



UmweltWissen

Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Polychlorierte Biphenyle (PCB) geraten immer wieder in die Schlagzeilen: Skandale um die Belastung von Schulgebäuden oder die Kontamination von Tierfutter sind Beispiele für die traurige

Karriere einer Substanzgruppe, die einst hoch gelobt und in zahlreichen Bereichen gerne eingesetzt wurde. Erst als man sie in hohen Konzentrationen z. B. in Fischen und in der Muttermilch nachweisen konnte, wurde man auf ihre Gefahren für Umwelt und Gesundheit aufmerksam.

In den letzten Jahren sind zudem die dioxinähnlichen PCB besonders ins Blickfeld geraten.

In dieser Publikation erhalten Sie Informationen über die Polychlorierten Biphenyle.

1 Stoffeigenschaften

Polychlorierte Biphenyle (PCB) sind chlorierte Kohlenwasserstoffe, die in der Natur nicht vorkommen. Bis zu zehn Wasserstoffatome können in einem Molekül durch Chlor ersetzt sein. Insgesamt gibt es 209 mögliche Verbindungen (Kongenere), von denen normalerweise aber nur sechs Indikator-Kongenere analysiert werden (Nr. 28, 52, 101, 138, 153, 180).

Meist liegen Mischungen von 70 bis 100 Verbindungen vor, wobei etwa 10 Kongenere die Hauptmenge ausmachen. Diese Mischungen sind je nach Chlorgehalt leicht- bis zähflüssige Öle. Einige Kongenere sind in ihrer Struktur und in ihrer biologischen Wirkung dioxinähnlich (s. Abschnitt 7).

PCB sind billig und haben technisch sehr positive Stoffeigenschaften (s. Kasten 1). Daher wurden sie in vielen Anwendungsbereichen eingesetzt (s. Abschnitt 2).

Dieselben Stoffeigenschaften machen die PCB jedoch schwer abbaubar (persistent), insbesondere wenn sie höher chloriert sind (s. Kasten 1). Da sie außerdem gut fettlöslich sind, reichern sie sich in der Nahrungskette an (s. Abschnitt 4). Zudem sind sie produktionsbedingt mit polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF) verunreinigt. Bei Bränden können unter bestimmten Voraussetzungen polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F) entstehen und auch die Entsorgung von PCB-haltigen Abfällen ist problematisch.

Kasten 1: Stoffeigenschaften

- alterungsbeständig, weil chemisch stabil gegenüber Licht, Säuren, Basen, Oxidation
- nicht brennbar, hitzebeständig
- nicht korrosiv
- gute elektrische Isolierung
- schwer flüchtig, wenig wasserlöslich, gut fettlöslich
- verunreinigt mit polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF) und polychlorierten Naphthalinen (PCN)

2 Einsatzbereiche und -mengen

PCB wurden bis etwa Anfang der 1980er Jahre häufig in Innenräumen verwendet (s. Tabelle 1), insbesondere in Gebäuden in Betonfertigbauweise: Beispielsweise wurden hochchlorierte PCB-Gemische bei flammhemmenden Anstrichen von Deckenplatten verwendet (sog. Wilhelmi-Deckenplatten). Dagegen findet man in dauerelastischen Fugendichtungsmassen eher PCB-Mischungen niedrigeren Chlorierungsgrades. Dabei können bis zu 40 % PCB als Weichmacher in der Dichtungsmasse enthalten sein. Zudem wurden PCB auch in Kabelummantelungen und als Isolierflüssigkeit von elektrotechnischen Bauteilen wie Transformatoren und Kondensatoren verwendet und man findet sie auch in Motoren von älteren Haushaltsgeräten, Büromaschinen und Heizungspumpen.

Tabelle 1: Einsatzgebiete von PCB. Quelle: Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW

Funktion und Einsatz	Beispiele
Dielektrikum, Isolier- und Kühlflüssigkeit in Elektrobauteilen	Transformatoren, Gleichrichter, alte Leuchtstoffröhren (Starter), Kondensatoren, auch in Elektrogeräten (sog. Weiße Ware)
Hydrauliköl	Einsatz v. a. im Bergbau
Weichmacher und Flammschutzmittel für Lacke und Harze	Öl-, Emulsions-, Flammschutzanstriche, z. B. PU-Anstriche, Chlorkautschukanstriche. Farben wie Druck-, Dispersions-, Vinylchlorid-, Nitrocellulose-, Epoxydharz-, Polyurethan-, Textil-, Polyvinylacetatfarben. Weitere Einsatzbereiche: Polituren, Überzüge für Silikon-Harz-Filme, Tinten, Beschichtungen von Fußböden, Beton oder Holz
Weichmacher in Kittten, Spachtel-, Dichtungs- und Vergussmassen	Dauerelastische Dichtungsmassen in den Fugen zwischen Bauteilen bei Elementbauweise. Auch in Dehn-, Anschluss-, Wand-Decken-Fugen oder Fensterfugen
Weichmacher für Kunststoffe	Kabelummantelungen
Schmiermittel	Getriebeöle, Bohröle, Hochdruckpumpenöle, Schraubenfette, Immersionslösungen
Papierbeschichtungsmittel	Kohlefreies Durchschlagpapier, Thermopapier, Glasfilterpapier
Insektizide, Pflanzenschutzmittel	Zusatz als Formulierungshilfsstoff

Generell unterscheidet man zwischen der Anwendung in offenen und in geschlossenen Systemen:

- In **offenen Systemen** stehen die PCB-haltigen Materialien in direktem Kontakt zur Umgebungsluft. Da PCB einen sehr geringen Dampfdruck haben, verdampfen sie nur langsam, dafür aber über Jahre anhaltend. Daher stellen Fugenmassen und Anstriche auch heute noch permanente Quellen für PCB in der Innenraumluft dar.
- In **geschlossenen Systemen** sind die PCB-haltigen Materialien von der Umgebungsluft abgeschlossen. Nur wenn diese Systeme leak werden, kann es zu einer PCB-Belastung der Innenraumluft oder der Umwelt kommen.

