untersuchungen in verschiedenen Innenräumen, die in der Regel im Auftrag der Gebäudeeigner durchgeführt wurden.

Als Sanierungsmaßnahmen wurden im Wesentlichen folgende Methoden für Primär- und im Bedarfsfall auch für Sekundärquellen verwandt:

- Entfernung von Quellen,
- Gasdichte Kapselung mit Aluminiumfolien (kunststoffummantelt oder als spezielle Sanierungsfolie mit Papierummantelung zu weiteren Verklebung),
- Einbringen von adsorptiven Materialien (Aktivkohle) in Form eines Vlieses oder in einer Tapete integriert.

Bei Staub freisetzenden Arbeiten ist eine abschließende Reinigung der Sanierungsbereiche und ein erhöhter Luftwechsel durch die Sanierungsfachbetriebe durchgeführt worden.

Probenahmen erfolgten stets nach einem lüftungsfreien Zeitraum von mindestens 8 Stunden (entsprechendes Unterbinden der Fensterlüftung bzw. Abschalten der geregelten Lüftungsführung im Sanierungsfall, Beibehalten des ungelüfteten Zustands bis zum Ende der Beprobung) etwa in Raummitte in einer Höhe von 1-1,5 m Höhe nach VDI 4300 Blatt 1 bzw. ISO 16000-1. Als Rahmenbedingungen wird dem Sanierer/ggf. dem Nutzer zur Vorbereitung der Räume aufgegeben, möglichst eine Temperatur von 21°C einzustellen, was jedoch in vielen Fällen nicht ausreichend befolgt wurde oder nicht gelang. So wurden Untersuchungen zwischen 18,7°C bis zu 27°C einbezogen. Bei Erfassung des gesamten PAK-Spektrums erfolgte eine Nutzungssimulation (Staub aufwirbeln) durch definiertes Anblasen analog VDI 3492. PAK-abgebende Handlungen (Rauchen, Gasflammen) waren in den Räumen untersagt.

Die durchgeführten Luftuntersuchungen können anlassbezogen differenziert werden:

- **Status**untersuchungen dienen dem Aufspüren von PAK-Belastungen und der Erhebung der Belastungssituation vor einer Sanierung. Sie erfolgen in der Regel bei ausgesetzter Nutzung des Raumes jedoch inklusive des Inventars.
- **Kontroll**untersuchungen dienen der Begleitung des Sanierungsgeschehens. Sie erfolgen i.A. nach der Entnahme der Primärquelle, teilweise auch nach Bearbeitung von Sekundärquellen. Oft liegt bereits eine gasdichte Kapselung des verbliebenen Bodenaufbaus vor. Sie dienen oft auch der Prüfung vor der Übergabe der Sanierungsbaustelle an ein anderes Gewerk (Messung vor Aufhebung der Schutzmaßnahmen).
- **Abschluss**untersuchungen erfolgen in fertig wiederhergestellten Innenräumen, auch hier wird eine Nutzung ansonsten unterbunden. Zum Teil ist eine Wiedereinbringung von Mobiliar erfolgt. Die Messungen dienen der Vorbereitung der Übergabe an den Nutzer.
- **Nachkontrollen** erfolgen einige Zeit nach Übergabe an die Nutzer um die längerfristige Einhaltung des Sanierungszieles zu kontrollieren.

Die Beschreibung der Analytik für 15 von 16 PAK nach EPA (ohne Naphthalin) kann Mertens et.al.³ entnommen werden. Sie basiert auf gleichzeitiger Adsorption gasförmigen PAK auf Polyurethanschaum und staubgebundener PAK auf Glasfaserfilter, Soxhletextraktion mit Toluol und gaschromatographischer Auswertung.

Zusätzlich wurde zumeist Naphthalin in Anlehnung an ISO 16000-6 (Adsorption an Doppelbett aus Tenax/Carbopack, thermische Desorption, mit massenspektroskopie gekoppelter gaschromatographischer Auswertung im SIM-Modus) analysiert. Zur

Analyse werden ca. 2 L Luftvolumen adsorbiert (Bestimmungsgrenze 20 ng/m³) Als interne Wiederfindungskontrolle wurde Naphthalin-D8 verwendet.

