

Programm Zukunftsoffensive III  
Forschungsbereich „Umwelt und Wohnen“  
FZKA-BWPLUS

**Dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (PCB) und polychlorierte  
Dioxine/Furane (PCDD/F) im Innenraum – Modelluntersuchungen zum  
Einfluss PCB-belasteter Bauteile und Baustoffe auf die Innenraumluft in  
Abhängigkeit von baulichen Einrichtungen und klimatischen  
Randbedingungen.**

von

Gerhard Volland und Adolf Neuwirth

Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart; MPA – Otto-Graf-Institut

Förderkennzeichen: ZO3W23002

Die Arbeiten des Programms werden aus Mitteln des Landes Baden-Württemberg im Rahmen  
der Zukunfts-Offensive III gefördert.

März 2005

# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
I.1	Verunreinigung technischer PCB-Gemische mit coplanaren und mono-ortho-substituierten PCBs und polychlorierten Dibenzodioxinen (PCDD) und Dibenzofuranen (PCDF)	4
I.2	Methodik des Vorhabens	11
I.3	Geräte und Reagentien	13
<b>II</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>19</b>
II.1	Bauliche Randbedingungen	19
II.2	PCB-Primärquellen	21
II.3	PCB- Sekundärquellen	23
II. 4	PCB in Innenraumluf	25
II. 5	PCDD/PCDF in Innenraumluf PCB-belasteter Gebäude	31
II. 6	Coplanare und mono-ortho-substituierte PCBs in Außenluft	33
II. 7	Ausgewählte dioxinähnliche PCBs und Leitkongenere – Absolutgehalte und prozentuale Kongenerenverteilung in Quellen, Hausstaub und Raumluf	34
II.8	Ausgewählte polychlorierte Dibenzofurane - Absolutgehalte und prozentuale Kongenerenverteilung in Quellen, Hausstaub und Raumluf	41
<b>III</b>	<b>Diskussion</b>	<b>47</b>
III.1	Coplanare und mono-ortho-substituierte PCBs sowie polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane in den Quellen der Gebäuden A bis E	50
III.2	Coplanare und mono-ortho-substituierte PCBs sowie polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane in Sekundärquellen (Hausstäuben) der Gebäuden A bis E	55
III.3	Coplanare und mono-ortho-substituierte PCBs sowie polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane in der Innenraumluf der Gebäuden A bis E	55
III.3.1	Dioxinähnliche PCBs in der Innenraumluf	59
III.3.1.1	Genauigkeit der Bestimmung dioxinähnlicher PCBs in Innenraumluf	59
III.3.1.2	Abhängigkeit des Gehaltes an dioxinähnlichen PCBs in Innenraumluf von der Jahreszeit und den baulichen Bedingungen	61
III.3.1.3	Abhängigkeit des Gehaltes an dioxinähnlichen PCBs in Innenraumluf vom Lüftungsverhalten	62
III.3.1.4	Abhängigkeit des Gehaltes an dioxinähnlichen PCBs in Innenraumluf von der Raumtemperatur	66

III.4	Korrelationen der Summe dioxinähnlicher PCBs (in pg WHO-TEQ) mit Leitkongeneren und PCB 118	70
III.4.1	Korrelation mit dem Gesamtgehalt nach LAGA	70
III.4.2	Korrelation mit dem Gehalt an PCB 118	73
III.4.3	Korrelation mit der Summe PCB 101+138+153+180	75
III. 5	Dioxinähnliche PCBs in der Innenraumluft – Kriterien zur Beurteilung von Messwerten	77
III. 6	Dioxinähnliche PCBs in Innenraumluft– Abschätzung von Jahresmittelwerten	80
III. 7	Polychlorierte Dibenzofurane in der Innenraumluft PCB-belasteter Gebäude	82
III. 8	Abschätzung der durchschnittlichen Gesamtbelastung der Raumluft	85
<b>IV</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>89</b>
<b>V</b>	<b>Literatur</b>	<b>100</b>
<b>VI</b>	<b>Anhang – Einzelergebnisse und Klimadaten</b>	<b>102</b>

## Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1 Prozentuale Verteilung ausgewählter dioxinähnlicher PCBs in Quellen und Hausstäuben in den Gebäuden A, C, D und E **58**
- Abbildung 2 Prozentuale Verteilung ausgewählter polychlorierter Dibenzofurane in Quellen und Hausstäuben in den Gebäuden A, C, D und E **58**
- Abbildung 3 Temperaturabhängigkeit der Gehalte an Leitkongeneren in der Innenraumluft der Gebäude A bis D; PCB Leitkongenere  $\Sigma$  LAGA – Temperaturabhängigkeit unter Norm-Bedingungen; alle Gebäude **66**
- Abbildung 4 Abhängigkeit der PCB-Belastung der Innenraumluft von der Innenraumtemperatur am Beispiel der schwerer flüchtigen PCBs (Angabe als Summe PCB 101+153+138) **67**
- Abbildung 5 Temperaturabhängigkeit (Durchschnittstemperatur) der Gehalte an dioxinähnlichen PCBs in Gebäuden mit vollflächig verlegten PCB-haltigen Deckenplatten unter Norm-Bedingungen. **68**
- Abbildung 6 Temperaturabhängigkeit (Durchschnittstemperatur) der Gehalte an dioxinähnlichen PCBs in Gebäuden mit vollflächig verlegten PCB-haltigen Deckenplatten unter „Nutzungs-Bedingungen“. **69**
- Abbildung 7 Korrelation von dioxinähnlichen PCB's in WHO-TEQ mit PCB-Gesamt, PCB 118 und Summe PCB 101 bis 180 nach Heinzow [27] **76**
- Abbildung 8 Messunsicherheit der Bestimmung der dioxinähnlichen PCB's in der Innenraumluft von Gebäuden mit PCB-belasteten Deckenplatten unter „Norm-Bedingungen in Abhängigkeit vom Messzeitpunkt. **79**

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle I. 1	Dampfdrücke und Siedepunkte von PCB und PCDD/PCDF [6,7]	<b>4</b>
Tabelle I. 2	Coplanare und mono-ortho Biphenyle in technischen Produkten [8]	<b>5</b>
Tabelle I. 3	Coplanare und mono-ortho Biphenyle in technischen Produkten [8]	<b>5</b>
Tabelle I. 4	Gehalt an Leitkongeneren in verschiedenen technischen PCB-Gemischen (Clophen) [13]	<b>6</b>
Tabelle I. 5	Prozentuale Verteilung der Leitkongenere in technischen PCB-Gemischen (Clophen) berechnet aus [13]	<b>7</b>
Tabelle I. 6	Zusammenstellung – Ergebnisse der Bestimmung der PCB-Leitkongener in insgesamt 35 PCB-haltigen Deckenplatten (Untersuchungsergebnisse aus einem Gebäude aus insgesamt 6 Bauabschnitten) [FMPA- Daten, nicht publiziert]	<b>7</b>
Tabelle I. 7	Prozentualer Anteil der in PCB-belasteten Deckenplatten gemessenen PCB-Leitkongenere mit den Literaturdaten.	<b>8</b>
Tabelle I. 8	Vergleich der PCB-Gehalte von „PCB-haltige Schallschutzdeckenplatten“ mit der PCB-Verteilung technischer PCB-Gemische	<b>9</b>
Tabelle I. 9	PCDF-Gehalte von technischen PCB-Gemischen [24]	<b>9</b>
Tabelle I. 10	PCDF-Gehalte von technischen PCB-Gemischen [10]	<b>10</b>
Tabelle I. 11	„Dioxinähnliche“ PCBs in Innenraumluft Literaturdaten für Räume mit PCB-haltigen Schallschutzdeckenplatten	<b>11</b>
Tabelle II.1	PCBs in PCB-haltigen Schallschutzdeckenplatten (vollflächig an der Decke)	<b>21</b>
Tabelle II. 2	PCBs in PCB-haltigen Fugenmaterialien	<b>22</b>
Tabelle II. 3	PCDD und PCDF in PCB-haltigen Schallschutzdeckenplatten (Entnahmetiefe 0-2 mm) – Bau A bis D sowie in einer Mischprobe von drei Fugen des Baus E	<b>23</b>
Tabelle II. 4	PCBs in Hausstäuben der PCB-belasteten Gebäude A bis E	<b>24</b>
Tabelle II. 5	PCDD/PCDF in Hausstaub (keine Altersangabe) in den PCB-belasteten Gebäuden A bis E	<b>25</b>
Tabelle II. 6	Innenraumluft Bau A Vergleich Norm- / Nutzungsbedingungen Winter 2003/2004 und Sommer 2004 alle Räume	<b>26</b>
Tabelle II. 7	Innenraumluft Bau B Vergleich Norm-/ Nutzungsbedingungen Winter 2003/2004 und Sommer 2004	<b>27</b>
Tabelle II. 8	Innenraumluft Bau C Vergleich Norm-/ Nutzungsbedingungen Winter 2003/2004 und Sommer 2004	<b>28</b>

Tabelle II. 9	Innenraumlufte Bau D Vergleich Norm- / Nutzungsbedingungen Winter 2003/2004 und Sommer 2004	<b>29</b>
Tabelle II. 10	Innenraumlufte Bau E Vergleich Norm- / Nutzungsbedingungen Winter 2003/2004 und Sommer 2004	<b>30</b>
Tabelle II. 11	Bau A und B – PCDD/PCDF in Raumlufte	<b>31</b>
Tabelle II. 12	Bau C und D– PCDD/PCDF in Raumlufte	<b>32</b>
Tabelle II. 13	Bau E – PCDD/PCDF in Raumlufte	<b>33</b>
Tabelle II. 14	Coplanare und mono-ortho-substituierte PCB in Außenlufte	<b>34</b>
Tabelle II. 15	Gehalte ausgewählter PCBs ; Bau A	<b>35</b>
Tabelle II. 16	Gehalte ausgewählter PCBs ; Bau B	<b>35</b>
Tabelle II. 17	Gehalte ausgewählter PCBs ; Bau C	<b>36</b>
Tabelle II. 18	Gehalte ausgewählte PCBs ; Bau D	<b>36</b>
Tabelle II. 19	Gehalte ausgewählter PCBs ; Bau E	<b>37</b>
Tabelle II. 20	Kongenerenverteilung PCBs in Prozent ; Bau A	<b>38</b>
Tabelle II. 21	Kongenerenverteilung PCBs in Prozent ; Bau B	<b>38</b>
Tabelle II. 22	Kongenerenverteilung PCBs in Prozent ; Bau C	<b>39</b>
Tabelle II. 23	Kongenerenverteilung PCBs in Prozent ; Bau D	<b>39</b>
Tabelle II. 24	Kongenerenverteilung PCBs in Prozent ; Bau E	<b>40</b>
Tabelle II. 25	Gehalte ausgewählter PCDD/F ; Bau A	<b>41</b>
Tabelle II. 26	Gehalte ausgewählte PCDD/F; Bau B	<b>42</b>
Tabelle II. 27	Gehalte ausgewählter PCDD/F ; Bau C	<b>43</b>
Tabelle II. 28	Gehalte ausgewählter PCDD/F; Bau D	<b>44</b>
Tabelle II. 29	Gehalte ausgewählter PCDD/F; Bau E	<b>45</b>
Tabelle II. 30	Kongenerenverteilung ausgewählter PCDF in Prozent ; Bau A	<b>46</b>
Tabelle II.31	Kongenerenverteilung ausgewählter PCDF in Prozent ; Bau B	<b>46</b>
Tabelle II. 32	Kongenerenverteilung ausgewählter PCDF in Prozent ; Bau C	<b>46</b>
Tabelle II. 33	Kongenerenverteilung ausgewählter PCDF in Prozent ; Bau D	<b>47</b>
Tabelle II. 34	Kongenerenverteilung ausgewählter PCDF in Prozent ; Bau E	<b>47</b>
Tabelle III. 1	Dioxinähnliche PCBs in PCB-haltigen Deckenplatten	<b>51</b>
Tabelle III. 2	Prozentualer Anteil der in PCB-belasteten Deckenplatten gemessenen PCB-Leitkongenere mit den Literaturdaten.	<b>52</b>
Tabelle III. 3	PCBs in PCB-haltigem Fugenmaterial	<b>53</b>
Tabelle III. 4	Gehalte ausgewählter polychlorierter Dibenzofurane in den Gebäuden A, C, D und E	<b>54</b>

Tabelle III. 5	Ausgewählte PCDFs in Sekundärquellen der Gebäuden A bis E Vergleich der Gehalte sowie der prozentualen Kongenerenverteilung	<b>56</b>
Tabelle III. 6	Ausgewählte coplanare und mono-ortho-substituierte PCBs in Sekundärquellen der Gebäuden A bis E Vergleich der Gehalte sowie der prozentualen Kongenerenverteilung	<b>57</b>
Tabelle III. 7	Schwankungsbereich PCBs in Innenräumen am Beispiel von 4 Messungen in einem Raum (hier Bau A – Großraumbüro) – Winter 2003/2004	<b>60</b>
Tabelle III. 8	Zusammenhänge baulicher und klimatischer Gegebenheiten mit den Gehalten dioxinähnlicher PCBs in der Innenraumluft PCB-belasteter Gebäude – Basis Norm-Probenahme (Probenahme nach VDI 4300 Bl. 2).	<b>62</b>
Tabelle III. 9	Zusammenhänge baulicher und klimatischer Gegebenheiten mit den Gehalten dioxinähnlicher PCBs in der Innenraumluft PCB-belasteter Gebäude – Basis Nutzungsbedingungen (Lüftung etwa 1 mal je Stunde kurzzeitig)	<b>63</b>
Tabelle III.10	Wirksamkeit von Stoßlüftung (stündlich je drei Minuten ) – Gehalte an ausgewählten dioxinähnlichen PCBs sowie ausgewählter Leitkongenere in zwei Büroräumen (Gebäude A).	<b>65</b>
Tabelle III.11	Zusammenhang von PCB-Gesamtgehalt mit dem Gehalt an dioxinähnlichen PCBs in der Raumluft des Gebäudes E	<b>71</b>
Tabelle III.12	Zusammenhang von PCB-Gesamtgehalt mit dem Gehalt an dioxinähnlichen PCBs in der Raumluft der Gebäudes A bis D	<b>71</b>
Tabelle III.13	Berechnung des Gesamtgehaltes an dioxinähnlichen PCB's aus den PCB-Gesamtgehalten (Faktor 3,5 pg/m <sup>3</sup> je 1000 ng/m <sup>3</sup> Gesamt-PCB nach LAGA). Vergleich mit den jeweiligen Messwerten [26 ]	<b>72</b>
Tabelle III.14	Zusammenhang von PCB- 118 mit dem Gehalt an dioxinähnlichen PCB's in der Raumluft des Gebäudes A bis D	<b>73</b>
Tabelle III.15	Berechnung des Gesamtgehaltes an dioxinähnlichen PCB's aus den Gehalten an PCB 118 und Vergleich mit den jeweiligen Messwerten	<b>74</b>
Tabelle III.16	Korrelation WHO-TEQ PCBs mit der korrigierten Summe von PCB 101 bis 180	<b>75</b>
Tabelle III.17	Ergebnisübersicht – Dioxinähnliche PCBs in pg WHO-TEQ/m <sup>3</sup> Ergebnisse der Messungen unter Norm - Bedingungen in den Gebäuden A bis D	<b>78</b>
Tabelle III.18	Ergebnisübersicht – Dioxinähnliche PCBs in WHO-TEQ/m <sup>3</sup> Ergebnisse der Messungen unter „Nutzungs“- Bedingungen in den Gebäuden A bis D	<b>79</b>
Tabelle III.19	Geschätzte Jahresmittelwerte für coplanare, dioxinähnliche PCBs in der Innenraumluft PCB-belasteter Gebäude mit unterschiedlichen PCB-Quellen	<b>81</b>

Tabelle III.20	PCDD/F in der Innenraumluft von PCB-belasteten Gebäuden unter Berücksichtigung der Raumtemperatur, der Jahreszeit und der baulichen Gegebenheiten	<b>83</b>
Tabelle III.21	Vergleich der Absolutgehalte sowie der prozentualen an 2,3,7,8-TCDF mit dem Gesamtgehalt $\Sigma$ 2,3,7,8-substituierter PCDF in Primärquelle, Hausstaub und Raumluft (RL)	<b>84</b>
Tabelle III. 22	Abschätzung der Jahresmittelwerte der Belastung an PCDD/F in PCB-belasteten Gebäuden	<b>85</b>
Tabelle III. 23	Jahresmittelwerte für coplanare, dioxinähnliche PCBs in der Innenraumluft PCB-belasteter Gebäude mit unterschiedlichen PCB-Quellen	<b>87</b>
Tabelle IV. 1	Dioxinähnliche PCBs in PCB-haltigen Deckenplatten	<b>89</b>
Tabelle IV. 2	Gehalte ausgewählter polychlorierter Dibenzofurane in den Gebäuden A, C, D und E	<b>90</b>
Tabelle IV.3	Schwankungsbereich ausgewählter PCBs in Innenräumen am Beispiel von 5 Messungen in einem Raum (hier Bau A – Großraumbüro) – Winter 2003/2004	<b>91</b>
Tabelle IV.4	Zusammenhänge baulicher und klimatischer Gegebenheiten mit den Gehalten dioxinähnlicher PCBs in der Innenraumluft PCB-belasteter Gebäude – Basis „Norm“-Probenahmen (Norm) (Probenahme nach VDI 4300 Bl. 2) und Probenahme unter Nutzungsbedingungen (Nu).	<b>92</b>
Tabelle IV.5	Wirksamkeit von Stoßlüftung (stündlich je drei Minuten ) –dioxinähnliche PCBs sowie Leitkongenere in zwei Büroräumen des Gebäudes A.(Messperiode Sommer)	<b>93</b>
Tabelle IV.6	PCDD/F in der Innenraumluft von PCB-belasteten Gebäuden unter Berücksichtigung der Raumtemperatur und der Jahreszeit	<b>95</b>
Tabelle IV.7	Abschätzungen der jeweiligen Jahresmittelwerte für die Gebäude A bis E unter Norm - und Nutzungsbedingungen	<b>96</b>



## Abkürzungsverzeichnis

LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
Max.	Maximum
Min.	Miniumum
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzodioxine/Furane
PCDD	Polychlorierte Dibenzodioxine
2,3,7,8- TCDD	2,3,7,8- Tetrachlordibenzodioxin
1,2,3,7,8-PeCDD	1,2,3,7,8- Pentachlordibenzodioxin
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1,2,3,4,7,8- Hexachlordibenzodioxin
1,2,3,6,7,8-HxCDD	1,2,3,6,7,8- Hexachlordibenzodioxin
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1,2,3,7,8,9- Hexachlordibenzodioxin
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	1,2,3,4,6,7,8- Heptachlordibenzodioxin
OCDD	Octaachlordibenzodioxin
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDD	Summe 2,3,7,8- substituierter polychlorierte Dibenzodioxine
I-TE –PCDD in pg/m <sup>3</sup>	polychlorierte Dibenzodioxine in internationalen Toxizitätseinheiten
PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
2,3,7,8-TCDF	2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran
1,2,3,7,8-PeCDF	1,2,3,7,8- Pentachlordibenzofuran
2,3,4,7,8-PeCDF	2,3,4,7,8- Pentachlordibenzofuran
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1,2,3,4,7,8- Hexachlordibenzofuran
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1,2,3,6,7,8- Hexachlordibenzofuran
1,2,3,7,8,9-HxCDF	1,2,3,7,8,9- Hexachlordibenzofuran
2,3,4,6,7,8-HxCDF	2,3,4,6,7,8- Hexachlordibenzofuran
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	1,2,3,4,6,7,8- Heptachlordibenzofuran
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	1,2,3,4,7,8,9- Heptachlordibenzofuran
OCDF	Octachlordibenzofuran
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDF	Summe 2,3,7,8- substituierter polychlorierte Dibenzofurane

I-TE –PCDF in pg/m <sup>3</sup>	Summe 2,3,7,8- substituierter polychlorierte Dibenzofurane
$\Sigma$ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF	
I-TE – $\Sigma$ PCDD/PCDF	polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane in internationalen Toxizitätseinheiten
TEF	Toxizitätsäquivalenzfaktoren
TEQ	Toxizitätsäquivalenzfaktoren
SVOC	Schwer flüchtige organische Verbindungen
$\Sigma$	Summe
VOC	Flüchtige organische Verbindungen
WHO	World Health Organisation

## I Einleitung

Die Konzentration von Schadstoffen in Innenraumluft wird neben der Quellstärke der Emissionsquelle grundsätzlich von einer Reihe von baulichen und klimatischen Gegebenheiten wesentlich beeinflusst (Luftwechsel, Emissionsfläche, Bauteiltemperatur, Nutzungsbedingungen). Daher schwanken die tatsächlich im Innenraum auftretenden Konzentrationen flüchtiger und schwer flüchtiger Verbindungen (VOC und SVOC) im erheblichen Umfang [1-5]. Unter scheinbar vergleichbaren Messbedingungen wie beispielsweise in der DIN EN ISO 16000 Bl. 1 oder der VDI 4300 Bl. 2 vorgegeben schwanken die Gehalte an PCB ( $\Sigma$  Leit- bzw. Indikatorkongenere nach LAGA) in ein und demselben Innenraum je nach Jahreszeit zwischen 300 und 4000 ng/m<sup>3</sup> [1,3]. Im allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass eine Erhöhung der Temperatur um ca. 5 °C zu einer Verdoppelung der Konzentration der PCB-Indikator-Kongenere in der Innenraumluft führt [1-3]. Diese Effekte führen zu einer erheblichen Irritation bei der Bewertung einzelner Messergebnisse und erschweren eine Bewertung des Gefährdungspotentials resultierend aus der Belastung der Innenraumluft mit schwer flüchtigen organischen Schadstoffen.

Organische Schadstoffe in Umweltmedien werden häufig zu definierten Stoffgruppen zusammengefasst z.B. flüchtige organische Verbindungen – VOC (Siedebereich ca. 50 bis 250 °C) oder polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe PAK (Siedebereiche ca. 200 bis > 500 °C). Dabei wird im Regelfall in Kauf genommen, dass Einzelverbindungen mit unterschiedlichen Dampfdrücken bzw. Siedepunkten und daher mit unterschiedlichem Emissionsverhalten gemeinsam betrachtet werden.

Technische PCB-Gemische werden üblicherweise an Hand des Chlorierungsgrades definiert. Produkte wie z.B. Clophen A 60 (Chlorierungsgrad ca. 60 %) enthalten im wesentlichen Penta-, Hexa- und Heptachlorbiphenyle als Hauptinhaltsstoffe in Konzentrationen zwischen 10 und 45 %. In Produkten wie Clophen A 30 lassen sich im wesentlichen Bi-, Tri- und Tetrachlorbiphenyle nachweisen. Die unterschiedlichen Dampfdrücke der einzelnen PCB – Kongenere, die zwischen ca.  $3 \cdot 10^{-2}$  Pa (für Trichlorbiphenyle) und ca.  $3 \cdot 10^{-5}$  Pa (für Hexachlorbiphenyle)[6- 8] [vgl. Tab. I. 1] differieren, führen zu erheblichen Unterschieden im Emissionsverhalten der Einzelkongenere aus dem jeweils vorliegenden Kongenerengemisch und damit zu erheblich unterschiedlichen Belastungen des Mediums Innenraumluft in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Quelle und deren baulicher Situation. Gebäude

mit Fugendichtungen aus niederchlorierten PCB-Produkten zeichnen sich fast immer durch hohe Belastungen an PCB 28 und 52 in der Raumluft aus. Bei derartigen Gebäuden können, je nach baulicher Ausführung PCB-Gehalte ( $\Sigma$  Indikatorkongenere nach LAGA) bis über 10.000 ng/m<sup>3</sup> (1000 bis 1500 ng/m<sup>3</sup> PCB 28 neben 500 – 1000 ng/m<sup>3</sup> PCB 52) auftreten [9]. Gebäude mit Fugendichtungen mit hochchlorierten PCBs z.B. Clophen A 60 zeigen in der Regel nur Raumluftkonzentrationen ( $\Sigma$  Leit- bzw. Indikatorkongenere nach LAGA) von unter 1000 ng/m<sup>3</sup>. Für Gebäude mit PCB - haltigen Deckenplatten lassen sich PCB-Gehalte für die Summe der Indikatorkongenere nach LAGA zwischen etwa 1000 und 4.500 ng/m<sup>3</sup> ermitteln. Für sehr schwerflüchtige PCB-Kongenere (PCB 153, 138 und 180) ist jedoch erkennbar, dass in Räumen mit PCB-haltigen Deckenplatten eine, im Vergleich zu Innenräumen mit Fugen (vergleichbares PCB-Kongenerenmuster), etwa 4-fach höhere Innenraumbelastung mit diesen PCB-Kongeneren gegeben ist.