In Deutschland wurden insgesamt rund 24.000 t PCB in offenen Systemen und ca. 59.000 t PCB in geschlossenen Systemen eingesetzt, davon 46.500 t in der Elektroindustrie und 12.500 t in Hydraulikflüssigkeiten für den Steinkohle-Bergbau.

Beispiel Leuchtstofflampen

PCB wurde häufig in den Startern von Leuchtstofflampen verwendet. Jedoch werden die Kondensatoren im Lauf der Zeit undicht und die Isolierflüssigkeit kann austreten. Dies erkennt man an honigfarbigen Flecken. Daher können alte Leuchtstofflampen eine Quelle für PCB in Innenräumen sein. Dabei sollte man auch an Altbestände im Keller oder auf dem Dachboden denken!

3 PCB in der Umwelt

PCB sind nur schwer abbaubar (persistent). Sie bleiben in der Umwelt lange erhalten und können über weite Strecken verfrachtet werden, gasförmig und an Partikel angelagert (s. Publikationen [Umweltmedium Luft](#) und [Luftschadstoffe – Wirkungen auf Ökosysteme](#)). Daher findet man sie mittlerweile weltweit in allen Umweltmedien und auch an Orten fernab der Verwendung. Mittlerweile wurden 132 PCB-Kongenere in der Umwelt nachgewiesen.

Die **Luft**-Belastung mit PCB ist in städtischen Bereichen z. T. deutlich höher als in ländlichen Regionen (s. Tabelle 2). In den Sommermonaten findet man höhere Werte, da die Verbindungen bei höheren Temperaturen stärker verdampfen. Aus der Luft können PCB sehr effizient auf Pflanzenoberflächen übergehen. Dieser Transfer ist z. B. wesentlich stärker als der von Dioxinen/Furanen.

PCB können im **Boden** insbesondere bei Altlasten eine Rolle spielen (s. Publikation [Bodenbelastungen – eine Übersicht](#)). Sie werden aber auch aus der Luft flächendeckend in den Boden eingetragen (atmosphärische Deposition). Im Boden werden sie stark an die organische Substanz gebunden und reichern sich in der obersten, humosen Bodenschicht an (s. Publikation [Umweltmedium Boden](#)): Die Hintergrund-Konzentration ist daher in Wiesen- und Ackerböden deutlich geringer als in der sehr humosen Streuauflage von Waldböden. Erhöhte Werte findet man in Überschwemmungsgebieten oder wenn früher Klärschlamm zur Düngung ausgebracht wurde.

PCB liegen im **Wasser** vorwiegend an Partikel gebunden vor, z. B. an Schwebstoffe. Die Konzentrationen im Wasser selber sind sehr gering: Sie liegen im ng-Bereich und damit eine Größenordnung geringer als z. B. im Boden. Deutlich erhöht sind die Konzentrationen unterhalb großer Einleitungen, ebenso kann der Unterlauf der großen Flüsse höhere PCB-Gehalte aufweisen.

Tabelle 2: Beispiele für PCB-Hintergrundkonzentrationen

Ort, Medium	PCB-Konzentration Σ 6 Indikator-Kongenerne	Quelle
Luft, städtische Hintergrundstation	0,53 ng/m ³ (Jahresmittel)	LfU 2003c
Luft, ländliche Station	0,44 ng/m ³ (Jahresmittel)	LfU 2003c
Wiesen-, Ackerböden	2 – 5 µg/kg	LfU Baden-Württemberg 1995
Streuauflage von Waldböden	30 – 163 µg/kg	LfU Baden-Württemberg 1995
Wasser in Fließgewässern	5 – 100 ng/kg	Umweltbundesamt 1999
Klärschlamm	83 – 277 µg/kg	LfU 2003c
Kompost	30 µg/kg	LfU 2003b