In einzelnen Fällen erfolgten Stuserhebung oder sanierungsbegleitende Untersuchungen bei gleichzeitiger Erfassung anderer VOC. Die Analyse erfolgte dann analog dem beschriebenen Verfahren nach ISO 16000-6, jedoch die gaschromatographische Auswertung im Scan-Modus. Bei einem Probenvolumen von 2 L ergibt sich dann eine Bestimmungsgrenze von 1 µg/m³.

Die Berechnung der KE-Summe ist ausführlich bei Zorn, Köhler et.al.⁶ dargestellt. Hierzu werden die erhaltenen Substanzkonzentrationen mit spezifischen Toxizitätsfaktoren multipliziert und über die 16 PAK die Summe der Faktoren gebildet.

Fallbeispiel A: Sanierung von Teermassen unter Parkett

In einem Jugendberufswerk wurden als PAK-Quellen teerige Massen unter Parketten in den Büroräumen der Verwaltung entdeckt. Hierdurch wurden erhebliche Naphthalingehalte bis in die Höhe des RW II beobachtet. Die vergleichenden Ergebnisse der Stuserhebungen, Kontroll- und Sanierungsabschlussuntersuchungen werden in Tabelle 1 dargestellt. Zur Sanierung wurden die Parkette, Teermassen und Estriche aufgenommen, die verbleibenden Betonsohlen wurden mit kunststoffkaschierten Aluminiumfolien unter Ausbildung einer Wanne abgeklebt. Nach der 2. Kontrolluntersuchungen wurden noch sekundärbefrachtete Tapeten entfernt und anschließend eine Wiederherstellung der Räume durchgeführt. Mangelnde Ausführungen in der Sanierungsphase erschwerten das Sanierungsgeschehen. Bis zur Abschlussuntersuchung blieb Raum 131 knapp oberhalb der angestrebten Sanierungszielwerte, während drei Proberäume diese unterschritten. In einer Nachkontrolle ca. 10 Monate nach Übergabe an die Nutzer wurde in Raum 131 wieder eine erhöhte Naphthalinbelastung festgestellt. Weitere Maßnahmen für diesen Raum werden zur Zeit diskutiert. In anderen Räumen (hier exemplarisch nur drei dargestellt) werden die Sanierungsziele in den Abschlussmessungen eingehalten bzw. stehen Bauabschnitte noch in der Sanierung.

Tabelle 1: Übersicht über Raumluftuntersuchungen in 4 Räumen zu Fallbeispiel A

| Raum | Naphthalinkonzentration [ng/m ³] | | | | KE-Summe | | | | |
|---------------|--|--------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|--|
| | 129 | 130 | 131 | 135 | 129 | 130 | 131 | 135 | |
| Status | 24.000 | 19.000 | 23.000 | 27.000 | 24,22 | 19,15 | 23,24 | 27,26 | |
| 1. Kontrolle | 5.400 | | 14.000 | | 6,12 | | 14,47 | | Mangelnde Sanierungsausführung s.u. |
| 2. Kontrolle | 2.300 | | 2.900 | | 2,88 | | 3,25 | | Entfernung der Tapeten und Wiederaufbau des Bodens empfohlen |
| Abschluss | 1.800 | 1.900 | 3.200 | 3.600 | 2,06 | 2,14 | 3,3 | 3,69 | Reinigen u. Lüften empfohlen |
| Abschluss | 1.300 | 1.100 | 2.100 | 1.800 | 1,38 | 1,37 | 2,27 | 1,91 | Beprobung 14 Tage später |
| Nachkontrolle | - | - | 4.900 | - | - | - | 5,1 | - | Beprobung 10 Monate später |



Abb.1: Mangelnde Ausführung der Wandabschlüsse

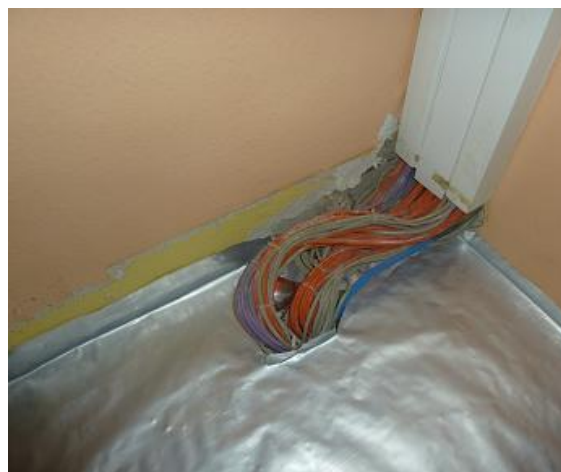


Abb. 2: Mangelnde Ausführung der Abdichtung des Bodens bei Kabeldurchdringungen



Abb. 3: Mangelnde Ausführung bei der Ausbildung von überlappenden Folienabschnitten, Verwendung von Klebmassen statt selbstklebender Alubänder und mangelnde Aushärtung der Klebmasse

