

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

Fassung September 1994

Die nachstehende Richtlinie wurde von der Projektgruppe „Schadstoffe“ der Fachkommission Baunormung der Arbeitsgemeinschaft der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister der Länder (ARGEBAU) als technische Regel entsprechend den Erkenntnissen in Wissenschaft und Technik und in Übereinstimmung mit den Erfordernissen der Baupraxis unter Beteiligung von

Herrn Dr. Ullrich

– Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes

erarbeitet.

Sie wurde am 14. Oktober 1994 vom Allgemeinen Ausschuß der ARGEBAU gebilligt.

Herrn MinRat Dr.-Ing. Bossenmayer (Obmann)	– Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg Referat Bautechnik Bauökologie
Herrn Dipl.-Chem. Misch (Geschäftsführer)	– Deutsches Institut für Bautechnik
Herrn Bork	– Gesundheitsamt Köln
Herrn Dr. Goßler	– Landesgewerbeamt Bayern
Herrn Dipl.-Ing. Haberman	– Senator für das Bauwesen Freie Hansestadt Bremen
Herrn Dr. Heinzow	– Untersuchungsstelle für Um- welttoxikologie des Landes Schleswig-Holstein
Herrn Horneffer	– Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung
Herrn Ltd. BD Dipl.-Ing. Irmschler	– Deutsches Institut für Bautechnik
Frau Dr. Iyimen-Schwarz	– Umweltbundesamt
Herrn Jacobi	– Umweltbundesamt
Herrn Dr. rer. nat. Koss	– Behörde für Arbeit, Gesund- heit und Soziales/Hamburg
Herrn Dipl.-Ing. Kraus	– Bau-Berufsgenossenschaft Bayern und Sachsen
Herrn Dr. Mohr	– Untersuchungsstelle für Um- welttoxikologie des Landes Schleswig-Holstein
Frau Dr. Roßkamp	– Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umwelt- bundesamtes
Herrn MinRat Schollmeyer	– Ministerium für das Bauen und Wohnen des Landes Nordrhein-Westfalen
Herrn BDDr.-Ing. Schubert	– Bayerisches Staats- ministerium des Innern/ Oberste Baubehörde
Herrn Dipl.-Ing. Schulze	– Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau
Herrn Dr. Stirn	– Bundesanstalt für Arbeitsmedizin

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Einleitung</b>
<b>1</b>	<b>Geltungsbereich</b>
<b>2</b>	<b>Mitgeltende Regelungen</b>
<b>3</b>	<b>Bewertung der PCB-Belastung von Räumen und der Dringlichkeit von Sanierungsmaßnahmen</b>
<b>4</b>	<b>Empfehlungen für die Sanierung von Gebäuden</b>
4.1	Grundsätze
4.2	Sanierung
4.2.1	Übersicht
4.2.2	Sanierungsverfahren
4.2.2.1	Entfernen der Primärquellen (Methode 1)
4.2.2.2	Räumliche Trennung (Methode 2)
4.2.2.3	Beschichten von sekundärbelasteten Oberflächen (Methode 3)
4.2.3	Reinigung
4.3	Schutzmaßnahmen bei der Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile
4.3.1	Grenzwerte, Einstufung, Kennzeichnung
4.3.2	Arbeitsschutzvorschriften
4.3.3	Organisatorische Schutzmaßnahmen
4.3.4	Technische Schutzmaßnahmen
4.3.5	Hygienische Schutzmaßnahmen
4.3.6	Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen
4.4	Abfall- und Abwasserentsorgung
4.4.1	Gesetzliche Bestimmungen zur Entsorgung PCB-belasteter Baustoffe
4.4.2	Trennung, Kennzeichnung und Entsorgung von PCB-haltigen Abfällen
4.4.3	Einsammeln und Befördern
4.4.4	Verbleib des Abwassers
<b>5</b>	<b>Erfolgskontrolle</b>
5.1	Allgemeines
5.2	Meßstrategie für die Erfolgskontrolle
5.2.1	Messung

- 5.2.2 Meßbedingungen, Nutzungssimulation
- 5.3 Beurteilung der raumlufthygienischen Situation
- 5.4 Anforderungen an die Stellen und Einrichtungen, die Messungen durchführen

## 6 Abbruch baulicher Anlagen, die PCB enthalten

Anhang 1 Wesentliche einschlägige Gesetze, Verordnungen und technische Regelwerke zum Arbeitsschutz und zur Entsorgung PCB-belasteter Produkte.

Anhang 2 Empfehlungen für die analytische Bestimmung von polychlorierten Biphenylen (PCB) in der Raumluft.

### Einleitung

Die vorliegende Richtlinie enthält Hinweise für Gebäudeeigentümer und -nutzer sowie Baufachleute, wie Bauprodukte, die polychlorierte Biphenyle (PBC) 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 einer Sanierung kontrollieren läßt.

Die PCB gehören chemisch zur Gruppe der chlorierten aromatischen Kohlenwasserstoffe. Die Ausgangsverbindung ist das Biphenyl, das aus zwei miteinander verbundenen Phenylringen besteht, an denen 1 bis insgesamt 10 Chloratome gebunden sein können.

Seit den fünfziger Jahren wurden PCB außer in Kondensatoren von Leuchtstoffleuchten und anderen geschlossenen, d. h. sich ohne Kontakt zur umgebenden Luft vollziehenden Anwendungen in großem Umfang auch als Weichmacher in einer Reihe offener Anwendungen eingesetzt. Offen angewendete PCB können insbesondere enthalten sein in

- dauerelastischen Fugendichtungsmassen als
  - Gebäudetrennfugen,
  - Bewegungsfugen zwischen Betonfertigteilelementen,
  - Anschlußfugen (Fenster, Türcargen),
  - Glasanschlußfugen an Fenstern,
  - Fugen im Sanitärbereich (selten),
- Anstrichstoffen und Beschichtungen,
- Klebstoffen,
- Deckenplatten (als Weichmacher bzw. Flammschutzmittel),
- Kunststoffen,
- Kabelummantelungen.

Eine der häufigsten Anwendungen in diesem Bereich war die Verwendung als Weichmacher in Fugendichtungsmassen auf Basis eines Polysulfid-Kunstharzes<sup>1)</sup>. Als Weichmacher für Fugendichtungsmassen wurden Produkte verwendet, die 30 bis 60 Gewichtsprozent Chlor enthielten. Diese Weichmacher wurden z.B. unter den Handelsnamen Clophen, Aroclor, Kanechlor, Fenclor u. a. in den Verkehr gebracht. Die äußere Beschaffenheit der technischen Gemische reicht von fast farblosen, öligen Flüssigkeiten bis zu hellgelben Weichharzen. Mit steigendem Chlorgehalt nehmen Dichte und Zähflüssigkeit (Viskosität) stark zu, während die ohnehin geringe Wasserlöslichkeit und die Flüchtigkeit abnehmen.

Im Jahr 1973 empfahl der Rat für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD), PCB nicht mehr in offenen, sondern nur noch in geschlossenen Anwendungen einzusetzen. Im Jahr 1978 setzte die Bundesregierung diese Empfehlung in deutsches Recht um. Seit 1983 werden PCB in der Bundesrepublik Deutschland nicht mehr hergestellt.

Auf Grund der zwischenzeitlich aufgehobenen Verordnung zum Verbot von polychlorierten Biphenylen, polychlorierten Terphenylen und zur Beschränkung von Vinylchlorid (PCB-, PCT-, VC-Verbotsverordnung) vom 18. Juli 1989 (BGBl I S. 1482) wurde das Inverkehrbringen und Verwenden von Stoffen, Zubereitungen und Erzeugnissen, die bestimmte PCB oder PCB in bestimmten Konzentrationen enthalten, verboten. Heute gelten insoweit die Verbote nach § 1 der Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (Chemikalien-Verbotsverordnung - ChemVerbotsV) vom 14. Oktober 1993 (BGBl I S. 1720), zuletzt geändert durch Verordnung vom 6. Juli 1994 (BGBl I S. 1493).

Die bis etwa 1975 in offenen Anwendungen eingesetzten PCB-haltigen Produkte können bis heute zu PCB-Raumluftbelastungen führen, deren Höhe von der Art der PCB, von deren Menge im jeweiligen Produkt, der Menge und Beschaffenheit PCB-haltiger Produkte im Raum und den Klimabedingungen des Raumes abhängt. Im Laufe der Zeit können in solchen Räumen auch nicht PCB-haltige Bauteile oder Gegenstände durch PCB-haltige Stoffe kontaminiert werden und ihrerseits wieder zur Raumluftverunreinigung beitragen.