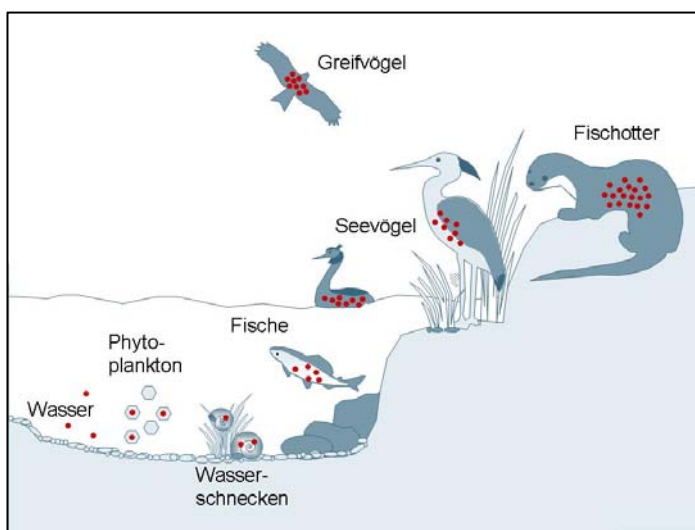
Auch in **Innenräumen** sind PCB aufgrund der häufigen Anwendung in Bauprodukten relevant. In der Innenraumluft findet man unterschiedliche Kongeneren-Muster, je nach den ursprünglich verwendeten PCB-Mischungen (s. Abschnitt 2). Häufig überwiegen leichter flüchtige, niedriger chlorierte PCB (z. B. PCB 28, 52). Diese Verbindungen werden wesentlich schneller im Körper abgebaut und akkumulieren daher auch nicht in dem Maße wie die höherchlorierten PCB.

4 PCB in der Nahrungskette

PCB reichern sich in der Nahrungskette an (**Bioakkumulation**), ebenso wie viele andere chlorierte Kohlenwasserstoffe (z. B. Insektizide Lindan und DDT, s. Publikation [Pflanzenschutzmittel – Stoffgruppen und Anwendung](#)). Insbesondere die höherchlorierten PCB (z. B. 138, 153 und 180) sind schwer abbaubar, kaum wasserlöslich und gut fettlöslich (persistent, hydrophob und lipophil).

Da sie auch im Stoffwechsel der Organismen nur schlecht abgebaut werden können, werden sie kaum ausgeschieden und reichern sich im Fettgewebe an. Auch wenn ein Lebewesen nur leicht belastete Nahrung aufnimmt, steigt seine innere Belastung mit der Zeit erheblich an. Dies gilt insbesondere für Organismen am Ende der Nahrungskette, da sie höher belastete Nahrung fressen (s. Abb. 1).

Abb. 1: Bioakkumulation persistenter Schadstoffe (●) in der Nahrungskette



Die PCB-Belastung der **Nahrungsmittel** ist in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen. Nach wie vor ist jedoch die Aufnahme mit der Nahrung der wichtigste Belastungspfad für den Menschen (bis zu 90 % der Gesamtbelastung). Höhere PCB-Konzentrationen findet man insbesondere im Fett von Tieren, die am Ende der Nahrungskette stehen, z. B. bei fettreichen Fischen wie Makrele, Lachs, Heilbutt, Aal, Barbe oder Karpfen. Fische, die unterhalb von Kläranlagen leben, sind häufig stärker mit PCB belastet, wobei insbesondere bei Aalen auch Grenzwertüberschreitungen auftreten können. Im Fleisch von sehr mageren Fischen sind dagegen unabhängig von der Herkunft nur geringste Spuren von PCB zu finden, die Schadstoffe liegen hier konzentriert in der fettreichen Leber vor. Wichtige Beispiele sind Seelachs, Thunfisch, Barsch, Hecht, Rutte und Zander.

PCB können auch in der **Muttermilch** nachgewiesen werden, neben synthetischen Nitro-Moschus-Verbindungen und Insektiziden wie Lindan oder DDT (s. Publikationen [Pflanzenschutzmittel – Stoffgruppen und Anwendung](#) und [Lindan](#)). Die PCB-Belastung der Muttermilch entsteht, weil während der Stillzeit vermehrt körpereigene Fettreserven mobilisiert werden. Damit werden zugleich die Schadstoffe freigesetzt, die im Fett gespeichert sind. Die Belastung der Muttermilch kann u. U. höher sein als bei Kuhmilch, da der Mensch am Ende der Nahrungskette steht.

In den letzten 20 Jahren ist die PCB-Belastung der Muttermilch um etwa 70 % zurück gegangen. Die Nationale Stillkommission empfiehlt auch von daher weiterhin das Stillen. Mütter, die ihre Milch auf PCB untersuchen lassen wollen, können ihre Muttermilchprobe beim örtlichen Gesundheitsamt einreichen.

5 Wirkungen auf den Menschen

PCB lassen sich in fast allen menschlichen Geweben nachweisen, z. B. in Leber, Muskeln, Nervengewebe, Milz und Thymus. Zu den Risikogruppen gehören neben Menschen mit Leberschäden auch Ungeborene und Säuglinge, bei denen der Schadstoffabbau noch nicht voll entwickelt ist.

Bei **Belastungen mit sehr hohen PCB-Konzentrationen** kommt es u. a. zu Chlorakne, Hautverdickung, verstärkter Pigmentierung, Atemwegserkrankungen, Veränderungen der Blutfette, Immun-, Fortpflanzungs- und Leberfunktionsstörungen und Lebertumoren. Inwieweit Verunreinigungen mit PCDF für diese Symptome (mit-)verantwortlich sind, ist nicht endgültig geklärt. Derartige Vergiftungen sind z. B. von Unfällen mit kontaminiertem Reisöl in Japan und Taiwan bekannt.

Die Kenntnisse zu gesundheitlichen Auswirkungen beim Menschen nach **lang anhaltender, niedriger PCB-Belastung** sind trotz umfangreicher Forschung immer noch vergleichsweise begrenzt. So vermutet man, dass PCB Immunsystem, Schilddrüse und Haut schädigen und die Entwicklung von Kindern stören können. Eine krebserzeugende Wirkung wurde im Tierversuch festgestellt, konnte beim Menschen aber bislang weder verlässlich nachgewiesen noch widerlegt werden.