Fallbeispiel B: Sanierung teeriger Pappen um Balkenköpfe

Nach der Umnutzung eines Kasernengebäudes (Abb.4) klagten Nutzer über Geruchsbildung in den Räumen. Im Rahmen der anschließend durchgeführten Untersuchung wurden u.a. erhöhte PAK- Belastungen in verschiedenen Bereichen entdeckt (zudem auch Belastungen mit polychlorierten Naphthalinen bzw. mikrobielle Befallsereignissen, die zur Geruchsbildung ebenfalls beitrugen). Als Quelle der PAK-Belastungen wurden teerige Pappen an den Balkenköpfen im Fußbodenaufbau identifiziert (Abb.5). Aufgrund der verschiedenen Belastungen wurden umfangreiche Sanierungen durchgeführt (Aufnahme des Bodenaufbaus und Entnahme der Pappen, Abnahme von mikrobiell belasteten Farb- und Putzbereichen der Außenwände). Die PAK-Belastung stand in diesem Gebäude nicht im Vordergrund, da nur in drei Räumen im Rahmen der Statuserhebungen leicht erhöhte bis deutlicher erhöhte PAK-Belastungen nachgewiesen wurden. In allen anderen Bereichen wurden im Rahmen der Statusmessungen keine Überschreitungen der Vorsorge-orientierten Zielwerte festgestellt.



Abb. 4: Kasernengebäude aus Fallbeispiel B



Abb.5: Teerpappe als Emissionsquelle

Die Kontrolluntersuchungen weisen in zwei Räumen bereits eine Unterschreitung der Sanierungsziele auf. In Raum 110 wurde ein Wiederaufbau des Raumes eingeleitet, da die Sanierungsziele nur noch vergleichsweise leicht überschritten waren. Die erste Abschlussuntersuchung wies auf eine Einstellung der Sanierungszielwerte hin. In der

Nachkontrolle ca. 2 Jahre nach der Sanierung wurden denn die Sanierungsziele in allen drei Räumen deutlich unterschritten. Aufgrund der umfangreichen Sanierung, die nicht nur die PAK-belasteten Bauteile betraf, wurden auch die PCN-Belastungen und mikrobiellen Schäden beseitigt. Beschwerden der Nutzer über Geruchsbelästigungen sind nach der Sanierung nicht bekannt.

Tabelle 2: Übersicht über Luftuntersuchungen zu Fallbeispiel B

| Raum | Naphthalinkonzentration [ng/m ³] | | | KE-Summe | | |
|----------------------------|---|-------|-------|----------|------|------|
| | 110 | 109 | 211 | 110 | 109 | 211 |
| Status | 4.400 | 2.600 | 1.800 | 4,52 | 2,85 | 2,03 |
| Kontrolle | 2.700 | 340 | 420 | 3,55 | 0,49 | 0,36 |
| Abschluss | 2.000 | 400 | 400 | 2,14 | 0,49 | 0,53 |
| Nachkontrolle | 100 | 210 | 190 | 0,18 | 0,33 | 0,32 |
| Ca. 2 Jahre nach Sanierung | | | | | | |

Fallbeispiel C: Naphthalinbelastung aufgrund eines Anstrichs in einer Mauerwerksschale

Im Rahmen einer vorsorgenden Untersuchung wurden in einem Bürogebäude erhöhte Naphthalinkonzentrationen ermittelt, weitere PAK wurden in Luftuntersuchungen nicht signifikant nachgewiesen. Als Ursache konnte ein teeriger Anstrich auf der Innenseite der äußeren Mauerchale des zweischaligen Mauerwerks der Außenwände ermittelt werden (vgl. Abbildungen 6 und 7). Es erwies sich, dass sich einstellende Naphthalinkonzentrationen in den Innenräumen variierten, Ursachen hierfür werden u.a. in unterschiedlichen Dichtigkeiten der Außenfassade (denkmalgeschütztes Gebäude mit jüngst teilsanierter Außenfassade) und unterschiedlicher Ausbildung der Fensterstürze gesehen. So kamen im Gebäude nebeneinander Raumbereiche mit Messwerten über 2000 ng/m³ Naphthalin und unter 2000 ng/m³ vor (vgl. Abbildung 8).