Ab einer bestimmten Höhe der Raumluftbelastung von Aufenthaltsräumen (Vorsorgewert) sind Maßnahmen zu prüfen, mit denen die Raumluftbelastung gesenkt werden kann. Zur Vermeidung gesundheitlicher Gefahren können in Abhängigkeit von der Höhe der Raumluftkonzentration und der durchschnittlich zu erwartenden Aufenthaltsdauer (Gefahren Grenzwert) Sanierungsmaßnahmen notwendig werden.

Zu unterscheiden ist zwischen Primär- und Sekundärquellen.

*Primärquellen* sind Produkte, denen die PCB gezielt zur Veränderung der Produkteigenschaften zugesetzt wurden. Solche Produkte, z. B. Fugendichtungsmassen oder Beschichtungen, enthalten in der Regel mehr als ein Gewichtsprozent PCB und können nach den bisher vorliegenden Erfahrungen deutlich erhöhte PCB-Raumluftbelastungen verursachen. PCB-Gehalte unter einem Gewichtsprozent müssen demgegenüber als verarbeitungsbedingte Verunreinigungen des Materials angesehen werden, die in der Regel keinen nennenswerten Einfluß auf die Produkteigenschaften und unterhalb von 0,1 Gewichtsprozent auch keinen Einfluß auf die Raumluftbelastung haben.

*Sekundärquellen* sind Bauteile (z. B. Wände, Decken) oder Gegenstände (z. B. Mobiliar oder Ausstattungsgegenstände wie Teppichböden oder Gardinen), die PCB meist über längere Zeit aus der belasteten Raumluft aufgenommen haben. Sie vermögen die an der Oberfläche angelagerten PCB nach und nach wieder in die Raumluft freizusetzen.

Großflächige Sekundärkontaminationen können – selbst nach vollständigem Entfernen der Primärquellen – erhöhte PCB-Raumluftkonzentrationen aufrechterhalten.

<sup>1)</sup> Erläuterung: Eines der wichtigsten Handelsprodukte im Bereich der Polysulfid-Kunstharze trug den Namen „Thiokol“, weshalb die damit hergestellten Fugendichtungsmassen auch häufig als „Thiokol-Fugenmassen“ bezeichnet wurden. Diese auch heute noch gebräuchliche Bezeichnung läßt aber keineswegs den Schluß zu, daß diese Produkte zwangsläufig PCB-haltig sein müssen, vielmehr war auch schon seinerzeit die weitaus größere Menge von „Thiokol-Fugenmassen“ PCB-frei.

## 1 Geltungsbereich

Diese 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).

## 2 Mitgeltende Regelungen

Bei der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen sind insbesondere die geltenden Regelungen

- des Bauordnungsrechts,
- des Arbeitsschutzrechts,
- des Immissionsschutzrechts und
- des Abfallrechts

zu beachten. Auf spezielle Rechtsvorschriften und technische Regeln wird in den einzelnen Abschnitten hingewiesen.

## 3 Bewertung der PCB-Belastung von Räumen und der Dringlichkeit von Sanierungsmaßnahmen

Von PCB-belasteten Baustoffen und Bauteilen in Räumen können Gesundheitsrisiken für die Nutzer der Räume ausgehen. Das gesundheitliche Risiko steigt mit der Konzentration der PCB in der Raumluft und der Aufenthaltsdauer im Raum. Die folgende Bewertung der Dringlichkeit einer Sanierung erfolgt aufgrund der toxikologischen Bewertung von PCB in der Innenraumluft dauerhaft genutzter Räume durch das frühere Bundesgesundheitsamt und die Arbeitsgemeinschaft der Leitenden Medizinalbeamten der Länder (AGLMB). Auf der Grundlage des Beschlusses des Ausschusses für Umwelthygiene der AGLMB vom 14./15. 06. 1993 werden folgende Empfehlungen für sachgerecht angesehen:

- Raumluftkonzentrationen unter 300 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft sind als langfristig tolerabel anzusehen (Vorsorgewert).
- bei Raumluftkonzentrationen zwischen 300 und 3 000 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft wird empfohlen, die Quelle der Raumluftverunreinigung aufzuspüren und nach Möglichkeit unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit zu beseitigen oder zumindest eine Verminderung der PCB-Konzentration (z. B. durch regelmäßiges Lüften sowie gründliche Reinigung und Entstaubung der Räume) anzustreben.

Der Zielwert liegt bei weniger als 300 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft.

- Raumluftkonzentrationen oberhalb von 3 000 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft sollten im Hinblick auf mögliche andere nicht kontrollierbare PCB-Belastungen vermieden werden. Bei entsprechenden Befunden sollten unverzüglich Kontrollanalysen durchgeführt werden. Bei Bestätigung des Wertes sind in Abhängigkeit von der Belastung zur Vermeidung gesundheitlicher Risiken in diesen Räumen unverzüglich Maßnahmen zur Verringerung der Raumluftkonzentration von PCB zu ergreifen. Die Sanierungsmaßnahmen müssen geeignet sein, die PCB-Aufnahme wirksam zu vermindern.

Der Zielwert liegt auch hier bei weniger als 300 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft (Sanierungsleitwert).

Die zuständigen Stellen orientieren sich bei der Bewertung entsprechender Sachverhalte an diesen Empfehlungen. Zur Erläuterung wird auf folgendes hingewiesen:

Dieser Beurteilung liegt eine tolerable tägliche Aufnahmemenge (TDI-Wert) von 1 µg PCB/kg Körpergewicht zugrunde, der vom früheren Bundesgesundheitsamt und der Deutschen Forschungsgemeinschaft abgeleitet wurde. Um

möglichen Gefahren für Leben oder Gesundheit zu begegnen, ist eine längerfristige Überschreitung des genannten TDI-Wertes zu vermeiden.

Unter Vorsorgeaspekten sollte die anteilige Aufnahme über die Luft nicht mehr als 10 % des genannten TDI-Wertes betragen. Dies ist bei ganztägigem Aufenthalt in Innenräumen bei Raumluftkonzentrationen bis 300 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft gewährleistet. Da über Nahrungsmittel derzeit durchschnittlich etwa 0,1 µg PCB/kg Körpergewicht pro Tag aufgenommen werden, ist auch bei höheren Raumluftkonzentrationen, insbesondere bei verkürzter Aufenthaltsdauer, eine Überschreitung des genannten TDI-Wertes nicht unmittelbar gegeben. In Räumen, die keiner täglichen, länger andauernden Nutzung unterliegen, kann dem Vorsorgegedanken in ausreichendem Maße Rechnung getragen sein, wenn die PCB-Raumluftkonzentration durch Lüften und Feuchtwischen möglichst gering gehalten wird.

In Räumen mit im Jahresmittel zu erwartenden Raumluftkonzentrationen über 3 000 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft kann bei einer täglichen Aufenthaltsdauer von 24 Stunden der genannte TDI-Wert allein durch die inhalative Aufnahme überschritten werden. In diesen Fällen sind daher Maßnahmen zur Abwehr einer möglichen Gefahr für Leben oder Gesundheit angezeigt. Bei kürzerer mittlerer Aufenthaltsdauer pro Tag sind bei Überschreitung entsprechend höherer Raumluftkonzentrationen Gefahrenabwehrmaßnahmen angezeigt.

## 4 Empfehlungen für die Sanierung von Gebäuden

### 4.1 Grundsätze

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.

Um Gefährdungen der bei Sanierungen Beschäftigten, Dritter und der Umwelt auszuschließen, sollten folgende Grundsätze beachtet werden:

1. Sanierungsmaßnahmen werden als in sich geschlossenes Konzept vom Beginn der Arbeiten bis zur Entsorgung der Abfälle und des Abwassers entsprechend den geltenden Bestimmungen geplant. Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß durch die Sanierung der Bauteile notwendige Eigenschaften der Bauteile - z. B. deren Standsicherheit - beeinträchtigt werden können.
2. Es werden nur Firmen beauftragt, die mit den Arbeiten, den dabei auftretenden Gefahren und den erforderlichen Schutzmaßnahmen vertraut sind und über die erforderlichen Geräte und Ausrüstungen verfügen.
3. Die Sanierung erfolgt möglichst staubarm.
4. Die erforderlichen Arbeitsschutzmaßnahmen und Maßnahmen zum Schutz der Gebäudenutzer und der Umwelt während der Sanierung werden beachtet. Hierzu wird auf die Abschnitte 4.3 und 4.4 verwiesen.
5. Durch geeignete Maßnahmen, z. B. staubdichte Abschottungen des Arbeitsbereiches, wird sichergestellt, daß bei der Sanierung freigesetzte PCB-haltige Stäube nicht in Gebäudebereiche außerhalb des Arbeitsbereichs gelangen können. Unterdruckhaltung und Zugangsschleusen sind in der Regel nicht erforderlich<sup>2)</sup>. Das Betreten des Arbeitsbereiches durch unbeteiligte Dritte ist zu verhindern.