Generell kann man schwache und wenig spezifische Wirkungen oft nicht exakt auf einzelne Stoffe oder Stoffgruppen zurückführen, da immer mehrere Stoffe mit z. T. ähnlichen Wirkungen gemeinsam aufgenommen werden, z. B. andere persistente organische Stoffe wie polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F), Aldrin, Dieldrin oder Toxaphen (s. Publikation [Luftschadstoffe – Wirkungen auf Ökosysteme](#)).

6 Bewertung

PCB sind als Stoffe eingestuft, die wegen möglicher krebserzeugender Wirkung beim Menschen Anlass zur Besorgnis geben. Daher gilt grundsätzlich das Minimierungsgebot.

Zur Einschätzung der **inneren Exposition** des Menschen hat die Human-Biomonitoring-Kommission Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung veröffentlicht (s. Tabelle 3). Werden diese Referenzwerte deutlich überschritten, deutet das auf eine erhöhte innere Belastung hin:

Hohe Werte werden bei beruflicher Exposition gefunden, z. B. bei Sanierungsarbeiten. Meist ist jedoch die Hauptquelle eine einseitige Ernährung mit fettreichen, tierischen Lebensmitteln. Aus der Innenraumluft nimmt der Mensch dagegen meist deutlich weniger als 10 % der gesamten PCB-Belastung auf.

Im Einzelfall kann auch eine starke Gewichtsabnahme Auslöser sein, da die Fettdepots verkleinert und Schadstoffe dabei freigesetzt werden. Bei Kindern und Jugendlichen kann auch sehr langes Stillen einen höheren PCB-Blutspiegel verursachen.

Tabelle 3: Referenzwerte für PCB im Plasma und Vollblut des Menschen. Angegeben ist die Summe der höherchlorierten Indikator-Kongenere (Σ 138+153+180). Quelle: UBA 2003 a

Plasma (1994/95)		Vollblut (1998)	
Alter (Jahre)	Referenzwert ($\mu\text{g/l}$)	Alter (Jahre)	Referenzwert ($\mu\text{g/l}$)
18-25	3,2	9-11	0,9
26-35	5,6	18-19	1,1
36-45	7,6	20-29	2,0
46-55	10,0	30-39	3,2
56-65	12,2	40-49	5,1
-	-	50-59	6,4
-	-	60-69	7,8

Basis der gesundheitlichen Bewertung ist die **duldbare tägliche Aufnahme** (TDI: tolerable daily intake). Diese Dosis bewirkt nach dem gegenwärtigen Stand des Wissens auch bei lebenslanger täglicher Aufnahme keine gesundheitlichen Schäden. Die duldbare tägliche Aufnahme für Menschen beträgt 1 μg PCB/kg Körpergewicht. Danach kann ein 70 kg schwerer Mensch 70 μg PCB täglich aufnehmen, ein 15 kg schweres Kind entsprechend 15 μg PCB täglich, ohne gesundheitliche Schäden davon zu tragen.

Grenzwerte für die **PCB-Belastung von Lebensmitteln** sind in der Schadstoffhöchstmengen-Verordnung festgelegt. Um Werte für einzelne Lebensmittel festzulegen, benötigt man neben dem TDI weitere Daten, z. B. die durchschnittliche Verzehrsmenge eines Lebensmittels, die sich je nach Lebensalter, Geschlecht und Ernährungsgewohnheiten erheblich unterscheiden kann. Viele dieser grundlegenden Daten sind derzeit noch nicht ausreichend bekannt. Aus Vorsorgegründen enthalten daher die meisten produktbezogenen Werte weite Sicherheitsabstände zu den toxikologisch begründeten Werten.

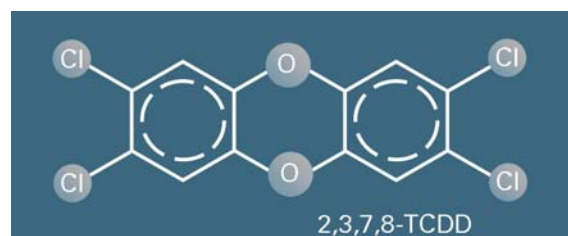
Für die Bewertung der **Innenraumluft** gelten die Werte der PCB-Richtlinie (s. Tabelle 4). Allerdings werden diese Werte derzeit intensiv in Fachgremien diskutiert. Anlass sind neue Erkenntnisse zur Immun-, Nerven- und Lebertoxizität im niedrigen Dosisbereich und die Neubewertung der dioxinähnlichen PCB (s. Abschnitt 7).

Tabelle 4: Vorsorge- und Interventionswerte für PCB in der Innenraumluft (Jahresmittelwerte)

Wert	PCB-Konzentration ng/m ³	Anmerkungen
Vorsorge- wert	300	Dient zugleich als Zielwert für die Sanierung. Abschätzungen zufolge beträgt die inhalative Aufnahme bei diesem Wert 10 % des TDI. Es gibt jedoch Hinweise, dass die tatsächliche PCB-Aufnahme weit tiefer liegt als die bei der Ableitung dieses Wertes theoretisch berechnete Aufnahme.
Interven- tionswert	3.000	Bei dieser Konzentration nimmt man theoretisch PCB in Höhe des TDI-Wertes auf, wenn man sich 24 Stunden in einem Raum aufhält. Bei kürzeren Aufenthaltszeiten kann der Wert entsprechend angepasst werden: Bei 8 Stunden Aufenthalt erhöht er sich beispielsweise auf 9.000 ng/m ³ .