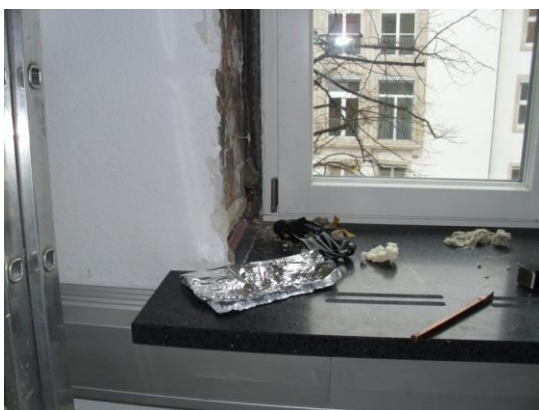


Abb. 6: Teeranstrich an Außenschale Mauerwerk



Abb.7: Detail
PAK-Summe: 16.000 bis 75.000 mg/kg;
Naphthalin zwischen 370 bis 5.700 mg/kg

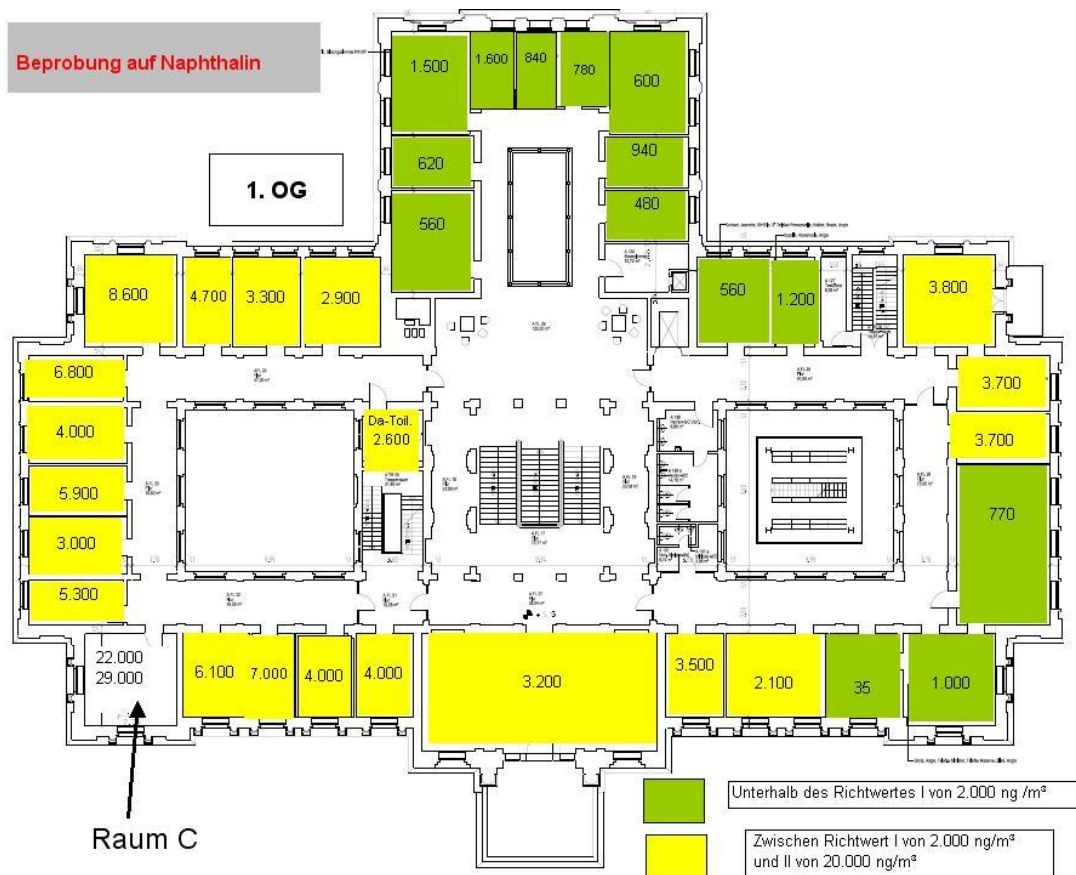


Abb. 8: exemplarische Darstellung eines Stockwerks des Gebäudes mit Verteilung der Naphthalinkonzentrationen in ng/m³. Der linke Flügel weist eine sanierte Außenfassade auf.

