

DOKUMENTATIONEN

114/2015

# **Analyse und Trendabschätzung der Belastung der Umwelt und von Lebensmitteln mit ausgewählten POPs und Erweiterung des Datenbestandes der POP-Dioxin-Datenbank des Bundes und der Länder mit dem Ziel pfadbezogener Ursachenaufklärung**

**Anhang 1: PCB im Bausektor und daraus freigesetzte Emissionen – eine Bestandsaufnahme und Neubewertung**



DOKUMENTATIONEN 114/2015

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3712 65 407 1  
UBA-FB 002207/ANL

## **Analyse und Trendabschätzung der Belastung der Umwelt und von Lebensmitteln mit ausgewählten POPs und Erweiterung des Datenbestandes der POP-Dioxin-Datenbank des Bundes und der Länder mit dem Ziel pfadbezogener Ursachenaufklärung**

### **Anhang 1: PCB im Bausektor und daraus freigesetzte Emissionen – eine Bestandsaufnahme und Neubewertung**

von

Dr. Roland Weber  
POPs Environmental Consulting, Schwäbisch Gmünd, Germany

Christine Herold  
Tübingen, Germany

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

# Impressum

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
info@umweltbundesamt.de  
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

**Durchführung der Studie:**

POPs Environmental Cosulting  
Lindenfirststr. 23  
73527 Schwäbisch Gmünd, Germany

**Abschlussdatum:**

Februar 2015

**Redaktion:**

Fachgebiet IV 2.1 Internationales Chemikalienmanagement  
Janek Kubelt

**Publikationen als pdf:**

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/analyse-trendabschaetzung-der-belastung-der-umwelt>

ISSN 2199-6571

Dessau-Roßlau, Dezember 2015

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3712 65 407 1 finanziert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren. Das Umweltbundesamt übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Inhalte sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in dem Forschungsprojekt geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Umweltbundesamtes übereinstimmen.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	6
Abkürzungsverzeichnis.....	8
1 Im Bausektor verwendete und in Bauwerken noch vorhandene PCB-Mengen und deren Emissionen und Management .....	9
1.1 Im Bausektor verwendete PCB-Mengen.....	9
1.2 Emissionen aus Materialien und Sekundärbelastungen im Innenraum .....	11
1.3 Der Eintrag von PCB in die Umwelt durch PCB-haltige Baumaterialien.....	14
1.4 Abschätzung der jährlichen PCB-Emission aus offenen PCB-Anwendungen in Deutschland.....	15
1.5 Erhöhte PCB-Freisetzung bei Sanierungs- und Abbrucharbeiten .....	17
1.6 Eintrag von PCB durch das Recyclen PCB-haltiger Materialien aus Gebäuden und Bauwerken.....	20
2 Gebäude, technische Anlagen und Baumaterialien mit nachgewiesener PCB-Belastung .....	22
2.1 Öffentliche Gebäude.....	22
2.2 Wohngebäude .....	25
2.3 Sportstätten, Stadthallen, Bürogebäude, Fabrikgebäude und technische Anlagen.....	29
2.4 Schwimmbäder, Rohrleitungen, Wasserbauten, Strommasten .....	29
2.5 Baumaterialien, die PCB enthalten können.....	31
3 Fallbeispiel Tübingen Nordstadt: PCB-haltige Gebäude und Bauwerke und die Sanierungspraxis.....	32
3.1 Das Stadtviertel Waldhäuser-Ost.....	33
3.1.1 Das Hochhaus 1 mit angebautem Wasserhochbehälter .....	34
3.1.2 Das Hochhaus 2 .....	36
3.1.3 Brücken und Unterführungen .....	37
3.2 Der Universitätscampus .....	39
3.2.1 Der C-Bau.....	40
3.2.2 Der D-Bau .....	42
3.2.3 Der A-Bau.....	43
3.2.4 Das Hörsaalzentrum.....	45
3.3 Das Studenten- und Dozentenwohnheim.....	50
3.4 Überlegungen zu PCB-Emissionen aus Gebäuden.....	54
4 Ursachen für den nicht adäquaten Umgang mit PCB-haltiger Bausubstanz und PCB-haltigen Bauwerken.....	55

4.1	Die kommunizierte Risikobewertung wird der Gefahr durch PCB nicht gerecht.....	57
4.2	Die Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie).....	59
4.2.1	Geltungsanspruch und tatsächlicher Geltungsbereich der PCB-Richtlinie .....	59
4.2.2	Die meisten Gebäude mit PCB-haltiger Bausubstanz gelten nach PCB-Richtlinie als PCB-frei.....	64
4.2.3	Einstufungen, Grenzwerte und toxikologische Bewertung sind überholt.....	66
4.2.4	Die toxikologische Bewertung in der PCB-Richtlinie beschränkt sich auf die inhalative Aufnahme im Normalbetrieb.....	68
4.2.5	Die PCB-Richtlinie verlangt nicht, PCB-haltige Materialien festzustellen und zu entfernen.....	69
4.2.6	Die Vorschriften der PCB-Richtlinie verleiten bei Sanierungen zum Hinauslüften der freigesetzten PCB in die Umwelt .....	70
4.3	Fehlendes Wissen über PCB in Gebäuden und Bauwerken... (Beispiele).....	71
4.3.1	... bei Gebäudeeigentümern und Immobilienverwaltungen.....	71
4.3.2	... bei Architekten, Bauingenieuren und Handwerkern .....	73
4.3.3	... bei PCB-Sanierungsunternehmen.....	74
4.3.4	... bei anderen Abbruch- und Sanierungsunternehmen.....	75
4.3.5	... bei Gutachtern und Ratgebern.....	76
4.3.6	... bei den Behörden.....	78
4.4	Schwierigkeit offene Anwendungen zu sanieren.....	78
4.4.1	Kosten von Sanierungen.....	79
4.4.2	Praktische Schwierigkeit bei PCB-Sanierungen .....	80
4.4.3	Risikowahrnehmung.....	81
4.4.4	Herausforderung der Risikokommunikation von PCB-Sanierungen .....	81
5	„Best Practice“ Umgang mit PCB-haltiger Gebäudesubstanz in anderen Ländern .....	81
5.1	Schweden.....	81
5.2	Schweiz .....	82
5.3	USA .....	83
6	Maßnahmen, die den fachgerechten Umgang mit PCB in Baumaterialien sicherstellen und den Schutz der Umwelt gewährleisten können .....	83
6.1	Informationen.....	83
6.1.1	Information der Öffentlichkeit über die Gefährdung durch PCB .....	83
6.1.2	Informationen über konkrete Verwendungsbeispiele.....	84
6.1.3	Informationen/Ansprechpartner für betroffene Bürger.....	85
6.2	Schulungen und Ausbildung.....	85
6.2.1	Schulung von Feuerwehrleuten – Brände an PCB-haltiger Bausubstanz .....	86

6.2.2	Schulung von Gutachtern, Bauingenieuren, Architekten .....	86
6.2.3	Aus- und Fortbildung für betroffene Berufsgruppen.....	87
6.2.4	Informationen und Vorschriften über geeignete Arbeitsverfahren und Geräte bei PCB-Sanierungen .....	88
6.3	Gesetze .....	89
6.3.1	Überprüfung des Anwendungsbereichs und der Risikoabschätzung der PCB- Richtlinie .....	89
6.3.2	PCB-Inventarisierung, Schadstoff-Kataster für Gebäude und Verbot der Verwendung von PCB.....	90
6.3.3	Veröffentlichung von Daten über das Vorkommen von PCB.....	92
6.3.4	Wirksame Kontrollen und Sanktionen, Bekanntgabe von Verstößen.....	92
7	Quellenverzeichnis.....	93

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung A1 - 1: PCB Belastung in Innenraumluft der Ruhr Universität Bochum (RUB).....	23
Abbildung A1 - 2: Tübinger Nordstadt .....	32
Abbildung A1 - 3: Luftaufnahme Waldhäuser-Ost .....	33
Abbildung A1 - 4: Blick von den Feldern Waldhausens nach Osten .....	33
Abbildung A1 - 5: Westfassade Hochhaus 1 mit Wasserspeicher .....	34
Abbildung A1 - 6: Sanierung der West-Fassade 2012 .....	35
Abbildung A1 - 7: Nicht sachgerecht entsorgte Fugenmassen, die nach Beendigung der Sanierungsarbeiten am Boden zurückgelassen wurden.....	35
Abbildung A1 - 8: Mehr als 1,5 t Fugenmassen wurden auf einer Bauschuttdeponie verbracht. Diese enthielten schätzungsweise 150 kg PCB.....	36
Abbildung A1 - 9: Hochhaus 2 . Hochhaus mit etwa 280 Wohnungen; im Vordergrund eine in der Nähe befindliche landwirtschaftlich genutzte Fläche.....	36
Abbildung A1 - 10: PCB-haltige Fugenmassen an Brücken und Mauern .....	38
Abbildung A1 - 11: Fugenmassen an Unterführungen.....	39
Abbildung A1 - 12: Naturwissenschaftliche Institute der Universität Tübingen auf der Morgenstelle.....	40
Abbildung A1 - 13: C-Bau Universität Tübingen Morgenstelle.....	41
Abbildung A1 - 14: A-Bau nach dem Abstrahlen .....	44
Abbildung A1 - 15: Teil der Fassade des A-Baus nach der Sanierung mit neuer Stromleitung in der PCB-Fuge.....	44
Abbildung A1 - 16: Decke des Hörsaalzentrums nach der Sanierung mit neuen Rauchmeldern über einer alten PCB-Fuge .....	46
Abbildung A1 - 17: Außenbereich des Hörsaalzentrums mit noch großen Mengen PCB-haltiger Fugenmassen .....	47
Abbildung A1 - 18: Neue Ver fugungen über z.T. noch sichtbarer alter Fugenmasse .....	48
Abbildung A1 - 19: Treppe an der Nordseite des Hörsaalzentrums. PCB-haltige Fugenmassen wurden bei der Sanierung der Außentreppe des Hörsaalzentrums Morgenstelle nicht fachgerecht entfernt. ....	49
Abbildung A1 - 20: Dozentenwohnheim (Flachbau links) und Studentenwohnheim (Hochhaus). Alte Fugenmassen sind nach dem Abstrahlen des Studentenwohnheims noch zu erkennen (Bild rechts). ....	50
Abbildung A1 - 21: PCB-haltige Fugenmasse am Dozentenwohnheim .....	51
Abbildung A1 - 22: Gebäude nach dem Abstrahlen. Grauer Staub liegt in der Umgebung.....	51
Abbildung A1 - 23: Die Oberflächen der Fugenmassen um die Fenster wurden beim Abstrahlen zum Teil abgetragen .....	52

Abbildung A1 - 24: Abfälle der Sanierung einschließlich Fugenmasse sind auf dem Gelände verstreut.....	53
Abbildung A1 - 25: Ausgebaute Fenster mit anhaftender Fugenmasse und Hinterfüllmaterial.....	54
Abbildung A1 - 26: Entfernen PCB-haltiger Fugenmassen. Links: Herausschneiden einer potenziell PCB-haltigen Fuge ohne ausreichenden Personenschutz. Rechts: Fachgerechter Ausbau von PCB-haltigen Fugenmassen unter paralleler Absaugung.....	78

## Abkürzungsverzeichnis

ARGEBAU	Arbeitsgemeinschaft der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder
BAFU	Bundesamt für Umwelt (Schweiz)
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Schweiz)
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
dI-PCB	Dioxinähnliche (dioxin-like) polychlorierte Biphenyle
F&E	Forschung und Entwicklung
KMF	Künstliche Mineralfasern
IARC	International Agency for Research on Cancer
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCB <sub>6</sub>	(Summe der) sechs Indikator-PCB
PCDD	Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine
PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
POP	Persistent Organic Pollutant
PRTR <sup>1</sup>	Pollution Release and Transfer Register
PVC	Polyvinylchlorid
TEQ	Toxizitätsäquivalent
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
TS	Trockensubstanz
WHO	Weltgesundheitsorganisation

---

<sup>1</sup> Wurde inzwischen in Thru umbenannt ([www.Thru.de](http://www.Thru.de))

# 1 Im Bausektor verwendete und in Bauwerken noch vorhandene PCB-Mengen und deren Emissionen und Management

## 1.1 Im Bausektor verwendete PCB-Mengen

Von den in Deutschland produzierten Polychlorierten Biphenylen (PCB) kamen ca. 85.000 Tonnen im Inland zur Anwendung, sowohl als reine Produkte als auch in Mischungen mit anderen Stoffen in offenen und geschlossenen Systemen (Detzel et al. 1998). Zu den Haupteinsatzbereichen von PCB gehörten in Westdeutschland und Westberlin, neben der Verwendung als Isolier-/Kühlmittel in elektrischen Bauteilen (vor allem Kondensatoren und Transformatoren) und als Hydraulikflüssigkeit (Bergbau), auch der Bausektor. In Westdeutschland/Westberlin lag der Anteil der in offenen Anwendungen verwendeten PCB bei 33% oder mehr (Detzel et al. 1998). Zwischen Ende des 2. Weltkrieges und dem PCB-Produktionsstopp für sogenannte offene PCB-Anwendungen im Jahr 1972 wurden die von der Firma Bayer produzierten PCB auch im Kunststoffbereich, primär in Fugenmassen, eingesetzt. Die gesamte PCB-Menge in offener Anwendung wurde in einem UBA F&E Projekt mit mehr als 24.000 t für Westdeutschland und mit 1.013 t für Ostdeutschland angegeben (Detzel et al. 1998). Damit lag für Westdeutschland der Verbrauch von PCB in offenen Anwendungen pro Einwohner bei ca. 375 g/Person<sup>2</sup>, während er z. B. in Schweden bei 10 bis 50 g/Person (insgesamt 100 bis 500 t) (Sundahl et al. 1999) und in der Schweiz bei 280 g/Person (insgesamt 2000 t) (BUWAL 2000a) lag. PCB-verarbeitende Industriezweige (Farben- und Lackindustrie, Kunststoffindustrie) hatten in der BRD eine höhere Bedeutung als z. B. in der Schweiz, der DDR oder Österreich (Müller 1994, Stolz 1995). Dabei wurde für Westdeutschland abgeschätzt, dass 20.000 t PCB in Fugenmassen verwendet wurde. Die quantitative Verwendung der restlichen 4.000 Tonnen PCB in offenen Anwendungen wie z. B. Farben, Lacken oder Papierbeschichtungen wurde nicht detailliert zugeordnet. Dies ist eine wichtige Wissenslücke, da wenige 1000 Tonnen PCB in Lack- und Farbanstrichen aufgrund ihrer großen Oberfläche zu einer vergleichbaren oder höheren jährlichen gasförmigen PCB-Emission führen könnten als 20.000 t PCB in Fugendichtungen. Zudem wurde gezeigt, dass PCB-haltige Farben und Lacke bei der Sanierung von z. B. Freibädern, Brücken oder Stahlträgern in der Vergangenheit durch Abstrahlen in Form von Staub und Partikeln freigesetzt und zu einem großen Teil in die Umgebung verteilt wurden (Stadt Zürich 2008, Knechthofer 2009, Jartun et al. 2009).

Nach Angaben der Firma Bayer wurden für die offenen Anwendungen Clophen A60<sup>3</sup> verwendet. Jedoch wurde in Fugenmassen von Gebäuden auch Clophen A50 und Clophen A40 nachgewiesen (oder entsprechende PCB-Mischungen eines anderen Herstellers) (Behnisch 1997; Volland & Neuwirth 2005). Der Fugenmassenhersteller Thiokol, verwendete nach eigenen Angaben neben Produkten mit dem Handelsnamen Clophen (Firma Bayer) auch Aroclor der Firma Monsanto (Goßler & Höhlein 1992)<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> Basierend auf den 24.000 Tonnen offene PCB-Anwendungen und einer Bevölkerungszahl von 64 Millionen Einwohner.

<sup>3</sup> Clophene sind die technischen PCB-Gemische der Firma Bayer. Die vorletzte Ziffer gibt die im Mittel vorhandene Zahl der Chloratome pro Molekül an.

<sup>4</sup> Welche PCB-haltigen Fugenmassen und andere Kunststoffprodukte von Westdeutschland importiert wurden, konnte von den Autoren nicht mehr ermittelt werden. Sie vermuten, dass es sich um beträchtliche Mengen handelt, da die US-Firma Monsanto zwischen 1963 und 1970 jährlich etwa 13% seiner Produktion (4.500 t/Jahr) exportierte. Der Höhepunkt des PCB-Verkaufs für offene Anwendungen der Firma Monsanto lag zwischen 1969

PCB-haltige Fugenmassen wurden vor allem in den bis 1975<sup>5</sup> errichteten öffentlichen Gebäuden, wie Schulen, Kindergärten und Universitätsgebäuden verwendet. Sie sind aber auch in Wohngebäuden, Industriegebäuden und anderen Bauwerken aus Beton, wie Brücken und Unterführungen zu finden. In öffentlichen Gebäuden, die bis 1973 errichtet wurden, sind häufig PCB-belastete Akustik-Deckenplatten der Firma Wilhelmi anzutreffen (Volland & Neuwirth 2005). Seit Jahren ist immer wieder von Schulen, Kindergärten und Universitätsgebäuden zu lesen, in denen die PCB-Konzentrationen in der Raumluft Werte erreichen, bei denen ein Gesundheitsrisiko nicht mehr ausgeschlossen werden kann. Die Gefährdung von Gebäudenutzern und die Sanierungsdringlichkeit werden auf der Grundlage der PCB-Richtlinie der Arbeitsgemeinschaft der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister der Länder (ARGEBAU 1994) beurteilt. Die PCB-Richtlinie der ARGEBAU wurde in den jeweiligen Bundesländern, mit unterschiedlichen Abänderungen, als technischen Baubestimmungen eingeführt und 2011/2012 geändert und ergänzt (ARGEBAU 2011, 2014). Zur Abwehr möglicher Gefahr für Leben oder Gesundheit sind in dauerhaft genutzten Räumen Sanierungsmaßnahmen dann angezeigt, wenn die zu erwartende Raumluftkonzentration unabhängig von der täglichen Aufenthaltsdauer im Jahresmittel mehr als 3000 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft<sup>6</sup> beträgt (ARGEBAU 2011). Die (Gesamt-)PCB-Konzentration wird, soweit im Folgenden nicht anders angegeben, nach LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall) bestimmt, als Summe der Konzentrationen der Indikator-PCB<sup>7</sup> multipliziert mit dem Faktor 5. In der Schweizer Untersuchung von Kohler et al. (2005) überschritten 5% der Gebäude mit PCB-haltiger Fugenmasse diese in Deutschland als kritisch angesehene Raumluftkonzentration. Gebäude, die aufgrund erhöhter PCB-Konzentrationen in der Raumluft saniert werden müssen<sup>8</sup>, stellen somit nur einen kleinen Teil aller Gebäude dar, die PCB-haltige Materialien enthalten. Die meisten Gebäude/Bauten sind bisher nicht oder nicht detailliert auf PCB untersucht worden (siehe Kapitel 2). Abschnitt 3.1 zeigt, am Beispiel eines Stadtviertels einer Universitätsstadt Westdeutschlands, die massive Verwendung von PCB in Gebäuden und Bauten. Für eines dieser Gebäude wird die jährliche PCB-Emission in die Luft abgeschätzt, die durch kontinuierliche Desorption aus verbauten PCB-haltigen Materialien verursacht wird. Am Beispiel mehrerer Gebäude wird gezeigt, dass bei nicht fachgerecht ausgeführten Sanierungen PCB-haltige Materialien in Baustellenabfälle und in Recyclingkreisläufe gelangen und dass die bei Sanierungen in Luft, Boden und Wasser freigesetzte PCB-Menge die jährliche durch Ausgasung verursachte Emission weit übersteigen kann. Auch von fachgerecht PCB-sanieren Gebäuden kann noch eine Gefahr ausgehen, denn bei PCB-Sanierungen müssen PCB-haltige Materialien nicht zwangsläufig entfernt werden; das

---

und 1971. In dieser Zeit produzierte Monsanto fast ebenso viel PCB für offene Anwendungen als auch für geschlossene Anwendungen (Goßler & Höhle 1991).

<sup>5</sup> Der Nutzerleitfaden „PCB in Gebäuden“ nennt sogar 1950 bis 1980 als Zeitraum für offene PCB-Anwendungen (Landesinstitut für Bauwesen NRW 2003)

<sup>6</sup> 1 ng = 1 Nanogramm = 1 Milliardstel Gramm = 10<sup>-9</sup> g

<sup>7</sup> Als Indikator-PCB werden PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-138, PCB-152 und PCB-180 bezeichnet

<sup>8</sup> Der TDI (tolerable daily intake = tolerierte Tagesdosis) für PCB wurde gesenkt (WHO 2003). Der daraus abgeleitete Raumluftgrenzwert liegt um den Faktor 50 niedriger (bei 60 ng/m<sup>3</sup>) als der momentan gültige Raumluftgrenzwert der PCB-Richtlinie.

Beschichten oder Abtrennen von PCB-haltigen Materialien wird als mögliche Sanierungsvariante angesehen<sup>9</sup>.

Obwohl die PCB-Menge in offenen Anwendungen in Deutschland sehr hoch ist, wurde deren Entsorgung nicht in ähnlich systematischer Weise angegangen wie etwa für PCB in geschlossenen Anwendungen (Transformatoren und Kondensatoren). Der größte Teil der PCB-haltigen Fugenmassen und Farbanstriche ist in Deutschland noch vorhanden (geschätzte 50 bis 80%)<sup>10</sup>. PCB-haltige Fugenmassen und Farbanstriche sind außerordentlich gut haltbar und erfüllen ihren Zweck meist heute noch. Große Mengen PCB befinden sich somit in und an Gebäuden und Bauwerken noch dort, wo sie vor 40-50 Jahren verbaut wurden<sup>11</sup>. Anders als bei geschlossenen PCB-Anwendungen gibt es in Deutschland für PCB-haltige Baumaterialien keine Verordnung, die die Inventarisierung, Kennzeichnung oder vollständige Beseitigung verlangt. Dieser Umstand ist nicht durch Risikoabschätzung erklärbar, da offene Anwendungen von allen PCB-Anwendungen wohl die wichtigste Expositionsquelle darstellen. Gründe werden in diesem Dokument in Kapitel 4 diskutiert. Spätestens bei Sanierung oder Abbruch sollte sichergestellt sein, dass diese PCB-Reservoirs sicher entsorgt werden. Tatsächlich hatte der Umweltausschuss des Bundesrates bereits im Jahr 2000 auf eine strengere Regulierung PCB-haltiger Bausubstanz in der PCB/PCT-Abfallverordnung (2000) gedrängt. Da dies zu einem erheblichen Kostenanstieg bei Abriss und Rückbau entsprechender Bauwerke geführt hätte, wurde jedoch auf eine entsprechende Verschärfung der PCB/PCT-Abfallverordnung, unter anderem wegen Intervention des Deutscher Beton- und Bautechnikvereins, verzichtet (Deutscher Beton- und Bautechnikverein 2000).

## 1.2 Emissionen aus Materialien und Sekundärbelastungen im Innenraum

PCB sind semivolatile Substanzen, die bei Raumtemperatur in die Luft desorbieren und aus der Luft adsorbieren können (Wania & Mackay 1996). Die im Innenraum aus Primärquellen emittierten PCB werden durch Lüftung und Lüften in die Umwelt emittiert, adsorbieren aber teilweise auch an anderen Materialien im Innenraum einschließlich Bauteilen (z. B. Wände, Decken, Böden) oder Gegenstände (z. B. Mobiliar, Teppichböden oder Gardinen) (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 2013; Hunt 2013; Zöltzer 1999). Bei direktem Kontakt diffundieren PCB in angrenzende Materialien und werden absorbiert. D. h., sie werden vom Material aufgenommen und eingelagert. So dringen PCB aus Fugenmassen in die angrenzenden Betonteile ein (Sundahl et al. 1999). Farbe, die z. B. neu über alter PCB-haltiger Farbe oder über PCB-haltigen Fugenmassen verstrichen wird, ist nach einiger Zeit selbst PCB-belastet und gibt PCB in die Luft ab (Hunt 2013; Guo et al. 2012).

---

<sup>9</sup> Abschnitt 4.1 der PCB-Richtlinie der ARGEBAU (ARGEBAU 1994): „Eine Sanierung PCB-belasteter Gebäude hat zum Ziel, die Raumluftbelastung durch PCB-haltige Produkte dauerhaft zu senken. Dies kann z. B. durch Entfernen, Abtrennen oder Beschichten PCB-haltiger Produkte geschehen“

<sup>10</sup> Diese Einschätzung wurde vom Forschungskonsortium gemacht nach Diskussion mit Experten auf diesem Gebiet. Der genaue Prozentsatz sollte in einem gesonderten Untersuchung/Vorhaben (am besten im Rahmen einer Inventarisierung) bestimmt werden.

<sup>11</sup> Sofern sie nicht, im Rahmen von Baumaßnahmen, ganz oder teilweise, und wie in Kapitel 2 gezeigt oft unsachgemäß, entfernt wurden.

Solche sekundär belasteten Materialien können hohe PCB-Konzentrationen<sup>12</sup> von mehreren hundert bis zu ca. 4000 mg PCB/kg erreichen (Gesundheitsamt Bremen 2003, Zöltzer 1999; Sundahl et al. 1999). Sekundär belastete Materialien gelten daher bei Überschreiten der Grenzkonzentration von 50 mg PCB/kg als PCB im Sinne der PCB/PCT-Abfallverordnung (2000) und müssen ebenso behandelt werden wie die primären PCB-Quellen. Dämmmaterial, das bei energetischen Sanierungen über PCB-haltigen Fugenmassen angebracht wird, muss vermutlich später ebenfalls als Sonderabfall (>50 mg PCB/kg) entsorgt werden. Wenn es sich um Mineralwolle handelt, wird es zumindest über den Grenzkonzentrationen für mineralische Recyclingstoffe (1 mg PCB/kg) liegen. Auch Staub kann aufgrund seiner großen Oberfläche viel PCB aus der Luft adsorbieren und hohe PCB-Konzentrationen von mehreren hundert mg PCB/kg erreichen (Volland & Neuwirth 2005).

Großflächige Sekundärkontaminationen können – selbst nach vollständigem Entfernen der Primärquellen – erhöhte PCB-Raumluftkonzentrationen aufrechterhalten (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 2013; MBl NRW 1996; Hunt 2013). Nicht ausreichend tief entfernte Primärquellen oder nicht ausreichend entfernte Sekundärquellen können noch Jahre nach der Sanierung zu erhöhten Raumluftbelastungen führen. Eine Gefährdung geht damit nicht nur von den PCB-haltigen Bauprodukten selbst aus und von ihrer Emission, sondern auch von sekundär belasteten Materialien, die über direkten Kontakt oder über die Luft PCB angereichert haben (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 2013, Hunt 2013, Zöltzer 1999).

Je größer die Oberfläche und Retentionskraft eines Materials in einem PCB-belasteten Gebäude, desto größer ist die PCB-Anreicherung. Von Kunststoffen wie PVC, Polyethylen oder Polyurethan ist bekannt, dass sie PCB stark adsorbieren (Weis et al. 2010, Hunt 2013, Varbelow 2009<sup>13</sup>). Bei manchen PCB-belasteten Bau-Materialien lässt sich nicht entscheiden, ob es sich um eine geringe Primär- oder eine hohe Sekundärbelastung handelt. Je länger sich Gegenstände in belasteten Räumen befinden, desto höher steigt die Sekundärbelastung. Weis et al. (2010) vom Bremer Umweltinstitut untersuchten den Buchbestand der Bibliothek einer PCB-belasteten Schule. Die Raumluftbelastung betrug 650 ng PCB/m<sup>3</sup>. Bei ähnlicher Materialbeschaffenheit waren die älteren Bücher höher belastet als die neuen. Mit Kunststoff beschichtete Umschläge reicherden PCB besser an (bis 120 mg PCB/kg) als unbeschichtete Papierumschläge oder Kartoneinbände.

Zöltzer (1999) bestimmte mit Hilfe einer Prüfkammer die PCB-Emissionen von Stühlen, Büchern und Computer/Bildschirm. Die Gegenstände stammten aus Unterrichtsräumen einer Schule, in der in den Sommermonaten 1997 Konzentrationen von 12.000 – 15.000 ng PCB/m<sup>3</sup> gemessen worden waren. In der Schule waren Fugenmassen verbaut worden, die eine niederchlorierte PCB-Mischung enthielten. Niederchlorierte PCB haben einen höheren Dampfdruck als höher chlorierte PCB. Sie gasen deshalb stärker aus und können zu höheren Raumluftkonzentrationen führen als höher chlorierte PCB-Mischungen. 1 m<sup>2</sup> Schulbücher, die ein Jahr in der Schule gelagert worden waren, emittierten in der Prüfkammer 130.000 ng PCB pro Stunde. Ebenso viel emittierte der Computer mit Bildschirm. Zwei Schulstühle aus Stahlrohr und Kunststoff gaben 1.180.000 ng (1,18 mg) PCB pro Stunde ab. Die in den Klassenzimmern befindlichen Sekundärquellen wie Wandflächen (550 mg PCB/kg und 770 mg/kg), Fußböden (430 mg/kg), Decken

---

<sup>12</sup> Es wird zwischen Adsorption (Anlagerung auf Oberfläche) und Absorption (Einlagerung in Materialien) unterschieden.

<sup>13</sup> Kunststofffolien, die bei PCB-Sanierungen zur Abschottung des Sanierungsbereichs dienen, können nach der Sanierung höhere PCB-Konzentrationen aufweisen als die Primärquelle.

(180 mg/kg) und Möbel (besonders mit Kunststoffoberfläche) trugen zu einem erheblichen Anteil zur Raumlufbelastung bei. Hier hatte die ca. 30 jährige PCB-Emission der Primärquellen in dem Gebäude die Sekundärquellen aufgeladen (Zöltzer 1999) und zwar in einem Maße, dass die Sekundärkontaminationen weit über dem Grenzwert von 50 mg/kg lagen. Bei Überschreitung dieses Grenzwertes muss Abfall nach der PCB/PCT-Abfallverordnung (2000) als gefährlicher Abfall entsorgt werden. Dieses Aufladen von Sekundärquellen durch Primärquellen führt dazu, dass auch die Raumlufkonzentrationen im Laufe der Jahre immer mehr ansteigen (Zöltzer 1999). Über den normalen Luftaustausch bzw. durch verstärktes Lüften, wie es als Maßnahme von der PCB-Richtlinie der ARGEBAU für PCB-belastete Gebäude empfohlen wird (siehe auch Abschnitt 4.2), wird die PCB-Fracht in die Umwelt verlagert.

Im D-Bau des Campus Morgenstelle (siehe Abschnitt 3.2.2) untersuchte Zöltzer (2002) den Beitrag der Sekundärkontamination auf die Raumlufbelastung. Nachdem die vorhandenen Wilhelmi-Deckenplatten<sup>14</sup> mit einem Sperranstrich versehen worden waren, sank die PCB-Konzentration in der Raumluf von 2.235 ng/m<sup>3</sup> um 70% auf 675 ng/m<sup>3</sup> und lag nach dieser „Sanierungs“-Maßnahme unter dem damals in Baden-Württemberg geltenden Vorsorgewert<sup>15</sup> von 900 ng/m<sup>3</sup>. Diese starke Abnahme zeigt, dass hier die Primärquelle nach 30 Jahren Verwendung immer noch die mit Abstand wichtigste PCB-Quelle war, was gleichzeitig auch die Langzeitemission der Primärquellen belegt. Mit Hilfe von Passivsammlern und unter Berücksichtigung der Größe der jeweils emittierenden sekundär belasteten Flächen bestimmte Zöltzer jeweils die Beiträge zur Raumlufbelastung: Die Emission der sekundär belasteten Schränke (25%), der Metall-Zwischenwände (46%) und des PVC-Fußbodens (22,5%) verursachten nach der frischen Auftragung der Sperrschicht zusammen 93,5% der Raumlufbelastung (Zöltzer 2002). Die beschichteten Deckenplatten trugen nur noch zu 6,5% zur erwähnten Raumlufbelastung von 675 ng PCB/m<sup>3</sup> bei. Nimmt man an, dass die Emissionen von Wänden, Böden und Schränken vor und nach der „Sanierung durch Beschichten“ gleich waren, dann berechnet sich der Anteil der Sekundäremissionen von Wänden, Böden und Schränken vor der Sanierung auf 28% der Gesamt-PCB-Belastung. Dies deckt sich in etwa mit der Angabe, dass der Anteil des Mobiliars an der Gesamt-Luftbelastung üblicherweise ca. 10–15% der Ausgangsbelastung beträgt (Gesundheitsamt Bremen 2003).

Die Gefahr durch die Sekundärkontamination wird zum Teil von Institutionen erkannt. Der Umgang mit sekundär kontaminiertem Material ist schwierig: Nachdem in den Geowissenschaftlichen Instituten der Universität Münster eine hohe Belastung mit PCB festgestellt worden war, wurde das Gebäude geschlossen und sollte abgerissen werden (BLB NRW 2008). Die 200.000 Bände der Bibliothek wurden eingelagert. Der Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW, der für 30 Millionen Euro einen Neubau errichtete, weigerte sich jedoch wegen potenzieller Sekundärkontamination die alte Bibliothek einziehen zu lassen (Westfälische Nachrichten 2012).

Diese Untersuchungen von PCB-Sekundärkontaminationen offenbaren eindrücklich:

---

<sup>14</sup> Im D-Bau wurden keine PCB-belasteten Fugenmassen festgestellt.

<sup>15</sup> Die PCB-Richtlinie der ARGEBAU (1994) gibt einen Vorsorgewert von 300 ng PCB/m<sup>3</sup> und der Gefahrenwert von 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup> an. Sie erlaubte, bei kürzerer Aufenthaltsdauer als 24 Stunden, die Grenzwerte entsprechend höher anzusetzen. In manchen Bundesländern, wie Baden-Württemberg und Bayern, galten an Schulen und Vollzeit-Arbeitsplätzen ein Vorsorge- und Gefahrenwert von 900 ng PCB/m<sup>3</sup> bzw. 9.000 ng PCB/m<sup>3</sup>. Die PCB-Richtlinie der ARGEBAU wurde 2011 geändert und erlaubt das Hochrechnen der Grenzwerte auf die Aufenthaltsdauer nicht mehr (ARGEBAU 2011).

- In welchem Maße PCB aus Fugendichtungen und anderen offenen Anwendungen desorbieren.
- Wie damit andere Materialien über Jahrzehnte zum Teil hoch kontaminiert werden.
- Wie die durch Sekundärkontamination belasteten Materialien selber zu PCB-Emissions- und Kontaminationsquellen werden.

Die Neigung von persistenten organischen Schadstoffen (POPs) zur iterativen Desorption/Adsorption wurde bisher nur in Zusammenhang mit der globalen POP-Kontamination beschrieben und wird als „Grasshopper-Effect“<sup>16</sup> bezeichnet (Wania & Mackay 1996). Der Nachweis von Sekundär- und Tertiärbelastungen in Gebäuden mit PCB-haltiger Bausubstanz zeigt plastisch, dass dieser Grasshopper-Effect bei PCB-Kontaminationen im Innenraum zu beobachten ist: PCB dinsten von Primärquellen in die Luft aus und kondensieren auf zuvor unbelastete Gegenständen. Von diesen sekundär belasteten Materialien können PCB dann wieder desorbieren und weitere Materialien belasten. Durch weitere Desorption/Adsorption führt die Kontamination des Innenraums über Emissionen aus dem Gebäude zur Belastung der näheren und weiteren Umgebung (siehe Abschnitt 1.3).

### 1.3 Der Eintrag von PCB in die Umwelt durch PCB-haltige Baumaterialien

PCB aus offenen Anwendungen emittieren nicht nur in den Innenraum, sondern auch und vor allem in die Umwelt. Alle offenen PCB-Anwendungen, die im Außenraum verwendet wurden (Außenfugen, Anstriche von Brücken, Strommasten oder anderen Gebäuden) emittieren ausschließlich in die Umwelt. Aber auch PCB aus offenen Anwendungen im Innenraum gelangen über die Lüftung und das Lüften in die Umgebung. Die Kontamination von Boden und Umgebung von PCB-kontaminierten Gebäuden sind dokumentiert (Priha et al. 2005, Herrick et al. 2007, Astebro et al. 2000, Johansson 2009, Sundahl et al. 1999). Zum einen führen Verwitterung und Auswaschung an Gebäuden mit Außenfugen zum Eintrag von PCB in den Boden (Priha et al. 2005, Herrick et al. 2007, Astebro et al. 2000, Johansson 2009). Priha et al. (2005) fanden höhere PCB-Konzentrationen auf der Südseite der Gebäude. Sie schlossen daraus, dass die Verwitterung einen wesentlichen Einfluss auf den PCB-Eintrag in die umgebenden Böden hat. So führte allein die Ausgasung zu einem erheblichen Eintrag von PCB in die Umwelt. Sundahl et al. (1999) bestimmten für ein achtstöckiges Gebäude in Schweden die Freisetzung von PCB in die Umwelt. Das Gebäude enthielt ca. 90 kg PCB in Innenfugen. Über die PCB-Raumkonzentration, die Luftaustauschraten und das Gebäudevolumen wurde die Freisetzung von PCB in die Innenraumluft zu 60 g/Jahr berechnet. Nach Einstellung des Gleichgewichtes mit den Oberflächen im Innenraum entspricht dies der Emission in die Umwelt. Für ein zehnstöckiges Universitätsgebäude in Deutschland lag die jährliche PCB-Freisetzung über die Innenraumluft und den Luftaustausch des Gebäudes bei 600 g PCB/Jahr (siehe Abschnitt 3.2.1). Da die Raumluftkonzentrationen hier bei etwa 2.500 ng PCB/m<sup>3</sup> lagen, waren für dieses Gebäude nach der PCB-Richtlinie Sanierungsmaßnahmen lediglich mittel- bis langfristig unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit erforderlich (Zöltzer 2007). Jedoch überstieg die aus diesem Gebäude jährlich durch Lüften in die Umwelt emittierte PCB-Menge

---

<sup>16</sup> Englische Bezeichnung für Grashüpfer/Heuschrecke

den Schwellenwert des Schadstofffreisetzung- und -verbringungsregisters (PRTR<sup>17</sup>; für PCB 100 g/Jahr) für meldepflichtige Industrieanlagen um den Faktor 6.

Durch die Emissionen offener Anwendungen aus Gebäuden und anderen Bauwerken werden somit die direkte und die weitere Umgebung mit PCB belastet (Bauwerke, Infrastruktur, Boden, Vegetation, Gewässer etc.) Dies kann als Sekundärkontamination der Umwelt durch die „Primärquelle Gebäude oder Bauwerk“ bezeichnet werden. Während jedoch im Innenraum die Sekundärkontaminationen häufig über dem Grenzwert der PCB/PCT-Abfallverordnung von 50 mg PCB/kg liegen (Zöltzer 1999), sind die Boden-Gehalte in der Nähe von PCB-haltigen Gebäuden, Strommasten oder Schwimmbädern im Bereich von wenigen mg PCB/kg oder darunter (Herrick et al. 2007, 2010; Sundahl et al 1999, Stadt Zürich 2008). Die so über die Jahre und Jahrzehnte durch Sekundärkontamination aufgeladenen Städte emittieren auch in die weitere Umgebung. Diese PCB-Freisetzung ist durch mehrere Studien für Städte oder Stadtviertel dokumentiert. Bogdal et al. (2014) und Gasic et al. (2009) berechneten aus Außenluftmessungen die PCB-Emission von Zürich (Schweiz) zu 78 kg/Jahr<sup>18</sup> und 600 kg/Jahr. Csiszar et al. (2013) berechneten die jährliche PCB-Freisetzung aus Toronto (Kanada) zu etwa 230 kg/Jahr (40 bis 480 kg/Jahr) bei einem abgeschätzten PCB-Inventar von Toronto von 280 bis 800 Tonnen PCB. Die Reichweite der PCB-Hauptdeposition der Stadt Toronto wird mit 20 bis 30 km angegeben (Csiszar et al. 2012). Auch Jamshidi et al. (2007) zeigten durch eine Transsekt-Studie, dass PCB-Emissionen aus dem Stadtzentrum von Birmingham mit dem Wind in die nähere und weitere Umgebung transportiert werden. Ausgehend von der Innenstadt Birminghams nahmen die PCB-Konzentrationen in Luft und Boden mit zunehmender Entfernung vom Stadtzentrum ab. Die Messung chiraler PCB zeigte dabei, dass die PCB in der Atmosphäre zum größten Teil aus Primäremission kam und nicht aus einer Re-emission aus Böden oder Vegetation (Jamshidi et al. 2007). Auch die Studie für Toronto schätzt die Emission aus Primärquellen (ca. 50 g/Tag) etwa 10 mal höher als die Re-Emission aus Böden und Vegetation (1-7 g/Tag) (Csiszar 2012, Csiszar et al. 2013).

PCB aus offenen Anwendungen gelangen auch in Gewässer und Sedimente entweder durch direkte Deposition oder mit dem Regenwasser über versiegelte Flächen über die Straßentwässerung<sup>19</sup> (Jartun et al. 2008, LDW 2011, Klosterhaus 2014, Ruus et al. 2006).

#### **1.4 Abschätzung der jährlichen PCB-Emission aus offenen PCB-Anwendungen in Deutschland**

In einer schwedischen Studie wurde aus Innenraumkonzentration, Luftwechselrate, Gebäudevolumen und vorhandener PCB-Menge in den Fugendichtungen eines Gebäudes der Anteil der jährlich durch Ausdünstung freigesetzte PCB-Menge zu 0,067% berechnet (Sundahl et al. 1999). Csiszar et al. (2013) berechneten aus dem PCB-Inventar der Stadt Toronto (440 t) und aus der über Außenluftmessungen und Modellierung bestimmten jährlichen PCB-Freisetzung aus den

---

<sup>17</sup> [http://www.thru.de/fileadmin/SITE\\_MASTER/content/Dokumente/Downloads/E\\_PRTR\\_VO\\_Anhang\\_II.pdf](http://www.thru.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Dokumente/Downloads/E_PRTR_VO_Anhang_II.pdf). Die Schwellenwerte des europäischen Pollutant Release and Transfer Register (PRTR) gelten für dem PRTR unterliegenden stationäre Betriebe. Gebäude waren hier bisher nicht berücksichtigt. Jedoch berücksichtigt das UBA PRTR auch diffuse Quellen, in denen bisher PCB aus Gebäuden aber auch noch nicht aufgenommen ist.

<sup>18</sup> Angabe der Autoren: Emission 107 µg Indikator-PCB/Einwohner/Tag, Einwohnerzahl Zürich: 400.000. Zur Berechnung der Gesamt-PCB-Emission wurde die Emission der Indikator-PCB mit 5 multipliziert.

<sup>19</sup> Auch in Deutschland wird bei stärkerem Regen das Regenwasser über den Regenüberlauf z.T. direkt in Gewässer geleitet, <http://de.wikipedia.org/wiki/Regen%C3%BCberlauf>

Gebäuden Torontos (230 kg/Jahr) eine jährliche Emissionsrate von 0,05% (0,01 – 0,1%). Auch die exemplarisch für ein Gebäude eines Universitätscampus mit einem PCB-Inventar von ca. 1.000 kg (Abschnitt 3.2.1) ermittelte jährlich aus der Innenraumluft in die offene Umwelt gelangte PCB-Menge (600 g PCB/Jahr)<sup>20</sup> entsprach ca. 0,06% des eingebauten Inventars. Dabei wurde die PCB-Ausgasung der belasteten Außenfugen des Gebäudes noch nicht berücksichtigt und kommt zu dieser Menge noch dazu. Verglichen mit der in diesem Gebäude vorhandenen PCB-Menge (geschätzt ca. 1.000 kg) ist die jährliche PCB-Ausdünstung (600 g) gering. Bei Annahme einer konstanten<sup>21</sup> jährlichen Emission von 0,06% durch Ausdünstung wurde seit der Errichtung des Gebäudes (1969) in den letzten 45 Jahren insgesamt 27 kg PCB freigesetzt und damit weniger als 3% der verbauten PCB-Menge von 1.000 kg.

Geht man davon aus, dass von den 24.000 t PCB, die in Deutschland in Bauprodukten zum Einsatz kamen, 50 bis 80% (Abschnitt 1.1) heute noch in Gebrauch sind, dann befinden sich in Deutschland noch 12.000 bis 19.000 t PCB in und an Gebäuden und Bauten. Bei einer jährlichen Ausdünstung von 0,06% errechnet sich eine Gesamtemission von 7 bis 12 t PCB im Jahr.

Bogdal et al. (2014) berechneten aus Luftmessungen die PCB-Emissionen für die gesamte Schweiz auf ca. 1,5 t PCB pro Jahr<sup>22</sup>. Hochgerechnet auf die Einwohnerzahl Deutschlands<sup>23</sup> entspräche dies einer jährlichen Emission von ca. 15 t PCB. Dieser Wert liegt etwas höher als die aus verbauter PCB-Menge und Ausdünstungsrate abgeschätzte jährliche Emission von 7 bis 12 t PCB. Dabei ist noch nicht berücksichtigt, dass der pro Kopf Verbrauch von PCB in offenen Anwendungen in der Schweiz bei ca. 280 g lag (bei 2000 Tonnen gesamt; BUWAL 2000a) während der pro Kopf Verbrauch in Westdeutschland bei 375 g<sup>24</sup> und in Ostdeutschland bei 60 g lag.

Diese in erster Näherung hochgerechnete 7 bis 12 t PCB-Direktemission aus offener Anwendung sollte mit dem aktuellen deutschen PCB-Emissionsinventar von 220 kg, das bisher nur unbeabsichtigt gebildete PCB enthält<sup>25</sup>, für die nächste Inventarisierung abgeglichen und integriert werden.

Vor allem sollte dabei auch die bedeutend größere PCB-Menge, die bei Sanierungen und Abbrucharbeiten in die Umwelt (Boden, Luft, Wasser) und in Recyclingmaterialien gelangt, erwähnt und abgeschätzt werden (siehe Abschnitt 1.5).

Die in die Atmosphäre freigesetzten PCB werden mit dem Wind in die nähere und weitere Umgebung transportiert. Über verschiedene Mechanismen, wie Staubbiederschlag, Auswaschung durch Regen, durch den Auskämmeffekt von Pflanzenoberflächen etc., gelangen sie

---

<sup>20</sup> Die jährlich aus der Innenraumluft in die offene Umwelt gelangte PCB-Menge überstieg damit den Schwellenwert für die Meldung von PRTR -Anlagen (100 g PCB/Jahr) um den Faktor 6.

<sup>21</sup> Wahrscheinlich nimmt die Ausdünstung über die Zeit ab und war höher in den ersten Jahren. Dies wurde bisher aber noch nicht experimentell untersucht. Die Frage ist jedoch wie sich die Gesamtkontamination und Emission (Emission aus Primärquellen und kontinuierlich stärker beladenen Sekundärquellen) entwickelt. Diese Frage gilt für den Innenraum, aber in gleicher Weise für ein Wohngebiet oder eine Stadt.

<sup>22</sup> Angabe der Autoren: 312 kg für die Indikator-PCB

<sup>23</sup> Schweiz: 8,0 Mill. Einwohner, Deutschland: 81,9 Mill. Einwohner

<sup>24</sup> Basierend auf den 24.000 Tonnen offene PCB-Anwendungen und einer Bevölkerungszahl von 64 Millionen Einwohner.

<sup>25</sup> In dem deutschen PCB-Inventar wurden bisher nur die unbeabsichtigt thermisch gebildeten PCB (Verbrennungsanlagen, Metallindustrie etc.) berücksichtigt.

wieder auf die Erdoberfläche. Dieser Austrag von Schadstoffen aus der Luft und ihre Ablagerung auf der Erdoberfläche wird als atmosphärische Deposition bezeichnet. Welche Menge PCB jeden Tag auf einem Quadratmeter niedergeht, kann mit Depositionssammlern gemessen werden. Körner et al. bestimmten in den Jahren 2002/2003 in Bayern die PCB-Deposition zu 200 ng PCB pro Quadratmeter und Tag (LfU 2006). Daraus lässt sich abschätzen, dass in Deutschlands Böden (357.000 km<sup>2</sup>) jährlich 26 t PCB neu eingetragen werden. Unter der Annahme, dass 50% der in Deutschland in die Luft freigesetzten PCB durch Deposition wieder auf deutschem Gebiet niedergehen, berechnet sich für Deutschland eine PCB-Emission von 52 t pro Jahr. Dieser Wert wäre deutlich höher als die 7 bis 12 t PCB, die für die Ausdünstung aus Gebäuden und Bauten abgeschätzt wurden. Auch diese Diskrepanz deutet darauf hin, dass z. B. bei Sanierungs- und Abbrucharbeiten mehr PCB freigesetzt werden, als durch Direktmission (siehe Abschnitt 1.5) oder auch Sekundäremissionen aus Reservoirien hier beitragen (letzteres entspricht allerdings nicht dem aktuellen Stand der Forschung in anderen Ländern; siehe Abschnitt 1.3).