<sup>2)</sup> Erläuterung: Es hat sich als sinnvoll erwiesen, die Sanierungsbereiche in Abhängigkeit von der jeweiligen Gebäudestruktur festzulegen. Günstig ist die Einbeziehung sog. Brandabschnitte, die in aller Regel von festen Wänden begrenzt sind und somit ein einfaches Abtrennen der Baustelle gegenüber den weiter genutzten Teilen eines Gebäudes ermöglichen.

6. Gegen die Verschleppung von PCB-haltigem Staub aus dem Arbeitsbereich werden geeignete Maßnahmen ergriffen, z. B. die Verwendung von Einmalüberziehschuhen.
7. Der gesamte Arbeitsbereich wird täglich mit einem geeigneten Staubsauger grob gereinigt (vgl. Abschnitt 4.3.4).
8. Weitergehende Maßnahmen zum Schutz von Personen außerhalb des Sanierungsbereichs sind nicht erforderlich.

Es wird empfohlen sicherzustellen, daß die Räume bis zur Sanierung ausreichend gelüftet und regelmäßig feucht gereinigt werden. Die Primärquellen sollten dokumentiert und ggf. im Rahmen ohnehin anstehender Änderungs- bzw. Instandhaltungsmaßnahmen mit entfernt werden.

## 4.2 Sanierung

### 4.2.1 Übersicht

Für eine dauerhafte Sanierung von PCB-belasteten Räumen kommt in der Regel nur das Entfernen der Primärquellen, in Einzelfällen auch deren räumliche Trennung durch feste Bauteile in Betracht. Die nachfolgend aufgeführten Verfahren haben sich in der Praxis bewährt. Damit sind andere Verfahren, die zu gleichwertigen Ergebnissen führen, nicht ausgeschlossen. Die Beschichtung von Primärquellen hat sich bisher nicht bewährt.

Läßt sich durch diese Maßnahmen an den Primärquellen die PCB-Raumluftkonzentration nicht unter den Sanierungsleitwert von 300 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft absenken, ist darüber hinaus die Sanierung von Sekundärquellen (Bauteile, Gegenstände) erforderlich. Großflächige Quellen (z. B. Wände, Decken) können dazu räumlich abgetrennt oder beschichtet werden. Die Heißbehandlung von Oberflächen, z. B. durch Flammstrahlen, unterbleibt. Kontaminierte Gegenstände (z. B. Mobiliar, Teppiche, Gardinen) sollten gründlich gereinigt werden.

Sekundärkontaminierte Materialien, die maßgeblich zur Raumluftbelastung beitragen und nicht beschichtet, räumlich abgetrennt oder ausreichend gereinigt werden können, z. B. Fußleisten oder Bodenbeläge, werden entfernt<sup>3)</sup>.

Die vorgelegten Empfehlungen sind auf den Umgang mit PCB-haltigen Produkten nach Bränden nicht anzuwenden (siehe hierzu die BGA-Empfehlungen zur Reinigung von Gebäuden nach Bränden, Bundesgesundheitsblatt 1/90).

### 4.2.2 Sanierungsverfahren

#### 4.2.2.1 Entfernen der Primärquellen (Methode 1)

Primärquellen werden mittels staubarm arbeitender Werkzeuge oder von Hand entfernt und in für die Entsorgung geeigneten Behältern (vgl. Abschnitt 4.4) gesammelt. Wird ein Elektrofugenschneider (oszillierendes Messer) eingesetzt, muß mit größerer Staubentwicklung gerechnet werden. Hinterfüllmaterial soll entfernt werden. Anfallender Staub wird am Entstehungsort mit einem geeigneten Staubsauger aufgenommen. Die Anschlußbereiche von Primärquellen (z. B. Fugenflanken) werden gut gesäubert und mit einer Beschichtung (z. B. Epoxidharz, Acryl- oder Alkydharz) versehen. Nach Beschichtung der Anschlußbereiche und Einbringen von neuem Hinterfüllmaterial wird neu verfügt<sup>4)</sup>.

#### 4.2.2.2 Räumliche Trennung (Methode 2)

Primärquellen und Sekundärquellen werden luftdicht gegen die Raumluft abgeschottet. Dies kann zum Beispiel durch dauerhaft dichte Verkleidungen erfolgen<sup>5)</sup>. Dann sollte jedoch die Primärquelle für eine spätere getrennte Entsorgung gekennzeichnet und dokumentiert werden.

#### 4.2.2.3 Behandlung von Sekundärquellen (Methode 3)

Die Sanierung von Sekundärquellen kann wie bei Primärquellen durch Entfernen entsprechend Abschnitt 4.2.2.1 erfolgen. Wird diese Methode nicht gewählt, lassen sich PCB-Raumluftbelastungen aus kontaminierten Bauteilen auch durch Abtragen der Oberflächen dieser Teile, z. B. durch Abbeizen von Farbbeschichtungen, und Beschichten der Oberflächen hinreichend vermindern.

Hierfür können sich nach derzeitigem Stand der Erkenntnisse z. B. diffusionshemmende Isoliertapeten, hochabgebundene Latexdispersionsfarben, insbesondere solche auf Acrylatbasis, oder zweikomponentige Epoxidharz- oder Polyurethanbeschichtungen<sup>6)</sup> eignen. Die Wirkung von Beschichtungen wird noch erhöht, wenn sie in Kombination mit einer handelsüblichen Glasfasertapete eingesetzt werden.

### 4.2.3 Reinigung

Nach Abschluß der Sanierung wird der gesamte Sanierungsbereich einer Feinreinigung unterzogen, wobei zunächst sämtliche Oberflächen von Bauteilen und Einrichtungen mit einem geeigneten Staubsauger gereinigt werden. Im Anschluß daran erfolgt eine Feuchtreinigung sämtlicher dafür in Frage kommender Flächen sowie des weiterzuverwendenden Mobiliars. Die Reinigung wird manuell unter Verwendung handelsüblicher Reinigungsmittel durchgeführt. Hochdruckreiniger eignen sich nicht, da die Reinigungsflüssigkeit nicht mehr vollständig erfaßt werden kann.

## 4.3 Schutzmaßnahmen bei der Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile

Beim Umgang mit PCB oder PCB-haltigen Produkten im Zuge von Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten kann erfahrungsgemäß davon ausgegangen werden, daß bei Anwendung der zur Zeit üblichen Arbeitsverfahren die Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz [TRK (III B)] nach TRGS 900 dauerhaft sicher eingehalten werden. Dabei wird vorausgesetzt, daß keine staubintensiven Arbeitsgeräte, wie z. B. Trennschleifer ohne Absaugung, verwendet werden.

<sup>3)</sup> Erläuterung: Das Abtragen von Betonoberflächen oder das Entfernen von Putzen, Beschichtungen oder Gipskartonplatten ist mit starker Staubentwicklung verbunden. In einer Reihe von Fällen wurde sogar festgestellt, daß die Raumluftbelastung nach derartigen Maßnahmen angestiegen war, weil an Staub adsorbierte PCB unkontrolliert in nicht mehr zugängliche Bereiche eingedrungen und dort als zusätzliche PCB-Quelle wirkten.

<sup>4)</sup> Erläuterung: In Einzelfällen wurden gute Erfahrungen gemacht, wenn nach dem Entfernen der Fugenmassen ca. 3–4 mm des angrenzenden Betons abgetragen werden, bevor die Beschichtung aufgebracht wird. Es ist jedoch zu beachten, daß diese Methode staubintensiv ist und zudem nicht angewandt werden darf, wenn dadurch die Standsicherheit der Bauteile beeinträchtigt wird oder nicht wieder hergestellt werden kann.