Technische PCB-Gemische enthalten zudem die als „dioxin-ähnlich“ eingestuften coplanaren bzw. non-ortho-substituierten (PCB 77, 81, 126, 169) PCB's und mono-ortho-substituierte polychlorierte Biphenyle (PCB 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167, 189) als Neben- oder Spurenbestandteile sowie polychlorierte Dibenzofurane als Verunreinigungen. Diese Verbindungen sind auf Grund ihres geringen Dampfdrucks den schwer flüchtigen bzw. den partikelgebundenen organischen Verbindungen (POM) zuzuordnen. Die Gehalte dieser 12 „dioxin-ähnlichen“ PCB's liegen je nach Kongener und PCB-Gemisch in der Größenordnung zwischen < 1 und ca. 7000 mg/kg. Die Gehalte an polychlorierten Dibenzofuranen ( $\Sigma$  PCDF) schwanken je nach technischem Gemisch und Hersteller zwischen 0,6 und 26 mg/kg PCDF [8,9,10-13,24] [vgl. Tab. I.2, I.3, I.5, I.9, I.10].

Im Zusammenhang mit dem 1998 durch die WHO festgelegten Wert für eine duldbare tägliche Aufnahme (TDI) der Dioxine und Furane und der 12 dioxin-ähnlichen PCB's [14 – 18] ist die Kenntnis der konkreten Belastungssituationen dieser Emittenten im Innenraum PCB-belasteter Gebäude von besonderem, auch wirtschaftlichem Interesse. Ziel des Vorhabens ist es, die zu erwartenden Schwankungsbreiten der Gehalte an PCB's (6 Leitkongenere plus 12 „dioxin-ähnliche PCB's) und PCDF im Innenraum, resultierend aus analytischen Fehlern, Fehler bei der Probenahme und den unterschiedlichen baulichen und raumklimatischen Bedingungen des Innenraums erkennbar zu machen. Für Gebäude mit PCB-haltigen Fugenmassen liegen systematischen Untersuchungen zum Zusammenhang der Emission der Indikatorkongenere mit der Emission der „dioxinähnlichen“ PCB's vor [19]. Die Gehalte dieser als besonders toxisch eingestuften „dioxinähnlichen“ PCB's - als Summe

TEQ - schwanken in derartigen Gebäuden mit ausschließlich PCB-haltigen Fugenmassen zwischen 0,3 und 1,3 pg TEQ/m<sup>3</sup> je 1000 ng/m<sup>3</sup> PCB ( $\Sigma$  Leit- bzw. Indikatorkongenere nach LAGA). Dies bedeutet, dass für PCB-Belastungen von 3000 ng/m<sup>3</sup> (Indikatorkongenere nach LAGA) zwischen 1 und 4 pg TEQ/m<sup>3</sup> im Durchschnitt zu erwarten sind. Für Gebäude mit PCB-belasteten Akustik - Deckenplatten und der damit zwangsläufig gegebenen wesentlich größeren Emissionsfläche liegen keine systematischen Untersuchungen vor. Diese Bauweise ist in öffentlichen Gebäuden des Errichtungszeitraums bis 1973 häufig anzutreffen. Diese Deckenelemente sind oberflächlich praktisch ausschließlich mit hochchlorierten PCB's (Clophen A 60) behandelt worden [20]. Für derartige Gebäude werden Innenraumluftgehalte zwischen < 5 und 40 pg TEQ/m<sup>3</sup> bei einer PCB-Gesamtbelastung ( $\Sigma$  Leit- bzw. Indikatorkongenere nach LAGA) zwischen 1000 und 4900 ng/m<sup>3</sup> angegeben [20 – 22]. [vgl. auch Tab. I.7].

Bezogen auf den, über die Innenraumluft ausschöpfbaren Anteil am TDI (ausgedrückt als RW II-Wert in der Größenordnung von wenigen pg TEQ/m<sup>3</sup>, Diskussionsstand 5 pg TEQ/m<sup>3</sup>), ist dieser Unterschied von erheblicher Bedeutung. Der gegenwärtigen Richtwert (baurechtliche Gefahrenwert) von 3000 ng/m<sup>3</sup> (nach LAGA) im Jahresmittel (bzw. 9000 ng/m<sup>3</sup> (nach LAGA) unter Berücksichtigung eines nur 8-stündigen Aufenthalts in PCB-belasteten Gebäuden) [23] erfordert im Regelfall keine unmittelbare Sanierung von Gebäuden mit PCB-belasteten Deckenplatten, da im Jahresmittel die Belastung an PCB-Indikatorkongeneren 3000 ng/m<sup>3</sup> nicht überschreitet. Treten im Jahresmittel auch bei PCB-Gesamtkonzentrationen < 3000 ng/m<sup>3</sup> nachweislich relevante zusätzliche Belastungen durch die „dioxin-ähnlichen“ PCBs sowie PCDF auf, so sind die Folgekosten einer Anpassung der „PCB-Richtlinie“ an die Anforderungen der WHO für die Gebäudeeigentümer der öffentlichen Hand erheblich. So existieren beispielsweise im Land Baden-Württemberg eine Reihe von Gebäuden im Bereich der Hochschulen, die mit PCB-haltigen Schallschutz-Deckenplatten ausgerüstet sind. Geht man davon aus, dass ca. 100.000 m<sup>2</sup> PCB-belastete Schallschutz - Deckenplatten noch vorhanden sind, ist mit Belastungen des öffentlichen Haushalts resultierend aus den notwendigen Sanierungsmaßnahmen zwischen 20 und 40 Millionen Euro zu rechnen.

Das vorliegende Projekt soll, an Hand von Messungen in PCB-belasteten Gebäuden unter unterschiedlichsten Randbedingungen dazu beitragen die durchschnittliche Belastung der Innenräume durch polychlorierte Biphenyle unter Berücksichtigung der „dioxin-ähnlichen“ PCB's im Jahresmittel zu erfassen.

## I.1 Verunreinigung technischer PCB-Gemische mit coplanaren und mono-ortho-substituierten PCB's und polychlorierten Dibenzo-Dioxinen(PCDD) und Dibenzofuranen (PCDF)

Die Quellstärke PCB-haltiger Baustoffe und Bauprodukte und damit die Konzentration dieser Verbindungen in der Raumluft ist wesentlich abhängig vom Dampfdruck der Verbindungen. Technische PCB-Gemische stellen immer ein Gemisch verschieden flüchtiger Verbindungen dar. Je nach PCB-Gemisch bzw. dessen Chlorierungsgrades liegen in technischen Gemischen in unterschiedlichen Zusammensetzungen „leichter flüchtige“ Tri- und Tetrachlorbiphenyle (z.B. PCB 28 und 52) neben den sehr schwer flüchtigen Hexachlor- und Heptachlorbiphenylen (PCB 138 und PCB 180) vor (vgl. Tab. I.1). Diese erheblichen Unterschiede in den Dampfdrücken der Tri- bis Heptachlorbiphenyle spiegeln sich auch in der in Innenraumluft anzutreffenden Kongenerenverteilung und in deren Konzentrationen wieder.

**Tabelle I. 1**

Dampfdrücke und Siedepunkte von PCB und PCDD/PCDF [6,7]

Substanz	Dampfdruck in atm	Dampfdruck in Pa bei 25 °C	Siedepunkt in °C
Dioxine und Furane			
2,3,7,8 – TCDF		$2 * 10^{-6}$	446
1,2,3,7,8 – PCDD		$5,8 * 10^{-8}$	464
1,2,3,4,7,8 – HxCDD		$5,1 * 10^{-9}$	487
OCDF		$5 * 10^{-10}$	537
PCBs			
PCB 28 (Trichlorbiphenyl)	$3,0 * 10^{-7}$	$3 * 10^{-2}$	--
PCB 52 (Tetrachlorbiphenyl)	$1,28 * 10^{-7}$	--	--
PCB 77 (Tetrachlorbiphenyl)	$1,8 * 10^{-10}$	--	--
PCB 101 (Pentachlorbiphenyl)	$5,2 * 10^{-9}$	$5,2 * 10^{-4}$	--
PCB 153 (Hexachlorbiphenyl)	$3,2 * 10^{-10}$	$3,2 * 10^{-5}$	--

Ein Vergleich der Dampfdrücke belegt, dass das Emissionsverhalten der coplanaren und mono-ortho-substituierten PCBs insgesamt eher dem der schwerer flüchtigen Tetra, Penta- bis Heptachlorbiphenylen zugerechnet werden muss.

## Gehalte an coplanaren und mono-ortho-substituierten polychlorierten Biphenylen in technischen Gemischen

Im einzelnen kann von einer Belastung der technischen PCB-Gemische mit coplanaren und mono-orthosubstituierten PCB's wie sie in den nachfolgenden Tabellen I.2 bis I.4 wiedergegeben sind ausgegangen werden .

**Tabelle I. 2**

Coplanare und mono-ortho Biphenyle in technischen Produkten [8]

PCB	KC 300	KC 400	KC 500	KC 600	Aro 1242	Aro 1254	Aro 1260
Gehalte in mg/kg							
coplanar							
77	4290	8040	1690	969	5000 - 5260	< 100 - 645	< 100 - 270
81	nd	nd	nd	nd	< 100	< 100	< 100
126	18	68	28	5	19	40	5
169	-	0,4	0,6	-	< 100	800	500
Mono-ortho							
105	5500	2	2	4500	3300	2	800
114	-	nd	nd	nd	-	-	-
118	7700	3	6	7900	2	8	1
123	-	nd	nd	nd	-	9300	-
156	640	1200	9900	5000	1300	2	1
157	nd	nd	nd	nd	-	200	700
167	nd	nd	nd	nd	-	500	1500
189	nd	nd	nd	nd	-	-	3500
Summe				18400			7300

nd = not detected

- = keine Angabe in der Literatur

**Tabelle I. 3**

Coplanare und mono-ortho Biphenyle in technischen Produkten [8]

PCB	Clophen A 30	Clophen A 40	Clophen A 50	Clophen A 60
Gehalte in mg/kg				
coplanar				
77	3900	6600	-	-
81	-	-	-	-
126	-	-	800	4600
169	-	-	1000	200

Fortsetzung Tab. I.3

Mono-ortho				
105	4900	1	2	1200
114	600	1	-	-
118	4200	2	1	2
123	5500	5600	9300	-
156	600	2300	1	1
157	-	-	310	240
167	-	-	500	4500
189	-	-	-	4000
Summe				14700

- = keine Angabe

Nach neueren Untersuchungen von Ishikawa et.al [13] könne für einzelne PCB-Produkte die nachfolgend genannten Gehalte an Einzelkongeneren (Leitkongenere) angegeben werden.

**Tabelle I. 4**

Gehalt an Einzelkongeneren in verschiedenen technischen PCB-Gemischen (Clophen) [13]

PCB	Clophen A 30	Clophen A 40	Clophen A 50	Clophen A 60	T 64
	Gehalte in mg/kg				
Mono-ortho					
118	3.200	22.000	91.000	14.000	60
Leitkongenere					
28/31	220.000	77.000	1.800	390	< 1
52	23.000	79.000	50.000	5.100	34
101	3.900	24.000	89.000	53.000	490
138	1.300	3.900	66.000	120.000	5300
153	1000	2.600	39.000	130.000	59.600
180	670	1.200	4.200	81.000	200.000
Summe (ohne PCB 118)	249.870	187.700	250.000	389.490	265.424

Betrachtet man die prozentuale Kongenerenverteilung für die Clophenprodukte, so kann aus den oben gemachten Angaben die nachfolgende Kongenerenverteilung ermittelt werden



**Tabelle I. 5**

Prozentuale Verteilung der Leitkongenere in technischen PCB-Gemischen (Clophen)

Berechnet aus [13]

PCB	Clophen A 30	Clophen A40	Clophen A 50	Clophen A 60	T 64
	Anteil in %				
Leitkongenere					
28/31	88	41	< 1	< 1	< 1
52	9	42	20	1,5	< 1
101	1,5	13	36	14	< 1
138	< 1	2	26	31	2
153	< 1	1,5	16	34	22
180	< 1	< 1	1,5	21	76
Summe PCB	100	100	100	100	100

### **PCB - haltige Schallschutzdeckenplatten als Quelle der Emissionen coplanarer und mono-ortho-substituierter PCB's**

Kennzeichen von Deckenplatten mit PCB als Flammschutzmittel ist eine für derartige Bauprodukte typische PCB-Verteilung. In dem Material der Beschichtung (Oberfläche) dieser Platten ist bezogen auf eine Entnahmetiefe von ca. 1-2 mm folgende PCB-Verteilung ermittelbar:

**Tabelle I. 6**

Zusammenstellung – Ergebnisse der Bestimmung der PCB-Leitkongener in insgesamt 35 PCB-haltigen Deckenplatten (Untersuchungsergebnisse aus einem Gebäude aus insgesamt 6 Bauabschnitten) [FMFA- Daten, nicht publiziert]

Ergebn.	PCB 28	PCB 52	PCB 101	PCB 153	PCB 138	PCB 180
	Gehalte in mg/kg					
MW	10	304	2892	5728	5847	4571
Std-Abw.	10	141	1256	2490	2785	2063
25 % - P	3	224	2040	4160	3820	2880
70 % - P	14	389	3650	7340	8070	5860
90 % - P	18	470	4460	8920	10100	7470
Min	1	70	650	1800	1900	1400
Max	47	650	5890	12800	12690	10900
Median	8	284	2740	5390	4660	4180

Legt man die Summe 6 \* 5 (Summe PCB nach LAGA) für die Ermittlung des Gesamtgehaltes an PCB zu Grunde, so ergibt sich eine PCB-Gesamtbelastung von ca. 10 – 20 % Gesamt - PCB je kg Oberfläche (Entnahmetiefe 1 – 2 mm). Die Oberflächenstruktur dieser PCB-haltigen Deckenplatten erschwert jedoch eine einheitliche Probenahme, so dass je nach Probenahmetechnik und Probenehmer immer unterschiedliche Anteile des Grundmaterials mit entnommen werden und bedingt durch den Massebezug die tatsächlich ermittelten Gehalte wesentlich beeinflussen. Es ist daher zu prüfen, ob die PCB-Zusammensetzung dieser Deckenplatten möglicherweise relevant schwanken kann. In der nachfolgenden Tabelle werden daher die prozentualen Anteile der Leitkongenere abgeleitet und den entsprechenden Ergebnissen für verschiedene technische PCB-Gemischen gegenübergestellt. .

**Tabelle I. 7**

Prozentualer Anteil der in PCB-belasteten Deckenplatten gemessenen PCB-Leitkongenere mit den Liteaturdaten.

PCB	%-Anteil aus Mittelwert	% - Anteil aus Median	Clophen A 50	Clophen A 60
28	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1
52	1,6	1,6	20	1,5
101	14,9	15,9	36	14
138	25,6	31,2	26	31
153	30,2	27,0	16	34
180	23,6	24,2	1,5	21
	100	100	100	100

Diese Aufstellung macht nach unserer Einschätzung deutlich, dass die PCB-Kongenerenverteilung in allen dieser PCB-haltigen Schallschutzdeckenplatten vergleichbar ist und wesentliche Unterschiede im Gehalt aus den Schwierigkeiten einer vergleichbaren Probenahme (gleiche Entnahmetiefen) resultieren. In der nachfolgenden Tabelle I.8 wird die PCB-Verteilung PCB - behandelter Deckenplatten mit der PCB-Verteilung technischer PCB-Gemische verglichen.

**Tabelle I. 8**

Vergleich der PCB-Gehalte von „PCB-haltige Schallschutzdeckenplatten“ mit der PCB-Verteilung technischer PCB-Gemische

	PCBs in PCB-Deckenplatten	PCBs in Clophen A 60 [13]	PCBs in Clophen A 50 [13]	PCBs KC 500 [13]
	PCBs in %			
Trichlorbiphenyle	< 1	2	9	5
Tetrachlorbiphenyle	2	3	28	27
Pentachlorbiphenyle	15	20	44	55
Hexachlorbiphenyle	55	43	4	13
Heptachlorbiphenyle	25	25	1	-

Bei den PCB-haltigen Akustik - Deckenplatten handelt es sich in der Regel um Produkte die oberflächlich mit einem PCB-Gemisch mit einen Chlorierungsgrad von ca. 60 % behandelt wurden. Die vorliegende Verteilung entspricht in etwa der Kongeneren Verteilung wie sie für Clophen A 60 beschrieben ist [13]. Der PCB-Gehalt der oberflächennahen Schicht kann mit ca. 10 – 20 % angegeben werden.

### PCDD/PCDF-Verunreinigungen in PCB

Neben den mono-ortho und coplanaren PCB's als Nebenprodukte enthalten technische PCB-Gemische Verunreinigungen an polychlorierten Dibenzo-Dioxinen (PCDD) und polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF). In den folgenden Tabellen I.9 und I.10 werden einzelne in der Literatur genannte PCDD/PCDF-Gehalte für verschiedene technische PCB-Gemische zusammengefasst.

**Tabelle I. 9**

PCDF-Gehalte von technischen PCB-Gemischen [24]

PCDF	Clophen A 50	Clophen A 60
	Gehalte in µg/kg	
Σ TCDF	5.000	16.000
Σ PeCDF	2.500	22.000
Σ HxCDF	2.500	8.000
Σ HpCDF	700	2.500
OCDF	< 100	1.000
Σ PCDF	11.000	49.500

**Tabelle I. 10**

PCDF-Gehalte von technischen PCB-Gemischen [10]

PCDF	KC 300	KC 400	KC 500	KC 600	Aro 1242	Aro 1248	Aro 1254	Aro 1260
	Gehalte in µg/kg							
Σ TCDF	4390	18800	1490	557	489	250	659	502
Σ PeCDF	1610	5420	2790	857	87	1090	2000	1120
Σ HxCDF	1070	1320	2120	1030	21	73	1280	1880
Σ HpCDF	301	273	637	1080	-	-	273	1980
OCDF	172	200	163	1880	< 10	< 16	< 22	2020
Σ PCDF	7540	26000	7200	5410	598	3730	4220	7500

Hauptverunreinigungen der technischen PCB-Gemische stellen die Tetra- und Penta-Dibenzofurane dar. Polychlorierte Dibenzodioxine als Verunreinigung in technischen PCB-Produkten konnten bislang nur in extrem geringen Spuren nachgewiesen werden.

#### **Coplanare und mono-ortho-substituierte PCB's in Innenraumluft**

In der nachfolgenden Tabelle I.11 sind einige Ergebnisse der Bestimmung der „dioxinähnlichen“ PCBs zusammengefasst wiedergegeben. Die Ergebnisse lassen erkennen, dass die entsprechenden PCB-Konzentrationen in Innenräumen mit PCB-haltigen Schallschutzdeckenplatten den über die Raumluft ausschöpfbaren Anteil am TDI (Gefahrenwert) im Regelfall überschreiten. Dabei ist am Beispiel des Raums A zu erkennen, dass die Nachweisgrenze hier z.B. für PCB 126 und PCB 169 bei den gegebenen Toxizitätsäquivalenten das Ergebnis und damit die Bewertung erheblich beeinflussen. Bereits zum jetzigen Stand des Projekts ist jedoch deutlich, dass die größere Emissionsfläche der PCB-Quelle (PCB-haltige Schallschutzdeckenplatten), trotz der niedrigen Dampfdrücke und den geringen Konzentration dieser PCBs in den Schallschutz-Deckenplatten einen wesentlichen Faktor darstellt.

In den nachfolgenden Tabellen I.11 werden einzelne Literaturdaten zu Gehalten der WHO – PCBs in Innenraumluft bestimmt in Gebäude mit PCB-haltigen Schallschutzdeckenplatten wiedergegeben.

Berücksichtigt man die deutlich niedrigeren Dampfdrücke der polychlorierten Dibenzofurane (2,3,7,8 – TCDF  $2 * 10^{-6}$  Pa im Vergleich Pentachlorbiphenylen z.B. PCB 101 mit  $5,2 * 10^{-4}$

Pa oder Hexachlorbiphenylen z.B. PCB 153 mit  $3,2 \cdot 10^{-5}$ ) und deren deutlich geringere Konzentration (Faktor 1/100 bis 1/1000 der Gehalte an coplanaren und mono-ortho-substituierten PCBs) in den technischen PCB-Gemischen und damit auch in PCB-belasteten Deckenplatten, ist anzunehmen, dass die Belastung der Luft durch PCDF aus PCB - belasteten Deckenplatten um mindestens den Faktor 1000 unterhalb der Belastung durch coplanare und mono-ortho- substituierte PCBs liegen wird. Die publizierte Daten einer einzelnen Innenraummessung [24] für PCDF in einem Innenraum, in dem Clophen A 60 als Quelle vorlag, zeigt eine Belastung von 0,031 ng  $\Sigma$  TCDF /m<sup>3</sup> sowie 0,008 ng  $\Sigma$  PeCDF/ m<sup>3</sup>, entsprechend 0,5 pg ITE/m<sup>3</sup> und bestätigt diese Annahmen.

**Tabelle I. 11**

„Dioxinähnliche“ PCBs in Innenraumluft Literaturdaten für Räume mit PCB-haltigen Schallschutzdeckenplatten

		Raum I [19,20]	Raum II [21]	Raum III [FMFA- 2002]	Raum IV [22]
Innenraumparameter					
Raumtemperatur		k. A.	22 °C	28 – 35 °C	k. A.
Luftfeuchte		k. A.	44 %		k. A.
PCB-Kongener	WHO - TEF	PCB in Raumluft in ng/m <sup>3</sup>			
105	0,0001	6,2	3,887	2,6	0,59
118	0,0001	53,3	32,7	29,1	11
126	0,1	< 0,2	0,036	0,03	0,015
156	0,0005	6,3	4,872	5,6	4,0
167	0,00001	4,5	2,790	3,1	1,8
169	0,01	< 0,2	< 0,001	< 0,01	0,0017
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		<b>9,4</b>	<b>11,0</b>	<b>9,4</b>	<b>4,9</b>
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		<b>32</b>	<b>11,0</b>	<b>9,5</b>	<b>4,9</b>
PCB-Leitkongenere nach LAGA		3950	1303	7245	1250

## I. 2 Methodik des Vorhabens

Mit dem vorliegenden Vorhaben sollen die Zusammenhänge zwischen PCB-Quelle bzw. deren Quellstärke, baulicher Situation und Gehalten an PCB, einschließlich der 12 dioxinähnlichen PCB's und der Dibenzofurane in der Quelle und in der Raumluft modellhaft für schwer flüchtige organische Verbindungen (SVOC) und partikelgebunden organische

Verbindungen (POM) ermittelt werden. In geeigneten Modellräumen von 5 exemplarisch ausgewählten öffentlichen Gebäuden werden die Konzentrationen der PCB's (Indikatorkongenere und dioxinähnliche PCB's) und der Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD/F) in Quellen und Medien des Innenraums (Innenraumluft und Hausstaub) bei Außentemperaturen von < 15 °C (Heizperiode) und ca. 20 - 25 °C (Sommerperiode) unter Berücksichtigung von Norm- und Nutzungsbedingungen ermittelt werden.