Diese emittierte bzw. deponierte PCB-Menge zeigt die potenzielle Relevanz von offenen PCB-Anwendungen für die Kontamination von Umwelt einschließlich Grünland (einschließlich der potenziellen Exposition von Nutztieren) in der Umgebung von Städten und Ballungsgebieten<sup>26</sup>. Diese waren bisher noch nicht in kausalen Zusammenhang mit aktuellen PCB-Quellen gebracht worden.

## 1.5 Erhöhte PCB-Freisetzung bei Sanierungs- und Abbrucharbeiten

Aus Gebäuden mit PCB-haltiger Bausubstanz wird, durch Evaporation aus PCB-haltigen Bauprodukten und aus sekundär belasteten Materialien, jährlich etwa ein halbes Promille der vorhandenen PCB-Menge in die Umwelt freigesetzt (Abschnitt 1.4). Ein weit größerer Anteil kann während Bauarbeiten innerhalb kurzer Zeit in die Umwelt gelangen.

Durch die zunehmende Alterung des Gebäudebestandes nimmt die Problematik der Freisetzung von PCB bei Durchführung von Sanierungsarbeiten und Abbrucharbeiten zu. Aufgrund von Verwitterung und Verschleiß werden immer häufiger Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten an der nun mehr als 40 Jahre alten PCB-haltigen Bausubstanz und an technischen Einrichtungen/Installationen aus den 1960er und 1970er Jahren nötig. Zudem werden immer mehr Gebäude energetisch saniert (Fenster austausch, Fassadendämmung). Viele dieser Gebäude/Installationen erfüllen auch die heute gestellten Anforderungen (Brandschutz, Barrierefreiheit, technische Ausstattung, Raumaufteilung, Wärmedämmung) nicht mehr und werden generalsaniert oder abgebrochen.

Sundahl et al. (1999) bestimmten bei einer PCB-Sanierung in Schweden die Luftkonzentration während des Entfernens von Fugenmassen. Selbst beim kontrollierten Herausschneiden der Fugenmassen überstieg die PCB-Konzentration den schwedischen Arbeitsplatzgrenzwert von 10.000 ng PCB/m<sup>3</sup> um bis das 12-fache. Erst nach Optimierung des Arbeitsverfahrens und durch Absaugung konnte der Arbeitsplatzgrenzwert erreicht und z. T. unterschritten werden. Die Autoren weisen darauf hin, dass kleine Fehler bei ansonsten fachgerechten Sanierungsarbeiten zu hohen PCB-Luftkonzentrationen führen. Deshalb ist es wichtig, bei allen Arbeitsschritten

---

<sup>26</sup> In Baden-Württemberg liegt der Median von Aufwuchs in ländlichem Gebiet bei 0,07 ng WHO-PCB-TEQ /kg TS während er im leicht verdichteten Raum bei 0,1 ng WHO-PCB-TEQ /kg TS und im stark verdichteten Raum bei 0,13 ng WHO-PCB-TEQ /kg TS liegt. Dabei ist zu beachten, dass es auch im ländlichen Raum offene PCB-Anwendungen wie Strommasten gibt.

sorgfältig vorzugehen, um bei einer Sanierung weder Menschen noch Umwelt zu belasten (Sundahl et al. 1999). Auch bei dieser vorbildlich durchgeführten und überwachten PCB-Sanierung konnte eine Freisetzung in die Umwelt nicht ganz vermieden werden. Durch Vergleich der PCB-Konzentration in Bodenproben vor und nach der Sanierung, konnte abgeschätzt werden, dass 55 g PCB während der Sanierungsarbeiten in den umliegenden Boden gelangten. Der Neueintrag von PCB war in den obersten 2 cm des Bodens und bis in einen Umkreis von 20 m um das Gebäude nachzuweisen. Der mittlere Anstieg der PCB-Konzentration im Boden betrug 0,05 mg PCB/kg (Sundahl et al. 1999). Die Autoren konnten mittels Luft-, Boden- und Materialproben feststellen, dass von den 90 kg PCB, die in den 4.000 m Fugenmasse vorhanden waren, mehr als 99% entfernt und ordnungsgemäß entsorgt wurden. Die Freisetzung von PCB in den angrenzenden Boden während der 120-tägigen Sanierungsarbeiten lag mit 55 g PCB (0,06% des PCB-Inventars) ebenso hoch, wie zuvor die jährliche Emission in die Luft (60 g PCB/Jahr, 0,067% des PCB-Inventars).

Werden Baumaßnahmen nicht fachgerecht durchgeführt, so gelangen beim Entfernen von PCB-haltigen Fugenmassen oder Farbanstrichen innerhalb weniger Tage größere PCB-Mengen unkontrolliert und meist nicht rückholbar in die Umwelt als in den Jahrzehnten zuvor durch die in 1.4 beschriebene Desorption. Aus verschiedenen Ländern wurde berichtet, dass bei Arbeiten an PCB-haltigen Baumaterialien aus Unkenntnis PCB freigesetzt wurden oder weiterhin freigesetzt werden. Einige Beispiele werden im Folgenden aufgeführt.

Jartun et al. (2009) fanden in Farbproben einer Brücke an der norwegischen Küste PCB in unterschiedlichen Konzentrationen, von <0,001 bis 53,3 mg PCB/kg. Nachforschungen ergaben, dass die 1956 erbaute Brücke ursprünglich einen weißen Farbanstrich hatte, der Mitte der 1980er Jahre mit Sandstrahl entfernt wurde. Das Sandstrahlen war der Grund für Restkontaminationen in unterschiedlicher Höhe. Jartun et al. (2009) schätzten die PCB-Menge, die in der Farbe des Erstanstrichs auf einer Fläche von 11.000 m<sup>2</sup> vorhanden war, auf 1.650 kg. Nach dem Abstrahlen verblieb eine geschätzte PCB-Menge von 0,2 bis 0,3 kg an der Brücke. Das Sediment unter der Brücke hingegen war hoch mit PCB belastet, bis in eine Tiefe von 40 cm. Eine Abschätzung der ins Sediment eingetragenen PCB-Menge war jedoch aufgrund der Verfrachtung des Sediments durch Tidenhub und Bootsverkehr und aufgrund anderer möglicher PCB-Quellen nicht möglich.

Die Schweizer Umweltbehörde BUWAL warnte im Jahr 2000 vor nicht fachgerechten Sanierungen (BUWAL 2000b). Sie wies auf die Gefahr der Freisetzung großer Mengen PCB hin, wenn PCB-haltige Anstriche z. B. mit Sandstrahlverfahren entfernt werden und der Staub nicht aufgefangen wird. Es hatte sich zudem mehrfach gezeigt, dass beim Entfernen von Korrosionsschutzanstrichen, die umweltgefährdende Stoffe enthalten, auch bei Einhausung der Baustelle 5 bis 10% der Beschichtung verloren gingen (BUWAL 2000a, S. 77). Das bedeutet, dass selbst bei scheinbar fachgerecht durchgeführten Sanierungen 5 bis 10% der Schadstoffe unkontrolliert in die Umwelt freigesetzt wurden. Gründe waren eine undichte Einhausung, unsorgfältiger Umgang mit dem Strahlschutt bzw. nachlässiger Abbau der Baustelle. Die Schweizer Behörde betont, dass bei PCB-haltigen Beschichtungen unbedingt die Einhausungen, die Filtersysteme und die Fördereinrichtungen für den Strahlschutt nach der besten verfügbaren Technik ausgeführt werden müssen und dass die wirtschaftliche Tragbarkeit in solchen Fällen in den Hintergrund zu treten hat (BUWAL 2000a, S. 77/78).

Untersuchungen von Freibädern in der Schweiz (Knechthofer 2009) und Pressemitteilungen aus Deutschland (Der Westen 2013, Neue Presse 2013) zeigen, dass PCB-haltige Farbanstriche von

Schwimmbecken<sup>27</sup> bei Sanierungen ganz oder teilweise unsachgemäß entfernt wurden und zur Kontamination des angrenzenden Bodens führten.

Herrick et al. (2004) berichteten im Jahr 2004 aus den USA, dass Bauarbeiter PCB-haltige Fugenmassen aus vielen der nun in die Jahre gekommenen Gebäude entfernten, meist ohne jegliche Schutzausrüstung. Diese Fugenmassen würden mit anderen Abbruchmaterialien entsorgt. Nur selten würden Fugenmassen auf PCB untersucht. Es gebe kaum Untersuchungen zur Gefährdung von Gebäudenutzern und Handwerkern und zum Eintrag in die Umwelt durch die Freisetzung von PCB während Instandhaltungs- und Sanierungsarbeiten. Das Bewusstsein für eine Gefährdung würde fehlen<sup>28</sup>.

Eine hohe PCB-Emission bei Sanierungsarbeiten scheint, auch heute noch, eher die Regel als die Ausnahme zu sein: Die Fallstudie in Kapitel 3 dokumentiert, wie aus Unkenntnis um die PCB-Belastung während der Sanierung von Gebäuden Fugendichtungen abgestrahlt, unsachgemäß entfernt und in der Umgebung verteilt wurden.

Die Beispiele zeigen, dass PCB bei unsachgemäß durchgeführten Sanierungen in großen Mengen in die umliegenden Böden, in Gewässer und in Bauabfälle (und damit in die Umwelt) gelangen können. Bei Arbeiten an PCB-haltiger Bausubstanz, insbesondere beim Abstrahlen mittels Sand- oder Hochdruckwasserstrahl oder beim Abbruch von Bauteilen gelangen PCB jedoch auch in die Luft und werden mit der Luft in die weitere Umgebung transportiert. Diese Art der PCB-Freisetzung übersteigt die physikalische Emission durch die Desorption aus den Fugenmassen unserer Einschätzung nach um ein Vielfaches. Guo et al. (2011) wiesen nach, dass die PCB-Freisetzung aus Fugenmasse umso größer ist, je größer die Oberfläche ist. Frisch geschnittene Oberflächen emittierten zudem bis zu 40% mehr PCB als alte Oberflächen (Guo et al. 2011, S.87). Bei einer Temperaturerhöhung um 10°C erhöhte sich die Emission um einen Faktor von 5,4 bis 9 (Guo et al. 2011, S.87). Die bei Sanierungen oder (teilweisem) Abbruch in die Umwelt freigesetzte PCB-Menge (herausgebrochenes oder durch Abstrahlen fein verteiltes Fugenmassenmaterial) kann durch die größere Oberfläche besser evaporieren oder sich über Feinpartikel weiter in die Umwelt verteilen. Zudem führt jede mechanische Bearbeitung lokal durch Reibung zur Temperaturerhöhung. Auch dadurch gasen PCB verstärkt aus den bearbeiteten Materialien aus. Nach dem Junge-Pankow-Modell<sup>29</sup> lagern sich gasförmig freigesetzte PCB schnell an vorhandenen Feinstäuben an. Auf Baustellen ist die Feinstaubbelastung besonders hoch. Je mehr Oberflächen zur Adsorption zur Verfügung stehen, desto weniger PCB liegen in der Luft in der Gasphase vor und desto mehr PCB ist an den Oberflächen der Partikel gebunden. Dieser Filter-Effekt von Oberflächen wird auch bei der Luft-Reinigung mittels Aktivkohlefilter ausgenutzt, bei Raumluftmessungen mittels PU-Schaum oder beim Einblasen von Sorbentien zum Entfernen von Dioxinen aus einem Abgasstrom.

---

<sup>27</sup> In der Schweiz ist ein Fünftel der Freibäder mit PCB kontaminiert (Knechthofer 2009)

<sup>28</sup> Zumindest letzteres hat sich zum Positiven verändert: Die amerikanische Umweltbehörde EPA informiert die Bevölkerung über PCB in Fugenmassen (U.S.EPA 2014a). Eine Bürgerinitiative (pcbinschools.org) informiert über PCB in Schulen und fordert eine Pflicht, Schulen auf PCB-haltige Materialien zu untersuchen. Und eine Gruppe von Anwälten setzt sich, auch auf juristischem Weg, für das Entfernen von PCB-haltigen Materialien aus Schulgebäuden ein (<http://www.nympi.org/pcb-contamination/>)

<sup>29</sup> Mit der Junge-Pankow-Gleichung lässt sich für jedes PCB-Kongener berechnen, wieviel Prozent der in der Luft vorhandenen PCB an Partikel gebunden vorliegt. Dazu müssen Dampfdruck des Kongeners und die Oberfläche der in der Luft pro m<sup>3</sup> vorhandenen Feinstäube bekannt sein (Falconer & Bidleman, 1994)

Die aus der gemessenen PCB-Emission der Schweiz (1,5 t PCB/Jahr) auf die Einwohnerzahl hochgerechnete Emission für Deutschland liegt mit 15 t PCB/Jahr höher, als die aus der Desorption abgeschätzte Emission von 7 bis 12 t PCB pro Jahr. Wird zusätzlich berücksichtigt, dass der Verbrauch von PCB in offenen Anwendungen in Deutschland, bezogen auf die Bevölkerungszahl, ca. 2-mal höher lag als in der Schweiz (siehe Abschnitt 1.1), so lässt sich für Deutschland die jährliche PCB-Emission in die Luft auf etwa 30 t abschätzen. Dies unterstützt die Annahme, dass bei Sanierungsarbeiten bedeutende PCB-Mengen in die Luft freigesetzt werden und dass die PCB-Emission in Deutschland wahrscheinlich höher liegt als die nur aus der Desorption abgeschätzten 7 bis 12 Tonnen.

Beim Abstrahlen von PCB-belasteten Flächen (aus Primärkontamination oder Sekundärkontamination) mit Hochdruck-Wasserstrahl gelangen zudem PCB mit dem Wasser in die Kanalisation und in den Boden (Astebro et al. 2000). Häufig verbleiben Teile von nicht fachgerecht ausgebauten Fugenmassen nach den Bauarbeiten in den Böden (Herrick et al. 2007, Priha et al. 2005); das zeigen auch die Fallbeispiele in diesem Bericht (Kapitel 3).

Die Emission von PCB (einschließlich Verbringung und Recycling von Bauschutt) aufgrund von Sanierung und Abbruch zeigt auch, wie offene PCB-Anwendungen zur Kontamination der Umwelt (und zur potenziellen Exposition von Nutztieren) führen (Siehe F&E Bericht Kapitel 3).

## 1.6 Eintrag von PCB durch das Recyceln PCB-haltiger Materialien aus Gebäuden und Bauwerken

Die offenen Anwendungen in Bauwerken insbesondere die Farbanstriche und Lacke sowie die Sekundärkontaminationen sind beim Rückbau von Gebäuden und anderen Bauwerken und bei Sanierungen schwierig zu kontrollieren. Der vermutlich größte Teil dieser PCB-haltigen Baumaterialien gelangt in die Recyclingkreisläufe mineralische Abfälle<sup>30</sup>, Metallschrott, Altholz, und Kunststoffabfälle<sup>31</sup> oder auf Bauschuttdeponien. Auch ein Teil der Fugenmassen wird nicht fachgerecht entsorgt und endet im Recycling und auf Deponien (siehe Kapitel 3). In die Umgebung von Recycling-Anlagen kann beim Schreddern von PCB-haltigen Materialien PCB freigesetzt werden. Lehnik-Habrink et al. (2005) berichtet von einer sehr hohen Staubentwicklung beim Zerkleinern einer Wilhelmi-Deckenplatte mit Hilfe eines Häckslers. Der hohe Feinstaubanteil stammte überwiegend aus der PCB-haltigen Beschichtung. Die dl-PCB Boden-gehalte um eine Schredderanlage, in der über ca. 10 Jahre Baustoffe (Dämmungen) recycelt wurden, lagen etwa eine Größenordnung über den Hintergrundgehalten für Grünland<sup>32</sup> (Hessisches Landeslabor für Umwelt und Geologie 2012, 2013) und hatten zum größten Teil dl-PCB Gehalte im Boden, die für Mutterkuhhaltung nicht geeignet sind (ca. 3 ng PCB-TEQ/kg TM bei geringen Gehalten im Aufwuchs von 0,1 ng TEQ/kg TM (Weber et al. 2014).

Die PCB-Emissionen eines Elektrostahlwerks ins Abwasser haben in der Schweiz einen Flussabschnitt und Fische kontaminiert. Dabei zeigte die Kontamination ein industrielles PCB-Kongenerenmuster auf und stammte somit nicht von thermisch gebildeten PCB, sondern von PCB-Farbbeschichtungen auf behandelten Metallen. Diese wurden in der Schweiz auf Elektro-

---

<sup>30</sup> Zu den mineralischen Abfällen zählen Abfälle aus Beton, Ziegel, Fliesen, Keramik und Erdaushub.

<sup>31</sup> Isolierungen von Elektrokabeln können PCB enthalten. Altkabelpartien enthalten PCB in unterschiedlichen Konzentrationen. Der PCB-Anteil im Recycling-Kunststoff aus Altkabeln liegt häufig über 5 mg/kg (VDM 2001).

<sup>32</sup> Dabei muss berücksichtigt werden, dass der PCB-Gehalt in Gartenböden höher liegt als in Ackerböden oder Grünland.

masten und Stahlträgern in der Baubranche verwendet (BUWAL 2000a/b) und werden nach 40 Jahren inzwischen zum Teil recycelt. In Bayern wurden Graskulturen in der Umgebung von Metall-Schredderanlagen<sup>33</sup> untersucht. Die dl-PCB-Konzentrationen lagen zwischen 3 und 85 ng TEQ/kg TS (LfU 2009). Sie lagen damit 15- bis 500-fach höher als die für Nachkommen aus Mutterkuhhaltung kritischen dl-PCB-Gehalte für Grünfutter von ca. 0,2 ng TEQ/kg TS (Weber et al. 2014) und sie lagen 2,5- bis 70-fach über dem EU-Höchstgehalt von 1,25 ng TEQ/kg (88% TS) für Futtermittel (Europäische Kommission 2012). Da für Nachkommen in Mutterkuhhaltung schon etwa 0,2 ng TEQ/kg (88% TS) für eine EU-Höchstgehaltsüberschreitung im Rindfleisch ausreichen (siehe F&E Bericht Kapitel 3.2), sind diese Gehalte für Mutterkuhhaltung 15- bis 350-fach zu hoch.

In einer Reitanlage in Münster musste der Boden wegen erhöhten PCB-Werten ausgetauscht werden; PCB-haltige Kunststoff-Kabelisolierungen waren dort, vermutlich in den 1980er Jahren, als Unterbau für den Reitplatz verwendet worden (Stadt Münster 2008).

Abfälle mit PCB-Konzentrationen über 50 mg PCB/kg müssen nach PCB-Abfallverordnung als gefährlicher Abfall<sup>34</sup> entsorgt werden. Die Unterschreitung dieses Grenzwertes sollte nicht dazu verleiten, das Material als „PCB-frei“ zu betrachten. Für die stoffliche Verwertung verschiedener Abfallarten gelten z.T. deutlich niedrigere PCB-Grenzwerte. Dadurch soll vermieden werden, dass PCB in Recycling-Kreisläufe eingetragen werden. Abfälle aus Beton, Ziegel, Fliesen, Keramik und Erdaushub zählen zu den mineralischen Abfällen, die nach dem Kreislaufwirtschaft- und Abfallgesetz stofflich zu verwerten sind. Dabei müssen Boden- und Gewässerschutz beachtet werden. Beim Einbau mineralischer Abfälle werden mehrere Einbauklassen und Zuordnungswerte unterschieden. Die Einteilung berücksichtigt Herkunft und Beschaffenheit des Abfalls und die Verwendung am neuen Standort (LAGA 2003). Z. B. muss für die uneingeschränkte Verwertung von geeignetem Bodenmaterial in bodenähnlichen Anwendungen (Verfüllung von Abgrabungen und Abfallverwertung im Landschaftsbau außerhalb von Bauwerken) eine PCB-Konzentration von 0,02 mg PCB<sub>6</sub>/kg eingehalten sein (Einbauklasse Z 0). Für den eingeschränkten Einbau von recyceltem Bauschutt mit Einhaltung von technischen Sicherungsmaßnahmen (Einbauklasse Z 2) liegt der Grenzwert für PCB bei 1 mg PCB<sub>6</sub>/kg. Die Einordnung und Verwendung von Bauschutt wird in den Bundesländern uneinheitlich geregelt. Nach Auskunft der LAGA (2012) erarbeitet das Bundesumweltministerium zurzeit den Entwurf einer Verordnung, mit der die Rechtssicherheit und der einheitliche Vollzug in den Ländern bei der Bewertung der Schadlosigkeit der Verwertung von mineralischen Abfällen verbessert werden sollen. Die bisher geltenden LAGA-Mitteilungen 20 wurden deshalb nur noch zum Teil überarbeitet und es ist strittig, ob weiterhin alle Teile beachtet werden müssen (LAGA 2012).

Werden Abfälle oder Materialien, die Abfälle enthalten, im Untertagebau als Füllstoffe verwendet, so sind die Grenzwerte der Versatzverordnung einzuhalten. Der Grenzwert für PCB nach Versatzverordnung liegt bei 1 mg PCB/kg (VersatzV 2002).

---

<sup>33</sup> Die PCB-Quelle in Metallschredderanlagen können sowohl offene PCB Anwendungen beinhalten (Farben und Lacke) wie auch PCB aus geschlossenen Anwendungen (Kleinkondensatoren).

<sup>34</sup> Früher wurde die Bezeichnung „Sonderabfall“ oder „besonders überwachungsbedürftiger Abfall“ verwendet

Der Grenzwert für die Weiterverarbeitung von Holzhackschnitzeln und Holzspänen aus Altholz zu Holzwerkstoffen liegt bei 5 mg PCB/kg (AltholzV 2002)<sup>35</sup>. Dies entspricht einer TEQ-Konzentration von etwa 15 bis 50 ng TEQ/kg und liegt damit noch um das ca. 5- bis 15-fache über dem kritischen Gehalt von Böden. Somit könnte Altholz auch unterhalb des Höchstgehalts zu einer PCB-Belastung von Huhn/Ei führen<sup>36</sup>.

Die Fallbeispiele zeigen, wie offene PCB-Anwendungen auch in der Nachgebrauchsphase noch zur Kontamination von Umwelt und zur Exposition von Nutztieren führen können.

## 2 Gebäude, technische Anlagen und Baumaterialien mit nachgewiesener PCB-Belastung

### 2.1 Öffentliche Gebäude

In Westdeutschland enthalten viele Kindergärten, Schulen und Universitäten PCB-haltige Baumaterialien. Schätzungen gehen davon aus, dass in bis zu 30% der Schulgebäude in Deutschland PCB-haltige Baumaterialien vorhanden sind (Steinert 2001). Messungen in Berlin ergaben bei ca. 5% der Schulgebäude und bei ca. 3% der Kindertagesstätten Raumlufkonzentrationen über 300 ng PCB/m<sup>3</sup> (Bleeker et al. 1999). Der größte Teil der PCB-haltigen Gebäude weist/wies vermutlich Konzentrationen in der Innenraumluft unterhalb des Vorsorgewertes von 300 ng PCB/m<sup>3</sup> bzw. 900 ng PCB/m<sup>3</sup><sup>37</sup> auf und gilt bzw. galt damit nach PCB-Richtlinie der ARGEBAU bzw. nach der PCB-Richtlinie einzelner Bundesländer als unbelastet (Abschnitt 4.4.2) - trotz des Vorhandenseins PCB-haltiger Bauprodukte. Dass Gebäude, die PCB-haltige Baumaterialien enthalten, nicht zwangsläufig PCB-Konzentrationen in der Raumluft aufweisen, die in Deutschland oder in der Schweiz als kritisch gelten, darauf deutet eine Untersuchung aus der Schweiz hin. Kohler et al. (2005) untersuchten öffentliche Gebäude auf PCB in Fugenmasse und Raumluft. Bei 74% der Gebäude mit PCB-haltiger Fugenmasse lag die Raumlufkonzentration niedriger als 1.000 ng PCB/m<sup>3</sup>. Es muss somit davon ausgegangen werden, dass ein großer Teil der auf PCB untersuchten und nach PCB-Richtlinie der ARGEBAU als PCB-frei eingestuften Gebäude dennoch PCB-haltige Baumaterialien enthält. Nur bei 5% der von Kohler et al. (2005) untersuchten Gebäude, die PCB in Fugenmassen enthielten, lag die Raumlufkonzentration höher als 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup>, und lag damit über dem Gefahrenwert der deutschen PCB-Richtlinie der ARGEBAU. Geht man davon aus, dass die offene PCB-Verwendung in der Schweiz und in Deutschland ähnlich war, so ist zu vermuten, dass die Schulen, die wegen PCB-Belastung (d. h. Überschreiten des Gefahrenwertes) saniert werden mussten, nur einen kleinen Teil der Schulen darstellen, die tatsächlich PCB enthalten (siehe auch Abschnitt 4.2.2).

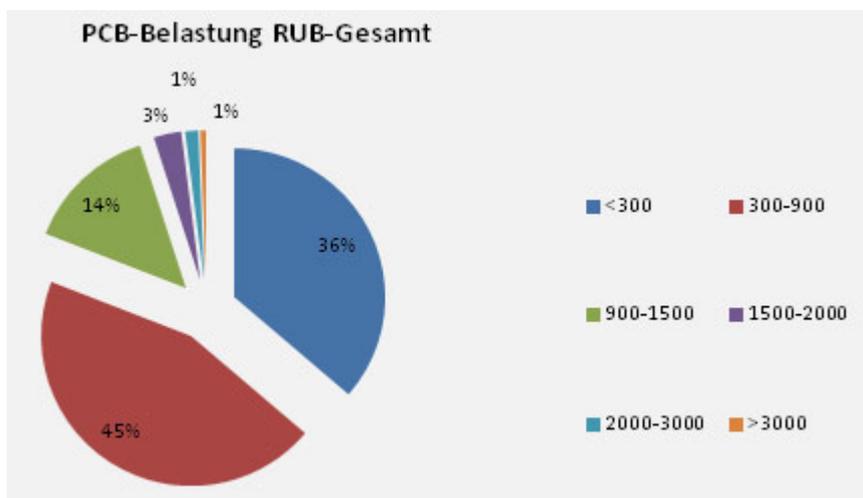
---

<sup>35</sup> Der Grenzwert gilt für die Weiterverarbeitung zu Holzwerkstoffen. Für alle anderen Verwertungen von Altholz, z. B. als Einstreu für Tiere gilt unseres Wissens der Grenzwert der PCB/PCT-Abfallverordnung von 50 mg PCB/kg. Damit läge der Gehalt für Einstreu das 50 bis 150 fachen der

<sup>36</sup> Der Verein für kontrollierte alternative Tierhaltungsformen (KAT) empfiehlt u. a. seinen Mitgliedern, bei der Haltung von Legehennen keine Recyclingschnitzel aus Gebrauchtholz, Hobelspänen und Sägemehl aus behandeltem Holz als Einstreu zu verwenden (KAT 2012).

<sup>37</sup> Bis 2011 galt in einigen Bundesländern ein Vorsorgewert von 900ng PCB/m<sup>3</sup>. Die Gebäude wurden nach 2011 nicht neu bewertet

So gut wie jede westdeutsche Universität hat Gebäude mit PCB-haltiger Bausubstanz, darunter Gebäude, in denen die Raumlufkonzentrationen in einem Bereich liegen, für den die PCB-Richtlinie Maßnahmen vorsieht (Schukraft 2014)<sup>38</sup>. Zahlreiche Universitäten und Fachhochschulen haben Gebäude sanieren müssen. Auch aktuell werden Universitätsgebäude saniert oder abgebrochen. Die Ruhr-Universität Bochum (RUB) hat hier die Räume der Universität auf PCB-Gehalte gemessen und ein Internetportal eingerichtet (Ruhr Universität 2014a). Es wurde in den meisten Universitätsräumen eine PCB-Belastung festgestellt. Der Großteil der Räume (64%) lag dabei über 300 ng/m<sup>3</sup> und lag damit höher als die Raumlufkonzentration von 60 ng PCB/m<sup>3</sup>, die bei Aufnahme von PCB über die Atemluft, die Einhaltung des aktuellen TDI<sup>39</sup> der WHO noch garantieren könnte (WHO 2003). 45% der untersuchten Räume lagen zwischen 300 und 900 ng/m<sup>3</sup>. Nur 1% überschritt den Gefahrenwert der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) von 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup>. (Abbildung A1 - 1). Zwei Gebäude werden aufgrund der PCB-Belastung bis 2015 abgerissen (Ruhr Universität 2014b).



Quelle: Ruhr Universität (2014a)

Abbildung A1 - 1: PCB Belastung in Innenraumluf der Ruhr Universität Bochum (RUB)

Auch Rathäuser, Feuerwehrrhäuser, Begegnungsstätten, Musikschulen, Friedhofsgebäude (Kieper & Hemminghaus 2005), Gerichtsgebäude (Menzel 2002) und vermutlich zahlreiche weitere Gebäude, darunter auch kirchliche Gebäude, können PCB enthalten.

Viele öffentliche Gebäude wurden noch nicht auf PCB untersucht. Die Bundesregierung teilt im Januar 2014 in einer Antwort auf eine Kleine Anfrage der Fraktion DIE LINKE mit, dass die Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA), die für bundeseigene Gebäude zuständig ist, Untersuchungen auf PCB „*bislang nicht durchgeführt, denn dies würde konkrete Hinweise auf PCB-Belastungen voraussetzen, die der BImA nicht vorlägen. Verdachtsuntersuchungen ohne greifbare Hinweise auf PCB-Belastungen führe die BImA nicht durch*“ (Deutscher Bundestag 2014). Das Umweltbundesamt schreibt jedoch in seinem Bericht „Dioxine und dioxinähnliche PCB in Umwelt und Nahrungsketten“ im Januar 2014, dass bei anstehenden Sanierungsmaßnahmen an bundeseigenen Gebäuden PCB vollständig entfernt werden sollen: „*Die Bundesre-*

<sup>38</sup> Die Landes-Immobilienverwaltung Baden-Württemberg bestätigte dies für das eigene Bundesland. Es liegt nahe/es ist zu vermuten, dass dies auch auf die anderen westdeutschen Bundesländer zutrifft

<sup>39</sup> TDI (Tolerable Daily Intake = tolerable tägliche Aufnahme): 20 ng PCB pro kg Körpergewicht pro Tag

*gierung beabsichtigt, bei Gebäuden, die PCB-Quellen aufweisen können, im Zuge der in den kommenden Jahren anstehenden energetischen Sanierung die entsprechenden Quellen - sofern vorhanden - vollständig zu beseitigen“ (UBA 2014)*

Zum Teil wurden in Bundesländern möglichst<sup>40</sup> systematische Untersuchungen nach PCB in Gebäuden durchgeführt. Die Universitätsgebäude in Baden-Württemberg wurden in Verdachtsfällen (vor allem Baujahre bis 1973) untersucht (Schukraft 2014). In Bayern wurde 2001 bei allen Trägern der rund 5.500 Schulen und 7.000 Kindergärten eine Fragebogenaktion zur PCB-Belastung durchgeführt (Bayerisches Staatsministerium 2002). Anlass war das Bekanntwerden der hohen PCB-Belastung der Nürnberger Georg-Ledebour-Schule. Das Bayerische Staatsministerium teilte in einer Presserklärung 2002 mit, dass für 99,3% der insgesamt etwa 15.580 Gebäude eine Antwort vorliege: *„Im Ergebnis wurde nur in zwei Schulen der Gefahrenwert von 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup> Raumluft (als Jahresmittelwert, bezogen auf täglichen 24-stündigen Aufenthalt) überschritten. Eine der Schulen wurde abgerissen, die zweite saniert. Bei weiteren 476 Gebäuden wird nachweislich der PCB-Vorsorgewert von 300 ng überschritten. Davon sind bei insgesamt 197 Gebäuden bauliche Maßnahmen bereits vorgesehen oder ausgeführt.“* (Bayerisches Staatsministerium 2002). Im August 2001 wurde auch in allen 11.635 staatlichen Gebäuden Bayerns eine vergleichbare Erhebung zur PCB-Belastung durchgeführt. Ende 2002 waren 97% der Gebäude erfasst. Der Vorsorgewert wurde in 91 Gebäuden, der Gefahrenwert wurde in keinem Gebäude überschritten (Bayerisches Staatsministerium 2002).

Das Landesamt für Gesundheit und Arbeitssicherheit Schleswig-Holstein (LGASH) vermutete, dass es neben den bis dahin PCB-sanieren öffentlichen Gebäuden noch weitere, bisher unentdeckte Fälle gab. Es forderte die Kreise und kreisfreien Städten auf, alle öffentlichen Gebäude zu melden, bei denen der Verdacht bestand, dass sie PCB-belastet sein könnten (LGASH 2004). In den Jahren 2002-2003 wurde in den 181 gemeldeten Gebäuden, überwiegend Schulen, die PCB-Konzentration in der Raumluft gemessen (348 Raumluftmessungen). In 95% der untersuchten PCB-verdächtigen Gebäude lag die Raumluftkonzentration unter dem Vorsorgewert von 300 ng PCB/m<sup>3</sup>. In sechs der 181 Gebäude lagen einzelne Messwerte zwischen 300 und 1.000 ng PCB/m<sup>3</sup>. In einer Turnhalle und im Mehrzweckraum einer Grundschule wurde eine Raumluftkonzentration zwischen 1.000 und 2.000 ng PCB/m<sup>3</sup> gemessen und in einem Gymnasium 2.065 ng PCB/m<sup>3</sup>. Das Gymnasium wurde saniert (LGASH 2004). In Turnhalle und Mehrzweckraum fanden weitere Raumluftmessungen statt, *„dabei zeigte sich keine dauerhafte Grundbelastung in den Räumen, die nach der PCB-Richtlinie Handlungsbedarf beinhaltet“* (LGASH 2004). Aus den Raumluftmessungen in wurde die PCB-Hintergrundbelastung auf folgende Weise bestimmt: *„Zur Bestimmung der Hintergrundbelastung in Gebäuden ohne offensichtliche PCB-Quellen wurde der Datensatz um die 3 Gebäude bereinigt, in denen Einzelmesswerte über 1000 ng/m<sup>3</sup> vorlagen und in denen Kontaminationsquellen vorhanden sind. Als 95. Perzentil errechnet sich dann aus den verbliebenen 335 Raumluftmessungen ein Wert von 145 ng/m<sup>3</sup>“* (LGASH 2004). Die „Hintergrundbelastung“ von 145 ng PCB/m<sup>3</sup> wurde somit ausschließlich aus Messwerten von Gebäuden berechnet, bei denen der Verdacht auf PCB bestand, die jedoch nicht systematisch auf PCB-haltige Materialien untersucht worden waren. Aus den Messwerten wurde geschlossen, dass PCB ubiquitär in der Innenraumluft vorkommen und dass in öffentlichen Gebäuden Schleswig-Holsteins nur in Einzelfällen bedenklich hohe PCB-Kontaminationen vorhanden sind (Heinzow et al. 2007).

---

<sup>40</sup> Da oft nur die Luftgehalte und PCB in Deckenplatten, nicht aber in Farben und Lacken untersucht wurde, kann man in keiner Untersuchung von systematisch reden.

In Bremen wurden 2002/2003 öffentliche Gebäude auf PCB in der Raumluft untersucht. Aufgenommen ins Messprogramm wurden 44 Kindertageshäuser und 117 Schulen, bei denen aufgrund des Baujahres (Bauzeit 1960 – 1975) und der Bauart (Stahlbeton-Skelettbauweise) der Verdacht bestand, dass PCB-haltige Fugenmassen vorhanden sind, die zu erhöhten Raumluftkonzentrationen führen (AG Innenraumluft Bremen 2006). Bei 39 (88,6%) der 44 untersuchten Kindertageshäuser und bei 76 (65,0%) der untersuchten 117 Schulen lag die Raumluftkonzentration unter dem Vorsorgewert der PCB-Richtlinie von 300 ng PCB/m<sup>3</sup>. Fünf Kindertageshäuser (11,4%) und 34 Schulen (29,1%) lagen im Bereich 300 – 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup> und in 7 Schulen (6,0%) überstieg die Konzentration in der Luft den Gefahrenwert von 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup> (AG Innenraumluft Bremen 2006). Ziel dieser ersten orientierenden Messungen „*sollte es sein, [...] nachweislich unbelastete Gebäude sicher aus den weiteren Prüfungen zu entlassen und belastete Gebäude zu identifizieren*“ (AG Innenraumluft Bremen 2006). Raumluftkonzentrationen von weniger als 300 ng PCB/m<sup>3</sup> wurden somit als Nachweis dafür angesehen, dass das Gebäude nicht mit PCB belastet ist.

Auch in der Schweiz wurden PCB in Schulgebäuden und Kindergärten gefunden. In der Schweiz wurden PCB häufig in Fugenmassen von Gebäuden der Bauzeit 1955-1975 verwendet (Kohler et al. 2005). Dort wird ebenso wie in Deutschland die PCB-Belastung über die Raumluftkonzentration definiert<sup>41</sup>. Kohler et al. (2005) untersuchten in der Schweiz mehr als tausend Proben von Fugenmassen von Gebäuden, die zwischen 1950 und 1980 in Betonbauweise errichtet wurden. 48% der Fugenmassen enthielten PCB. Bei 42% der Proben lag die Konzentration über dem auch in der Schweiz geltenden Grenzwert für PCB-Abfall von 50 mg PCB/kg (Kohler et al. 2005). In Gebäuden, die zwischen 1966 und 1971 erbaut wurden, enthielt etwa ein Drittel aller Fugenmassen mehr als 1% PCB. In Deutschland war die PCB-Verwendung im Bausektor im Schnitt höher als in der Schweiz (siehe 1.1). Von daher wird in Deutschland die Belastung der Fugendichtungen mindestens ähnlich oder höher sein als in der Schweiz. Die Abschätzungen von belasteten Gebäuden nur über die Belastung der Raumluft wie sie auf Grund der PCB-Richtlinie der ARGEBAU durchgeführt wurden, mit geringer Überschreitungsquote des Gefahrenwerts, ist für die Feststellung einer PCB-Belastung in der Bausubstanz nicht geeignet. Sie sollte durch ein Monitoring von Fugendichtungen und anderen Materialien ergänzt werden. In Kapitel 4 wird auf die Defizite der PCB-Richtlinie der ARGEBAU genauer eingegangen.

Seit einigen Jahren beschäftigen sich Forschungsgruppen in den USA und die US-amerikanische Umweltbehörde EPA intensiv mit PCB-haltigen Fugenmassen und betonen die Aktualität des Themas (US-EPA 2014 a,b; Klosterhaus et al. 2014, Herrick 2010). Betroffen sind auch dort vor allem Schulen, sowie Universitätsgebäude, Studentenwohnheime, Büros und kirchliche Gebäude (Herrick et al. 2004). Ein internationaler PCB-Workshop an der Universität Boston/USA beschäftigte sich im September 2014 insbesondere mit dem Thema PCB in Schulen.

## 2.2 Wohngebäude

PCB-haltige Baustoffe wurden nicht nur in öffentlichen Gebäuden verbaut, sondern auch in Wohngebäuden. In mehreren Ländern wurden Wohngebäude auf PCB untersucht. PCB-haltige Fugenmassen wurden in Finnland (Priha et al. 2005) in Wohngebäuden gefunden, in Schweden (Johansson et al. 2003, Sundahl et al. 1999, Astebro et al. 2000), den USA (Herrick et al. 2007)

---

<sup>41</sup> Der Gefahrenwert liegt in der Schweiz bei 2.000 ng PCB/m<sup>3</sup> (24-stündiger Aufenthalt) bzw. bei 6.000 ng PCB/m<sup>3</sup> (8-stündiger Aufenthalt)

und Dänemark (Meyer et al. 2013). Rudel et al. (2008) berichten von PCB-haltigen Bodenversiegelungen in Wohnhäusern.

Auch in Deutschland haben PCB-Fugen in Wohngebäuden breite Verwendung gefunden. Bereits 1996 untersuchten Köppl et al. (1996) Raumluft und Fugenmassen in einem PCB-belasteten Wohnviertel in Berlin/Gropiusstadt. Es wurden zunächst Fugenmassen untersucht. Sie enthielten bis zu 30% PCB. Nach Köppl et al. (1996) wurden, im Unterschied zu öffentlichen Bauten, im privaten Wohnungsbau die Innenfugen meist normal verputzt und die Fugenmassen nur im Außenbereich oder Treppenhaus verwendet. Bei 25 Innenraum-Messungen in 14 Häusern mit PCB-haltiger Fugenmasse wurden in 15 Räumen Konzentrationen unter 300 ng PCB/m<sup>3</sup> und in 10 Räumen Konzentrationen zwischen 300 und 700 ng PCB/m<sup>3</sup> gemessen. Im Uni-Center in Köln, einem Wohnhaus mit 956 Wohnungen, sind die Fensterdichtungen PCB-belastet (Kölner Stadt-Anzeiger 2013). Köppl et al. wiesen bereits 1996 darauf hin, dass ganze Wohnviertel, die in den 1960er/1970er gebaut wurden, PCB-belastet sein können. Ein belastetes Wohnviertel wird in diesem Bericht in Abschnitt 3.1 beschrieben. Auch Wohneinheiten in Landesbesitz wie Studentenwohnheime oder Dozentenwohnheime, die in den 1960/70er Jahren gebaut worden sind, können PCB-belastet sein (Studentenwerk Bonn 2013). Erfahrungen mit der Sanierung eines belasteten Dozentenwohnheims werden in Abschnitt 3.3 unterbreitet.

Ein Beispiel dafür, dass auch bei Wohnungen PCB-Quellen durch Luftmessungen nicht gefunden bzw. nicht einmal adäquat beurteilt werden können, sind die etwa 2.800 ehemaligen Wohnungen des US-Militärs in Frankfurt a. M. aus den 1950er Jahren. Diese wurden 1995/1996 an deutsche, überwiegend junge Familien mit Kindern vermietet. Kurz nach Einzug trat bei vielen Bewohnern, besonders bei den Kindern, eine ganze Fülle gesundheitlicher Probleme auf. Unter anderem litten die Menschen an Hautausschlägen, Atemwegserkrankungen, Kopfschmerzen, Haarausfall und auffallender Mattigkeit und Müdigkeit (Salzmann 1998). Verschiedene Schadstoffe wurden gefunden, darunter PCB (Salzmann 1998; Obenland 1999). Hohe PCB-Konzentrationen wurden im Hausstaub nachgewiesen, jedoch nicht in der Luft. In 105 Wohnungen lagen die PCB-Konzentrationen im Staub zwischen 5 und 20 mg/kg, in 50 Wohnungen über 20 mg/kg (Salzmann 1998). Der Maximalwert im Staub lag mit 48 mg PCB/kg knapp unter dem Grenzwert der Chemikalienverbotsverordnung (ChemVerbotsV 1993) von 50 mg/kg. Die hinzugezogenen Experten sahen jedoch keine Notwendigkeit, das Gesundheitsrisiko durch PCB im Hausstaub zu bewerten, da baurechtliche Vorgaben zur Feststellung PCB-bedingter Sanierungsnotwendigkeit von Gebäuden ausschließlich PCB in der Raumluft zum Gegenstand haben (Obenland 1999). Im Rahmen eines großen Untersuchungsprogramms wurden die Bewohner auf PCB untersucht. Die Messwerte wurden nach Altersgruppen zusammengefasst und 2002 in der Zeitschrift *Reviews on Environmental Health* als „gegenwärtige Hintergrundbelastung der Bevölkerung in Deutschland“ veröffentlicht (Heudorf et al. 2002), obwohl die hohe PCB-Belastung in den Staubproben dokumentiert worden war.

Anlässlich des Abrisses der Nürnberger Georg-Ledebour-Schule im Jahr 2000 wegen PCB-Belastung, schätzte die Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes die Zusatzaufnahme von PCB in Innenräumen über die PCB-Konzentrationen im Blut ab (UBA 2003a) und bezog sich auch auf die „Hintergrundwerte“ aus Frankfurt. Die Ledebour-Schüler hatten im Vergleich zu den Schülern einer Nürnberger Kontrollschule deutlich höhere Blut-Werte der drei niederchlorierten Indikator-PCB (PCB-28, -52, -101). Die Konzentrationen der niederchlorierten Indikator-PCB im Blut waren jedoch deutlich geringer als die Konzentrationen der drei hochchlorierten Indikator-PCB (PCB-138, -153, -180). Die Konzentration der hochchlorierten Indikator-PCB lag bei den Ledebour-Schülern im Mittel 20% höher als bei Schülern der Kontrollschule. Die hochchlorierten Indikator-PCB waren bei den Ledebour-Schülern und bei den Schülern der Nürnberger Kontrollschule jedoch nur halb so hoch wie bei den Kindern aus

Frankfurt<sup>42</sup> (UBA 2003a, Tabelle 2). Die HBM-Kommission erklärt die höhere Belastung der Frankfurter Kinder folgendermaßen: *„Dabei ist allerdings zu bedenken, dass zwischen den Untersuchungen in Frankfurt und Nürnberg etwa 3 Jahre liegen, in denen die PCB-Belastung der Bevölkerung weiter rückläufig war. Auch Einflüsse durch regionale Unterschiede in der Ernährung sind nicht auszuschließen“*<sup>43</sup>. Volland & Neuwirth (2005) zeigten, dass sich die drei hochchlorierten Indikator-PCB (PCB-138, -153, -180) überproportional im Hausstaub anreichern. In einem Gebäude, in dem Clophen A30/40 in Fugenmassen verwendet worden war, betrug der Anteil dieser drei PCB-Kongenere am Gesamt-PCB-Gehalt (LAGA) im Staub 5,5% bzw. 6,8%, während ihr Anteil am Gesamt-PCB-Gehalt in der Raumluft bei nur 0,05% bis 0,2% lag (Volland & Neuwirth 2005, Gebäude E). Bei Aufnahme von PCB über Hausstaub wäre somit der Anstieg der drei hochchlorierten Indikator-PCB im Blut 30- bis 100-mal höher als bei Aufnahme der gleichen Gesamt-PCB-Menge über die Raumluft.

Eine genauere Betrachtung der Kongenerenmuster der Expositionsquellen Nahrung bzw. Raumluft kann auch dabei helfen, die Diskrepanz zwischen „äußerer und innerer PCB-Belastung“ aufzulösen (Angerer et al. 2004). Die wider Erwarten geringe Zunahme der PCB-Konzentration im Blut bei Aufenthalt in hoch PCB-belasteten Räumen ist das wesentliche Argument für das Festhalten an der überholten PCB-Richtlinie der ARGEBAU (Angerer et al. 2004, Ewers et al. 2005, UBA 2004a). Bei Ausschöpfung des Gefahrenwertes der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) von 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup> und bei 24stündigem Aufenthalt liegt die berechnete PCB-Aufnahme (äußere Belastung) über die Atemluft bei 1.000 ng PCB pro kg Körpergewicht und Tag. Die PCB-Aufnahme eines Erwachsenen über die Raumluft läge dann um den Faktor 50 höher als seine PCB-Aufnahme über die Nahrung (etwa 20 ng PCB/(kg KG\*Tag) (BfR 2010)) Bei der Bestimmung der PCB-Konzentration im Blut (innere Belastung) werden üblicherweise nur die Konzentrationen von PCB-138, PCB-153 und PCB-180 gemessen. Diese Kongenere sind in Mensch und Tier persistent und sie machen den Hauptteil der PCB-Last des Menschen aus. Für diese drei Kongenere legte die Kommission „Human-Biomonitoring“ Referenzwerte fest. Erst ein Überschreiten eines Referenzwertes gilt als auffällige Belastung. Bei Nutzern PCB-belasteter Gebäude liegen die im Blut gemessenen Konzentrationen dieser drei Kongenere im Mittel nur um wenige Prozent höher als bei entsprechenden Kontrollgruppen und sie liegen so gut wie immer unter den Referenzwerten der Kommission „Human-Biomonitoring“. Daraus wurde geschlossen, dass die zusätzliche Belastung über die Raumluft gering ist und dass die rechnerisch ermittelte PCB-Aufnahme über das eingeatmete Luftvolumen die tatsächliche Aufnahme weit überschätzt (Ewers et al. 2005, UBA 2004a).