7 Dioxinähnliche PCB

Einige PCB-Kongenere sind in ihrer Struktur den polychlorierten Dibenzodioxinen und –furanen (PCDD/F) ähnlich. Darüber hinaus zeigen sie vergleichbare biologische und toxische Wirkungen und werden daher zusammen mit den PCDD/F bewertet.



Dazu errechnet man die sog. **Toxizitätsäquivalent-Konzentration (TEQ)**: Dies ist die Summe der nach ihrer Toxizität gewichteten Konzentrationen aller dioxinähnlichen Substanzen¹. Die WHO empfiehlt für die maximale tägliche Aufnahme einen Wert von 1 pg TEQ pro kg Körpergewicht pro Tag.

Bislang ist der Beitrag der dioxinähnlichen PCB zur Gesamt-TEQ nur teilweise bekannt. Erste Untersuchungen geben aber folgende Anhaltspunkte:

- In Umweltproben zeigte sich ein relativ großer Schwankungsbereich: In Pflanzenproben trugen die dioxinähnlichen PCB zwischen 20 und 80 % zur Gesamt-TEQ bei, in Klärschlamm zu 30 – 60 %, im Kompost zu 20 – 50 %. Bei Gräsern ist der Beitrag der dioxinähnlichen PCB zur Gesamt-TEQ im Mittel höher als der Beitrag der PCDD/F.
- In Untersuchungen von **Lebensmitteln** tierischen Ursprungs in Deutschland und anderen Ländern zeigte sich, dass der Beitrag der dioxinähnlichen PCB zur Gesamt-TEQ oft höher liegt als der der PCDD/F. Erste Abschätzungen zeigen zudem, dass die durchschnittliche ernährungsbedingte Aufnahme an Gesamt-TEQ in der EU im Bereich von 1,2 – 3 pg TEQ pro kg Körpergewicht liegt, obwohl die Belastung von Umwelt und Nahrungsmitteln durch PCDD/F und PCB in den letzten 15 – 20 Jahren in vielen europäischen Ländern deutlich zurückgegangen ist. Das bedeutet: Ein beträchtlicher Anteil der europäischen Bevölkerung überschreitet immer noch die duldbare tägliche Aufnahme an dioxinähnlichen Schadstoffen.

¹ Gewichtung: Jede Verbindung wird mit 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin (TCDD) verglichen, dem am stärksten wirksamen Dioxin. Dabei wird die Toxizität von TCDD gleich 1 gesetzt, allen anderen Substanzen wird ein Bruchteil davon zugeordnet. Diesen Bruchteil bezeichnet man als Toxizitätsäquivalent-Faktor (TEF). Der TEF wurde bereits für die PCDD/F und für 12 dioxinähnlich wirkende PCB-Kongenere festgelegt. Beispielsweise ist PCB 126 mit einem TEF von 0,1 die toxikologisch bedenklichste Verbindung unter den dioxinähnlichen PCB. Multipliziert man den jeweiligen TEF mit der Konzentration des zugehörigen PCB-Kongeners, erhält man die Toxizitätsäquivalent-Konzentration (TEQ).

- In belasteten **Innenräumen** kann der Beitrag der dioxinähnlichen PCB deutlich ins Gewicht fallen: Erste orientierende Untersuchungen deuten darauf hin, dass die duldbare tägliche Aufnahme an Toxizitätsäquivalenten auch dann durch Inhalation überschritten werden kann, wenn die Gesamt-PCB-Konzentration in der Raumluft deutlich unterhalb des Interventionswertes liegt (s. Abschnitt 6). Dies kann besonders bei PCB-haltigen Anstrichen der Fall sein. Bei der Beurteilung der Innenraumluftbelastung muss daher die Art der PCB-Quelle und damit vor allem der Chlorierungsgrad der verwendeten PCB-Mischungen berücksichtigt werden.

Um die Kenntnisse über die dioxinähnlichen PCB zu erweitern, laufen weitere Untersuchungen, z. B. zur Akkumulation in der Nahrungskette, außerdem wurde das Fischmonitoring auf die Untersuchung auf dioxinähnliche PCB ausgeweitet. Darüber hinaus erscheinen weitere Untersuchungen notwendig, um bislang möglicherweise unbekannte Primär- und Sekundärquellen der PCB und ihre Eintragspfade in die Nahrungskette aufzuspüren.

8 Messung und Sanierung

Bei der Untersuchung von Umwelt-, Lebensmittel- und Humanproben auf PCB werden konventionsgemäß sechs ausgewählte PCB-Kongenere als Indikatoren quantitativ bestimmt (Kongenere Nr. 28, 52, 101, 138, 153, 180). Diese Kongenere kommen in technischen PCB-Gemischen und in Umweltproben in besonders hohen Anteilen vor. Der Gesamt-PCB-Gehalt wird näherungsweise berechnet, indem man die Summe der sechs Kongenere mit dem Faktor 5 multipliziert².

Erste **Verdachtsmomente**, ob in einem Gebäude PCB-haltige Materialien vorhanden sein könnten, geben Baujahr und Bauweise (s. Kasten 2). Sicherer Aufschluss kann jedoch nur die Begehung durch einen Fachmann und die Untersuchung der Raumluft und von verdächtigen Materialien liefern.