<sup>5)</sup> Ein derartiges Vorgehen erfordert dauerhaft dichte Abschlüsse auch gegenüber angrenzenden Bauteilen und bedarf hinsichtlich seiner bauphysikalischen und raumklimatischen Folgewirkungen sorgfältiger Prüfung.

<sup>6)</sup> Erläuterung: Derartige Beschichtungen wiesen in Laborversuchen eine Sperrwirkung gegenüber PCB von über 99 % auf. Die bisherigen Versuche deuten darauf hin, daß die Sperrwirkung solcher Beschichtungen so lange anhält, daß von üblichen Renovierungsintervallen ausgegangen werden kann. Derartige pigmentierte Beschichtungen eignen sich aus optischen Gründen jedoch nicht für Sichtmauerwerk, Klinkerverblendungen o. ä., deren Ausbau in der Regel technisch nicht möglich ist. Über die Sperrwirkung hierfür geeigneter unpigmentierter Beschichtungen liegen derzeit keine Erfahrungen vor.

Erfahrungsgemäß kann auch davon ausgegangen werden, daß die produktionsbedingten Gehalte an polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen so gering sind, daß zusätzliche Belastungen durch diese Verbindungen nicht berücksichtigt zu werden brauchen.

#### 4.3.1 Grenzwerte, Einstufung, Kennzeichnung

Bei der Sanierung sind folgende Regelungen für den Umgang mit dem Gefahrstoff zu beachten:

Grenzwerte (TRGS 900):

Chlorierte Biphenyle (54 % Chlor): 0,5 mg/m<sup>3</sup> Luft

Chlorierte Biphenyle (42 % Chlor): 1,0 mg/m<sup>3</sup> Luft

*Einstufung der PCB bezüglich krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Wirkung:*

TRGS 905: R<sub>E</sub> 2 fruchtschädigend (entwicklungsschädigend), Kategorie 2 nach Anhang I GefStoffV,

Einstufung nach DFG, MAK und BAT-Werte-Liste 1994: III B, Stoff mit begründetem Verdacht auf krebserzeugende Wirkung

*Einstufung und Kennzeichnung nach Gefahrstoffverordnung:*

Einstufung: R 33  
N; R 50-53

Kennzeichnung: Xn, N  
R: 33-50/53  
S: (2)-35-60-61

Xn	mindergiftig
N	umweltgefährlich
R 33	Gefahr kumulativer Wirkung
R 50/53	sehr giftig für Wasserorganismen
S 35	Abfälle und Behälter müssen in gesicherter Weise beseitigt werden.
S 60	Dieser Stoff und sein Behälter sind als gefährlicher Abfall zu entsorgen.
S 61	Freisetzung in die Umwelt vermeiden.

*Kennzeichnung nach TRGS 900:*

Hautresorption: H (Gefahr der Hautresorption)

#### 4.3.2 Arbeitsschutzvorschriften

Beim Umgang mit PCB oder PCB-haltigen Produkten sind sowohl gesetzliche als auch berufsgenossenschaftliche Vorschriften und Regelwerke zu beachten. Dies sind insbesondere Bestimmungen der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) und der Unfallverhütungsvorschrift „Allgemeine Vorschriften“ in Verbindung mit den Richtlinien für „Arbeiten in kontaminierten Bereichen“ (ZH 1/183).

Einschlägige Gesetze, Verordnungen und Regelwerke sind in Anhang 1 aufgelistet.

Nach § 16 der GefStoffV hat sich der Unternehmer zu vergewissern, ob er mit einem Gefahrstoff umgeht. Kann das Auftreten von Gefahrstoffen in der Luft am Arbeitsplatz nicht sicher ausgeschlossen werden, muß er ermitteln oder ermitteln lassen, ob der MAK- bzw. TRK-Wert unterschritten oder die Auslöseschwelle überschritten ist (§ 18 GefStoffV). In Abhängigkeit vom Ermittlungsergebnis sind nach den Regeln der TRGS 402 Kontrollmessungen durchzuführen.

Beim Nachweis von PCB in gesundheitsgefährdenden Konzentrationen (Überschreitung des TRK-Wertes) müssen in erster Linie geeignete technische Maßnahmen zur Staubminimierung durchgeführt werden. Wird in Sonderfällen die Einhaltung des Grenzwertes durch technische Maßnahmen nicht erreicht, sind geeignete persönliche Schutzausrüstungen zu benutzen (z. B. Atemschutz nach DIN 3181, A2-P2, Schutzanzug, Schutzbrille).

Werden im Zuge der Überwachung von Arbeitsplätzen Messungen notwendig, dürfen damit nur Meßstellen beauftragt werden, die über die notwendige Sachkunde und die notwendigen Einrichtungen verfügen. Der Arbeitgeber kann mit der Durchführung der Messung auch außerbetriebliche Meßstellen beauftragen. Ein Verzeichnis geeigneter Meßstellen wird vom Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung im Bundesarbeitsblatt sowie vom Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften veröffentlicht und fortgeschrieben.

#### 4.3.3 Organisatorische Schutzmaßnahmen

Arbeiten in kontaminierten Bereichen sind rechtzeitig vor Beginn der zuständigen Berufsgenossenschaft anzuzeigen (ZH 1/183, Ziff. 11.2).

Werden die Arbeiten von mehreren Unternehmen gemeinsam durchgeführt, hat der Auftraggeber zur Koordinierung der sicherheitstechnischen Überwachung der verschiedenen Arbeiten eine hierfür verantwortliche Person (Koordinator) zu bestellen. Der Koordinator muß weisungsbefugt sein. Seine Aufgaben sind in ZH 1/183 Ziff. 5.2 geregelt.

Die Arbeiten müssen von fachlich geeigneten Personen geleitet und beaufsichtigt werden. Deren Aufgabe ist es, die Voraussetzungen für eine sichere Baudurchführung zu schaffen und die Einhaltung der Sicherheitsmaßnahmen zu überwachen.

Dem Aufsichtsführenden obliegt die Baustellenüberwachung. Er muß ausreichende Fachkenntnisse besitzen und mit den besonderen Gefahren beim Umgang mit PCB vertraut sein.

Die mit der Ausführung der Sanierungsarbeiten betrauten Arbeitskräfte müssen über Gefahren, Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln vor Aufnahme der Tätigkeit unterwiesen werden. Hierfür ist eine Betriebsanweisung gemäß § 20 GefStoffV/TRGS 555 zu erstellen. Weitere Hinweise sowie ein Muster für eine solche Betriebsanweisung enthält die ZH 1/183. Inhalt und Zeitpunkt der Unterweisung sind schriftlich festzuhalten und von den Unterwiesenen zu bestätigen.

Für den Umgang mit PCB oder PCB-haltigen Produkten gelten Beschäftigungsbeschränkungen für Jugendliche (§ 15 b GefStoffV sowie ZH 1/183 Ziff. 7.1). Außerdem besteht ein Beschäftigungsverbot für werdende und stillende Mütter.

#### 4.3.4 Technische Schutzmaßnahmen

Um die Schadstoffkonzentration im Arbeitsbereich gering zu halten, ist für eine gute Raumlüftung zu sorgen. Damit angrenzende Räume nicht kontaminiert werden, werden Türen und andere Öffnungen staubdicht verschlossen.

Unbefugte dürfen den Arbeitsbereich nicht betreten. Entsprechende Absperrungen und Warnzeichen sind anzubringen. Die Zeichen müssen der UVV „Sicherheitskennzeichnung am Arbeitsplatz“ (VBG 125) entsprechen.

Zum Aufsaugen von Stäuben dürfen nur baumustergeprüfte Sauggeräte eingesetzt werden. Sie müssen der Verwendungskategorie C entsprechen.

Die Bearbeitung PCB-haltiger Produkte oder PCB-kontaminierter Oberflächen zum Beispiel mit Heißluftgeräten und dergleichen oder durch Flammstrahlen ist nicht zulässig.

Abfälle sind in resistenten und verschleißbaren Behältern einzusammeln. Die Behälter sind abzudecken oder zu verschließen. Abfälle dürfen nicht in der Nähe von Feuerstellen oder von heißen Oberflächen gelagert werden. Bezüglich der Entsorgung von PCB-haltigen Abfällen vgl. Abschnitt 4.4.