Die Entfernung des Anstrichs war mit einem wirtschaftlich angemessenen Aufwand nicht realisierbar. Alternative Sanierungsverfahren mussten erprobt werden. Im Rahmen von Probesanierungen wurden zwei Verfahren verglichen: In den Räumen A1 und Aktenlager zu A1 wurden an die Außenwände eine Tapete mit einer Aktivkohleinnenschicht verklebt (die Tapete wurde abschließend mit etwa 0,2 m Tiefe über angrenzende Innenwände und Deckenbereiche geführt).

Im höchst belasteten Raum A105 wurde ein Aktivkohlevlies an die Außenwände gebracht und mittels eines Holzrahmens befestigt. Davor wurde eine Vorsatzschale aus Gipskarton gesetzt.

Die Ergebnisse der Probesanierungen können der Tabelle 3 entnommen werden. Beide Verfahren führten zu einer deutlichen Reduktion der Naphthalinkonzentration in den Räumen. Auf Basis der Probesanierungen wurde die Verklebung der Tapete mit Aktivkohleinnenschicht als weniger aufwändige Sanierungsmethode ausgewählt. Hiermit gelang es in allen Sanierungsbereichen eine Unterschreitung des RW I für Naphthalin zu erzielen. Eine Übersicht der Ergebnisse von Statusuntersuchungen und Sanierungskontrollen findet sich in Tabelle 4. Eine regelmäßige Kontrolle einzelner Räume im Hinblick auf die Einhaltung der Richtwerte ist geplant.

Tabelle 3: Ergebnisse der Probesanierungen in Objekt zu Fallbeispiel C

| Raum | Naphthalinkonzentration [ng/m ³] | | |
|---|--|---------------------|-----------------------------|
| | A | B | C |
| Status | 14.000 | 9.400 | 20.000/29.000 ¹⁾ |
| Kontrolle | 2.000 ²⁾ | 2.000 ²⁾ | - |
| Abschluss | 870 | 680 | 960 ³⁾ |
| Nachkontrolle Ca. 3 Monate nach Sanierung | 260 | 240 | - |

- 1) zweifache Statusmessung an unterschiedlichen Tagen, bedingt durch Abweichungen der Raumtemperatur
- 2) nach Kontrolle noch Fehlstellen in Verklebung der Tapeten beseitigt, Tapeten über Decken und Innenwände noch weiter geführt
- 3) PAK-Summe der 16 PAK: 1030 ng/m³

Tabelle 4: Übersicht über Ergebnisse der Statuserhebung und Sanierungskontrollen

| | Status ⁴⁾ | | | Sanierungs- abschließende Kontrolle ⁵⁾ |
|-------------------------------|---|--|---|---|
| | Naphthalinkon- zentrationen kleiner RW [°] I | Naphthalinkon- zentrationen zwischen RW I und RW II | Naphthalinkon- zentrationen größer RW [°] II | |
| Anzahl | 49 | 56 | 1 | 68 ⁶⁾ |
| Messwerte- bereich | < 20 bis 1.800 ng/m ³ | 2.000 bis 14.500 ng/m ³ | 22.000/29.000 ⁷⁾ ng/m ³ | 62 bis 1.200 ng/m ³ |

- 4) Messungen von April bis November
- 5) Messungen von Mai bis November des Folgejahres
- 6) es wurden Tapeten auch in Räumen mit Naphthalinen kleiner RW I in Statusmessungen in verschiedenen Bereichen angebracht und Kontrolluntersuchungen durchgeführt
- 7) zweifache Statusmessung an unterschiedlichen Tagen, bedingt durch Abweichungen der Raumtemperatur

Fallbeispiel D: Vergussmasse im Bodenaufbau – Beispiel für Probleme mit Kapselung