Kasten 2: Verdachtsmomente

- Gebäude in Elementbauweise (Platten- oder Großtafelbauweise)
- Baujahr 1950 bis 1980
- Umbau in den Jahren 1950 bis 1980

Ob im Einzelfall eine Gesundheitsgefährdung besteht, kann nur auf der Basis von **Raumluftmessungen** beurteilt werden, da nicht bei jeder PCB-haltigen Fugenmasse auch hohe Raumluftkonzentrationen entstehen. Dies ist wesentlich von verschiedenen Faktoren abhängig: dem Kontakt der Fugenmassen zum Innenraum, der Raum- und Außentemperatur, dem Luftaustausch im Raum, der Häufigkeit von Nassreinigungen und dem Chloranteil der PCB.

Bei der Probenahme von Innenraumluft für die PCB-Analytik sind zahlreiche Faktoren zu beachten³. Beispielsweise sind Raumluft-Messwerte in den Sommermonaten oft deutlich höher als in den Wintermonaten, da die Ausgasung temperaturabhängig ist. Als Screening- oder Erstuntersuchung kann eine „worst-case“-Untersuchung vorgenommen werden (z. B. Messung in nicht gelüftetem Raum, bei höherer Raumtemperatur als üblich u. a.). Weitere Untersuchungen, die auch zur Ermittlung des Jahresmittelwertes angezeigt sind, sollen jedoch unter möglichst realistischen Nutzungsbedingungen erfolgen.

Für die Sanierung ist die Identifizierung der Quelle durch gezielte **Materialuntersuchungen** wichtig. Dabei unterscheidet man zwischen Primär- und Sekundärquellen:

² DIN EN 12766 Teil 2

³ VDI-Richtlinie 4300 Blatt 2

- **Primärquellen:** PCB-haltige Materialien, z. B. Fugendichtungsmassen, flammhemmende Anstriche oder undichte Kondensatoren.
- **Sekundärquellen:** Viele Materialien nehmen PCB aus der Primärquelle oder der Raumluft auf. Werden sie bei einer Sanierung übersehen, können sie auch nach der Entfernung der Primärquelle PCB an die Raumluft abgeben. Wichtige Sekundärquellen sind z. B. Möbel, Fußbodenbeläge, Wand- und Deckenverkleidungen, Anstriche, Tapeten oder Kabelummantelungen. Zudem adsorbieren PCB sehr gut an den Hausstaub. Eher gering sind die PCB-Gehalte z. B. an der Oberfläche von unbehandeltem Metall.

Eine **PCB-Sanierung** muss durch eine Fachfirma erfolgen. Dabei sollte möglichst staubarm gearbeitet werden, da kontaminierte Stäube nach der Sanierung eine Sekundärquelle sein können. Die Fachfirma sollte dabei die Staubentwicklung möglichst gering halten, den Arbeitsbereich abdichten (ggf. mit gerichtetem Luftstrom oder Absperrung sanierter Bereiche), die Arbeitsbereiche täglich reinigen (Staubsauger) und kontaminiertes Inventar gründlich reinigen und auslagern.

Bei geringer Belastung oder wenn andere Gebäudeteile saniert werden, können einige einfache Maßnahmen helfen, die Belastung der Raumnutzer zu verringern (s. Kasten 3).

Auch nach einer Sanierung sind diese Maßnahmen sinnvoll, da der Zielwert meist nicht unmittelbar nach Abschluss der baulichen Sanierungsmaßnahmen erreicht wird.

Kasten 3: Maßnahmen bei geringer Belastung

- Staubeintrag aus belasteten Bereichen mindern
- Räume anders nutzen, so dass man sich in belasteten Räumen weniger lange aufhält
- häufig stoßlüften
- regelmäßig und gründlich feucht reinigen

Weitere Informationen finden Sie in unseren Publikationen [Organische Luftschadstoffe in Innenräumen – ein Überblick](#) und [Organische Luftschadstoffe in Innenräumen – Probenahme, Messung und Bewertung](#) sowie in unserem Tagungsband [Schadstoffe in Gebäuden](#).

9 Rechtliche Regelungen

Bereits 1978 wurde in Deutschland die Verwendung von PCB in offenen Systemen verboten (PCB-Verbotsverordnung, seit 1993 durch die **Chemikalienverbots-Verordnung** ersetzt). Dabei galten verschiedene Übergangsfristen: So wurde die Herstellung 1983 eingestellt. Verwendung und Inverkehrbringen PCB-haltiger Produkte sind seit 1989 verboten. Für die Beseitigung PCB-haltiger Produkte galten Übergangsregelungen, so dass bis 1999 alle bereits in Verkehr gebrachten Produkte entsorgt werden mussten.