#### 4.3.5 Hygienische Schutzmaßnahmen

Im Arbeitsraum ist das Essen, Rauchen und Trinken sowie das Aufbewahren von Lebensmitteln verboten. Sind bei Sanierungen die in Abschnitt 4.1 genannten Voraussetzungen erfüllt, genügt eine geeignete Arbeitskleidung. Direkter Hautkontakt mit PCB-haltigen Materialien ist z. B. durch Tragen geeigneter Arbeitshandschuhe zu vermeiden. Bei Arbeitsgängen, die mit Staubentwicklung verbunden sind, sind geeignete Atemschutzmasken zu verwenden.

Bei Arbeitsunterbrechungen/Pausen ist die Arbeitskleidung abzulegen, und die Hände sind gründlich zu reinigen.

Verschmutzte Arbeitskleidung soll täglich gewechselt werden, um eine Kontamination der Haut zu vermeiden. Straßen- und Arbeitskleidung sind getrennt aufzubewahren.

Für das Umkleiden, die getrennte Aufbewahrung von Straßen- und Arbeitskleidung sowie zur Körperreinigung sind geeignete Räume und Einrichtungen sowie Waschmöglichkeiten zur Verfügung zu stellen.

Der Arbeitsbereich muß der Arbeitsstättenverordnung sowie den zugehörigen Arbeitsstätten-Richtlinien entsprechen (insbesondere §§ 45 bis 48 der Arbeitsstättenverordnung).

Den Beschäftigten sind Hautreinigungs- und Hautpflege-mittel zur Verfügung zu stellen. Die Hautschutzmittel sollten fettfrei sein und können gerbende Zusätze enthalten, um die Schädigung der Haut durch das Tragen der Schutzhandschuhe zu verhindern. Nach der Reinigung wird die Hautpflege mit fetthaltigen Salben oder Lotionen empfohlen.

#### 4.3.6 Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen

Spezielle arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen beim Umgang mit PCB werden nach der Unfallverhütungsvorschrift „Arbeitsmedizinische Vorsorge“ (VBG 100) und nach der Gefahrstoffverordnung nicht gefordert. Es wird jedoch empfohlen, bei den arbeitsmedizinischen Untersuchungen nach dem Arbeitssicherheitsgesetz auf den Umgang mit PCB hinzuweisen, um dem Betriebsarzt/Arbeitsmediziner eine individuelle Beurteilung und Beratung zu ermöglichen.

Wird silikogener Feinstaub freigesetzt, z. B. bei der Oberflächenbearbeitung von Beton, oder wird Atemschutz verwendet, sind arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen nach den berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen G 1.1 und G 26 erforderlich.

### 4.4 Abfall- und Abwasserentsorgung

#### 4.4.1 Gesetzliche Bestimmungen zur Entsorgung PCB-belasteter Produkte

Bei der Entsorgung PCB-belasteter Produkte sind die in Anhang 1 aufgeführten abfallrechtlichen Bestimmungen zu beachten. Zukünftig wird zusätzlich die derzeit erst als Referentenentwurf aus dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit vorliegende Bauabfallverordnung zu berücksichtigen sein.

#### 4.4.2 Zuordnung von Abfällen zu Entsorgungswegen

Die bei Sanierung PCB-haltiger Produkte anfallenden Abfälle sollen getrennt gehalten und zu den folgenden Abfallschlüsseln des Abfallkatalogs und gemäß TA Abfall Teil 1, Anhang C IV, folgenden Entsorgungswegen zugeordnet werden:

##### - Primärquellen

Bezeichnung: sonstige PCB-haltige Abfälle  
Abfallschlüssel: 541 11  
Entsorgungsweg: Untertagedeponie

##### - Sekundärquellen

Bezeichnung: Bauschutt und Erdaushub mit schädlichen Verunreinigungen  
Abfallschlüssel: 314 41  
Entsorgungsweg: Sonderabfall-Deponie oder Monodeponie

##### - Baustellenabfälle, die bei den Bauarbeiten anfallenden Abfälle außer Bauschutt

Bezeichnung: Baustellenabfälle (nicht Bauschutt)  
Abfallschlüssel: 912 06  
Entsorgungsweg: Hausmülldeponie (nach Aussortierung von schadstoffhaltigen Bestandteilen) oder Monodeponie.

#### 4.4.3 Getrennthaltung und Kennzeichnung der Abfälle

PCB-haltige Abfälle sollten mittels geeigneter Behälter getrennt gesammelt und gekennzeichnet (oben Abschnitt 4.4.2) werden. Die Eignung der Behälter und die Form der Anlieferung ist mit dem Entsorger abzustimmen.

#### 4.4.4 Einsammeln und Befördern

Bei der Einsammlung und Beförderung von Abfällen und Reststoffen ist die Verordnung über das Einsammeln und Befördern sowie über die Überwachung von Abfällen und Reststoffen (Abfall- und Reststoffüberwachungsverordnung) vom 3. April 1990 (BGBI I S. 648) zu beachten. Die Durchführung der Entsorgung ist im Vorfeld der Sanierung mit den zuständigen Behörden festzulegen.

Der Abfallerzeuger, d. h. der Betrieb, der die Sanierung durchführt, sollte die bei der Sanierung anfallenden Abfälle bis zur Abholung durch zugelassene Entsorger separat und gekennzeichnet an geeigneter Stelle bereitstellen. Dabei sind die Vereinbarungen mit dem Entsorger zu beachten. Bei der Beförderung von PCB-Abfällen sind die maßgeblichen Transportvorschriften zu berücksichtigen. Entsprechende Festlegungen treffen im konkreten Fall die zuständigen Abfallbehörden.

#### 4.4.5 Verbleib des Abwassers

Anfallendes verschmutztes Spülwasser aus der abschließenden Grundreinigung von Gebäudeteilen wird wie häusliches Abwasser beseitigt.

## 5 Erfolgskontrolle

### 5.1 Allgemeines

Der Erfolg der Sanierung wird durch Messung der Konzentration von PCB in der Raumluft nach Anhang 2 belegt.

Werden die Räume eines Gebäudes nach einer Sanierung zu Beginn der Abbrucharbeiten nicht mehr genutzt, so ist die Erfolgskontrolle nach Abschnitt 5 nicht erforderlich.

## 5.2 Meßstrategie für die Erfolgskontrolle

Es wird folgende Meßstrategie empfohlen:

### 5.2.1 Messung

Die Messungen zur Erfolgskontrolle der Sanierung werden vor der erneuten Nutzung der Räume, d. h. vor Wiedermöblierung bzw. vor staubbindenden Ausbauarbeiten, z. B. der Verlegung von Bodenbelägen, durchgeführt. Umfang und Häufigkeit der Messungen zur Erfolgskontrolle werden so bemessen, daß eine hinreichend verlässliche Aussage über den Erfolg der Sanierung getroffen werden kann.

Vor der Messung zur Erfolgskontrolle wird geprüft, ob PCB-haltige Baustoffe oder Bauteile sowie Staub auch tatsächlich überall entfernt bzw. beschichtet oder räumlich getrennt wurden. Messungen nach Naßreinigung oder Beschichtung werden erst durchgeführt, wenn die Oberflächen trocken sind.

### 5.2.2 Meßbedingungen, Nutzungssimulation

Messungen der Konzentration von PCB in der Raumluft des sanierten Raumes werden dort durchgeführt, wo sich Personen bei typischer Raumnutzung vorwiegend aufhalten oder wo eine hohe Konzentration vermutet wird. Da vor einer erneuten Nutzung gemessen werden muß, wird der Normalbetrieb simuliert, d. h. die Simulation orientiert sich an der normalen Raumlüftung und den bei konkreter Nutzung tatsächlich vorkommenden Verhältnissen. Allgemein gültige Simulationsregeln können wegen des Einflusses der Raum- und Raumnutzungssituation des jeweiligen Einzelfalles nicht angegeben werden. Die Simulation wird in Abstimmung

mit der mit den Messungen beauftragten Stelle in jedem Einzelfall festgelegt und dokumentiert.

## 5.3 Beurteilung der raumlufthygienischen Situation

Nach einer Sanierung sollte die PCB-Konzentration in der Raumluft den Sanierungsleitwert von 300 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft nicht überschreiten. Da die PCB-Konzentration in der Raumluft stark von jahreszeitlichen Temperaturschwankungen abhängt, darf der Meßwert den Sanierungsleitwert bei sorgfältiger Sanierung nach Abschnitt 4 zeitlich befristet überschreiten. Entscheidend für die Beurteilung der raumlufthygienischen Situation ist die Abschätzung der im Jahresmittel zu erwartenden Raumluftkonzentration.