Ausgehend von Geruchsbelästigungen in zwei Büroräumen eines Amtsgerichtes wurden VOC-Untersuchungen durchgeführt. Neben erhöhten Belastungen mit unterschiedlichen Verbindungen wurde u.a. auch Naphthalin in erhöhte Konzentration festgestellt. Aufgrund eines Geruchseindrucks in der Nähe eines Kabelkanals (Abb. 9 und 10) wurde eine Quelle im Bodenaufbau vermutet und mittels Materialbeprobung bestätigt. Unter einem verlegten Teppichboden und einem mineralischen Estrich wurde eine bituminöse Vergussmasse festgestellt, die einen PAK-Summengehalt von 110 mg/kg mit einem Naphthalin Gehalt von 36 mg/kg aufwies (BaP nur mit 4,8 mg/kg). Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Materialgehalte und geringen Luftkonzentrationen wurde eine Entnahme des bituminösen Materials als zu weitgehend erachtet. Daher wurde beschlossen, nach Entnahme des Oberbodens eine papierkaschierte Aluminiumsperrfolie einzubringen, auf der eine direkte Neuverklebung eines Oberbelags möglich ist. Hierbei erwies sich teilweise unsaubere Ausführung der Kapselung als Problem (vgl. Tabelle 5). Auch zeigte es sich, dass eine zu schnelle Beprobung nach der Verlegung der Sperrfolie

vermutlich zu den deutlich erhöhten Werten beitrug. Nach den durchgeführten Sanierungsmaßnahmen in 2008 waren bei den 3. sanierungsbegleitenden Messungen auch keine erhöhten VOC-Konzentrationen mehr festgestellt. Allerdings erfolgten alle sanierungsbegleitenden Kontrollen vor Einbau des Teppichbodens, auf eine Sanierungsabschlussmessung wurde seitens des Auftraggebers verzichtet.



Abb. 9: Kabelkanaschacht, an dessen Austrittsstelle starker Geruch beobachtet wurde



Abb.10: Detail

Tabelle 5: Zusammenstellung der Messergebnisse im Rahmen der ersten Sanierung zu Fallbeispiel D

| Raum | Naphthalinkonzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | | |
|---------------------|---|-----------|---|
| | 110 | 109 | |
| Status | 16 | 23 | |
| 1.Kontrolle | 35 | 35 | Oberboden wurde aufgehoben, Sperrfolie einige Tage vor Messung auf Estrich verklebt (Kleber jedoch noch nicht fest) |
| 2. Kontrolle | 3 | 4 | Tapeten entfernt, Räume gelüftet |
| 3.Kontrolle | 1 | 1 | Neue Sperrfolie aufgebracht um Fehlstellen zu schließen |

Aufgrund erneut auftretender Geruchsbelästigungen in den Räumen fand 2009 eine erneute Beprobung auf VOC (inkl. Naphthalin) statt. Aufgrund des Anstiegs der Naphthalinkonzentration (und der Geruchsbelästigung, die vermutlich auf den Teppichboden oder Kleber zurückzuführen waren), wurde eine erneute Aufhebung des Oberbodens, der Absperrung, eine Abspachtelung des Estrichs und eine erneute Ausbringung der Sperrfolie beschlossen. Eine Reduktion der Naphthalinbelastungen konnte erneut erreicht werden, die Kontrollmessungen endete mit 1 und 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Eine Abschlussmessung steht allerdings noch aus. Seitens des Nutzers wurde eine Umnutzung des Raumes 109 durchgeführt (vom Büro hin zu einem Kopierraum).

Tabelle 6: Luftuntersuchungen im Rahmen der Nachsanierung zu Fallbeispiel D

| Raum | Naphthalinkonzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | | Maßnahmen vor Messung |
|------------------|---|-----|--|
| | 110 | 109 | |
| 1. Nachkontrolle | 2 | 5 | |
| 2. Nachkontrolle | 1 | 4 | Verstärkte Lüftung seitens Nutzer |
| Kontrolle | 1 | 3 | Oberboden wurde entfernt, Estrich abgspachtelt, Sperrfolie verlegt |

Fallbeispiel E: Quelle Homogenasphaltplatten und Horizontalsperren

In verschiedenen Räumen einer Schule wurden aufgrund einer starken Geruchsentwicklung Untersuchungen auf u.a. auf PAK durchgeführt. Als Quelle wurden in einem ersten Schritt Homogenasphaltplatten unter einem glatten Bodenbelag ermittelt (vgl. Abbildung 11), nach Ausbau des Bodenaufbaus wurden auch teerige Pappen als Horizontalsperre in den Wänden (PAK-Gehalt 11.000 mg/kg, Naphthalin 48 mg/kg, BaP: 42 mg/kg) vorgefunden.