Nicht berücksichtigt wurde bisher, dass PCB-138, PCB-153 und PCB-180 am Gesamt-PCB-Gehalt in Lebensmitteln einen hohen Anteil haben, nämlich etwa 50% (BfR 2006). Der Anteil dieser drei Kongenere am Gesamt-PCB-Gehalt der Raumluft ist hingegen gering: bei niederchlorierten PCB-Quellen liegt er im Bereich von Promille oder darunter und bei hochchlorierten PCB-Quellen bei maximal etwa 10% (Volland & Neuwirth 2005, Peper et al. 2005, Kieper & Hemminghaus 2005, Meyer et al. 2013). In einem Gebäude mit niederchlorierten PCB-Muster, wie in der Nürnberger Ledebour-Schule, und bei einer Konzentration in Höhe des Gefahren-

---

<sup>42</sup> Die Konzentrationen der niederchlorierten PCB konnten nicht verglichen werden, da die Nachweisgrenze bei den Frankfurter Kindern zu hoch war.

<sup>43</sup> Bei den Ledebour-Schülern trugen PCB-28, -52 und -101 im Blut nur 5% zur Gesamtkonzentration der Indikator-PCB bei. Die HBM-Kommission schloss daraus: *„Die in der Ledebour-Schule ermittelte mittlere Zusatzbelastung von ca. 5% liegt damit im Bereich der Schwankungen der hauptsächlich nahrungsbedingten Hintergrundbelastungen und kann in Relation zur Höhe dieser Hintergrundbelastung als gering eingestuft werden.“*

wertes ( $3.000 \text{ ng PCB/m}^3$ ) wäre somit selbst bei lebenslangem 24stündigem Aufenthalt nur ein geringer Anstieg der Blutwerte (PCB-138, -153, -180) um nur etwa 10%<sup>44</sup> zu erwarten. Obwohl die PCB-Aufnahme (Gesamt-PCB) mit der Atemluft 50-mal höher wäre als die PCB-Aufnahme mit der Nahrung. Um die Blutwert (PCB-138, -153, -180) zu verdoppeln und die Referenzwerte für PCB zu überschreiten, müsste die PCB-Aufnahme (Gesamt-PCB) über die Luft sogar 500-mal höher sein als die PCB-Aufnahme über die Nahrung.

Norström et al. (2010) zeigten, dass sich, bei Aufnahme von PCB über die Atemluft, innere und äußere Belastung stark unterscheiden. Grund ist der schnelle Abbau der in der Luft überwiegend vorhandenen niederchlorierten PCB-Kongeneren. Ihre Modellrechnung zeigt am Beispiel eines 56-jährigen Mannes aus Chicago, dass seine lebenslange Aufnahme (äußere Belastung) an niederchlorierten PCB um etwa den Faktor 100.000 höher ist, als die Konzentration im Körper (innere Belastung)<sup>45</sup>. Für PCB-180 ist dieses Verhältnis hingegen 1. Die Autoren betonen, dass in anderen Ländern weit höhere Konzentrationen in der Innenraumluft gemessen wurden, und dass in diesen Fällen sowohl äußere wie auch innere Exposition höher sind als für Chicago berechnet. Inzwischen ist durch Studien in Dänemark belegt, dass PCB-Belastungen in Wohnungen auch zu deutlich erhöhten PCB-Konzentrationen im Blut führen (Meyer et al. 2013; Abschnitt 4.1). Meyer et al. (2013) bestimmten die Konzentrationen von 27 PCB-Kongeneren im Blut von Bewohnern eines Wohnblocks mit PCB-Fugen und eines baugleichen Blocks ohne PCB-Belastung. Die Konzentration der Summe der 27 Kongeneren war im Blut der Exponierten 3,4-mal höher als bei der Vergleichsgruppe, während die Konzentrationen von PCB-138, PCB-153 und PCB-180 nur um 17%, 13% bzw. 30% höher lagen.

Die Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (MAK-Kommission) legte 2011 für Arbeitsplätze Referenzwerte<sup>46</sup> für PCB-28, PCB-52 und PCB-101 im Blut fest (MAK-Kommission 2013). Diese Arbeitsplatzreferenzwerte werden von Personen in PCB-belasteten Gebäuden häufig überschritten (Peper et al. 2005, Schettgen et al. 2012, Kraus 2014, TÜV Rheinland 2013, Meyer et al. 2013).

Norström et al. (2010) betonen, dass von den mit der Raumluft aufgenommenen und im Körper schnell abgebauten PCB-Kongeneren eine besondere Gefährdung ausgehen kann, da Abbauprodukte entstehen, die selbst hoch toxisch wirken können.

Die Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes geht bisher davon aus, dass die Konzentration der drei hochchlorierten Indikator-PCB im Blut (innere Exposition) die tatsächlich aufgenommene PCB-Menge (äußere Exposition) widerspiegelt (Ewers et al. 2005, UBA 2004a). Diese Annahme führt offensichtlich zu Fehleinschätzungen und zur Unterschätzung der Gefährdung der Nutzer PCB-belasteter Gebäude.

Die Abschätzung der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) zur Gefährdung der Nutzer in PCB-belasteten Gebäuden berücksichtigt bisher nur die PCB-Aufnahme über die Atmung. Die US-EPA berück-

---

<sup>44</sup> Aufnahme von PCB-138 + PCB-153 + PCB-180

- über die Nahrung:  $50\% * 20 \text{ ng/(kg KG*Tag)} = 10 \text{ ng/(kg KG*Tag)}$
- über die Atmung:  $1\% * 1.000 \text{ ng/(kg KG*Tag)} = 1 \text{ ng/(kg KG*Tag)}$

<sup>45</sup> Dabei wurde angenommen, dass in Innenräumen die PCB-Konzentration 10mal höher liegt als die in der Außenluft Chicagos gemessene Konzentration ( $8 \text{ ng PCB/m}^3$  bzw.  $0,8 \text{ ng PCB/m}^3$ ). Für 18 Kongeneren wurde die Konzentration im Körper (innere Belastung) berechnet, dabei wurden Ausscheidung und die jeweilige Abbaurate berücksichtigt.

<sup>46</sup> Biologische Arbeitsstoff-Referenzwerte (BAR) für PCB:  $0,02 \mu\text{g/l}$  Plasma für PCB-28 und  $< 0,01 \mu\text{g/l}$  Plasma für PCB-52 und für PCB-101

sichtigt in ihrer Abschätzung der PCB-Aufnahme in Schulen zusätzlich die Aufnahme von belastetem Staub sowie die Hautaufnahme (Thomas et al. 2012). Alle Abschätzungen gehen jedoch vom Normalbetrieb aus und berücksichtigen bisher nicht die besondere Situation bei Reparatur- und Instandsetzungsarbeiten, die oft bei laufendem Betrieb stattfinden.

### **2.3 Sportstätten, Stadthallen, Bürogebäude, Fabrikgebäude und technische Anlagen**

Weitere Anlagen, die in den 1960er und 1970er Jahren in größerer Anzahl in Betonbauweise und mit PCB-haltigen Baustoffen erbaut wurden, sind Sportstätten (Stadien oder Schwimmbäder), Stadthallen, Bürogebäude, Fabrikgebäude und technische Anlagen wie Kläranlagen, Wassertürme, Kanalisation. Bei Sanierungsarbeiten wurden 2001 im Berliner Olympiastadion PCB gefunden (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin 2006). Dies führte zum vorübergehenden Baustopp. Dies zeigt, dass bei Ausschreibungen selbst solch großer Projekte nicht selbstverständlich auf PCB geprüft wird.

2012 wurde beschlossen, ein unter Denkmalschutz stehendes Wahrzeichen Ludwighafens, das 100 Meter hohe Bürohochhaus der BASF abzureißen. Das Gebäude wurde bereits in den 1950er Jahren gebaut und wurde in den 1990er Jahren saniert. 2008 wurde die Belastung durch PCB und Asbest bekannt (morgenweb 2012). Dies zeigt, dass auch Gebäude aus den 1950er Jahren auf PCB-Verwendung geprüft werden sollten. Ein anderes Bürogebäude, das Mercator-Hochhaus, ein Bürogebäude der Landesregierung Schleswig-Holsteins, enthielt PCB-haltige Fugenmassen in verschiedenen Anwendungsbereichen (Mohr et al. 1999). In den Schalträumen der Hamburger Telekom wurden 1993 PCB-Konzentrationen bis 23.000 ng/m<sup>3</sup> gemessen (Umweltbundesamt Österreich 1996). Der PCB-Fund in einem Gebäude der Telekom in Bremen löste in der Öffentlichkeit eine intensive Diskussion aus und die Forderung nach einem Innenraumluft-Messprogramm (AG Innenraumluft Bremen 2006).

Viele Fabrikgebäude enthalten Stahlträger, die mit PCB-haltiger Korrosionsschutzfarbe gestrichen sind (Varbelow 2014). Kraftwerke, z. B. das Fernheizwerk des Wohnviertels Waldhäuser-Ost (Abschnitt 3.1), enthalten PCB-haltige Fugenmassen oder Korrosionsschutzanstriche auf Stahlträgern und Tanks.

Auch Anti-Rutsch-Beläge auf Böden und wasserfeste Wandanstriche von Fabrikhallen können PCB enthalten (Varbelow 2014). Dies zeigt, dass neben Fugenmassen eine Reihe weiterer Baumaterialien mit PCB belastet sein können und geprüft werden sollten.

Ein Teil der deutschen Atomkraftwerke wurde Ende der 1960er und Anfang der 1970er Jahre erbaut und damit im Verwendungszeitraum von offener PCB-Anwendungen. Würgassen ist das erste Atomkraftwerk, das abgebrochen wird. Der Bauschutt enthält PCB (Bezirksregierung Arnsberg 2013).

PCB wurden auch in Kasernen und militärischen Einrichtungen einschließlich Anstrichen von Schiffen und anderem militärischem Gerät verwendet.

Auch Bauwerke wie Brücken und Mauern wurden mit PCB-Fugenmassen abgedichtet (siehe Fallstudie Kapitel 3).

### **2.4 Schwimmbäder, Rohrleitungen, Wasserbauten, Strommasten**

Bis 1972 wurden PCB als Weichmacher in Chlorkautschuk-Lacken zum Schutz verschiedenster Oberflächen wie z. B. Beton, Metalle, oder Holz verwendet. Das Schweizer BUWAL hat deshalb eine Praxishilfe „PCB-Emissionen beim Korrosionsschutz“ herausgegeben (BUWAL 2000a). Hauptanwendungsbereiche der Korrosionsschutzanstriche waren nach BUWAL: Stahlwasser-

bau, Industrieanlagen, Kläranlagen und Schwimmbecken. Chlorkautschuklacke wurden sowohl für Grundierungen als auch für Zwischen- und Deckbeschichtungen eingesetzt (BUWAL 2000a).

Manche Korrosionsschutzanstriche von Stahlkonstruktionen enthielten somit nicht nur Schwermetalle, sondern zum Teil auch PCB. In einer ersten deutschen Studie wurden um mehrere Hochspannungsstrommasten aus Stahl PCB-Belastungen gefunden (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2011). In Bayern wurde deshalb 2012 eine Handlungsempfehlung zum Umgang mit möglichen Bodenbelastungen um Hochspannungsmasten herausgegeben. Ergeben sich Anhaltspunkten für eine PCB-Verwendung, so ist der Boden zusätzlich zu Schwermetallen auch auf PCB zu untersuchen (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2012). In der Schweiz (und wahrscheinlich in ganz Mitteleuropa) kamen PCB-haltige Farben als Korrosionsschutzanstrich von Stahlträgern, als Schwimmbeckenbeschichtung, in und auf (Trink-)Wasserleitungen und als Anstriche von Böden, Brandschutztüren und Wänden zum Einsatz (BUWAL 2000a, BUWAL 2002). Für die Schweiz wird geschätzt, dass 3.000 t PCB-haltiger Chlorkautschuklacke produziert und angewendet wurden. Dabei wurden 150 – 300 t PCB eingesetzt. Das sind, nach Angaben des BUWAL, 7 – 15% der in der Schweiz in offenen Systemen verwendeten PCB-Menge (BUWAL 2000a). Nach Erfahrungen in der Schweiz haben PCB-haltige Chlorkautschukbeschichtungen eine lange Lebensdauer. Um Totalsanierungen zu umgehen, wurden Chlorkautschukbeschichtete Objekte häufig teilsaniert, d. h. angeschliffen und wieder mit Chlorkautschuk beschichtet. Es existieren deshalb noch vergleichsweise viele Objekte mit alten Chlorkautschukbeschichtungen, welche auch PCB enthalten können (BUWAL 2000a). Es muss deshalb davon ausgegangen werden, dass sich auch heute noch relevante Mengen PCB-haltiger Chlorkautschukbeschichtungen auf Objekten befinden. Bei der Sanierung von Brücken, Druckleitungen und andere Wasserbauten, Großtanks, industrielle Stahlkonstruktionen, Hochspannungs-, Seilbahn- und Bahnstrommasten können erhebliche Mengen PCB freigesetzt werden, die nach ihrer Deposition in der Umgebung des sanierten Objekts den Boden und die Gewässer belasten (BUWAL 2002). Jartun et al. (2009) fanden PCB in Resten eines Farbanstrichs an einer Brücke in Norwegen. Die Brücke wurde 1956 erbaut und war mit einem weißen PCB-haltigen Farbanstrich versehen worden. Mitte der 1980er Jahre wurde die Brücke mit Sandstrahl abgestrahlt. Die ursprünglich mit Farbe gestrichene Oberfläche der Brücke schätzten Jartun et al. (2009) auf 11.000 m<sup>2</sup>, die ursprünglich im Anstrich vorhandene PCB-Menge auf 1.650 kg. Dieser Fall zeigt zugleich, welche Menge an PCB sich in Farbanstrichen an einzelnen Objekten befindet und welche Menge hier bei unsachgemäßer Sanierung in die Umwelt freigesetzt werden kann. Die Sedimente unter der Brücke waren hoch PCB-belastet, welchen Anteil der Kontamination auf das Abstrahlen der Brücke zurückzuführen war, konnte jedoch nicht geklärt werden (Jartun et al. 2009). In Deutschland wurden bisher Stahlkonstruktionen, Betonbauten oder Rohrleitungen nicht systematisch auf PCB untersucht.

Auch viele Schwimmbäder wurden mit PCB-haltigem, zumeist hellblauem Chlorkautschuk-Lack gestrichen. Bei Sanierungen, insbesondere beim Sandstrahlen alter Anstriche wurde und wird PCB freigesetzt und führt u. a. zu Bodenkontamination und zu hohen Folgekosten. In der Schweiz gelten ein Fünftel der Schwimmbäder als belastet (Knechthofer 2009). Deshalb wurden 2013 alle Schweizer Kantone verpflichtet, ein Inventar der öffentlich zugänglichen Freibäder zu erstellen (Schweizer Arbeitsgruppe Interventionswerte und Risikobeurteilung 2013). Wenn die historische Verwendung von PCB in Fugenmassen oder Anstrichen nicht ausgeschlossen werden kann, muss die Bodenbelastung durch Analysen überprüft werden (Schweizer Arbeitsgruppe Interventionswerte und Risikobeurteilung 2013). Nach dem PCB-Fund in einem Freibad in Hannover und alarmiert durch die Ergebnisse aus der Schweiz, beschloss die Stadt Hannover, die Böden aller Freibäder auf städtischen Flächen auf PCB untersuchen zu lassen (Stadt Hannover 2013). Von den sieben Freibädern, die bis April 2013 untersucht wurden, überschritt ein weiteres den Bodengrenzwert für PCB (Stadt Hannover 2013). Während jedoch die Schweizer

Richtlinie „PCB-haltige Fugenmassen“ vor wiederholtem Kontakt mit PCB-haltigen Fugen warnt, wird bei PCB-haltigen Becken-Anstrichen in Freibädern eine Gefährdung vor allem durch die Farbpartikel gesehen, die nach nicht fachgerechter Sanierung im angrenzenden Boden verbleiben (Schweizer Arbeitsgruppe Interventionswerte und Risikobeurteilung 2013). Auch dieses Beispiel zeigt die relevanten PCB-Emissionen von Sanierungen. In Deutschland wird die PCB-Kontamination von Freibädern bisher primär in der Presse thematisiert (Der Westen 2013, Neue Presse 2013). Da in Deutschland die Verwendung von PCB in offenen Anwendungen im Durchschnitt höher war als in der Schweiz, wird der Prozentsatz der betroffenen Freibäder in Deutschland sehr wahrscheinlich nicht niedriger liegen. Von daher ist es wichtig, die Ergebnisse der Schweizer Untersuchungen zu verfolgen und gegebenenfalls eine ähnliche Initiative in Deutschland zu initiieren.

## 2.5 Baumaterialien, die PCB enthalten können

Während in Westdeutschland die Verwendung von PCB in Fugenmassen für unzählige Fälle dokumentiert ist, und auch häufig Deckenplatten mit PCB-haltigem Farbanstrich, vor allem in öffentlichen Gebäuden, identifiziert wurden (Volland & Neuwirth 2005), wird über PCB-haltige Farbanstriche an Böden und Wände eher selten berichtet (Kieper & Hemminghaus 2005). Über andere offene PCB-Anwendungen ist wenig bekannt. Es gibt kaum bzw. unzureichende Daten aus Deutschland zur PCB-Verwendung in Anti-Rutsch-Bodenbelägen, Estrichen, in Korrosionsschutzanstrichen an Beton und an Stahlmasten, PVC-Elektrokabeln, Klebern, (Mosaik-) Putzen, Kabelwanddurchführungen, Fensterkitt, Chlorkautschuk-Beschichtungen, in Lacken für Holz und in Verdunklungsrollos (siehe auch F&E Bericht Kapitel 2.1).

Wenig untersucht ist bisher auch die Verwendung bzw. Wiederverwendung von PCB-haltigen Ölen oder Altölen im Baubereich. Der VDI nennt hier Schalöle<sup>47</sup> sogar als eine der PCB-Primärquellen im Innenraum (VDI 1997, HVBG 2005). Bei ehemaliger Verwendung sind diese noch heute an der Oberfläche von Betonteilen zu finden<sup>48</sup>. Wie stark verbreitet PCB-haltige Schalöle waren, ist jedoch nicht dokumentiert. PCB-haltigen Altöle gelangten noch nach dem Verbot von PCB in offenen Anwendungen in Bauprodukte. Zwischen 1969, als die Verwertung von Altölen bezuschusst wurde (Verordnung zum Altölgesetz 1969) und dem Verbot des Inverkehrbringens von PCB im Jahr 1989 (PCB-VerbotsV 1989) wurden Altöle in großer Menge aufbereitet (Havemann 1980). Es ist mehr als wahrscheinlich, dass auch PCB-haltige Altöle darunter waren. Minderwertige Altöle und Reste aus der Altölaufbereitung wurden noch Ende der 1970er Jahre/ Anfang der 1980er Jahre im Baubereich eingesetzt (Havemann 1980). Als Fluxöl wurde es Bitumen und Isolationsmaterialien zugemischt, um die Fließfähigkeit zu erhöhen (Havemann 1980). Die Verwendung von aufbereiteten Altölen im Baubereich ist im PCB-Inventar für offene Anwendungen (Detzel et al 1998) nicht enthalten.

---

<sup>47</sup> Schalöle wurden beim Bau als Trennmittel auf die Einschalung aufgesprüht, um nach der Aushärtung des Betons die Schalungshölzer besser lösen zu können.

<sup>48</sup> Gespräch am 1.4.2014 mit der Immobilienverwaltung eines Bundeslandes

### 3 Fallbeispiel Tübingen Nordstadt: PCB-haltige Gebäude und Bauwerke und die Sanierungspraxis

In diesem Abschnitt werden einige der PCB-belasteten Gebäude/Bauwerke aus der Tübinger Nordstadt beschrieben, um am Beispiel dieses Stadtteils einen Eindruck der real vorhandenen PCB-Kontamination und dem Umgang mit den PCB-haltigen Materialien zu vermitteln. Für einige Gebäude wurden die PCB-Mengen abgeschätzt. Wenig dokumentiert war bisher, dass PCB-haltige Baumaterialien auch in Wohngebäuden zum Einsatz kamen sowie an anderen Bauten, wie Brücken und Unterführungen. Auch dies wird hier für die Tübinger Nordstadt dokumentiert. PCB wurde in den 1960er und Anfang der 1970er Jahre als Weichmacher und Flammschutzmittel in zahlreichen Baumaterialien verwendet. Stadtviertel, die - wie die Tübinger Nordstadt - in dieser Zeit errichtet wurden, gibt es in jeder größeren Stadt Westdeutschlands. Einzelne PCB-belastete Gebäude gibt es in jeder Stadt und in fast jedem Ort. Die Verhältnisse in Tübingen sind nicht spezifisch<sup>49</sup> und können nach unserer Einschätzung auch auf andere westdeutsche Städte übertragen werden. Die Dokumentation dient somit dazu, am Beispiel eines Stadtteils einen ersten Einblick zu geben, wie die etwa 24.000 t PCB in offener Anwendung (davon 20.000 t in Fugenmassen) noch heute in Verwendung sind und wie mit ihnen in der Realität bei Sanierungen umgegangen wird.

Die Tübinger Nordstadt (Abbildung A1 - 3) wurde zu einem großen Teil in den 1960er und frühen 1970er Jahren erweitert. Dabei wurden viele Gebäude, einschließlich des Universitäts-campus „Morgenstelle“, des Studenten- und Dozentenwohnheims und viele Gebäude des Stadtteils Waldhäuser-Ost in Betonbauweise errichtet. In vielen der Gebäude wurden erhebliche Mengen PCB-haltiger Fugenmassen verbaut.



Foto: C. Herold

Abbildung A1 - 2: Tübinger Nordstadt

Der Universitätscampus Morgenstelle wie auch das Studenten- und Dozentenwohnheim und das Stadtviertel Waldhäuser-Ost liegen in unmittelbarer Nähe zu landwirtschaftlich genutzten Flächen (Abbildung A1 - 3 und Abbildung A1 - 4).

---

<sup>49</sup> Die Universitätsstadt hat einen hohen Anteil an Studenten und Akademikern und ist insgesamt eher durch Umweltbewusstsein geprägt. In den 1960er und Anfang 1970er Jahre war die Zahl der in Betonbauweise errichteten Gebäude durch den Ausbau der Universität vermutlich vergleichbar mit anderen Universitätsstädten, jedoch vielleicht eher überdurchschnittlich im Vergleich zu Nicht-Universitätsstädten.

### 3.1 Das Stadtviertel Waldhäuser-Ost



Luftbild: Grohe, Schwäbisches Tagblatt vom 07.02.1984

Abbildung A1 - 3: Luftaufnahme Waldhäuser-Ost

Abbildung A1-3 (oben) zeigt den Weiler Waldhausen mit zwei bäuerlichen Betrieben (Stand 2013), umgeben von landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Das Stadtviertel Waldhäuser-Ost (Abbildungen A1-3 und A1-4) liegt östlich des Weilers Waldhausen. Fast alle Hochhäuser und Häuserblocks von Waldhäuser-Ost wurden Ende der 1960er/Anfang der 1970er Jahre mit PCB-haltigen Baumaterialien erstellt. Mitte/Ende der 1970er Jahre kamen Reihenhäuser hinzu und in den 1980er Jahren wurden neue Grundstücke nördlich, westlich und östlich der Erschließungsstraße „Berliner Ring“ bebaut.



Foto: C. Herold

Abbildung A1 - 4: Blick von den Feldern Waldhausens nach Osten

### 3.1.1 Das Hochhaus 1 mit angebautem Wasserhochbehälter

Das Hochhaus wurde bis ca. 1973 erbaut. Der Wasserturm, der Waldhäuser-Ost versorgt, wurde aus architektonischen Gründen an das Haus angefügt (Abbildung A1 - 5). Die Westfassade des Hauses wurde, einschließlich der Oberfläche der PCB-Fugen, um das Jahr 2001 abgestrahlt. Der PCB-haltige Staub wurde in die Umwelt freigesetzt. Die PCB-haltigen Fugenmassen der Westseite wurden damals nicht entfernt, sondern mit einer neuen Fugenmasse überdeckt. Die Untersuchung einer offen liegenden Fugenmasse an der Mauer zur Tiefgarage ergab einen PCB-Gehalt von 12%<sup>50</sup>.



Foto: C. Herold

Abbildung A1 - 5: Westfassade Hochhaus 1 mit Wasserspeicher

Die sichtbaren Außenfugen besitzen eine Länge von mehr als 3 km. Bei einem PCB-Gehalt von 12% kann die an der Außenseite sichtbare PCB-Menge in diesem Hochhaus auf mehr als 250 kg PCB geschätzt werden.

2012 musste die Westfassade wegen Undichtigkeiten erneut saniert werden. Der Bauleitung war die PCB-Belastung des Gebäudes nicht bekannt. Als sie vom positiven Befund in der Fugenmasse der Tiefgarage erfuhr, ließ sie die Fugenmassen am Haus durch einen Gutachter untersuchen. Der überwiegende Teil der PCB-haltigen Fugenmassen der Westfassade war bis dahin jedoch bereits auf einer Bauschuttdeponie entsorgt worden (etwa 150 kg PCB). Die Fugenmasse wurde von einer Firma entfernt, die sich auf Fugenmassen spezialisiert hatte und die in ihrer Eigenwerbung angab, nach strengen Umweltrichtlinien zu arbeiten.

Aufgrund der PCB-Kontamination wurde bei dieser zweiten Sanierung des Gebäudes auf das Abstrahlen der Fassade einschließlich Fugenmassen verzichtet.

---

<sup>50</sup> Private Probenahme November 2007, Analyse durch das Umweltlabor ARGUK



Foto: C. Herold

Abbildung A1 - 6: Sanierung der West-Fassade 2012

In den 1960er und 1970er Jahren wurden auch im Wasserbau PCB eingesetzt (Anstriche und PVC-Lacke) (BUWAL 2000a,b, 2003). In der Bauzeit des Wasserturms (siehe Abbildung A1 - 5) wurden häufig Schwimmbecken und wahrscheinlich auch andere Wasserbehälter innen mit einer PCB-haltigen Farbe gestrichen. Aus der Schweiz ist aus staatlichen Untersuchungen bekannt, dass bis in die 1970er Jahre Wasserbauten mit PCB-haltigen Farbanstrichen behandelt wurden (BUWAL 2000a,b, 2003). In Deutschland gibt es dazu keine Berichte oder Handlungsanweisungen analog zur Schweiz. In Deutschland sind bisher keine Untersuchungen von Wasserspeichern bekannt. So gibt es auch für diesen Wasserspeicher diesbezüglich keine Untersuchung.



Foto: C. Herold

Abbildung A1 - 7: Nicht sachgerecht entsorgte Fugenmassen, die nach Beendigung der Sanierungsarbeiten am Boden zurückgelassen wurden



Foto: C. Herold

**Abbildung A1 - 8:** Mehr als 1,5 t Fugenmassen wurden auf einer Bauschuttdeponie verbracht. Diese enthielten schätzungsweise 150 kg PCB

### 3.1.2 Das Hochhaus 2

In dem Hochhaus 2 (Waldhäuser-Ost; Abbildung A1 - 9) befanden sich zwischen Balkonbrüstung und Balkonboden PCB-haltige Fugenmassen in einer Gesamtlänge von ca. 2 km.<sup>51</sup> Bei einem gemessenen PCB-Gehalt von 13%<sup>52</sup> betrug die Gesamtmasse ca. 150 kg PCB. Bei der Fassadensanierung wurden diese Fugenmassen zunächst als Bauschutt entfernt. Nachdem auf die Präsenz von PCB in den Fugen hingewiesen wurde, wurden die PCB-Fugen unter Beachtung der PCB-Abfallverordnung entfernt. In den zu den Wohnungen gehörenden Bereichen befinden sich PCB-haltige Fugenmassen außen zwischen Fensterrahmen und Mauer und im Innenbereich der Wohnung zwischen Fensterbrett und Fenster sowie zwischen Fensterbrett und Wand. In den Gemeinschaftsräumen sind Fugenmassen an den Fensterfronten und Türen der Treppenhäuser und in Fluren vor manchen Wohnungstüren.



Foto: C. Herold

**Abbildung A1 - 9:** Hochhaus 2 . Hochhaus mit etwa 280 Wohnungen; im Vordergrund eine in der Nähe befindliche landwirtschaftlich genutzte Fläche

<sup>51</sup> Die Abschätzung der Länge der Balkenfugen wurde anhand der Baupläne vorgenommen

<sup>52</sup> Private Probenahme Dezember 2002, Analyse durch das Umweltlabor ARGUK

Die in diesem Haus an sichtbaren Stellen verbaute PCB-Menge betrug mehr als 250 kg (vor der Fassadensanierung). Da die Mauern des Wohnhauses innen verputzt und außen gedämmt und verkleidet (Eternitplatten) sind, lässt sich nicht feststellen, ob oder welche Mengen PCB-haltige Fugenmassen noch zwischen den Betonteilen verbaut sind. Dies wurde nicht in die Schätzung mit einbezogen.

Die Farbanstriche von Böden, Wänden und Brandschutztüren in den beiden Kellergeschossen und in Waschräumen/Fahrradräumen des Erdgeschosses sind möglicherweise PCB-haltig<sup>53</sup>. Das Alter des Gebäudes bedingt, dass immer häufiger Reparatur- und Sanierungsarbeiten durchzuführen sind. 2009/2010 wurde die Heizungsanlage im Keller des Hauses erneuert, immer wieder werden Fenster ausgetauscht (PCB-haltige Abdichtung) oder andere Eingriffe in die Bausubstanz vorgenommen. Der Hinweis darauf, dass die Bausubstanz PCB-belastet ist wurde ignoriert<sup>54</sup>. PCB-Fugenmassen befinden sich auch in und an der Tiefgarage des Hauses.

Die Bauleiter und Baufirmen wussten am Anfang der Sanierungsarbeiten ebenfalls nicht, dass die Gebäude PCB enthielten. Dies scheint ein häufiges oder generelles Problem zu sein. Ausdrücklich soll an dieser Stelle das vorbildliche Vorgehen einzelner Bauleiter und Baufirmen erwähnt werden. Als sie von der PCB-Belastung erfuhren, zeigten sie sich bereit, neu zu planen und ihre Arbeitsverfahren umzustellen, obwohl die Sanierungsarbeiten stets schon begonnen hatten. In einem Fall optimierte ein Bauleiter das Arbeitsverfahren von Sanierungsabschnitt zu Sanierungsabschnitt.

### 3.1.3 Brücken und Unterführungen

PCB-haltige Fugenmassen sind auch an Brücken, Unterführungen und Mauern (Abbildung A1 - 10) innerhalb und im Umfeld des Wohngebiets zu finden. Die PCB-Konzentration in der Fugenmasse der Mauern (Abbildung A1 - 10, unten) lag bei 8,6%<sup>55</sup>

---

<sup>53</sup> Ein Test auf Chlor war positiv.

<sup>54</sup> Die Eigentümer lehnten in einer Eigentümerversammlung den Antrag ab, feststellen zu lassen, wo sich im und am Gebäude PCB befindet.

<sup>55</sup> Private Probenahme November 2007, Analyse durch das Umweltlabor ARGUK



Fotos: C. Herold

Abbildung A1 - 10: PCB-haltige Fugenmassen an Brücken und Mauern



Foto: C. Herold

Abbildung A1 - 11: Fugenmassen an Unterführungen

### 3.2 Der Universitätscampus

Auf dem Universitätsgelände Morgenstelle (Abbildung A1 - 12) wurde ein Großteil der Gebäude Ende der 1960er Jahre und Anfang der 1970er Jahre erbaut. Diese Gebäude enthalten/enthielten PCB-Fugen und zum Teil Wilhelmi-Deckenplatten mit PCB-Anstrich als Flammenschutz (Universität Tübingen 2004). Nach Bekanntwerden der PCB-Problematik im Jahr 2001 wurden zahlreiche Tübinger Universitätsgebäude auf PCB untersucht (Universität Tübingen 2004). In Leuchtstofflampen aus dieser Zeit waren standardmäßig PCB-haltige Klein-Kondensatoren eingebaut<sup>56</sup>. Diese PCB-haltigen Kondensatoren wurden bereits vor 2000 ausgetauscht.

---

<sup>56</sup> In Westdeutschland wurden 9.100 t PCB in 220 Millionen PCB-haltigen Kondensatoren von Leuchtstofflampen verwendet (Detzel et al. 1998)



Foto: Universität Tübingen, Institut für Physik

Abbildung A1 - 12: Naturwissenschaftliche Institute der Universität Tübingen auf der Morgenstelle

### 3.2.1 Der C-Bau

Das Inventar des Universitätsgebäudes (C-Bau; Abbildung A1 - 13) vor der Sanierung (2005) enthielt etwa 1.000 kg PCB in Fugenmassen, Deckenplatten und Anstrichen. Allein die 10.350 m<sup>2</sup> Wilhelmi-Deckenplatten<sup>57</sup> enthielten ca. 500 kg PCB<sup>58</sup> (4 g PCB-TEQ<sup>59</sup>). Die mittlere PCB-Raumluftkonzentration betrug in Räumen ohne Lüftungsanlage ca. 2.500 ng PCB/m<sup>3</sup> (Universität Tübingen 2001). Die mittlere PCB-Raumluft-Konzentration der dl-PCB betrug etwa 10 pg PCB-TEQ(1998)/m<sup>3</sup> (Volland & Neuwirth 2005, S. 127/128) und lag damit in Höhe des seit 2006 geltenden MAK-Wertes (maximale Arbeitsplatz-Konzentration) für Dioxine von 10 pg TEQ/m<sup>3</sup> (TRGS 557, 2008 S.4). Die PCB-Konzentrationen aller untersuchten Staubproben lagen höher als der PCB-Abfallgrenzwert von 50 mg PCB/kg (Volland & Neuwirth 2005 und weitere Untersu-

<sup>57</sup> Angabe des VB-BW Amt Tübingen 2014

<sup>58</sup> Volland und Neuwirth (2005) untersuchten in vier Gebäuden, darunter dem C-Bau der Morgenstelle, den Farbanstrich von PCB-belasteten Wilhelmi-Deckenplatten. In einem Zwischenbericht schreibt Volland (2004), dass aus vorliegenden Einzelmessungen orientierend für die etwa 1mm starke Beschichtung ein Flächengewicht von etwa 300-500 g/m<sup>2</sup> angenommen werden kann. Die gemessenen PCB-Konzentrationen im Farbanstrich im C-Bau reichen von 1,7% (Universität Tübingen 2004) bis 33,1% (Volland & Neuwirth 2005); Mittelwert: 13,4%.

Rechnung  $10.350 \text{ m}^2 \times 400 \text{ g/m}^2 \times 13,4\% \text{ PCB} \sim 500 \text{ kg PCB}$

Zum Vergleich: Jartun et al. (2009) schätzten die in 11.000 m<sup>2</sup> Farbanstrich einer Brücke vorhandene PCB-Menge auf 1.650 kg. Sie nahmen eine Dicke des Farbanstrichs von 2 mm an und einen PCB-Gehalt von 5%.

<sup>59</sup> Zusätzliche Analyse von dl-PCB (D-Bau): 7,8 µg PCB-TEQ1998/g PCB

chungen<sup>60</sup>). Die Universitätsleitung wies 2002 in einem Schreiben die Beschäftigten im C-Bau darauf hin, dass Staubsaugerbeutel als Sonderabfall zu entsorgen sind (Universität Tübingen 2002). Im Staub überstieg zudem die Konzentration der Furane (Summe aus 2,3,7,8-TetraCDF und 2,3,4,7,8-PentaCDF) den Gruppen-Grenzwert der Chemikalienverbotsverordnung von 1.000 ng/kg um mehr als das Vierfache (TRGS 557, 2008)(Volland & Neuwirth 2005).

Volland & Neuwirth (2005) bestimmten die Luftwechselrate im C-Bau zu 0,5/Stunde. Eine Luftwechselrate von 0,5/Stunde bedeutet, dass die Luft im Raum alle 2 Stunden vollständig ausgetauscht wird – bei geschlossenen Fenstern und Türen, allein durch Undichtigkeiten der Gebäudehülle<sup>61</sup>. Die Raumlufkonzentrationen von 2.500 ng PCB/m<sup>3</sup> bzw. 10 pg PCB-TEQ/m<sup>3</sup> (vor der Sanierung) wurden unter „Normbedingungen“ ermittelt, d. h. bei geschlossenen Fenstern und Türen. Aus der Luftwechselrate von 0,5/Stunde, dem Gebäudevolumen und der mittleren PCB-Raumlufkonzentration lässt sich die PCB-Freisetzung (Emission) in die Umwelt berechnen: Die Freisetzung aus den Innenräumen des C-Baus über den Luftaustausch in die Umwelt betrug vor der Sanierung ca. 600 g PCB/Jahr<sup>62</sup> und ca. 3 mg PCB-TEQ/Jahr<sup>63</sup>.

Auf die gleiche Weise, nämlich über die Luftwechselrate, das Gebäudevolumen und die mittlere Raumlufkonzentration berechneten Sundahl et al. (1999) für ein achtstöckiges Gebäude in Schweden die PCB-Freisetzung in die Umwelt zu 60 g/Jahr. In diesem Gebäude waren 90 kg PCB in Innenfugen vorhanden. Diese Abschätzung der PCB-Freisetzung gilt zunächst für ungelüftete Räume. Bei zusätzlichen Lüftungsmaßnahmen ist der Transport von Innenraumluft ins Freie gegenüber dem natürlichen Luftaustausch zwar erhöht, die PCB-Konzentration der Luft ist jedoch entsprechend verdünnt. Daher erscheint es plausibel anzunehmen, dass sich die insgesamt freigesetzte PCB-Menge durch die üblichen Lüftungsmaßnahmen nicht grundlegend ändert.



Foto: C. Herold

Abbildung A1 - 13: C-Bau Universität Tübingen Morgenstelle

---

<sup>60</sup> [www.pcbinfo.de](http://www.pcbinfo.de)

<sup>61</sup> Unter Luftwechsel versteht man in der Bauphysik den Austausch der Raumluf in geschlossenen Räumen

<sup>62</sup> Volumen des C-Baus: 65m x 25m x 40m = 65.000m<sup>3</sup>, abzgl. Decken und Wände ca 55.000m<sup>3</sup> Luftvolumen; ausgelüftete jährliche PCB-Menge = Luftvolumen x Luftwechselrate x PCB-Luftkonzentration x 24 Stunden/Tag x 365 Tage/Jahr = 600g PCB/Jahr

<sup>63</sup> Rechnung wie oben

In den Jahren 2005/2006 wurde der C-Bau im Rahmen von Brandschutzmaßnahmen PCB-saniert. Laut PCB-Gutachten (Zöltzer 2007) wären „lediglich mittel- bis langfristig Sanierungsmaßnahmen unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit erforderlich“ gewesen. Der Gutachter führte aus: „Für die Minderung der PCB-Emissionen aus den belasteten Deckenplatten standen 2 Verfahren zur Verfügung, zum Einen das Beschichten der Deckenplatten mit einer Spezialbeschichtung, zum anderen das Entfernen der PCB-belasteten Deckenplatten. Auf Wunsch der Nutzer wurde das Entfernen der Deckenplatten als Sanierungsvariante gewählt.“ Ziel der Sanierung war, die PCB-Raumluftkonzentration unter einen angestrebten Sanierungszielwert, von 300-500 ng/m<sup>3</sup> zu senken. Es war nicht beabsichtigt, alle PCB-Quellen zu entfernen. Bei der Sanierung wurden die Deckenplatten und die Innenfugen entfernt, andere z. T. bereits identifizierte PCB-haltige Materialien wurden jedoch belassen; z. B. verblieben die PCB-haltigen Außenfugen sowie, im Erdgeschoss, die PCB-Farben an Tüorzargen und Böden.

Das nur teilweise Entfernen von PCB-belasteten Materialien oder das Überstreichen von PCB-Fugenmassen und PCB-Farben (Hunt 2013, Zöltzer 2007, Zöltzer & Volland 2002), mit dem Ziel eine gewisse Raumluftkonzentration zu erreichen, scheint ein häufiges Vorgehen zu sein. Das Ziel der PCB-Richtlinie ist nicht das Entfernen von PCB, sondern das Absenken der Raumluftkonzentration unter den Vorsorgewert von 300 ng/m<sup>3</sup> (siehe Kapitel 4).

Zwei Jahre nach der Sanierung wies eine Staubprobe aus dem C-Bau noch einen PCB-Gehalt von 29,4 mg/kg auf<sup>64</sup>.

### 3.2.2 Der D-Bau

2002 wurden die PCB-haltigen Wilhelmi-Deckenplatten eines Raumes im D-Bau probeweise mit einem Spezialanstrich beschichtet (Zöltzer & Volland 2002). 2008 wurden in einigen Räumen, möglicherweise auch in allen Räumen, die PCB-haltigen Deckenplatten ohne ausreichende Schutzvorkehrungen entfernt. Schmutz<sup>65</sup> und Mineralwolle<sup>66</sup> wurden in den Räumen zurückgelassen. Die Untersuchung einer auf einem Schreibtisch verbliebenen Farbabspalterung zeigte, dass sie vom Farbanstrich einer ausgebauten Wilhelmi-Deckenplatte stammte. Der PCB-Gehalt dieser Probe lag bei 10%<sup>67</sup>. Die Konzentration der dl-PCB betrug 3,2 µg PCB-TEQ<sub>2005</sub> pro g PCB (7,8 µg PCB-TEQ<sub>1998</sub>/g PCB)<sup>68</sup>. Das Labor bestimmte auch die Fläche der Farbabspalterung und berechnete daraus den flächenbezogenen Gehalt: Die TEQ-Konzentration pro Fläche war auf der Deckenplatte mit 66 µg PCB-TEQ<sub>2005</sub>/m<sup>2</sup> (160 µg PCB-TEQ<sub>1998</sub>/m<sup>2</sup>) vergleichbar mit der Dioxin-Flächenkonzentration der am höchsten belasteten Fläche von Seveso, der Zone A (> 50 µg TCDD/m<sup>2</sup>) (Di Domenico et al. 1980).

---

<sup>64</sup> Private Probenahme April 2008, Analyse durch das Umweltlabor ARGUK

<sup>65</sup> Der Staub, der sich im Laufe der Jahrzehnte auf der Oberseite der Wilhelmiplatten ansammelte, war hoch belastet. Eine Messung im C-Bau ergab hier 2585 mg PCB/kg (Universität Tübingen 2004, C-Bau 31.01.2002)

<sup>66</sup> Die auf der Morgenstelle eingebauten Wilhelmi-Deckenplatten bestanden aus einer Pressspanplatte, die raumseitig mit (meist PCB-haltiger) Farbe beschichtet war und oben eine Auflage aus Mineralwolle hatte.

<sup>67</sup> Private Probenahme Mai 2008, Analyse durch das Umweltlabor ARGUK

<sup>68</sup> 1 µg = 1 Mikrogramm = 0,001 mg = 0,000001 g = 1 Millionstel Gramm

### 3.2.3 Der A-Bau

Zwischen 2007 und 2010 wurde der A-Bau für 45 Millionen € generalsaniert (Abbildung A1 - 14). Die Fugenmassen an der Fassade des A-Baus wurden bei der Sanierung nicht entfernt. Bereits zu Beginn der Sanierung wurden große Mengen PCB-haltigen Staubs freigesetzt, als die Fassade im Sommer 2007, einschließlich PCB-haltiger Fugenmassen abgestrahlt wurde<sup>69</sup>. Das Blattwerk einer Linde, die vor dem Hörsaalzentrum in Sichtweite des A-Baus stand, hatte nach dem Abstrahlen eine PCB-Konzentration (Summe der Indikator-PCB) von 134 µg PCB<sub>6</sub>/kg<sup>70 71</sup>. Dieser Wert liegt etwa 100-fach über den PCB-Konzentrationen, die vom Bayerischen Landesamt für Umwelt an verschiedenen Standorten in Fichten- und Kiefernadeln gemessen wurden (0,58 bis 2 µg PCB<sub>6</sub>/kg Trockensubstanz)(LfU 2005). Diese hohe Belastung der Linde kann nicht allein durch eine andere Pflanzenmorphologie erklärt werden. Sie deutet darauf hin, dass große Mengen PCB während der Bauarbeiten freigesetzt wurden und z. T. in die Vegetation gelangten. Dass die PCB-Freisetzung beim Abstrahlen des Gebäudes negative Auswirkungen auf die umliegenden landwirtschaftlichen Flächen hatte, ist nicht ausgeschlossen. Denn die im Laub des Baumes gemessene PCB-Konzentration lag mehr als 10-fach über dem Höchstgehalt von 10 µg PCB<sub>6</sub>/kg (88% Trockenmasse), der für Futtermittel pflanzlichen Ursprungs gilt (Europäische Kommission 2012).

Der Außenwände wurden bei der Sanierung wärme gedämmt. Der größte Teil der PCB-haltigen Außenfugen wurde dabei mit Dämmmaterial überdeckt. An Teilen der Fassade sind die PCB-haltigen Außenfugen noch sichtbar. Neue Installationen wie Stromkabel wurden durch PCB-haltige Fugenmassen verlegt (Abbildung A1 - 15). Die PCB-Freisetzung in die Umwelt wird durch Abdecken zwar verringert, PCB diffundieren jedoch aus den Fugenmassen ins Dämmmaterial. Die zu entsorgende Menge PCB-haltiger Materialien wird dadurch vervielfacht. Da die energetische Sanierung von altem Gebäudebestand gefördert wird, ist dies eine aktuelle Thematik und muss als generelle Problematik verstanden werden (Kapitel 4 und 6). Neben dem Risiko der Sekundärkontamination von Wärmedämmmaterial bei Belassen von PCB-Fugen in Gebäuden, muss auch das Risiko von erhöhter Diffusion von PCB in den Innenraum betrachtet werden. So dünsteten in einer Schule PCB aus Fugenmassen in einen mit künstlichen Mineralfasern gedämmten Hohlraum aus und gelangten von dort über Mörtelfugen im Ziegelmauerwerk in den Innenraum. Die Wände wurden zur PCB-Quelle und verursachten hohen Raumluftkonzentrationen und große Herausforderungen bei der Planung der Sanierung (biomess 2012). Am A-Bau befinden sich die PCB-haltigen früheren „Außenfugen“ nach der Sanierung nun innerhalb der Wand. Die Fugenmassen sind durch die Dämmung nach außen luftdicht abgeschottet<sup>72</sup>, nicht jedoch nach innen. Das aus den Fugenmassen ausdünstende PCB kann in den Innenraum gelangen, entweder über die Innenfugen, die vor der Sanierung mit ebenfalls PCB-haltiger Dichtmasse verfügt waren, oder über andere Spalten oder leicht zu durchdringenden Materialien. Zudem muss bedacht werden, dass nach der Sanierung auch die früheren Außenfugen gegenüber der Außenluft wärme gedämmt sind. Dies führt zu einer Temperaturerhöhung der Fugenmassen, von einer mittleren Außentemperatur von etwa 10 °C auf fast

<sup>69</sup> Die Probe von einer Außenfuge nach dem Abstrahlen zeigte, dass die Außenfugen (4,7% PCB) vor dem Abstrahlen nicht entfernt oder ausgetauscht worden waren und somit mit abgestrahlt worden waren.

<sup>70</sup> Private Probenahme 1. November 2007, Analyse durch das Umweltlabor ARGUK

<sup>71</sup> Die im Lindenblatt gemessene PCB-Konzentration von 134 µg PCB<sub>6</sub>/kg war auf das Blattgewicht bezogen und liegt bezogen auf die Trockensubstanz des Blattes noch höher.

<sup>72</sup> Ziel einer Wärmedämmung ist u. a. eine möglichst luftdichte Gebäudehülle

Raumtemperatur und führt damit zu einer Erhöhung des Dampfdrucks und einer erhöhten Mobilisierung von PCB.