Dabei wurden folgende Gebäudetypen als Modellgebäude untersucht werden:

- Gebäude mit PCB-belasteten Deckenplatten weitgehend ohne zusätzliche PCB-haltige Fugen und einem PCB-Gesamtgehalt in der Raumluft zwischen 1500 und 4000 ng/m<sup>3</sup> (Bau A, B und D).
- Gebäude mit PCB-belasteten Deckenplatten und PCB-haltigen Fugen und einem PCB-Gesamtgehalt > 4000 ng/m<sup>3</sup> (Bau C).
- Gebäude ohne PCB-belastete Deckenplatten und mit PCB-haltigen Fugen (Bau E).

Im Rahmen des Vorhabens sollen im einzelnen folgende gebäudespezifischen Parameter erfasst werden:

- Bauliche Situation (Qualität von Fenstern und Türen, Lage der Primärquellen im Gebäude, relevante Sekundärquellen z.B. Teppichboden).
- Bestimmung des Luftwechsel im jeweiligen Modellraum nach VDI 4300 Bl. 7.
- Temperatur und Luftfeuchte im Innenraum.
- Fläche der Emissionsquelle und Raumvolumen (Beladungsverhältnis).

Die Bestimmung der Gehalte an PCB-Indikatorkongeneren (insgesamt 6 PCBs) der dioxinähnlichen PCBs (insgesamt 12 PCBs) und der Gehalte an PCDD/PCDF in:

a) Innenraumluft

Probenahme nach EPA TO -10 A *Determination of Pesticides and Polychlorinated Biphenyls in Ambient Air Using Low Volume Polyurethane Foam Sampling Followed By Gas Chromatography/Multi-Detector Detection*

in Verbindung mit VDI 4300 Bl. 2 *Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Messstrategie für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), polychlorierte Dibenzo-p-dioxine(PCDD), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und polychlorierte Biphenyle (PCBs);*

PU-Schaum- Probenahmesystem gespickt mit <sup>13</sup>C-Standards vor der Probenahme

Nachweisverfahren: Gaschromatographie/ hochauflösende Massenspektrometrie mit Isotopenverdünnungsmethode

unter folgenden klimatischen und baulichen Randbedingungen:

- Außentemperaturen < ca. 15 °C (Heizperiode) sowie bei ca. 20 - 25 °C (Sommer) jeweils
- Probenahme unter Nutzungsbedingungen
- Probenahme entsprechend VDI 4300 Bl. 2

b) Hausstaub nach VDI 4300 Bl. 8

hier Bestimmung nach Soxhletextraktion mit Hexan mittels Gaschromatographie/ hochauflösender Massenspektrometrie (Isotopenverdünnungsmethode)

c) Primärquellen (Schallschutzdeckenplatten, Fugenmaterialien), hier Bestimmung der PCBs und PCDD/PCDF mittels Gaschromatographie/ Massenspektrometrie.

Mit der dargestellten Methodik kann unseres Erachtens der Zusammenhang zwischen baulicher Situation, jahreszeitlichem Schwankungsbereich der Zusammensetzung der Quellen und der daraus resultierenden Auswirkung auf die Innenraumluft in Bezug auf die tatsächlich im Jahresmittel zu erwartenden Gehalte an „dioxinähnlichen“ PCBs systematisch erfasst werden. Das Vorhaben soll auch dazu dienen, die Ergebnisse einer Vielzahl an Messungen der Leitkongenere (Gesamt-PCB-Belastung) in entsprechend belasteten Gebäuden in der Vergangenheit unter den Aspekten einer möglichen Neubewertung des zusätzlichen Beitrags der dioxin-ähnliche PCBs und Dibenzofurane zu ermöglichen.

### **I. 3 Geräte und Reagentien**

#### **I. 3. 1 Klimatische Parameter**

TSI Q-Trak 8550

Bei diesem Messgerät werden CO<sub>2</sub>, Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit simultan mittels eines einzigen Fühlers gemessen. Mit dem handlichen Gerät können Echtzeitmessungen durchgeführt werden. Die Messdaten lassen sich über längere Zeit speichern und können mit Hilfe einer speziellen Software analysiert und ausgewertet werden.

Spezifikationen:

#### **CO<sub>2</sub>:**

Sensor Typ: nichtstreuendes Infrarotlicht (NDIR)

Messbereich: 0-5000 ppm

Genauigkeit: ± 3% vom Messwert

Auflösung: 1 ppm

Ansprechzeit: 20 Sekunden

#### **Temperatur:**

Sensor Typ: Thermistor  
Messbereich: 0 - 50 °C  
Genauigkeit: ± 0,6 °C  
Auflösung: 0,1 °C  
Ansprechzeit: 120 Sekunden

**Feuchtigkeit:**

Sensor Typ: Dünnschicht kapazitiv  
Messbereich: 5-95% rel. Feuchte  
Genauigkeit: ± 3% rel. Feuchte  
Auflösung: 0,1 % rel. Feuchte  
Ansprechzeit: 20 Sekunden

**Datenspeicher:**

63.000 Datensätze (14 Tage Speicherung von CO<sub>2</sub>, Temperatur und Feuchtigkeit bei 1x/Minute)  
Speicherintervalle: Einstellbar von 1 Sekunde - 1 Std.

**I.3.2 Probenahme**

EPA TO – 10 A „Determination of pesticides and polychlorinated Biphenyls in ambient air, using low volume Polyurethane foam sampling“

Pumpen Low volume sampling – Pumpen (Hersteller: )

Massenstrom 3 – 5 l/min

Volumenstrommessung Gasuhr Typ (Hersteller Fa. Schlumberger Remus 4 G 1,6 )

Probenahmenvolumen

PCB-Leitkongenere ca. 0,5 m<sup>3</sup>

Dioxinähnliche PCBs ca. 30 – 60 m<sup>3</sup>

PCBs in Außenluft 100 – 400 m<sup>3</sup>

PCDD/F 200 – 400 m<sup>3</sup>

Kalibrierung der Gasuhren gegen Kalibriergasuhr Fa. Ritter Trommelgaszähler Typ 5

Probenahmeröhrchen – ORBO 1000 PU

Blindwertkontrolle 3 PU- Schäume je Charge

**Spiken von ORBO 1000 für PCB, coplanare PCB und PCDD/F**

- Normbedingungen mit ca. 80 m<sup>3</sup> Volumen für coplanare PCBs und Dioxine und Furane (Doppelbestimmung) spiken mit:  
100 µl PCDD\*/F\* = 200 pg PCDD\*/F\* (=EDF 8999)  
100 µl PCB\* coplanar = 1 ng PCB\* coplanar
- Normbedingungen mit ca. 5 m<sup>3</sup> Volumen LAGA PCBs (Doppelbestimmung) spiken mit:  
50 µl PCB\* LAGA = 40 ng
- Nutzungsbedingungen ca. 40m<sup>3</sup> Volumen coplanare PCBs und LAGA (Doppelbestimmung) spiken mit:  
50 µl PCB\* coplanar = 500 pg PCB\* coplanar  
100 µl PCB\* (1-5) = 400 ng PCB\* (1-5)

**Extraktion im Soxtherm mit DCM**

Für die Bestimmung coplanare und LAGA PCB (s. Nutzungsbedingungen) Extrakt auf genaues Volumen auffüllen

1/10-tel vom Extrakt + 50 µl PCB\* 153 (40ng) zur Bestimmung der LAGA - PCB

Rest des Extrakt reinigen:

1.) Si-Säule

Mit 250ml Hexan eluieren, Extrakt direkt im TurboVap auffangen und auf 1 ml einengen



2.) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Säule

- a) mit 200ml Hexan eluieren Fraktion auffangen nur zur Kontrolle (eventuell kann PCB 167 und / oder PCB 189 hier aufgefangen werden, bei schlechter Säule)+ 50 µl bzw. 100 µl PCB\*153 (=800pg / 1.6 ng) + 40 µl HxCDD\* (200 pg EDF 5999) einengen >> GC / MS
- b) mit 100ml Hexan / 2%DCM eluieren > Extrakt auffangen + 50 µl bzw. 100 µl PCB\*153 (=800pg / 1.6 ng) + 40µl HxCDD\* \* (200 pg EDF 5999) einengen >> GC/MS >>  
PCB: 123,118, 114,105, 167,156,157,169,189
- c) mit 100ml Hexan / 50% DCM eluieren > Extrakt auffangen + 50 µl bzw. 100 µl S31522 PCB\*153 + 40µl S31510 HxCDD\* einengen >> GC/MS >>  
PCB: 81, 77, 126 und alle PCDD/F

**I.3.3 Bestimmungsverfahren**

**Geräte**

Gaschromatograph: HP 5890 Serie II  
Hochauflösende Massenspektrometrie: Finnigan Quantum

**I.2.3.1 Coplanare PCBs**

**Gaschromatographie**

Säule: DB XLB, 60m, ID: 0.25mm, FD: 0.25 µm  
Trägergas: He  
Druck: 28 PSI

Temperaturprogramm: 120°C (2 min) – 10°C/min – 160°C – 1.5 °C/min – 275°C (2min)

**Massenspektrometrie** (Auflösung R: ca. 8000)

MASSEN	PCBS
Window 1	
289.9224 291.9194 293.9164	PCB 81, PCB 77
301.9626 303.9597 305.9567	PCB* 81, PCB* 77 ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard

WINDOW 2	
325.8804 327.8775	PCB 123, PCB 118, PCB 114
337.9207 339.9178	PCB* 123, PCB* 118, PCB* 114 ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard

Window 3	
371.8817 373.8788 375.8788	PCB* 153 ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Wiederfindungsstandard

Window 4	
325.8804 327.8775	PCB 105, PCB 126
337.9207 339.9178	PCB* 105, PCB* 126 ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard

Window 5	
359.8415 361.8385 363.8355	PCB 167, PCB 156, PCB 157, PCB 169
371.8817 373.8788 375.8758	PCB* 167, PCB* 156, PCB* 157, PCB* 169 ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard

Window 6	
393.8025 395.7995 397.7967	PCB 189
405.8428 407.8398 409.8368	PCB* 189 ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard

### I.3.3.2 LAGA PCBs

#### Gaschromatographie

2 verschiedene Säulen: Grund mögliche Überlagerungen

Säule: DB XLB, Länge: 60m, ID: 0.25mm, FD: 0.25 µm

Überlagerungen: PCB 153 mit PCB 168  
PCB 123 mit PCB 109

Trägergas: He

Druck: 28 PSI

Temperaturprogramm: 120°C (2 min) – 10°C/min – 160°C – 1.5 °C/min – 275°C (2min)

Säule: HP Ultra 2, Länge: 50m, ID: 0.2mm, FD: 0.33 µm

Überlagerungen: PCB 138 mit PCB 160 und / oder mit PCB 163 + PCB 164

Trägergas: He

Druck: 28 PSI

Temperaturprogramm: 120°C (2 min) – 20°C/min – 200°C – 4 °C/min – 310°C (3min)

#### Massenspektrometrie (Auflösung R: ca. 8000)

MASSEN	PCBS
Window 1	
255.9613 257.9584	PCB 28
268.0016 269.9986	PCB* 28 ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard

WINDOW 2	
289.9224 291.9194	PCB 52
301.9626 303.9597	PCB* 52 ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard

WINDOW 3	
325.8804 327.8775	PCB 101
337.9207 339.9178	PCB* 101 ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard

WINDOW 4	
359.8415 361.8385	PCB 153, PCB 138
371.8817 373.8788	PCB* 153 ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Wiederfindungsstandard PCB* 138 ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard
Window 5	
393.8025 395.7995	PCB 180
405.8428 407.8398	PCB* 180 ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard

### I.3.3.3 Bestimmung PCDD/F

#### Gaschromatographie

Säule: DB 5MS, Länge: 30m, ID: 0.25mm, FD: 0.25 µm

Trägergas: He

Druck: 28 PSI

Temperaturprogramm: 140°C (2 min.) – 10°C/min. – 220°C – 5 °C/min. – 340°C (2 min.)

#### Massenspektrometrie Auflösung : 8000 - 10000

MASSEN	PCDD/F
Window 1	
303.9016 305.8987	2378 TCDF
315.9419 317.9389	2378 TCDF* ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard
319.8965 321.8936	2,3,7,8 TCDD
331.9368 333.9338	1,2,3,4 TCDD* ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Wiederfindungsstandard 2,3,7,8 TCDD* ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard

WINDOW 2	
339.8597 341.8567	12378 PeCDF, 23478 PeCDF
351.9000 353.8970	12378 PeCDF*, 23478 PeCDF* ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard
355.8546 357.8516	12378 PeCDD
367.8949 369.8919	12378 PeCDF* ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard

WINDOW 3	
373.8208 375.8178	123478 HxCDF, 123678 HxCDF, 234678 HxCDF, 123789 HxCDF
383.8639 385.8610	123478 HxCDF*, 123678 HxCDF*, 234678 HxCDF*, 123789 HxCDF* ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard
389.8157 391.8127	123478 HxCDD, 123678 HxCDD, 123789 HxCDD
401.8559 403.8529	123478 HxCDD, 123678 HxCDD ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard 123789 HxCDD ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Wiederfindungsstandard

WINDOW 4	
407.7818 409.7789	1234678 HpCDF, 1234789 HpCDF
417.8253 419.8220	1234678 HpCDF*, 1234789 HpCDF* ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard
423.7766 425.7738	1234678 HpCDD
435.8169 437.8140	1234678 HpCDD* ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard

WINDOW 5	
441.9775 443.7399	OCDF
457.7377 459.7348	OCDD
469.7779 471.7750	OCDD* ( <sup>13</sup> C <sub>12</sub> ) Interner Standard

## II Ergebnisse

### II.1 Bauliche Randbedingungen

In den untersuchten 5 Gebäuden konnte folgende Quellensituation vorgefunden werden:

Gebäude A, B und D:

PCB-haltige Schallschutzdeckenplatten PCB-Muster Clophen A 60

Gebäude C:

PCB-haltige Schallschutzdeckenplatten PCB-Muster Clophen A 60 sowie PCB-haltige Fugen im Bereich der Fensterfront (Fensterbrüstungen) – PCB-Muster Clophen A 50/60

Gebäude E

PCB-haltige Fugen PCB-Muster Clophen A 30/40 (genaue Angaben vgl. Anhang).

Bei allen Gebäuden handelte es sich um öffentliche genutzte Gebäuden unterschiedlichen Gebäudetyps.

#### Bau A

Hochhaus – 12 geschossig; Baujahr 1969

Raum A Großraumbüro – Ausrichtung Südost

Raumvolumen 476 m<sup>3</sup>; Luftwechselzahl 0,36 /h; Beladungsverhältnis 0,31 m<sup>-1</sup>

Raum B Besprechungsraum Ausrichtung West

Raumvolumen 70 m<sup>3</sup>; Luftwechselzahl 0,24/h; Beladungsverhältnis 0,31 m<sup>-1</sup>

#### Bau B

Flachbau 1-geschossig; Baujahr 1973 – Ausrichtung Süd

Raumvolumen 88 m<sup>3</sup>; Luftwechselzahl 1,3/h; Beladungsverhältnis 0,27 m<sup>-1</sup>

#### Bau C

Hochhaus – Blockbauweise – 10 geschossig Baujahr 1973

Raum A Büro Ausrichtung -Ost

Raumvolumen 64 m<sup>3</sup>; Luftwechselzahl 0,48/h; Beladungsverhältnis 0,34 m<sup>-1</sup>

Raum B Büro – Ausrichtung West

Raumvolumen 61 m<sup>3</sup>; Luftwechselzahl 0,45/h; Beladungsverhältnis 0,34 m<sup>-1</sup>

### **Bau D**

Berufliche Schule – 2-geschossig; Baujahr 1972

Raum A – Ausrichtung -Nordost

Raumvolumen 209 m<sup>3</sup>; Luftwechselzahl 0,77/h; Beladungsverhältnis 0,27 m<sup>-1</sup>

Raum B – Ausrichtung -Südwest

Raumvolumen 209 m<sup>3</sup>; Luftwechselzahl 0,80/h; Beladungsverhältnis 0,27 m<sup>-1</sup>

### **Bau E**

Realschule – 3 geschossig; Baujahr 1971/72

Raum A – Beidseitig Fenster jeweils nach Süden und Norden

Raumvolumen 269 m<sup>3</sup>; Luftwechselzahl 0,70/h; Beladungsverhältnis 0,003 m<sup>-1</sup>

Raum B - Beidseitig Fenster jeweils nach Süden und Norden

Raumvolumen 269 m<sup>3</sup>; Luftwechselzahl 0,65/h; Beladungsverhältnis 0,003 m<sup>-1</sup>

## **II. 2 PCB - Primärquellen**

In Primärquellen der untersuchten Gebäuden liegen insgesamt zwei unterschiedliche Gruppen von schwerflüchtigen (SVOC) und partikelgebundenen (POM) halogenierten organischen Verbindungen vor. Neben den Polychlorierten Biphenylen sind polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD) und Dibenzofurane (PCDF) in den PCB-Quellen vor. Beide Stoffgruppen werden nachfolgend getrennt betrachtet.

## II.2.1 PCBs in den Primärquellen der Gebäude A bis E

**Tabelle II.1**

PCBs in PCB-haltigen Schallschutzdeckenplatten (vollflächig an der Decke)

	BAU A	BAU B I	BAU B II	BAU C I	BAU C II	BAU D
<b>PCB-Kongener</b>	<b>Gehalte in mg/kg</b>					
77	120	< 0,1	110	90	120	< 10
81	< 50	< 0,1	< 50	< 10	< 10	< 10
105	440	0,7	380	340	350	140
114	< 50	0,2	< 50	< 10	< 10	< 10
118	2.930	3,2	2850	2.680	2.720	1.210
123	70	0,3	70	80	80	40
126	< 50	< 0,1	< 50	< 10	< 10	< 10
156	1.710	1,8	1810	1.960	1.880	930
157	160	0,1	160	170	170	80
167	710	1	820	910	930	180
169	90	0,2	70	< 10	< 10	< 10
189	310	0,2	380	420	440	200
Summe (min.)	6540	7,7	6650	6650	6690	2780
Summe (max.)	6540	8,0	6800	6690	6730	2830
<b>PCB-Leitkongenere</b>						
28	80	0,1	20	100	100	20
52	460	1,2	350	1200	700	370
101	5330	13	3370	9800	8900	3400
153	14260	40	9180	25200	23700	8430
138	17630	59	5830	14300	15400	5240
180	9540	36	5330	14600	13900	5040
Summe	47300	149,3	24080	66200	62800	22.500

**Tabelle II. 2**

## PCBs in PCB-haltigen Fugenmaterialien

	BAU C A	BAU C B	BAU E	BAU E	BAU E
<b>PCB-Kongener</b>	<b>Gehalte in mg/kg</b>				
77	40	40	900	1090	950
81	< 10	< 10	< 50	40	50
105	4.430	4.690	3.150	5.460	4,180
114	230	230	240	370	290
118	9.730	10.080	4.410	9.620	6.800
123	830	880	600	990	780
126	< 10	< 10	< 50	20	50
156	980	1.050	< 50	590	390
157	230	250	< 50	130	80
167	150	380	< 50	170	110
169	< 10	< 10	< 50	< 10	< 10
189	50	40	< 50	30	20
Summe (min.)	16670	17650	9300	18.510	13.700
Summe (max.)	16700	17680	9650	18.520	13.710
<b>PCB-Leitkongenere</b>					
28	100	300	3750	2120	3720
52	3900	4700	11730	11710	12080
101	9900	12300	4910	7410	4760
153	9100	12900	1070	1610	1030
138	7500	10100	950	3090	1930
180	2700	4500	280	510	410
Summe	33200	44800	22.600	26.400	24.000



## II.2.2 Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane in PCB-haltigen Baumaterialien (Schallschutzdeckenplatten und PCB-haltigen Fugen)

**Tabelle II. 3**

PCDD und PCDF in PCB-haltigen Schallschutzdeckenplatten (Entnahmetiefe 0-2 mm) – Bau A bis D sowie in einer Mischprobe von drei Fugen des Baus E

	TEF	Bau A	Bau B I	Bau C	Bau D	Bau E Fugen
		<b>Gehalte in µg /kg</b>				
<b>PCDD</b>						
2,3,7,8- TCDD	1	< 0,6	< 0,01	< 0,3	< 0,6	< 0,5
1,2,3,7,8-PCDD	1	< 1,0	< 0,02	< 0,6	< 0,9	< 0,7
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	< 1,1	< 0,01	< 0,7	< 1,0	< 0,6
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	< 0,9	0,06	< 0,5	< 0,8	< 0,5
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	< 0,8	< 0,01	< 0,5	< 0,7	< 0,4
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	< 0,9	0,89	< 0,5	< 0,8	1,0
OCDD	0,0001	22	5,33	< 3,2	< 7,1	5,0
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		22	6,28	--	--	6,0
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		27,3	6,33	6,3	11,9	8,7
<b>PCDF</b>						
2,3,7,8-TCDF	0,1	155	0,29	526	263	191
1,2,3,7,8-PeCDF	0,05	26	0,03	66	36	17
2,3,4,7,8-PeCDF	0,5	110	0,20	394	212	85
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	167	0,22	412	208	51
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	25	0,04	40	22	14
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	19	< 0,01	12	4	7
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	31	0,07	93	46	11
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	100	0,46	106	46	6
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	91	0,04	59	16	2
OCDF	0,0001	262	0,83	116	39	< 1
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		986	2,19	1824	891	384
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		986	2,20	1824	891	385
Σ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (min.)		1008	8,47	1824	891	390
Σ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (max.)		1013	8,53	1830	903	393

## II.3 PCB -Sekundärquellen

In PCB - belasteten Gebäuden liegen in Abhängigkeit von den Reinigungsintervallen mehr oder minder stark belastete Stäube vor. Unter ungünstigen Umständen können die Gehalte an PCBs (Leitkongenere) mehrere hundert Milligramm pro kg Staub betragen. Bei Hausstaub (sedimentierter Staub) besteht grundsätzlich die Möglichkeit, dass dieser Staub durch die Nutzung des Gebäudes erneut aufgewirbelt werden kann. Derartige Stäube stellen somit eine

relevante Sekundärquelle dar, die unter ungünstigen Umständen die Gehalte in der Raumluft wesentlich negativ beeinflussen können. Wie schon bei der Betrachtung der Primärquellen wird auch für den Hausstaub zwischen PCBs und PCDD/PCDFs unterschieden.