## 5.4 Anforderungen an die Stellen und Einrichtungen, die Messungen durchführen

PCB-Raumluftmessungen nach Abschnitt 5.2 dürfen nur von Stellen und Einrichtungen vorgenommen werden, die Erfahrungen mit PCB-Raumluftmessungen vorweisen können und eine ordnungsgemäße Durchführung der Messungen nach Anhang 2 gewährleisten.

## 6 Abbruch baulicher Anlagen, die PCB enthalten

Aufgrund der künftigen Bauabfallverordnung müssen (nach dem derzeit vorliegenden BMU-Referentenentwurf) die anfallenden schadstoffhaltigen Abfälle getrennt voneinander und getrennt von Erdaushub, Bauschutt und Straßenaufbruch, eingesammelt, zwischengelagert und umweltverträglich entsorgt werden. Dies bedeutet, daß PCB-haltige Primärquellen vor dem Abbruch zu entfernen und gemäß Abschnitt 4.4.2 ordnungsgemäß zu entsorgen sind. Entsprechend sollte bereits heute verfahren werden.

## Anhang 1

### Übersicht über einschlägige Gesetze, Verordnungen und technische Regelwerke zum Arbeitsschutz und zur Entsorgung PCB-belasteter Produkte

- Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26.10.1993 (BGBl I S. 1782, 2049), geändert durch Verordnung vom 10.11.1993 (BGBl I S. 1870), Bundesarbeitsblatt 12/1993, S. 26–96,
- Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 20.03.1975 (BGBl I S. 729), zuletzt geändert durch Verordnung vom 01.08.1983 (BGBl I S. 1057),
- Arbeitsstätten-Richtlinien,
- Gesetz über technische Arbeitsmittel (Gerätesicherheitsgesetz) in der Fassung vom 23.10.1992 (BGBl I S. 1793), zuletzt geändert durch Gesetz vom 27.12.1993 (BGBl I S. 2378),
- TRGS 100 „Auslöseschwelle für gefährliche Stoffe“,
- TRGS 102 „Technische Richtkonzentrationen für gefährliche Stoffe“,
- TRGS 150 „Unmittelbarer Hautkontakt mit Gefahrstoffen“,
- TRGS 200 „Einstufung und Kennzeichnung von Stoffen, Zubereitungen und Erzeugnissen“,
- TRGS 402 „Ermittlung und Beurteilung der Konzentrationen gefährlicher Stoffe in der Luft in Arbeitsbereichen“,
- TRGS 403 „Bewertung von Stoffgemischen in der Luft am Arbeitsplatz“,
- TRGS 555 „Betriebsanweisung und Unterweisung nach § 20 GefStoffV“,
- TRGS 900 „Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz“, MAK- und TRK-Werte – Ausgabe Juni 1994, Bundesarbeitsblatt 6/1994, S. 34–53,
- TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe“, Ausgabe Juni 1994, Bundesarbeitsblatt 6/1994, S. 56–63,
- MAK- und BAT-Werte-Liste 1994, Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Mitteilung 30,

- Unfallverhütungsvorschrift „Allgemeine Vorschriften“ (VBG 1),
- Unfallverhütungsvorschrift „Bauarbeiten“ (VBG 37),
- Unfallverhütungsvorschrift „Arbeitsmedizinische Vorsorge“ (VBG 100),
- Unfallverhütungsvorschrift „Erste Hilfe“ (VBG 109),
- Unfallverhütungsvorschrift „Schutzmaßnahmen beim Umgang mit krebserzeugenden Gefahren“ (VBG 113),
- Unfallverhütungsvorschrift „Sicherheitsingenieure und andere Fachkräfte für Arbeitssicherheit“ (VBG 122),
- Unfallverhütungsvorschrift „Betriebsärzte“ (VBG 123),
- Unfallverhütungsvorschrift „Sicherheitskennzeichnung am Arbeitsplatz“ (VBG 125),
- Sicherheitsregeln für Anlagen zur Luftreinhaltung am Arbeitsplatz (ZH 1/140),
- Richtlinien für Arbeiten in kontaminierten Bereichen (ZH 1/183),
- Augenschutz-Merkblatt (ZH 1/192),
- Regeln für den Einsatz von Schutzkleidung (ZH 1/700),
- Regeln für den Einsatz von Atemschutzgeräten (ZH 1/701),
- Regeln für den Einsatz von Fußschutz (ZH 1/702),
- Regeln für den Einsatz von Schutzhandschuhen (ZH 1/706),
- Regeln für den Einsatz von Hautschutz (ZH 1/708),
- Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach den Berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen (ZH 1/600.0),
- Abfallgesetz (AbfG) vom 27. August 1986 (BGBl I, S. 1410), zuletzt geändert durch Gesetz 22. 04. 1993 (BGBl I S. 466),
- Verordnung zur Bestimmung von Abfällen nach § 2 Abs. 2 des Abfallgesetzes (Abfallbestimmungs-Verordnung – AbfBestV) vom 03. 04. 1990 (BGBl I S. 614), geändert durch Gesetz vom 27. 12. 1993 (BGBl I S. 2378),
- Verordnung zur Bestimmung von Reststoffen nach § 2 Abs. 2 des Abfallgesetzes (Reststoffbestimmungs-Verordnung – RestBestV) vom 03. 04. 1990 (BGBl I S. 631, 862), geändert durch Gesetz vom 27. 12. 1993 (BGBl I S. 2378),
- Verordnung über das Einsammeln und Befördern sowie über die Überwachung von Abfällen und Reststoffen (Abfall- und Reststoffüberwachungs-Verordnung – Abf-RestÜberwV) vom 03. 04. 1990 (BGBl I S. 648),
- Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf Straßen (Gefahrgutverordnung Straße – GGVS) vom 22. 07. 1985 (BGBl I S. 1550) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. 11. 1993 (BGBl I S. 2022), geändert durch Gesetz vom 27. 12. 1993 (BGBl I S. 2378),
- Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall) Teil 1 vom 12. März 1991
- sowie im Entsorgungsfall relevante Bestimmungen der Länder und Kommunen.

## Anhang 2

### Empfehlungen für die analytische Bestimmung von Polychlorierten Biphenylen (PCB) in der Raumluft

#### Einleitung

Gegenwärtig liegt noch keine eindeutig definierte Methodenbeschreibung für die Bestimmung von PCB in Luft im Immissionsbereich vor, jedoch plant der Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI), entsprechende Richtlinien (u. a. VDI 2464, Blatt 1) zu veröffentlichen. Angesichts des dringenden Bedarfs an einer möglichst einheitlichen Vorgehensweise bei der PCB-Bestimmung in Luft soll hier im voraus eine Bestimmungsmethode grundsätzlich beschrieben werden.

Eine Reihe von Teilschritten, die bei einer derartigen Bestimmung notwendig sind, wurden für die Bestimmung von PCB in anderen Medien und/oder für andere Substanzklassen schon eingehend beschrieben und erprobt. Bei den einzelnen methodischen Schritten, die bereits festgeschrieben sind, werden die entsprechenden existierenden VDI- und DIN-Methoden angeführt. Künftige VDI-Richtlinien zur Bestimmung von PCB in der Innenraumluft werden zur Überprüfung der hier beschriebenen Bestimmungsmethode Anlaß geben.

Die im folgenden beschriebenen methodischen Schritte wurden im Rahmen einer Vergleichsmessung der PCB-Innenraumkonzentration in unterschiedlichen Kombinationen mit befriedigenden Ergebnissen eingesetzt [1]. Hierbei wurden Nachweisgrenzen um etwa 0,1 ng/m<sup>3</sup> pro Einzelkomponente erzielt. In einzelnen Abschnitten wird auf diese Vergleichsmessung verwiesen, um das Leistungsvermögen unterschiedlicher Schritte zu vergleichen. Allgemein weisen die Mittelwerte sowohl der einzelnen PCB-Hauptkongenere

als auch der abgeleiteten PCB-Gesamtkonzentrationen einen Vergleichs-Variationskoeffizienten um 30 % auf.

#### Probenahmestrategie

Die Randbedingungen bei der Probenahme von Luft in Innenräumen beeinflussen die Ergebnisse wesentlich. Deshalb ist eine durchdachte Probenahmestrategie notwendig, um die Meßergebnisse eindeutig zu beurteilen. In dem Blatt 1 der VDI-Richtlinie 4300 [2] sind die Grundzüge einer Probenahmestrategie dargestellt. Spezielle Gesichtspunkte der Probenahmestrategie von schwerflüchtigen organischen Substanzen (PAH, PCDD/F und PCB) in Innenräumen werden in einem Folgeblatt, das in Kürze als Grundruck VDI 4300 Blatt 2 erscheint, ausführlicher erläutert.