Bildmitte: beprobte Linde am Eingang des Hörsaalzentrums. Foto: C. Herold

Abbildung A1 - 14: A-Bau nach dem Abstrahlen



Foto: C. Herold

Abbildung A1 - 15: Teil der Fassade des A-Baus nach der Sanierung mit neuer Stromleitung in der PCB-Fuge

### 3.2.4 Das Hörsaalzentrum

2010 wurde das Hörsaalzentrum saniert<sup>73</sup>. Im Rahmen der Sanierung waren u. a. Brandschutzmaßnahmen und die Erneuerung Lüftungstechnischer Anlagen vorgesehen, nicht jedoch die Entfernung der PCB-haltigen Materialien (Deckenplatten und Fugenmassen). Ein Hinweis auf die PCB-Belastung des Gebäudes war nicht in der Ausschreibung enthalten<sup>74</sup>. PCB-haltige Materialien<sup>75</sup>, die im Zuge der Sanierung evtl. freigesetzt oder ausgebaut wurden, konnten somit nicht identifiziert, vorschriftsmäßig behandelt und entsorgt werden.

Obwohl es sich bei der Sanierung des Hörsaalzentrums nicht um eine PCB-Sanierung im Sinne der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) gehandelt hat, kommen Arbeiter mit PCB-Materialien in Kontakt. Der Umgang mit PCB-Fugen und mit sekundär kontaminiertem Material während der Bauarbeiten, gerade auch bei Lüftungstechnischen Arbeiten, ist sehr wahrscheinlich bis unumgänglich. Auf ihrer Informationsseite über PCB in Fugenmassen rät die US-amerikanische Umweltbehörde EPA, immer dann wenn PCB in der Raumluft nachgewiesen wurde, auch die Lüftungsanlagen auf Sekundärkontamination zu überprüfen (U.S.EPA 2014a). Arbeiten in Bereichen, in denen Gefahrstoffe vorhanden sind, werden durch die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) detailliert geregelt. Die Technische Regel für Gefahrstoffe Nummer 524 „Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen“ (TRGS 524) verlangt einen Arbeits- und Sicherheitsplan und besondere Schutzmaßnahmen bei allen „*Abbruch-, Sanierungs-, Instandhaltungs- und Umbauarbeiten in Verbindung mit Tätigkeiten mit PCB-haltigen Bauprodukten (z. B. Fugenmassen, Anstriche) inkl. Beseitigung der Sekundärquellen*“ (TRGS 524 Abschnitt 2.3 (2) 13). Dabei ist es unerheblich, aus welchen Gründen die Arbeiten durchgeführt werden. Die TRGS werden vom Ausschuss für Gefahrstoffe aufgestellt, und der Entwicklung entsprechend angepasst (TRGS 001, 2006). Sie werden vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales im Gemeinsamen Ministerialblatt bekannt gegeben. Die Einhaltung der TRGS 524 gewährleistet, dass die Anforderungen der Gefahrstoffverordnung und des Arbeitsschutzes eingehalten werden. Wird von den Bestimmungen der TRGS abgewichen, muss durch andere Maßnahmen gewährleistet sein, dass der gleiche sicherheitstechnische Standard eingehalten wird. Die von der TRGS 524 verlangten Schutzmaßnahmen gehen über das auf Baustellen übliche Maß hinaus und sind bei der Ausschreibung als besondere Leistungen aufzuführen. Wie erwähnt, enthielt die Ausschreibung zum Umbau des Hörsaalzentrums keinen Hinweis auf PCB.

---

<sup>73</sup> [http://www.roggatz.eu/projekte/projekte\\_aktuell/sanierung-hoersaalzentrum-naturwissenschaftliche-institute-tuebingen.html](http://www.roggatz.eu/projekte/projekte_aktuell/sanierung-hoersaalzentrum-naturwissenschaftliche-institute-tuebingen.html)

<sup>74</sup> <https://www.competitionline.com/de/ausschreibungen/16461>

<sup>75</sup> auch von sekundär belasteten Materialien geht bei Baumaßnahmen eine Gefahr aus.



Foto: C. Herold (04/2014)

Abbildung A1 - 16: Decke des Hörsaalzentrums nach der Sanierung mit neuen Rauchmeldern über einer alten PCB-Fuge

Das Hörsaalzentrum enthält noch große Mengen PCB in Fugenmassen im Innen- und Außenbereich (Abbildung A1 - 16 bis Abbildung A1 - 18). Ob die im Hörsaalzentrum im Jahr 2001 identifizierten PCB-haltigen Deckenanstriche (Universität Tübingen 2004) heute noch vorhanden sind, ist nicht bekannt. Denn für landeseigene Gebäude wird kein Verzeichnis über Schadstoffbelastungen geführt (Schukraft 2014). In den vergangenen Jahren wurden bei Reparaturarbeiten Fugenmassen entfernt. Das linke Bild in Abbildung A1 - 18 zeigt eine Mauer im Außenbereich des Hörsaalzentrums, die mit neuer Dichtmasse (grüner Pfeil) verfugt wurde. Im Bild rechts in Abbildung A1 - 18 ist an der Verfugung einer Glasscheibe zu erkennen, dass neue Fugenmasse (grüner Pfeil) über der nicht vollständig entfernten alten Fugenmasse (rote Pfeile) angebracht wurde. Beim fachgerechten Ausbau PCB-haltiger Fugenmassen muss die alte Fugenmasse jedoch vollständig entfernt werden. Denn PCB aus evtl. verbliebenen Resten diffundieren über die Zeit in die neue Verfugung (Hunt 2013). Die neue Verfugung ist dann ebenfalls PCB-kontaminiert. Da in Abbildung A1 - 18 unter der Neuverfugung noch alte Fugenmassen zu erkennen sind, ist der Ausbau offensichtlich nicht fachgerecht erfolgt. Es ist zu vermuten, dass aus dem Hörsaalzentrum entfernte PCB-haltige Fugenmassen unkontrolliert in die Umwelt gelangten.



Fotos: C. Herold (04/2014)

Abbildung A1 - 17: Außenbereich des Hörsaalzentrums mit noch großen Mengen PCB-haltiger Fugenmassen

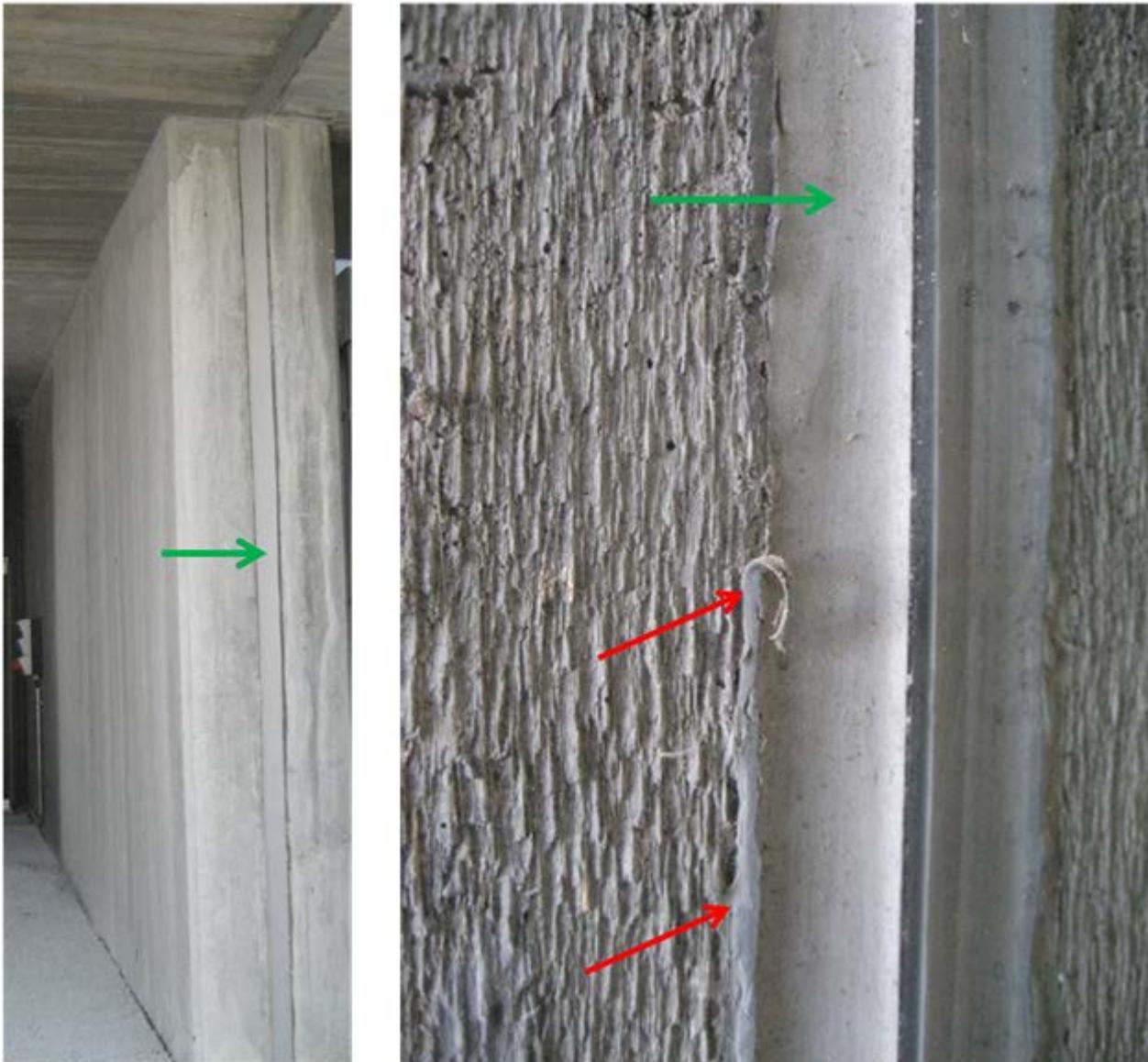


Foto: C. Herold

Abbildung A1 - 18: Neue Verfugungen über z.T. noch sichtbarer alter Fugenmasse

Im Frühjahr 2013 wurde die Treppe/Rampe an der Nordseite des Hörsaalzentrums abgebrochen. An den Fugen der Mauern und zwischen den Platten der Rampe befanden sich zahlreiche PCB-Fugenmassen. Nach dem Abbruch blieben an der Abbruchkante Reste von PCB-Fugenmasse, z.T. mit Hinterfüllmaterial, zurück (Abbildung A1 - 17). Das deutet darauf hin, dass die PCB-Belastung von keinem Beteiligten beachtet wurde. Die schlechte Abtrennung der PCB-Fugen vom Gebäude lässt vermuten, dass zumindest Teile der PCB-haltigen Fugenmassen ins Abbruchmaterial gelangten und mit recycelt worden sind. Die Hohlräume hinter Fugenmassen wurden häufig mit porösen, oft schaumstoffartigen Materialien verfüllt. Dieses ursprünglich unbelastete Füllmaterial weist heute ebenso hohe PCB-Konzentrationen auf wie die Fugenmasse selbst (Varbelow 2014). Da manches Hinterfüllmaterial weniger kompakt ist und z.T. bei Berührung zerfällt, kann es beim Ausbau ein größeres Gefährdungspotenzial haben als die Fugenmasse selbst (Varbelow 2014). Der nachlässige Umgang mit PCB-Fugen oder Farbanstrichen bei Abbruch und Sanierungen führt über die Freisetzung PCB-haltigen Staubs zur Exposition von Arbeitern, Passanten und der Umgebung.



Oben: Treppe mit Rampe im Jahr 2010; Rechts und unten im Jahr 2013. Fotos: C. Herold

Abbildung A1 - 19: Treppe an der Nordseite des Hörsaalzentrums. PCB-haltige Fugenmassen wurden bei der Sanierung der Außentreppe des Hörsaalzentrums Morgenstelle nicht fachgerecht entfernt.

Das zuständige Amt betonte in einem Treffen mit den Autoren dieser Studie, dass die geltenden Gesetze einhalten werden und dass die PCB-Richtlinie des Landes Baden-Württemberg die Grundlage für die Sanierung der Landesgebäude ist. Dabei werden in Baden-Württemberg die Grenzwerte der Innenluft zugrunde gelegt (Selbmann 2014).

Das macht eine generelle Schwäche der PCB-Richtlinie der ARGEBAU (und der PCB-Richtlinien der einzelnen Bundesländer) deutlich: Die PCB-Richtlinie reguliert ausschließlich die Innenraumlufkonzentration und vernachlässigt die Gefährdung durch die PCB-haltigen Materialien und deren Freisetzung in der Sanierungspraxis (siehe Abschnitt 4.2). Zudem gibt die PCB-Richtlinie (ARGEBAU) weder einen Hinweis auf die weitaus strengeren Technischen Regeln für Gefahrstoffe, insbesondere die TRGS 524 „Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen“ (TRGS 524, 2010), noch auf die PCB/PCT-Abfallverordnung (PCBAbfallV 2000).

Die Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG Bau) stellt immer wieder fest, dass bei Arbeiten an Bauten, die Gefahrstoffe enthalten, die Vorgaben der TRGS 524 missachtet werden, dass *„manchem Auftraggeber jegliches Verständnis für Sinn und Zweck eines Arbeits- und Sicherheitsplans fehlt“*. Trotz der detaillierten Vorgaben und Hilfestellungen der TRGS 524 und trotz der von der TRGS geforderten Sach- und Fachkunde, waren *„immer wieder gravierende Mängel festzustellen“* (Feige-Munzig 2013). Der nicht-fachgerechte Umgang mit Gefahrstoffen in der Bausubstanz ist somit nicht auf die Stadt Tübingen und nicht auf den Gefahrstoff PCB beschränkt, sondern scheint ein generelles Problem zu sein.

### 3.3 Das Studenten- und Dozentenwohnheim

Im Areal „Wanne“ der Nordstadt von Tübingen wurden in den 1960er/1970er Jahren Wohnhäuser, ein Studenten- und Dozentenwohnheim, Schulgebäude, Einkaufszentrum und eine Kirche mit Gemeindehaus und Kindergarten in Betonbauweise mit PCB-haltigen Baustoffen errichtet. Einzelne Gebäude wurden in den letzten Jahren umgebaut, aufgestockt oder saniert.

Die Sanierungen des Studentenwohnheims Wanne (Abbildung A1 - 20) und die des Dozentenwohnheims (Abbildung A1 - 21 bis Abbildung A1 - 23) und der benachbarten Wohneinheiten ( Abbildung A1 - 24 und Abbildung A1 - 25) zeigen beispielhaft den, gemessen an den Vorschriften der TRGS 524 (seit 2010) bzw. BGR 128, nicht fachgerechten Umgang mit PCB-haltiger Bausubstanz.

Das mehrstöckige Studentenwohnheim wurde um 2007/2008 saniert. Die Fassade wurde abgestrahlt. Nach der Sanierung sind noch PCB-haltige Fugenmassen sichtbar (Abbildung A1 - 20).



Foto: C. Herold

Abbildung A1 - 20: Dozentenwohnheim (Flachbau links) und Studentenwohnheim (Hochhaus). Alte Fugenmassen sind nach dem Abstrahlen des Studentenwohnheims noch zu erkennen (Bild rechts).

Der Wohnblock mit Dozentenwohnheim wurde abschnittsweise saniert bis 2011. In unmittelbarer Nähe der Gebäude liegen landwirtschaftliche Nutzflächen.

Im Dozentenwohnheim und in den angrenzenden Wohneinheiten des Wohnblocks waren, von außen sichtbar, PCB-haltige Fugenmassen zwischen Betonteilen und zwischen Fensterrahmen und Mauern verbaut (Abbildung A1 - 21).



Foto: C. Herold

Abbildung A1 - 21: PCB-haltige Fugenmasse am Dozentenwohnheim

Wie oben erwähnt waren nach Bekanntwerden der PCB-Problematik im Jahr 2001 zahlreiche Tübinger Universitätsgebäude auf PCB untersucht worden (Universität Tübingen 2004). Acht Jahre später, zu Beginn der Sanierung des Dozentenwohnheims im Jahr 2009 erklärte der beauftragte Architekt auf Nachfrage, er wisse nichts von einer PCB-Belastung des Gebäudes, wolle sich jedoch beim Bauherrn (Amt Vermögen und Bau) erkundigen. Dennoch wurde das Gebäude abgestrahlt (Abbildung A1 - 22 und Abbildung A1 - 23), einschließlich PCB-haltiger Fugenmassen. Der Staub, der sich beim Abstrahlen bildete, wurde in der Umgebung verteilt und legte sich auf Pflanzen und Boden (Abbildung A1 - 22). Die Oberflächen der Fugenmassen um die Fenster wurden beim Abstrahlen abgetragen (Abbildung A1 - 23). Auch das Abstrahlen des Betons, der sich über Jahre aufgeladen hat (Sekundärquelle; Zöltzer 1999) führt zu einer PCB-Emission.



Foto: C. Herold

Abbildung A1 - 22: Gebäude nach dem Abstrahlen. Grauer Staub liegt in der Umgebung



Foto: C. Herold

Abbildung A1 - 23: Die Oberflächen der Fugenmassen um die Fenster wurden beim Abstrahlen zum Teil abgetragen

Ein Teil der Fenster wurde ausgebaut. Dabei wurden PCB-haltige Fugenmassen am Boden hinterlassen, auch auf einer öffentlich zugänglichen Treppe, die zu einem Spielplatz und zu einer Bushaltestelle führt (Die rechts und links an diesen Gebäudeabschnitt angrenzenden Wohnungen waren bewohnt). Daraufhin wurde Anzeige wegen PCB-Eintrags in die Umwelt und nicht ordnungsgemäßem Umgang mit PCB-haltigen Abfällen erstattet. Die von der Staatsanwaltschaft hinzugezogene Abteilung Umwelt und Gewerbe des Landratsamtes war der Meinung, es handele sich nicht um eine PCB-Sanierung im eigentlichen Sinn, auch weil der PCB-Gehalt der Fugenmassen unter einem Gewichtsprozent liege. Eine Messung ergab eine PCB-Konzentration von 0,78%. Die Staatsanwaltschaft teilte mit, Bauleiter und Architekt hätten die einschlägigen Vorschriften der PCB-Richtlinie beachtet<sup>76</sup>.

Nach PCB-Richtlinie (ARGEBAU) müssen „*PCB-Gehalte unter einem Gewichtsprozent ... als verarbeitungsbedingte Verunreinigungen des Materials angesehen werden*“ und gelten nicht als Primärquellen oder als PCB-haltige Produkte (ARGEBAU 1994, Einleitung). Fugenmasse mit einem Gehalt von fast 1%, und damit über dem Grenzwert von 50 mg PCB/kg der PCB-Abfallverordnung und der EU POPs-Verordnung, wurde von den Behörden deshalb irrtümlich als nicht PCB-belastet angesehen (siehe auch Abschnitt 4.2.1).

In den darauf folgenden Monaten wurden die zwei letzten zum Wohnblock gehörenden Wohneinheiten saniert<sup>77</sup>. Die Fenster wurden ausgetauscht, während die Wohnungen z. T. bewohnt waren. Auch bei der Sanierung dieser Gebäudeabschnitte waren viele Fugenmassen, meist mit anhaftendem schaumstoffartigem Hinterfüllmaterial, im Bauschutt und auf Wegen verstreut (Abbildung A1 - 24). Die Holzfenster eines Hauses wurden, einschließlich daran haftender Fugenmassen und Hinterfüllmaterial, im Container eines örtlichen Recyclingunternehmens lediglich als Holzabfall entsorgt (Abbildung A1 - 25). Dennoch waren auch bei dieser Sanierung die Vorschriften der PCB-Richtlinie der ARGEBAU eingehalten. Nach PCB-Richtlinie „*sollen*“ zwar Primärquellen vor dem Abbruch von baulichen Anlagen entfernt werden und seit 2010 verlangt die Ergänzung der PCB-Richtlinie, dass PCB-haltige Produkte vor Beginn von

---

<sup>76</sup> Das Verfahren wurde eingestellt.

<sup>77</sup> Für diese beiden Wohneinheiten war das Amt Vermögen und Bau nicht zuständig

Abbrucharbeiten zu entfernen sind (ARGEBAU 1994, ARGEBAU 2011). Beim Austausch von Fenstern handelt es sich jedoch nicht um einen Abbruch. Nicht eingehalten war bei dieser Gebäudesanierung hingegen die PCB/PCT-Abfallverordnung. Die PCB/PCT-Abfallverordnung verlangt: *„Zur Gewährleistung einer ordnungsgemäßen und schadlosen Verwertung sowie zur gemeinwohlerträglichen Abfallbeseitigung ist beim Entstehen von Abfällen, die bei Bautätigkeiten anfallen, bereits vor einer Sortierung sicherzustellen, dass die Fraktionen, die ... [PCB] enthalten, zu entfernen, getrennt zu halten und getrennt zu beseitigen sind“*; dies gilt allerdings nur *„soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist“* (PCBAbfallV 2000).



Foto: C. Herold

Abbildung A1 - 24: Abfälle der Sanierung einschließlich Fugenmasse sind auf dem Gelände verstreut



Foto: C. Herold

Abbildung A1 - 25: Ausgebaute Fenster mit anhaftender Fugenmasse und Hinterfüllmaterial

### 3.4 Überlegungen zu PCB-Emissionen aus Gebäuden

Am Fallbeispiel dieses in den 1960/1970er Jahren stark ausgebauten Stadtteils Tübingens sieht man die große Menge an verbauten PCB und ihre aktuelle Relevanz bei Sanierungs- und Abbrucharbeiten. Gerade hinsichtlich der heute in großer Zahl durchgeführten und staatlich geförderten energetischen Gebäudesanierungen ist es von besonderer Dringlichkeit, den fachgerechten Umgang mit PCB-haltigem Material sicherzustellen.

Es fehlt ein Gesamtinventar an PCB des Stadtviertels<sup>78</sup> und eine Abschätzung der in den letzten 40 bis 50 Jahren in die Umwelt gelangten Menge. Die in einer westdeutschen Stadt durchschnittlich verwendete PCB-Menge lässt sich grob abschätzen: Aus der Einwohnerzahl Westdeutschlands von 64,3 Millionen<sup>79</sup> und einer in offenen Anwendungen eingesetzten Menge von 24.000 Tonnen PCB berechnen sich 375 g PCB/Einwohner. Dies wären bei 70.000 Einwohnern Tübingens (Stand 1973) etwa 26 t. Bei dem abgeschätzten Verbleib von 50 bis 80% in offenen Anwendungen wären heute in Tübingen noch 13 bis 21 t PCB vorhanden. Da durch die großen Bauprojekte wie Universität, Kliniken oder Sportinstitut eine eher überdurchschnittliche Menge PCB verbaut wurde, dürfte die Menge an PCB höher liegen (die verbaute PCB-Menge auf der Morgenstelle kann man mit ca. 5 bis 10 t abschätzen). Bei Annahme von 0.06% Emission pro Jahr (siehe Abschnitt 1.5) und mit der über die Einwohnerzahl abgeschätzten durchschnittlich verbauten PCB-Menge (26 t) resultiert dies in einer Emission aus offener Anwendung durch Desorption von 16 kg PCB/Jahr für die Stadt Tübingen. Über einen Zeitraum von 40 bis 50 Jahren wäre dies eine Emission von mehr als 640 kg PCB, allein durch Desorption.

---

<sup>78</sup> Eine Abschätzung aus dem realen Baubestand bedürfte der Untersuchung weiterer Gebäude. Viele Fugen können durch bloßen Augenschein nicht erkannt werden, da sie z. B. durch Fassaden abgedeckt sind bzw. sich im Innenraum befinden.

<sup>79</sup> Einwohnerzahl Westdeutschlands nach Zensus 2011

Die Beispiele, die in diesem Kapitel für Tübingen und die in weiteren Kapiteln dieser Studie für andere Länder aufgeführte werden, machen deutlich, wie durch Sanierungsarbeiten zusätzlich PCB in die Umwelt gelangen können. Die bei Bau- und Sanierungsarbeiten freigesetzte PCB-Menge übersteigt die Menge der durch Desorption in die Umwelt gelangten PCB unseres Erachtens noch um ein Mehrfaches.

#### **4 Ursachen für den nicht adäquaten Umgang mit PCB-haltiger Bausubstanz und PCB-haltigen Bauwerken**

Offene PCB-Anwendung haben durch ihre Emissionen in die Umwelt während ihres gesamten Lebenszyklus eine hohe Relevanz für die Kontamination von Mensch (Meyer et al. 2013) und Nutztier (siehe F&E Bericht Kapitel 3). Geschlossene PCB-Anwendungen hatten und haben dagegen pro Tonne ein bedeutend geringeres Kontaminationspotenzial für die Umwelt und den Menschen. Erst unsachgemäßes Management von Altölen (z. B. Fiedler et al. 2000; Marnane 2012), Leckagen von älteren Transformatoren oder Kondensatoren (UNEP 2013) oder Unfälle einschließlich Bränden führen zur Exposition von Mensch, Tier und Umwelt. Anders als für geschlossenen PCB-Anwendungen gibt es in Deutschland für PCB-haltige Baumaterialien keine Verordnung, die die Inventarisierung, Kennzeichnung oder vollständige Beseitigung verlangt bzw. regelt. Es gibt keine systematische Herangehensweise und bisher nur erste Untersuchungen.

In den früher geltenden und in den heute bestehenden Gesetzen und Vorschriften wurden bzw. werden, trotz des höheren Expositionsrisikos durch offene Anwendungen, dennoch meist die PCB in den geschlossenen Anwendungen bevorzugt genannt (PCB-, PCT-, VC-Verbotsverordnung 1989, EG-Richtlinie 96/59/EG 1996, PCBAbfallV 2000, ChemVerbotsV 1993). Eine Inventarisierungspflicht und ein Verwendungsverbot gibt es nur für geschlossene Anwendungen. Dies liegt vermutlich zum einen daran, dass insgesamt mehr PCB in geschlossenen Anwendungen als in offenen Anwendungen eingesetzt wurden (z. B. Detzel et al. 1998) und sichergestellt werden musste, dass das vorhandene PCB-Reservoir nicht über Altöl und anderes Recycling in die Umwelt gelangt. Ein zweiter und vielleicht wichtigerer Grund ist, dass man, als die Gesetze zu PCB-Management erarbeitet wurden, wahrscheinlich nicht die Relevanz der offenen PCB-Anwendungen erkannt hat. So wurde erst kürzlich entdeckt, dass in ca. 20% aller Freibäder in der Schweiz (und sehr wahrscheinlich in ähnlicher Häufigkeit und größerer Dimension in Deutschland) PCB-haltige Farbanstriche in den Schwimmbecken verwendet worden waren und durch frühere Sanierungen Freibadareale kontaminiert wurden. Die Schweizer Kantone wurden zu einer Inventarisierung der PCB-Kontamination aller öffentlich zugänglichen Freibäder verpflichtet (Schweizer Arbeitsgruppe Interventionswerte und Risiko-beurteilung 2013). 2011 hat Bayern in einer ersten Pilotstudie PCB-Belastungen auf Grünlandflächen unter Strommasten untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass zum Teil der Maßnahmewert der BBodSchV überschritten wurde (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2011). Die Unkenntnis darüber, in welchen konkreten Bereichen PCB zum Einsatz kamen und in welchen Mengen sie in baulichen Anlagen (noch) vorhandenen sind, dürfte u. a. ein wichtiger Grund für die damalige Unterschätzung der Problematik der offenen PCB-Anwendung sein. Zudem wurden teilweise Schlussfolgerungen getroffen, dass die offen applizierten PCB entweder nicht rückholbar oder schon in der Umwelt verteilt sind (BMU 2013).

Auch wenn es für offene PCB-Anwendungen keine Pflicht zur Inventarisierung und kein Verbot der Weiterverwendung gibt, so ist doch die Entsorgung PCB-haltiger Materialien durch die PCB/PCT-Abfallverordnung (PCBAbfallV 2000) geregelt. Mit der PCB/PCT-Abfallverordnung, die

die Bundesregierung im Juni 2000 verabschiedete, wurde die EU-Richtlinie 96/59/EG des Rates von 1996 über die Beseitigung polychlorierter Biphenyle und polychlorierter Terphenyle umgesetzt.

Die PCB/PCT-Abfallverordnung definiert PCB, PCB-haltige Geräte und PCB-Abfall, bestimmt die der Dekontaminierung und Beseitigung vorausgehenden Schritte, gibt Mindestanforderungen an Dekontaminierung und Beseitigung vor und legt fest, wer unter welchen Voraussetzungen mit diesen Stoffen umgehen darf (BMU 2003). Nach PCB/PCT-Abfallverordnung ist beim Umgang mit allen Materialien<sup>80</sup>, die PCB in Konzentrationen von mehr als 50 mg/kg enthalten, die Verordnung einzuhalten. Als PCB-haltig gelten auch aus Einzelteilen zusammengesetzte Erzeugnisse, wenn ein Einzelteil den Grenzwert von 50 mg/kg überschreitet. Materialien, bei denen der Verdacht besteht, dass sie PCB-haltig sind, gelten als PCB-haltig, solange der Besitzer nicht nachgewiesen hat, dass sie PCB-frei sind. Die PCB/PCT-Abfallverordnung verlangt, dass aus Abfällen, die bei Bautätigkeiten anfallen, bereits vor einer Sortierung alle PCB-haltigen Materialien entfernt werden. Diese sind getrennt zu halten und getrennt zu beseitigen. Die PCB-Beseitigungsunternehmen sind verpflichtet, über die beseitigten PCB-Abfälle Buch zu führen und dieses Register den Behörden und der Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Neben der PCB/PCT-Abfallverordnung regeln weitere Bundesgesetze, wie die Chemikalienverbotsverordnung (ChemVerbotsV 1993) und die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV 2010), den Umgang mit PCB-haltiger Bausubstanz. Nach Artikel 31 des Grundgesetzes „Bundesrecht bricht Landesrecht“<sup>81</sup> sind die Gesetze des Bundes einzuhalten, selbst wenn die Gesetze und Rechtsverordnungen in dem jeweiligen Bundesland davon abweichen.

Parallel zu den bundesdeutschen Gesetzen, regelt auf Länderebene die jeweils länderspezifischen „Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie)“ den Umgang mit PCB-haltiger Bausubstanz (Abschnitt 4.2). Die PCB-Richtlinie (ARGEBAU) wurde 1994 von der Fachkommission Baunormung der Arbeitsgemeinschaft für das Bau, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister der Länder (ARGEBAU) als technische Muster-Regel festgelegt (ARGEBAU 1994). Sie soll „für Gebäudeeigentümer und -nutzer sowie Baufachleute“ Hinweise geben, „wie Bauprodukte, die polychlorierte Biphenyle (PCB) enthalten, gesundheitlich zu bewerten sind, wie Sanierungen durchgeführt werden können, welche Schutzmaßnahmen dabei beachtet werden müssen, wie die Abfälle und das Abwasser zu entsorgen sind und wie sich der Erfolg der Sanierung kontrollieren lässt“ (ARGEBAU 1994). Die PCB-Richtlinie der ARGEBAU (und damit die PCB-Richtlinien der Bundesländer) konzentriert sich ausschließlich auf Gebäude und erwähnt andere offene Anwendungen (Schwimmbäder, Elektromasten, Brücken, etc.) nicht. Sie bewertet die Gesundheitsgefahr durch eine PCB-Belastung der Luft in Innenräumen und gibt Anweisungen, wie vorzugehen ist, wenn erhöhte PCB-Konzentrationen gemessen wurden (Abschnitt 4.1). Sie orientiert sich an den Erkenntnissen in Wissenschaft und Technik von 1994. Die PCB-Richtlinie (ARGEBAU) wurde 2010 ergänzt/geändert (ARGEBAU 2011). Dabei wurde sie jedoch nicht an den aktuellen Stand von Wissenschaft, Technik und bundesdeutscher Gesetzgebung angepasst.

Den Umgang mit Kontaminationen durch Gefahrstoffe regeln die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), insbesondere die TRGS 524 „Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen“. Die TRGS 524 ist bei allen Arbeiten an PCB-haltiger Bausubstanz zu

---

<sup>80</sup> Die PCB/PCT-Abfallverordnung spricht von Stoffen und Zubereitungen im Sinne des Chemikaliengesetzes

<sup>81</sup> [http://www.gesetze-im-internet.de/gg/art\\_31.html](http://www.gesetze-im-internet.de/gg/art_31.html)

beachten. Die Technischen Regeln werden vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) aufgestellt und von ihm der Entwicklung entsprechend angepasst (TRGS 001). Die TRGS werden vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) bekannt gegeben. Die Regeln haben keine Gesetzeskraft. Jedoch können die Behörden bei Einhaltung dieser Regeln davon ausgehen, dass die Anforderungen der Gefahrstoffverordnung und des Arbeitsschutzgesetzes eingehalten sind. Bei Abweichungen ist gegenüber den Kontrollbehörden nachzuweisen, dass durch andere Maßnahmen der gleiche sicherheitstechnische Standard gewährleistet ist.

Das Nebeneinander von aktuellen bundesdeutschen Gesetzen und Regeln und überholten länderspezifischen Gesetzen führt zu Unsicherheit, Verwirrung und Fehleinschätzungen und hat zur Folge, dass PCB in offenen Anwendungen teilweise nicht identifiziert, nicht fachgerecht ausgebaut und nicht gesetzeskonform entsorgt werden (Kapitel 3 und Abschnitt 4.3).

#### **4.1 Die kommunizierte Risikobewertung wird der Gefahr durch PCB nicht gerecht**

Von Bauprodukten darf bei ordnungsgemäßer Anwendung keine Gefahr für die Gebäudenutzer ausgehen. Die PCB-Richtlinie des jeweiligen Bundeslandes soll dazu dienen, das Risiko einer Gesundheitsschädigung durch PCB zu bewerten und gegebenenfalls durch geeignete Maßnahmen zu reduzieren. Als mögliche Gefahr gilt die PCB-Konzentration in der Atemluft und nicht das PCB-haltige Baumaterial selbst. Die PCB-Richtlinie der ARGEBAU wurde 1994 erarbeitet. So gut wie alle Einstufungen, Bewertungen und Handlungsempfehlungen, die 1994 als sachgerecht galten, wurden bis heute beibehalten. Sie sind zwischenzeitlich überholt und stehen z. T. in Widerspruch zu den heute bestehenden Gesetzen, Regeln und Grenzwerten.

2004 trat das Stockholmer Übereinkommen (POP-Konvention) in Kraft. Das Stockholmer Übereinkommen ist ein weltweit globales Abkommen, das darauf abzielt, die Produktion, Verwendung und Freisetzung von besonders gefährliche Pestiziden und Chemikalien, darunter PCB, zu beenden bzw. zu beschränken. Deutschland hat das Stockholmer Übereinkommen unterzeichnet. Andererseits werden in Deutschland PCB-belastete Gebäude anhand der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) bewertet und Gebäude werden als PCB-frei eingestuft, wenn die PCB-Konzentration in der Raumluft den Vorsorgewert von  $300 \text{ ng/m}^3$  unterschreitet, selbst wenn große Mengen PCB vorhanden sind (z. B. in den Außenfugen).

Seit 2003 gibt es weltweit ein einheitliches System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien. Nach GHS (Globally Harmonized System) werden krebserzeugende (carcinogen), erbgutgefährdende (mutagen) und fruchtschädigende (reproduktionstoxisch) Stoffe, sog. CMR-Stoffe, mit dem Gefahrenpiktogramm „Totenkopf“ gekennzeichnet (UBA 2009). PCB sind sowohl als krebserzeugend, wie auch als mutagen und fruchtschädigend eingestuft (Lauby-Secretan et al. 2013, DFG 2012). PCB-haltige Produkte müssen deshalb das Gefahrensymbol „Totenkopf“ tragen. In der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) wird noch die veraltete Einstufung „mindergiftig“ verwendet. Die Gefahrenbezeichnung „mindergiftig“ ist seit 1995 generell nicht mehr erlaubt, weil sie die Gefahr verharmlost. Die Gefahrstoffkennzeichnung „mindergiftig“ neben dem Gefahrensymbol „Andreaskreuz“ wurde damals durch die Bezeichnung „gesundheitsschädlich“ ersetzt. Das Warnsymbol „Andreaskreuz“, das für PCB-haltige Abfälle verwendet wurde, hat heute seine Warnfunktion verloren, ist es doch auch auf vielen Haushaltsreinigern zu finden. Es stellt, wie oben erwähnt, auch nicht die geeignete Einstufung für PCB dar.

In der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) wird die maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert), die für Arbeiter mit Gefahrstoffumgang gilt, mit 0,7 bzw.  $1,1 \text{ mg PCB/m}^3$  angegeben. Der MAK-Wert für PCB wurde inzwischen auf  $3.000 \text{ ng PCB/m}^3$  (berechnet als Summe der Indikator-PCB x Faktor 5) abgesenkt (DFG 2012). Die PCB-Richtlinie (ARGEBAU) wurde nicht geändert. Somit wird auch weiterhin der Eindruck erweckt, es gebe einen Sicherheitsabstand von mindestens

zwei Größenordnungen zwischen Gefahrenwert der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) und ersten möglichen Gesundheitsschäden.

In der PCB-Richtlinie der ARGEBAU werden Einstufungen und Grenzwerte aufgelistet, die überholt sind und die geeignet sind, die Gefahr zu verharmlosen. Da PCB zu den gefährlichsten Schadstoffen gehören, ist eine fachlich und rechtlich richtige Bewertung notwendig sowie eine angemessene Risikokommunikation, die auf das Gefahrenpotenzial hinweist.

Der größte Teil (> 90%) der im menschlichen Körper akkumulierten Dioxine und PCB stammt aus der Nahrung (UBA 2003b). Deshalb wird oft darauf hingewiesen, dass die Hauptaufnahme von PCB über die Nahrung erfolgt und die PCB-Aufnahme über die Raumluft nur eine kleine Zusatzbelastung darstelle (UBA 2003b; Ewers 2005). Dies ist jedoch zu relativieren für Menschen, die sich in PCB-belasteten Gebäuden aufhalten. Meyer et al. (2013) untersuchten in Dänemark das Blut von Bewohner eines Gebäudes, in dem PCB-haltige Fugenmassen im Innenraum angebracht waren. In der Raumluft waren fast ausschließlich niederchlorierte PCB vorhanden. Die mittlere Raumluft-Konzentration lag bei 1.030 ng PCB/m<sup>3</sup>. Meyer et al. (2013) verglichen die Konzentrationen von 27 PCB-Kongeneren im Blut der Bewohner mit den Konzentrationen im Blut einer Kontrollgruppe. Die Konzentrationen der hochchlorierten PCB, die im menschlichen Körper akkumulieren, u. a. PCB-138, PCB-153 und PCB-180, waren bei der PCB-exponierten Gruppe kaum höher als bei der Kontrollgruppe. Diese Kongenere waren in der Raumluft nur in sehr geringen Konzentrationen vorhanden. Diejenigen Kongenere, die ein Potenzial zur Bioakkumulation haben, stammten bei beiden Gruppen offensichtlich tatsächlich überwiegend aus der Nahrung. Die Gesamt-PCB-Konzentration (Summe von 27 Kongeneren) lag im Blut der Bewohner der PCB-belasteten Wohnungen jedoch viermal höher als bei der Kontrollgruppe. Die niederchlorierten PCB-Kongenere, die in der Raumluft in hohen Konzentrationen vorhanden waren, erreichten im Blut Konzentrationen, die die Konzentrationen derjenigen PCB, die über die Nahrung aufgenommen werden, deutlich überstiegen. Berücksichtigt werden muss noch zusätzlich, dass die niederchlorierten PCB kein Potenzial zur Bioakkumulation im menschlichen Körper haben, weil sie schnell abgebaut werden. Wären die niederchlorierten PCB im Menschen ebenso persistent wie die hochchlorierten Indikator-PCB, so wäre die im Blut gemessene Konzentration der niederchlorierten PCB noch weit höher gewesen (Norström et al. 2010 und Abschnitt 2.2). Die zusätzliche PCB-Aufnahme in belasteten Gebäuden ist somit nicht so gering wie bisher angenommen wurde. Das zeigt auch die folgende Abschätzung.

Der Gefährdungsabschätzung der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) liegt der alte TDI (tolerierbare tägliche Aufnahme) für PCB zugrunde: Es wird davon ausgegangen, dass eine tägliche PCB-Aufnahme von 1.000 ng PCB pro kg Körpergewicht beim Menschen keine Schädigung hervorruft. Aus diesem TDI wurde ein Gefahrenwert in Höhe von 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup> abgeleitet (ARGEBAU 1994, Abschnitt 3). Bei Raumluftkonzentrationen in Höhe des Gefahrenwertes von 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup>, liegt die PCB-Aufnahme über die Raumluft bei 24-stündiger Exposition<sup>82</sup> bei 1.000 ng PCB pro kg Körpergewicht und Tag und schöpft damit den alten TDI genau aus. Die tolerierbare tägliche Aufnahme (TDI) wurde von der WHO im Jahr 2003 jedoch neu bewertet (WHO 2003) und auf 20 ng PCB/(kg KG\*Tag) festgelegt. Der neue TDI liegt nun ebenso hoch wie die durchschnittliche tägliche PCB-Aufnahme über die Nahrung für einen Erwachsenen in

---

<sup>82</sup> Die PCB-Richtlinie der ARGEBAU von 1994 erlaubte höhere Raumluftkonzentrationen bei entsprechend kürzerer Aufenthaltszeit. Dies wurde in einigen Bundesländern praktiziert. Das Hochrechnen der Grenzwerte bei kürzerer Aufenthaltsdauer ist seit 2011 nicht mehr erlaubt (ARGEBAU 2011)

Deutschland (BfR 2010). Bei Ausschöpfen des Gefahrenwertes der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) liegt rechnerisch die PCB-Aufnahme über die Luft um den Faktor 50 höher als die PCB-Aufnahme über Lebensmittel. Selbst bei einer PCB-Raumluftkonzentration in Höhe des Vorsorgewerts ( $300 \text{ ng/m}^3$ ) liegt die Exposition noch um den Faktor 5 über der Exposition durch die Nahrung. Bereits bei Raumluftkonzentrationen von ca.  $60 \text{ ng PCB/m}^3$  wären die PCB-Aufnahme über Raumluft und Nahrung etwa gleich und die Aufnahme über jeden Aufnahmepfad läge in Höhe des aktuellen TDI der WHO (WHO 2003). PCB wurden Anfang des Jahres 2013 durch das International Agency for Research on Cancer (IARC) als Karzinogen der Gruppe 1 eingestuft (Lauby-Secretan et al. 2013). Das IARC weist darauf hin, dass auch die Innenraumluft zur Exposition des Menschen beitragen kann (Lauby-Secretan et al. 2013). Das IARC betont, dass im Körper aus niederchlorierten PCB leicht hochreaktive Abbauprodukte entstehen, die genotoxisch und mutagen wirken (Lauby-Secretan et al. 2013). PCB-Abbauprodukte wirken auf das Hormonsystem. Manche verdrängen Schilddrüsenhormone von ihrem Transportmolekül (Grimm et al. 2013). Andere wirken östrogenartig oder antiöstrogen. Dies kann zu negativen Auswirkungen auf die Gesundheit, auf die Fortpflanzung und zu Krebs führen (Lauby-Secretan et al. 2013).

Während Sanierungsarbeiten und Bauarbeiten an PCB-belasteten Gebäuden oder baulichen Anlagen können größere Mengen PCB freigesetzt werden (siehe Kapitel 3; Jartun et al. 2009, Knechtenhofer 2009, Herrick 2010). An der PCB-belasteten Ruhr-Universität Bochum waren Mitarbeiter verunsichert, als Handwerker bei Reparaturarbeiten Schutzkleidung trugen, während sie selbst im gleichen Raum ungeschützt am Schreibtisch saßen. Die Universität informierte auf ihrem PCB-Informationsportal wie folgt: *„Wenn in Ihrem Bereich, beispielsweise in Ihrem oder angrenzenden Büros, Arbeiter mit solchen Ausrüstungen agieren, so ist das kein Grund zur Beunruhigung. Es entspricht den gesetzlichen Vorschriften und dem hohen Standard des Arbeitsschutzes in Deutschland und gilt insbesondere für Arbeiten, bei denen Staub entsteht.“* (Ruhr-Universität Bochum 2014b). Solche Hinweise entstehen, weil die PCB-Richtlinie nur die Gefährdung durch PCB-haltige Raumluft bei Normalbedingungen berücksichtigt und die PCB-haltigen Materialien, die ein großes Reservoir für PCB darstellen, ignoriert. Für Arbeiter hingegen, gelten besondere Schutzvorschriften, wenn bei Arbeiten Schadstoffe vorhanden sind oder freigesetzt werden können.

## **4.2 Die Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie)**

### **4.2.1 Geltungsanspruch und tatsächlicher Geltungsbereich der PCB-Richtlinie**

Die PCB-Richtlinie der ARGEBAU (Arbeitsgemeinschaft der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder) gilt für die Bewertung und Sanierung von Gebäuden, in denen Bauprodukte oder Bauteile enthalten sind, die PCB in offener Anwendung enthalten (Primärquellen) oder damit kontaminiert sind (Sekundärquellen). Sie soll „für Gebäudeeigentümer und -nutzer sowie Baufachleute“ Hinweise geben, „wie Bauprodukte, die polychlorierte Biphenyle (PCB) enthalten, gesundheitlich zu bewerten sind, wie Sanierungen durchgeführt werden können, welche Schutzmaßnahmen dabei beachtet werden müssen, wie die Abfälle und das Abwasser zu entsorgen sind und wie sich der Erfolg der Sanierung kontrollieren lässt“ (ARGEBAU 1994 Einleitung).

Das Bauordnungsrecht liegt im Zuständigkeitsbereich der Bundesländer. Die Länder stimmen sich jedoch in der Arbeitsgemeinschaft der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder (ARGEBAU), über die Gesetzgebung ab. Das wichtigste Gremium ist die einmal im Jahr tagende Konferenz der Minister und Senatoren (Bauminister-

konferenz), an der auch regelmäßig der/die für das Bauwesen zuständige Bundesminister/-in teilnimmt. Von der Bauministerkonferenz verabschiedete Mustervorschriften und Mustererlasse dienen als Grundlage für die Umsetzung in spezifisches Landesrecht. Sie entfalten somit keine unmittelbare Rechtswirkung. Jedes Land entscheidet, in welchem Umfang die Landesregelung dem Muster folgt (Bauministerkonferenz 2014). Die PCB-Richtlinien sind in den Landesbauordnungen der jeweiligen Bundesländer als Technische Baubestimmungen bauaufsichtlich eingeführt. Sie lehnen sich an die (Muster-)PCB-Richtlinie der ARGEBAU an, weichen jedoch z. T. in Einzelheiten oder, wie die PCB-Richtlinie NRW, in größeren Teilen von ihr ab<sup>83</sup>. Auch wurden nicht alle Abschnitte der PCB-Richtlinie der ARGEBAU<sup>84</sup> von den Bundesländern übernommen. Der Stand der Umsetzung der Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen in den einzelnen Bundesländern wird vom Deutschen Institut für Bautechnik veröffentlicht<sup>85</sup>.

Die PCB-Richtlinie (ARGEBAU) orientiert sich an den Erkenntnissen in Wissenschaft und Technik von 1994. Die damaligen Grenzwerte, Einstufungen, Vorschriften und toxikologischen Bewertungen für den Umgang mit PCB sind heute jedoch überholt (siehe Abschnitt 4.1). Die in Anhang 1 der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) aufgeführte Liste über „Gesetze, Verordnungen und technische Regelwerke zum Arbeitsschutz und zur Entsorgung PCB-belasteter Produkte“ wurde seit 1994 nicht aktualisiert. Daher erfüllen die darauf gründenden Handlungsanweisungen die heute geltenden Regeln und Gesetzen nicht. Zudem dienen Grenzwerte des Bauordnungsrechts nur der Gefahrenabwehr und berücksichtigen nicht das Vorsorgeprinzip der europäischen Gesundheits- und Umweltpolitik. Mit den PCB-Richtlinien der einzelnen Bundesländer wurde die PCB-Richtlinie der ARGEBAU, z. T. mit Abänderungen, in das jeweilige Landesrecht umgesetzt. Die Gesetze des Bundes stehen über dem Landesrecht. Die bundesdeutschen Gesetze sind deshalb einzuhalten, selbst wenn die Gesetze und Rechtsverordnungen in dem jeweiligen Bundesland davon abweichen; ebenso hat das EU-Recht ein höheres Gewicht als das Recht der Mitgliedsstaaten<sup>86</sup>.