### II.3.1 PCB's in Hausstaub (Sekundärquelle)

**Tabelle II. 4**

PCBs in Hausstäuben der PCB-belasteten Gebäude A bis E

	BAU A	BAU B	BAU C		BAU D		BAU E
			A	B	A	B	
<b>PCB-Kongener</b>	<b>Gehalte in mg/kg</b>						
77	0,2	< 0,01	0,1	0,1	0,03	0,02	0,31
81	0,01	0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,01	< 0,01	0,01
105	1,19	1,4	2,3	2,6	0,84	0,57	1,14
114	0,03	0,02	2,1	2,6	0,01	0,01	0,08
118	6,09	6,8	15,1	16,2	6,61	4,84	1,94
123	0,18	0,23	0,3	0,5	0,1	0,1	0,21
126	0,02	0,01	0,1	0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01
156	3,99	5,0	11,9	12,7	4,60	3,23	0,36
157	0,34	0,49	0,9	1,1	0,4	0,3	0,05
167	1,84	2,2	5,7	6,2	2,25	1,49	0,14
169	0,01	0,01	< 0,1	< 0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01
189	0,71	0,95	3,0	3,2	0,8	0,54	0,07
Summe (min.)	14,6	17,2	41,5	42,8	15,7	11,1	4,31
Summe (max.)	14,6	17,2	41,7	43,0	15,7	11,1	4,33
<b>PCB-Leitkongenere</b>							
28	0,4	0,2	2,8	0,2	0,1	0,1	3,2
52	1,42	3,5	6,2	3,2	1	0,7	9,1
101	11,2	33	38,3	38,2	13,1	11	3,5
153	44,9	41	124	136	38	29	1,8
138	31,7	47	73,6	88,5	29	24	2
180	27,3	14	67	94,1	27	21	2,3
Summe	117	138,7	312	360,2	108	86	
	585	694	1560	1801	541	429	110

### II.3.2 PCDD/PCDF in Hausstaub PCB-belasteter Gebäude (Sekundärquelle)

**Tabelle II. 5**

PCDD/PCDF in Hausstaub (keine Altersangabe) in den PCB-belasteten Gebäuden A bis E

	TEF	Bau A	Bau B	Bau C	Bau D	Bau E
		<b>Gehalte in µg/kg</b>				
<b>PCDD</b>						
2,3,7,8- TCDD	1	< 0,006	< 0,04	< 0,01	< 0,007	< 0,003
1,2,3,7,8-PCDD	1	< 0,005	< 0,06	< 0,02	< 0,006	< 0,007
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	0,008	< 0,06	< 0,01	0,014	< 0,005
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	0,04 <sub>5</sub>	< 0,05	0,02	0,21	0,01
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	0,02	< 0,05	< 0,01	0,04	< 0,004
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,93	1,51	0,21	3,76	0,04
OCDD	0,0001	7,23	9,79	1,63	16,21	0,09
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		8,23	11,30	1,86	20,23	0,14
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		8,24	11,56	1,91	20,24	0,16
<b>PCDF</b>						
2,3,7,8-TCDF	0,1	2,15	4,26	4,20	2,12 <sub>5</sub>	3,32
1,2,3,7,8-PeCDF	0,05	0,26	0,64	0,52	0,19	0,34
2,3,4,7,8-PeCDF	0,5	1,02	2,16	3,52	1,16	1,01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0,89	2,10	2,93	0,75	0,43
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	0,14	0,21	0,28	0,12	0,09
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	0,09	< 0,06	0,12	0,02	0,04
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	0,20	0,34	0,73	0,24	0,12
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,68	1,08	0,83	1,27	0,06
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	0,17	0,11	0,40	0,08	0,02
OCDF	0,0001	1,03	4,06	0,82	1,26	0,08
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		6,63	14,96	14,36	7,21	5,52
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		6,63	15,02	14,36	7,21	5,52
Σ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (min.)		14,86	26,26	16,22	27,44	5,65
Σ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (max.)		14,87	26,58	16,27	27,45	5,68

### II.4 PCBs in Innenraumluft

In den nachfolgenden Tabellen (II.6 bis II. 10) sind die Ergebnisse der Bestimmung der verschiedenen PCBs (coplanare und mono-ortho-substituierte PCBs sowie der Leitkongenere) unter den verschiedenen klimatischen Randbedingungen zusammengefasst dargestellt.

Tabelle II. 6

## Innenraumluft Bau A Vergleich Norm- / Nutzungsbedingungen Winter 2003/2004 und Sommer 2004 alle Räume

		Sommer 2004				Winter 2003			
		Norm		Nutzung		Norm *		Nutzung	
Durchschnittstemperatur in °C		23,6		25,3		22,5		22,5	
T (min.)	T (max.)	22,0	25,8	20,6	25,5	20,0	29,1	19,3	27,9
PCB-Kongener	WHO - TEF	MW	Std. Abw.	MW	Std. Abw.	MW	Std. Abw.	MW	Std. Abw.
77	0,0001	1,75	0,05	0,08	0,01	0,4	0,01	0,68	0,32
81	0,0001	0,1	0,01	0,03	--	0,015	0,005	0,04	0,02
105	0,0001	4,8	0,14	2,35	0,25	3,8	0,57	2,48	0,37
114	0,0005	0,25	0,02	0,1	0,05	0,1	--	0,09	0,06
<b>118</b>	<b>0,0001</b>	<b>38,15</b>	<b>1,95</b>	<b>12,7</b>	<b>0,7</b>	17,20	6,3	<b>12,70</b>	<b>1,89</b>
123	0,0001	1,35	0,05	0,6	--	0,75	0,2	0,62	0,12
126	0,1	0,02	--	0,01	--	0,02	--	0,02	--
156	0,0005	5,9	0,32	3,0	--	4,2	1,7	2,60	0,53
157	0,0005	0,50	0,01	0,25	0,05	0,35	0,05	0,25	0,05
167	0,00001	3,2	0,14	1,15	0,05	1,6	--	1,00	0,02
169	0,01	< 0,1	--	< 0,1	--	< 0,01	--	< 0,1	--
189	0,0001	0,20	--	0,1	--	0,2	0,01	0,1	0,05
Summe (min.) ng/m <sup>3</sup>		56,22	--	21,0	1,81	27,75	7,8	20,55	3,00
Summe (max.) ng/m <sup>3</sup>		56,23	--	21,1	1,82	27,75	7,8	20,56	3,00
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		<b>10,0</b>	<b>0,34</b>	<b>4,8</b>	<b>0,56</b>	<b>5,6</b>	<b>3,1</b>	<b>4,95</b>	<b>0,90</b>
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		<b>10,1</b>	<b>0,34</b>	<b>4,8</b>	<b>0,59</b>	<b>6,5</b>	<b>1,98</b>	<b>5,00</b>	<b>0,50</b>
PCB-Leitkongenere									
28		60	2	31	4	31	1	33	6
52		99	1	50	2	60,5	5	64	5
101		100	--	59	3	84	8	69	9
153		105	2	64	5	80,5	2	56	17
138		59	--	35	3	76,5	5	31	7
180		15	0,5	8,5	0,5	14	2	10	2
Summe nach LAGA		<b>2190</b>	<b>14</b>	<b>1235</b>	<b>88</b>	<b>1730</b>	<b>115</b>	<b>1307</b>	<b>93</b>

\* Ergebnisse Wiederfindungsraten &lt; 60 %

Tabelle II. 7

## Innenraumluft Bau B Vergleich Norm-/ Nutzungsbedingungen Winter 2003/2004 und Sommer 2004

		Sommer 2004				Winter 2003			
		Norm		Nutzung		Norm		Nutzung	
Durchschnittstemperatur in °C		25,0		28,1		23,0		24,5	
T (min.)	T (max.)	19,5	27,2	22,7	31,0	21,9	25,5	17,8	27,9
		<b>Gehalte in ng/m<sup>3</sup></b>							
PCB-Kongener	WHO - TEF	MW	Std-Abw.	MW	Std-Abw.	MW	Std-Abw.	MW	Std-Abw.
77	0,0001	0,3	--	0,45	0,07	0,2	--	0,2	--
81	0,0001	0,01	--	0,02	--	< 0,01	--	< 0,01	--
105	0,0001	4,85	0,21	4,75	0,21	4,1	0,28	4,1	0,35
114	0,0005	n.b.	--	0,3	0,05	0,1	--	0,2	--
<b>118</b>	<b>0,0001</b>	<b>64,1</b>	<b>4,45</b>	<b>27,5</b>	<b>0,63</b>	<b>41,3</b>	<b>0,21</b>	<b>24,1</b>	<b>3,81</b>
123	0,0001	1,8	0,14	1,85	0,07	1,35	0,21	1,45	0,49
126	0,1	0,02	--	0,02	--	< 0,01	--	< 0,01	--
156	0,0005	8,8	0,14	7,0	0,21	5,95	0,21	4,95	1,34
157	0,0005	0,65	0,07	0,55	--	0,40	--	0,4	0,14
167	0,00001	4,85	0,21	2,75	--	3,70	0,14	2,05	0,49
169	0,01	< 0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--
189	0,0001	0,4	--	0,3	--	0,3	--	0,3	0,07
Summe (min.) ng/m <sup>3</sup>		85,65	5,30	45,20	1,70	57,40	1,13	37,5	6,64
Summe (max.) ng/m <sup>3</sup>		85,65	5,30	45,20	1,69	57,40	1,13	37,6	6,57
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		<b>13,55</b>	<b>0,78</b>	<b>9,15</b>	<b>0,63</b>	<b>8,05</b>	<b>0,21</b>	<b>5,78</b>	<b>1,16</b>
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		<b>13,65</b>	<b>0,78</b>	<b>9,25</b>	<b>0,63</b>	<b>9,15</b>	<b>0,21</b>	<b>6,88</b>	<b>1,16</b>
PCB-Leitkongenere									
28		9	< 1	10	< 1	5	1	5	< 1
52		75	< 1	67	4	48	10	56	3
101		244	4	145	7	164	27	164	19
153		272	9	166	13	128	18	135	24
138		130	6	79	7	82	13	88	18
180		35	1	22	2	21	3	24	6
Summe nach LAGA		<b>3827</b>	<b>104</b>	<b>2448</b>	<b>167</b>	<b>2240</b>	<b>360</b>	<b>2360</b>	<b>353</b>

Tabelle II. 8

## Innenraumluft Bau C Vergleich Norm-/ Nutzungsbedingungen Winter 2003/2004 und Sommer 2004

		Sommer 2004				Winter 2003			
		Norm		Nutzung		Norm		Nutzung	
Durchschnittstemperatur in °C		25,1		28,2		21,5		26,6	
T (min.)	T (max.)	22,4	38,1	23,5	30,9	19,8	23,2	18,8	29,7
		<b>Gehalte in ng/m<sup>3</sup></b>							
PCB-Kongener	WHO - TEF	MW	Std-Abw.	MW	Std-Abw.	MW	Std-Abw.	MW	Std-Abw.
77	0,0001	0,3	--	0,26	0,06	0,07	--	0,2	--
81	0,0001	0,01	--	0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--
105	0,0001	5,5	0,57	4,52	0,40	2,1	0,14	4,85	0,07
114	0,0005	0,09	< 0,01	0,13	0,02	0,1	--	0,2	--
<b>118</b>	<b>0,0001</b>	<b>66,55</b>	<b>2,2</b>	<b>32,8</b>	<b>0,67</b>	<b>18,75</b>	<b>0,78</b>	<b>29,7</b>	<b>1,41</b>
123	0,0001	2,25	0,21	1,6	0,28	0,7	0,14	1,55	0,07
126	0,1	0,01	--	0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--
156	0,0005	9,45	0,21	7,95	1,35	2,25	0,07	5,94	0,34
157	0,0005	0,7	--	0,55	0,07	0,2	--	0,5	--
167	0,00001	5,0	0,18	2,85	0,50	1,24	0,06	2,35	0,07
169	0,01	< 0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--
189	0,0001	0,4	0,04	0,35	0,07	0,1	--	0,3	--
Summe (min.) ng/m <sup>3</sup>		90,2	3,4	51,2	3,32	25,55	1,20	45,55	1,77
Summe (max.) ng/m <sup>3</sup>		90,2	3,4	51,2	3,32	25,55	1,20	45,60	1,83
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		<b>13,65</b>	<b>0,35</b>	<b>9,30</b>	<b>0,85</b>	<b>3,48</b>	<b>0,18</b>	<b>7,25</b>	<b>0,63</b>
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		<b>13,65</b>	<b>0,35</b>	<b>9,40</b>	<b>0,85</b>	<b>4,58</b>	<b>0,18</b>	<b>8,10</b>	<b>0,28</b>
PCB-Leitkongenere									
28		15	< 1	17	3	4	< 1	10	1
52		145	13	80	1	51	7	83	7
101		323	40	196	1	69	9	163	13
153		259	33	168	3	37	1	96	5
138		127	17	94	5	31	4	70	8
180		34	5	23	--	69	1	20	3
Summe nach LAGA		<b>4514</b>	<b>538</b>	<b>2875</b>	<b>78</b>	<b>990</b>	<b>70</b>	<b>2221</b>	<b>160</b>

Tabelle II. 9

## Innenraumluft Bau D Vergleich Norm- / Nutzungsbedingungen Winter 2003/2004 und Sommer 2004

		Sommer 2004				Winter 2003			
		Norm		Nutzung		Norm		Nutzung	
Durchschnittstemperatur in °C		21,8		26,0		17,5		23,1	
T (min.)	T (max.)	20,6	23,6	21,1	30,9	15,6	20,2	19,3	25,9
		<b>Gehalte in ng/m<sup>3</sup></b>							
PCB-Kongener	WHO - TEF	MW	Std-Abw.	MW	Std-Abw.	MW	Std-Abw.	MW	Std-Abw.
77	0,0001	0,1	--	0,2	--	0,05	--	0,09	0,01
81	0,0001	0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--
105	0,0001	2,5	--	3,25	0,07	1,2	--	1,85	0,07
114	0,0005	0,06	< 0,01	0,04	0,04	0,03	--	0,05	0,01
<b>118</b>	<b>0,0001</b>	<b>37,1</b>	<b>2,76</b>	<b>30,8</b>	<b>1,0</b>	<b>13,4</b>	<b>0,42</b>	<b>14,45</b>	<b>1,62</b>
123	0,0001	1,05	0,07	1,4	0,14	0,3	--	0,6	--
126	0,1	< 0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--
156	0,0005	4,58	0,25	6,4	1,0	1,85	0,07	2,75	0,21
157	0,0005	0,4	--	0,48	0,04	0,14	0,03	0,25	0,02
167	0,00001	2,45	0,07	2,4	0,14	1,05	0,07	1,15	0,07
169	0,01	< 0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--
189	0,0001	0,2	--	0,23	0,04	0,09	--	0,14	0,01
Summe (min.) ng/m <sup>3</sup>		48,45	3,04	45,15	2,33	18,15	0,49	21,35	2,05
Summe (max.) ng/m <sup>3</sup>		47,95	3,75	45,15	2,33	18,20	0,57	21,43	2,01
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		<b>7,05</b>	<b>0,64</b>	<b>6,65</b>	<b>0,35</b>	<b>2,55</b>	<b>0,07</b>	<b>3,25</b>	<b>0,35</b>
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		<b>8,15</b>	<b>0,64</b>	<b>7,75</b>	<b>0,35</b>	<b>3,65</b>	<b>0,71</b>	<b>4,35</b>	<b>0,35</b>
PCB-Leitkongenere									
28		6	< 1	12	7	4	1	3	--
52		59	2	96	30	34	--	43	--
101		163	4	239	27	109	1	151	8
153		105	4	148	25	67	13	105	14
138		85	4	118	14	37	1	50	4
180		15	1	19	2	12	2	14	2
Summe nach LAGA		<b>2166</b>	<b>72</b>	<b>3160</b>	<b>525</b>	<b>1303</b>	<b>88</b>	<b>1821</b>	<b>147</b>

Tabelle II. 10

## Innenraumlufte Bau E Vergleich Norm- / Nutzungsbedingungen Winter 2003/2004 und Sommer 2004

		Sommer 2004				Winter 2003			
		Norm		Nutzung		Norm		Nutzung	
Durchschnittstemperatur in °C		23,9		25,6		18,9		23,7	
T (min.)	T (max.)	21,9	25,6	21,3	30,4	18,1	22,4	17,8	30,7
<b>Gehalte in ng/m<sup>3</sup></b>									
PCB-Kongener	WHO - TEF	MW	Std-Abw.	MW	Std-Abw.	MW	Std-Abw.	MW	Std-Abw.
77	0,0001	2,6	0,42	1,65	0,07	1,15	0,07	1,3	0,41
81	0,0001	0,2	--	0,1	--	0,09	< 0,01	0,08	0,02
105	0,0001	4,55	0,92	3,05	0,21	2,25	0,07	3,0	1,41
114	0,0005	0,6	0,14	0,43	0,03	0,33	0,02	0,32	0,17
<b>118</b>	<b>0,0001</b>	<b>12,08</b>	<b>1,87</b>	<b>4,5</b>	<b>0,42</b>	<b>3,75</b>	<b>0,21</b>	<b>4,4</b>	<b>1,98</b>
123	0,0001	1,6	0,28	1,18	0,11	0,77	0,04	0,73	0,38
126	0,1	< 0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--
156	0,0005	0,08	--	0,09	< 0,01	0,06	--	0,17	0,07
157	0,0005	0,02	< 0,01	0,02	--	0,01	--	0,04	< 0,01
167	0,00001	0,04	--	0,03	< 0,01	0,02	< 0,01	0,06	0,02
169	0,01	< 0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--
189	0,0001	< 0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--	< 0,01	--
Summe (min.) ng/m <sup>3</sup>		21,75	3,61	11,05	0,07	8,45	0,35	10,10	4,52
Summe (max.) ng/m <sup>3</sup>		21,76	3,61	11,08	0,11	8,50	0,42	10,15	4,59
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		<b>2,43</b>	<b>0,38</b>	<b>1,30</b>	--	<b>1,00</b>	--	<b>1,20</b>	<b>0,57</b>
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		<b>3,53</b>	<b>0,38</b>	<b>2,40</b>	--	<b>1,35</b>	<b>0,07</b>	<b>1,80</b>	<b>0,57</b>
PCB-Leitkongenere									
28		522	47	310	5	284	4	212	74
52		810	42	510	7	466	3	332	123
101		57	< 1	39	2	32	1	28	11
153		2	< 1	2	< 1	2	--	2	1
138		2	< 1	1	< 1	1	< 1	3	1
180		< 1	--	< 1	--	< 1	--	< 1	--
Summe nach LAGA		<b>6963</b>	<b>450</b>	<b>4313</b>	<b>71</b>	<b>3925</b>	<b>2</b>	<b>2885</b>	<b>1054</b>



## II. 5 PCDD/PCDF in Innenraumluft PCB-belasteter Gebäude

Parallel zu den PCBs wurden der Gebäude A bis E unter Norm-Bedingungen Proben der Raumluft genommen. Die signifikant niedrigeren zu erwartenden Gehalte an PCDD und PCDF in der Innenraumluft resultierend aus wesentlich geringeren Konzentrationen in den jeweiligen Quellen erfordern ein Probenahmenvolumen von > 200 m<sup>3</sup> bis 400 m<sup>3</sup>.

**Tabelle II. 11**

Bau A und B – PCDD/PCDF in Raumluft

(RL W = Raumluft Winter; RL So = Raumluft Sommer)

		RL W *	RL So	RL W	RL So
		Bau A		Bau B	
<b>PCDD</b>	TEF	Gehalte in pg/m <sup>3</sup>			
2,3,7,8- TCDD	1	n. b.	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8-PeCDD	1	n. b.	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	n. b.	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	n. b.	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	n. b.	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	n. b.	< 0,05	< 0,05	< 0,05
OCDD	0,0001	n. b.	0,18	0,36	0,07
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)			0,18	0,36	0,07
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)			0,48	0,66	0,42
I-TE –PCDD (min.) in pg/m <sup>3</sup>			< 0,001	< 0,001	< 0,001
I-TE –PCDD (max.) in pg/m <sup>3</sup>			0,12	0,12	0,12
<b>PCDF</b>					
2,3,7,8-TCDF	0,1	n. b.	9,9	8,6	27,0
1,2,3,7,8-PeCDF	0,05	n. b.	0,11	0,18	0,45
2,3,4,7,8-PeCDF	0,5	n. b.	0,5	0,5	1,39
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	n. b.	< 0,05	0,11	0,35
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	n. b.	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	n. b.	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	n. b.	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	n. b.	< 0,05	0,17	0,06
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	n. b.	< 0,05	< 0,05	< 0,05
OCDF	0,0001	n. b.	< 0,05	0,08	0,08
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)			10,51	9,41	29,33
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)			10,81	9,79	29,53
I-TE –PCDF (min.) in pg/m <sup>3</sup>			1,22	1,12	3,45
I-TE –PCDF (max.) in pg/m <sup>3</sup>			1,24	1,13	3,47
Σ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (min.)					
Σ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (max.)					
I-TE – Σ PCDD/PCDF (min.)		n. b.	1,2	1,1	3,4 <sub>5</sub>
I-TE –Σ PCDD/ PCDF (max.)		n. b.	1,2 <sub>5</sub>	1,2 <sub>5</sub>	3,6

Messung Bau A Winter n. b. = nicht bestimmbar; Wiederfindungsraten << 50 %

**Tabelle II. 12**

Bau C und D– PCDD/PCDF in Raumluft

RL W = Raumluft Winter; RL So = Raumluft Sommer)

		RL W	RL So	RL W	RL So
		Bau C		Bau D	
<b>PCDD</b>	TEF	Gehalte in pg/m <sup>3</sup>			
2,3,7,8- TCDD	1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8-PeCDD	1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,1	< 0,05	0,36	0,35
OCDD	0,0001	0,33	0,24	0,50	0,71
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		0,43	0,24	0,86	1,06
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		0,68	0,54	1,11	1,31
I-TE –PCDD (min.) in pg/m <sup>3</sup>		< 0,001	< 0,001	0,004	0,004
I-TE –PCDD (max.) in pg/m <sup>3</sup>		0,12	0,12	0,12	0,12
<b>PCDF</b>					
2,3,7,8-TCDF	0,1	8,1	32,50	7,4	18,64
1,2,3,7,8-PeCDF	0,05	0,19	0,39	0,12	0,21
2,3,4,7,8-PeCDF	0,5	0,5	1,77	0,45	0,95
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0,1	0,40	0,08	0,20
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	< 0,05	0,08	0,17	0,30
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
OCDF	0,0001	0,08	0,14	0,06	0,32
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		8,97	35,28	8,28	20,62
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		9,22	35,48	8,48	20,82
I-TE –PCDF (min.) in pg/m <sup>3</sup>		1,1	4,21	1,0	2,37
I-TE –PCDF (max.) in pg/m <sup>3</sup>		1,1	4,23	1,0	2,39
Σ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (min.)					
Σ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (max.)					
I-TE – Σ PCDD/PCDF (min.)		1,1	4,2	1,0	2,4
I-TE –Σ PCDD/ PCDF (max.)		1,2	4,3	1,1	2,5

**Tabelle II. 13**

Bau E – PCDD/PCDF in Raumluf

RL W = Raumluf Winter; RL So = Raumluf Sommer)

	TEF	RL W	RL So
	Gehalte in pg/m <sup>3</sup>		
<b>PCDD</b>			
2,3,7,8- TCDD	1	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8-PeCDD	1	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,25	< 0,05
OCDD	0,0001	0,5	0,32
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		0,75	0,32
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		1,0	0,62
I-TE –PCDD (min.) in pg/m <sup>3</sup>		0,003	< 0,0001
I-TE –PCDD (max.) in pg/m <sup>3</sup>		0,12	0,12
<b>PCDF</b>			
2,3,7,8-TCDF	0,1	0,65	1,65
1,2,3,7,8-PeCDF	0,05	< 0,05	< 0,05
2,3,4,7,8-PeCDF	0,5	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,20	0,10
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	< 0,05	< 0,05
OCDF	0,0001	0,12	0,12
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		0,92	1,87
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		1,27	2,22
I-TE –PCDF (min.) in pg/m <sup>3</sup>		0,07	0,17
I-TE –PCDF (max.) in pg/m <sup>3</sup>		0,12	0,21
Σ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (min.)			
Σ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (max.)			
I-TE – Σ PCDD/PCDF (min.)		0,07	0,17
I-TE –Σ PCDD/ PCDF (max.)		0,24	0,33

**II. 6 Coplanare und mono-ortho-substituierte PCBs in Außenluft**

In der Außenluft jedes Standorts der hier untersuchten Gebäude A bis E wurden die Gehalte an coplanaren und mono-ortho-substituierten PCBs bestimmt. In der nachfolgenden Tabelle II. 14 sind die entsprechenden Ergebnisse dargestellt.