Bis Ende 2010 muss nun die Dekontamination und Beseitigung erfolgen (EU-Richtlinie 96/59/EG). Diese EU-Richtlinie wird in Deutschland durch die **PCB-Abfallverordnung** umgesetzt, die 2000 in Kraft trat. Sie enthält Vorgaben über die kontrollierte Beseitigung der PCB, die Dekontaminierung oder Beseitigung PCB-haltiger Geräte und die Beseitigung von PCB-Abfall. Einige Beispiele aus der PCB-Abfall-Verordnung sind:

- Erzeugnisse mit PCB als Dielektrikum, z. B. Kleinkondensatoren mit weniger als 0,1 l können bis zum Ende ihrer Lebensdauer verwendet werden, bei 0,1 – 1 l nur bis Ende 2010.
- Aus anderen Erzeugnissen, z. B. Geräten der Informationstechnik und der Bürokommunikation, elektrischen Geräten oder Leuchtstofflampen, sind bei der Entsorgung PCB-haltige Bauteile zu entfernen und getrennt zu beseitigen (soweit technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar).

- Ebenso sind beim Entstehen von Bauabfällen vor deren Sortierung PCB-haltige Fraktionen zu entfernen und getrennt zu beseitigen (soweit technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar). Generell müssen Abfälle mit einem PCB-Gehalt über 50 mg/kg (z. B. Altkabelummantelungen) beseitigt werden und dürfen nicht verwertet werden.

PCB-haltige Abfälle gelten als besonders überwachungsbedürftige Abfälle. Sie dürfen daher nicht mit dem Hausmüll entsorgt werden.

Die **PCB-Richtlinie** enthält Hinweise, wie PCB-haltige Bauprodukte 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.

In der **Verordnung über Höchstmengen an Schadstoffen in Lebensmitteln** (SHmV) sind Grenzwerte für PCB in verschiedenen Lebensmitteln festgelegt.

Weitere Informationen:

- **Untersuchung von Muttermilch:** Proben können beim örtlichen Gesundheitsamt eingereicht werden.
- **Umweltmedizin:** Infozentrum UmweltWissen – [Umweltmedizin – Ambulanzen und Beratungsstellen](#)
- **Überblick über Innenraumbelastungen und einfache Maßnahmen:** Infozentrum UmweltWissen – [Organische Luftschadstoffe in Innenräumen – ein Überblick](#)
- **Hinweise zur Planung, Vergabe und Bewertung von Messungen:** Infozentrum UmweltWissen – [Organische Luftschadstoffe in Innenräumen – Probenahme, Messung und Bewertung](#)
- **Labore und Sachverständige:** Infozentrum UmweltWissen – [Schadstoffuntersuchungen in Innenräumen – Labore und Sachverständige](#)
- **Sanierung:** Adressen bei der IHK, dem Gewerbeaufsichtsamt oder im Branchenverzeichnis
- **Beseitigung belasteter Materialien:** Abfallberatung Ihrer entsorgungspflichtigen Körperschaft (Stadt, Landkreis), Informationen im [Abfallratgeber Bayern](#), Adressen von Fachfirmen bei der IHK, dem Gewerbeaufsichtsamt oder im Branchenverzeichnis
- **Kondensatoren in Leuchtstofflampen:** Informationsblatt mit Typenübersicht des Zentralverbands Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI)
- **Verbraucherinformationssystem VIS Bayern:** [Polychlorierte Biphenyle \(PCB\)](#)

10 Literatur

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit

- (2003): Polychlorierte Biphenyle (PCB).
http://www.vis.bayern.de/technik/fachinformationen/technik_chemie_basis/pcb.htm
- (2004): Polychlorierte Biphenyle (PCB) in Lebensmitteln.
http://www.vis.bayern.de/ernaehrung/fachinformationen/verbraucherschutz/unerwuenschte_stoffe/pcb.htm
- (2006): Frauenmilch
<http://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/warencodes/frauenmilch.htm>

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

- (2003a): Dioxinähnliche PCB in der Umwelt - Quellen, Verbleib, Exposition und gesundheitliche Bewertung
- (2003b): Kompostierung von Bioabfällen mit anderen organischen Abfällen
[http://www.abfallratgeber-bayern.de/arba/allglfu.nsf/ABD2861E2549C785C1256EB4002C994A/\\$file/komp_bioabf_and_abf.pdf](http://www.abfallratgeber-bayern.de/arba/allglfu.nsf/ABD2861E2549C785C1256EB4002C994A/$file/komp_bioabf_and_abf.pdf)

- **(2003c):** Untersuchung und Bewertung von Proben aus verschiedenen Umweltkompartimenten auf PCDD/PCDF sowie PCB unter Berücksichtigung der neuen WHO-Toxizitätsäquivalenzfaktoren.
http://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/forschung_und_projekte/untersuchung_bewertung_proben/index.htm

Bayerisches Landesamt für Umwelt

- **(2006):** Untersuchung und Bewertung von Proben aus verschiedenen Umweltkompartimenten auf PCDD/F sowie PCB unter Berücksichtigung der neuen Toxizitätsäquivalentfaktoren
- **(2006):** Ermittlung der Immissionsbelastung durch polychlorierte Dioxine (PCDD) und Furane (PCDF) sowie dioxinähnliche PCB in Bayern

Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz:

- **(2001):** PCB - Polychlorierte Biphenyle. Gesundheit und Umwelt - Materialien zur Umweltmedizin.
<http://www.umweltministerium.bayern.de> → Publikationen, Stichwort PCB
- **(2002):** Untersuchung und Bewertung der PCB-Belastung von Schülern und Lehrern der Georg-Ledebour-Schule, Nürnberg. Abschlussbericht. http://www.lgl.bayern.de/publikationen/doc/umwelt4_pcb_schule.pdf