Die PCB-Richtlinie der ARGEBAU bzw. die PCB-Richtlinien der Länder stehen in Widerspruch zu den folgenden Gesetzen/Rechtsverordnungen:

---

<sup>83</sup> So übernahmen einzelne Bundesländer, wie Bayern und Baden-Württemberg, nicht den Zielwert für die Raumluftkonzentration von 300 ng PCB/m<sup>3</sup> und den Gefahrenwert von 3000 ng PCB/m<sup>3</sup>, sondern erlaubten, bei kürzeren Aufenthaltszeiten, entsprechend höhere Raumluftkonzentrationen; z. B. galt bei einem 8-Stunden-Arbeitstag ein Zielwert von 900 ng PCB/m<sup>3</sup> und ein Gefahrenwert von 9000 ng PCB/m<sup>3</sup>.

- NRW, das 1996 die PCB-Richtlinie in die Landesbauordnung übernahm, erwähnt als einziges Bundesland den Grenzwert von 50 mg PCB/kg, der für PCB-haltige Abfälle gilt und betont, dass aufgrund der hohen PCDD/F-Konzentrationen in PCB-Primärquellen besondere Vorschriften zu beachten sind (z. B. Anzeigepflicht vor Beginn der Arbeiten, Grenzwerte der Gefahrstoffverordnung für 2,3,7,8-substituierte PCDD/F, MAK-Wert für PCDD/F). NRW weist auch darauf hin, dass bei Raumluftkonzentrationen oberhalb von 3000 ng PCB/m<sup>3</sup> akute Gesundheitsgefahren nicht auszuschließen sind (<http://www.katumwelt.de/icheck/dokumente/pcb NRW.htm>).

<sup>84</sup> Von der Einführung sind nur die Abschnitte 1, 2, 3, 4.1, 4.2, 5.1, 5.2, 5.4 und 6 erfasst. (Muster – Liste der Technischen Baubestimmungen)

<sup>85</sup> Muster-Liste Länder <https://www.dibt.de/de/Service/Dokumente-Listen-TBB.html>

<sup>86</sup> Artikel 31 des Grundgesetzes „Bundesrecht bricht Landesrecht“

<sup>86</sup> [http://www.gesetze-im-internet.de/gg/art\\_31.html](http://www.gesetze-im-internet.de/gg/art_31.html), Vorrang des EU-Rechts:  
[http://europa.eu/legislation\\_summaries/institutional\\_affairs/decisionmaking\\_process/114548\\_de.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/institutional_affairs/decisionmaking_process/114548_de.htm)

- EG-Richtlinie 96/59/EG (1996) über die Beseitigung polychlorierter Biphenyle und polychlorierter Terphenyle (PCB/PCT).

Die EG-Richtlinie über die Beseitigung von PCB/PCT zielt auf die vollständige Beseitigung von PCB ab (Artikel 1). Für Geräte mit mehr als 5 dm<sup>3</sup> PCB ist eine Bestandaufnahme durchzuführen (Artikel 4).

Die PCB-Richtlinie (ARGEBAU) bewertet ausschließlich die Luftkonzentration. Gebäude mit einer Raumluftkonzentration unter dem Vorsorgewert (300 ng PCB/m<sup>3</sup>) werden als PCB-frei definiert.

- Die bundesdeutsche PCB/PCT-Abfallverordnung von Juni 2000.

Die PCB-Abfallverordnung setzt die europäische Richtlinie 96/59/EG, die auf die vollständige Beseitigung von PCB abzielt, in nationales Recht um. Auch internationale Verpflichtungen flossen nach Angabe des BMU in die PCB-Abfallverordnung ein: *„Auf internationaler Ebene haben die Minister der Nordseeanrainerländer bei der 3. Internationalen Nordseeschutzkonferenz (INK) im März 1990 Maßnahmen beschlossen, um zu verhindern, dass PCB und gefährliche PCB-Ersatzstoffe in die Meeresumwelt gelangen. Zu diesem Zweck sind Maßnahmen zur möglichst baldigen schrittweisen Einstellung der Verwendung und zur umweltverträglichen Vernichtung aller identifizierbaren PCB zu ergreifen, deren Ziel die völlige Vernichtung ist.“* (BMU 2003)

Nach PCB-Abfallverordnung sind Abfälle, die PCB in Konzentrationen von 50 mg/kg oder mehr enthalten, wie PCB zu entsorgen.

- In der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) sind keine Grenzkonzentrationen für PCB-haltige Materialien angegeben. Materialien mit PCB-Konzentrationen unter einem Gewichtsprozent (10.000 mg/kg) werden von der PCB-Richtlinie nicht als PCB-haltige Produkte angesehen, sondern als herstellungsbedingte Verunreinigung (ARGEBAU 1994 Einleitung).

Die PCB/PCT-Abfallverordnung verlangt: „Zur Gewährleistung einer ordnungsgemäßen und schadlosen Verwertung sowie zur gemeinwohlverträglichen Abfallbeseitigung ist beim Entstehen von Abfällen, die bei Bautätigkeiten anfallen, bereits vor einer Sortierung sicherzustellen, dass die Fraktionen, die ... [PCB] enthalten, zu entfernen, getrennt zu halten und getrennt zu beseitigen sind“; dies gilt allerdings nur „soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist“ (PCBAbfallV 2000). Nach PCB/PCT-Abfallverordnung sind Abfälle, die PCB in Konzentrationen von 50 mg/kg oder mehr enthalten, wie PCB zu entsorgen.

- Die PCB-Richtlinie (ARGEBAU) enthält erst seit 2010 die Bestimmung, dass vor dem Abbruch baulicher Anlagen, die PCB-haltige Produkte enthalten, diese Produkte zu entfernen sind. Die PCB-Richtlinie verlangt jedoch die vorherige Entfernung nur für den Fall eines Abbruchs, während die PCB/PCT-Abfallverordnung PCB-Abfälle bei allen Bautätigkeiten reguliert. Zudem sind PCB-haltige Produkte im Sinne der PCB-Richtlinie der ARGEBAU nur Materialien mit PCB-Gehalten über 10.000 mg/kg, während in der PCB/PCT-Abfallverordnung der Grenzwert für PCB-Abfall bei 50 mg/kg liegt.

- Die EG-POPs-Verordnung EG Nr. 850/2004 (Europäische Kommission 2004).

Nach EG-POPs-Verordnung, Artikel 5, müssen Besitzer von Lagerbeständen von über 50 kg, die aus PCB bestehen oder die PCB enthalten, die zuständige Behörde des Mitgliedstaats über Beschaffenheit und Größe dieser Bestände unterrichten. Die Besitzer müssen diese Lagerbestände auf sichere, effiziente und umweltgerechte Weise bewirtschaften. Die Mit-

gliedstaaten haben die Verwendung und Bewirtschaftung der gemeldeten Lagerbestände zu überwachen.

- Die PCB-Richtlinie (ARGEBAU) hält das Vorhandensein PCB-haltiger Materialien für unbedenklich, solange durch ihre Ausgasungen bestimmte Raumluf-Grenzkonzentrationen nicht überschritten werden. Erhöhte Raumluf-Konzentrationen sind durch verstärktes Lüften und durch Entfernen PCB-haltigen Hausstaubs zu reduzieren. Nur bei sehr hohen Raumlufkonzentrationen (Gefahrenwert) wird ein Eingriff in PCB-haltige Materialien als notwendig angesehen, um die Emissionen aus Baumaterialien zu verringern. Das Entfernen von PCB ist dabei nicht vorgeschrieben. Eine Abschottung der Materialien gegenüber der Raumluf wird als gleichwertige Sanierungsmaßnahme angesehen. Die PCB-Richtlinie (ARGEBAU) weist nicht auf die Konzentrationsgrenzen hin, die nach EG-POPs-Verordnung, Anhang IV, beim Umgang mit PCB- und Dioxin-haltigen Abfällen zu beachten sind (EG-POPs-Verordnung, Anhang IV 2006).
- Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), insbesondere die TRGS 524 „Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen“ von Februar 2010.

Die TRGS geben den jeweils aktuellen Stand der Technik, der Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene wieder. Sie berücksichtigen sowohl die gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnisse, als auch die Einstufung und Kennzeichnung von Gefahrstoffen. Sie werden vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) aufgestellt und von ihm der Entwicklung entsprechend angepasst (TRGS 001). Die TRGS werden vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) im Gemeinsamen Ministerialblatt (GMBL) bekannt gegeben. Bei Einhaltung der TRGS kann der Arbeitgeber davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der Gefahrstoffverordnung erfüllt sind (TRGS 524).

Die Vorschriften der TRGS 524 sind bei allen Abbruch-, Sanierungs-, Instandhaltungs- und Umbauarbeiten in Verbindung mit Tätigkeiten mit PCB-haltigen Bauprodukten (z. B. Fugenmassen, Anstriche) incl. Beseitigung der Sekundärquellen (TRGS 524 Abschnitt 2.3 (2) 13) einzuhalten. Dabei ist es unerheblich, aus welchen Gründen die Arbeiten durchgeführt werden. Vor Beginn der Arbeiten muss ein Arbeits- und Sicherheitskonzept erstellt werden. Die Arbeiten dürfen nur von Fachfirmen ausgeführt werden, die über die entsprechende Erfahrung verfügen.

- In der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) wird die Einhaltung von Schutzmaßnahmen nur bei Sanierungen verlangt, die wegen Überschreitung des Gefahrenwertes durchgeführt werden müssen. Die in der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) beschriebenen und aufgelisteten Vorschriften zum Arbeitsschutz bleiben weit hinter den heutigen Anforderungen zurück. In der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) wird nicht verlangt, dass bei diesen „PCB-Sanierungen“ alle PCB-haltigen Materialien entfernt werden. Bei Arbeiten an Gebäuden, die bereits „PCB-saniert“ wurden, muss deshalb weiterhin mit PCB gerechnet und die TRGS 524 angewandt werden.
- Die Berufsgenossenschaftlichen Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BGR-Regeln), insbesondere die BGR 128 „Kontaminierte Bereiche“ von April 1997.

Die Bestimmungen der BGR 128 wurden 2010 in die TRGS 524 (s.o.) integriert.

2011 wurde die PCB-Richtlinie (ARGEBAU) auf Empfehlung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK 2007) um einen Gefahrenwert für dl-PCB ergänzt (ARGEBAU 2011). Zudem gilt der Gefahrenwert für Gesamt-PCB von  $3.000 \text{ ng/m}^3$  nun unab-

hängig von der täglichen Aufenthaltsdauer<sup>87</sup>. Die Vorgabe der deutschen PCB-Abfallverordnung, dass PCB-haltige Bauteile vor dem Beginn von Bauarbeiten zu entfernen sind, wurde zwar in die PCB-Richtlinie aufgenommen, jedoch auf Abbrucharbeiten beschränkt. Der Grenzwert der PCB-Abfallverordnung von 50 mg/kg wurde allerdings nicht übernommen<sup>88</sup>. Nach PCB-Richtlinie (ARGEBAU) gelten nur Materialien mit mehr als einem Gewichtsprozent PCB als Primärquellen. Die Anpassung an neue Grenzwerte (z. B. TDI für PCB), Arbeitsmethoden (z. B. neue Verfahren zum Entfernen von Fugenflanken und Beschichtungen), und Regeln (Technische Regeln für Gefahrstoffe insbes. TRGS 524) und Einstufungen (siehe Abschnitt 4.1) unterblieb.

Abschnitt 1 der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) gibt den Geltungsbereich an: *„Die Richtlinien gelten für die Bewertung und Sanierung von Gebäuden, in denen Bauprodukte oder Bauteile enthalten sind, die PCB in offener Anwendung enthalten (Primärquellen) oder damit kontaminiert sind (Sekundärquellen)“*.

Die PCB-Richtlinie *„enthält Hinweise für Gebäudeeigentümer und -nutzer sowie Baufachleute, wie Bauprodukte, die polychlorierte Biphenyle (PCB) enthalten, gesundheitlich zu bewerten sind, wie Sanierungen durchgeführt werden können, welche Schutzmaßnahmen dabei beachtet werden müssen, wie die Abfälle und das Abwasser zu entsorgen sind und wie sich der Erfolg der Sanierung kontrollieren lässt“* (PCB-Richtlinie der ARGEBAU, Einleitung).

Dieser umfassende Geltungsanspruch der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) führt dazu, dass oft selbst von Gutachtern und Baufachleuten diese PCB-Richtlinie als die für den Umgang mit PCB-haltiger Bausubstanz allein geltende Vorschrift angesehen wird. Die PCB-Richtlinie (ARGEBAU) gibt zum Teil sehr detaillierte Handlungsanweisungen zu Sanierungsverfahren, Schutzmaßnahmen für Arbeiter und zur Abfall- und Abwasserentsorgung. Dies verleitet offensichtlich zu der Annahme, in der Richtlinie sei alles berücksichtigt und bis ins Einzelne durchdacht und geregelt. Wie einige der in diesem Bericht aufgeführten Beispiele in Kapitel 3 zeigen, wird zuweilen davon ausgegangen, was in der PCB-Richtlinie nicht erwähnt und reguliert sei, sei nicht relevant.

Tatsächlicher Geltungsbereich der PCB-Richtlinie:

- Die PCB-Richtlinie gilt nicht für Bauten wie z. B. Brücken, Masten oder Freibäder.
- Die PCB-Richtlinie beurteilt die Gebäude anhand der PCB-Konzentration in der Innenraumlufte. Sie beurteilt nicht die PCB-haltigen Materialien.
- Alleiniges Kriterium für die Sanierungsdringlichkeit ist das konkrete Gesundheitsrisiko von Gebäudenutzern.
- Die PCB-Richtlinie beurteilt die Gefährdung von Gebäudenutzern allein über die Aufnahme von PCB durch eingeatmete Raumlufte unter Normalbedingungen.

---

<sup>87</sup> Zuvor war es den Bundesländern freigestellt, bei kürzerer täglicher Aufenthaltsdauer als 24 Stunden, den Gefahrenwert entsprechend höher anzusetzen. Davon machten manche Bundesländer Gebrauch und betrachteten in Schulen und bei Büroarbeitsplätzen den Gefahrenwert erst bei mehr als 9.000 ng PCB/m<sup>3</sup> als überschritten.

<sup>88</sup> Ausnahme PCB-Richtlinie von Nordrhein-Westfalen, die bereits 1996 diesen Grenzwert der Chemikalienverbotsverordnung aufführt.

- Als „PCB-Sanierungen“ werden nur diejenigen Sanierungen bezeichnet, die wegen Überschreitung des Gefahrenwertes (3.000 ng PCB/m<sup>3</sup>) durchgeführt werden müssen. Sanierungen und Bauarbeiten, die aus anderen Gründen durchgeführt werden, werden von der PCB-Richtlinie nicht geregelt und nicht erwähnt.
- „PCB-Sanierungen“ nach PCB-Richtlinie haben nicht zum Ziel, PCB vollständig aus dem Gebäude zu entfernen, sondern nur, die Raumluftkonzentration zu senken. Das Umhüllen und Beschichten PCB-haltiger Materialien wird als Sanierungsmaßnahme angesehen, die dem Entfernen PCB-haltiger Materialien gleichwertig ist<sup>89</sup>.
- Gebäude, die (noch) PCB-haltige Baumaterialien enthalten, gelten nach PCB-Richtlinie als unbedenklich, wenn der Vorsorgewert (300 ng PCB/m<sup>3</sup>) unterschritten ist.

Die PCB-Richtlinie steht in Widerspruch zu den Vorgaben der Technischen Regeln für Gefahrstoffe. Dies kann zu einer Gefährdung von Arbeitern führen. Sie steht in Widerspruch zu geltenden Gesetzen, wie der PCB-Abfallverordnung, der Gefahrstoffverordnung und der EG-POPs-Verordnung und dient nicht dem vorsorgenden Umweltschutz.

Die Risikoabschätzung der PCB-Richtlinie wurde nicht an neue toxikologische Erkenntnisse angepasst (siehe Abschnitt 4.2.2). Das Festhalten an überholten Grenzwerten und lückenhaften Risikoeinschätzungen führt zur Gefährdung von Gebäudenutzern. Dies wird in den folgenden Abschnitten näher ausgeführt.

#### **4.2.2 Die meisten Gebäude mit PCB-haltiger Bausubstanz gelten nach PCB-Richtlinie als PCB-frei**

Gebäude, die auf PCB untersucht werden, gelten als PCB-frei, wenn der Vorsorgewert der PCB-Richtlinie von 300 ng PCB/m<sup>3</sup> unterschritten ist. In manchen Bundesländern, z. B. in Bayern, lag der Vorsorgewert bis zum Jahr 2011 bei 900 ng/m<sup>3</sup>. Es ist nicht bekannt, wie viele Gebäude, die nach PCB-Richtlinie des jeweiligen Bundeslandes als PCB-frei eingestuft wurden, tatsächlich PCB enthalten. Das soll im Folgenden abgeschätzt werden.

Das Schweizer Bundesamt für Umwelt ließ öffentliche Gebäude aus der Bauzeit 1950 - 1980, die in Betonbauweise errichtet worden waren, auf PCB untersuchen. Bei 41% der Gebäude mit PCB-haltiger Fugenmasse lag die Raumluftkonzentration unter 300 ng PCB/m<sup>3</sup>, bei 33% zwischen 300 und 1.000 ng PCB/m<sup>3</sup>, bei 26% über 1.000 ng PCB/m<sup>3</sup> und bei 5% über 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup> (Kohler et al. 2005).

Im Jahr 2000 wurde die hohe PCB-Belastung einer Nürnberger Schule bekannt. Die Oberste Baubehörde Bayerns forderte daraufhin die Träger der bayerischen Schulen und Kindergärten auf, ihre Gebäude auf PCB untersuchen zu lassen. Bis zum September 2002 lagen die Ergebnisse von 15.470 Gebäuden vor. Bei 478 Gebäuden wurde der Vorsorgewert von 900 ng PCB/m<sup>3</sup> überschritten, zwei Gebäude mussten wegen Überschreitens des bayerischen Gefahrenwertes (9.000 ng PCB/m<sup>3</sup>) saniert bzw. abgebrochen werden (Bayer. StMi 2002).

Geht man davon aus, dass der Einsatzbereich von Fugenmassen in der Schweiz und in Deutschland ähnlich war, so ist zu erwarten, dass, wie bei Kohler in der Schweiz, nur bei etwa einem Viertel (26%) der bayerischen Schul- und Kindergartengebäude, die PCB in Fugenmassen

---

<sup>89</sup> Abschnitt 4.1 der PCB-Richtlinie (ARGEBAU): „Eine Sanierung PCB-belasteter Gebäude hat zum Ziel, die Raumluftbelastung durch PCB-haltige Produkte dauerhaft zu senken. Dies kann z. B. durch Entfernen, Abtrennen oder Beschichten PCB-haltiger Produkte geschehen“

enthalten, die Raumlufkonzentration höher liegt als  $1.000 \text{ ng PCB/m}^3$ . Leider wurde in Bayern nur bekanntgegeben, wie viele Gebäude PCB-Konzentrationen über  $900 \text{ ng/m}^3$  hatten. Aus den von Kohler angegebenen Daten, lässt sich jedoch abschätzen, dass etwa 30%<sup>90</sup> der von ihm untersuchten Gebäude mit PCB-haltigen Fugenmassen Raumlufkonzentrationen hatten, die höher lagen als  $900 \text{ ng/m}^3$ . 30% der von ihm untersuchten Gebäude mit PCB-haltiger Fugenmasse lagen damit über dem bayerischen Vorsorgewert und 70% lagen darunter. Bei gleichartiger Verwendung von Fugenmassen wie in der Schweiz, stellten die 478 bayerischen Schul- und Kindergartengebäude, die den bayerischen Vorsorgewert von  $900 \text{ ng/m}^3$  überschritten, somit nur 30% des tatsächlichen PCB-haltigen Gebäudebestandes dar. 70% der PCB-belasteten Gebäude, das sind 1.115 Schul- und Kindergartengebäude, würden unter dem Vorsorgewert liegen und damit als PCB-frei gelten. Nach dieser Abschätzung enthalten insgesamt 1.600 der in Bayern untersuchten Schul- und Kindergartengebäude<sup>91</sup> PCB, das sind 10% der untersuchten 15.470 Gebäude. Der Gefahrenwert der bayerischen PCB-Richtlinie von  $9.000 \text{ ng PCB/m}^3$  war jedoch nur für zwei der untersuchten Gebäude (0,013%) überschritten und nur für diese war nach der bayerischen PCB-Richtlinie eine PCB-Sanierung vorgeschrieben.

Bei Kohler et al. (2005) lag nur bei 5% der Gebäude, die PCB-haltige Fugenmassen enthielten, die Raumlufkonzentration höher als  $3.000 \text{ ng PCB/m}^3$ , 95% der PCB-belasteten Gebäude lagen darunter. So ist zu vermuten, dass auch in Deutschland auf jedes Gebäude, das aufgrund der Überschreitung des aktuellen Gefahrenwertes der PCB-Richtlinie der ARGEBAU ( $3.000 \text{ ng PCB/m}^3$ ) saniert werden muss, 19 andere Gebäude mit PCB-haltiger Bausubstanz kommen, die nicht PCB-saniert werden (müssen).

Der Anteil der Gebäude in denen PCB verbaut wurde und die unter dem aktuellen deutschen Gefahrenwert von  $3.000 \text{ ng PCB/m}^3$  oder unter dem Vorsorgewert von  $300 \text{ ng PCB/m}^3$  liegen, könnte noch höher sein als die von Kohler et al. angegebenen 95% bzw. 41%. Denn Kohler et al. untersuchten nur große Gebäude mit sichtbaren Fugenmassen. Manche Fugenmassen und andere PCB-Verwendungen sind nicht so leicht aufzuspüren. Manche Fugenmassen sind mit Farbe überstrichen oder mit einer Leiste abgedeckt. Fugenmassen an Fensterelementen sind manchmal nicht oder kaum sichtbar. Putze, Anstriche oder Lacke sind in jedem Gebäude vorhanden und, anders als bei Fugenmassen aus der entsprechenden Bauzeit, besteht nicht von vorherein ein PCB-Verdacht. Vom Landesamt für Gesundheit und Arbeitssicherheit Schleswig-Holstein wurden Raumlufkonzentrationen bis zu  $500 \text{ ng PCB/m}^3$  in Gebäuden der Bauzeit 1960 – 1975 gemessen, in denen es keine „offensichtlichen PCB-Quellen“ gab (LGASH 2004). Gebäude, die nach 1976 erbaut wurden, hatten durchgehend Konzentrationen von weniger als  $150 \text{ ng PCB/m}^3$  (LGASH 2004).

Die PCB-Belastung eines Gebäudes lässt sich relativ einfach nachweisen, nämlich über die (Sekundär-)Belastung des Hausstaubs. Hausstaub nimmt, wie alle Oberflächen, PCB aus der Luft auf und erreicht, da seine Oberfläche im Verhältnis zum Gewicht sehr groß ist, relativ hohe PCB-Konzentrationen (siehe Abschnitt 1.2). Staubuntersuchungen sind im Vergleich zu Raumlufmessungen billig. Es ist zudem auch möglich, zunächst geeignete Staub-Mischproben aus

<sup>90</sup> Bei Kohler et al. (2005), Abbildung 2, lagen 33% der Gebäude zwischen  $300$  und  $1.000 \text{ ng PCB/m}^3$ . Bei angenommener Gleichverteilung, lägen  $33\% / 7 = 4,7\%$  der PCB-belasteten Gebäude zwischen  $900$  und  $1.000 \text{ ng PCB/m}^3$ . Die Abbildung 2 legt nahe, dass im Bereich  $900$ - $1000 \text{ ng PCB/m}^3$  eher abgerundet werden sollte, d. h. etwa 4% der PCB-belasteten Schweizer Gebäude lagen zwischen  $900$  und  $1.000 \text{ ng PCB/m}^3$ . Insgesamt lagen  $4\%$  ( $900$ - und  $1.000 \text{ ng PCB/m}^3$ ) +  $26\%$  ( $> 1.000 \text{ ng PCB/m}^3$ ) =  $30\%$  der PCB-belasteten Schweizer Gebäude über  $900 \text{ ng PCB/m}^3$ .

<sup>91</sup>  $478$  (mit  $> 900 \text{ ng/m}^3$ ) +  $1.115$  (mit  $< 900 \text{ ng/m}^3$ ) = ca.  $1.600$

mehreren Räumen zu untersuchen und nur im Fall eines positiven Befundes Einzel-Proben zu nehmen. Als sehr schwierig kann es sich hingegen gestalten, alle PCB-haltigen Materialien zu identifizieren. Es wäre notwendig PCB-Schnelltests, wie es sie bereits für Transformatorenöle gibt, auch für PCB-haltige Materialien (weiter) zu entwickeln. Da PCB ausdünsten, scheint es auch möglich zu sein, PCB am Geruch zu erkennen. In einem Bericht der norwegischen Umweltbehörde wird ein Hund gezeigt, der darauf trainiert wurde, PCB aufzuspüren (Norwegisches Ministerium für Klima und Umwelt 2006).

#### 4.2.3 Einstufungen, Grenzwerte und toxikologische Bewertung sind überholt

Die Sanierungsdringlichkeit von PCB-belasteten Gebäuden wurde unter toxikologischen Gesichtspunkten durch das frühere Bundesgesundheitsamt (BGA) und die Arbeitsgemeinschaft der Leitenden Medizinalbeamten der Länder (AGLMB) bewertet. Auf der Grundlage des damals geltenden TDI (tolerierbare tägliche Aufnahme) von 1.000 ng PCB pro kg Körpergewicht und Tag (festgelegt vom ehem. Bundesgesundheitsamt 1983 (LUA 2002)) wurde für die Raumluft ein Gefahrenwert von 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup> abgeleitet. Bei dieser Konzentration ist der alte TDI allein über die belastete Atemluft ausgeschöpft<sup>92</sup>.

Die PCB-Richtlinie der ARGEBAU basiert auf inzwischen überholten Bewertung und Einstufung von PCB:

- **Der TDI, auf dem die PCB-Richtlinie der ARGEBAU beruht, ist überholt.** 2003 bewertete die WHO die neueren Studien zur Toxizität von PCB und sah einen TDI für PCB von 20 ng PCB/kg KG/Tag für sachgerecht an (WHO 2003). Auch das BfR verwendet in seiner Broschüre „Aufnahme von Umweltkontaminanten über Lebensmittel“ diesen TDI als toxikologischen Referenzwert (BfR 2010).

Der von der WHO 2003 aktualisierte TDI von 20 ng PCB/kg KG/Tag ist um den Faktor 50 niedriger als der alte TDI von 1.000 ng PCB/kg KG/Tag. Somit verlor aus unserer Sicht der Gefahrenwert der PCB-Richtlinie (3.000 ng PCB/m<sup>3</sup>) seine fachliche Basis. Der aktualisierte Gefahrenwert müsste demzufolge um den Faktor 50 niedriger und damit bei 60 ng PCB/m<sup>3</sup> liegen.

Dass der TDI, auf dem die PCB-Richtlinie der ARGEBAU beruht, zu hoch ist und dass deshalb die Grenzwerte der PCB-Richtlinie der ARGEBAU bzw. der PCB-Richtlinien der Bundesländer gesenkt werden müssten, ist seit langem auch in Deutschland bekannt. Bereits im September 2001 hat eine am UBA angesiedelte Arbeitsgruppe des Bundes und der Länder Beratungen aufgenommen, um die Sanierungsempfehlungen für PCB-belastete Gebäude zu prüfen (UBA 2001). Der TDI der WHO ist auch in Übereinstimmung mit der vom Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen im Jahr 2002 veröffentlichten Studie "Toxikologische Bewertung polychlorierter Biphenyle (PCB) bei inhalativer Aufnahme" (LUA 2002). Das Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen stellte fest, dass der Gefahrenwert der PCB-Richtlinie von 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup> durch einen toxikologisch begründeten Wert von 70 ng PCB/m<sup>3</sup> ersetzt werden sollte. Die Ergebnisse dieser Studie sollten dazu dienen, die widersprüchliche Bewertung von PCB in der

---

<sup>92</sup> Rechnung: Ein Erwachsener atmet etwa 20m<sup>3</sup> Luft pro Tag ein. Bei einer Raumluftkonzentration von 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup> ist die täglich eingeatmete PCB-Menge 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup> \* 20m<sup>3</sup>/Tag = 60.000 ng PCB/Tag. Bei einem Körpergewicht (KG) von 60 kg ist die auf das Körpergewicht bezogenen täglich eingeatmete PCB-Menge 60.000 ng PCB/Tag /60 kg KG = 1.000 ng PCB/kg KG/Tag.

Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) einerseits und der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) andererseits zu klären und Wissenslücken, insbesondere im Hinblick auf die Bewertung der inhalativen Aufnahme aufzuzeigen. Die BBodSchV verwendet für die Abschätzung und Festlegung der Bodengrenzwerte einen TDI für PCB von 15 ng/kg KG/Tag. Als maßgeblich wurden die gleichen Studien angesehen wie bei der Abschätzung des TDI von 20 ng/kg KG/Tag durch die WHO 2003. Es wurden jedoch andere (Un-)Sicherheitsfaktoren verwendet.

Es muss noch erwähnt werden, dass der TDI für PCB der WHO in Höhe von 20 ng PCB/kg KG/Tag bereits über die Nahrung ausgeschöpft und von einem Teil der Bevölkerung überschritten wird (BfR 2010). Für eine Zusatzaufnahme über belastete Atemluft gäbe es von daher eigentlich keinen Spielraum. Dies müsste bei der Ableitung einer duldbaren Raumluftkonzentration in irgendeiner Form Berücksichtigung oder zumindest Erwähnung finden.

- **Der MAK-Wert (maximale Arbeitsplatzkonzentration) für PCB wurde 2012 um mehr als zwei Größenordnungen reduziert.** An Arbeitsplätzen mit berufsmäßigem Gefahrstoffumgang müssen Raumluftgrenzwerte eingehalten werden. Die maximale Arbeitsplatzkonzentration für PCB lag bis zum Jahr 2012 bei 1,1 mg PCB/m<sup>3</sup> (42% Chlorgehalt) bzw. 0,7 mg PCB/m<sup>3</sup> (54% Chlorgehalt)<sup>93</sup>. Grundlage dieser MAK-Werte waren die vom US-amerikanischen Threshold Limit Values (TLV-) Committee 1958 (!) abgeleiteten Grenzwerte (DFG 2011). Er stammt somit aus einer Zeit, als über die Toxizität von PCB noch wenig bekannt war. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat, anlässlich des Envio-Skandals im Jahre 2012 den MAK-Wert auf 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup> gesenkt (DFG 2012). Die TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ führt zurzeit (Stand September 2014) keinen Arbeitsplatzgrenzwert für PCB auf. Der alte MAK-Wert wurde zwar aus der TRGS 900 entfernt, der Arbeitsplatzgrenzwert für PCB befand sich jedoch auch im September 2014 noch auf der Bearbeitungsliste<sup>94</sup> des Ausschusses für Gefahrstoffe. Der von der DFG festgelegte MAK-Wert liegt in gleicher Höhe wie der Gefahrenwert der PCB-Richtlinie der ARGEBAU. Da der MAK-Wert für jede acht-stündige Arbeitsschicht gilt, der Gefahrenwert der PCB-Richtlinie aber nur im Jahresmittel, sind bei der aktuellen Gesetzeslage Arbeiter, die mit Gefahrstoffen arbeiten, besser geschützt als Kinder in Schulen und Kindergärten.
- **Der Gefahrenwert für dl-PCB ist zu hoch.** 2010 wurde die PCB-Richtlinie auf Empfehlung Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumluftthygiene-Kommission um einen Gefahrenwert für dl-PCB ergänzt (ARGEBAU 2011). Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe legte 2007 einen Gefahrenwert<sup>95</sup> von 5 pg PCB-TEQ/m<sup>3</sup> für dl-PCB in Innenräumen fest. Sie ging davon aus, dass dieser Gefahrenwert eingehalten ist, wenn die Konzentration von PCB-118 unter 10 ng/m<sup>3</sup> liegt (IRK 2007). Der Gefahrenwert von 5 pg PCB-TEQ/m<sup>3</sup> gilt für Innenräume und damit auch für Schulen, Kindergärten und Krankenhäuser. An Arbeitsplätzen, an denen berufsmäßig mit Dioxinen/Furanen umgegangen wird, ist eine maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) für Dioxine/Furane von 10 pg TEQ/m<sup>3</sup> in jeder Arbeitsschicht einzuhalten (TRGS 557). Eine Erhöhung der Raumtemperatur von

---

<sup>93</sup> Angabe nach TRGS 900 (Stand 2012); die PCB-Richtlinie der ARGEBAU hingegen nennt einen MAK-Wert von 1,0 bzw. 0,5 mg PCB/m<sup>3</sup>

<sup>94</sup> <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-900.html>

<sup>95</sup> Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe nannte ihn „Prüfwert“

20 auf 25 °C führt bei einer Raumluftbelastung durch dioxinähnliche PCB von 5 pg PCB-TEQ/m<sup>3</sup> zu einer Erhöhung auf ca. 12 pg PCB-TEQ/m<sup>3</sup> (Volland & Neuwirth 2005). Es ist daher zu erwarten, dass an heißen Tagen der MAK-Wert für Dioxine überschritten wird<sup>96</sup>, wenn die Konzentration der dl-PCB im Jahresmittel in Höhe des Gefahrenwertes liegt. Dies führt nun zu der paradoxen Situation, dass Kinder und Jugendliche in Klassenzimmern lernen müssen, in denen Arbeiter Schutzanzug und Atemschutz tragen müssten.

- **Hochstufung von PCB als Karzinogen der Gruppe 1** (Lauby-Secretan et al. 2013). PCB wurden Anfang des Jahres 2013 durch die Internationale Agentur für Krebsforschung IARC (International Agency for Research on Cancer) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) als Karzinogen der Gruppe 1 eingestuft. Damit sind PCB wie Asbest nun in derselben/höchsten Gefahrenklasse. Für krebserzeugende Substanzen gilt das Minimierungsgebot der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV 2010, §7 Abs. (4)).
- dl-PCB werden zusammen mit den Dioxinen bewertet. Daher wurde ein Gesamt-TDI für diese dioxinähnlichen Substanzen festgelegt. Der TDI von 2 pg TEQ/kg KG/Tag für Dioxine und dl-PCB ist bereits über die Nahrung ausgeschöpft und von einem Teil der Bevölkerung überschritten (BfR 2010). Für eine Zusatzaufnahme über belastete Atemluft gibt es auch dafür keinen Spielraum.

#### **4.2.4 Die toxikologische Bewertung in der PCB-Richtlinie beschränkt sich auf die inhalative Aufnahme im Normalbetrieb**

Die Grenzwerte der PCB-Richtlinie der ARGEBAU zielen darauf ab, die PCB-Aufnahme über die Raumluft zu beschränken. Die tägliche PCB-Aufnahme über die Luft soll pro Tag nicht höher sein als 1 Millionstel Gramm PCB pro kg Körpergewicht (1.000 ng PCB/kg KG)<sup>97</sup>. Die Kilogramm bis Tonnen PCB, die in Baumaterialien vorhanden sind, werden in der PCB-Richtlinie der ARGEBAU jedoch nicht thematisiert. Diese PCB-haltigen Materialien sind üblicherweise nicht oder nicht vollständig identifiziert und sie werden nicht gekennzeichnet. Den Gebäudenutzern ist nicht bewusst, dass sie, selbst bei kleineren Maßnahmen wie z. B. dem Verlegen von Computerkabeln über Wilhelmi-Deckenplatten oder dem Verrücken eines Schrankes (PCB-haltige Abdichtung unter Möbeln), PCB-Mengen in gesundheitsgefährdender Konzentration freisetzen und aufnehmen können.

- In der TRGS 524 wird für alle Arbeiten, bei denen die Hände mit kontaminierten Flüssigkeiten oder Materialien in Berührung kommen, Handschutz aus beständigem oder zumindest zeitlich begrenzt undurchdringlichem Material verlangt. Der Hausstaub in PCB-belasteten Gebäuden enthält hohe Konzentrationen an PCB, z.T. ist der Grenzwert von 50 mg/kg der PCB-Abfallverordnung überschritten. Zudem sind in diesen Gebäuden alle Oberflächen mit PCB kontaminiert. In der PCB-Richtlinie der ARGEBAU wird eine Gefährdung ausschließlich durch das Einatmen PCB-haltiger Luft gesehen und es wird verlangt, dass bei Überschreiten des Vorsorgewertes, die Raumluftkonzentration nicht nur durch regelmäßiges Lüften sondern auch durch häufige Feuchtreinigung zu

---

<sup>96</sup> Der MAK-Wert der TRGS 557 gilt nur für Dioxine und Furane. Doch 1 pg PCB-TEQ wirkt definitionsgemäß ebenso giftig wie 1 pg TCDD.

<sup>97</sup> Dies entspricht dem alten TDI, der in der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) noch als Grundlage dient.

reduzieren ist<sup>98</sup>. Ein Hinweis auf geeignete Schutzhandschuhe fehlt jedoch. Die Reduktion der Raumlufbelastung durch Feuchtwischen ist so zwangsläufig mit einer Erhöhung der Exposition über die Haut verbunden.

- Die üblichen Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten werden durch die PCB-Richtlinie nicht reguliert und sie finden - entgegen der aktuellen Vorgaben der TRGS 524 – meist bei laufendem Betrieb und ohne Schutzvorkehrungen statt. Dabei können große Mengen PCB freigesetzt werden. Bei der Grenzwertsetzung der PCB-Richtlinie der ARGEBAU sind Belastungsspitzen während Handwerker- und Bauarbeiten nicht berücksichtigt.

In der PCB-Richtlinie der ARGEBAU wird darauf hingewiesen, dass der (heute überholte) MAK-Wert (1,1 mg PCB/m<sup>3</sup> bzw. 0,7 mg PCB/m<sup>3</sup>), bei PCB-Sanierungsmaßnahmen „erfahrungsgemäß“ nicht überschritten wird. Dadurch kann leicht der Eindruck entstehen, Grenzwerte seien bei anderen Arbeiten erst recht eingehalten. Sehr viel Staub entwickelt sich jedoch, wenn bei Bauarbeiten z. B. Wilhelmi-Deckenplatten gesägt werden. Lehnik-Habrink et al. (2005) zeigten, dass der PCB-haltige Farbanstrich Staubwolken bildet, wenn er zerkleinert wird.

In der Technischen Regel für Gefahrstoffe 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ wird zudem ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes nicht von den sonstigen Regelungen der Gefahrstoffverordnung entbindet (TRGS 900, 2006).

Das Bewusstsein für die Gefährdung der Gebäudenutzer bei Bauarbeiten fehlt. Das zeigt das Beispiel Ruhr-Universität Bochum in Abschnitt 4.1: Während Handwerker bei Arbeiten Schutzkleidung trugen, saßen Angestellte ungeschützt im gleichen Raum am Schreibtisch. Die Universitätsverwaltung sah für die Mitarbeiter keinen Grund, sich deshalb zu beunruhigen. Sie informierte, dass das Tragen von Schutzkleidung der gesetzlichen Vorschrift für Arbeiter entspräche, insbesondere wenn Staub entsteht (Ruhr Universität Bochum 2014b).

#### **4.2.5 Die PCB-Richtlinie verlangt nicht, PCB-haltige Materialien festzustellen und zu entfernen**

Die PCB-Richtlinie der ARGEBAU beurteilt PCB-haltige Bausubstanz über die PCB-Konzentration in der Raumluf und trifft keine Regelungen für die PCB-Quellen, die die Ursache der Raumluf-Kontamination sind. Die PCB-Richtlinie der ARGEBAU verlangt nicht, PCB-haltigen Materialien zu identifizieren, zu kennzeichnen und zu entsorgen. Liegt die PCB-Konzentration der Raumluf über dem Gefahrenwert der PCB-Richtlinie, muss eine PCB-Sanierung durchgeführt werden. Ziel einer PCB-Sanierung ist, die Raumlufbelastung dauerhaft zu senken. (ARGEBAU 1994, 4.1 Grundsätze). Ziel einer PCB-Sanierung ist jedoch nicht, alle PCB-haltigen Baumaterialien zu identifizieren und zu entfernen. Um die Raumlufbelastung zu verringern, genügt es, diejenigen Bauprodukte zu identifizieren, die die größten Verursacher der Raumlufbelastung sind (ARGEBAU 1994, Einleitung (insbes. Definition von Primärquellen) und Abschnitte 4.1, 4.2). Kleinflächige Fugenmassen werden häufig gar nicht erst untersucht. Von Fugenmassen an der Außenfassade wird angenommen, dass sie nicht zur Raumlufbelastung beitragen. Um die Raumlufbelastung zu senken, müssen diejenigen Materialien, die die Haupt-Emissionen verursachen, nicht zwangsläufig entfernt werden. Die PCB-Richtlinie (ARGEBAU) erlaubt als

---

<sup>98</sup> Für das Reinigen von Schreibtischen, Regalen, Schränken und Apparaten sind häufig die Gebäudenutzer selbst zuständig.

Sanierungsvariante das räumliche Abtrennen oder Beschichten PCB-haltiger Bauprodukte (ARGEBAU 1994, 4.1 Grundsätze). Obwohl an anderer Stelle der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) erwähnt wird, das Beschichten von Primärquellen habe sich nicht bewährt (ARGEBAU 1994), wird es dennoch als Sanierungsmaßnahme vorgeschlagen (Zöltzer 2007) und praktiziert (Zöltzer und Volland 2002; Amt für Umwelt und Verkehr Herrenberg 2004, Ewers 2011).

„PCB-sanierte“ Gebäude können somit noch große Mengen PCB enthalten.

Nur wenn der Gefahrenwert der PCB-Richtlinie überschritten ist, muss nach PCB-haltigen Materialien gesucht werden. Doch ist bei PCB-Belastung der Gefahrenwert in den meisten Fällen unterschritten (siehe Abschnitt 4.2.2). PCB-haltige Materialien werden dann nicht identifiziert und das Problem der PCB-Belastung wird verdrängt.

Gebäude, in denen der Vorsorgewert von  $300 \text{ ng PCB/m}^3$  unterschritten ist, gelten als PCB-frei, auch wenn PCB-haltige Bauprodukte vorhanden sind.

Seit 2011 verlangt die PCB-Richtlinie der ARGEBAU: „Sollen bauliche Anlagen abgebrochen werden, die PCB-haltige Produkte enthalten, so sind diese Produkte vor Beginn der Abbrucharbeiten aus der baulichen Anlage zu entfernen.“ Eine Voraussetzung hierfür wäre jedoch die Pflicht, Baumaterialien auf PCB zu untersuchen.

Anders als die PCB-Richtlinie (ARGEBAU) verlangt die TRGS 524 „Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen“ vom Arbeitgeber, vor Beginn der Arbeiten zu ermitteln, ob die Arbeiter mit Gefahrstoffen umgehen oder ob bei Tätigkeiten Gefahrstoffe entstehen oder freigesetzt werden.

#### **4.2.6 Die Vorschriften der PCB-Richtlinie verleiten bei Sanierungen zum Hinauslüften der freigesetzten PCB in die Umwelt**

Die beste Methode, die PCB-Konzentration in der Raumluft zu senken, wäre, die Freisetzung von PCB zu stoppen. Die PCB-Richtlinie der ARGEBAU sieht hingegen vor, bei Überschreiten des Vorsorgewertes die Raumluftkonzentration durch Lüftungsmaßnahmen zu verringern. Die Nutzer PCB-belasteter Gebäude werden angehalten, etwa stündlich für 5 Minuten die Fenster zu öffnen, um die PCB-haltige Innenraumluft ins Freie zu befördern. Wird die PCB-haltige Luft nur häufig genug durch Frischluft ersetzt, dann lässt sich die PCB-Konzentration im Innenraum deutlich reduzieren (Ewers 2011).

Bei PCB-Sanierungen können so viel PCB und insbesondere PCB-haltige Stäube in die Luft freigesetzt werden, dass angrenzende Räume kontaminiert werden und der Vorsorgewert / Sanierungszielwert dort auf Dauer überschritten ist. Deshalb wird in der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) darauf hingewiesen, dass bei PCB-Sanierungen auf staubdichte Abschottung gegenüber anderen Gebäudebereichen zu achten ist. Eine Abschottung gegenüber der Außenluft wird hingegen nicht gefordert. Das führt dazu, dass PCB-Sanierungen z. T. bei offenen Fenstern durchgeführt werden. Es wird von PCB-Sanierungen berichtet, bei denen Arbeitstechniken und Geräte verwendet werden, die den Abtransport PCB-haltiger Luft und Stäube ins Freie beschleunigen: Bei einer Sanierung wurde die Luftführung so eingestellt, dass der entstandene belastete Feinstaub sich nicht erst absetzen konnte, sondern sofort auf kürzestem Weg ins Freie geleitet wurde (Zöltzer 1999). Auch Gebläse werden eingesetzt und helfen beim Hinaustransport PCB-haltiger Luft (Amt für Umwelt und Verkehr Herrenberg 2004). Dabei wird weder in der PCB-Richtlinie selber noch in Berichten von Sanierungen mit einem Wort erwähnt, dass damit eine PCB-Emission in die Umwelt in Kauf genommen wird. Die Emission in die Umwelt wird schlichtweg nicht als solche erkannt bzw. verdrängt.

Zudem existiert kein Grenzwert für PCB in der Außenluft. Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) orientiert sich bei der Beurteilung der Außenluft am Vorsorgewert / Sanierungszielwert der PCB-Richtlinie der ARGEBAU bzw. der PCB-Richtlinie Nordrhein-Westfalens: *„Ein Beurteilungsmaßstab für den PCB- Gesamtgehalt in der Außenluft existiert derzeit nicht. Als Vergleichsmaßstab zur Bewertung der PCB (PCB-Gesamtgehalt (28+52+101+153+138+180) x 5) kann der Sanierungszielwert für Innenräume von 300 ng/m<sup>3</sup> näherungsweise herangezogen werden“* (LANUV NRW 2012).

### 4.3 Fehlendes Wissen über PCB in Gebäuden und Bauwerken... (Beispiele)

Vor allem die PCB-Richtlinie der ARGEBAU mit dem Kriterium der Innenraumluft hat dafür gesorgt, dass ein Großteil der Gebäude, die PCB enthalten, nicht als PCB-belastet gelten (siehe Abschnitt 4.2). Nach der PCB-Richtlinie gelten PCB-belastete Materialien erst bei einer Konzentration von mehr als 1% als PCB-haltiges Produkt. Dies führt u. E. zu Fehleinschätzungen:

#### 4.3.1 ... bei Gebäudeeigentümern und Immobilienverwaltungen

Der gesetzliche Rahmen verlangt nicht, dass Eigentümer abklären lassen müssen, ob ihre Immobilien PCB enthalten (Erst wenn Bauarbeiten anstehen, hat der Bauherr nach TRGS 524 die Pflicht zu ermitteln, ob Gefahrstoffe vorhanden sind).