**Tabelle II. 14**

Coplanare und mono-ortho-substituierte PCB in Außenluft

		A I *	A II	A III	C	D	E
PCB-Kongener	WHO - TEF						
77	0,0001	0,0018	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,02
81	0,0001	< 0,0001	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
105	0,0001	0,0085	0,03	< 0,01	0,05	0,04	0,05
114	0,0005	0,0004	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
118	0,0001	0,041	0,07	0,04	0,25	0,15	0,06
123	0,0001	0,0022	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
126	0,1	< 0,0001	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
156	0,0005	0,0081	0,02	< 0,01	0,06	0,04	< 0,01
157	0,0005	0,0006	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01
167	0,00001	0,0046	< 0,01	< 0,01	0,03	0,01	< 0,01
169	0,01	< 0,0001	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
189	0,0001	0,0005	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01
Summe (min.)		0,0677	0,12	0,04	0,43	0,28	0,14
Summe (max.)		0,068	0,21	0,15	0,47	0,34	0,22
WHO-TE min in pg/m <sup>3</sup>		0,0104	< 0,05	< 0,05	0,07	< 0,05	< 0,05
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		0,0194	1,1	1,1	1,2	1,1 <sub>5</sub>	1,1

A I \* verbesserte NWG durch PN-Volumen 400 m<sup>3</sup>

Gebäude A und B am gleichen Ort: Entfernung ca. 600 m

Die im Vergleich zu AI \* teilweise leicht erhöhten Gehalte einzelner Kongenere in der Außenluft an den Gebäuden C und D sind mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die Art der Probenahme zurückzuführen. In der Regel wurde der PU-Schaum an der Gebäudeaußenseite angebracht (nicht am Gebäude A), der Abstand von der Gebäudeaußenwand betrug dabei in der Regel nur 10 bis 20 cm. Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass unter diesen Bedingungen kontaminierte Innenraumluft, vor allem aus unteren Stockwerken diese Probenahme negativ beeinflusst haben.

## II.7 Ausgewählte dioxinähnliche PCBs und Leitkongenere in Quellen, Staub und Raumluft – Absolutgehalte und Kongenerenverteilung

In den nachfolgenden Tabellen werden die Gehalte ausgewählter Einzelkongenere der „dioxin-ähnlichen“ PCBs in Quelle, Staub und Raumluft bezogen auf jeweils ein Gebäude zur besseren Übersichtlichkeit zusammenfassend gegenübergestellt.

**Tabelle II. 15:** Gehalte ausgewählter PCBs ; Bau A

PCB-Kongener	TEF	Decken- platte	Staub	RL W	RL So
		mg /kg		ng/m <sup>3</sup>	
77	0,0001	120	0,2	0,4	1,75
105	0,0001	440	1,19	3,8	4,8
118	0,0001	2.930	6,09	17,20	38,15
123	0,0001	70	0,18	0,75	1,35
126	0,1	< 50	0,02	0,02	0,02
156	0,0005	1.710	3,99	4,2	5,9
167	0,00001	710	1,84	0,35	3,2
Summe (min.)		6540	14,6	27,75	56,2
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>				5,6	10,0
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>				6,5	10,1
153		14260	44,9	82	113
138		17630	31,7	79	65
Summe		47300	117	354	440
Summe nach LAGA			585	1730	2190

**Tabelle II. 16:** Gehalte ausgewählter PCBs; Bau B

PCB-Kongener	TEF	Decken- platte	Staub	RL W	RL So
		Konzentration in			
		mg /kg		ng/m <sup>3</sup>	
77	0,0001	110	< 0,01	0,2	0,3
105	0,0001	380	1,4	4,1	4,85
118	0,0001	2850	6,8	41,3	64,1
123	0,0001	70	0,23	1,35	1,8
126	0,1	< 50	0,01	< 0,01	0,02
156	0,0005	1810	5,0	5,95	8,8
167	0,00001	820	2,2	3,70	4,85
Summe (min.)		6650	17,2	57,40	85,65
Summe (max.)		6800	17,2	57,40	85,65
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>				8,05	13,55
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>				9,15	13,65
PCB-Leitkongenere					
153		14042	41	128	272
138		20713	47	82	130
Summe		52310	138,7		
Summe nach LAGA			694	2240	3827

**Tabelle II. 17:** Gehalte ausgewählte PCBs ; Bau C

PCB-Kongener	TEF	Decken- platte	Staub	RL W	RL So
		Konzentration in			
		mg /kg		ng/m <sup>3</sup>	
77	0,0001	90	0,1	0,07	0,3
105	0,0001	340	2,0	2,1	5,5
118	0,0001	2.680	14,1	18,75	66,55
123	0,0001	80	0,3	0,7	2,25
126	0,1	< 10	0,1	< 0,01	0,01
156	0,0005	1.960	10,9	2,25	9,45
167	0,00001	910	5,3	1,24	5,0
Summe (min.)		6650	38,3	25,55	90,2
Summe (max.)		6690	38,5	25,55	90,2
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>				3,48	13,65
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>				4,58	13,65
PCB-Leitkongenere					
153		25200	124	37	259
138		14300	73,6	31	127
Summe		66200	312		
Summe nach LAGA			1560	990	4514

**Tabelle II. 18:** Gehalte ausgewählter PCBs ; Bau D

PCB-Kongener	TEF	Decken- platte	Staub	RL W	RL So
		Konzentration in			
		mg /kg		ng/m <sup>3</sup>	
77	0,0001	< 10	0,03	0,05	0,1
118	0,0001	1.210	6,61	13,4	37,1
123	0,0001	40	0,1	0,3	1,05
126	0,1	< 10	< 0,01	< 0,01	< 0,01
156	0,0005	930	4,60	1,85	4,58
157	0,0005	80	0,4	0,14	0,4
167	0,00001	180	2,25	1,05	2,45
Summe (min.)		2780	15,7	18,15	48,45
Summe (max.)		2830	15,7	18,20	47,95
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>				2,55	7,05
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>				3,65	8,15
PCB-Leitkongenere					
153		8430	38	67	105
138		5240	29	37	85
Summe		22.500	108		
Summe nach LAGA			541	1303	2166

**Tabelle II. 19:** Gehalte ausgewählter PCBs ; Bau E

	TEF	Fugen	Staub	RL W	RL So
	Konzentration in				
	mg /kg			ng/m <sup>3</sup>	
PCB-Kongener					
77	0,0001	1090	0,31	1,15	2,6
105	0,0001	5.460	1,14	2,25	4,55
114	0,0005	370	0,08	0,33	0,6
118	0,0001	9.620	1,94	3,75	12,08
123	0,0001	990	0,21	0,77	1,6
126	0,1	20	< 0,01	< 0,01	< 0,01
156	0,0005	590	0,36	0,06	0,08
157	0,0005	130	0,05	0,01	0,02
Summe (min.)		18.510	4,31	8,45	21,75
Summe (max.)		18.520	4,33	8,50	21,76
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>				1,00	2,43
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>				1,35	3,53
PCB-Leitkongenere					
28		2120	3,2	284	522
52		11710	9,1	466	810
101		7410	3,5	32	57
Summe		26.400	22		
Summe nach LAGA			110	3925	6963

Erklärung Tab. II.15 bis II.19

RL W = Raumluf Winter; RL So = Raumluf Sommer

### **Prozentuale Verteilung ausgewählter PCB-Kongenere in Raumluf, Hausstaub und Quelle**

In den nachfolgenden Tabellen II.20 bis II. 24 wird die Kongenerenverteilung ausgewählter PCBs in den Quellen, in Hausstaub und in der Raumluf unter den verschiedenen Messbedingungen wiedergegeben.

**Tabelle II. 20:** Kongenerenverteilung PCBs in Prozent ; Bau A

PCB-Kongener	Raumluft				Hausstaub	Quelle
	Sommer 2004		Winter 2003			
	Norm	Nutzung	Norm	Nutzung		
	<b>Verteilung in %</b>					
77	2,6	4,8	1,3	3,3	1	2
105	9,3	11,9	13,3	12,0	8	7
114	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
118	66	58	60	62	42	45
123	2,5	3,3	2,6	3,0	1	1
101	22	24	25	26	10	11
153	26	23	23	21	30	30
138	15	17	22	12	27	37

**Tabelle II. 21:** Kongenerenverteilung PCBs in Prozent ; Bau B

PCB-Kongener	Raumluft				Hausstaub	Quelle
	Sommer 2004		Winter 2003			
	Norm	Nutzung	Norm	Nutzung		
77	< 1	1,0	< 1	< 1	< 1	1,6
105	5,7	10,5	7,1	10,9	8	5,7
114	--	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
118	75	61	72	64	40	42
123	2,1	4,1	2,4	3,9	1,3	1
101	32	30	37	35	24	14
153	36	34	29	29	29	38
138	17	16	18	19	34	24



**Tabelle II. 22:** Kongenerenverteilung PCBs in Prozent ; Bau C

PCB-Kongener	Raumluft				Hausstaub	Quelle
	Sommer 2004		Winter 2003			
	Norm	Nutzung	Norm	Nutzung		
77	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,3
105	6,1	8,8	8,2	10,6	5	5,1
114	< 1	< 1	< 1	< 1	4,9	< 1
118	74	64	73	65	37	40
123	2,5	3,1	2,8	3,4	< 1	1,2
101	36	34	26	37	12	14
153	29	29	14	22	40	38
138	14	16	12	16	24	22

**Tabelle II. 23:** Kongenerenverteilung PCBs in Prozent ; Bau D

PCB-Kongener	Raumluft				Hausstaub	Quelle
	Sommer 2004		Winter 2003			
	Norm	Nutzung	Norm	Nutzung		
77	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
105	5,1	7,1	6,6	8,7	5	5
114	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
118	76	68	74	68	43	44
123	2,1	3,1	1,6	2,8	< 1	1,4
101	38	38	41	41	12	15
153	24	23	25	29	35	37
138	20	19	14	13	27	23

**Tabelle II. 24:** Kongenerenverteilung PCBs in Prozent ; Bau E

PCB-Kongener	Raumluft				Hausstaub	Quelle
	Sommer 2004		Winter 2003			
	Norm	Nutzung	Norm	Nutzung		
77	12,0	15,0	13,6	12,9	7,2	5,9
105	20,9	27,6	26,6	29,7	26,5	29,5
114	2,8	3,9	3,9	3,2	< 1	2,0
118	55	41	44	44	45	52,0
123	7,4	10,7	9,1	7,2	4,9	5,3
101	4,0	4,5	4,1	4,8	16	28
153	< 1	< 1	< 1	< 1	8	6
138	< 1	< 1	< 1	< 1	9	12

## II.8 Ausgewählte Dioxine (PCDD/F) in Quellen Staub und Raumluft – Absolutgehalte und Kongenerenverteilung

In den nachfolgenden Tabellen II. 25 bis II. 29 werden die Gehalte ausgewählter PCDD/F - Einzelkongenere in Quelle, Staub und Raumluft bezogen auf jeweils ein Gebäude zur besseren Übersichtlichkeit zusammenfassend gegenübergestellt.

**Tabelle II. 25:** Gehalte ausgewählter PCDD/F ; Bau A

	TEF	Decken- platte	Staub	RL W	RL So
<b>PCDD</b>		$\mu\text{g}/\text{kg}$		$\text{pg}/\text{m}^3$	
OCDD	0,0001	22	7,23		0,18
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		22	8,23		0,18
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		27,3	8,24		0,48
<b>PCDF</b>					
2,3,7,8-TCDF	0,1	155	2,15	--	9,6
1,2,3,7,8-PeCDF	0,05	26	0,26	--	0,11
2,3,4,7,8-PeCDF	0,5	110	1,02	--	0,5
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	167	0,89	--	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	100	0,68	--	< 0,05
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	91	0,17	--	< 0,05
OCDF	0,0001	262	1,03		< 0,05
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		986	6,63	--	10,21
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		986	6,63	--	10,56
I-TE –PCDF (min.) in $\text{pg}/\text{m}^3$				--	1,22
I-TE –PCDF (max.) in $\text{pg}/\text{m}^3$				--	1,24
$\Sigma$ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (min.)		1008	14,86	--	
$\Sigma$ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (max.)		1013	14,87	--	
I-TE – $\Sigma$ PCDD/PCDF (min.)				n. b.	1,2
I-TE – $\Sigma$ PCDD/ PCDF (max.)				n. b.	1,2 <sub>5</sub>

**Tabelle II. 26:** Gehalte ausgewählte PCDD/F; Bau B

	TEF	Decken- platte *	Staub	RL W	RL So
<b>PCDD</b>			$\mu\text{g /kg}$	$\text{pg/m}^3$	
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,89	1,51	< 0,05	< 0,05
OCDD	0,0001	5,33	9,79	0,36	0,12
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		6,28	11,30	0,36	0,12
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		6,33	11,56	0,66	0,42
<b>PCDF</b>					
2,3,7,8-TCDF	0,1	0,29	4,26	8,6	27,0
1,2,3,7,8-PeCDF	0,05	0,03	0,64	0,18	0,45
2,3,4,7,8-PeCDF	0,5	0,20	2,16	0,5	1,39
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0,22	2,10	0,11	0,35
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,46	1,08	0,17	0,06
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	0,04	0,11	< 0,05	< 0,05
OCDF	0,0001	0,83	4,06	0,08	0,08
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		2,19	14,96	9,4	29,33
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		2,20	15,02	9,8	29,53
I-TE –PCDF (min.) in $\text{pg/m}^3$				1,12	3,45
I-TE –PCDF (max.) in $\text{pg/m}^3$				1,13	3,47
$\Sigma$ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (min.)		8,47	26,26		
$\Sigma$ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (max.)		8,53	26,58		
I-TE – $\Sigma$ PCDD/PCDF (min.)				1,1	3,4 <sub>5</sub>
I-TE – $\Sigma$ PCDD/ PCDF (max.)				1,2 <sub>5</sub>	3,6

\* Deckenplatte nicht PCB-haltig PCDD/F nur Sekundärkontamination (vgl. Tab. II.3)

**Tabelle II. 27:** Gehalte ausgewählter PCDD/F ; Bau C

	TEF	Decken- platte	Staub	RL W	RL So
<b>PCDD</b>		$\mu\text{g /kg}$		$\text{pg/m}^3$	
OCDD	0,0001	< 3,2	1,63	0,30	0,24
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		- -	1,86	0,38	0,24
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		6,3	1,91	0,63	0,54
<b>PCDF</b>					
2,3,7,8-TCDF	0,1	526	4,20	8,1	32,50
1,2,3,7,8-PeCDF	0,05	66	0,52	0,19	0,39
2,3,4,7,8-PeCDF	0,5	394	3,52	0,5	1,77
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	412	2,93	0,1	0,40
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	106	0,83	< 0,05	0,08
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	59	0,40	< 0,05	< 0,05
OCDF	0,0001	116	0,82	0,08	0,14
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		1824	14,36	8,97	35,28
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		1824	14,36	9,22	35,48
I-TE –PCDF (min.) in $\text{pg/m}^3$				1,1	3,25
I-TE –PCDF (max.) in $\text{pg/m}^3$				1,1	4,21
$\Sigma$ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (min.)		1824	16,22		
$\Sigma$ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (max.)		1830	16,27		
I-TE – $\Sigma$ PCDD/PCDF (min.)				1,1	3,3
I-TE – $\Sigma$ PCDD/ PCDF (max.)				1,2	4,3

**Tabelle II. 28:** Gehalte ausgewählter PCDD/F; Bau D

	TEF	Decken- platte	Staub	RL W	RL So
<b>PCDD</b>		$\mu\text{g /kg}$		$\text{pg/m}^3$	
OCDD	0,0001	< 7,1	16,21	0,50	0,71
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		- -	20,23	0,86	1,06
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		11,9	20,24	1,11	1,31
<b>PCDF</b>					
2,3,7,8-TCDF	0,1	263	2,12 <sub>5</sub>	7,4	18,64
1,2,3,7,8-PeCDF	0,05	36	0,19	0,12	0,21
2,3,4,7,8-PeCDF	0,5	212	1,16	0,45	0,95
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	208	0,75	0,08	0,20
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	46	1,27	0,17	0,30
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	16	0,08	< 0,05	< 0,05
OCDF	0,0001	39	1,26	0,06	0,32
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		891	7,21	8,28	20,62
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		891	7,21	8,48	20,82
I-TE –PCDF (min.) in $\text{pg/m}^3$				1,0	2,37
I-TE –PCDF (max.) in $\text{pg/m}^3$				1,0	2,39
$\Sigma$ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (min.)		891	27,44		
$\Sigma$ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (max.)		903	27,45		
I-TE – $\Sigma$ PCDD/PCDF (min.)				1,0	2,4
I-TE – $\Sigma$ PCDD/ PCDF (max.)				1,1	2,5

**Tabelle II. 29:** Gehalte ausgewählter PCDD/F; Bau E

	TEF	Fugen Misch- probe	Staub	RL W	RL So
<b>PCDD</b>			$\mu\text{g /kg}$	$\text{pg/m}^3$	
OCDD	0,0001	5,0	0,09	0,5	0,32
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		6,0	0,14	0,75	0,32
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		8,7	0,16	1,0	0,62
I-TE –PCDD (min.) in $\text{pg/m}^3$				0,003	< 0,0001
I-TE –PCDD (max.) in $\text{pg/m}^3$				0,12	0,12
<b>PCDF</b>					
2,3,7,8-TCDF	0,1	191	3,32	0,65	1,65
1,2,3,7,8-PeCDF	0,05	17	0,34	< 0,05	< 0,05
2,3,4,7,8-PeCDF	0,5	85	1,01	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	51	0,43	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	6	0,06	0,20	0,10
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	2	0,02	< 0,05	< 0,05
OCDF	0,0001	< 1	0,08	0,12	0,12
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		384	5,52	0,92	1,87
$\Sigma$ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		385	5,52	1,27	2,22
I-TE –PCDF (min.) in $\text{pg/m}^3$				0,07	0,17
I-TE –PCDF (max.) in $\text{pg/m}^3$				0,12	0,21
$\Sigma$ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (min.)		390	5,65		
$\Sigma$ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (max.)		393	5,68		
I-TE – $\Sigma$ PCDD/PCDF (min.)				0,07	0,17
I-TE – $\Sigma$ PCDD/ PCDF (max.)				0,24	0,33

### **Prozentuale Verteilung ausgewählter PCDF - Kongenere in Raumluft, Hausstaub und Quelle**

In den nachfolgenden Tabellen II. 30 bis II. 34 wird die Kongenerenverteilung ausgewählter PCDF in den PCB-Quellen, in Hausstaub und in Innenraumluft unter verschiedenen klimatischen Bedingungen für alle untersuchten Gebäude dargestellt.

**Tabelle II. 30:** Kongenerenverteilung ausgewählter PCDF in Prozent ; Bau A

PCDF-Kongener	Raumluft		Hausstaub	Quelle
	Sommer	Winter		
	<b>Verteilung in %</b>			
2,3,7,8-TCDF	94	--	32	16
1,2,3,7,8-PeCDF	1	--	4	2,5
2,3,4,7,8-PeCDF	5	--	15	11
1,2,3,4,7,8-HxCDF	< 1	--	13	17
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	< 1	--	10	10
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	< 1	--	2,5	9
OCDF	< 1	--	16	27
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)	100	--	100	100

**Tabelle II. 31:** Kongenerenverteilung ausgewählter PCDF in Prozent ; Bau B

PCDF-Kongener	Raumluft		Hausstaub	Quelle *
	Sommer	Winter		
	<b>Verteilung in %</b>			
2,3,7,8-TCDF	92	91	28	13
1,2,3,7,8-PeCDF	1,5	2	4	1,5
2,3,4,7,8-PeCDF	5	5	14	9
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1	1	14	10
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	<1	2	7	21
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	<1	10	< 1	2
OCDF	<1	<1	27	38
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)	100	100	100	100

\* Quelle nur Sekundärkontamination (vgl. Tab. II.3 Deckenplatte B I)

**Tabelle II. 32:** Kongenerenverteilung ausgewählter PCDF in Prozent ; Bau C

PCDF-Kongener	Raumluft		Hausstaub	Quelle
	Sommer	Winter		
	<b>Verteilung in %</b>			
2,3,7,8-TCDF	92	90	29	29
1,2,3,7,8-PeCDF	1	2	4	4
2,3,4,7,8-PeCDF	5	6	25	22
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1	1	20	23
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	<1	<1	6	6
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	<1	<1	3	3
OCDF	<1	<1	6	6
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)	100	100	100	100



**Tabelle II. 33:** Kongenerenverteilung ausgewählter PCDF in Prozent ; Bau D

PCDF-Kongener	Raumluft		Hausstaub	Quelle
	Sommer	Winter		
	<b>Verteilung in %</b>			
2,3,7,8-TCDF	90	89	29	29
1,2,3,7,8 -PCDF	1	1	3	4
2,3,4,7,8-PeCDF	5	5	16	24
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1	1	10	23
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	1	2	17	5
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	<1	<1	1	2
OCDF	1,5	<1	17	4
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)	100	100	100	100

**Tabelle II. 34:** Kongenerenverteilung ausgewählter PCDF in Prozent ; Bau E

PCDF-Kongener	Raumluft		Hausstaub	Quelle
	Sommer	Winter		
	<b>Verteilung in %</b>			
2,3,7,8-TCDF	88	71	60	50
1,2,3,7,8 -PCDF	< 2	5	6	4
2,3,4,7,8-PeCDF	<2	< 5	18	22
1,2,3,4,7,8-HxCDF	<2	<5	8	13
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	5	22	1	1,5
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	<2	< 5	<1	<1
OCDF	6	13	1	<1
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)	100	100	100	100

### III Diskussion

Die hier ausgewählten Gebäude stellen nach unserer Erfahrung eine repräsentativen Querschnitt der etwa ab Mitte der sechziger bis Mitte der siebziger Jahre errichteten öffentlichen PCB-belasteten Gebäude in Baden-Württemberg dar. Schwerpunkt der Untersuchungen lag bei Gebäuden, die als wesentliche Quelle großflächig verlegte PCB-belastete Deckenplatten mit einem PCB-Muster entsprechend Clophen A 60 aufweisen (Gebäude A bis D). Typisch für Clophen A 60 sind hohe Anteile an Hexa- und Heptachlorbiphenylen. Im Rahmen des Untersuchungsprogramms wurde ein Gebäude ausgewählt, dass zusätzlich PCB-belastete Fugen in exponierter Lage (hier PCB-haltige

Fugen im Bereich der Fensterbrüstungen; PCB-Muster entsprechend Clophen A50/60) aufweist (Gebäude C). Eines der Gebäude (Gebäude E) weist als PCB-Quelle ausschließlich PCB-haltiges Fugenmaterial auf. Das entsprechende Kongenerenmuster der hier verwendeten PCB-haltigen Fugen ist charakteristisch für Clophen A30/A40-Mischungen mit hohen Anteilen an leichter flüchtigen Tri- und Tetrachlorbiphenylen (PCB 28 und 52).

Die Lage der ausgewählten Innenräume in den jeweiligen Gebäuden, in denen die Gehalte an PCBs und PCDD/PCDF ermittelt wurden berücksichtigte zudem die beiden Ausrichtungen, die im Regelfall die deutlichsten Temperaturunterschiede resultierend aus Sonneneinstrahlung aufweisen (Ausrichtung nach Süden bzw. Südost oder Südwest; sowie Ausrichtung nach Norden bzw. Nordost bzw. Nordwest). Dies erlaubt den Einfluss der klimatischen Randbedingungen auch unter Berücksichtigung möglicher intensiver Sonneneinstrahlung zu erkennen.

Das Emissionspotential einer Verbindung aus einem Bauprodukt wird bestimmt durch eine Reihe von physikalisch-chemischen und chemischen Parametern. Der Emissionsprozess wird durch Dampfdruck, Polarität, Diffusionskoeffizient und Desorptionsenthalpie des emittierenden Stoffes bestimmt. Wesentlich ist auch die Diffusion der Emittenten an der Phasengrenzfläche. Dabei spielen Transportprozesse aus dem Material an diese Phasengrenzfläche eine wesentliche Rolle.

