



## Schadstoffuntersuchungen in städtischen Gebäuden

### Jahresmittelwertbildung bei PCB-belasteten Innenräumen

In lockerer Folge wurde bisher in den Daten zur Nürnberger Umwelt über den Fortgang der Untersuchungen und über Ergebnisse der PCB-Belastung in den städtischen Kindertagesstätten und Schulen berichtet:

- Kurzfassung des Abschlußberichtes zum Forschungsprojekt „Untersuchung und Bewertung der PCB-Belastung von Schülern und Lehrern der Georg-Ledebour-Schule, Nürnberg (3.Quartal 2002)
- PCB-Belastung in der Georg-Ledebour-Schule: Sachverhalt für die Vorlage zum Ferienausschuss des Nürnberger Stadtrates am 21.08.2001 (3.Quartal 2001)
- (4.) Zwischenbericht - Untersuchung städtischer Gebäude auf ihre Belastung mit Polychlorierten Biphenylen (PCB), Pentachlorphenol (PCP) und Lindan (2.Quartal 1998)
- 3. Zwischenbericht - Untersuchungen städtischer Gebäude auf ihre Belastung mit Polychlorierten Biphenylen (PCB), Pentachlorphenol (PCP) und Lindan (Juli 1997)
- (2. Zwischenbericht, Teil 2) - Untersuchungen städtischer Gebäude auf ihre Belastung mit Polychlorierten Biphenylen (PCB), Pentachlorphenol (PCP) und Lindan; Fortschreibung des Berichtes von 11/96 (März 1997)
- (2. Zwischenbericht, Teil 1) - Untersuchungen städtischer Gebäude auf ihre Belastung mit Polychlorierten Biphenylen (PCB), Pentachlorphenol (PCP) und Lindan (11/96)

- (1. Zwischenbericht) - Untersuchungen städtischer Gebäude auf ihre Belastung mit Polychlorierten Biphenylen (PCB), Pentachlorphenol (PCP) und Lindan (09/96)

Die Einstufung einer Einrichtung auf Grund der nachgewiesenen Belastung in Material- und Raumluftproben nach den städtischen Vorgaben hatte für einige Einrichtungen weitreichende Folgen. Sowohl für die Nutzer als auch für die Fachleute von Gesundheitsamt, Hochbauamt und Chemisches Untersuchungsamt waren Frage wie: "Wie hoch ist die jährliche PCB-Belastung der ich in der Einrichtung ausgesetzt bin?", "Können Sie sagen wie hoch die Belastung im Sommer ist, oder im Winter?" von besonderer Bedeutung. Zwar wurde der Begriff "Jahresmittelwert" in der PCB-Richtlinie verwendet, es gab aber keine Hinweise auf die Art der Berechnung. Eine Vorausberechnung der PCB-Raumluftbelastung, so waren sich internationale Fachleute schon 1993 einig, war und ist undurchführbar.

Aus der Vielzahl der PCB-Untersuchungen die das Chemische Untersuchungsamt seit 1996 durchgeführt hat, wurden einige ausgewählt, um als Grundlage für die "Berechnung des Jahresmittelwertes der PCB-Belastung in Innenräumen" zu dienen.

Der folgende Text wurde bei einem Fachgespräch des Gesundheitsamtes Bremen zu PCB-Sanierung am 20.05.03 und bei der 10. Innenraumtagung des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene am 28.05.03 in Berlin vor- und zur Diskussion gestellt.



## **Berechnung des Jahresmittelwertes der PCB-Belastung in Innenräumen**

N.Nix, P.Pluschke, B.Packebusch

Stadt Nürnberg, Chemisches Untersuchungsamt, Adolf-Braun-Straße 13-15, 90317 Nürnberg

### **Einleitung**

Als Bewertungsgrundlage für die PCB-Belastung der Raumluft steht die im September 1994 von der ARGEBAU veröffentlichte „Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden“ , kurz PCB-Richtlinie genannt, zur Verfügung (1). Im Kapitel 3 befasst sich die Richtlinien mit der Bewertung der PCB-Belastung von Räumen und der Dringlichkeit von Sanierungsmaßnahmen. Darin heißt es:

„ In Räumen mit im Jahresmittel zu erwartenden Raumluftkonzentrationen über 3.000 ng PCB pro m<sup>3</sup> Luft kann bei einer tägliche Aufenthaltsdauer von 24 Stunden der genannte TDI-Wert (1 µg PCB/kg Körpergewicht) alleine durch die inhalative Aufnahme überschritten werden. “

Für den Bereich Bayern wurde 2001 auch der langfristig tolerable Zielwert von < 300 ng PCB pro m<sup>3</sup> Raumluft als Jahresmittelwert definiert. (2)

Nach unseren Erfahrungen erübrigte sich in der Regel die Betrachtung des Jahresmittelwertes, da die überwiegende Zahl der untersuchten Gebäude PCB - Raumluftkonzentrationen unter der 3.000er Marke aufwiesen. Doch es erscheint uns wichtig, das Instrument des Jahresmittelwertes mit in die Bewertung einzubeziehen, um die Dringlichkeit einer Sanierung eines bestimmten Objektes unterstreichen bzw. entscheiden zu können.