Selbst die Bundesregierung schrieb in ihrer Antwort auf eine Kleine Anfrage der Fraktion DIE LINKE, die an den Deutschen Bundestag Ende 2013 gerichtet wurde, dass die Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA), die Verwalterin der bundeseigenen Gebäude, keine systematischen Untersuchungen auf PCB-Belastung durchführe und dass keine konkreten Hinweise auf PCB-Belastungen in ihren Gebäuden vorlägen (Deutscher Bundestag 2014). In Gebäuden, mit Bauzeit zwischen 1960 und 1975, muss mit PCB in der Bausubstanz gerechnet werden. Kohler et al. (2005) untersuchten in der Schweiz 1.348 Fugenmassen aus Gebäuden, die zwischen 1950 und 1980 in Betonbauweise errichtet worden waren. In 48% der Fugenmassen konnten PCB nachgewiesen werden. 42% der Proben überschritten den deutschen Grenzwert für gefährlichen Abfall von 50 mg PCB/kg. Von den Gebäuden, die zwischen 1966 und 1971 mit Fugenmassen erbaut worden waren, enthielten sogar mehr als 60% der Fugenmassen PCB und jede dritte Fugenmasse hatte eine Konzentration von mehr als 10.000 mg PCB/kg. Bezogen auf die Bevölkerungszahl wurde in Deutschland mit insgesamt 20.000 t in einer ähnlichen Größenordnung PCB in Fugenmassen verwendet wie in der Schweiz (mit insgesamt 2.000 t PCB in offenen Anwendungen) (BUWAL 2000a). Die zahlreichen Meldungen über PCB-belastete Schulen, Universitätsgebäude und andere Bauten (siehe Kapitel 2) zeigen die häufige Verwendung von PCB, und auch Kapitel 3 zeigt dies am Beispiel eines Stadtviertels. Köppl et al. (1996) wiesen bereits 1996 auf die gleichartige Bauweise von Schulen und Gebäuden des sozialen Wohnungsbaus hin: *„Als die ersten Schulen und Kindertagesstätten mit ihrer PCB-Belastung in der Innenraumluft aufgefallen waren, hätten alle Alarmglocken für den privaten Wohnungsbau schrillen müssen. Denn schon der äußere Augenschein legt nahe, daß die Bauweise der PCB-belasteten Schulen (Betonskelett mit Tafelbauweise) in gleicher Form bei den oftmals nur auf der gegenüberliegenden Straßenseite liegenden Wohnblöcken des sozialen Wohnungsbaus ebenfalls durchgeführt wurde. In den 60er und 70er Jahren sind ganze Trabantenstädte in Betonskelettbauweise mit fabrikmäßig vorgefertigten Tafeln hochgezogen worden, deren Fugen nach außen abgedichtet wurden“*. Köppl et al. (1996) berichten von einer Verdachtsmessung auf PCB in einer Wohnung in Berlin Gropiusstadt. Es wurden Werte bis 570 ng PCB/m<sup>3</sup> gemessen. Ähnliche hoch waren die Konzentrationen in Nachbarwohnungen. Die Autoren schrieben: *„Schaute man von dieser Wohnung aus dem Fenster, so war sofort klar, daß diese*

*Einzelbefunde auf Tausende von weiteren Mietern der Berliner Trabantenstadt ebenfalls zutreffen könnten*“. Eine Berliner PCB-Arbeitsgruppe schrieb daraufhin alle Wohnungsbaugesellschaften an mit der Bitte, ihren Wohnungsbestand anhand von Verdachtskriterien zu überprüfen und die Daten an die Arbeitsgruppe weiterzuleiten. Die Zusammenarbeit gestaltete sich teilweise sehr schwierig und nach einem Jahr lagen noch immer keine brauchbaren Daten vor (Köppl et al. 1996). Die Redaktion der Zeitschrift „Umweltmedizinischer Informationsdienst“, in dem der Artikel von Köppl et al. 1996 erschien, sah sich zu der „Ergänzung“<sup>99</sup> veranlasst, dass die gesundheitliche Bewertung von PCB im Innenraum auch Kinder berücksichtige<sup>100</sup>, dass die Hauptaufnahme von PCB über die Nahrung erfolge und dass von PCB-belasteten Gebäuden keine Gefahr für Kinder im Mutterleib und für gestillte Kinder ausgehe; denn selbst langjährige Nutzer PCB-belasteter Gebäude hätten keine gegenüber der Allgemeinbevölkerung erhöhten PCB-Konzentrationen im Blut.

Dass der Gefahrenwert der PCB-Richtlinie der ARGEBAU zu hoch angesetzt ist und den Menschen nicht ausreichend schützt, das wurde in Kapitel 4.2.3 gezeigt. Die PCB-Freisetzung aus Gebäuden in die Umwelt (Kapitel 1) wird von der Richtlinie der ARGEBAU nicht thematisiert. Ein weiteres Problem ist, dass in Deutschland nur diejenigen Gebäude als PCB-belastet gelten (nach PCB-Richtlinie der ARGEBAU), in denen die PCB-Konzentrationen in der Raumluft über dem Vorsorgewert bzw. dem Gefahrenwert liegen. Dies lässt nicht nur den Prozentsatz von PCB-belasteten Gebäuden als sehr gering erscheinen (Kapitel 4.2.2), ein Unterschreiten des Raumluft-Vorsorgewertes „beweist“ dem Gebäudeeigentümer die PCB-Freiheit und ein Unterschreiten des Gefahrenwertes zeigt ihm, dass kein unmittelbarer Handlungsbedarf (nach PCB-Richtlinie der ARGEBAU) besteht. In Bayern, wurden alle öffentlichen Schulen auf PCB untersucht (Bayer. StMi 2002). Dabei wurde die Sanierungsdringlichkeit anhand der PCB-Konzentration in der Raumluft bewertet. Bei öffentlichen Gebäuden, die den Gefahrenwert unterschreiten, gerät schnell in Vergessenheit, dass sich PCB-haltige Baumaterialien im Gebäude befinden. Dies gilt insbesondere für Gebäude, die als PCB-frei gelten, weil der Vorsorgewert der PCB-Richtlinie unterschritten ist. So wurden in Bayern Sanierungen von Schulen ausgeschrieben<sup>101</sup>, ohne dass auf die vorhandenen PCB-haltigen Baumaterialien hingewiesen wurde, wie es die Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 524 oder die Berufsgenossenschaftliche Regel (BGR) 128 verlangen. Mit Sanierungen an PCB-haltiger Bausubstanz dürfen zudem nur solche Firmen beauftragt werden, die über die entsprechende Sachkunde verfügen. Im Rahmen des bayernweiten Untersuchungsprogramms hatte der Bauherr zwar erfahren, dass PCB vorhanden waren, die Konzentrationen hielt er jedoch für unbedenklich. Die Sanierungen sollten ursprünglich sogar bei laufendem Betrieb stattfinden.

Das Land Baden-Württemberg ließ landeseigene Gebäude auf PCB untersuchen. Untersucht wurde bei konkretem Verdacht oder zum Teil auch, wenn die PCB-Verwendung aufgrund des Baujahrs angenommen werden musste. In vielen Gebäuden wurden Raumluft und einzelne Materialproben untersucht. So gut wie jeder Universitätscampus in BW ist betroffen. Einige Dutzend Gebäude wurden saniert<sup>102</sup>. Die meisten Gebäude mit PCB-haltigen Baumaterialien wurden nicht saniert, weil die Raumluftkonzentrationen unter dem Grenzwert lagen. Wie in den Abschnitten 3.2.1 und 3.2.3 gezeigt wurde, können Gebäude auch nach einer PCB-

---

<sup>99</sup> Die Ergänzung wurde von Dr. Elke Roßkamp, die an der PCB-Richtlinie federführend beteiligt war, unterzeichnet.

<sup>100</sup> Köppl et al. erwähnten, dass die erste PCB-Messung aufgrund der Erkrankung eines Kindes erfolgte.

<sup>101</sup> Schulen sind den Autoren bekannt. Der Bauherr ändere, nach Intervention, das Sanierungskonzept.

<sup>102</sup> Gespräch mit dem Amt Vermögen und Bau am 1.4.2014

Sanierung noch große Mengen PCB, z. B. an der Fassade enthalten. Nach Aussage des baden-württembergischen Amtes Vermögen und Bau hält sich das Land an das Gesetz. Ziel einer PCB-Sanierung ist die Reduktion der Innenraumluft. Die Entfernung der Außenfugen ist dafür nicht nötig und wäre wirtschaftlich nicht zu vertreten. Wie bei Schulen in Bayern, gerieten in BW die Untersuchungsergebnisse aus den landeseigenen Gebäuden in Vergessenheit. Baumaßnahmen wurden zwischenzeitlich ohne einen Hinweis auf die PCB-haltige Bausubstanz ausgeschrieben und wurden ohne Arbeits- und Sicherheitsplan durchgeführt. Für die landeseigenen Gebäude Baden-Württembergs wird kein Gebäudebuch oder Schadstoffkataster geführt, in dem zumindest die in der Vergangenheit bereits in Gebäuden identifizierten Schadstoffe dokumentiert werden können.

Dass PCB-haltige Materialien auch in Wohngebäuden verbaut sein können, ist bisher wenig bekannt. Angesprochen auf die PCB-Belastung ihrer Wohnung reagierten Eigentümer mit Abwehr, mit Gleichgültigkeit oder, aus Angst um einen Wertverlust ihrer Immobilie, mit Verärgerung.

In diesem Zusammenhang soll auch auf ein positives Fallbeispiel hingewiesen werden. Die Stadt Trier hat mit Übergabe der öffentlichen Gebäude an die Gebäudewirtschaft Trier (GWT) beschlossen, dass von der GWT ein Schadstoffkataster für alle übergebenen Gebäude zu erstellen ist (Stadt Trier 2013). Es muss auf bestimmte Schadstoffe untersucht werden, darunter Asbest, künstliche Mineralfasern (KMF) und Polychlorierte Biphenyle (PCB) und, bei begründetem Verdacht, auch auf weitere Gefahrstoffe. Die Stadt Trier hält ein Schadstoffkataster für

- erforderlich, „um eine ökologische Bewertung der Objekte zu erreichen und bei Baumaßnahmen Menschen und die Umwelt nicht zu schädigen und zu beeinträchtigen“.
- unerlässlich, um bei Instandhaltung und Planung künftiger Umbaumaßnahmen „mögliche Investitions- und Baufolgekosten abschätzen und eine Beurteilung der Lebensdauer von Bauteilen vornehmen zu können.“
- rechtlich zwingend erforderlich, aufgrund der Vorschriften des Bauordnungsrechts (LBO und BauVorIV), des Gefahrstoffrechts (GefStoffV) und der Baustellenverordnung (BaustellV), der Berufsgenossenschaftlichen Regeln (BGR) und der Planungssicherheit.

#### 4.3.2 ... bei Architekten, Bauingenieuren und Handwerkern

Von Bauprodukten darf bei ordnungsgemäßer Anwendung keine Gefahr für die Gebäudenutzer ausgehen, das schreiben die Landesbauordnungen vor. Die Immobilienverwaltung des Landes Baden-Württemberg teilte mit, dass „*nicht unterstellt [wird], dass durch Baustoffe eine Gefahr droht*“ (Schukraft 2014). Baufachleute und Handwerker rechnen im Baualltag nicht mit Gefahrstoffen. Auf einigen der Baustellen, die in Kapitel 3 beschrieben wurden und bei Bauarbeiten an weiteren PCB-belasteten Gebäuden, die in diesem Bericht nicht erwähnt werden, wurden Arbeiter von einem der Autoren dieses Berichts darauf hingewiesen, dass sie sich bei ungeschütztem Arbeiten einer Gefahr aussetzen. Keiner der Arbeiter hatte jemals von PCB gehört. Firmeninhaber reagierten sehr unterschiedlich: Z. T. wussten sie nicht, was PCB sind oder waren sich nicht bewusst, dass auf ihrer Baustellen PCB in Baumaterialien vorhanden sein konnten. Manche sahen keinen Anlass, sich damit zu befassen. Andere änderten nach dem Hinweis das Arbeitsverfahren und zeigten sich dankbar für die Information.

Architektur- und Bauingenieurbüros sind im Allgemeinen über das mögliche Vorkommen von PCB in Gebäuden informiert. Bei anstehenden Modernisierungen und Umbauten gehört es zu ihren Pflichten, den Bauherrn darauf aufmerksam machen, dass eine evtl. PCB-Belastung durch

einen Gutachter überprüft werden sollte. Die PCB-Quellen können dann im Zuge der ohnehin anstehenden Baumaßnahmen entfernt und eine unbeabsichtigte Freisetzung kann verhindert werden. So wurde auch das Gebäude des Bundesverfassungsgerichts in Karlsruhe vor Sanierungsbeginn, entsprechend der geltenden Gesetzeslage (TRGS 524 / BGR 128), auf Schadstoffe untersucht. Es wurden Schadstoffkataster u. a. für PCB erstellt (SVB 2014). 2011 begann die Sanierung und sie wurde im Herbst 2014 abgeschlossen<sup>103</sup>. Doch auch hier scheint das Wissen um PCB beim Bauherrn verloren gegangen zu sein (vgl. Abschnitt 4.3.1). Denn im Januar 2014, noch vor Abschluss der Bauarbeiten, teilte die Bundesregierung in ihrer Antwort auf eine Kleine Anfrage zur PCB-Belastung in Gebäuden mit, der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA) lägen keine konkreten Hinweise auf PCB-Belastungen in ihren Gebäuden vor (Deutscher Bundestag 2014).

Architekten, Bauingenieure und andere Baufachleute kennen im Allgemeinen die PCB-Richtlinie der ARGEBAU bzw. die PCB-Richtlinie des entsprechenden Bundeslandes. Diese PCB-Richtlinien geben Handlungsanweisungen für Sanierungen, die aufgrund des Überschreitens des Gefahrenwertes durchgeführt werden müssen. Beispielsweise wurde ein Baufachmann, der bereits mehrere Schulen PCB-saniert hatte, um Rat gebeten wie beim Austausch von Fenstern vorgegangen werden müsse, die mit PCB-haltiger Fugenmasse abgedichtet waren. Er riet zur Raumluftmessung. Wenn der Gefahrenwert der PCB-Richtlinie unterschritten sei, brauche beim Fensteraustausch nichts beachtet werden. Irrtümlich war er der Meinung, bei Bauarbeiten, die von der PCB-Richtlinie nicht reguliert werden, seien keine Vorschriften zu beachten.

Auch Bauarbeiten im Freien werden von der PCB-Richtlinie nicht erfasst. Bei Abdichtungsarbeiten an einer Tiefgarage mit PCB-haltigen Außenfugen, teilte der leitende Bauingenieur auf Nachfrage telefonisch mit, es werde doch im Freien gearbeitet. Es bestehe keine Gefährdung, da der MAK-Wert der PCB-Richtlinie bei Arbeiten an der frischen Luft nicht überschritten sei.

Nicht alle Baufachleute scheinen zu wissen, dass bei allen Arbeiten an PCB-haltiger Bausubstanz die Berufsgenossenschaftlichen Regeln (BGR) 128 und, seit 2010, die Vorschriften der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 524<sup>104</sup> zu beachten sind.

### 4.3.3 ... bei PCB-Sanierungsunternehmen

Bei Arbeiten in Bereichen, in denen PCB oder andere Gefahrstoffe vorhanden sind, sind die Vorschriften der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 524 „Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen“ zu beachten. Der Auftraggeber muss das mögliche Gefährdungspotenzial beschreiben. Vor Beginn der Arbeiten muss von einem Sach- und Fachkundigen nach TRGS 524 / BGR 128 ein Arbeits- und Sicherheitsplan erstellt werden. Dieser muss der Ausschreibung beigefügt werden. Die besonderen Sicherheitsmaßnahmen sind als besondere Leistungen aufzuführen. Auf der Baustelle sind die Sicherheitsmaßnahmen umzusetzen, die Arbeiter müssen unterwiesen und die Arbeiten müssen koordiniert und durch qualifizierte Personen überwacht werden. Als fachkundig gilt, wer über eine entsprechende Berufsausbildung oder Berufserfahrung verfügt oder wer an den für die jeweilige Aufgabe spezifischen Fortbildungsmaßnahmen teilgenommen hat.

---

<sup>103</sup> <http://www.bundesverfassungsgericht.de/pressemitteilungen/bvg14-080.html>

<sup>104</sup> In der Neufassung der TRGS 524 von 2010 wurden die Bestimmungen der "BGR 128 – Kontaminierte Bereiche" mit denen der bis dato gültigen TRGS 524 zusammengeführt.

Viele der spezialisierten Schadstoff-Sanierungsfirmen und -Sanierungsfachleute, die regelmäßig PCB-Sanierungen durchführen, wissen gut Bescheid über Regeln und Richtlinien, über geeignete Schutzkleidung, Arbeitsverfahren und -techniken. Erfahrungen mit PCB-Sanierungen aus der Schweiz zeigen jedoch, dass *„markante Unterschiede bezüglich der Arbeitspraktiken und der Ausführungsqualität festzustellen sind“*. Dort fiel bei Baustellenkontrollen auf, dass Richtlinien und Arbeitshilfen zwar bekannt sind, *„die Umsetzung dann aber oftmals nicht oder nur ungenügend erfolgt“* (Wagner 2005). Ähnliche Beobachtungen machte die Berufsgenossenschaft für Bauwirtschaft (BG BAU) auf deutschen Baustellen, auf denen mit Gefahrstoffen umgegangen wird: *„Leider zeigen unsere Erfahrungen dass trotz detaillierter Vorgaben und Hilfestellungen der BGR 128 und TRGS 524 und trotz der Anforderungen dieser Regeln an die zur Bearbeitung des Arbeits- und Sicherheitsplanes notwendige Sach- bzw. Fachkunde des Erstellers im Detail immer wieder gravierende Mängel festzustellen sind“* (Feige-Munzig 2013). Mängel wurden u. a. festgestellt bei der historischen Erkundung, der Festlegung und Dokumentation von Analysen, der Gefährdungsbeurteilung, der Festlegung von Schutzmaßnahmen und der messtechnischen Überwachung (Feige-Munzig 2013).

Die Erfahrungen der BG BAU zeigen auch, *„dass manchem Auftraggeber jegliches Verständnis zu Sinn und Zweck eines Arbeits- und Sicherheitsplans fehlt und auch dafür, dass er als Planungsinstrument zu seinem Vorteil genutzt werden könnte“* (Feige-Munzig 2013).

#### 4.3.4 ... bei anderen Abbruch- und Sanierungsunternehmen

Ein evtl. noch größeres Problem als die Mängel bei der Umsetzung der Vorschriften der TRGS 524, stellt die Tatsache dar, dass bei Bauarbeiten die PCB-Belastung des Materials oft gar nicht erkannt wird. Köppl et al. berichteten 1996: *„Ein großes Problem ist die bisherige Abfallverbringung des PCB-haltigen Fugematerials im privaten Wohnungsbau nach durchgeführten Abdichtungsreparaturen. Bisher wurden solche Fugendichtungsmassen aus Unkenntnis mit dem Hausmüll entsorgt und entweder auf einer Hausmülldeponie abgelagert oder mit dem Hausmüll zusammen verbrannt. Dieser Schadstoffeintrag wird bisher nicht ausreichend untersucht“*. Dass dieses Problem bis heute besteht, das zeigen die in Kapitel 3 beschriebenen Fallbeispiele und auch weitere Fälle, die hier nicht beschrieben wurden.

Eigentümer und Verwalter von Gebäuden, in denen PCB-haltige Materialien verbaut sind, haben meist keine Kenntnis davon. Werden Bauarbeiten in Auftrag gegeben, hat der Auftraggeber jedoch nach den Vorschriften der TRGS 524 die Pflicht zu ermitteln, ob Gefahrstoffe vorhanden sein können. Liegt keine Ermittlung vor, hat die beauftragte Firma beim Auftraggeber Informationen einzuholen, ob bei den durchzuführenden Arbeiten mit Gefahrstoffen zu rechnen ist.

Bau- und Abbruchabfälle sind der mengenmäßig bedeutendste Abfallstrom in Deutschland (LfU 2014). Abfälle aus Beton, Ziegel, Fliesen, Keramik und Erdaushub zählen zu den mineralischen Abfällen, die nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG 2012)<sup>105</sup> stofflich zu verwerten sind. Dabei müssen Boden- und Gewässerschutz beachtet werden. Für Recyclingbaustoffe und nicht aufbereiteten Bauschutt sind Grenzwerte einzuhalten, die im Bereich 1 mg PCB/kg<sup>106</sup> und

<sup>105</sup> zuvor: Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG 1996)

<sup>106</sup> Die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), ein Arbeitsgremium der deutschen Umweltministerkonferenz, unterscheidet beim Einbau mineralischer Abfälle nach Einbauklassen und Zuordnungswerten. Die Einordnung und Verwendung von Bauschutt wird in den Bundesländern uneinheitlich geregelt. Nach Auskunft der LAGA

damit deutlich unter dem Grenzwert der PCB-Abfallverordnung von 50 mg PCB/kg liegen. Kontaminierte Bauabfälle zu entsorgen, ist für Unternehmen teuer. Es liegt somit im Eigeninteresse von Abbruch- und Sanierungsunternehmen, vor (Rück-)Baumaßnahmen eine Schadstoff-erkundung durchführen zu lassen. Nur wenn PCB-belastete Baustoffe vor dem Abbruch oder beim Ausbau von Bauteilen entfernt werden, wie es die PCB-Abfallverordnung (PCBAbfallV) vorsieht, können die Grenzwerte für Recyclingbaustoffe eingehalten werden. PCB-haltige Bauteile werden vor Beginn von Baumaßnahmen häufig nicht identifiziert: dies wurde in den Abschnitten 3.1.1, 3.2.4 und 3.3 dokumentiert, von Köppl et al. (1996) berichtet und dies wurde, von einem der Autoren dieses Berichts, auf weiteren Baustellen beobachtet. Das hat zur Folge, dass häufig mineralische Abfälle mit PCB kontaminiert werden. Dies müsste eigentlich zur Zurückweisung von Recyclingmaterial und somit zu hohen Entsorgungskosten führen und es solle schon aus wirtschaftlichen Gründen geboten sein, vor Ausbau oder Abbruch von Bauteilen zu ermitteln, ob PCB vorhanden sind.

#### 4.3.5 ... bei Gutachtern und Ratgebern

Viele Gutachter orientieren sich allein an der PCB-Richtlinie und halten oft nur die PCB-Raumluftkonzentration für maßgeblich. PCB-haltige Materialien sind für sie üblicherweise nur dann relevant, wenn sie zu erhöhten Raumluftkonzentrationen führen.

So sollte nach der PCB-Sanierung eines Schulgebäudes entschieden werden, ob sekundär belastete Möbel, Bücher und Wandtafeln ersetzt werden sollten (Verbandsgemeinderat Hermeskeil 2009). Das Mobiliar überschritt z. T. den Grenzwert der PCB-Abfallverordnung von 50 mg PCB/kg und sollte im Zuge der Sanierung aussortiert und als gefährlicher Abfall entsorgt werden. Der hinzugezogene Gutachter erklärte, die sich die Bezeichnung „gefährlicher Abfall“ aus dem Abfallrecht ableite und keine wissenschaftliche Bezeichnung für mit PCB-belastete Materialien sei. *„Entscheidend für die Bewertung von belasteten Materialien ist deshalb die Auswirkung auf die umgebende Raumluft. Die in der Literatur zu findenden maßgebenden Grenzwerte liegen bei rund 500 mg/kg, also weit über dem hier festgelegten Wert von 50 mg/kg“*<sup>107</sup> (Verbandsgemeinderat Hermeskeil 2009). Die Äußerungen des Gutachters zeigen beispielhaft den Spagat, den der Gutachter zwischen PCB-Richtlinie einerseits und PCB-Abfallverordnung andererseits versuchen muss. Nach Auffassung des Gutachters ist der Wert von 50 mg PCB/kg in Bezug auf die Diskussion um die Belastung des Mobiliars ein Wert, der jederzeit korrigiert werden könne. Andererseits sollte nach seiner Ansicht Mobiliar, das über 50 mg/kg liegt, sofort ausgetauscht werden. Die Entsorgung des restlichen Mobiliars sei *„nicht dringend geboten“*, aber sinnvoll.

Bei PCB-Sanierungen bewerten Gutachter die Raumluftkonzentration und diejenigen Materialien, die eine Überschreitung der Raumluftgrenzwerte verursachen. Sie halten es deshalb meist nicht für wichtig, alle PCB-haltigen Materialien zu identifizieren. Bei der Sanierung des in Abschnitt 3.2.1 beschriebenen Gebäudes wurden die Wilhelmi-Deckenplatten und die PCB-

---

(2012) erarbeitet das Bundesumweltministerium (BMU) zurzeit den Entwurf einer Verordnung, mit der die Rechtssicherheit und der einheitliche Vollzug in den Ländern bei der Bewertung der Schadlosigkeit der Verwertung von mineralischen Abfällen verbessert werden sollen. Die bisher geltenden LAGA-Mitteilungen 20 wurden deshalb nur noch zum Teil überarbeitet und es ist strittig, ob weiterhin alle Teile beachtet werden müssen (LAGA 2012).

<sup>107</sup> Die PCB-Richtlinie gibt an, dass bei Material-Konzentrationen von weniger als 0,1% (1.000 mg PCB/kg) kein Einfluss auf die Raumluftkonzentration zu erwarten ist. Andere Literatur mit „maßgebenden Grenzwerten“ liegt uns, den Autoren dieser Studie, nicht vor.

haltige Fugenmassen an den Innenwänden entfernt, die die Hauptemittenten von PCB waren. Dass bei der früheren Beprobung noch weitere, PCB-haltige Materialien identifiziert worden waren, und dass bisher nicht identifizierte Fugenmassen im Außenbereich vorhanden waren, das war dem Gutachter entgangen. Er schrieb in seinem Gutachten, alle Primärquellen seien entfernt worden (Zöltzer 2007). Dies kann zur Folge haben, dass bei zukünftigen Bauarbeiten PCB-haltige Materialien nicht erkannt werden, dass PCB bei Bauarbeiten freigesetzt werden und zur Gefährdung von Arbeitern, von Gebäudenutzern, Passanten und der Umwelt führen.

Zwei weitere Beispiele aus dem in Kapitel 3 gezeigten Stadtviertel zeigen, dass eine allein auf die Raumluftkonzentration bezogene Risikowahrnehmung dazu führen kann, dass die Gefahr, die von PCB-haltigen Materialien ausgeht, nicht beachtet wird. Ein Gebäude von Anfang der 1970er Jahre sollte energetisch saniert werden, der Architekt wusste um die PCB-Problematik und zog einen Gutachter hinzu, der bereits viele Gebäude anhand der Raumluftkonzentration bewertet hatte. Nach Aussage des Architekten fand der Gutachter keine PCB-haltigen Fugenmassen. Schmale PCB-haltige Fugenmassen befanden sich jedoch außen an den auszubauenden Fenstern. Diese Außenfugen hätten nicht zu einer Überschreitung des Vorsorgewertes der PCB-Richtlinie (ARGEBAU) geführt und wurden vermutlich deshalb vom Gutachter übersehen. Der im Zuge der Sanierung des Gebäudes geplante Austausch der Fenster hätte jedoch zu einer Exposition von Arbeitern und Umwelt geführt. An einem anderen Gebäude sah ein Gutachter Fugenmassen mit einer PCB-Konzentration von knapp unter 1% als unbedenklich an. (Fugenmassen mit PCB-Gehalt unter 1% sind laut PCB-Richtlinie keine Primärquellen, sondern verarbeitungsbedingte Verunreinigungen).

Die PCB-Richtlinie Nordrhein-Westfalens (1996) ist in der Bewertung des PCB-Vorkommens in Gebäuden und bei den Vorschriften zur PCB-Sanierungen deutlich strenger als die PCB-Richtlinien der anderen Bundesländer. Der Ratgeber des Landes Nordrhein-Westfalen zu „PCB in Gebäuden - Nutzerleitfaden“ (Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW 2003) ist einerseits hilfreich. Er zeigt Beispiele von offenen PCB-Anwendungen (vor allem Fugendichtungsmassen) in Gebäuden. Andererseits zeigt der Ratgeber anhand eines Fotos, wie in „Verdachts- und Sanierungsfällen“ Fugenmassen zu entfernen seien. Das Bild zeigt einen Arbeiter, der ohne Schutzanzug und Atemschutz PCB-haltige oder möglicherweise PCB-haltige Fugenmassen herausschneidet (Abbildung A1 - 26 links). Die in der Abbildung gezeigte Vorgehensweise entspricht nicht den Vorgaben der Gefahrstoffverordnung und der BGR 128 / TRGS 524. Auf der Fachtagung „Schadstoffe in Gebäuden“ des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz informierte der PCB-Experte Zwiener über PCB-belastete Gebäude und ihre Sanierung (LfU 2005b, S. 82 ff). Abbildung A1 - 26 rechts zeigt zum Vergleich eines seiner Bilder zum fachgerechten Entfernen von PCB-haltigen Fugenmassen: Die PCB-haltigen Stäube werden an der Entstehungsstelle möglichst vollständig abgesaugt, wie es die Gefahrstoffverordnung vorschreibt (GefStoffV 2010, Anhang I 2.3 (5)). Die Arbeiter tragen Schutzanzüge und Atemschutz.



Fotos: Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW (2003), LfU (2005b, S. 82)

Abbildung A1 - 26: Entfernen PCB-haltiger Fugenmassen. Links: Herausschneiden einer potenziell PCB-haltigen Fuge ohne ausreichenden Personenschutz. Rechts: Fachgerechter Ausbau von PCB-haltigen Fugenmassen unter paralleler Absaugung

#### 4.3.6 ... bei den Behörden

Bei den Behörden sind für PCB-haltige Gebäude und Bauwerke in der Regel die unteren Verwaltungsbehörden, wie Landkreisverwaltungen, Landratsämter oder kreisfreie Städte zuständig. Dort ist zum einen das Verständnis des chemischen Verhaltens und der hohen Umweltrelevanz von PCB oft begrenzt und zum anderen hält man sich dort an die bekannte Rechtslage, nämlich an die „Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden“, d.h. an die PCB-Richtlinie des jeweiligen Bundeslandes (siehe Abschnitt 4.2). Auf der unteren Verwaltungsebene besteht in der Regel wenig Spielraum, von gängigen Vorgehensweisen abzuweichen oder diese mit technisch-wissenschaftlichen Überlegungen in Frage zu stellen. Vor diesem Hintergrund kann eine Änderung der Vollzugspraxis unserer Auffassung nach nur durch Änderung der Regelungen "von oben" erreicht werden.

Auch Unternehmen, die Schadstoffe sanieren, befinden sich in einer Wettbewerbssituation und sie stehen unter Kostendruck. Um die Einhaltung von Umweltgesetzen und Arbeitsvorschriften zu gewährleisten, sind eindeutige Regelungen und wirkungsvolle Kontrollen durch die Behörden dringend notwendig.

#### 4.4 Schwierigkeit offene Anwendungen zu sanieren

Neben den oben angeführten Gründen, warum mit offenen PCB-Anwendungen nicht adäquat umgegangen wird, gibt es noch weitere Gründe, die dazu führen, dass der Umgang mit

offenen PCB-Quellen oft nicht mit der eigentlich nötigen Konsequenz und Sorgfalt durchgeführt wird. Diese sollen hier nur kurz erwähnt aber nicht im Detail diskutiert werden.

#### 4.4.1 Kosten von Sanierungen

Die bauliche Instandsetzung oder der Rückbau eines Gebäudes ist bei Beachtung der Bauschadstoffproblematik (PCB, Asbest, Holz- und Flammschutzmittel, KMF, etc.) teurer als ohne Berücksichtigung möglicher Belastungen. Da die Finanzen meist der dominante Entscheidungsfaktor sind, wird in den Fällen in denen man auf die Zusatzkosten verzichten kann, darauf gar nicht eingegangen. Die Bewertung anhand der PCB-Richtlinie der ARGEBAU, durch die die meisten Gebäude als „PCB-frei“ definiert werden, obwohl PCB-haltige Baumaterialien verwendet wurden, dient als willkommenes „Hilfsmittel“. Weiterhin schreibt diese Richtlinie nicht vor, dass bei PCB-Sanierungen PCB-haltige Materialien auch entfernt werden müssen. Das Beschichten von PCB-haltigen Materialien wird als mögliche Sanierungsvariante angesehen (ARGEBAU 1994)<sup>108</sup>.

Auch der Gesetzgeber scheint auch heute noch monetäre Probleme bei PCB im Baubereich zu sehen. Bis heute weist die PCB-Abfallverordnung auf die „wirtschaftliche Zumutbarkeit“ speziell für die Abfälle aus dem Baubereich hin: „(3) Zur Gewährleistung einer ordnungsgemäßen und schadlosen Verwertung sowie zur gemeinwohlverträglichen Abfallbeseitigung ist beim Entstehen von Abfällen, die bei Bautätigkeiten anfallen, bereits vor einer Sortierung sicherzustellen, dass die Fraktionen, die Stoffe nach § 1 Abs. 2 Nr. 1 oder Zubereitungen nach § 1 Abs. 2 Nr. 2 enthalten, zu entfernen, getrennt zu halten und getrennt zu beseitigen sind, **soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist.**“ (PCBAbfallV 2000)

Dies sollte von Behördenseite dringend überprüft werden. Dabei muss in die Berechnung von Sanierungskosten zwingend auch die Problematik der künftigen Folgekosten durch Sekundärkontamination von Innenräumen inklusive Mobiliar, Sekundärkontaminationen von Dämmmaterialien und die Gesundheitsgefährdung von Gebäudenutzern (z. B. Krebsrisiko) und die Kosten respektive Existenzrisiken von Landwirten bei Überschreitungen der Höchstwerte im Fleisch von Nutztieren und in Eiern eingehen. Es ist zu berücksichtigen, dass auch bei einem Rückbau am Ende der Nutzungsphase PCB und andere Schadstoffe regelkonform entfernt und gesetzeskonform entsorgt werden müssen. Bei der aktuellen Sanierung einer Turnhalle mit einem Bauvolumen von 3 Millionen Euro lagen die Sanierungsangebote für die PCB-haltigen Außenfugen bei lediglich 8.000 bis 12.000 Euro. Wäre die PCB-haltige Dichtmasse in den Außenfugen nicht entfernt worden, so wäre die bei der Sanierung über den Fugen angebrachte mineralische Dämmung mit der Zeit ebenfalls kontaminiert worden. Bei einer, in vielleicht weiteren 40 Jahren, wieder notwendigen Instandhaltungsmaßnahme, wäre dann das zu entsorgende Dämmmaterial über dem Grenzwert von 1 mg PCB/kg für mineralische Abfälle gelegen und wahrscheinlich sogar über den 50 mg PCB/kg der POP-Verordnung (Varbelow 2014). Die zukünftigen Entsorgungskosten wären dann bedeutend höher als die heutigen Sanierungskosten.

Das zu wählende Sanierungsverfahren hängt letztlich stark von den Instandsetzungszielen und einer allfälligen energetischen Sanierung ab. Im Falle einer Dämmung der Gebäudehülle nach Energiestandard kommt einer nachhaltigen Sanierung der mit PCB belasteten Fugenmassen

---

<sup>108</sup> Abschnitt 4.1 der PCB-Richtlinie der ARGEBAU: „Eine Sanierung PCB-belasteter Gebäude hat zum Ziel, die Raumluftbelastung durch PCB-haltige Produkte dauerhaft zu senken. Dies kann z. B. durch Entfernen, Abtrennen oder Beschichten PCB-haltiger Produkte geschehen“

noch größere Bedeutung zu. Dies betrifft z. B. die Verhinderung einer Diffusion aus sekundär belasteten Quellen in den Innenbereich der Gebäude oder in das Dämmmaterial. Im Sinne einer nachhaltigen Lösung ist eine Rückdiffusion/Ausgasung aus den Fugenkanten in die neingebrachten Fugenmassen sowie eine Verschleppung in die Innenräume unbedingt zu vermeiden.

Ganz wichtig ist unserer Auffassung nach der Umstand, dass Schadstoffsanierungen mit wenigen Ausnahmen mit einer Instandsetzung oder einem Um-/Rückbau gekoppelt werden können. Damit ist ein großer Kostenanteil durch die bereits vorhandene Infrastruktur gedeckt. Es empfiehlt sich auch, nie ein Objekt auf einen bestimmten Schadstoff wie PCB oder Asbest alleine zu untersuchen, sondern ein vollständiges Screening durchzuführen. Die Ergebnisse des Screenings sind in den Planungsmaßnahmen zu berücksichtigen und geben somit der Bauherrschaft eine höhere Planungs- und Budgetsicherheit. Die Feststellung einer Schadstoffbelastung nach Baubeginn kann zu einem Baustopp und zu Nachträgen von Seiten der Bauunternehmen führen. Kosten für zusätzliche Leistungen fallen nach Baubeginn meist relevant höher aus als die Angebote in einer regulären Ausschreibung. Ergänzend sind auch die „Ohnehin-Kosten“ zu berücksichtigen. Im Falle einer Fugensanierung an bspw. spröden Altfugen, die somit ihren Zweck nicht mehr erfüllen, fallen unabhängig vom PCB-Gehalt Aufwendungen für das fachgerechte Herausschneiden und den Ersatz an. Bei einer PCB-Belastung sind dann lediglich die Mehrkosten für persönliche Schutzausrüstung, Abschottung des kontaminierten Arbeitsbereiches, die Oberflächenbehandlung der Fugenflanken und Kontrollmessungen separat zu erfassen. Selbst die Entsorgungskosten sind heute nur noch marginal unterschiedlich.

Spätestens bei Sanierung oder Abbruch ist sicherzustellen, dass diese PCB-Reservoirs sach- und fachgerecht entsorgt werden. Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) geben dazu Handlungsanweisungen und die PCB/PCT-Abfallverordnung (PCBAbfallV 2000), die Chemikalienverbotsverordnung (ChemVerbotsV 1993) und die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV 2010) bieten dazu die Rechtsgrundlage. Auch wenn eine geplante „Verschärfung“ der PCB/PCT-Abfallverordnung im Jahr 2000 nicht zu Stande kam (Deutscher Beton- und Bautechnikverein (2000)<sup>109</sup> ist die aktuelle Fassung geltendes Recht und somit bindend.

#### 4.4.2 Praktische Schwierigkeit bei PCB-Sanierungen

Die Sanierungen von offenen PCB-Anwendungen stellen objektspezifisch gewisse Herausforderungen dar. Fugendichtungsmassen und noch stärker die Farbanstriche und Lacke sind zum Teil schwierig vom restlichen Material zu trennen. Bei den noch relativ leicht vom restlichen Bauschutt abzutrennenden Fugendichtungen sollte wegen der Sekundärkontamination zusätzlich noch mehrere Millimeter des Betons mit herausgeschnitten werden (Sundahl et al.

---

<sup>109</sup> Der Deutsche Beton- und Bautechnikverein informierte im Oktober 2000 seine Mitglieder über seine erfolgreiche Intervention zur Entschärfung der PCB/PCT-Abfallverordnung „Vorgenannte Rechtsverordnung wurde vom Bundesrat am 17. März 2000 beschlossen und trat am 30. Juni 2000 in Kraft. PCB kam im Baubereich in den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts in nicht unerheblichem Umfang in Fugendichtungsmassen zum Einsatz. ... Der Unterausschuss des Bundesrates hatte auf eine deutliche Verschärfung der Verordnung gedrängt, die zu einem erheblichen Kostenanstieg bei Abriss und Rückbau entsprechender Bauwerke geführt hätte. In einer gemeinsamen Aktion des Hauptverbandes und der Mitgliedsverbände konnte durch Ansprache der Landesregierungen die Verschärfungen der PCB/PCT-Abfallverordnung im Bundesrat verhindert werden.“ (Rundschreiben Nr. 186 des Deutschen Beton- und Bautechnikverein vom Oktober 2000)

1999; Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW 2003). Geräte und Arbeitstechniken werden laufend weiterentwickelt.

Das Abfräsen oder Abtragen von PCB-Anstrichen stellt eine größere Herausforderung dar und ist mit Aufwand verbunden. Schon das Erkennen von PCB-haltigen Materialien bzw. der finanzielle Aufwand von PCB-Analysen stellt ein Hindernis dar. Probenahme für die technischen Produkte wie Farben und Lacke und Betonrecyclingmaterialien sind wenig standardisiert. Informationen zu Untersuchungsprogrammen zu PCB-Anstrichen an Strommasten oder in Freibädern in Deutschland stehen nur in begrenztem Umfang zur Verfügung. Dies ist auch ein Indikator, dass in Deutschland im Vergleich zu der Schweiz dieses Thema in der Praxis eine untergeordnete Rolle spielt. Somit kann dies in der Praxis bislang auch nur bedingt fachgerecht und nachhaltig umgesetzt werden. Eine Ausnahme dürften Sanierungen in industriellen Liegenschaften sein, wo bereits Erfahrung mit PCB-Farben und Lacken vorhanden sind (Varbelow 2014).

Die Untersuchungen und die Sanierung von Sekundärkontamination sind ebenfalls herausfordernd. Es gibt derzeit keine standardisierte Methode zur harmonisierten Probenahme und Analytik von Sekundärbelastungen, obwohl sekundär kontaminierte Gegenstände in hoch PCB-belasteten Gebäuden häufig den Grenzwert der PCB/PCT-Abfallverordnung von 50 mg PCB/kg überschreiten und damit als gefährlicher Abfall zu entsorgen sind.

#### **4.4.3 Risikowahrnehmung**

Ein wichtiger weiterer Faktor ist die Risikowahrnehmung. PCB-Fugenmassen oder Farbanstriche werden üblicherweise nicht als potenzielles Gesundheits- und Umweltrisiko wahrgenommen, da außer dem hochproblematischen gesundheitlichen Langzeitrisiko zunächst subjektiv keine ersichtliche akute Gefahr von einer Fugendichtung oder einem Farbanstrich ausgeht. Dies entspricht auch der Erfahrung, die man im Alltag zunächst mit Fugendichtungen und Farbanstrichen macht.

Natürlicherweise ist die menschliche Risikowahrnehmung nicht auf Langzeitrisiken ausgerichtet. Dies ist ein komplexer Lernprozess. Um Risiken verstehbar oder erfahrbar zu machen, bedarf es der detaillierten Aufklärung. Dies wurde bei den offenen PCB-Anwendungen in den letzten 30 Jahren bei Behörden und Arbeitern nicht in dem nötigen Umfang gemacht.

#### **4.4.4 Herausforderung der Risikokommunikation von PCB-Sanierungen**

Es gibt heute aufgrund einer Vielzahl von durchgeführten PCB-Sanierungen an Kindergärten und Schulen Erfahrungen, wie mit dieser Problematik umgegangen werden kann. Praktische Beispiele von Schulsanierungen und einschließlich Umgang mit der Öffentlichkeit finden sich zum Beispiel im Nutzerleitfaden PCB in Gebäuden von Nordrhein-Westfalen (Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW 2003).

## **5 „Best Practice“ Umgang mit PCB-haltiger Gebäudesubstanz in anderen Ländern**

### **5.1 Schweden**

In Schweden wurde ein Inventar aller PCB-belasteten Gebäude erstellt. Hier muss seit 2007 jeder Eigentümer eines Gebäudes, das zwischen 1956 und 1973 errichtet oder renoviert wurde und das Fugenmassen oder eine Anti-Rutsch-Bodenbeschichtung hat, untersuchen lassen, ob

PCB-haltige Materialien vorhanden sind. Der Eigentümer hat der zuständigen Behörde das Ergebnis der Untersuchung und die geplanten Maßnahmen zu melden (Johansson 2009). Das Ecocycle Council, eine schwedische Organisation der Bauwirtschaft und von Immobilienbesitzern, erstellte eine Handlungsanweisung, wie bei der Probenahme vorgegangen werden sollte, um verlässliche Informationen zu erhalten, die Voraussetzung für eine erfolgreiche Sanierung sind (Johansson et al. 2003). Bereits 1998 hatte das Ecocycle Council eine Aktion gestartet, mit dem Ziel, alle Fugenmassen bis 2003 aus Gebäuden zu entfernen. Dabei sollten umweltgerechte Sanierungsverfahren angewandt und weiterentwickelt werden. Ähnliche Initiativen gab es in anderen nordischen Ländern (Selden et al. 2008).

## 5.2 Schweiz

Wie in Deutschland enthalten auch viele Schulen in der Schweiz PCB (BUWAL 2003). Die Beurteilung der Gefährdung für die Gebäudenutzer findet auch – wie in Deutschland – anhand der PCB-Raumluftkonzentration statt. Jedoch weist das Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU) auf seiner Internetseite darauf hin, dass PCB-verdächtige Bauten rechtzeitig vor einer Sanierung auf PCB-haltige Fugenmassen und Farbanstriche untersucht werden müssen, dass ein Sanierungskonzept erstellt werden muss, dass spezielle Maßnahmen zum Schutz der Handwerker und der Umwelt nötig sind und dass PCB-haltige Beschichtungen von Fachleuten mit geeigneten Verfahren und Schutzmaßnahmen entfernt werden müssen (BAFU 2010).

Das Schweizer Bundesamt für Umwelt, bzw. das frühere Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), hat mehrere Ratgeber zu offenen PCB-Anwendungen erstellt.

- PCB-Emissionen beim Korrosionsschutz (BUWAL 2000a)
- Korrosionsschutz im Freien (BUWAL 2002)
- PCB-haltige Fugendichtungsmassen (BUWAL 2003)
- Umweltschutz bei Korrosionsschutzarbeiten (BUWAL 2004)

Die Schweizer Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes (KBOB)<sup>110</sup> veröffentlichte 2004 eine Empfehlung zu „PCB in Fugendichtungen“ (KBOB 2004).

Die Bau- und Umweltschutzdirektion des Kantons Basel-Landschaft gibt Informationen über „Die sachgemäße Entfernung und Entsorgung PCB-haltiger Fugendichtungsmassen und Anstriche: Werkzeuge, Verfahren, Schutzmaßnahmen“ (Kanton Basel-Landschaft 2004). Dieser Ratgeber beschreibt u. a. auch Werkzeuge und Arbeitsverfahren, die sich beim Entfernen PCB-haltiger Fugenmassen und Anstriche bewährt haben.

Nachdem in der Schweiz festgestellt wurde, dass die Becken in ca. 20% aller Freibädern mit einem PCB-haltigen Farbanstrich gestrichen worden waren, wurden alle Schweizer Kantone verpflichtet, ein Inventar der öffentlich zugänglichen Freibäder zu erstellen (Knechtenhofer 2009; Schweizer Arbeitsgruppe Interventionswerte und Risikobeurteilung 2013). Wenn die historische Verwendung von PCB in Fugenmassen oder Anstrichen nicht ausgeschlossen werden kann, muss die Bodenbelastung durch Analysen überprüft werden (Schweizer Arbeitsgruppe Interventionswerte und Risikobeurteilung 2013).

---

<sup>110</sup> KBOB ist ein Verband der öffentlichen Bauherren der Schweiz, dem auch das Schweizer Bundesamt für Bauten und Logistik (BBL) angehört, welches die bundeseigenen Immobilien der Schweiz verwaltet.

## 5.3 USA

Die U.S.EPA informiert seit ein paar Jahren auf ihren Internetseiten über PCB in Fugenmassen (U.S.EPA 2014a) und über PCB-haltige Materialien (U.S.EPA 2014b). Die U.S.EPA nennt Ansprechpartner in den Bundesstaaten, an die sich U.S.-Bürger wenden können. Die Internetseiten führen zu einer Vielzahl an Informationen zu PCB.

In den USA wird die Gefährdung durch PCB in Gebäuden nicht über die Raumluftkonzentration beurteilt; das Vorhandensein PCB-haltiger Materialien gilt bereits als Gefahr.

In den USA darf Wasser mit mehr als 3.000 ng PCB/Liter<sup>111</sup> nicht ins Abwassersystem eingeleitet werden (U.S.EPA 2005).

Es gibt für Gebäudeeigentümer in den USA bisher keine Pflicht, auf PCB zu untersuchen. Betroffenen Personen ist es jedoch erlaubt, Proben zu nehmen. Z. B. dürfen Eltern Proben von Fugenmassen aus der Schule ihrer Kinder untersuchen lassen. Wird festgestellt, dass das untersuchte Material mehr als 50 mg PCB/kg enthält, so gilt es als unerlaubte Verwendung von PCB („unauthorized use“) und muss nach dem „Toxic Substances Control Act (TSCA)“ aus dem Gebäude entfernt werden (Herrick 2010). Die Öffentlichkeit muss somit nicht nur informiert werden, sondern hat auch bei der Prävention von Freisetzungen in die Umwelt eine aktive Rolle zu spielen<sup>112</sup>.

## 6 Maßnahmen, die den fachgerechten Umgang mit PCB in Baumaterialien sicherstellen und den Schutz der Umwelt gewährleisten können

### 6.1 Informationen

#### 6.1.1 Information der Öffentlichkeit über die Gefährdung durch PCB

In der „Strategie der Gemeinschaft für Dioxine, Furane und polychlorierte Biphenyle“ (2001/C 322/02) schreibt die Europäische Kommission, dass die Öffentlichkeit informiert werden muss, auch *„um die Öffentlichkeit für die mit der Exposition gegenüber diesen Verbindungen verbundenen Risiken zu sensibilisieren und um ihr bewusst zu machen, welche Rolle sie zu spielen hat, um eine weitere Kontamination der Umwelt zu verhindern. Es ist auch wichtig, die „Selbstidentifizierung“ von Risikogruppen zu ermöglichen“*. *„Die Öffentlichkeit muss nicht nur informiert werden, sondern hat auch bei der Prävention von Freisetzungen in die Umwelt eine aktive Rolle zu spielen“* (Europäische Kommission 2001).

Dies sollte auch und ganz besonders im Hinblick auf das Vorkommen von PCB in Baumaterialien gelten. Die Bevölkerung muss darüber informiert werden, dass PCB-Quellen auch heute noch vorhanden sind und dass sie gerade dort zu finden sind, wo Menschen wohnen, arbeiten oder sich in ihrer Freizeit aufhalten. Insbesondere Eigentümer von Gebäuden und Bauten müssen darauf hingewiesen werden, dass bei Bauarbeiten an PCB-haltigen Materialien, große

---

<sup>111</sup> Auch in Deutschland sollte ein Höchstgehalt festgelegt werden, welcher niedriger sein sollte als der jetzige U.S. Standard.