Betrachtet man die Dampfdrücke der hier untersuchten Verbindungen bzw. Verbindungsklassen so ist festzuhalten, dass die hier im wesentlichen zu betrachtenden Tetra- bis Heptachlorbiphenyle Dampfdrücke zwischen  $10^{-4}$  und  $10^{-8}$  Pa aufweisen, während die polychlorierten Dibenzofurane Dampfdrücke zwischen  $10^{-8}$  und  $10^{-12}$  Pa aufweisen [6-8] (vgl. Kap. I Tab. I.1). Dies bedeutet, dass die Dampfdrücke der schwerstflüchtigen PCBs in etwa dem Dampfdruck des „leichtest“ flüchtige Dibenzofurans hier des 2,3,7,8-Tetrachlor-Dibenzofurans entsprechen.

Für die Mehrzahl der Konsumgüter und Bauprodukte ist festzustellen, dass die Emission über die Nutzungsdauer von der inneren Diffusion der Emittenten an die Materialoberfläche bestimmt wird. Daneben kann die Feuchtigkeit bei allen wasserdampf-flüchtigen Substanzen eine zusätzliche bedeutende Rolle spielen [25]. Ob dieser Einfluss für die hier untersuchten Verbindungen (PCBs und PCDD/PCDF) eine wesentliche Rolle spielt ist trotz gewisser

Hinweise aus der Praxis nicht bekannt. Die innere Diffusion der emittierenden Substanzen an die Materialoberfläche stellt in aller Regel in Kombination mit den jeweiligen Dampfdrücken den geschwindigkeitsbestimmenden Schritt im Emissionsprozess dar, so dass die Konzentration der emittierenden Verbindungen in der Quelle die Emissionsraten nur in begrenztem Umfang beeinflusst.

Charakteristische Parameter für den Transport von Emissionen aus Materialien im Innenraum sind

- Fläche und ggf. Lage der Emissionsquelle.
- Raumluft als primäres Transfermedium bei der Emission flüchtiger und schwer flüchtiger Verbindungen bzw. als Transportmedium für Abrieb bei POM (particulate organic matter).
- Luftaustausch der Raumluft mit der Umgebung bzw. Außenluft.
- Senken wie Sekundäroberflächen (Wände, Einrichtungsgegenstände) und Stäube.

### **Senken**



**Quelle** ↔ **Raumluft** ↔ **Luftaustritt**

Für schwerflüchtige organische Verbindungen mit einem niedrigen Dampfdruck spielt die Senkenwirkung der Stäube hier vor allem die luftgetragenen Feinstäube eine beträchtliche Rolle. Dies wird unter anderem deutlich an den hohen Gehalten an PCBs in den Hausstäuben PCB-belasteter Gebäude (vgl. auch Kap.II.3.1 Tab. II.4). Vereinfacht kann davon ausgegangen werden, dass über die Gasphase emittierende Verbindungen unmittelbar an den Oberflächen von Feinstäuben absorbieren und über die Staubsedimentation aus der Raumluft ausgetragen werden.

Das hier gewählte Probenahmeverfahren auf Polyurethanschäumen unterscheidet prinzipiell nicht zwischen gasförmig vorliegenden Verbindungen und Verbindungen die an luftgetragenen Feinststäuben absorbiert vorliegen. Bei einer aktiven Probenahme durch Ansaugen der Luft kann für die PCB's 28, 52 und 101 nachgewiesen werden, dass zwischen 15 und 25 % der staubgebundenen PCBs von Staub durch das Probenahmeverfahren desorbiert werden und auf dem nachgeschalteten PU-Schaum absorbiert werden. Für die schwerstflüchtigen PCB's 138, 153 und 180 tritt dieser Effekt nicht auf [2].

Das obige stark vereinfachte Schema macht zudem deutlich, dass die reale Innenraumkonzentration in einem bestimmten Gebäude zudem wesentlich vom Luftaustausch mit der Umgebungsluft abhängig ist. Dieser Luftaustausch ist unter den so genannten Norm - Bedingungen (Messraum am Vorabend gelüftet; Querlüftung 15 – 30 min.; anschließend Fenster und Türen verschlossen; Beginn der Probenahme am nächsten Morgen) abhängig von der so genannten „Luftwechselzahl“, derjenigen Luftmenge die bei geschlossenen Fenstern und Türen bedingt durch die Undichtigkeiten der Gebäudehüllen gegen Außenluft ausgetauscht wird. Bei den hier untersuchten Gebäuden lagen diese „Luftwechselzahl“ zwischen 0,24/h und 1,3 /h. Dies bedeutet, dass bei geschlossenen Fenstern und Türen zwischen 25 bis 130 % der Raumluft je Stunde gegen Außenluft ausgetauscht werden. Diese Luftwechselzahl ist ein Maß für die Dichtigkeit der Fenster und Türen.

### **III.1 Coplanare und mono-ortho-substituierte PCBs sowie polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane in den PCB - Quellen der Gebäuden A bis E**

Nachfolgend wird je Quellsituation in den Gebäuden A bis E vergleichend betrachtet. Dabei wird entsprechend der hier untersuchten Schadstoffgruppen zwischen den polychlorierten Biphenylen und den polychlorierten Dibenzofuranen unterschieden. Wie in der Tabelle II.3 (Kap.II.2.2) gezeigt wurde spielen polychlorierten Dibenzodioxine in den vorliegenden Quellen keine Rolle.

In den hier untersuchten Gebäuden konnten in Bezug auf die Gehalte an dioxinähnlichen PCBs 2 unterschiedliche Typen PCB-belasteter Deckenplatten vorgefunden werden. Zudem war eine der hier untersuchten Platten (Platte B I) aus dem Gebäude B nicht originär PCB-haltig. Bei den entsprechenden Gehalten dieser einen Deckenplatte (B I) handelt es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um Sekundärkontaminationen (vgl. Pkt. II.2-Quellsituation).

Die beiden unterschiedlichen Plattentypen unterscheiden sich de facto im Gehalt an coplanaren und mono-ortho-substituierten PCBs. Die Kongenerenverteilung ist jedoch vergleichbar. In 3 von 4 Gebäuden (A, B und C) sind Platten vergleichbaren Typs (Typ A) eingebaut. Davon unterschiedlich sind die Deckenplatten des Baus D (Typ B).

In den nachfolgenden Tabelle III.1 werden diese Unterschiede an Hand ausgewählter Beispiele dargestellt.

**Tabelle III. 1**

Dioxinähnliche PCBs in PCB-haltigen Deckenplatten

PCB-Kongener	Deckenplatte Typ A wie z.B. Bau C (Mittelwert)		Deckenplatte Typ B Bau D	
	Gehalt in mg/kg	Prozent. Anteil	Gehalt in mg/kg	Prozent. Anteil
105	345	5	140	5
118	2700	40	1210	44
126	< 50	< 1	< 10	< 1
156	1920	29	930	33
167	920	14	180	6
189	430	6	200	7
Summe (min.)	6670	100 %	2780	100 %

Für die „dioxin-ähnlichen PCBs ist festzustellen, dass die vorgelegten Ergebnisse zu den jeweiligen Gehalten nicht mit den Literaturangaben [7,8,10, vgl. auch Tab. I.2,I.3, I.5] übereinstimmen . Auch die aus der Literatur ableitbare Kongenerenverteilungen weicht

erheblich von den hier bestimmten Verteilungen ab. Dies gilt besonders für PCB 118 und PCB 126.

Die Kongenerenverteilung der Leitkongeneren aller PCB-belasteten Deckenplatten ist weitgehend ähnlich und entspricht einem Muster wie es für Clophen A 60 beschrieben ist [8,13] und auch in anderen Gebäuden mit PCB-belasteten Deckenplatten anzutreffen ist.

**Tabelle III. 2**

Prozentualer Anteil der in PCB-belasteten Deckenplatten gemessenen PCB-Leitkongenere mit den Literaturdaten.

PCB	PCB-Deckenplatten diese Arbeit	%-Anteil aus Mittelwert [eigene Daten]	Clophen A 50	Clophen A 60
28	< 1	< 0,1	< 1	< 1
52	1 – 2	1,6	20	1,5
101	11 – 14	14,9	36	14
153	30 – 38	30	26	31
138	21 - 37	30	16	34
180	20 – 22	24	1,5	21
	100 %	100 %	100 %	100 %

Bei den hier zur Beurteilung vorliegenden PCB-haltigen Deckenplatten handelt es sich somit um Produkte die einen Chlorierungsgrad von ca. 50 – 60 % aufweisen.

In den Innenräumen der Gebäude C und E sind entweder zusätzlich (Bau C) oder ausschließlich (Bau E) PCB-haltige Fugen vorhanden. Beide Fugentypen unterscheiden sich wesentlich.

**Tabelle III. 3**

PCBs in PCB-haltigem Fugenmaterial

PCB-KONGENER	FUGEN BAU C (MITTELWERT)		FUGEN BAU E (MITTELWERT)	
	Gehalt in mg/kg	Prozent. Anteil	Gehalt in mg/kg	Prozent. Anteil
77	40	< 1	1026	8
105	4560	27	4150	31
118	9905	58	6503	49
126	< 10	< 1	30	< 1
156	1015	6	380	3
167	265	2	85	< 1
189	45	< 1	< 50	< 1
Summe (min.)	17160	100 %	13170	100 %
28	200	< 1	2935	12
52	4300	11	11720	48
101	11.100	29	6160	25
153	11.000	28	1340	5
138	8800	22	2020	8
180	3600	9	395	1
Summe 6	39.000	100 %	24.500	100 %

Während die Fugen des Baus C einer PCB-Verteilung einer PCB-Mischung von Clophen A 50 mit A 60 entsprechen, weisen die Fugen des Baus E ein PCB-Muster wie Clophen A30/40 mit hohen Anteilen an leichter flüchtigen PCBs auf (PCB 28 Trichlorbiphenyl und PCB 52 Tetrachlorbiphenyl). Dies zeigt sich auch an den signifikant höheren Gehalten an PCB 77 (Tetrachlorbiphenyl).

In der nachfolgenden Tabelle III. 4 werden die Gehalte der relevanten polychlorierten Dibenzofurane in den vorliegenden Quellen zusammengefasst. Die entsprechenden Konzentration liegen um ca. den Faktor 1000 unter den Konzentrationen an coplanaren und mono-ortho-substituierten PCBs (Angabe in µg/kg). Die Tabelle berücksichtigt nicht das Ergebnis der Deckenplatte B I. Für diese Deckenplatte ist mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass es sich bei dieser Deckenplatte um eine im Zuge früherer Wartungsarbeiten ausgewechselten und damit nicht mehr primär mit PCB-belasteten deckenplatte handelt. Die entsprechenden Gehalte der Platte B I sind daher ein Maß für die Sekundärkontamination (vgl. Kap. II.2.2 Tab. II.3)

**Tabelle III. 4**

Gehalte ausgewählter polychlorierter Dibenzofurane in den Gebäuden A, C, D und E

PCDF-KONGENER	BAU A DP		BAU C DP		BAU D DP		BAU E FUGEN	
	Gehalt in µg/kg und prozentualer Anteil ( $\Sigma$ PCDF = 100 %)							
	Gehalt	Anteil	Gehalt	Anteil	Gehalt	Anteil	Gehalt	Anteil
<b>2,3,7,8- TCDF</b>	155	16	526	29	263	29	191	50
<b>2,3,4,7,8-PeCDF</b>	110	11	394	21	212	23	85	22
1,2,3,4,7,8 - HxCDF	167	17	412	23	208	23	51	13
<b>OCDF</b>	262	27	116	4	39	4	< 1	< 1
<b>Summe 2,3,7,8-PCDF</b>	986	100	1824	100	891	100	384	100
<b>Summe 2,3,7,8-PCDD/F</b>	1008		1824		891		390	

DP = Deckenplatte

Wie zu erwarten unterscheiden sich die Deckenplatten insgesamt deutlich von dem Fugenmaterial in Bezug auf Gehalte und Verteilung der Dibenzofurane. In Bezug auf die PCB-haltigen Deckenplatten ist ein Zusammenhang zwischen dem PCDF- und dem PCB - Kongenerenspektrum nur eingeschränkt erkennbar. Die beiden untersuchten Deckenplatten des Typs A (Bau A und C) weisen erhebliche Unterschiede auf. Die Ähnlichkeit der Deckenplatten C und D in Bezug auf die PCDD/F-Kongenerenverteilung lässt in Kombination mit den jeweiligen Konzentrationen (Konzentrationsunterschiede ca. Faktor 2 für „dioxin-ähnliche PCBs und PCDF) und den Kongenerenverteilungen an PCBs dieser beiden Proben einen Zusammenhang zwischen PCBs und PCDF erkennen. Wie zu erwarten unterscheiden sich die Furane in Clophen A 30-haltige Fugen deutlich von Clophen A 60-haltigen Deckenplatten



### **III.2 Coplanare und mono-ortho-substituierte PCBs sowie polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane in den Sekundärquellen (Stäuben) der Gebäuden A bis E**

Wie bereits eingangs ausgeführt stellen Stäube in PCB-belasteten Gebäuden eine wesentliche Sekundärquelle für PCBs dar. Es ist zudem anzunehmen, dass dies auch für die PCDDs bzw. PCDFs gilt. Nachfolgend werden die Gehalte an ausgewählten PCBs und PCDFs in den Hausstäuben sowie der mit hoher Wahrscheinlichkeit sekundärkontaminierten Deckenplatte B I des Baus B gegenübergestellt und in Bezug auf die prozentuale Verteilung verglichen.

Betrachtet man die Zusammenhänge im einzelnen so fällt unmittelbar auf, dass die PCB-Verteilung zwischen Quelle und Staub für alle 4 Gebäude (A bis D) deren Hauptquelle PCB-belastete Deckenplatten darstellen als weitgehend identisch angesehen werden kann. Deutlich erkennbar ist die unterschiedliche Quellenlage im Gebäude E (vg. Tab. III.6)

Für die Kongenerenverteilung der PCBs im Staub der Gebäuden A bis D zeigt sich, dass im Staub des Gebäudes D, dessen Quelle eine andere Kongenerenkonzentration in der Quelle aufweist, keine wesentlich andere Zusammensetzung (absolut und in Bezug auf die Kongenerenverteilung) des Mediums Staub erkennbar ist. Die Unterschiede im Quellentyp (Deckenplatten Typ A und B) lassen sich im Hausstaub nicht mehr erkennen. Dies wird deutlich, wenn man die entsprechende Verteilungen graphisch gegenüberstellt (vgl. Abb. 1).

Betrachtet man die Kongenerenverteilung in den Hausstäuben für ausgewählte polyhalogenierte Dibenzofurane so kann eine den PCBs vergleichbare ähnliche Kongenerenverteilung nicht erkannt werden. Dies gilt auch für die Beurteilung der PCDF-Belastung der Deckenplatte B I (vg. Tab. III.5). Deutlich wird dagegen die anders geartete Quellenlage des Gebäudes E

**Tabelle III. 5**

Ausgewählte PCDFs in Sekundärquellen der Gebäuden A bis E Vergleich der Gehalte sowie der prozentualen Kongenerenverteilung

PCDF-KONGENER	BAU A		BAU B		BAU B		BAU C		BAU D		BAU E	
	Hausstaub		Hausstaub		Decke B I		Hausstaub		Hausstaub		Hausstaub	
	µg/kg	%	µg/kg	%	µg/kg	%	µg/kg	%	µg/kg	%	µg/kg	%
2,3,4,7-TCDF	2,15	32	4,26	28	0,29	13	4,20	29	2,12	29	3,32	60
2,3,4,7,8-PeCDF	1,02	15	2,16	14	0,20	9	3,52	24	1,16	16	1,01	18
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,89	13	2,10	14	0,22	10	2,93	20	0,75	10	0,43	8
OCDF	1,03	15	4,06	27	0,83	37	0,82	6	1,26	18	0,08	1
Summe 2,3,7,8- subst. PCDF	6,6	100	15,0	100	2,19	100	14,4	100	7,2	100	5,5	100

**Tabelle III. 6**

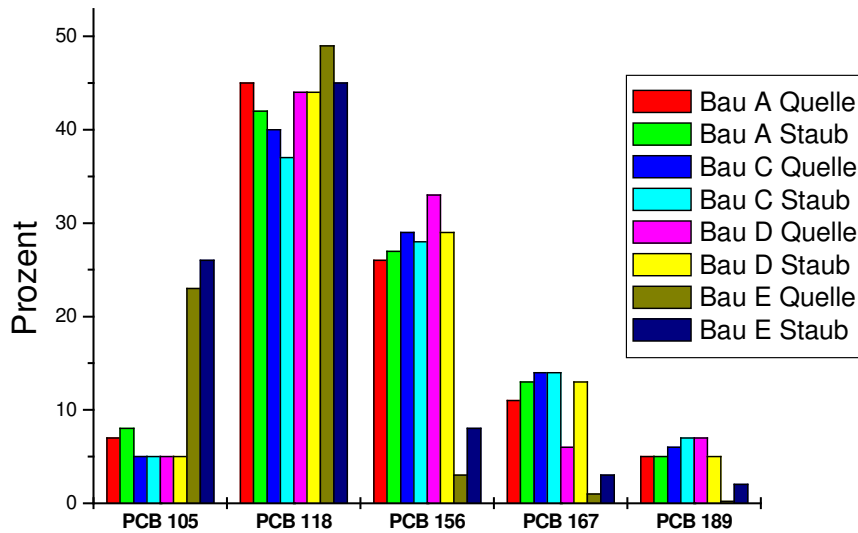
**Ausgewählte coplanare und mono-ortho-substituierte PCBs in Sekundärquellen der Gebäuden A bis E**

**Vergleich der Gehalte sowie der prozentualen Kongenerenverteilung**

PCB-KONGENER	BAU A		BAU B		BAU B		BAU C		BAU C		BAU D		BAU D		BAU E	
	Hausstaub		Hausstaub		Deckenplatte B I		Hausstaub A		Hausstaub B		Hausstaub A		Hausstaub B		Hausstaub	
	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%
dioxinähnliche																
105	1,19	8	1,4	8	0,7	9	2,0	5	2,6	6	0,84	5	0,57	5	1,14	26
118	6,09	42	6,8	40	3,2	42	14,1	37	16,2	38	6,61	44	4,84	42	1,94	45
156	3,99	27	5,0	29	1,8	23	10,9	28	12,7	30	4,6	29	3,23	29	0,36	8
167	1,84	13	2,2	13	1	13	5,3	14	6,2	14	2,25	13	1,49	14	0,14	3
189	0,71	5	0,95	6	0,2	3	2,8	7	3,2	7	0,8	5	0,54	5	0,07	2
Summe	14,6		17,2		7,7		38,2		42,8		15,7		11,1		4,31	
Leitkongenere																
153	44,9	30	41	29	30	40	124	40	136	38	38	35	29	34	2,25	9
180	27,3	20	14	10	20	36	67	21	94,1	26	27	25	21	24	3,0	12
Summe	117				149		1560		1801		541		429		24,9	

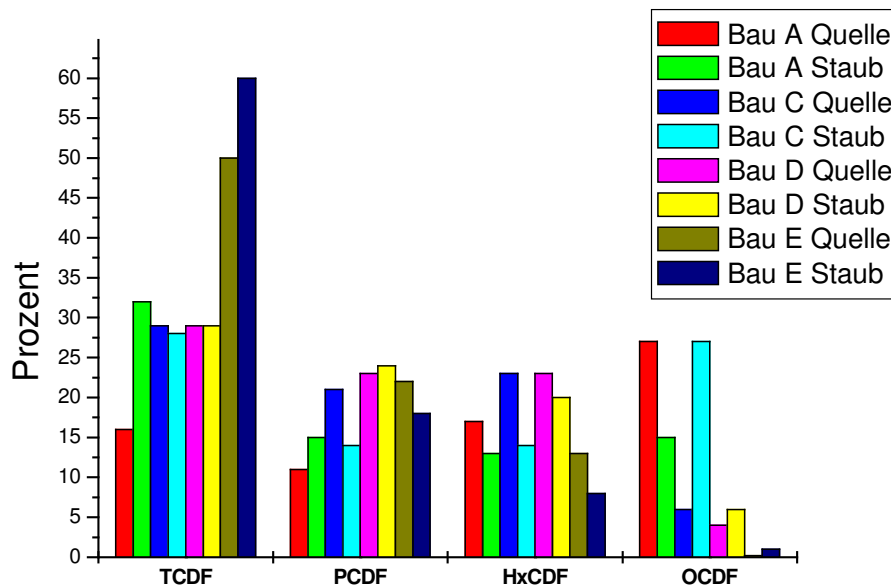
### Abbildung 1

Prozentuale Verteilung ausgewählter dioxinähnlicher PCBs in Quellen und Hausstäuben in den Gebäuden A, C, D und E



### Abbildung 2

Prozentuale Verteilung ausgewählter polychlorierter Dibenzofurane in Quellen und Hausstäuben in den Gebäuden A, C, D und E



Zusammenfassend zeigt sich, dass die Kongenerenverteilung zwischen Quelle und Hausstaub für die „dioxinähnlichen“ PCBs gut vergleichbar ist und die entsprechenden Hausstäube die Kongenerenverteilung in der Quelle gut widerspiegeln (vgl. Tab. III.1 und III.6). Die Kongenerenverteilung der polyhalogenierten Dibenzofurane zeigen keine den PCBs vergleichbare Übereinstimmung zwischen Quelle und Hausstaub. In zwei von 4 Gebäuden (A und E) kann für 2,3,7,8-TCDF und 2,3,4,7,8-PeCDF eine Anreicherung im Staub gesehen werden. Diese Anreicherungen ist jedoch für die Gebäude B und C nicht erkennbar (vgl. auch Abb. 2).

### **III.3 Coplanare und mono-ortho-substituierte PCBs sowie polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane in der Innenraumluft der Gebäuden A bis E**

Nachfolgend werden die vorliegenden Ergebnisse der Bestimmung der dioxinähnlichen PCBs und der PCDD/PCDF in der Innenraumluft der ausgewählten Gebäude bewertet und soweit möglich Zusammenhänge zu klimatischen und baulichen Randbedingungen abgeleitet.

#### **III.3.1 Coplanare und mono-ortho-substituierte PCBs in der Innenraumluft der Gebäuden A bis E**

##### **III.3.1.1 Genauigkeit der Bestimmung von dioxinähnlichen PCB's in Innenraumluft**

Voraussetzung zur Erkennung möglicher Einflussgrößen auf die Belastung der Innenraumluft durch wechselnde klimatische Bedingungen, bauliche Gegebenheiten und andersartige Quellenlage ist die Kenntnis über die Messgenauigkeiten unter vergleichbaren Bedingungen. Im Gebäude A stand eine vergleichsweise großer Raum (Raumvolumen 475,8 m<sup>3</sup>) zur Verfügung, in dem mehrere Innenraumluftprobenahmen zum gleichen Zeitpunkt durchgeführt werden konnten, ohne dass die Gefahr bestand durch die Probenahme den Luftwechsel in diesem Raum wesentlich zu beeinflussen.

In Übereinstimmung mit dem Umweltbundesamtes (UBA), dass ein thematisch ähnliches Projekt (PCB in Innenräumen Förderkennzeichen 203 61 218/04) [26 ] gefördert hat, wurde in diesem Innenraum eine Vergleichsmessung mit der „Gesellschaft für Schadstoffuntersuchung und Sanierungsbegleitung GfS Münster“ durchgeführt. Diese Parallelmessung (Probenahme zum gleichen Zeitpunkt im selben Raum- hier Ergebnisse

Raum A – Spalten A und B und Spalte G der nachfolgenden Tabelle III. 7) stellt zudem die Basis für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse dieses Projekts mit den Ergebnissen des UBA-Projekts dar.