Wie kommt man nun zu einem Jahresmittelwert? Eine Möglichkeit besteht darin, eine ausreichende Anzahl von Raumluftmessungen vorzunehmen, an Hand derer der Jahresmittelwert über die Fläche unter der Kurve (AUC) ermittelt werden kann.

Eine zweite Möglichkeit wird in dieser Arbeit vorgestellt. Sie erlaubt a) Eckpunkte für eine sinnvolle Beprobung festzulegen und im Folgenden b) die Berechnung des Jahresmittelwertes auf der Basis der erhobenen Daten durchzuführen.



## Grundlagen

Die Einflußgrößen für eine erhöhte PCB-Raumluftbelastung lassen sich in zwei Kategorien einteilen, a) die Raumsituation und b) das Klima. Zur Raumsituation gehört nicht nur die Höhe der Materialbelastung, sondern auch die Menge des Materials im Raum, die räumliche Verteilung, die Nutzungsintervalle, die raumhygienischen Bedingungen und die Lage des Raums im Gebäude. Zum Klima gehören die Lufttemperatur, die Materialtemperatur und die Luftfeuchte.

Die Raumsituation ist gegeben und läßt sich jederzeit nachvollziehen. Das Klima, sprich die Temperatur, ist einem stetigen, naturbedingten Wandel unterworfen. Dabei muss berücksichtigt werden, ob sie in der Hauptsache durch technische Hilfsmittel wie Heizung oder Lüftungsanlagen, oder durch die klimatischen Außenbedingungen verursacht wird. Weiter ist zu beachten, dass der Aufheizung des Baukörpers unter dem Einfluß der Sonneneinstrahlung eine besondere Bedeutung zukommt. Als Grundlage für das Verfahren sollen die mittlere Tagestemperatur in °C und die mittlere tägliche Globalstrahlung in Joule/cm<sup>2</sup> dienen. (3) (4)

## Daten

Ein direkter Zugriff auf kontinuierlichen Messdaten der Außenlufttemperaturen besteht für uns bei der Luftmessstation am Flughafen/Nürnberg. Für die vorliegende Arbeit wurden die Temperaturdaten des Zeitraums Dezember 1994 bis Februar 2003 berücksichtigt. Die Daten der Globalstrahlung wurden von DWD am gleichen Standort erhoben und stammen aus dem Zeitraum Januar 1998 bis April 2002.

Zur Ermittlung der PCB-Raumluftbelastung wurden an zwei ausgesuchten Objekten über ein Jahr verteilt 8 Raumluftmessungen in jeweils drei verschiedenen Räumen vorgenommen. Daten aus früheren Untersuchungen wurden ebenfalls berücksichtigt. Die Berechnung der PCB-Gesamtbelastung in der Raumluft erfolgte gemäß LAGA wobei die Konzentrationen der sechs PCB-Kongeneren 28, 52, 101, 138, 153 und 180 addiert und die Summe mit 5 multipliziert wurde. Die Konzentrationsangabe erfolgt in ng/m<sup>3</sup>.

## Grafik (Seite 10)

Der Jahresverlauf der maximalen Tagestemperatur – und analog die mittlere - bildet eine nach rechts verschobene glockenförmige Kurven, die gleichmäßig ansteigt, und ihren Scheitelpunkt um den 25.07. erreicht. Bei der Betrachtung fallen einige Einzelereignisse (Singularitäten) auf (3). Anfang April macht sich der Vorfrühling mit einigen warmen Tagen bemerkbar, gefolgt von der typischen Kälteperiode des Aprils. Um den 23.05., den 25.06. und zwischen dem 15.07. und 22.07. zeichnen sich deutlich Temperatureinbrüche ab, die beiden ersten auch bekannt als „Kalte Sophie“ und „Siebenschläfer“. Der Zeitraum im Juli wird als ‚Monsoonwelle‘ bezeichnet.

Der gemittelten Jahresverlauf der Globalstrahlung bildet eine nahezu symmetrische Glockenkurve und hat das Maximum um den 20.06. Es lassen sich selbstverständlich auch hier die Singularitäten erkennen.