<sup>112</sup> Wer in Schulen oder Universitäten in Deutschland Proben von PCB-verdächtigen Baumaterialien nimmt, sieht sich evtl. mit dem Vorwurf des Hausfriedensbruchs und der Sachbeschädigung konfrontiert. So erging es den Autoren dieser Studie:

Mengen PCB freigesetzt werden können und dass dies für Menschen und Umwelt eine Gefahr darstellt. Eigentümer müssen Informationen darüber bekommen, wie PCB-haltige Materialien festgestellt werden können, dass nur Fachfirmen sie entfernen dürfen und dass PCB-haltiger Abfall als gefährlicher Abfall zu beseitigen ist. Um sich selbst und auch um die Umwelt schützen zu können, sollte die Bevölkerung in die Lage versetzt werden, mögliche offene Anwendungen von PCB zu erkennen. Schon kleinere Eingriffe in PCB-haltige Materialien, wie das Anbohren von PCB-haltigen Fugenmassen oder Farbanstrichen oder wenn Kinder an Fugenmassen spielen, können für die betreffende Person zu einer hohen Aufnahme von PCB führen. Nur wer sich der Gefahr bewusst ist, kann sich und seine Familie schützen. Nur wer weiß, dass bei Arbeiten an PCB-haltigen Materialien strenge Schutzvorkehrungen eingehalten werden müssen, kann intervenieren, wenn z. B. während Bauarbeiten PCB in die Umwelt freigesetzt werden.

Die EU-Verordnung über persistente Schadstoffe (EG-POPs-Verordnung; Europäische Kommission 2004) weist darauf hin, dass der Öffentlichkeit die Gefahren häufig nicht bewusst sind *„die persistente organische Schadstoffe für die Gesundheit heutiger und künftiger Generationen sowie für die Umwelt ... schaffen; deshalb bedarf es umfassender Informationen, um den Vorsichtsgrad zu erhöhen und Unterstützung für Beschränkungen und Verbote zu gewinnen. Gemäß dem [Stockholmer] Übereinkommen sollten Programme zur Bewusstseinsbildung für die Öffentlichkeit in Bezug auf diese Stoffe, besonders für die gefährdetsten Bevölkerungsgruppen, sowie die Ausbildung von Arbeitnehmern, Wissenschaftlern, Lehrkräften sowie Fach- und Führungskräften gefördert bzw. erleichtert werden.“* (Europäische Kommission 2004)

Über das Vorkommen von PCB in Nahrungsmitteln und in der Umwelt informieren die Umweltbehörden des Bundes und der Länder auf Internetseiten und in Broschüren (z. B. BMU 2013). Wünschenswert wäre eine Ergänzung um Daten und konkrete Beispiele zum Vorkommen von PCB in offenen Anwendungen und Informationen über die besonderen Risiken, die von offenen PCB-Anwendungen ausgehen können.

### **6.1.2 Informationen über konkrete Verwendungsbeispiele**

PCB wurden offen in verschiedensten Materialien und Anwendungen verwendet (Abschnitt 2.5). Von allen offenen PCB-Anwendungen gehen Gefahren aus, sei es durch ihre kontinuierliche Emission in die Luft, durch die Kontaminierung angrenzender Materialien mit PCB und, in ganz besonderem Maße, wenn aus Unkenntnis PCB-haltige Materialien bearbeitet, nicht ordnungsgemäß entsorgt oder recycelt werden. Die Bevölkerung muss darüber informiert werden, wo mit PCB-haltigen Materialien gerechnet werden muss und wie Gebäude und Materialien aussehen, die PCB enthalten können. Sie sollte in die Lage versetzt werden, PCB-verdächtige Materialien im eigenen Wohnumfeld oder in Schule, am Arbeitsplatz oder in Freizeiteinrichtungen zu erkennen. Es sollte eine Dokumentation zu PCB in offenen Anwendungen erstellt werden, die die verschiedenen Verwendungsarten und Verwendungsbereiche von PCB mit Text und Fotos umfassend beschreibt und die Verwendungsarten nach Häufigkeit des Vorkommens gliedert. Fotos mit Verwendungsbeispielen von PCB-haltigen Fugenmassen enthält z. B. der Nutzerleitfaden „PCB in Gebäuden“ des Landes Nordrhein-Westfalen (Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW 2003).

Aber auch in geschlossenen PCB-Anwendungen finden sich immer noch diese Stoffe. In alten elektrischen Geräten wie z. B. Leuchtstofflampen sind z. T. auch heute noch PCB-haltige Kondensatoren vorhanden. Diese Kondensatoren geben bei Erhitzen PCB ab und können, mit zunehmender Alterung, tropfen oder anfangen zu brennen (Guo 2011, Seite (v)).

### 6.1.3 Informationen/Ansprechpartner für betroffene Bürger

- Eigentümer von Gebäuden mit PCB-haltiger Bausubstanz

Spätestens vor geplanten Bauarbeiten müssen sich betroffene Gebäudeeigentümer mit PCB auseinandersetzen. Sie brauchen einen Ansprechpartner, der sie über die richtige Vorgehensweise berät und sie über ihre Pflichten informiert. Der Bauherr muss darauf hingewiesen werden, dass, gemäß der Technischen Regel für Gefahrstoffe „Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen“ (TRGS 524), PCB nur von Fachfirmen entfernt werden dürfen. Die Firmen müssen im Umgang mit dem Gefahrstoff PCB vertraut sein und müssen über geschultes Personal und geeignete Geräte verfügen. Die Vorschriften der TRGS 524 gelten auch für Arbeiten an Brücken, Masten und sonstigen Bauten, die PCB enthalten. Der Umgang mit PCB-haltigen Materialien sollte von den Behörden überwacht werden, einschließlich PCB-Freisetzung in Luft, Wasser und Boden und fachgerechter Entsorgung von PCB-haltigen Abfällen als gefährlicher Abfall.

- Betroffene Bürger

Die Öffentlichkeit sollte über das Vorkommen von PCB informiert werden (siehe auch Abschnitt 6.1.1). Auch Fachinformationen sollten für sie zugänglich sein. Zusätzlich werden Ansprechpartner gebraucht, die bei konkreten Problemen weiterhelfen können. Häufiger wird mit PCB-haltigen Materialien nicht fachgerecht umgegangen (Kapitel 3). Für die Bevölkerung muss eine niederschwellige Möglichkeit geschaffen werden, solche Vorkommnisse bei hierfür kompetenten Stellen zu melden und eine Kontrolle zu veranlassen.

Für die Überwachung der Einhaltung von Umweltweltschutzgesetzen wie Immissionsschutz, Abfallrecht, Boden- und Gewässerschutz, aber auch für das Baurecht sind in der Regel die Landkreise zuständig. Soll die Freisetzung von PCB aus Gebäuden verhindert werden, so müssen hier Stellen geschaffen werden, die einerseits über das Vorkommen von PCB in Gebäuden informieren und zum Umgang mit PCB-haltiger Bausubstanz beraten und andererseits die Einhaltung der Gesetze (PCB-Abfallverordnung, Bundesbodenschutzgesetz, PCB-Freisetzung in die Luft, etc.) und möglichst auch der Vorschriften des Arbeitsschutzes und der Gefahrstoffverordnung kontrollieren. Hierfür sollten bundeseinheitliche Leitlinien entwickelt werden, die von den Umweltämtern der Landkreise dann umgesetzt werden.

Ein Ziel sollte sein, dass die Behörden ein Kataster über alle Gebäude mit PCB-haltiger Bausubstanz und über Gebäude mit PCB-Verdacht entwickeln und führen.

## 6.2 Schulungen und Ausbildung

Verbände der Bauwirtschaft und private Firmen bieten Schulungen und Lehrgänge an, die den fachgerechten Umgang (nach BGR 128 und TRGS 524) mit PCB-haltiger Bausubstanz vermitteln.

Doch an anderer Stelle versäumen es diese Verbände darauf hinzuweisen, dass, bei allen Arbeiten in Gebäuden mit PCB-haltiger Bausubstanz, die Technischen Regeln für Gefahrstoffe und Gesetze, wie z. B. die PCB-Abfallverordnung, beachtet werden müssen:

Verbände der Bauwirtschaft verweisen beim Umgang mit PCB-haltigen Materialien oft nur auf die PCB-Richtlinie der ARGEBAU. In einer Stellungnahme zur PCB-Belastung öffentlicher Gebäude vertrat die Architektenkammer Nordrhein-Westfalen noch 2013 die Ansicht, dass das Problem von PCB in Gebäuden seit langem erkannt und weitgehend abgearbeitet sei (Architek-

tenkammer Nordrhein-Westfalen 2013). Sie ist der Meinung, dass die PCB-Richtlinie bis heute den Stand der Technik wiedergibt und betont, dass in der rechtlichen Situation keine Lücken zu erkennen sind. Die Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft informiert auf ihren Internetseiten einzelne Berufssparten (Gewerke) über den Umgang mit Schadstoffen und führt zu PCB allein die PCB-Richtlinie jeweils an zentraler Stelle auf (BG Bau 2014). Die PCB-Richtlinie reguliert jedoch die Raumluftkonzentration und verstellt den Blick auf PCB-haltigen Materialien sowie auf die Gesetze und Regelwerke, die im Umgang mit diesen Materialien anzuwenden sind. Zu den Regeln, die im Umgang mit PCB-haltiger Bausubstanz einzuhalten sind, zählt auch, wie bereits erläutert, die Berufsgenossenschaftliche Regel 128 „Kontaminierte Bereiche“ (BGR 128), die von der Berufsgenossenschaft selbst herausgegeben wurde, die jedoch hier bei der Information für Handwerker zum Gefahrstoff PCB nicht erwähnt wird (BG Bau 2014).

(Berufs-)Verbände des Bereichs Bauwirtschaft/Baubegutachtung sollten ihre Informationen zu PCB überprüfen. Firmen und Arbeiter, die sich über PCB bei ihren Verbänden informieren wollen, sollten Informationen und Anleitungen erhalten, die auf dem aktuellen Stand sind, die konkrete Verwendungsbeispiele zeigen und die auf diejenigen Gesetze und Regeln hinweisen, die von den Handwerksbetrieben im konkreten Fall zu beachten sind. Die Berufsverbände sollten insbesondere darauf hinweisen, dass der Ausbau PCB-haltiger Materialien nicht „nebenbei“ durch Handwerksbetriebe erfolgen darf.

### **6.2.1 Schulung von Feuerwehrleuten – Brände an PCB-haltiger Bausubstanz**

Bei Bränden in PCB-belasteten Gebäuden werden polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) gebildet. Dazu müssen die PCB-haltigen Materialien nicht selbst in Brand geraten, die Hitzewirkung reicht aus (Buser et al. 1978; Weber et al. 2007). Feuerwehrleute sollten über diese Gefährdung informiert werden. In Informationsmaterialien von einzelnen Ländern sind PCB und die Gefahren von hoher PCDF Belastung vor allem auch auf der kalten Brandstelle durch Adsorption im Ruß genannt (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2013). Ein Kataster, in dem alle PCB-belasteten Gebäude verzeichnet sind, könnte der Feuerwehr dabei helfen, rechtzeitig geeignete Schutzmaßnahmen zu treffen.

### **6.2.2 Schulung von Gutachtern, Bauingenieuren, Architekten**

Erfahrungen an Baustellen (Kapitel 3) haben gezeigt, dass es zum Teil an Fachwissen mangelt. Hier sollte das Fachwissen bei Bauingenieuren und Architekten, z. B. über ihre Berufsverbände, durch Informationen über PCB-haltige Baumaterialien verbessert werden bzw. wie in der Schweiz Fachwissen zu PCB in offenen Anwendungen besser ausgearbeitet und online verfügbar sein. Sie müssen Handlungsanweisungen erhalten, wie in Verdachtsfällen vorzugehen ist, wie ein Gebäude systematisch auf PCB untersucht werden kann und wie Arbeiten an PCB-haltiger Bausubstanz koordiniert durchgeführt werden müssen. Insbesondere müssen sie dafür sensibilisiert werden, dass die Freisetzung von PCB in die Umwelt während Bauarbeiten durch geeignete Arbeitsverfahren verhindert oder zumindest minimiert werden muss und Lüften nicht als Lösung empfohlen wird.

Vor größeren Sanierungsmaßnahmen werden die Gebäude üblicherweise auf Schadstoffe, darunter PCB, untersucht. Zumindest ein Teil der Gutachter, Bauleiter und Architekten sehen, wie eingangs schon erwähnt, die „Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden“ (PCB-Richtlinie) manchmal jedoch als die hauptsächlich oder allein geltende Vorschrift für den Umgang mit PCB-haltiger Bausubstanz an. Der Blick auf andere Gesetze und Regeln, die bei Arbeiten an PCB-haltigen Materialien zu beachten sind, wird durch die PCB-Richtlinie behindert. Stehen Sanierungsarbeiten an, so besteht jedoch nach

BGR 128/TRGS 524 die Pflicht, zu erkunden ob Schadstoffe vorhanden sind. Vor Beginn der Arbeiten müssen alle PCB-haltigen Materialien identifiziert werden und ihr Gefährdungspotenzial muss bewertet werden. So kann der Schutz von Arbeitern und Umwelt und die ordnungsgemäße Entsorgung PCB-haltiger Abfälle gewährleistet werden. Gemäß PCB-Abfallverordnung müssen PCB-verdächtige Materialien wie PCB-haltige behandelt werden, solange der Besitzer nicht nachgewiesen hat, dass sie PCB-frei sind

Manche Gutachter und Berater beurteilen seit Jahren Gebäude auf der Grundlage der PCB-Richtlinie. Sie sehen PCB als „mindergiftig“ an und messen nur denjenigen PCB-Verwendungen Bedeutung bei, die zu erhöhten Raumlufkonzentrationen führen. Hier müssen Gutachter weitergebildet und für die Gefahren sensibilisiert werden, die von der Freisetzung von PCB in die Umwelt, insbesondere bei der Freisetzung während Bauarbeiten ausgehen. Die Gefährdungsabschätzung für die Nutzer PCB-belasteter Gebäude berücksichtigt bisher ausschließlich die PCB-Aufnahme über die Atmung. Aber auch die Exposition gegenüber PCB-belastetem Staub, kann trotz evtl. niedriger Raumlufkonzentration zu hoher PCB-Aufnahme führen (Obenland 1999).

### **6.2.3 Aus- und Fortbildung für betroffene Berufsgruppen**

Die Berufsgenossenschaft für Bauwirtschaft gibt auf ihrer Internetseite, gegliedert nach Berufssparten, Hinweise auf den Umgang mit Gefahrstoffen (BG Bau 2014). Informationen zum Vorkommen von PCB wären für Handwerker und Bauarbeiter sehr sinnvoll. Denn sie wären dann evtl. in der Lage, PCB-haltige Materialien rechtzeitig zu erkennen, bevor sie aus Unkenntnis in Bauabfälle gelangen oder unter Freisetzung von PCB bearbeitet werden. Beim Gefahrstoff PCB verweist die BG BAU stets nur auf die PCB-Richtlinie der ARGEBAU. Diese PCB-Richtlinie gibt jedoch nur Anweisungen für PCB-Sanierungen, die aufgrund des Überschreitens des Gefahrenwertes durchgeführt werden müssen. „Einfache“ Handwerker und Bauarbeiter dürfen jedoch weder PCB-Sanierungen durchführen, noch in Bereichen arbeiten, in denen PCB vorhanden sind. Denn für solche „Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen“ dürfen nach TRGS 524 nur Firmen mit der entsprechenden Erfahrung und Fachkunde beauftragt werden.

Bei allen Abbruch-, Sanierungs-, Instandhaltungs- und Umbauarbeiten in Verbindung mit Tätigkeiten mit PCB-haltigen Bauprodukten (z. B. Fugenmassen, Anstriche) ist die Technische Regel für Gefahrstoffe „Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen“ (TRGS 524) einzuhalten, bzw. vor 2010 die Berufsgenossenschaftliche Regel 128 (BGR 128). Hierbei ist es unerheblich, aus welchem Anlass oder mit welchem Ziel die Arbeiten durchgeführt werden. Die meisten Instandhaltungs- und Baumaßnahmen an PCB-haltiger Bausubstanz finden heute ohne vorherige PCB-Erkundung statt, da das Ziel zum Beispiel die energetische Sanierung ist. Umso wichtiger ist es, Handwerksfirmen über PCB-Verwendungen zu informieren. Anhand von Bildmaterial und Beschreibungen sollten sie in die Lage versetzt werden, möglicherweise vorhandenes oder bei Arbeiten freigelegtes PCB-haltiges Material zu identifizieren. Nur wenn die PCB-Belastung rechtzeitig erkannt wird, kann die PCB-Freisetzung in die Umwelt, der Eintrag von PCB in Recyclingkreisläufe und die Gefährdung von Handwerkern, Gebäudenutzern und Passanten verhindert werden. Das PCB-haltige Material muss von einer Fachfirma unter Schutzvorkehrungen entfernt werden. Erst nach Ausbau des Gefahrstoffes und nach Reinigung des Arbeitsbereiches darf die Handwerksfirma weiterarbeiten.

Für folgende Handwerksberufe und Arbeiten sollte vordringlich Informationsmaterial, jeweils spezifisch für jede Berufsgruppe, zusammengestellt oder erarbeitet werden:

- Energetische Sanierung. Werden Gebäude mit PCB-haltigen Außenfugen gedämmt und werden die Fugenmassen zuvor nicht entfernt, so ist eine Sekundärkontamination der Dämmung zu erwarten, die im Laufe der Jahre immer weiter ansteigt. Eine Dämmung aus Mineralwolle kann, wenn sie das Abfallstadium erreicht, den Grenzwert von 1 mg PCB/kg überschreiten, der für das Recycling von mineralischen Abfällen gilt. In der Nähe der Fuge kann die PCB-Konzentration im Dämmmaterial höher sein als der Grenzwert für POP-Abfälle.
- Beton- und Fassadensanierer (Fugenmasse, PCB-haltige Farbanstriche)
- Fensterbauer (Fugenmasse)
- Lüftungstechniker (Sekundärbelastung in Abluftsystemen)
- Maler (Farbanstriche)
- Abbruch von Bauteilen (Beim kontrollierten Rückbau von größeren Gebäuden üblicherweise erfahrende Fachfirmen beauftragt, die die gesetzlichen Vorgaben kennen)
- Arbeiten an (möglicherweise PCB-haltigen) Korrosionsschutzanstrichen, wie Schneidbrennarbeiten oder bei Sandstrahlarbeiten.
- Arbeiten in Metallrecycling-Unternehmen (Korrosionsschutzfarben, aber auch PCB-haltige Kondensatoren), Holzrecycling-Unternehmen (Wilhelmi-Deckenplatten, PCB-haltige Holzlacke), Baustoffrecycling-Unternehmen (Fugenmasse, Farbanstriche, sekundär belastetes Material).

#### **6.2.4 Informationen und Vorschriften über geeignete Arbeitsverfahren und Geräte bei PCB-Sanierungen**

PCB-Sanierungsfirmen haben höchst unterschiedliche Vorstellungen darüber, welche Maßnahmen bei Sanierungen zum Schutz von Umwelt und Arbeitern zu treffen sind. Ebenso unterschiedlich sind die angewandten Sanierungsverfahren und die verwendeten Arbeitsgeräte.

In Schweden hat das Ecocycle Council, eine schwedische Organisation von Bauwirtschaft und Immobilienbesitzern, bereits 1998 eine PCB-Kampagne gestartet, bei der u. A. Arbeitsverfahren für eine umweltverträgliche Entfernung und Beseitigung PCB-haltiger Fugenmassen erprobt und weiterentwickelt werden sollen (Selden et al. 2008; Abschnitt 5.1).

Unterschiedliche PCB-Anwendungen bedingen unterschiedliche Arbeitsverfahren; eine Praxis-hilfe oder Richtlinie sollte über den aktuellen Stand der Technik informieren und Orientierung darüber geben, welche Techniken, Geräte und Schutzmaßnahmen für bestimmte Arbeiten geeignet oder ungeeignet sind. Dies sollte im Internet verfügbar sein. Für Sanierungsverfahren, Arbeitstechniken und Schutzmaßnahmen sollten Mindeststandards festgelegt und laufend dem aktuellen Stand der Technik und dem Stand des Wissens angepasst werden. Diese Mindeststandards sollten u. a. berücksichtigen, dass die Freisetzung von PCB in die Umwelt während der Bauarbeiten so gering wie möglich gehalten werden muss. Diese Mindestanforderungen sollten bundeseinheitlich gelten und die Einhaltung sollte überwacht werden. Der Schutz von Umwelt vor PCB hat hier Landesgrenzen überschreitende Relevanz (analog der Argumentation der Listung der PCB in der Stockholm Konvention) und sollte nicht durch die PCB-Richtlinien einzelner Bundesländer geregelt werden.

Eine gute Zusammenstellung gibt der Ratgeber über „Die sachgemäße Entfernung und Entsorgung PCB-haltiger Fugendichtungsmassen und Anstriche: Werkzeuge, Verfahren, Schutzmaßnahmen“ (Kanton Basel-Landschaft 2004) der Bau- und Umweltschutzdirektion des

Kantons Basel-Landschaft. Der Ratgeber des Landes Nordrhein-Westfalen zu „PCB in Gebäuden - Nutzerleitfaden“ (Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW 2003) enthält neben einigen Techniken auch eine Checkliste bei Verdachts- und Schadensfall von PCB-Belastung in Gebäuden.

Es sollte nicht mehr erlaubt sein, PCB-Sanierungen bei geöffnetem Fenster durchzuführen oder gar PCB-haltige Stäube mit einem Gebläse ins Freie zu transportieren. Es sollte verboten werden, offene PCB-Anwendungen bei PCB-Sanierungen zu beschichten, anstatt sie zu entfernen. Eine PCB-Sanierung muss zum Ziel haben, alle PCB-haltigen Materialien aus dem Gebäude so zu entfernen, dass es weitestgehend nicht wieder in die Umwelt gelangen kann. Entsprechend müsste die Entsorgung (Recyclingverbot) bundesweit geregelt werden.

## 6.3 Gesetze

### 6.3.1 Überprüfung des Anwendungsbereichs und der Risikoabschätzung der PCB-Richtlinie

Die Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie der ARGEBAU) wird häufig als die allein geltende Vorschrift beim Umgang mit PCB-haltiger Bausubstanz angesehen. Viele öffentliche Gebäude wurden auf PCB in der Raumluft untersucht. Die meisten der Gebäude, in denen der Gefahrenwert überschritten war, sind saniert. Dies führte dazu, dass in Fachkreisen die Meinung vorherrscht, dass ein Großteil der Belastungsfälle bekannt und abgearbeitet wurden (Architektenkammer Nordrhein-Westfalen 2013; Städte- und Gemeindebund NRW 2013).

- Wie in Abschnitt 4.2.2 gezeigt wurde, gelten viele Gebäude, die PCB-haltige Baumaterialien enthalten, nach PCB-Richtlinie als PCB-frei, weil sie den Vorsorgewert von (300 ng PCB/m<sup>3</sup>) unterschreiten (Gesundheitsamt Bremen 2003, S. 27). Aus Messungen in der Schweiz (Kohler et al. 2005) wurde abgeschätzt, dass etwa 70% der Gebäude, die PCB enthalten, den Vorsorgewert von 900 ng PCB/m<sup>3</sup> unterschreiten, der bis 2010 in einigen Bundesländern galt (Abschnitt 4.2.2).
- Nur 5% der von Kohler et al. (2005) in der Schweiz untersuchten Gebäude, die PCB-haltige Fugenmassen enthielten, hatten Raumluftkonzentrationen von mehr als 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup>. Geht man davon aus, dass die Art der PCB-Verwendung in Fugenmassen in Deutschland ähnlich war, wie bei den von Kohler et al. (2005) untersuchten Gebäuden in der Schweiz, so muss/musste nur ein geringer Teil der Gebäude in Deutschland (5% oder weniger, Abschnitt 4.2.2) wegen Überschreitung des Gefahrenwertes von 3.000 ng PCB/m<sup>3</sup> nach PCB-Richtlinie saniert werden. Diese Gebäude können auch nach der „PCB-Sanierung“ noch PCB enthalten, z. B. in Außenfugen und unter Abschottungen oder Beschichtungen.
- In Gebäuden mit PCB-haltiger Bausubstanz, die den Vorsorgewert (300 ng PCB/m<sup>3</sup>) überschreiten, aber den Gefahrenwert (3.000 ng PCB/m<sup>3</sup>) unterschreiten, ist gemäß PCB-Richtlinie „die Quelle der Raumluftverunreinigung aufzuspüren und nach Möglichkeit unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit zu beseitigen<sup>113</sup>“ oder es ist zumindest regelmäßig zu lüften. Bei diesen Gebäuden gerät die PCB-Belastung leicht in

---

<sup>113</sup> Nach PCB-Richtlinie NRW sind die Quellen in diesem Fall „mittelfristig“ zu beseitigen. Der Begriff „mittelfristig“ wird jedoch nicht konkretisiert.

Vergessenheit. Falls PCB-saniert wird, dann müssen PCB-haltige Materialien nicht vollständig entfernt werden.

Tatsächlich werden also die wenigsten Gebäude, in denen PCB-haltige Materialien vorhanden sind, als PCB-belastet erkannt bzw. eingestuft. Der überwiegende Anteil PCB-enthaltender Gebäude wurde nicht saniert. Die Beurteilung der Bausubstanz mittels PCB-Richtlinie führt zu einer zusätzlichen Gefährdung: Es ist der Eindruck entstanden, es gebe keine Probleme mit PCB in den Gebäuden unterhalb des Vorsorgewerts ( $300 \text{ ng/m}^3$ ). Auch bei Gebäuden die zum Teil saniert wurden, wurde meist nur ein Teil der PCB entfernt oder gar nur durch andere Farben oder Tapeten abgedeckt. Diese Gebäude gelten als auf PCB untersucht und saniert obwohl in den meisten Fällen noch PCB in der Bausubstanz vorhanden sind.

Die Grenzwerte der PCB-Richtlinie wurden aus (inzwischen veralteten) toxikologischen Studien abgeleitet und hatten das Ziel, die Gebäudenutzer zu schützen. Die Grenzwerte berücksichtigen jedoch nicht den kontinuierlichen Eintrag von PCB aus Baumaterialien in die Umwelt durch Evaporation und Verwitterung.

Durch das Sanierungsziel „Reduktion der Innenraumkonzentration“ einschließlich der Empfehlung, auch eine Reduktion der Emissionen in die Außenluft zu erreichen, sind die Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten an PCB-belasteten Gebäuden und besonders bei Sanierungsmaßnahmen sach- und fachgerecht durchzuführen.

Immissionsschutz, Boden- und Gewässerschutz und Abfallrecht werden durch Bundesgesetze geregelt. Auch für den Umgang mit PCB-haltiger Bausubstanz sollten durch ein Bundesgesetz einheitliche Regelungen gelten. Dies betrifft einerseits das methodische Vorgehen z. B. für die Probenahme und Analytik, aber auch für die sach- und fachgerechte Entsorgung belasteter Materialien. Vor allem auch im Hinblick, dass die Emissionen von PCB - analog der Gründe der PCB-Listung in der Stockholm Konvention und des damit bescheinigten Ferntransports (Wania & Mackay 1996) - an den Grenzen des einzelnen Bundeslandes nicht Halt macht.

Auch könnte durch bundeseinheitliche Regelungen die Umsetzung der Stockholm Konvention und Basler Konvention besser koordiniert werden was zum Beispiel die Importe und Exporte von PCB haltigen Abfällen betrifft.

### **6.3.2 PCB-Inventarisierung, Schadstoff-Kataster für Gebäude und Verbot der Verwendung von PCB**

Bisher waren die überwiegenden Informationsquellen bezüglich des Ausmaßes des PCB-Eintrages aus offenen Anwendungen in die Umwelt vorwiegend Fachpublikationen der letzten 10 Jahre.

Zahlreiche Gesetze regeln den Umgang mit PCB. Diese sind zum größten Teil vor mehr als 10 Jahren entstanden. Unter anderem wurde die Beschränkungen der Weiterverwendung von PCB, die Verwendungsverbote und die Pflicht zur Inventarisierung mit Blick auf die geschlossenen PCB-Anwendungen formuliert, da diese damals als die wesentlichen Quellen für die PCB-Einträge in die Umwelt angesehen wurden.

Die folgenden Gesetze, die heute gelten oder die, wie die PCB-,PCT-,VC-Verbotsverordnung, früher galten, erwähnen oft nur geschlossene PCB-Anwendungen explizit. Sie müssen analog für offene PCB-Anwendungen gelten bzw. ergänzt werden. Da die offenen PCB-Anwendungen heute in Deutschland die wichtigsten PCB-Quellen sind und in der Vergangenheit zumindest eine ähnlich wichtige PCB-Quelle wie geschlossene Anwendungen für die Belastung von Umwelt und Menschen darstellten.

- Die bundesdeutsche PCB-, PCT-, VC-Verbotsverordnung (1989)

Es wurde verboten, PCB herzustellen, in Verkehr zu bringen oder zu verwenden. Bereits in Verkehr gebrachte Erzeugnisse durften bis zur Außerbetriebnahme verwendet werden, längstens bis zum 31.12.1999. Die Verordnung galt für Stoffe und Zubereitungen und deren Erzeugnissen, die mehr als 50 mg PCB/kg enthielten. Erzeugnisse mit einem Inhalt von mehr als 5 Litern PCB-haltiger Flüssigkeit waren zu kennzeichnen. Waren PCB-haltige Erzeugnisse in einem besonderen Betriebsraum untergebracht, war auch dieser an den Zugängen zu kennzeichnen.

- Die EU-Richtlinie 96/59/EG (1996): Die Richtlinie verlangte von den Mitgliedstaaten eine Bestandsaufnahme für alle Geräte, die mehr als 5 Liter PCB-haltige Stoffe oder Zubereitungen (mit einer Konzentration von mehr 50 mg PCB/kg) enthalten und einen Plan zur Dekontamination und/oder Beseitigung dieser Geräte. Diese EU-Richtlinie verlangte zusätzlich von den Mitgliedstaaten eine Regelung für das Einsammeln und Beseitigen der Geräte, die nicht der Bestandsaufnahmepflicht unterlagen, weil sie weniger als 5 Liter PCB enthielten.

Durch Übertragen bzw. durch Analogieschluss<sup>114</sup> auf offene Anwendungen würde gelten (gilt?):

- Verbot der Weiterverwendung: PCB-haltige Bau-Materialien müssen bis zu einem festzulegenden Zeitpunkt ausgebaut und entsorgt werden<sup>115</sup>.
- Pflicht zur Kennzeichnung: Ist in einem Gebäude mehr als 5 dm<sup>3</sup> (5 Liter) PCB-haltiges Material vorhanden, so sind sowohl das Material als auch das Gebäude zu kennzeichnen. Das Material gilt als PCB-haltig, wenn es mehr als 50 mg PCB/kg enthält oder wenn es aus Teilen besteht, von denen eines mehr als 50 mg PCB/kg enthält (z. B. ist bei Wilhelmi-Deckenplatten die Konzentration im Farbanstich maßgeblich)
- Pflicht zur Inventarisierung: Enthalten Gebäude mehr als 5 dm<sup>3</sup> (5 Liter) PCB-haltiges Material, so ist eine Bestandsaufnahme zu machen und der zuständigen Behörde zu melden und es ist ein Plan über Ausbau und Entsorgung vorzulegen. Für alle anderen PCB-haltigen Materialien, muss eine Regelung für Ausbau und Entsorgung getroffen werden.

Bereits heute gilt nach EG-POPs-Verordnung (2004), dass alle Bestände mit mehr als 50 kg PCB<sup>116</sup> zu melden sind (Artikel 5). Ein großer Teil von Gebäude mit PCB-Fugenmasse wird dieses Kriterium erfüllen. Auf jeden Fall sollten allein schon aufgrund dieses Paragraphen alle Häuser in Betonbauweise und ggf. andere Häuser von 1950 bis 1975<sup>117</sup> überprüft und inventarisiert werden.

Weitere Regelungen, die zum Umgang mit PCB in Gebäuden getroffen werden sollten:

---

<sup>114</sup> Da die offenen PCB-Anwendungen für Umweltkontamination und Humanexposition eine höhere Relevanz besitzen als die geschlossen Anwendungen, sollten die Gesetze analog für offene PCB-Anwendungen gelten.

<sup>115</sup> Es erscheint sinnvoll hier einen neuen Zielzeitraum einzuführen und nicht die alten schon verstrichenen Stichtage zu belassen.

<sup>116</sup> Als PCB gelten hier Stoffe/Materialien mit Konzentrationen > 50 mg PCB/kg

<sup>117</sup> Der Ratgeber des Landes Nordrhein-Westfalen zu „PCB in Gebäuden - Nutzerleitfaden“ nennt einen Zeitraum von 1950 bis 1980 (Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW 2003).

- Es ist notwendig, eine systematische Vorgehensweise für die Untersuchung von Gebäuden auf PCB festzulegen. PCB-haltige Baumaterialien und auch die Materialien mit einer Sekundärkontaminationen über 50 mg PCB/kg müssen zuverlässig identifiziert werden.
- Für Gebäude, die PCB oder andere Gefahrstoffe enthalten, sollte das Führen eines „Baubuches“ vorgeschrieben sein. Im Baubuch müssen alle im Gebäude identifizierten schadstoffhaltigen Baumaterialien verzeichnet werden. Handwerkern muss die Möglichkeit gegeben werden, vor evtl. anstehenden Bauarbeiten, Einsicht zu nehmen. Es erscheint sinnvoll, hier alle relevanten Schadstoffe gemeinsam zu inventarisieren bzw. die Inventarisierung von PCB oder Asbest zum Anlass zu nehmen, weitere evtl. vorhandene Schadstoffe zu inventarisieren.
- Es sollten Grenzwerte für den Eintrag von PCB ins Abwasser festgelegt werden. Beim Abstrahlen von Gebäuden mit Hochdruck-Wasserstrahl werden aus PCB-haltigen Fugenmassen PCB freigesetzt und gelangen ins Abwasser. Auch beim Abstrahlen von PCB-Lacken von Stahlträgern etc. (Sanierungsmethode) mit Hochdruckreiniger können PCB ins Wasser gelangen. In den USA darf Wasser mit mehr als 3.000 ng PCB/Liter<sup>118</sup> nicht ins Abwassersystem eingeleitet werden (U.S.EPA 2005).

**Da die offenen PCB-Anwendungen für Umweltkontamination und Humanexposition eine höhere Relevanz besitzen als die geschlossenen Anwendungen (siehe Kapitel 1 bis 3) müssen im Analogieschluss die oftmals für die geschlossenen Anwendungen formulierten Gesetze analog für offene PCB-Anwendungen gelten. Dies sollte bei der Änderung der Gesetzestexte berücksichtigt und der Wortlaut entsprechend angepasst werden.**

### **6.3.3 Veröffentlichung von Daten über das Vorkommen von PCB**

PCB in offenen Anwendungen werden kontinuierlich emittiert und während Bauarbeiten freigesetzt. Dies kann zur Belastung der Bewohner des Gebäudes, der Nachbarn oder Passanten führen. Eine deutlich größere Zahl von Menschen kann indirekt über die Kontamination der Lebensmittelkette betroffen sein. Das Vorkommen von PCB in Gebäuden/Bauwerken darf deshalb nicht als Privatangelegenheit des Eigentümers behandelt werden. Daten müssen erhoben und veröffentlicht werden. Die EG-POPs-Verordnung (Europäische Kommission 2004) weist in Artikel 10 (3) darauf hin, dass Informationen über Gesundheit und Sicherheit des Menschen und über die Umwelt nicht als vertraulich betrachtet werden. Dies sollte in Bezug auf PCB in Deutschland besser umgesetzt werden.

### **6.3.4 Wirksame Kontrollen und Sanktionen, Bekanntgabe von Verstößen**

Wie in diesem Bericht dokumentiert, ist der unsachgemäße Umgang mit PCB-haltigen Baumaterialien in Deutschland ein Problem. Oft wissen Eigentümer und Handwerksfirmen nichts von der PCB-Belastung des Gebäudes oder sie kennen die Gesetze und Regeln nicht, die bei Arbeiten an PCB-belasteten Gebäuden zu beachten sind. Hier sind vor allem Informationen notwendig (Abschnitt 6.2). Manche jedoch wissen von der PCB-Belastung und kennen die einschlägigen Gesetze oder müssten sie kennen. Hier hilft Aufklärung nur bedingt. Die EU-

---

<sup>118</sup> Ein angemessener Höchstgehalt sollten festgelegt werden mit der Empfehlung, dass dieser niedriger liegen sollte als der jetzige U.S. Standard.

POPs-Verordnung (Europäische Kommission 2004) rät bei Nichteinhaltung von Vorschriften, die zu einer Schädigung der menschlichen Gesundheit und der Umwelt führen können, zu wirksamen, verhältnismäßigen und abschreckenden Sanktionen. Sie empfiehlt, Informationen über Verstöße gegen die POPs-Verordnung, soweit angemessen, öffentlich bekannt zu machen (Artikel 13 und Einleitung (25)).

## 7 Quellenverzeichnis

- AG Innenraumluft Bremen (2006) 5-Jahre ressortübergreifende ad-hoc Arbeitsgruppe Innenraumluft Bremen - Überblick -, Senator für Arbeit, Frauen, Gesundheit, Jugend und Soziales Bremen, Schriftenreihe Umweltbezogener Gesundheitsschutz, Bd. 19 a [http://www.verbraucherschutz.bremen.de/sixcms/media.php/13/Brosch%FCre\\_%DCberblick.pdf](http://www.verbraucherschutz.bremen.de/sixcms/media.php/13/Brosch%FCre_%DCberblick.pdf)
- AltholzV (2002), Altholzverordnung, Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz, zuletzt geändert 24.02.2012, <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/altholzv/gesamt.pdf>
- Amt für Umwelt und Verkehr Herrenberg (2004) Umweltraumenplan der Großen Kreisstadt Herrenberg. Juli 2004, <http://www.agenda21-energie-herrenberg.de/umweltbericht.pdf>
- Angerer J, Bolt H, Brüning T, Drexler H, Eikmann T, Ewers U, Gieler U, Greim H, Hallier E, Letzel S, Mersch-Sundermann VH, Neuberger M, Nowak, Rüdiger HW (2004) Über das Biological Monitoring, den Unwillen Gesundheitsrisiken rational abzuschätzen und die Lust an radikalen Maßnahmen, Editorial, Umweltmed Forsch Prax 9 (2), <http://www.ecomed-medizin.de/sj/ufp/Pdf/aId/6590>
- Architektenkammer Nordrhein-Westfalen (2013) Stellungnahme der Architektenkammer Nordrhein-Westfalen (AKNW) zum Antrag „PCB-Belastung in öffentlichen Gebäuden wie Schulen, Kitas und Sporthallen“ - Drucksache 16/1257 [http://www.aknw.de/fileadmin/user\\_upload/Stellungnahmen-Positionen/aknw\\_stellungnahme\\_pcb\\_belastung.pdf](http://www.aknw.de/fileadmin/user_upload/Stellungnahmen-Positionen/aknw_stellungnahme_pcb_belastung.pdf) (abgerufen am 07.10.2014)
- ARGEBAU (1994) Arbeitsgemeinschaft der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister der Bundesländer, Projektgruppe Schadstoffe der Fachkommission Bau-normung, Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie), DIBt-Mitteilungen 1995, 2:50-59, Deutsches Institut für Bau-technik, Berlin, [http://www.bgbau-medien.de/html/bau/pcb\\_rl.pdf](http://www.bgbau-medien.de/html/bau/pcb_rl.pdf)
- ARGEBAU (2011) Informationssystem der Bauministerkonferenz, [Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen, Fassung Dezember 2011](#), <http://www.bauministerkonferenz.de/verzeichnis.aspx?id=991&o=75909860991>
- ARGEBAU (2014) Informationssystem der Bauministerkonferenz, [Umsetzung der Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen in den Ländern](#) (Stand 13.06.2014) <http://www.bauministerkonferenz.de/verzeichnis.aspx?id=991&o=75909860991>
- Astebro A, Jansson B, Bergström U (2000) Emissions During Replacement of PCB Containing Sealants- a Case Study, Organohalogen Compounds 46, <http://www.dioxin20xx.org/pdfs/2000/00-21.pdf>

- BAFU (2010a) PCB- Farben und Lacke, Schweizer Bundesamt für Umwelt, <http://www.bafu.admin.ch/chemikalien/01389/01395/01397/index.html?lang=de> (abgerufen am 15.09.2014)
- BAFU (2010) Fugendichtungsmassen, Schweizer Bundesamt für Umwelt, <http://www.bafu.admin.ch/chemikalien/01389/01395/01398/index.html?lang=de> (abgerufen am 07.10.2014)
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2011) Untersuchungen möglicher Boden- und Pflanzenbelastungen im Umfeld von Strommasten. Stand November 2011, [http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug\\_app000009?SID=20889862&ACTIONxSESSxSHOWPIC%28BILDxKEY:lfu\\_bod\\_00082,BILDxCLASS:Artikel,BILDxTYPE:PDF%29](http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug_app000009?SID=20889862&ACTIONxSESSxSHOWPIC%28BILDxKEY:lfu_bod_00082,BILDxCLASS:Artikel,BILDxTYPE:PDF%29)
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2012) Gemeinsame Handlungsempfehlungen zum Umgang mit möglichen Bodenbelastungen im Umfeld von Stahlgitter-Strommasten im bayerischen Hoch- und Höchstspannungsnetz. Dezember 2012. [http://www.lfu.bayern.de/boden/strommasten/doc/handlungsempfehlung\\_strommasten.pdf](http://www.lfu.bayern.de/boden/strommasten/doc/handlungsempfehlung_strommasten.pdf)
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2013) Schadstoffe bei Brandereignissen.
- Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz (2002), PCB-Blutuntersuchung: Keine Gesundheitsgefahr für Schüler der Georg-Ledebour-Schule in Nürnberg. Bayernweite PCB-Umfrage: Keine weiteren Hinweise auf Überschreitung des Gefahrenwertes in Schulen und Kindergärten, Presseerklärung des Bayerischen Staatsministeriums für Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz vom 26. September 2002, <http://www.gesundheitsamt.de/alle/umwelt/chemie/pcb/pm/02.htm>
- Behnisch P (1997) Nicht-, mono- und di-ortho-chlorierte Biphenyle (PCB), Dissertation der Fakultät für Chemie und Pharmazie der Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Band 321, UFO Atelier für Gestaltung & Verlag Allensbach, ISBN 3-930803-20-8
- Berner Zeitung (2013) Dioxin im Fleisch aus naturnaher Produktion, 19.12.2013 <http://www.tagesanzeiger.ch/schweiz/standard/Dioxin-im-Fleisch-aus-naturnaher-Produktion/story/15731507>
- BfR (2006) Vorgeschlagene EU-Höchstgehalte für nicht dioxinähnliche Polychlorierte Biphenyle (ndl-PCB) in Lebensmitteln sind zu hoch, Stellungnahme Nr. 004/2007 des BfR vom 30. Juni 2006, [http://www.bfr.bund.de/cm/343/vorgeschlagene\\_eu\\_hoechtsgehalte\\_fuer\\_nicht\\_dioxinaehnliche\\_polychlorierte\\_biphenyle.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/343/vorgeschlagene_eu_hoechtsgehalte_fuer_nicht_dioxinaehnliche_polychlorierte_biphenyle.pdf)
- BfR (2010), Aufnahme von Umweltkontaminanten über Lebensmittel, Bundesinstitut für Risikobewertung, 2010 [http://www.bfr.bund.de/cm/350/aufnahme\\_von\\_umweltkontaminanten\\_ueber\\_lebensmittel.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/350/aufnahme_von_umweltkontaminanten_ueber_lebensmittel.pdf)
- BfR (2011) Dioxin- und PCB-Gehalte in Wild stellen keine Gesundheitsgefahr dar, Stellungnahme Nr. 048/2011 des BfR vom 16. Mai 2011, <http://www.bfr.bund.de/cm/343/dioxin-und-pcb-gehalte-in-wild-stellen-keine-gesundheitsgefahr-dar.pdf>
- BG Bau (2014) BG Bau, Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Gewerkespezifische Informationen der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, [http://www.bgbau-medien.de/struktur/inhalt\\_b.htm](http://www.bgbau-medien.de/struktur/inhalt_b.htm)

- BGR 128, Berufsgenossenschaftliche Regel für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BG-Regel) 128 „Kontaminierte Bereiche“, April 1997, aktualisierte Fassung 2006, [http://www.bgbau-medien.de/html/pdf/bgr/bgr\\_128.pdf](http://www.bgbau-medien.de/html/pdf/bgr/bgr_128.pdf)
- Binder M, Maraun W, Obenland H (2001) Berücksichtigen die bestehenden PCB-Richtlinien in ausreichendem Maße den Schutz von Kindern und Jugendlichen? [http://agoef.de/agoef/schadstoffe/schutz\\_pcb\\_richtlinie\\_kinder\\_Jugendliche.html](http://agoef.de/agoef/schadstoffe/schutz_pcb_richtlinie_kinder_Jugendliche.html)
- biomess (2012) Raumlufthmessungen auf polychlorierte Biphenyle (PCB) zur Quellensuche der Primäre- und Sekundärquellen, Bericht: 2012-08-093 Dreikönigenschule Neuss, biomess Ingenieurbüro GmbH, <http://www.neuss.de/downloads/2012/10/bericht-2012-08-093-GMN-dreikoenigen-abdeckungen-flur-und-1-10.pdf>
- BLB NRW (2008) Entscheidung über die Zukunft der Institutsgebäude für Geowissenschaften ist zugunsten eines Neubaus gefallen, Presseinfo vom 25.02.2008, Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW, [https://www.blb.nrw.de/BLB\\_Hauptauftritt/Presse/Archiv/200802/080225/index.php](https://www.blb.nrw.de/BLB_Hauptauftritt/Presse/Archiv/200802/080225/index.php)
- Bleeker et al. (1999), PCB-Konzentrationen im menschlichen Blut, Umweltmedizin in Forschung und Praxis, 1999, 4(2)
- BMLFUW (2002) Behandlungs- und Verwertungswege für PVC-Abfälle, Österreichisches Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, Dezember 2002, [http://www.bmlfuw.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/behandlung-verwertung/pvc\\_behandlung.html](http://www.bmlfuw.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/behandlung-verwertung/pvc_behandlung.html)
- BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, und Reaktorsicherheit (2003) PCB-Abfallverordnung – Ziel, Eckpunkte und Hintergrund, Information des BMU zur PCB-Abfallverordnung, April 2003, <http://www.bmub.bund.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/pcbabfallv-pcb-abfallverordnung-verordnung-ueber-die-entsorgung-polychlorierter-biphenyle-polychlorierter-terphenyle-und-halogenierter-monomethylid/>
- BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, und Reaktorsicherheit (2013) Umweltschutz - Standbein der Lebensmittelsicherheit – Dioxin- und PCB-Einträge vermeiden. 5. aktualisierte Auflage, Januar 2013.
- Bogdal C, Müller CE, Buser AM, Wang Z, Scheringer M, Gerecke AC, Schmid P, Zennegg M, MacLeod M, Hungerbühler K (2014) Emissions of Polychlorinated Biphenyls, Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins, and Polychlorinated Dibenzofurans during 2010 and 2011 in Zurich, Switzerland, Environ. Sci. Technol., 48, 482–490.
- Buser H-R, Bosshardt H-P, Rappe C (1978) Formation of polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) from the pyrolysis of PCBs. Chemosphere 7, 109-119 (1978).
- BUWAL (2000a) Praxishilfe. PCB-Emissionen beim Korrosionsschutz, Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft 2000, <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00658/index.html?lang=de>
- BUWAL (2000b), BUWAL warnt vor nicht fachgerechten Sanierungen: PCB-Altlasten bilden ein Risiko für Mensch und Umwelt, Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft <http://www.bafu.admin.ch/recht/00245/12705/index.html?lang=de&msg-id=2353>
- BUWAL (2002) Korrosionsschutz im Freien, Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00181/index.html?lang=de>

- BUWAL (2003) Richtlinie PCB-haltige Fugendichtungsmassen, Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft  
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00579/index.html?lang=de>
- BUWAL (2004) Umweltschutz bei Korrosionsschutzarbeiten, Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft  
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00664/index.html?lang=de>
- Carpenter DO (2006) Polychlorinated Biphenyls (PCBs): Routes of Exposure and Effects on Human Health, Reviews on Environmental Health 21(1),  
[www.pcbinschools.org/Carpenter%20PCBs.doc](http://www.pcbinschools.org/Carpenter%20PCBs.doc)
- Chemikalien-Verbotsverordnung (1993) Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (Chemikalien-Verbotsverordnung - ChemVerbotsV), Chemikalien-Verbotsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 13. Juni 2003 (BGBl. I S. 867), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 40 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist, <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/chemverbotsv/gesamt.pdf>
- Csiszar SA (2012) Estimating Urban Scale Semi-Volatile Organic Compound Emissions and Fate Using a Coupled Multimedia and Atmospheric Transport Model. PhD Thesis. University of Toronto.
- Csiszar SA, Daggupaty SM, Verkoeyen S, Giang A, Diamond ML (2013) SO-MUM: A Coupled Atmospheric Transport and Multimedia Model Used to Predict Intraurban-Scale PCB and PBDE Emissions and Fate, Environ. Sci. Technol. 47, 436-445.
- Der Westen (2013) Komplette Freibad-Saison 2013 nach PCB-Fund bei „Hesse“ in Essen in Gefahr 20.03.2013 <http://www.derwesten.de/staedte/essen/komplette-freibad-saison-2013-nachpcb-fund-bei-hessein-essen-in-gefahr-id7746360.html>
- Detzel A, Patyk A, Fehrenbach H, Franke et al. (1998) Ermittlung von Emissionen und Minderungsmaßnahmen für persistente organische Schadstoffe in der Bundesrepublik Deutschland. FuE-Vorhaben 360 12 008, im Auftrag des Umweltbundesamtes. UBA-Texte 74/98. Berlin
- Deutscher Beton- und Bautechnikverein e.V. Berlin (2000), Rundschreiben Nr. 186, Oktober 2000
- Deutscher Bundestag (2013) Kleine Anfrage der Abgeordneten Eva Bulling-Schröter, Caren Lay, Dr. Dietmar Bartsch, u. a. und der Fraktion DIE LINKE. Sanierung PCB-belasteter Gebäude. Drucksache 18/178. 13.12.2013.
- Deutscher Bundestag (2014) Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Eva Bulling-Schröter, Caren Lay, Dr. Dietmar Bartsch, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE. - Drucksache 18/178 - Sanierung PCB-belasteter Gebäude. Drucksache 18/293. 15.01.2014.
- Deutscher Bundestag (2014) Sanierung PCB-belasteter Gebäude PCB-Belastung in Gebäuden, Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit/Antwort - 23.01.2014  
[https://www.bundestag.de/presse/hib/2014\\_01/2014\\_031/01.html](https://www.bundestag.de/presse/hib/2014_01/2014_031/01.html)
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2013) Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld.