**Tabelle III. 7**

Schwankungsbereich PCBs in Innenräumen am Beispiel von 4 Messungen  
in einem Raum (hier Bau A – Großraumbüro) – Winter 2003/2004

		Raum A Raum- mitte	Raum A Raum- mitte W	Raum A Innen- wand	Raum A Innen- wand W	MW	Std- Abw (abs)	UBA [26]
Durchschnittstemp. in °C		23,8		23,5				
PCB-Kongener	WHO - TEF	A*	B*	C	D	E	F	G*
		PCB in Raumluft in ng/m <sup>3</sup>						
77	0,0001	0,7	0,7	0,6	0,7	0,68	0,05	0,67
81	0,0001	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	< 0,01	0,035
<b>105</b>	0,0001	<b>2,5</b>	<b>2,4</b>	2,3	2,7	2,48	0,17	<b>1,93</b>
114	0,0005	0,1	0,1	0,08	0,07	0,09	0,02	0,09
<b>118</b>	0,0001	<b>14,2</b>	<b>13,6</b>	10,8	12,2	12,70	1,52	<b>17,00</b>
123	0,0001	0,7	0,6	0,56	0,6	0,62	0,06	0,037
<b>126</b>	<b>0,1</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	0,01	0,02	0,02	< 0,01	<b>0,020</b>
<b>156</b>	0,0005	<b>2,7</b>	<b>2,4</b>	2,6	2,7	2,60	0,14	<b>2,46</b>
157	0,0005	0,3	0,3	0,2	0,2	0,25	0,06	0,221
167	0,00001	1,1	1,1	0,9	0,9	1,00	0,11	1,34
169	0,01	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	- -	0,001
189	0,0001	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	- -	0,095
Summe (min.) ng/m <sup>3</sup>		22,4	21,4	18,2	20,2	20,55	1,81	23,89
Summe (max.) ng/m <sup>3</sup>		22,4	21,5	18,2	20,2	20,56	1,82	23,89
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		<b>5,2</b>	<b>5,5</b>	<b>4,2</b>	<b>4,9</b>	<b>4,9<sub>s</sub></b>	<b>0,56</b>	<b>5,4</b>
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		<b>5,2</b>	<b>5,6</b>	<b>4,2</b>	<b>5,0</b>	<b>5,00</b>	<b>0,59</b>	<b>5,4</b>
PCB-Leitkongenere								
28		29	38	28	36	32,8	5,0	40,0
52		65	67	60	65	64,3	3,0	73,3
101		71	76	64	65	69,0	5,6	82,0
153		61	60	50	52	55,8	5,6	59,9
138		39	42	32	23	30,8	6,7	40,6
180		11	10	9	8	9,5	1,3	11,1
Summe nach LAGA		1380	1465	1215	1239	1307	93	1535

\*Ergebnisse Spalten A und B sowie Spalte G Vergleichsmessung mit GfS (UBA)- Winter 2003/2004

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass der Gehalt an mono-ortho-substituierten und coplanaren PCBs in der Raumluft eines ausreichend großen Innenraums mit guter Genauigkeit und Vergleichbarkeit erfasst werden kann, wenn die baulichen und klimatischen Randbedingungen weitgehend vergleichbar sind. Betrachtet man den derzeit diskutierten Gefahrenwert für die Belastung der Innenraumluft durch die dioxinähnlichen PCBs von  $4,7 \text{ pg/m}^3$  so ist festzustellen, dass auch unter diesen Bedingungen eine Messwertreihe (hier Spalte C) diesen Wert scheinbar unterschreiten würde, während alle anderen Ergebnisse diesen Wert scheinbar überschreiten. Unter den üblichen Randbedingungen kann der Gehalt an dioxinähnlichen PCB's in diesem Raum mit  $5,0 \pm 0,6 \text{ pg WHO-TEQ/m}^3$  angegeben werden. Da der Mittelwert für die dioxinähnlichen PCB's in diesem Raum in der Nähe des Gefahrenwerts liegt kann davon ausgegangen werden, dass die Genauigkeit der Bestimmung der dioxinähnlichen PCB's bei Messwerten im Bereich dieses Gefahrenwertes mit  $4,7 \pm 0,6 \text{ pg WHO-TEQ/m}^3$  angegeben werden muss. Dies bedeutet, dass im Konzentrationsbereich zwischen  $4,1 \text{ pg WHO-TEQ/m}^3$  und  $5,3 \text{ pg WHO-TEQ/m}^3$  messtechnisch nicht entschieden werden kann, ob dieser Gefahrenwert über- oder unterschritten wird.

### **III.3.1.2 Abhängigkeit des Gehaltes an dioxinähnlichen PCBs in der Innenraumluft von Jahreszeit und baulichen Bedingungen**

In den nachfolgenden Tabelle III. 8 und III. 9 werden die Ergebnisse der Bestimmungen der dioxinähnlichen PCBs in Abhängigkeit verschiedener Randbedingungen dargestellt. Basis dieser Darstellung sind die Ergebnisse der Norm -Probenahmen (Probenahme nach VDI 4300 Bl. 2; Tabelle III.8 ) und die Ergebnisse der Messungen unter Nutzungsbedingungen (in der Regel 1 – 2 malige kurzzeitige Lüftung je Stunde Tabelle III.9).

**Tabelle III. 8**

Zusammenhänge baulicher und klimatischer Gegebenheiten mit den Gehalten dioxinähnlicher PCBs in der Innenraumluft PCB-belasteter Gebäude – Basis Norm-Probenahme (Probenahme nach VDI 4300 Bl. 2).

Bau	Zwangluftwechsel in 1/h	Durchschnitt. Raumtemp. in °C	Max. Raumtemp. in °C	Jahreszeit	Dioxinähnliche PCBs In pg WHO-TEQ/m <sup>3</sup>
Gebäude mit PCB-haltigen Deckenplatten Beladungsverhältnisse ca. 0,3/m					
A	0,3	23,6	25,8	Sommer	10,0
A	0,3	22,5	29,1	Winter	5,6
B	1,3	25,0	27,2	Sommer	13,6
B	1,3	23,0	25,5	Winter	8,1
D	0,8	21,8	23,6	Sommer	7,1
D	0,8	17,5	20,2	Winter	2,6
Gebäude mit PCB-haltigen Deckenplatten und PCB-haltigen Fugen (Clophen A 50/60) Beladungsverhältnis ca. 0,3/m					
C	0,5	25,1	38,1	Sommer	13,7
C	0,5	21,5	23,2	Winter	3,5
Gebäude mit PCB-haltigen Fugen (Clophen A 30)					
E	0,7	23,9	25,6	Sommer	2,4
E	0,7	18,9	22,4	Winter	1,0
Gebäude E – Leitkongenere (Summe nach LAGA)					
E	0,7	23,9	25,6	Sommer	6963
E	0,7	18,9	22,4	Winter	3925

### III.3.1.3 Abhängigkeit des Gehaltes an dioxinähnlichen PCBs in der Innenraumluft vom Lüftungsverhalten

In zeitlicher Nähe bzw. wo auf Grund des Raumangebots möglich wurde parallel zu den „Norm-Messungen“ in den Messräumen oder in baugleichen benachbarten Räumen die PCB-Gehalte unter so genannten Nutzungsbedingungen gemessen. Dabei wurde parallel zur Probenahme der CO<sub>2</sub>-Gehalt, die Raumtemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit registriert (vgl. Klimadaten im Anhang ). In der nachfolgenden Tabelle 9 werden die Gehalte der dioxinähnlichen PCBs in pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> unter diesen Nutzungsbedingungen wiedergegeben.



**Tabelle III. 9**

Zusammenhänge baulicher und klimatischer Gegebenheiten mit den Gehalten dioxinähnlicher PCBs in der Innenraumluft PCB-belasteter Gebäude – Basis Nutzungsbedingungen (Lüftung etwa 1 mal je Stunde kurzzeitig)

Bau	Durchschnitt. Raumtemp. in °C	Max. Raumtemp. in °C	Jahreszeit	Dioxinähnliche PCBs In pg WHO-TEQ/m <sup>3</sup>
Gebäude mit PCB-haltigen Deckenplatten Beladungsverhältnisse ca. 0,3/m				
A	25,3	25,5	Sommer	4,8
A	22,5	27,9	Winter	5,0
B	28,1	31,1	Sommer	9,2
B	24,5	27,9	Winter	5,8
D	26,0	30,9	Sommer	6,7
D	23,1	25,9	Winter	3,3
Gebäude mit PCB-haltigen Deckenplatten und PCB-haltigen Fugen (Clophen A 50/60) Beladungsverhältnis ca. 0,3/m				
C	28,2	30,9	Sommer	9,3
C	26,6	29,7	Winter	7,3
Gebäude mit PCB-haltigen Fugen (Clophen A 30)				
E	25,6	30,4	Sommer	1,3
E	23,7	30,7	Winter	1,2
Gebäude E – Leitkongenere (Summe nach LAGA)				
E	25,6	30,4	Sommer	4313
E	23,7	30,7	Winter	1054

Die Ergebnisse der Tabelle III.8 belegen, dass die Dichtigkeit der Gebäudehülle, hier abgebildet über die Luftwechselzahl bei gleicher Quellensituation de facto keine entscheidende Rolle spielt. Charakteristisch ist auch die unter Norm-Bedingungen höhere Belastung der Innenraumluft in den Sommermonaten im Vergleich zu den Gehalten in den Wintermonaten. Dies zeigt, dass die Lüftung im Vergleich zur Temperaturbelastung eine nachgeordnete Rolle spielt. Unter Nutzungsbedingungen sinken die Gehalte an dioxinähnlichen PCBs in der Regel um etwa 10 bis 40 % im Vergleich zu Norm-Messungen. In Abhängigkeit von der Raumtemperatur können unter Nutzungsbedingungen vereinzelt sogar höhere Gehalte als unter Norm-Bedingungen gemessen werden (vgl. Tabelle III. 8 und III. 9 Bau C und D – Winter)

Dieser geringe Einfluss des Lüftungsverhaltens wird nach unserer Ansicht belegt durch Messungen der PCB-Belastung in Räumen in denen kontrolliert Stoßlüftung (Türen und Fenster jeweils voll geöffnet) jeweils zwischen 2 und 4 min. je Stunde über einen Arbeitstag durchgeführt wurde. In der Tabelle III.10 sind die Ergebnisse für ausgewählte dioxinähnliche PCBs sowie die Leitkongeneren in Büroräumen des Gebäudes A unter diesen Bedingungen wiedergegeben. Die dabei durchgeführten Lüftungsmaßnahmen gehen weit über Lüftung hinaus, die unter so genannten „Nutzungsbedingungen“ von den Nutzern der jeweiligen Gebäude eigenverantwortlich durchgeführt wurden (vgl. dazu Anhang 2 – Klimadaten-Nutzungsbedingungen „real-case-Messungen“). Betrachtet man den Gehalt an CO<sub>2</sub> in der Raumluft, die Raumtemperatur und die relative Luftfeuchte in den Messräumen so fällt auf, dass im Durchschnitt unter Nutzungsbedingungen nur einmal pro Stunde kurzfristig gelüftet wurde. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt fällt in keinem der Innenräume unter Nutzungsbedingungen auf Außenluftgehalte am Ende der Lüftungsmaßnahmen ab. Erst im Laufe des Abends nach Ende der Nutzungsphase nimmt der CO<sub>2</sub>-Gehalt in allen Messräumen deutlich ab und erreicht Außenluftniveau. Während dieser Zeiten wurde jedoch keine Probenahme durchgeführt (vgl. Einleitung - Probenahmebedingungen).

**Tabelle III. 10**

Wirksamkeit von Stoßlüftung (stündlich je drei Minuten ) – Gehalte an ausgewählten dioxinähnlichen PCBs sowie ausgewählter Leitkongenere in zwei Büroräumen (Gebäude A).

MESSRAUM		BÜRO I	BÜRO II	BÜRO II
		Stoßlüftung 2 – 4 min. je Stunde		„Norm“
		Sommer		Sommer
	Temp. in °C	18,2 – 29,4 Ø 25,2		22 – 25,5 Ø 23,6
PCB-Kongener	WHO - TEF			
77	0,0001	1,3	1,3	0,6
105	0,0001	3,1	2,4	5,2
118	0,0001	14,6	10,1	28,9
123	0,0001	0,8	0,8	1,3
126	0,1	< 0,01	< 0,01	0,03
156	0,0005	3,6	2,3	7,3
157	0,0005	0,3	0,3	0,7
167	0,00001	1,3	0,9	2,4
Summe (min.) ng/m <sup>3</sup>		25,5	18,4	46,9
Summe (max.) ng/m <sup>3</sup>		25,5	18,4	46,9
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		4,1	2,9	10,3 <sub>5</sub>
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		5,1	4,0	10,4 <sub>5</sub>
PCB-Leitkongenere				
101		48	42	101
153		46	29	129
138		46	30	77
180		11	7	18
Summe		219	167	443
Summe nach LAGA		1095	835	2215

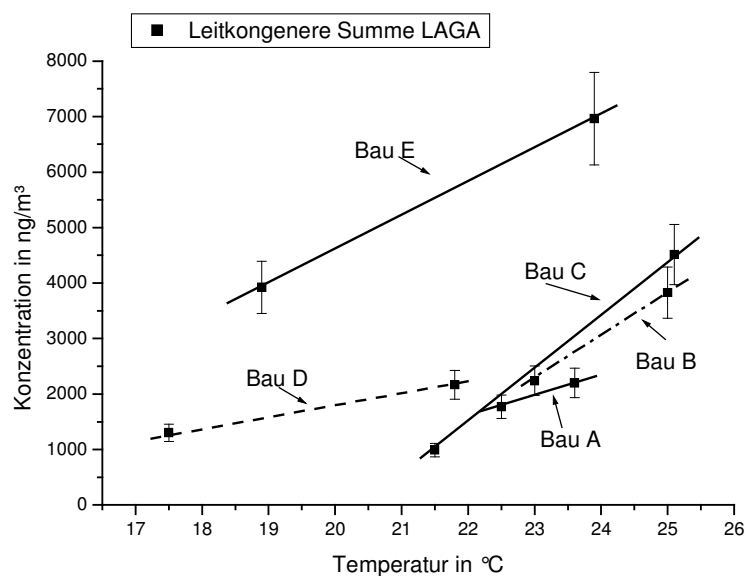
Diese mit einem optimierten Lüftungsverhalten erhaltenen Ergebnisse bestätigen den Eindruck, dass die Dichtigkeit der Gebäudehülle nur zu einem geringen Anteil zu den Schwankungen der Gehalte an Leitkongenere und dioxinähnlichen PCB's in der Innenraumlufte beiträgt. Selbst unter Bedingungen von Stoßlüftung sinkt die Konzentration an PCBs in der Innenraumlufte nur auf etwa 40 % des Gehaltes unter Norm-Bedingungen.

### III.3.1.4 Abhängigkeit des Gehaltes an dioxinähnlichen PCBs in der Innenraumluft von der Raumtemperatur

Aus den Tabellen III. 8 bis III. 10 ist eindeutig ableitbar, dass die Temperatur des Innenraums wesentlichen Einfluss auf die Gehalte an dioxinähnlichen PCBs hat. In den nachfolgenden Abbildungen 3 bis 5 wird diese Temperaturabhängigkeit sowohl für die Leitkongenere als auch für die dioxinähnlichen PCBs dargestellt.

#### Abbildung 3

Temperaturabhängigkeit der Gehalte an Leitkongeneren in der Innenraumluft der Gebäude A bis D; PCB Leitkongenere  $\Sigma$  LAGA – Temperaturabhängigkeit unter Norm-Bedingungen; alle Gebäude



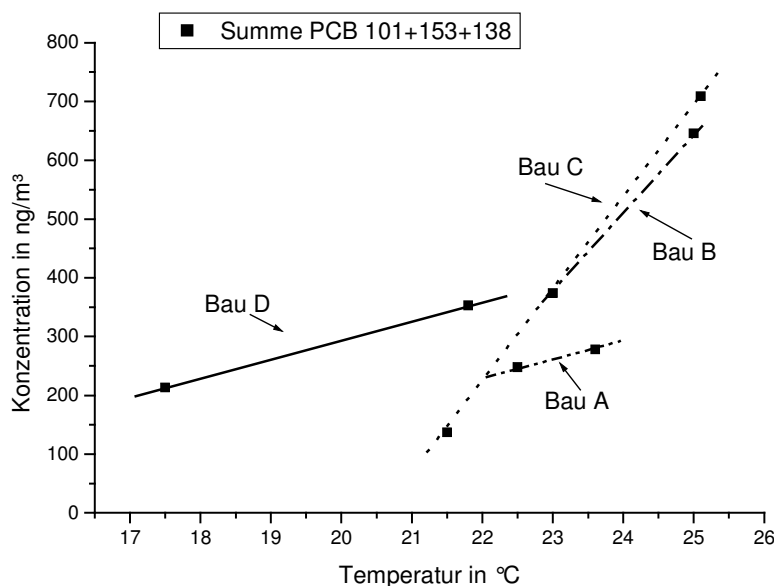
Diese Darstellung zeigt, dass Temperaturabhängigkeit der Gehalte an PCB-Leitkongenere für die Gebäude Bau B und C sich von der Temperaturabhängigkeit der Gebäude A und D unterscheidet. Die beiden Messräume der Gebäude B und C sind direkt nach Süden ausgerichtet, so dass hier unter entsprechenden Witterungsbedingungen über lange Zeit unmittelbare Sonneneinstrahlung gegeben ist. Im Gebäude C ist zusätzlich als bauliche Besonderheit im Sommer eine unmittelbare Sonneneinstrahlung auf PCB-belastete Bauteile –

hier Fugen im Bereich der Fensterbrüstung gegeben. Dies führt nach unserer Ansicht zu der vergleichsweise deutlicheren Erhöhung der PCB-Belastung im Sommer in diesem Gebäude. Die Abbildung 3 zeigt auch, die andersgeartete Quellsituation im Gebäude E (PCB-belastete Fugen PCB-Muster entsprechend Clophen A30/40). Im Durchschnitt bestätigen die vorliegenden Daten die Faustregel, nach der im allgemeinen eine Erhöhung der Temperatur um 5 °C in etwa zu einer Verdoppelung der PCB-Gesamtgehalte (Leitkongenere) führt.

Die angesprochenen baulichen Unterschiede der Gebäude A und D einerseits und der Gebäude B und C andererseits werden deutlicher, wenn nicht die Summe PCBs nach LAGA sondern nur die Summen der schwerer flüchtigen PCBs 101, 153 und 138 betrachtet werden.

#### Abbildung 4

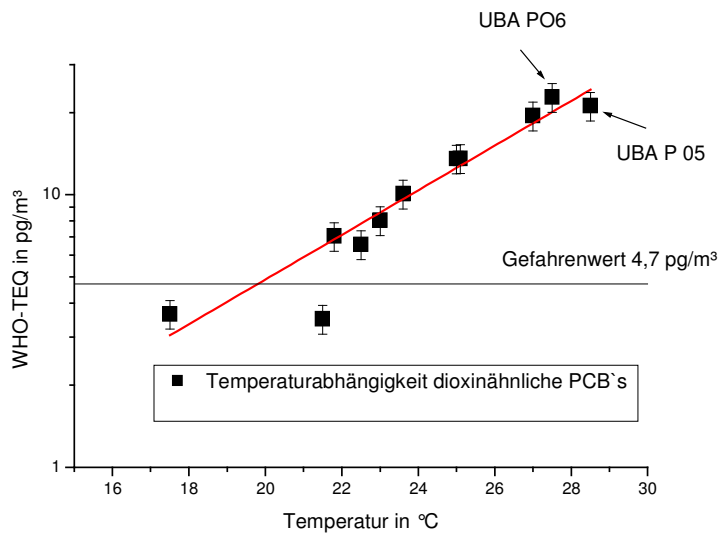
Abhängigkeit der PCB-Belastung der Innenraumluft von der Innenraumtemperatur am Beispiel der schwerer flüchtigen PCBs (Angabe als Summe PCB 101+153+138)



In der nachfolgenden Abbildung 6 ist die Temperaturabhängigkeit der Gehalte der dioxinähnlichen PCB's als WHO-TEQ in pg/m³ für die Gebäude A bis D dargestellt. Die Graphik enthält zusätzlich zwei Ergebnisse aus dem UBA-Projekt [26] aus vergleichbaren Gebäuden (Quelle: PCB-belastete Deckenplatten), die bei höheren Innenraumtemperaturen (> 27,5 °C) erhalten wurden.

## Abbildung 5

Temperaturabhängigkeit (Durchschnittstemperatur) der Gehalte an dioxinähnlichen PCBs in Gebäuden mit vollflächig verlegten PCB-haltigen Deckenplatten unter Norm-Bedingungen.

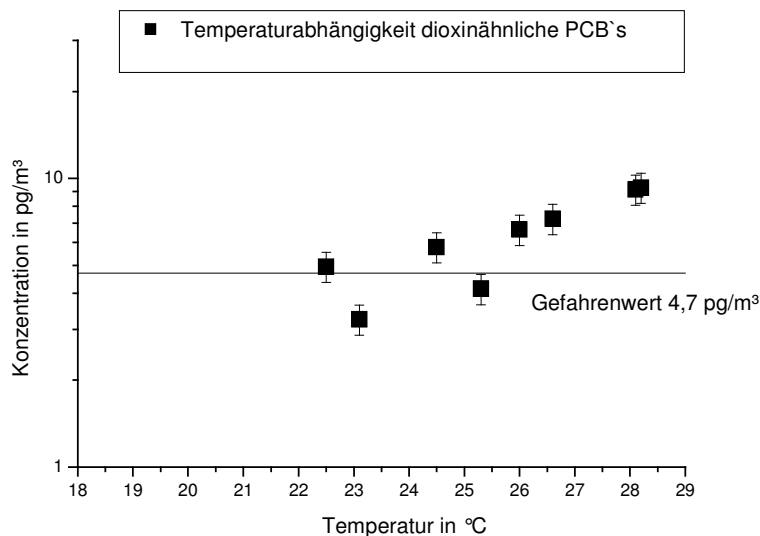


Im Gegensatz zur Temperaturabhängigkeit der Leitkongeneren ist die Temperaturabhängigkeit der dioxinähnlichen PCB's (berechnet als WHO-TEQ) deutlich weniger von baulichen Besonderheiten abhängig. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Untersuchungen der Stäube aus diesen Gebäuden. Für die Gehalte der dioxinähnlichen PCB's in der Innenraumluft führt eine Temperaturerhöhung von 5 °C in etwa zu etwa 3-fach höheren Werten.

Nachfolgend (Abb. 6) wird die Abhängigkeit der Gehalte an dioxinähnlichen PCB's unter Nutzungsbedingungen dargestellt.

## Abbildung 6

Temperaturabhängigkeit (Durchschnittstemperatur) der Gehalte an dioxinähnlichen PCBs in Gebäuden mit vollflächig verlegten PCB-haltigen Deckenplatten unter „Nutzungsbedingungen“.



Wie zu erwarten, werden unter Nutzungsbedingungen die unter Norm-Bedingungen messbaren Spitzenbelastungen reduziert. Die Beobachtungen des Lüftungsverhaltens unter Nutzungsbedingungen zeigen, dass im Sommer mehr gelüftet wird als im Winter (vgl. Klimadaten bzw. CO<sub>2</sub>-Gehalte zu den jeweiligen Gebäuden im Anhang). Unter Nutzungsbedingungen ist generell mit höheren Temperaturen zu rechnen (MW aller Temperaturen Norm 22,1 °C; Mittelwert Nutzung 25,2 °C), die eigentlich zu einer deutlichen Erhöhung der Belastung durch dioxinähnliche PCB's führen müsste. Parallel dazu wird jedoch ein partieller Luftaustausch durchgeführt, der im Winter im Regelfall geringer ist als im Sommer. Wird die Lüftung reduziert so kann, wie Ergebnisse des Baus D zeigen, unter Nutzungsbedingungen eine höhere Belastungen der dioxinähnlichen PCB's wie unter Norm-Bedingungen gemessen werden (vgl. Tab. III. 8 und III.9). Insgesamt werden die Belastungen an dioxinähnlichen PCB's unter Nutzungsbedingungen jedoch vergleichmäßig.