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (2001): Hinweise zur Beurteilung und Handlungsempfehlungen zur Gesundheitsvorsorge in Schulen und Kindertageseinrichtungen.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2006): Nationale Statuserhebung von Dioxinen und PCB in Lebensmitteln pflanzlichen Ursprungs 2004/2005

http://www.bvl.bund.de/nr_521872/DE/01_Lebensmittel/00_doks_download/dioxinbericht_templateld=raw.property=publicationFile.pdf/dioxinbericht.pdf

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:

- **(2004):** PCB-Ausstieg in Deutschland fast abgeschlossen. Pressemitteilung Nr. 174/04 vom 16.06.04
http://www.bmu.de/pressearchiv/15_legislaturperiode/pm/6115.php
- **(2004):** Bericht der Bundesregierung zur Umsetzung des Protokolls zu dem Übereinkommen von 1979 über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung betreffend persistente organische Schadstoffe
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bericht_luftverunreinigung.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.

<http://europa.eu/scadplus/leg/de/lvb/l21280.htm>

Kanton Aargau, Departement Gesundheit und Soziales:

- **(1998):** PCB in Vorschaltgeräten von Fluoreszenzlampe. Eine Bilanzierung.
<http://www.ag.ch/DokTabelle/verbraucherschutz/index.php?controller=Download&DokId=373&Format=pdf>
- **(2004):** Kondensatoren-Verzeichnis zur Erkennung und Kennzeichnung betreffend PCB, Erläuterungen:
<http://www.ag.ch/DokTabelle/verbraucherschutz/index.php?controller=Download&DokId=372&Format=pdf>
- **(2004):** Kondensatoren-Verzeichnis zur Erkennung und Kennzeichnung betreffend PCB: Liste der Kondensatoren mit PCB-Status: <http://www.ag.ch/DokTabelle/verbraucherschutz/index.php?controller=Download&DokId=371&Format=pdf>

Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW:

- **(2003):** PCB in Gebäuden – Nutzerleitfaden.
<http://www.pcb-sanierung.nrw.de/pcb.pdf>
- **(o. A.):** Checkliste bei Verdachts- und Schadensfall von PCB-Belastung in Gebäuden
<http://www.pcb-sanierung.nrw.de/chequelliste.pdf>

Umweltbundesamt (UBA):

- **(1999):** Stoffmonographie PCB - Referenzwerte für Blut
<http://www.umweltdaten.de/gesundheitsmonitor/pcbblut.pdf>
- **(2000):** Leitfaden für die Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/1824.pdf>
- **(2003a):** Abschätzung der zusätzlichen Aufnahme von PCB in Innenräumen durch die Bestimmung der PCB-Konzentrationen in Plasma bzw. Vollblut
<http://www.ecomed-medicin.de/sj/ufp/Pdf/alld/6690>
- **(2003b):** Aktualisierung der Referenzwerte für PCB-138, -153, -180 im Vollblut sowie Referenzwerte für HCB, β -HCH und DDE im Vollblut
<http://www.umweltdaten.de/gesundheitsmonitor/organochlor.pdf>
- **(2003c):** Polychlorierte Biphenyle
<http://www.umweltbundesamt.de/abfallwirtschaft/sonderabfall/polychlorierte-biphenyle.htm>

- (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“
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2943.pdf>

Gesetzliche Regelungen und technische Richtlinien

- Bundesrecht: <http://bundesrecht.juris.de> → Volltextsuche → PCB
- Richtlinie 96/59/EG des Rates vom 16. September 1996 über die Beseitigung polychlorierter Biphenyle und polychlorierter Terphenyle (PCB/PCT)
<http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31996L0059:DE:HTML>
- Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/pop_konvention.pdf
- Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie). Fassung September 1994
http://www.stmi.bayern.de/imperia/md/content/stmi/bauen/rechtundtechnikundbauplanung/gesundheits_umwelt/pcb_richtlinie.pdf
- VDI-Richtlinie 4300 Blatt 2: <http://www.vdi.de/vdi/vrp/richtliniendetails/index.php?ID=7445249>

Internetseiten

- Dioxin-Datenbank des Bundes und der Länder: <http://www.pop-dioxindb.de>
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Mögliche Gefährdung des Grundwassers durch PCB sowie Dioxine und Furane im Boden: <http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/berichte/tbb01/tbb01.html>

Weiterführende Publikationen des Infozentrums UmweltWissen am LfU

- [Bodenbelastungen – eine Übersicht](#)
- [Chemikalien in der Umwelt – Vorkommen, Belastungspfade, Regelungen](#)
- [Lindan](#)
- [Luftschadstoffe – Wirkungen auf Ökosysteme](#)
- [Organische Luftschadstoffe in Innenräumen – ein Überblick](#)
- [Organische Luftschadstoffe in Innenräumen – Probenahme, Messung und Bewertung](#)
- [Pflanzenschutzmittel – Stoffgruppen und Anwendung](#)
- [Schadstoffe in Gebäuden](#)
- [Umweltmedium Boden](#)
- [Umweltmedium Luft](#)

Autorin (2006): Dr. Katharina Stroh (LfU)

Aktualisierung der Links 03/08

Ansprechpartner:

UmweltWissen am Bayerischen Landesamt für Umwelt

Tel. 0821 / 9071 – 5671

E-Mail: umweltwissen@lfu.bayern.de

Internet: <http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/index.htm>

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, 86179 Augsburg