In den Tabellen 1 und 2 sind die in den vorgenannten Gebäuden erhobenen PCB-Raumluftdaten neben Angaben zur Raumsituation zusammengefasst. In der Grafik ist der zeitliche Verlauf der PCB-Raumluftbelastung in jedem Raum dargestellt. Sie zeigt, für die untersuchten Räume recht unterschiedlich Belastungsprofile.

Bei den beiden untersuchten Objekten handelt es sich zum einen um einen eingeschossigen, nicht unterkellerten, in konventioneller Bauweise errichteten Pavillon des Neuen Gymnasiums Weddigenstraße (Pavillon) aus dem Jahr 1980 und zum anderen um eine eingeschossige Turnhalle mit einer Gymnastikhalle im Sockelgeschoss in der Georg-Horner-Straße (Turnhalle) aus dem Jahr 1982. Beide Gebäude stehen frei in aufgelockerten Baugebieten.

### Berechnung

An Hand der Grafik lassen sich drei Zeitabschnitte festlegen, die sowohl Aussagen über einen optimalen Messzyklus zulassen, als auch die Grundlage für eine vereinfachte Jahresmittelwertberechnung bilden:

Zeitabschnitt K = 218 Tage, beginnend mit dem 17.09., ab dem die Globalstrahlung weniger als 1.000 Joule/cm<sup>2</sup> beträgt und die mittlere, so wie die maximale Außentemperatur unter 15 °C bzw. 20°C absinkt. Der Zeitabschnitt endet am 22.04. Es ist dies der Zeitabschnitt, in dem die Klimatisierung der Innenräume hauptsächlich durch technische Mittel erfolgt.

Zeitabschnitt W = 96 Tage, die sich aus zwei Abschnitten zusammensetzen:  
a) vom 23.04. bis 30.05., in dem zu Beginn die mittlere Außentemperatur sprunghaft ansteigt und dauerhaft zwischen 10 °C und 15 °C und die maximale Außentemperatur dauerhaft zwischen 17 °C und 22 °C liegt. Die Globalstrahlung steigt von 1500 auf 1900 Joule/cm<sup>2</sup> an.  
b) vom 21.07. bis 16.09. in dem der Einfluß der Globalstrahlung schwindet und bis auf einen Wert von 1.000 Joule/cm<sup>2</sup> absinkt. In der Zeit vom 21.07. bis 01.09. erreichen die mittlere und maximale Tagestemperatur jeweils ihre jährlichen Maximalwerte von 20 °C bzw. 27 °C.

Zeitabschnitt H = 51 Tage, die sich vom 31.05. bis 20.07. erstrecken. In dieser Zeit durchläuft die Globalstrahlung ihr Maximum von ca. 2000 Joule/cm<sup>2</sup>. Der Zeitabschnitt schließt ab mit dem Ende der Kaltperiode im Juli.

Die Berechnung des Jahresmittelwert wurde nach folgender Gleichung durchgeführt:

$$\text{PCB-Jahresmittelwert} = [(c_K \times 218) + (c_W \times 96) + (c_H \times 51)] / 365 \quad [\text{ng/m}^3]$$

wobei  $c_K$ ,  $c_W$  und  $c_H$  für die in den Zeitabschnitten K, W und H gemessenen PCB-Raumluftkonzentrationen stehen. Bei Mehrfachmessungen innerhalb eines Zeitabschnittes wurde der Mittelwert in die Gleichung eingesetzt.



Da für die beiden Objekte ausreichend Raumlufdaten über ein ganzes Jahr verteilt zur Verfügung stehen, konnte der Jahresmittelwert auch über die Fläche unter der Kurve (AUC) ermittelt werden.

In der Tabelle 3 sind die nach beiden Verfahren ermittelten Jahresmittelwerte gegenübergestellt. Für die Berechnung des minimalen und maximalen Mittelwertes wurden jeweils die niedrigsten bzw. höchsten Raumlufwerte eines jeden Zeitraums genommen.

### Ergebnis

Die Berechnung des Jahresmittelwertes liefert für beide Methoden - ‚AUC‘ und vorgestelltes Modell - gut übereinstimmende Ergebnisse. Es ergeben sich bei dem vorgestellten Berechnungsmodell geringfügig höhere Werte.

Bezogen auf die ‚AUC‘-Werte ergeben sich bei der Berechnungen des minimalen bzw. maximalen Mittelwertes natürlich Abweichungen, die aber in einer vertretbaren Größenordnung liegen.