Abb 11: Homogenasphaltplatte unter Bodenbelag;



Abb. 12: Ausbildung einer Sperrschicht in
Wannenform bis über Horizontalsperre

Aufgrund der sehr hohen Belastung in der Statuserhebung wurden Untersuchungen potenzieller Sekundärquellen vorab durchgeführt. Hierbei erwiesen sich Farbanstriche von Wänden und Decken deutlicher sekundär belastet. In einem ersten Schritt wurden die Primärquellen entfernt und die Kapselung des verbliebenen Bodenaufbaus durchgeführt. In einem zweiten Schritt wurden Farbe und Putze der Wände und teilweise Decken abgenommen (vgl. Abbildung 12).

Auch in diesem Objekt waren Nacharbeiten im Zuge der Sanierung erforderlich. Letztlich gelang eine Absenkung der Belastung mit Naphthalin dauerhaft auf unterhalb von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Sanierungen wurden in mehreren Räumen erfolgreich

durchgeführt, die Tabelle 7 zeigt exemplarisch den Verlauf der Messwerte in den Luftuntersuchungen eines exemplarischen Raumes auf.

Tabelle 7: Zusammenfassung der Luftuntersuchungen zu Fallbeispiel E

| | Naphthalin-konzentration¹ | KE-Summe | Maßnahmen vor Messung/ Bemerkungen |
|----------------------------|---|-----------------|---|
| Status | 120.000 ng/m ³ bzw. > 50 ² µg/m ³ | 126 | |
| 1. Kontrolle | 32.000 ng/m ³ | 44 | Ausbau Bodenbelag, Homogenasphaltplatten, Estrich und Akustikdeckenplatten |
| 2. Kontrolle | 13.000 ng/m ³ | 15,4 | Abtragung von Wandfarben, Putz, Deckenkleber und Einbringen Aluminiumsperrfolie im Fußbodenaufbau, jedoch nicht über die Horizontalsperren (fehlerhafte Ausführung) |
| 3. Kontrolle | 4.300 ng/m ³ | 6,7 | weiteres Abdichten der Sperrfolie auch in Wanne über Horizontalsperre im Wandaufbau, erstmals kein Geruch wahrnehmbar |
| 4. Kontrolle | 5.400 ng/m ³ | 6,6 | Nachdichten der Alumiumfolie |
| 5. Kontrolle | 11.000 ng/m ³ | 11,9 | zusätzlichem Anbringen einer Sperrfolie an der Decke |
| 6. Kontrolle | 5.000 ng/m ³ | 5,3 | ca. 1 Woche nach Einbringen des neuen Estrichs und des Wandputzes |
| 7. Kontrolle | 1.900 ng/m ³ | 2,3 | ca. 3 Wochen nach Einbringen des Estrichs und des Putzes |
| Abschluss | 970 ng/m ³ | 1,08 | ca. ein halbes Jahr nach Wiederaufbau und Wiederbenutzung des Raumes |
| Nachkontrolle ³ | < 1 µg/m ³ | - | ca. 2,5 Jahre nach Wiederaufbau und Wiederbenutzung des Raumes |

1 Analytik nach Mertens et.al. 3) 3 Nachkontrolle mit Analytik nach ISO 16000-6

2 Messwert nach ISO 16000-6 oberhalb des kalibrierten linearen Bereichs

Fallbeispiel F: Sanierung teeriger Abdichtungen

Bei Umbauten im Zuge der Umnutzung eines Grundschulbereichs zu einer Kinderkrippe wurden im Rahmen der Gefahrstoffkatastererstellung in verschiedenen Räumen erhöhte PAK-Belastungen entdeckt. Verschiedene Quellen wurden ermittelt: so liegen in den Wänden Horizontalsperren aus teerigen Materialien vor, eine Sohlenabdichtung unter dem Dielenboden wies ebenfalls hohe PAK-Belastungen auf (Abbildung 14). Zudem wurde in der Pausenhalle eine vertikal angebrachte Teerpappe hinter einer Gipskartonverschalung ermittelt (Abbildung 13). Die Sohlenabdichtung und die vertikale Teerpappe wurden im Rahmen der Sanierung entnommen, die Horizontalsperren wurden mittels kunststoffkaschierten Aluminiumfolien gasdicht zum Innenraum hin gekapselt. Exemplarisch werden in der Tabelle 8 für zwei Räume Kontrollmessungen dargestellt, die Sanierungszielwerte werden zu diesem Zeitpunkt bereits unterschritten. Eine erste Abschlusskontrolle endet mit der sehr deutlichen Unterschreitung der Sanierungszielwerte.