Als wesentlicher Aspekt sei hier der Zweck der Messung angeführt, der einen entscheidenden Einfluß auf die Wahl der Probenahmerandbedingungen hat. Wenn in einem Raum die Einhaltung eines allein hygienisch begründeten Wertes überwacht werden soll, so müssen die Probenahmerandbedingungen (Temperatur, Feuchte und Luftwechsel) möglichst weitgehend den tatsächlichen Raumnutzungsbedingungen gleichen. Diese Nutzungsbedingungen sollten möglichst den „Normativwerten“ entsprechen (vgl. auch Bundesgesundheitsblatt 2/93, S. 76–78, [3]).

Grenzwerte, die mit genau definierten und einzuhaltenden Probenahmerandbedingungen festgelegt worden sind, liegen für PCB nicht vor.



In jedem Fall ist eine entsprechende Dokumentation der Probenahmebedingungen, wie z. B. in Formblättern ([4], als Anlage), zwingend notwendig.

Für die Verfolgung und Bewertung einzelner Sanierungsmaßnahmen können pragmatisch von der ersten Messung abweichende Probenahmerandbedingungen gewählt werden, z. B. Messung bei geschlossenen Türen und Fenstern. Die hiermit erzielten Untersuchungsergebnisse können aber nicht oder nur sehr bedingt für eine raumlufthygienische Bewertung herangezogen werden. Wichtig ist, daß dann eine Zeitspanne von einigen Stunden zwischen Schließen aller Fenster und Türen bis zum Beginn der Messung eingehalten wird, um die vollständige Gleichgewichtseinstellung der PCB-Konzentrationen zu ermöglichen. Auch hierbei ist eine umfassende Dokumentation obligatorisch.

Es ist nicht sinnvoll und wenig praktikabel, extrem hohe Temperaturen für sog. „worst-case“-Bedingungen einzustellen. Es ist auch nicht möglich, ermittelte Konzentrationen rechnerisch an fiktive standardisierte Probenahmebedingungen anzupassen, da speziell bei PCB die komplexen Quellbedingungen und baulichen Voraussetzungen sehr unterschiedlich und nur selten vollständig bekannt sind. Allenfalls können Trends prognostiziert werden, z. B. geringere Konzentrationen bei höherem Luftwechsel oder niedrigeren Temperaturen.

Wenn die Ergebnisse einer ersten Untersuchung in einem Bereich liegen, der Maßnahmen zur Reduzierung der PCB-Belastung erforderlich macht, so ist mindestens eine Folgeanalyse mit einer vollständig dokumentierten und umfassenden Qualitätssicherung durchzuführen.

### Probenahmemethode

Für die anreichernde Probenahme der PCB aus Luft bieten sich verschiedene Adsorptionsmittel an, so z. B. XAD 2 = Polystyrol/Divinylbenzol-Copolymer, Florisil = MgO/SiO<sub>2</sub>, Silikagel und Polyurethanschaum (PU). PU ist besonders gut geeignet, weil in der Regel geringe Blindwerte und hohe Wiederfindungsraten ermittelt werden und die offenporige Zellstruktur einen hohen Volumenstrom zuläßt, so daß besonders niedrige Nachweisgrenzen erreicht werden können. Für eine Reihe von Substanzklassen ist dieses Adsorptionsmittel im Immissionsbereich erprobt worden, und für die Bestimmung von PCDD/F im Immissionsbereich liegt auch bereits der Vorentwurf einer VDI-Richtlinie (VDI-3498, Blatt 2, [5]) vor.

Für die getrennte Probenahme gasförmiger und staubgebundener Anteile ist ein kombinierter Probenahmekopf im Handel erhältlich. Dieser wurde von Rotard et al. aus dem Probenahmekopf weiterentwickelt, der für die Probenahme von Schwebstaub mit dem Kleinfiltergerät GS 050 – entsprechend der VDI-Richtlinie (VDI-2463, Blatt 7, [6]) – eingesetzt wird.

Bei dem kombinierten Probenahmekopf ist an dem ursprünglichen Filterhalter für Glasfaserfilter eine Edelstahlkartusche angeschraubt, die zwei hintereinanderliegende PU-Schaumstopfen mit einem Durchmesser von 5 cm und einer Länge von je 5 cm als Probenahmemedium für gasförmige PCB aus Luft enthält. Die PU-Schaumstopfen können ebenfalls im Handel bezogen werden. Die PU-Schaumstopfen werden mit 24stündigen Soxhlet-Extraktionen sowohl mit Toluol als auch mit Aceton vorgereinigt.

Die Leistung des entsprechenden Kleinfiltergerätes ist für einen Probenahmestrom von ca. 3 m<sup>3</sup> Luft/h ausgelegt. Der für die Probenahme tatsächlich vorliegende Volumenstrom – bei Parallelmessungen die Summe aller Ströme – darf den zehnten Teil des gesamten Luftvolumens, der

durch den Luftwechsel des zu untersuchenden Raumes entsteht, nicht überschreiten. Relativ höhere Probenahmestromströme können die Meßwerte verfälschen. So sollte z. B. bei einem 50 m<sup>3</sup> großen Raum mit einem Luftwechsel von 0,5 h<sup>-1</sup> der Probenahmestrom nicht mehr als 2,5 m<sup>3</sup> Luft/h betragen.

Als alternatives Adsorptionsmaterial bietet sich in erster Linie Florisil an, das auch in im Handel erhältlichen Probenahmeröhrchen verfügbar ist. Der Probenahmestrom liegt bei ca. 200 l Luft/h.

Bei Transport und Lagerung ist eine Kontaminationsgefahr nie auszuschließen. Deshalb müssen die Probenahmemedien sorgfältig in Aluminiumfolie eingewickelt und in dichtschließenden, reinen und inerten Behältern transportiert und aufbewahrt werden.

Die in der Einleitung erwähnten Vergleichsmessungen zeigten keinen Unterschied zwischen den Konzentrationswerten in Abhängigkeit von den eingesetzten Adsorptionsmitteln. Bei höheren Konzentrationen (> 100 ng/m<sup>3</sup> je Kongener) traten aber für Florisil signifikant geringere Standardabweichungen auf. Daher können die ursprünglich für die Arbeitsplatzüberwachung entwickelten MgO/SiO<sub>2</sub>-Röhrchen – mit den Einschränkungen hinsichtlich der erreichbaren Nachweisgrenze – immer dann mit Erfolg eingesetzt werden, wenn in erster Linie nur die Hauptkomponenten der PCB (PCB 28, PCB 52, PCB 101 u. a.) analysiert werden, so z. B. bei der Überwachung des Sanierungserfolges.

### Probenvorbereitung

Der PU-Schaum wird mit einem internen Standard, z. B. Dekachlorbiphenyl, versetzt und anschließend mit Toluol oder n-Hexan im Soxhlet über 8–24 h extrahiert. Die Wiederfindungsrate des gewählten internen Standards muß kritisch geprüft werden und soll reproduzierbar bei 100 % liegen. Das Glasfaserfilter wird mit dem gleichen Verfahren getrennt extrahiert. Die Extrakte können vereinigt und gemeinsam aufbereitet und analysiert werden.

Die mitextrahierten Begleitstoffe, die die nachfolgende analytische Bestimmung stören würden, müssen mit prächromatographischen Methoden abgetrennt werden. Der hierfür notwendige Aufwand hängt von Art und Konzentration der unerwünschten Begleitstoffe ab. Oft ist ein einziger Reinigungsschritt mit einer Chromatographiesäule mit einem Gemisch aus Kieselgel und H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (z. B. 5,6 g SiO<sub>2</sub> + 4,4 g konz. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Aufgabe von 2 ml Extrakt und Elution mit 200 ml n-Hexan) ausreichend. Als weitere stationäre Phasen haben sich Benzolsulfonsäure, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gut bewährt. In der Methode DIN 51 527 (PCB-Bestimmung in Altölen, [7]) sind weitere Einzelheiten der Reinigung eingehender beschrieben. Darüber hinausgehende Reinigungsschritte, die besonders bei extrem niedrigen PCB-Konzentrationen notwendig werden können, werden im Vorentwurf der Richtlinie VDI 2464, Blatt 1, diskutiert.