- DFG (2011) Polychlorierte Biphenyle (PCB), weltweit verboten – überall präsent, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 71(1/2) 2011, Hartwig A., Vorsitzende der DFG-Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe
- DFG (2012) Deutsche Forschungsgemeinschaft, MAK- und BAT-Werte-Liste 2012, Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Mitteilung 48, Seite 44 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527666027.oth02/pdf>
- Di Domenico A, Silano V, Viviano G, Zapponi G (1980), Accidental Release of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin (TCDD) at Seveso: II. TCDD distribution in the soil surface layer, Istituto Superiore Di Sanita, Rom (Italien), Bericht, Istisan 1980/3, ISSN-0391-1675 [http://www.iss.it/binary/publ/cont/Rapporto\\_Ist\\_80\\_3.pdf](http://www.iss.it/binary/publ/cont/Rapporto_Ist_80_3.pdf)
- Dortmund (2011) PCB-Belastung, Verzicht auf Grünkohl noch empfohlen, 17.03.2011 [http://www.dortmund.de/de/leben\\_in\\_dortmund/gesundheit/pcb/nachrichten\\_thema\\_pcb/nachricht.jsp?nid=122984](http://www.dortmund.de/de/leben_in_dortmund/gesundheit/pcb/nachrichten_thema_pcb/nachricht.jsp?nid=122984)
- EG-Richtlinie 96/59/EG (1996), Richtlinie 96/59/EG des Rates vom 16. September 1996 über die Beseitigung polychlorierter Biphenyle und polychlorierter Terphenyle (PCB/PCT), ABl. L 243 vom 24.9.1996 S. 31, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1996L0059:20090807:DE:PDF>
- Ertl H (2006) In vitro-Resorptionsverfügbarkeit von Bioziden und PCB aus Hausstaub bei Aufnahme über den Magen-Darm-Trakt bzw. durch die Haut. Dissertation an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. <http://oops.uni-oldenburg.de/18/1/ertinv06.pdf>
- Europäische Kommission (2001) Strategie der Gemeinschaft für Dioxine, Furane und polychlorierte Biphenyle. MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DEN RAT, DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS (2001/C 322/02). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 17.11.2001 <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52001DC0593&from=DE>
- Europäische Kommission (2004) EG-POPs-Verordnung. VERORDNUNG (EG) Nr. 850/2004 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 29. April 2004 über persistente organische Schadstoffe und zur Änderung der Richtlinie 79/117/EWG, [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eg\\_pop\\_vo.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eg_pop_vo.pdf)
- Europäische Kommission (2006) EG-POPs-Verordnung, Anhang IV. VERORDNUNG (EG) Nr. 1195/2006 DES RATES vom 18. Juli 2006 zur Änderung von Anhang IV der Verordnung (EG) Nr. 850/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates über persistente organische Schadstoffe, [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eg\\_pop\\_vo\\_anhang.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eg_pop_vo_anhang.pdf)
- Europäische Kommission (2011) VERORDNUNG (EU) Nr. 1259/2011 Der Kommission vom 2. Dezember 2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 hinsichtlich der Höchstgehalte für Dioxine, dioxinähnliche PCB und nicht dioxinähnliche PCB in Lebensmitteln
- Europäische Kommission (2012) COMMISSION REGULATION (EU) No 277/2012 of 28 March 2012 amending Annexes I and II to Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council as regards maximum levels and action thresholds for dioxins and polychlorinated biphenyls, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:091:0001:0007:EN:PDF>

- Ewers U, Roßkamp E, Heudorf U, Mergner H-J (2005) Zehn Jahre PCB-Richtlinie – Versuch einer Bilanz aus hygienischer und umweltmedizinisch-toxikologischer Sicht, Gesundheitswesen 67, 2005, [http://www.sva.bobi.net/bobi/\\_data/PCB/U.Ewers\\_Gutachten\\_NGB\\_23.08.2011\\_Anlage%201.pdf](http://www.sva.bobi.net/bobi/_data/PCB/U.Ewers_Gutachten_NGB_23.08.2011_Anlage%201.pdf)
- Ewers U (2011) Umweltmedizinisch-toxikologische und hygienische Bewertung der Raumluftbelastung durch PCB und Schimmelpilzsporen im alten Schulgebäude der Erich-Kästner-Gesamtschule in Bochum, Gutachterliche Stellungnahme, Prof. Dr. Ulrich Ewers, 23. August 2011, [http://www.sva.bobi.net/bobi/\\_data/PCB/U.Ewers\\_Gutachten\\_NGB\\_23.08.2011.pdf](http://www.sva.bobi.net/bobi/_data/PCB/U.Ewers_Gutachten_NGB_23.08.2011.pdf)
- Falconer RL und Bidleman TF (1994) Vapor Pressures and Predicted Particle/Gas Distribution of Polychlorinated Biphenyl Congeners as Functions of Temperature and Ortho-Chlorine Substitution, Atmospheric Environment, 28 (3)
- Feige-Munzig A (2013) Mängel im Arbeits- und Sicherheitsplan gemäß BGR 128/TRGS 524, Bauportal 3/2013, <https://www.baufachinformation.de/zeitschrift/M%C3%A4ngel-im-Arbeits-und-Sicherheitsplan-gem%C3%A4%C3%9F-BGR-128-TRGS-524/2013049002644>
- Gasic B, Moeckel C, MacLeod M, Brunner J, Scheringer M, Jones KC, Hungerbühler K (2009) Measuring and Modeling Short-Term Variability of PCBs in Air and Characterization of Urban Source Strength in Zurich, Switzerland. Environ. Sci. Technol., 43, 769–776
- Gefahrstoffverordnung (2010) Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (GefStoffV), Gefahrstoffverordnung vom 26. November 2010 (BGBl. I S. 1643, 1644), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 15. Juli 2013 (BGBl. I S. 2514) geändert worden ist, [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/gefstoffv\\_2010/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/gefstoffv_2010/gesamt.pdf)
- Gesundheitsamt Bremen 2003, Fachgespräch PCB-Sanierungen. Konzepte –Erfahrung - Standards. Dokumentation der Veranstaltung im Gesundheitsamt Bremen, 20. Mai 2003 <http://www.gesundheitsamt.bremen.de/sixcms/media.php/13/PCB.pdf>
- Goßler K, Höhle T (1991) Schlussbericht zum Forschungsvorhaben „Recherche über das Vorkommen von polychlorierten Biphenylen in Baumaterialien, T 2372, Landesgewerbeanstalt Bayern, Nürnberg, 1991.
- Goßler K, Höhle T (1992) Schlussbericht zum Forschungsvorhaben „Quantifizierung der Ausgasung von polychlorierten Biphenylen aus Fugendichtmassen“, T 2454, Landesgewerbeanstalt Bayern, Nürnberg, 1992.
- Grimm FA, Lehmler H-J, He X, Robertson LW, Duffel MW (2013) Sulfated Metabolites of Polychlorinated Biphenyls Are High-Affinity Ligands for the Thyroid Hormone Transport Protein Transthyretin, Environ Health Perspect 121:657–662, <http://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/121/6/ehp.1206198.pdf>
- Guo Z, Liu X, Krebs KA, Stinson RA, Nardin JA, Pope RH, Roache NF (2011) Laboratory Study of Polychlorinated Biphenyl (PCB) Contamination and Mitigation in Buildings, Part 1. Emissions from Selected Primary Sources, U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-11/156 October 2011, <http://www.clu-in.org/download/contaminantfocus/pcb/PCB-lab-studies-1.pdf>
- Guo Z, Liu X, Krebs KA, Roache NF, Stinson RA, Nardin JA, Pope RH, Mocka CA, Logan RD (2012) Laboratory Study of Polychlorinated Biphenyl (PCB) Contamination and Mitigation in Buildings, Part 3. Evaluation of the encapsulation method, U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-11/156b, April 2012, <http://www.clu-in.org/download/contaminantfocus/pcb/PCB-lab-studies-3.pdf>

- Harrad S, Hazrati S, Ibarra C (2006) Concentrations of Polychlorinated Biphenyls in Indoor Air and Polybrominated Diphenyl Ethers in Indoor Air and Dust in Birmingham, United Kingdom: Implications for Human Exposure, *Environ. Sci. Technol.* 40, 4633-4638
- Havemann (1980) Vortrag von R. Havemann, Stellvertretender Vorsitzender der AMMRA, Hamburg, Zweiter Europäischer Gebrauchstöl-Recycling Kongress, Paris, 30. September – 2. Oktober 1980
- Heinzow B, Mohr S, Ostendorp G, Kerst M, Körner W (2007) PCB and dioxin-like PCB in indoor air of public buildings contaminated with different PCB sources – deriving toxicity equivalent concentrations from standard PCB congeners, *Chemosphere* 67, 1746-1753
- Herrick RF, McClean MD, Meeker JD, Baxter LK, Weymouth GA (2004) An Unrecognized Source of PCB Contamination in Schools and Other Buildings, *Environmental Health Perspectives* 112, 1051-1053.
- Herrick RF, Lefkowitz DJ, Weymouth GA (2007) Soil Contamination from PCB-Containing Buildings, *Environmental Health Perspectives* 115, 173–175.
- Herrick RF (2010) PCBs in School – Persistent Chemicals, Persistent Problems, *New Solutions* 20(1) 115-126, [http://baywood.com/ns/NS20\\_1PCB\\_School.pdf](http://baywood.com/ns/NS20_1PCB_School.pdf)
- Hessisches Landeslabor für Umwelt und Geologie (2012) Gutachten über die Bodenbelastungen mit anorganischen und organischen Schadstoffen sowie Künstlichen Mineralfasern in der Umgebung der Firma Woolrec in Braunfels-Tiefenbach, Lahn-Dill-Kreis. 6.11.2012.
- Hessisches Landeslabor für Umwelt und Geologie (2013) Gutachten über die Bodenbelastungen mit anorganischen und organischen Schadstoffen sowie Künstlichen Mineralfasern in der Umgebung der Firma Woolrec in Braunfels-Tiefenbach, Lahn-Dill-Kreis, Nachuntersuchungen. 27.03.2013.
- Heudorf U, Angerer J, Drexler H (2002) Polychlorinated biphenyls in the blood plasma: current exposure of the population in Germany, *Rev Environ Health.* 2002 Apr-Jun;17(2):123-34
- Hunt GT (2013), PCBs in Schools – A Global Legacy, Sources, Indoor Behavior and Remedial Measures, *Organohalogen Compounds*, 75, 816-819, <http://www.dioxin20xx.org/pdfs/2013/2406.pdf>
- HVBG Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (2005) Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld.
- IRK (2007) Gesundheitliche Bewertung dioxinähnlicher polychlorierter Biphenyle in der Innenraumluft, Mitteilungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden, *Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz* 2007, 50 <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/PCB.pdf>
- Jamshidi A, Hunter S, Hazrati S, Harrad S (2007) Concentrations and chiral signatures of polychlorinated biphenyls in outdoor and indoor air and soil in a major U.K. conurbation. *Environ. Sci. Technol.*, 2007 41, 2153-2158. <http://pcbinschools.org/es062218c.pdf>
- Jartun, M, Ottesen, RT, Steinnes, E, Volden, T, 2008. Runoff of particle bound pollutants from urban impervious surfaces studied by analysis of sediments from stormwater traps. *Science of the Total Environment* 396 (2-3), 147–163.
- Jartun M, Ottesen RT, Steinnes E, Volden T (2009) Painted surfaces – Important sources of polychlorinated biphenyls (PCBs) contamination to the urban and marine environment. *Environmental Pollution* 157, 295–302.

- Johansson N, Hanberg A, Wingfors H, Tyskind M (2003), Organohalogen Compounds 63, 381-384, <http://www.dioxin20xx.org/pdfs/2003/03-499.pdf>
- Johansson N (2009), EPA Schweden, Plenarvortrag, 3rd Network Conference on Persistent Organic Pollutants, Birmingham 22. -23. April 2009, <http://www.birmingham.ac.uk/Documents/college-les/gees/Miscellaneous/POPsConference3Johansson.pdf>
- Kanton Basel-Landschaft (2004) Die sachgemässe Entfernung und Entsorgung PCB-haltiger Fugendichtungsmassen und Anstriche; Werkzeuge, Verfahren, Schutzmassnahmen. Wegleitung für die Bau- und Sanierungspraxis, Amt für Umweltschutz und Energie, Bau- und Umweltschutzdirektion, Kanton Basel-Landschaft, <http://www.baselland.ch/fileadmin/baselland/files/docs/bud/ae/chemikalien/pcb/pcb-sanierungsempfehlungen.pdf> , (abgerufen am 15.09.2014)
- KAT (2012) Dioxin und PCB – Eintragsquellen in Eiern, Ein Informationspapier für KAT-Legebetriebe, KAT- Verein für kontrollierte alternative Tierhaltungsformen [http://www.wassteht-auf-dem-ei.de/fileadmin/PDF/Formulare/Informationspapier\\_zu\\_Dioxin-PCB-Eintragsquellen\\_August\\_2012.pdf](http://www.wassteht-auf-dem-ei.de/fileadmin/PDF/Formulare/Informationspapier_zu_Dioxin-PCB-Eintragsquellen_August_2012.pdf)
- KBOB (2004) PCB in Fugendichtungsmassen, KBOB/eco-bau/IPB Empfehlung 2004/4, Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren der Schweiz (KBOB), <http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/index.html?lang=de> , (abgerufen am 15.09.2014)
- Kieper H und Hemminghaus H-J (2005), PCB-Untersuchungen in Innenräumen: „Untersuchungen zur PCB-Belastung der Luft in Innenräumen unter Einschluss der Verbindungen, für die toxisch besonders bedeutsame TEQ-Werte ermittelt worden sind“, FKZ 203 61 218/04, <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/2943.html>
- Klosterhaus S, McKee LJ, Yee D, Kass JM, Wong A (2014) Polychlorinated biphenyls in the exterior caulk of San Francisco Bay Area buildings, California, USA, Environment International 66, 38-43
- Knechtenhofer L. (2009), Schweiz, Ein Fünftel der Bäder ist mit PCB belastet, Kommunalmagazin, Bauen und Bauten, Nr. 2 2009, [http://www.friedlipartner.ch/news/Beilagen/0902\\_KM\\_PCB.pdf](http://www.friedlipartner.ch/news/Beilagen/0902_KM_PCB.pdf)
- Kohler M, Tremp J, Zennegg M, Seiler C, Minder-Kohler S, Beck M, Lienemann P, Wegmann M, Schmid p (2005) Joint Sealants: An Overlooked Diffuse Source of Polychlorinated Biphenyls in Buildings, Environ. Sci. Technol. 39, 1967-1973
- Kölner Stadt-Anzeiger (2013) Streit um Sanierungskosten, 22.12.2013, <http://www.ksta.de/koeln/-uni-center-streit-um-sanierungskosten,15187530,25701428.html>
- Köppl B, Jablonski E, Piloty M (1996) Polychlorierte Biphenyle im Wohnzimmer ignoriert – vergessen – verdrängt, Umweltmedizinischer Informationsdienst 4/1996 , <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/umid041996.pdf>
- Kraus T (2014) PCB-Belastung in der Herderschule, Präsentation der Ergebnisse Biomonitoring, [http://www.giessen.de/Rathaus\\_und\\_Service/Aktuelles/PCB\\_Belastung\\_in\\_der\\_Herderschule/](http://www.giessen.de/Rathaus_und_Service/Aktuelles/PCB_Belastung_in_der_Herderschule/)
- KrWG (2012) Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG), Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch § 44

- Absatz 4 des Gesetzes vom 22. Mai 2013 (BGBl. I S. 1324) geändert worden ist, <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/krwg/gesamt.pdf>
- Kuratsune M und Masuda Y (1972) Polychlorinated Biphenyls in Non-carbon Copy Paper, Environmental Health Perspectives 1, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1474878/pdf/envhper00504-0063.pdf>
- LAGA (2003) Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen - Technische Regeln - 06.11.2003, [http://www.laga-online.de/servlet/is/23874/M20\\_Nov2003u1997.pdf?command=downloadContent&filename=M20\\_Nov2003u1997.pdf](http://www.laga-online.de/servlet/is/23874/M20_Nov2003u1997.pdf?command=downloadContent&filename=M20_Nov2003u1997.pdf)
- LAGA (2012) Vorbemerkung zur Veröffentlichung des PDF-Dokumentes der LAGA-Mitteilung 20 „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen - Technische Regeln“. 05.06.2012 [http://www.laga-online.de/servlet/is/23874/M20\\_Vorbemerkung\\_2012.pdf?command=downloadContent&filename=M20\\_Vorbemerkung\\_2012.pdf](http://www.laga-online.de/servlet/is/23874/M20_Vorbemerkung_2012.pdf?command=downloadContent&filename=M20_Vorbemerkung_2012.pdf)
- Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW (2003) PCB in Gebäuden - Nutzerleitfaden des Landes NRW, Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW <http://www.ils-forschung.de/down/rg-pcb.pdf>
- LANUV NRW (2012) Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, FAQ – Dioxine, Furane und PCB, Wie werden PCDD/PCDF- und PCB – Luftkonzentrationen und –Depositionen beurteilt, Stand 2012, <http://www.lanuv.nrw.de/gefahrstoffe/faq/dioxin.htm> (abgerufen am 02.10.2014)
- Lauby-Secretan B, Loomis D, Grosse Y et al. (2013) Carcinogenicity of polychlorinated biphenyls and polybrominated biphenyls. The Lancet Oncology 14 No. 4, 287-288. <http://www.ambientebrescia.it/CaffaroPCBCancro2013.pdf>
- LDW (2011) Lower Duwamish Waterway Survey of Potential PCB-Containing Building Material Sources, Summary Report, Washington State Department of Ecology, Toxics Cleanup Program <https://fortress.wa.gov/ecy/gsp/CleanupSiteDocuments.aspx?csid=1643>
- Lees PS, Corn M, Breyse PN (1987) Evidence for dermal absorption as the major route of body entry during exposure of transformer maintenance and repairmen to PCBs, Am Ind Hyg Assoc J. 48(3)
- Lehnik-Habrink P, Schütz S, Redlich C, Win T, Philipp R, Kaminski K (2005) Erarbeitung und Validierung von Verfahren zur Bestimmung von polychlorierten Biphenylen und polychlorierten Terphenylen in organischen Materialien, Umweltbundesamt, Förderkennzeichen (UFOPLAN) 201 31 327, <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3007.pdf>
- LfU (2003) Arbeitshilfe Kontrollierter Rückbau: Kontaminierte Bausubstanz Erkundung, Bewertung, Entsorgung, bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg [http://www.lfu.bayern.de/altlasten/schadstoffratgeber\\_gebaeuderueckbau/arbeitshilfe/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/altlasten/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/arbeitshilfe/index.htm)
- LfU (2004) 426 Kabel, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg [http://www.lfu.bayern.de/altlasten/schadstoffratgeber\\_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/426.pdf](http://www.lfu.bayern.de/altlasten/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/426.pdf)

- LfU (2005) Bestimmung von Dioxinen, Furanen, dioxinähnlichen PCB und Indikator-PCB in Fichten- und Kieferntrieben aus der Umweltprobenbank des Bundes, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg  
<http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3169.pdf>
- LfU (2005b) Schadstoffe in Gebäuden, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg  
[http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw\\_btbt\\_12\\_schadstoffe\\_gebaeude\\_teil\\_1.pdf](http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_btbt_12_schadstoffe_gebaeude_teil_1.pdf)
- LfU (2007) Untersuchung und Bewertung von Proben aus verschiedenen Umweltkompartimenten auf PCDD/PCDF sowie PCB unter Berücksichtigung der neuen WHO-Toxizitätsäquivalenzfaktoren, Abschlussbericht zum FuE-Projekt Nr. 7000 im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg,  
[http://www.lfu.bayern.de/analytik\\_stoffe/untersuchung\\_bewertung\\_proben/doc/pcb\\_abschlussbericht\\_100807.pdf](http://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/untersuchung_bewertung_proben/doc/pcb_abschlussbericht_100807.pdf)
- LfU (2009) Schredderanlagen und Abfalldeponien – relevante Sekundärquellen für dioxinähnliche PCB und verwandte persistente Schadstoffe, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg  
[http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe\\_luft/projekte/doc/shredder\\_endbericht.pdf](http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe_luft/projekte/doc/shredder_endbericht.pdf)
- LfU (2014) Bayerisches Landesamt für Umwelt, Mineralische Abfälle,  
[http://www.lfu.bayern.de/abfall/mineralische\\_abfaelle/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/abfall/mineralische_abfaelle/index.htm)
- LGASH (2004) PCB in öffentlichen Gebäuden, Bericht über das landesweite Untersuchungsprogramm zum Vorkommen der Schadstoffe polychlorierte Biphenyle (PCB) in öffentlichen Gebäuden in Schleswig-Holstein, Landesamt für Gesundheit und Arbeitssicherheit des Landes Schleswig-Holstein (LGASH), [http://www.schleswig-holstein.de/LASD/DE/Gesundheitsschutz/MSGFGesundheitsschutz/Schadstoffbelastung/oeffentlGebaedePCB\\_\\_blob=publicationFile.pdf](http://www.schleswig-holstein.de/LASD/DE/Gesundheitsschutz/MSGFGesundheitsschutz/Schadstoffbelastung/oeffentlGebaedePCB__blob=publicationFile.pdf)
- LUA (2002) Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Toxikologische Bewertung polychlorierter Biphenyle (PCB) bei inhalativer Aufnahme,  
<http://www.landsumweltamt.nrw.de/veroeffentlichungen/materialien/mat62/mat62.pdf>
- Lukassowitz (1990) Polychlorierte Biphenyle im Innenraum, Bericht über ein Fachgespräch zur gesundheitlichen Bewertung und Risikominimierung, Bundesgesundheitsblatt 11, 1990
- MAK-Kommission (2013) Grenzwerte in biologischem Material, Polychlorierte Biphenyle (PCB), MAK Collection for Occupational Health and Safety, published online: 6. April 2013  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/3527600418.bb133636d0019/pdf>
- Marnane I (2012) Comprehensive environmental review following the pork PCB/dioxin contamination incident in Ireland. J. Environ. Monit. 14, 2551-2556.
- Materialprüfungsanstalt Stuttgart (2002) <http://www.uhst.de/pdf/untersuchungsbericht.pdf>
- MBL NRW (1996) Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie NRW). 1260-1268.  
[https://recht.nrw.de/lmi/owa/br\\_show\\_anlage?p\\_id=2014](https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_show_anlage?p_id=2014)
- Meyer HW, Frederiksen M, Göen T, Ebbelohj NE, Gunnarsen L, Brauer C, Kolarik B, Müller J, Jacobsen P (2013), Plasma polychlorinated biphenyls in residents of 91 PCB-contaminated and 108 non-contaminated dwellings—An exposure study, International Journal of Hygiene and Environmental Health 216, 755– 762

- Menzel HM (2002) Ergebnis der PCB-Sanierung des Justizgebäudes C in Frankfurt am Main und Überprüfung des Sanierungserfolges nach Wiederbezug des Gebäudes, Umwelt Medizin Gesellschaft 15 (1), [http://www.umg-verlag.de/umwelt-medizin-gesellschaft/1\\_02menz.pdf](http://www.umg-verlag.de/umwelt-medizin-gesellschaft/1_02menz.pdf)
- Mohr S, Heinzow B, Ostendorp G (1999) Erfahrungen mit einem PCB-Sanierungsfall - Das Mercator-Hochhaus in Kiel  
<https://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/jahrbe99/Erfahrungen.pdf>
- Morgenweb (2012) BASF will Hochhaus abreißen lassen,  
<http://www.morgenweb.de/region/mannheimer-morgen/metropolregion/basf-will-hochhaus-abreißen-lassen-1.767628>
- Müller J (1994) Diffuse Quellen von PCB in der Schweiz, Schriftenreihe Umwelt Nr. 229 (Buwal) 1994.
- Neue Presse (2013) PCB im Freibad: Stadt lässt Bereich sanieren  
<http://www.neuepresse.de/Hannover/Meine-Region/Ronnenberg/Nachrichten/PCB-im-Freibad-Stadt-laest-Bereich-sanieren>
- Norström K, Czub G, McLachlan MS, Hu Dingfei, Thorne PS, Hornbuckle KC (2010) External exposure and bioaccumulation of PCBs in humans living in a contaminated urban environment, Environ Int 36(8): 855-861,  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2891214/pdf/nihms-143992.pdf>
- Norwegisches Ministerium für Klima und Umwelt (2006) Working together towards a non-toxic environment and a safer future, Report No. 14 (2006-2007) to the Shorting, Norway's chemicals policy,  
[http://www.regjeringen.no/pages/2039888/PDFS/STM200620070014000EN\\_PDFS.pdf](http://www.regjeringen.no/pages/2039888/PDFS/STM200620070014000EN_PDFS.pdf)
- Obenland H (1999) Schadstoff-Belastung in ehemaligen US-Housings: Hohe PCB-Werte im Hausstaub festgestellt. <http://home.wtal.de/nodi/PCB290199.html>
- PCBAbfallV, Verordnung über die Entsorgung polychlorierter Biphenyle, polychlorierter Terphenyle und halogenerter Monomethyldiphenylmethane (PCB/PCT-Abfallverordnung - PCBAbfallV), PCB/PCT-Abfallverordnung vom 26. Juni 2000 (BGBl. I S. 932), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 21 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist, <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/pcbabfallv/gesamt.pdf>
- PCB-Richtlinie NRW (1996) Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden - PCB-Richtlinie NRW - RdErl. d. Ministeriums für Bauen und Wohnen v. 3.7.1996 - II B 4-476.101
- PCB-Richtlinie Bayern (1994) Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie), Bayerisches Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr,  
[https://www.stmi.bayern.de/assets/stmi/buw/baurechtundtechnik/iib8\\_pcb\\_richtlinie\\_199409.pdf](https://www.stmi.bayern.de/assets/stmi/buw/baurechtundtechnik/iib8_pcb_richtlinie_199409.pdf)
- PCB-, PCT-, VC-Verbotsverordnung (1989), Verordnung zum Verbot von polychlorierten Biphenylen, polychlorierten Terphenylen und zur Beschränkung von Vinylchlorid (PCB-, PCT-, VC-Verbotsverordnung) vom 18.07.1989 (BGBl. S. 1482)  
[http://www.bgbl.de/Xaver/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBL](http://www.bgbl.de/Xaver/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBL)
- Priha E, Hellman S, Sorvari J (2005) PCB contamination from polysulfide sealants in residential areas – exposure and risk assessment, Chemosphere 59, 537-543

- Regierungspräsidium Arnsberg (2013) Genehmigung: Beseitigung von PCB-haltigem Bauschutt, 19.03.2013, [http://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/presse/2013/03/055\\_13/index.php](http://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/presse/2013/03/055_13/index.php)
- Rettenmeier AW (2008) Belastung mit Polychlorierten Biphenylen (PCB) im Allgemeinen Verfügungszenrum (AVZ) der RWTH Aachen, Arbeitsmedizinisch-toxikologisches Sachverständigengutachten
- Ruhr-Universität Bochum (2014a), Situation an der Ruhr-Universität. <http://www.ruhr-uni-bochum.de/pcb/situation-rub/index.html>
- Ruhr-Universität Bochum (2014b), Schutzmaßnahmen bei Wartung und Instandhaltung, [http://www.ruhr-uni-bochum.de/pcb/situation-rub/wartung\\_instandhaltung.html](http://www.ruhr-uni-bochum.de/pcb/situation-rub/wartung_instandhaltung.html)
- Rudel RA, Seryak LM, BrodyJG (2008), PCB-containing wood floor finish is a likely source of elevated PCBs in residents' blood, household air and dust: a case study of exposure, Environmental Health 7(2)
- Ruus A, Green NW, Maage A, Skei J (2006) PCB-containing paint and plaster caused extreme PCB-concentrations in biota from the Sør fjord (Western Norway)—A case study, Marine Pollution Bulletin, 52(1), 100-103
- Salzmann C (1998) Gefahrstoffe in ehemaligen US-Wohnungen Frankfurt am Main - Risiko-Management der Vorzeigestadt im "Gesunde-Städte-Projekt" <http://home.wtal.de/nodi/AuU-1.html>
- Schettgen T, Alt A, Preim D, Keller D, Kraus T (2012) Biological monitoring of indoor-exposure to dioxin-like and non-dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCB) in a public building, Toxicol. Lett. 213(1)
- Schukraft P (2014) Amt für Vermögen und Bau Baden-Württemberg, Gespräch mit den Autoren dieser Studie am 1.4.2014
- Schweizer Arbeitsgruppe Interventionswerte und Risikobeurteilung der Fachstellen Bodenschutz der Kantone (2013) Faktenblatt „Belastungen des Bodens durch PCB in Freibädern“ 23.01.2013. <http://www.aln.zh.ch/internet/baudirektion/aln/de/fabo/bodenzustand/themen/bodenbelastungen-wasnun.html>
- Selbmann (2014) Amt für Vermögen und Bau Baden-Württemberg, Gespräch mit den Autoren dieser Studie am 1.4.2014, schriftliche Zusammenfassung des Amts.
- Selden AI, Lundholm C, Johansson N, Wingfors H (2008) Polychlorinated biphenyls (PCB), thyroid hormones and cytokines in construction workers removing old elastic sealants, Int Arch Occup Environ Health 82: 99-106, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2467502/>
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (2006), Kammergericht bestätigt Senatsbauverwaltung - Berlin trägt nicht die Kosten für PCB-Entsorgung im Olympiastadion, Presse- und Informationsamt des Landes Berlin, Pressemitteilung vom 15.02.2006 <http://www.berlin.de/rbmskzl/aktuelles/pressemitteilungen/2006/pressemitteilung.46066.php>
- SIBEPRO (2009), Factsheet SIBEPRO (sichere beef-Produktion oder Sicherheit bei der Rindfleischproduktion), Agroscope Liebefeld-Posieux ALP , 2009 <http://www.agroscope.admin.ch/publikationen/einzelpublikation/index.html?lang=en&aid=9698&pid=17442>

- Spiegelonline (2012) Umstrittene Zielübung: US-Marine versenkt Schiffe mit Giftstoffen im Meer, 16.03.2012 <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/us-marine-versenkt-schiffe-mit-giftstoffen-bei-zieluebungen-im-meer-a-821424.html>
- Stadt Hannover (2013) Altlastenprogramm der Landeshauptstadt Hannover 2012 – 2016 - Sachstand - , Anlage 1 zur Drucksache Nr. /2013, [https://e-government.hannover-stadt.de/lhhSIMwebdd.nsf/1C8F33C27C118122C1257B470043B86A/\\$FILE/0978-2013\\_Anlage1.pdf](https://e-government.hannover-stadt.de/lhhSIMwebdd.nsf/1C8F33C27C118122C1257B470043B86A/$FILE/0978-2013_Anlage1.pdf)
- Stadt Münster (2008) Belasteter Boden auf Haus Kump wird ausgetauscht, PCB-Belastung erfordert auf Teilflächen Sanierung / Kabelschredderschrott vermutlich Ursache; Presse- und Informationsamt der Stadt Münster, 02.10.2008, <http://www.muenster.de/stadt/presseservice/custom/news/show/709137>
- Stadt Trier (2013) Begehung und Übernahme der Gebäude durch die GWT im Rahmen der Weiterentwicklung des Projektes Gebäudewirtschaft und Erstellung eines Schadstoffkatasters, Ratsinformation 465/2013, <https://info.trier.de/bi/vo020.asp?VOLFDNR=7506>
- Stadt Zürich (2008) PCB als Weichmacher in Betonfarben und Fugendichtungen, Höchstdruck-Wasserstrahlen für den Abtrag der Beckenbeschichtungen, Instandsetzung Freibad Letziggraben, Stadt Zürich, Umwelt- und Gesundheitsschutz, Abteilung Umwelt, Fachbereich Luftreinhalung, 2008, <https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/gud/Deutsch/Umwelt/Luft/Luft%20allgemein/Publikationen%20und%20Broschueren/Hoechstdruck-Wasserstrahlen%20bei%20PCB%20Betonfarben%20Fugendichtungen.pdf>
- Städte- und Gemeindebund NRW (2013) PCB in öffentlichen Gebäuden, StGB NRW-Mitteilung 628/2013 vom 03.07.2013, <http://www.kommunen-in-nrw.de/mitgliederbereich/mitteilungen/detailansicht/dokument/pcb-in-oeffentlichen-gebaeuden.html?cHash=fb18482e8adbf28550858076db52c42e>
- Steinert J (2001), Das Gift wabert aus den Wänden, Facharzt Umweltmedizin 47(7-8), 2001 <http://www.facharzt.de/content/red.otx/411,7444,0.html?sid=71ed83f5a4aaa5c072f42e37e852f2e2>
- Studentenwerk Bonn (2013) Die wichtigsten Fragen zu PCB im Wohnheim Pariser Straße 54. Bewertung der Ergebnisse im Wohnheim Pariser Straße 54, Gutachten vom 29.07.2013, <http://www.studentenwerk-bonn.de/wohnen/bauschadstoffe/pcb/situation-wohnheim-pariser-strasse-54/>
- Sundahl M, Sikander E, Ek-Olausson B, Hjorthage A, Rosell L, Tornevall M (1999) Determinations of PCB within a project to develop cleanup methods for PCB-containing elastic sealant used in outdoor joints between concrete blocks in buildings. J. Environ. Monit., 1999, 1, 383–387.
- SVB (2014) Grundsanie rung des Bundesverfassungsgerichtes Karlsruhe, <http://schadstoffe.schadstoffe.com/svb/index.php/45-grundsanie rung-des-bverfg-karlsruhe>
- TAZ (2001) Umweltskandal in Dortmund, Die vergifteten Menschen, 31. 08. 2011 <http://www.taz.de/!61983/>
- Thomas K, Xue J, Williams R, Jones P, Whitaker D (2012) Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in School Buildings: Sources, Environmental Levels, and Exposures, United states Environmental Protection Agency, EPA/600/R-12/051 [http://www.epa.gov/pcbsincaulk/pdf/pcb\\_EPA600R12051\\_final.pdf](http://www.epa.gov/pcbsincaulk/pdf/pcb_EPA600R12051_final.pdf)

- TRGS 001, Technische Regeln für Gefahrstoffe 001, 2006, Das Technische Regelwerk zur Gefahrstoffverordnung, Allgemeines - Aufbau – Übersicht, Beachtung der Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-001.html>
- TRGS 524, Technische Regeln für Gefahrstoffe 524, 2010, Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten im kontaminierten Bereich, GMBI 2010 Nr. 21 S. 419-450 (01.04.2010), zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2011 S. 1018-1019 [Nr. 49-51], <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-524.html>
- TRGS 557, Technische Regel für Gefahrstoffe 557, 2008, Dioxine, <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-557.html>
- TRGS 900, Technische Regel für Gefahrstoffe 900, 2006, Arbeitsplatzgrenzwerte, BARBl Heft 1/2006 S. 41-55, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2014 S. 271-274 v. 2.4.2014 [Nr. 12] <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-900.html>
- TÜV Rheinland (2013) PCB Biomonitoring an der RUB, Ruhr Universität Bochum, Dr. med Charlot McMonagle-Auffenberg, Fachärztin für Arbeitsmedizin, AMD TÜV GmbH, TÜV Rheinland Group, [http://www.ruhr-uni-bochum.de/pcb/Anlagen/PCB\\_Biomonitoring.pdf](http://www.ruhr-uni-bochum.de/pcb/Anlagen/PCB_Biomonitoring.pdf)
- UBA (2001) Polychlorierte Biphenyle, Gemeinsame Presseerklärung des Umweltbundesamtes (UBA) und des Bundesinstituts für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV), Expertenrunde der Weltgesundheitsorganisation diskutiert gesundheitliche Bewertung von PCB, <http://www.gesundheitsamt.de/alle/umwelt/chemie/pcb/pm/01.htm>
- UBA (2003a) Abschätzung der zusätzlichen Aufnahme von PCB in Innenräumen durch die Bestimmung der PCB-Konzentrationen in Plasma bzw. Vollblut Stellungnahme der Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes, Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 46, 2003, <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/pcb-innenraum-hbm.pdf>
- UBA (2003b) Bekanntmachungen des Umweltbundesamtes, Aktualisierung der Referenzwerte für PCB-138, -153, -180 im Vollblut sowie Referenzwerte für HCB,  $\beta$ -HCH und DDE im Vollblut, Stellungnahme der Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes, Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2, 2003, <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/organochlor.pdf>
- UBA (2004) Dioxine und dioxinähnliche PCB in Umwelt und Nahrungsketten, Hintergrundpapier 2014, Umweltbundesamt, [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hgp\\_dioxine\\_entwurf\\_25.04.2014\\_grau-ocker.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hgp_dioxine_entwurf_25.04.2014_grau-ocker.pdf)
- UBA (2009) Leitfaden zur Anwendung der GHS-Verordnung, Das neue Einstufungs- und Kennzeichnungssystem für Chemikalien nach GHS – kurz erklärt –, S. 19, [http://reach-info.de/dokumente/Leitfadenbroschuere\\_GHS-Verordnung.pdf](http://reach-info.de/dokumente/Leitfadenbroschuere_GHS-Verordnung.pdf)
- UBA (2010) Abfallwirtschaft PCB (Polychlorierte Biphenyle) -haltige Abfälle, <http://www.umweltbundesamt.de/abfallwirtschaft/sonderabfall/pcb.htm>, letzte Änderung 10.08.2010
- Umweltbundesamt Österreich (1996) PCB-Stoffbilanz Österreich, Monographien Band 79, Wien August 1996, ISBN 3-85457-326-X

- UNEP (2013) Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs under Article 5 of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.
- Universität Bochum (2014) Einführung in die Umweltpsychologie. Risikokommunikation Risikowahrnehmung von Laien und ExpertInnen
- Universität Tübingen (2001) Zweite Information zu den PCB-Belastungen in den Gebäuden der Naturwissenschaftlichen Institute auf der Morgenstelle, Anlage PCB-Messwerteübersicht, Mitteilung des Rektors an alle Dekane, Professoren, Mitarbeiter und Studierende der Universität, 19. November 2001, Universität Tübingen
- Universität Tübingen (2002) Hinweise für die Beschäftigten zur Verringerung der PCB-Belastung im Zusammenhang mit der Durchführung der Reinigungsmaßnahmen auf der Morgenstelle, Gebäude C; Aushang, Zentralen Verwaltung, 12.02.2002
- Universität Tübingen (2004) PCB-Messungen an der Universität Tübingen, Stand 02.07.2004; Verwaltung der Universität Tübingen, Dezernat VI - Bau, Sicherheit und Umwelt, <http://www.uni-tuebingen.de/einrichtungen/verwaltung-dezernate/vi-bau-sicherheit-und-umwelt/abteilung-2/gefahrstoffe/messergebnisse-02072004.html>
- U.S.EPA (2005) PCB site revitalization guidance under the Toxic Substance Control Act (TSCA), United States Environmental Protection Agency <http://www.epa.gov/osw/hazard/tsd/pcbs/pubs/pcb-guid3-06.pdf>
- U.S.EPA (2014a) PCBs in Caulk in Older Buildings, United States Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/pcbsincaulk/>
- U.S.EPA (2014b) Polychlorinated Biphenyls (PCBs), United States Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/tsd/pcbs/index.htm>
- Varbelow G (2009) persönliche Mitteilung an Christine Herold.
- Varbelow G (2014) persönliche Mitteilung an Christine Herold und Roland Weber, 01.04.2014.
- VDI (1997) VDI 4300: Messung von Innenraumluftverunreinigungen. Blatt 2: Messstrategie für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), polychlorierte Dibenzo-p-dioxine (PCDD), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und polychlorierte Biphenyle (PCB) (12.97). Beuth, Berlin.
- VDM (2001), Verein deutscher Metallhändler e.V., Bundesverband des NE-Metallgroßhandels und der NE-Metallrecyclingwirtschaft, Recycling in Deutschland vor dem Hintergrund der PCB-Problematik <http://www.kabelzerleger.de/content/pdf/Altkabelrecycling.pdf>
- Verbandsgemeinderat Hermeskeil (2009) Kompletter Möbelaustausch in den PCB-sanierten Klassenräumen, Austausch der PCB-kontaminierten Bücher der Schulbibliothek sowie der PCB-kontaminierten Wandtafeln in PCB-sanierten Klassenräumen des Schulzentrums - Antrag der SPD-Fraktion vom 12.09.2009, Öffentliche Niederschrift, [https://ris.hermeskeil.de/bi/vo0050.php?\\_\\_kvonr=941](https://ris.hermeskeil.de/bi/vo0050.php?__kvonr=941)
- Verordnung zum Altölgesetz (1969) Verordnung zur Durchführung des Altölgesetzes, Bundesgesetzblatt, Teil I Nr. 9
- Volland G und Neuwirth A (2005) Dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (PCB) und polychlorierte Dioxine/Furane (PCDD/F) im Innenraum - Modelluntersuchungen zum Einfluss PCB-belasteter Bauteile und Baustoffe auf die Innenraumluft in Abhängigkeit von baulichen Einrichtungen und klimatischen Randbedingungen, März 2005 (Das Gebäude C ist der C-Bau der Morgenstelle)

<http://www.fachdokumente.lubw.badenwuerttemberg.de/servlet/is/40225/?COMMAND=DisplayBericht&FIS=203&OBJECT=40225&MODE=METADATA>

- Volland G., 2004, Dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (PCB) und polychlorierte Dioxine/Furane (PCDD/F) im Innenraum - Modelluntersuchungen zum Einfluss PCB-belasteter Bauteile und Baustoffe auf die Innenraumluft in Abhängigkeit von baulichen Einrichtungen und klimatischen Randbedingungen, Zwischenbericht anlässlich des Statusseminars des BWPLUS am 2. Und 3.3.2004 im Forschungszentrum Karlsruhe
- Volland G. und Neuwirth A. 2005, Dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (PCB) und polychlorierte Dioxine/Furane (PCDD/F) im Innenraum  
<http://www.fachdokumente.lubw.badenwuerttemberg.de/servlet/is/40225/?COMMAND=DisplayBericht&FIS=203&OBJECT=40225&MODE=METADATA>
- Wagner U (2005) PCB in offenen Systemen, Sanierung am Beispiel von Schulgebäuden, TerraTech Sanierungspraxis 9/2005
- Wania F, Mackay D (1996) Peer reviewed: tracking the distribution of persistent organic pollutants. Environ Sci Technol. 30, 390A-396A.  
<http://www.chem.utoronto.ca/coursenotes/CHM310/notes/waniapaper.pdf>
- Weber R (2007) Relevance of PCDD/PCDF Formation for the Evaluation of POPs Destruction Technologies – Review on Current Status and Assessment Gaps. Chemosphere 67, 109-117.
- Weber R, Kamphues J, Ballschmitter K, Blepp M (2014) Fachgespräch „Eintragspfade von PCB in Rindfleisch“ Wissensstand und Handlungsempfehlungen.
- Weis N, Köhler M, Mertens J (2010) Sekundärkontaminationen mit SVOC (PAK, PCN, PCB) in Büchern belasteter Bibliotheken, Bremer Umweltinstitut,  
[http://www.brumi.de/Literatur/194\\_SVOC\\_in\\_Bibliotheken\\_2010.pdf](http://www.brumi.de/Literatur/194_SVOC_in_Bibliotheken_2010.pdf)
- Wester RC, Maibach HI, Sedik L, Melendres J (1993) Percutaneous absorption of PCBs from soil: In vivo rhesus monkey, in vitro human skin, and binding to powdered human stratum corneum Journal of Toxicology and Environmental Health 39,375-282.
- Westfälische Nachrichten (2012) Gutachter prüft PCB-Belastung der Geowissenschaften-Bibliothek, Verseuchte Bücher müssen draußen bleiben,  
<http://www.wn.de/Muenster/2012/12/Gutachter-prueft-PCB-Belastung-der-Geowissenschaften-Bibliothek-Verseuchte-Buecher-muessen-draussen-bleiben>
- WHO (2003), Concise International Chemical Assessment Document 55, POLYCHLORINATED BIPHENYLS: HUMAN HEALTH ASPECTS  
<http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad55.pdf>
- Zentrale Verwaltung Universität Tübingen (2003) PCB-Messungen an der Universität Tübingen,  
<http://www.uni-tuebingen.de/einrichtungen/verwaltung-dezernate/vi-bau-sicherheit-und-umwelt/abteilung-2/gefahrstoffe/messergebnisse-14012003.html>
- Zöltzer D (1999) Sanierung einer PCB-belasteten Schule, Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg, Stuttgart  
<http://129.69.59.201/bibliothek/festschr/zoeltzer.pdf>
- Zöltzer D und Volland G (2002) Untersuchung zu einem neuen Sanierungsverfahren für PCB-belastete Deckenplatten, Untersuchungsbericht, Otto-Graf-Institut, Universität Stuttgart,  
<http://www.uhst.de/pdf/untersuchungsbericht.pdf>

Zöltzer D (2007) Sanierungsmaßnahmen im Gebäude C, Auf der Morgenstelle 10, Naturwissenschaftliche Institute, Universität Tübingen, [http://www.uni-tuebingen.de/index.php?eID=tx\\_nawsecured1&u=0&file=fileadmin/Uni\\_Tuebingen/Dezernate/Dezernat\\_VI/Abteilung\\_2/Dokumente/gefährstoffe/PCBmo10.pdf&t=1408128357&hash=296c528ce68c916fb340bc13f7476ef02d09bf0a](http://www.uni-tuebingen.de/index.php?eID=tx_nawsecured1&u=0&file=fileadmin/Uni_Tuebingen/Dezernate/Dezernat_VI/Abteilung_2/Dokumente/gefährstoffe/PCBmo10.pdf&t=1408128357&hash=296c528ce68c916fb340bc13f7476ef02d09bf0a)