Tabelle 8: Zusammenfassung zu Luftuntersuchungen zu Fallbeispiel F

| Raum | Naphthalinkonzentration [ng/m ³] | | KE-Summe | |
|-----------|---|--------------------|-----------|--------------------|
| | 19 | Pausenhalle | 19 | Pausenhalle |
| Status | 5.200 | 5.400 | 5,68 | 11,3 |
| Kontrolle | 1.400 | 1.800/1.900 | 1,6 | 2,62/2,33 |
| Abschluss | 490/460 | noch nicht erfolgt | 0,66/0,62 | noch nicht erfolgt |



Abb. 13: Vertikal eingebaute Teerpappe zwischen Pausenhalle und Nachbarraum ursprünglich hinter Vorsatzschale (4.400 mg/kg Naphthalin, 4.400 mg/kg BaP, 95.000 mg/kg Summe PAK)



Abb.14: horizontale Bodenabdichtung (5.100 mg/kg Naphthalin, 2.700 mg/kg BaP, 70.000 mg/kg Summe PAK)

Zusammenfassung:

Seit der "Wiederentdeckung" der PAK-haltigen Kleber in sog. US-Housings in den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurden teerhaltige Quellen als Ursachen für Luft- und/ oder Staub- getragene PAK-Belastungen in Innenräumen mannigfaltig gefunden und beschrieben^{2,3}. Anlässe für das Auffinden von teerigen Materialien sind immer wieder auch Geruchseindrücke oder Geruchsbelästigungen.

Die der wissenschaftlichen Literatur zu entnehmenden Sanierungsziele für Naphthalin bzw. die summarische Belastung mit PAK sind ambitioniert. Anhand von Fallbeispielen wird hier belegt, dass die genannten Sanierungszielwerte durch bauliche Maßnahmen erreichbar sind (auch bei Luftuntersuchungen in einem ungelüfteten Zustand). Hierbei werden die Sanierungen unterschiedlicher Emissionsquellen exemplarisch beschrieben. Nachkontrollen über längere Zeiträume bestätigen überwiegend die Nachhaltigkeit der Sanierungen.

Notwendig ist eine sachgerechte und detailgenaue Planung und Durchführung. Diese muss bedenken, dass im Baugeschehen ggf. weitere Primärquellen erst nach Ausbau von Materialien entdeckt werden (etwa Horizontalsperren im Mauerwerk). Daher

werden sanierungsbegleitende Kontrollen durch Luftanalysen als sinnvoll angesehen. Kapselnde Maßnahmen erscheinen hierbei für sekundärbelastete Materialien oft unvermeidlich. Abschlusskontrollen sollten deren Wirksamkeit sicherstellen.

Literatur:

- 1) DIBt (2000): Hinweise für die Bewertung und Maßnahmen zur Verminderung der PAK-Belastung durch Parkettböden mit Teerklebstoffen in Gebäuden. DIBt-Mitteilung Nr.4
- 2) KÖHLER, M., WEIS, N., ZORN, Ch. (2004) Luftgetragene PAK-Belastungen in Innenräumen - Vorkommen, Quellen und Bewertung. In: AGÖF (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit. Springe Eldagsen, S.156-165 ,
- 3) MERTENS, J.; KÖHLER, M.; MEHNERT, J.; WEIS, N. (2010): Erfahrungen mit PAK-Belastungen durch Homogenasphaltplatten. In: AGÖF (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit. S. 193-202, Springe Eldagsen
- 4) Agöf (2004): AGÖF-Orientierungswerte für Inhaltsstoffe von Raumluft und Hausstaub In: AGÖF (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit, Springe Eldagsen. S. 24-40
- 5) Sagunski, H. und Heger, W. (2004): Richtwerte für die Innenraumluft: Naphthalin. Bundesgesundheitsblatt 7 S. 705-711
- 6) ZORN, C.; KÖHLER, M.; WEIS; N.; SCHARENBERG, W (2005): Proposal for Assesment of Indoor Air polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH). 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Beijing, China
- 7) Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der IRK und der AOLG (2013): Ergebnisprotokoll der 47. Sitzung vom 26.2.2013
- 8) Axel Wichmann (2004): Naphthalinbelastungen in einem Bürogebäude - Quellensuche, Sanierungsempfehlung und Erfolgskontrolle. In: AGÖF (Hrsg.): Umwelt, Gebäude & Gesundheit, Springe Eldagsen. S. 166-172