Im Fall von Florisil als Adsorptionsmaterial wird mit n-Hexan extrahiert. Als Reinigungsschritt ist in der Regel die Chromatographie über Kieselgel und H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ausreichend.

### Analyse

Ein aliquoter Anteil des auf 0,5 bis 1,0 ml eingengten Eluats wird gaschromatographisch in der Regel mit zwei Kapillarsäulen (s. Abschnitt „Qualitätssicherung“) analysiert. Für die Probenaufgabe ist ein On-Column-Injektor oder ein Kaltaufgabegerät (PTV) besonders gut geeignet, um alle Komponenten des zu untersuchenden Gemisches möglichst vollständig in die Trennsäule zu überführen. Da keine sta-

tionäre Phase sämtliche PCB-Kongeneren auftrennen kann, muß die Wahl der Phase in Abhängigkeit von den zu bestimmenden Einzelverbindungen getroffen werden. Die neuere Literatur [8] ist hierbei sehr hilfreich. Die Optimierung der jeweiligen Trennbedingungen kann mit kommerziell erhältlichen Clophen- bzw. Aroclorgemischen durchgeführt werden.

Für reine Screening- und bei Folgeanalysen, z. B. zur Kontrolle eines Sanierungsverlaufes, wenn mit einer vorangegangenen Analyse die genaue PCB-Zusammensetzung festgestellt worden ist, kann auf den zusätzlichen Einsatz einer zweiten Trennsäule verzichtet werden. Die Analyse, die für die endgültige raumlufthygienische Bewertung herangezogen wird, muß jedoch, wie angegeben, abgesichert werden.

Als Detektor kommt in erster Linie der Elektroneneinfangdetektor (ECD) in Frage. Es muß aber sichergestellt werden, daß die Analysenfunktion von der Eichfunktion eingeschlossen ist, um mögliche Fehler durch das in weiten Bereichen nichtlineare Ansprechverhalten des ECD auszuschließen.

Als Alternative zum ECD als Detektor bietet sich ein Massenspektrometer (MS) an. Durch das Selected-Ion-Monitoring kann in vielen Fällen auch dann eine quantitative Auswertung erfolgen, wenn sich unterschiedlich chlorierte Biphenyle überlagern. Als innerer Standard muß ein Gemisch <sup>13</sup>C-markierter PCB (z. B. von Cambridge Isotope Lab., Promochem) verwendet werden.

Bei den Vergleichsmessungen wurden zwischen den mit ECD- und MS-Detektion ermittelten PCB-Summenwerten keine wesentlichen Unterschiede festgestellt.

#### Auswertung und Qualitätssicherung

Es sind mindestens die Kongenere zu bestimmen und anzugeben, die schon in der Vergangenheit zur Beurteilung der Kontamination von festen und flüssigen Phasen standardmäßig herangezogen wurden. Nach einer Empfehlung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) werden die in der Tab. 1 aufgelisteten Kongenere addiert und mit 5 multipliziert, um die PCB-Gesamtkonzentration näherungsweise als Vergleichswert zu berechnen.

PCB 28	PCB 52	PCB 101
PCB 138	PCB 153	PCB 180

Tab. 1, PCB-Standardkongenere, die für die Gesamtberechnung herangezogen werden.

Da beim Übergang in die Gasphase bevorzugt die leichterflüchtigen, niedrig chlorierten PCB aus der Quelle emittiert werden, tritt in der Luft ein gegenüber dem Ausgangsmaterial deutlich unterscheidbares PCB-Muster auf. Auch mit dem zeitweilig diskutierten Algorithmus - Gesamt-PCB Luft (PCB 28 + PCB 52 + PCB 101 + PCB 138) \* 6 - kann der Einfluß dieses Effektes auf das Ergebnis nur annähernd ausgeglichen werden. Diese Berechnung liefert gegenüber der bisherigen Berechnung einen um etwa 20 % erhöhten Gesamt-PCB-Wert.

Da in der Vergangenheit praktisch ausschließlich die Formel 5\* (6 Kongenere) auch für die Bestimmung der Gesamt-PCB in Luft benutzt worden ist, sollte wegen der Vergleichbarkeit aller Meßergebnisse an dieser Formel festgehalten werden.

Die qualitative Bestimmung einzelner Kongenere sollte bei einer zweifelsfreien Zuordnung auf mindestens zwei Trennsäulen (DB-5, RTX-1701, HT-5, Sil-88 oder Äquivalente) erfolgen. Die quantitative Bestimmung erfolgt mit der Methode des internen Standards. Bei sehr komplexen Chromatogrammen wie bei den PCB sollte die automatische Inte-

gration der Detektorsignale regelmäßig kritisch überprüft werden.

Die Wiederfindungsraten sind von allen zu bestimmenden Kongeneren zu ermitteln. Hierfür werden die zu testenden Substanzen auf das Probenahmemedium in einer Menge gegeben, die etwa der zu erwartenden Probemenge entspricht. Anschließend durchlaufen die Testsubstanzen die gesamte Probenvorbereitung und Analyse. Bei Änderungen der Methode und neuen Materialchargen (wie z. B. Adsorptionsmittel, Reinigungssäulen) sind die Wiederfindungsraten zu überprüfen. Wiederfindungsraten sollten 70 % überschreiten.

Ebenfalls muß das Durchbruchverhalten aller zu ermittelnden Kongeneren unter den vorliegenden Probenahmebedingungen (Probenahmefolumen und Temperatur) überprüft werden. Mit der Analyse eines dem ersten Probenahmemedium nachgeschalteten zweiten Mediums (z. B. zweiter PU-Schaumstopfen) kann bestimmt werden, ob und in welcher Höhe ein Durchbruch bei der Probenahme erfolgt ist. Die Durchbruchrate sollte unter 10 % liegen.

Probenahmemedien, die - bis auf die eigentliche Probenahme - alle Schritte der Probe durchlaufen, inkl. Vorbereitung, Transport und Lagerung, liefern Feldblindwerte. Diese Feldblindwerte ermöglichen eine Aussage über die summarische Kontamination des gesamten Verfahrens und müssen deshalb dokumentiert werden.

Das Durchbruchverhalten und die Feldblindwerte müssen mindestens einmal pro PCB-Muster, Probenahmetemperatur und -volumen bestimmt werden. Der Blindwert sollte zudem mindestens für jede laufende Probenahmeserie einmal überprüft werden.

Die „Kriterien zum Betreiben von Prüflaboratorien“ nach DIN EN 45 001 sind einzuhalten [9]. Die Teilnahme an Ringversuchen oder vergleichbaren externen Qualitätssicherungen ist dringend erwünscht.

#### Literatur

- [1] Ullrich, D., Results of an intercomparison exercise to determine PCB in indoor air, Proc. INDOOR AIR '98 (Helsinki 4.-8. July, 1993), Vol. 2, S. 363-368
- [2] VDI Richtlinie 4300, Blatt 1, „Messen von Innenraumluftverunreinigungen; Allgemeine Aspekte der Meßstrategie“, 1992 (Entwurf), Beuth Verlag, Berlin
- [3] Kommission Innenraum Lufthygiene des BGA, „Raumklimabedingungen in Schulen, Kindergärten und Wohnungen und ihre Bedeutung für die Bestimmung von Formaldehyd“, Bundesgesundheitsblatt 2/93, S. 76-78
- [4] Formblätter zur Dokumentation der Probenahmerandbedingungen (Beispiel)
- [5] VDI Richtlinie 3498, Blatt 2, „Messen von Immissionen; Messen von polychlorierten Dibenzo-p-Dioxinen und -furanen“, 1990 (Vorentwurf)
- [6] VDI Richtlinie 2463, Blatt 7, „Messen von Partikeln; Messen der Massenkonzentration (Immission); Filterverfahren; Kleinfiltergerät GS 050“, 1982, Beuth Verlag, Berlin
- [7] DIN 51527, „Bestimmung polychlorierter Biphenyle (PCB)“, 1987, Beuth Verlag, Berlin
- [8] B. Larsen, S. Bowadt and R. Tilio; "Congener Specific Analysis of 140 Chlorobiphenyls in Technical Mixtures on Five Narrow-Bore GC Columns", Intern. J. Environ. Anal. Chem., Vol 47, pp. 47-68 (1992)
- [9] DIN EN 45 001, „Allgemeine Kriterien zum Betreiben von Prüflaboratorien“, 1990, Beuth Verlag, Berlin