Tabelle 1: Turnhalle, eingeschossig mit Sockelgeschoss  
Raumsituation und Ergebnisse der PCB-Untersuchungen in der Raumluft. (PCB-Konzentration in ng/m<sup>3</sup>)

| Raumbezeichnung | Gymnastikhalle  | Obere Turnhalle   | Übungsraum  |
|-----------------|---|---|---|
| Raumsituation   | Keine direkte Sonneneinstrahlung da Halle im Sockelgeschoss, Ausrichtung der Längsseite in Nordwestrichtung. Halle verfügt über eine Lüftungsanlage | Direkte Sonneneinstrahlung über den ganzen Tag, über Fenster und Dachfläche. Halle verfügt über eine Lüftungsanlage | Eingeschossiger Anbau mit Glasfront und Flachdach, Südlage, direkte Sonneneinstrahlung über den ganzen Tag, über Fenster und Dachfläche |
| Probenahmedatum |   |   |   |
| 29.01.2002      | 137   | 219   | 390   |
| 12.03.2002      | 183   | 241   | 626   |
| 23.04.2002      | 178   | 296   | 545   |
| 04.06.2002      | 279   | 669   | 1274  |
| 27.07.1999      | --  | 550   | --  |
| 05.08.2002      | 240   | 516   | 1076  |
| 11.09.2001      | --  | --  | 179   |
| 24.09.2002      | 269   | 157   | 413   |
| 06.10.2001      | 462   | 420   | --  |
| 05.11.2002      | 203   | 166   | 336   |
| 17.12.2002      | 121   | 162   | 325   |



Tabelle 2: Pavillon, konventionell erbaut, eingeschossig  
Raumsituation und Ergebnisse der PCB-Untersuchungen in der Raumluft.  
(PCB-Konzentration in ng/m<sup>3</sup>)

| Raumbezeichnung | Flur  | Raum 2   | Raum 4  |
|-----------------|---|--|---|
| Raumsituation   | keine ausreichende Lüftung, Sonneneinstrahlung über Dach und über PCB-belastet Fensterfront mit Stahlrahmen | Nordlage, Sonneneinstrahlung nur über Dachfläche, Raum wird als Klassenzimmer täglich genutzt. | Südlage, Sonneneinstrahlung über Fensterfront vormittags und über Dachfläche, zeitweise im Schlagschatten der vorgelagerten Turnhalle, Raum wird als Klassenzimmer täglich genutzt. |
| Probenahmedatum |   |  |   |
| 25.01.2003      | 299   | 214  | 163   |
| 02.03.2002      | 99  | 180  | 89  |
| 02.04.2002      | 492   | 211  | 169   |
| 21.05.2002      | 1048  | 339  | 390   |
| 09.07.2002      | 1429  | 366  | 823   |
| 28.08.2002      | --  | --   | 631   |
| 28.09.2002      | 352   | 208  | 170   |
| 26.10.2002      | 579   | 186  | 162   |
| 31.10.2000      | 504   | --   | --  |
| 16.12.2002      | 263   | 271  | 127   |

Tabelle 3: Berechnung des Jahresmittelwertes (PCB-Konzentration in ng/m<sup>3</sup>)

|                  | Mittelwert | Mittelwert | Minimum | Maximum |
|------------------|------------|------------|---------|---------|
| Berechnungsbasis | AUC        | Modell     | Modell  | Modell  |
| Objekt/Raum      |            |            |         |         |
| Turnhalle        |            |            |         |         |
| Gymnastikhalle   | 217        | 258        | 158     | 378     |
| Obere Turnhalle  | 313        | 349        | 265     | 489     |
| Übungsraum       | 585        | 585        | 419     | 835     |
| Pavillon         |            |            |         |         |
| Flur             | 637        | 696        | 534     | 821     |
| Raum 2           | 257        | 267        | 248     | 302     |
| Raum 4           | 324        | 337        | 271     | 382     |

#### Literatur

- (1) Bayerisches Staatsministerium des Innern; 12.04.1995, Nr. II B 10 – 4137.0; AllIMBI Nr. 11/1995, S. 495
- (2) PCB – Hinweis zur Beurteilung und Handlungsempfehlungen zur Gesundheitsvorsorge in Schulen und Kindertageseinrichtungen; Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz; 3.4/5310-10/17/01; Stand: 01.09.2001
- (3) HÄCKEL, Hans; Wetterkunde in Das Kosmos Gartenjahr 1995; Kosmos Verlag
- (4) VDI 3786-5; Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinhaltung; Globalstrahlung, direkte Sonnenstrahlung und Strahlenbilanz; August 1986



Grafik: Darstellung der Zeitabschnitte K,W und H für die Berechnung des PCB-Jahresmittelwertes