Es bleibt festzuhalten, dass die in den Gebäuden gemessenen Raumtemperaturen die Norm-Innentemperaturen für allgemeine Unterrichtsräume und Verwaltungsräume von 20 °C

deutlich überschreiten (vgl. DIN 4701 T 2). Legt man die Temperaturabhängigkeit unter Norm- und Nutzungsbedingungen zu Grunde und zieht die Normtemperatur (20 °C) als Beurteilungsbasis heran, so kann für Gebäude mit vollflächig verlegten PCB-belasteten Deckenplatten ein Gehalt an dioxinähnlichen PCB's zwischen 5,0 (Norm) und 3,5 (Nutzung) pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> abgeleitet werden. Da in der Praxis jedoch höhere Raumtemperaturen (im Schnitt 22 – 24 °C) auftreten ist auch unter Nutzungsbedingungen im Durchschnitt für derartige Gebäude ein Belastung an dioxinähnlichen PCB's von ca. 5 pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> auszugehen. Dabei wird die Temperaturerhöhung zu einem nicht unerheblichen Teil durch die baulichen Randbedingungen (hier vor allem Sonneneinstrahlung in die Innenräume bei entsprechender Lage im Gebäude) verursacht.

### **III.3.1.5 Gebäude E mit PCB-belasteten Fugen**

Das Gebäude E weist nur PCB-belastete Fugen mit einem PCB-Muster entsprechend Clophen A 30/40 auf. Das Beladungsverhältnis (Fläche PCB-belasteter Bauteile zu Raumvolumen) in den Innenräumen dieses Gebäudes liegt mit 0,0003 m<sup>-1</sup> um den Faktor 1000 unter den Beladungsverhältnissen in Gebäuden mit PCB-haltigen Deckenplatten.

Die Gehalte an coplanaren und mono-ortho-substituierten PCB's in der Innenraumluft liegen auch unter „worst-case-Bedingungen“ im Sommer bei PCB-Gesamtbelastungen von 7000 ng/m<sup>3</sup> mit ca. 2,4 pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> deutlich unter den Belastungen an dioxinähnlichen PCB's in Gebäuden mit großflächigen Clophen A-60 Quellen, in denen zwangsläufig ein hohes Beladungsverhältnis im Innenraum gegeben ist (Beladungsverhältnis ca. 0,3).

## **III. 4 Korrelation der Gesamtgehalte an dioxinähnlichen PCBs in WHO-TEQ mit Leitkongeneren und PCB 118**

### **III.4.1 Korrelation mit dem PCB-Gesamtgehalt nach LAGA**

Kohler et. al [19] haben für Gebäude mit PCB-haltigen Fugen eine Korrelation zwischen dem PCB-Gesamtgehalt (Summe Leitkongenere x 5) und den Gehalten dioxinähnlichen PCB's ermittelt. Die dabei ermittelten Korrelationsfaktoren schwanken zwischen 0,28 und 1,3 pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> je 1000 ng PCB- Gesamtbelastung der Innenraumluft.



Für den hier zu Vergleichszwecken untersuchten Bau E lassen sich die in der nachfolgenden Tabelle III. 11 dargestellten Korrelationen zwischen Leitkongeneren und dioxinähnlichen PCB's errechnen.

**Tabelle III. 11**

Zusammenhang von PCB-Gesamtgehalt mit dem Gehalt an dioxinähnlichen PCB's in der Raumluft des Gebäudes E

	Worst-case-Bedingungen		Nutzungsbedingungen	
	Sommer	Winter	Sommer	Winter
PCB-Gesamt	6963	3925	4313	2885
Coplanare PCBs in pg WHO-TEQ/m <sup>3</sup> (min.)	2,4	1,0	1,3	1,2
WHO-TEQ/m <sup>3</sup> pro 1000 ng Gesamt PCB	0,34	0,25	0,30	0,42

Im Mittel kann für das Gebäude E ein Korrelationsfaktor von 0,33 pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> je 1000 ng Gesamt-PCB ermittelt werden, der im Rahmen der von Kohler et. al [19] gefundenen Korrelationen liegt. Für die Gebäude mit PCB-haltigen Deckenplatten können die in der nachfolgenden Tabelle III. 12 dargestellten Korrelationen zwischen PCB-Gesamtgehalt und Gehalten an dioxinähnlichen PCB's in WHO-TEQ errechnet werden.

**Tabelle III. 12**

Zusammenhang von PCB-Gesamtgehalt mit dem Gehalt an dioxinähnlichen PCB's in der Raumluft der Gebäudes A bis D

Bau	PCB-Gesamt	Coplanare PCB's in pg WHO-TEQ/m <sup>3</sup>	pg WHO-TEQ pro 1000 ng Gesamt PCB
A Sommer	2190	10,0	4,6
A Winter	1730	5,6	3,2
B Sommer	3827	13,6	3,6
B Winter	2240	8,1	3,6
C Sommer	4514	13,7	3,0
C Winter	990	3,5	3,5
D Sommer	2166	7,1	3,3
D Winter	1303	2,6	2,0

Im Mittel kann ein Korrelationsfaktor von ca. 3,5 pg ± 0,5 WHO-TEQ je 1000 ng Gesamt-PCB für Gebäude mit PCB - belasteten Deckenplatten ermittelt werden.

Errechnet man die entsprechenden Gesamtgehalte an WHO-TEQ aus den PCB-Gesamtgehalten mit dem hier ermittelten Korrelationsfaktor von 3,5 pg WHO-TEQ je 1000 ng Gesamt-PCB für die Innenräume P 05, P 06, P 08, P 09, P 10 und P 11 so ergibt sich dass in der nachfolgenden Tabelle III.13 dargestellten Ergebnisse.

**Tabelle III. 13**

Berechnung des Gesamtgehaltes an dioxinähnlichen PCB's aus den PCB-Gesamtgehalten (Faktor 3,5 pg/m<sup>3</sup> je 1000 ng/m<sup>3</sup> Gesamt-PCB nach LAGA). Vergleich mit den jeweiligen Messwerten [26 ]

Raum	PCB-Gesamt in ng/m <sup>3</sup>	WHO-TEQ in pg/m <sup>3</sup> berechnet	WHO-TEQ in pg/m <sup>3</sup> Meßergebnis	Abweichung des Rechenwerts in %
Ergebnisse dieser Arbeit				
A	2190	7,7	10,0	- 30
A	1730	6,1	5,6	+ 10
B	3827	13,4	13,6	+/- 0
B	2240	7,8	8,1	- 5
C	4514	15,8	13,7	+ 15
C	990	3,5	3,5	+/- 0
D	2166	7,6	7,1	+ 10
D	1303	4,6	2,6	+ 75
Ergebnisse UBA				
P 05	5850	20,5	19,5	+ 5
P 08	2080	7,3	4,2	+ 40
P 09	1600	5,6	4,9	+ 10
P 06	7510	26,3	21,2	+ 20
P 10	8660	30,3	22,8	+ 25
P 11	7480	26,2	17,9	+ 30

Die hohen Gehalte an Gesamt - PCB in den Räumen P 06, P10 und P 11 deuten auf zusätzliche Quellen (z.B. Fugen) in diesen Räumen mit PCB-haltigen Deckenplatten, so dass

diese Gebäude nur mit Einschränkungen zum Vergleich geeignet sind. Trotzdem ist zumindest in der Tendenz eine brauchbare Übereinstimmung der Rechenwerte mit den Messergebnissen festzustellen.

### III.4.2 Korrelation mit dem Gehalt an PCB 118 in der Raumluf

Alle vorliegenden Ergebnisse belegen, dass PCB 118 in allen Innenräumen den Hauptanteil an den in der Raumluf vorliegenden PCB's darstellen. Die dabei auftretenden Konzentrationen liegen im Bereich von > 15 bis ca. 70 ng/m<sup>3</sup>. Diese Konzentrationen sind in vielen Fällen den Konzentrationen verschiedener PCB-Leitkongenere vergleichbar (z.B. PCB 138 oder PCB 180). Dies würde bedeuten, dass die zusätzliche Bestimmung von PCB 118 zu den übrigen Leitkongeneren prinzipiell ohne zusätzlichen Aufwand möglich ist. Das Ziel wäre eine verlässliche Abschätzung des Gehaltes an dioxinähnlichen PCBs in WHO-TEQ aus den Ergebnissen der Bestimmung von PCB 118 zu ermöglichen. In der nachfolgenden Tabelle III.14 sind die entsprechenden Korrelationsfaktoren die sich aus der vorliegenden Arbeit ableiten lassen dargestellt.

**Tabelle III. 14**

Zusammenhang von PCB- 118 mit dem Gehalt an dioxinähnlichen PCB's in der Raumluf des Gebäudes A bis D

Bau	PCB-118	Coplanare PCB's in pg WHO-TEQ/m <sup>3</sup>	Faktor PCB 118/ WHO-TEQ
A Sommer	38,2	10,0	3,8
A Winter	17,2	5,6	3,1
B Sommer	64,1	13,6	4,7
B Winter	41,3	8,1	5,1
C Sommer	66,6	13,7	4,9
C Winter	18,8	3,5	5,4
D Sommer	37,1	7,1	5,2
D Winter	13,4	2,6	5,1
Mittelwert / Standardabweichung			4,7 ± 0,8

Im Durchschnitt entspräche 10 ng PCB 118 je m<sup>3</sup> einer Gesamtbelastung von 2,13 pg WHO-TEQ je m<sup>3</sup>.

Nimmt man diese Faktoren als Basis für die Berechnung der Gesamtbelastung an dioxinähnlichen PCB's in der Raumlufte aus den Ergebnisse PCB 118 so ergeben sich die in der Tabelle III. 15 dargestellten Ergebnisse für die Belastung der Raumlufte mit „dioxinähnlichen“ PCBs. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren würde die Gesamtgehalte an dioxinähnlichen PCB's berechnet aus den jeweiligen Gehalten an PCB 118 in zwei von achten Fällen unterschätzt. Nimmt man die Daten für Gebäude mit PCB-haltigen Deckenplatten aus dem UBA-Projekt [26] hinzu, so würden die hier ermittelten Faktoren die entsprechenden Gehalte in diesen Innenräumen teilweise erheblich überschätzen. Insgesamt erscheint jedoch die Korrelation zwischen PCB 118 und den WHO-TEQ's nicht wesentlich genauer als die Korrelation zwischen den PCB-Gesamtgehalten (nach LAGA) und den WHO-TEQ's, wenn zusätzlich berücksichtigt wird, dass dies nur unter dem besonderen baulichen Aspekt von PCB-haltigen Deckenplatten gültig ist.

**Tabelle III. 15**

Berechnung des Gesamtgehaltes an dioxinähnlichen PCB's aus den Gehalten an PCB 118 und Vergleich mit den jeweiligen Messwerten

Dioxinähnliche PCB's in pg WHO-TEQ/m <sup>3</sup>		
Messwert	Rechenwert	Abweichung des Rechenwerts in %
diese Arbeit Norm - Bedingungen	F = 4,7	
10,0	8	- 20
5,6	3,7	- 40
13,6	13,6	+/- 0
8,1	8,8	+ 10
13,7	14,1	+ 5
3,5	4,0	+ 15
7,1	7,9	+ 10
2,6	2,9	+ 10
UBA – Norm-Bedingungen		
19,5	18,7	- 5
21,2	20,1	- 5
4,2	5,0	+ 20
4,9	5,0	+/- 0
22,8	25,6	+ 15
17,9	18,8	+ 5

### III.4.3 Korrelationen zwischen ausgewählten Leitkongeneren (Summe PCB 101, 138, 153 und 180) mit dioxinähnlichen PCBs

Von Heinzow et. al [27] wurde vorgeschlagen die Belastung an dioxinähnlichen PCB's entsprechend der nachfolgenden Formel aus den Konzentrationen an ausgewählten Leitkongeneren zu berechnen.

$$\text{WHO-TEQ PCB [pg/m}^3\text{]} = 0,021 \times (\text{PCB 101} + 138 + 153 + 180) - 0,042 \text{ [ng/m}^3\text{]}$$

In der nachfolgenden Tabelle III. 16 werden die WHO-TEQ (gemessen) mit den so berechneten WHO-TEQ's verglichen.

**Tabelle III. 16**

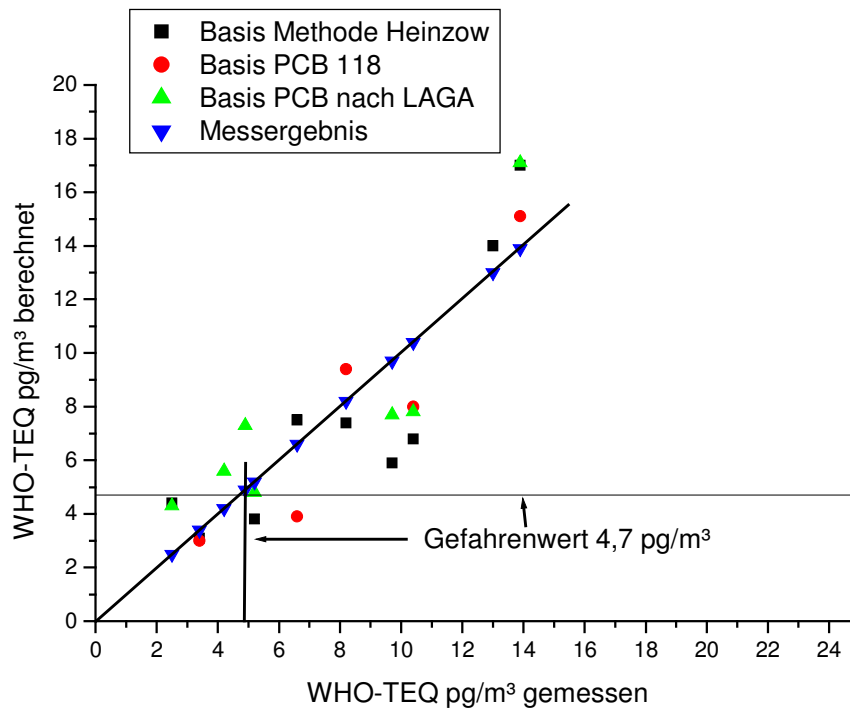
Korrelation WHO-TEQ PCBs mit der korrigierten Summe von PCB 101 bis 180

Bau	Jahreszeit	$\Sigma$ PCB 101 – 180 in ng/m <sup>3</sup>	WHO-TEQ berechnet in pg/m <sup>3</sup>	WHO-TEQ gemessen in pg/m <sup>3</sup>	Abweichung des Rechenwerts in %
Gebäude mit PCB-Deckenplatten (Clophen A 60) Beladungsverhältnis 0,3 m <sup>-1</sup>					
A	Winter	255	5,3	5,6	- 5
A	Sommer	281	5,9	10,0	- 65
B	Winter	395	8,3	8,1	+/- 0
B	Sommer	681	14,2	13,6	+ 5
C	Winter	206	4,3	3,5	+ 20
C	Sommer	743	15,6	13,7	+ 15
D	Winter	225	4,7	2,5	+ 90
D	Sommer	368	7,7	7,1	+ 10
Gebäude mit PCB-Fugen (Clophen A 30/40) Beladungsverhältnis < 0,01 m <sup>-1</sup>					
E	Winter	35	0,7	1,0	- 30
E	Sommer	61	1,2	2,4	- 100

Stellt man diese Ergebnisse graphisch dar so kann, wie die Abbildung 7 zeigt eine, für eine orientierende Abschätzung brauchbare Korrelation zwischen den Messergebnissen und den Rechenwerten gesehen werden.

## Abbildung 7

Korrelation von dioxinähnlichen PCB's in WHO-TEQ mit PCB-Gesamt, PCB 118 und Summe PCB 101 bis 180 nach Heinzow [27]



Die Abbildung 7 zeigt, wie schon aus den Tabellen III. 13 – III. 16 ableitbar, dass besonders im Bereich des diskutierten Gefahrenwerts von 4,7  $\text{pg WHO-TEQ/m}^3$  alle hier betrachteten Korrelationen die messbaren Gehalte an dioxinähnlichen PCBs zwar in der Tendenz richtig widerspiegeln, jedoch besonders im Bereich des diskutierten Gefahrenwerts große Ungenauigkeiten aufweisen. Unter Berücksichtigung einer möglichen Gefährdung sollte eine Unterschätzung der tatsächlichen Gefährdung nach unserer Ansicht zu vermieden werden.

Betrachtet man die Zusammenhänge im Detail so fällt auf, dass die Berechnung der Belastung an dioxinähnlichen PCB's in WHO-TEQ über die Formel von Heinzow et. al zu vergleichsweise höheren Abweichungen (- 65 % bis + 90 %) der tatsächlichen Belastung führen. Die Abschätzung über den PCB-Gesamtgehalt (nach LAGA) entsprechend dem

Faktor 3,5 pg je m<sup>3</sup> pro 1000 ng Gesamt - PCB (nach LAGA) führt im Durchschnitt zu geringeren Abweichungen ( - 30 bis + 75 %) vom Messwert und zeichnet sich im Durchschnitt durch eine Überschätzung der Belastungssituation aus. Die beste Übereinstimmung für eine orientierende Abschätzung der Gesamtbelastung in WHO-TEQ kann aus der Korrelation mit PCB 118 abgeleitet werden (-40 bis + 20 %) . Im Durchschnitt entspräche damit eine Belastung von 10 ng PCB 118 je m<sup>3</sup> einer Gesamtbelastung von 2,13 pg WHO-TEQ je m<sup>3</sup>.

Insgesamt ist festzuhalten, dass weder die Korrelation mit PCB 118 noch die Korrelation nach Heinzow für Gebäude mit der hier untersuchten Quellenlage zu einer wesentlichen Verbesserung der Beurteilungssicherheit im Vergleich zur Korrelation mit dem PCB-Gesamtgehalt führen. Für Gebäude mit PCB-haltigen Schallschutzdeckenplatten bildet unserer Ansicht der hier ermittelte Korrelationsfaktor von 3,5 pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> je 1000 ng Leitkongenere (nach LAGA) pro m<sup>3</sup> eine im Rahmen der Genauigkeiten ausreichende Grundlage um die Belastung an dioxinähnlichen PCB's aus der Messung der Leitkongenere unter den hier betrachteten baulichen Gegebenheiten (PCB-haltige Schallschutzdeckenplatten als wesentliche Quelle) aus vorliegenden älteren Messergebnissen abschätzen zu können.

### **III.5 Dioxinähnliche PCB's in der Innenraumluft – Kriterien zur Beurteilung von Messwerten**

Zur Ermittlung einer durchschnittlichen Belastung eines Gebäudes oder Gebäudeabschnitts mit coplanaren und mono-ortho-substituierten PCBs sind nach unser Ansicht weitergehende Betrachtungen zur Messgenauigkeit erforderlich.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Gebäude A bis D nochmals zusammengefasst dargestellt und die Schwankungsbreite der Ergebnisse gesondert gewichtet. Im Punkt III. 3.1 Tab. III. 8 sind die Ergebnisse von 4 Messungen sowie einer Vergleichsmessung in einem Innenraum unter weitgehend vergleichbaren Bedingungen wiedergegeben. Dabei kann gezeigt werden, dass die Genauigkeit der Bestimmung der dioxinähnlichen PCB's in diesem Raum (bei vergleichbaren klimatischen Bedingungen) zu  $5,0 \pm 0,6$  pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> ( n= 4 , bzw. n= 5) ermittelt werden kann.

In den nachfolgenden Tabellen III. 16 und III. 17 werden die Ergebnisse in allen Innenräume der Gebäude A bis D unter Norm- und Nutzungsbedingungen unter Berücksichtigung der Schwankungsbreiten zusammengefasst dargestellt.

**Tabelle III. 17**

Ergebnisübersicht – Dioxinähnliche PCBs in pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> Ergebnisse der Messungen unter Norm - Bedingungen in den Gebäuden A bis D

	Sommer				Winter			
	Bau A	Bau B	Bau C	Bau D	Bau A	Bau B	Bau C	Bau D
Mittelwert in pg/m <sup>3</sup>	10,0	13,6	13,7	7,1	5,6	8,1	3,5	2,6
St.Abw. (abs.)	0,6	0,8	0,6	0,6	1,1	0,6	0,6	0,6
	Varianz bei 1 s							
Untergrenze	9,4	12,8	13,1	6,5	4,5	7,5	2,9	2,1
Obergrenze	10,6	14,4	14,3	7,7	6,7	8,7	4,1	3,3
	Varianz bei 2 s							
Untergrenze	8,8	12,0	12,5	5,9	3,4	6,9	2,3	1,4
Obergrenze	11,2	15,2	14,9	8,3	7,8	9,3	4,7	3,8

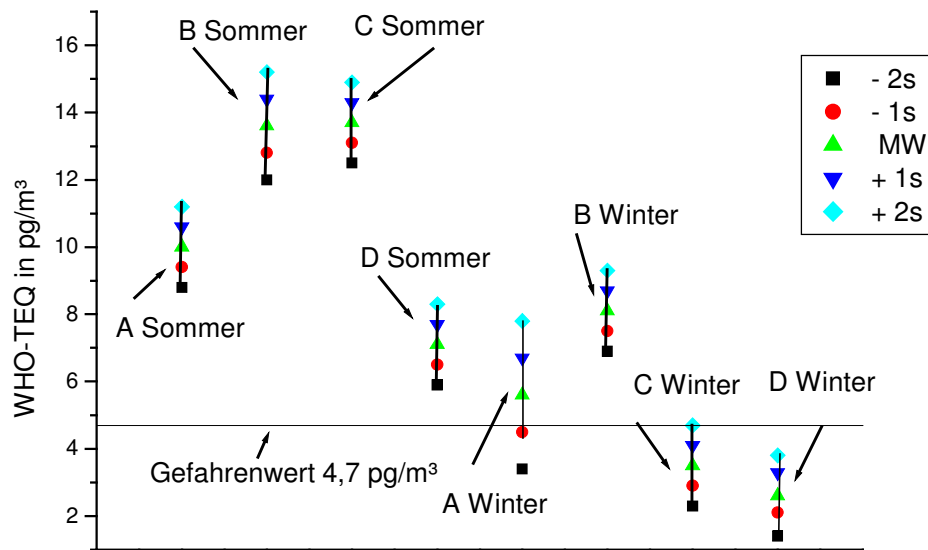
Wie schon unter Punkt III.3.1 angesprochen gilt zu klären, bei welchem Messwert eine sichere Unter- bzw. Überschreitung des derzeit diskutierten Gefahrenwerts gesehen werden kann. Dies bedeutet beispielsweise für das Gebäude A (Winter) dass der „wahrscheinliche wahre Wert“ je nach Vertrauensintervall zwischen 3,4 (bzw. 4,5) und 7,8 (bzw. 6,7) pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> liegt. Im Umkehrschluss beschreiben Einzelmesswerte zwischen 3,4 (bzw. 4,5) und 7,8 (bzw. 6,7) pg/m<sup>3</sup> die gleiche Belastung der Innenraumluft.

Zur Verdeutlichung dieser Problematik sind die Vertrauensbereiche in Relation zum Gefahrenwert in der nachfolgenden Abbildung 8 dargestellt. Während für alle hier untersuchten Gebäude trotz teilweise unterschiedlicher Quellenlage in den Sommermonaten von einer Überschreitung des Gefahrenwerts ausgegangen werden kann, unterschreiten das Gebäude C in der Winterperiode den Grenzwert unter Norm- Bedingungen knapp. Die Raumluftgehalte im Gebäude D liegen im Winter eindeutig unterhalb des derzeit diskutierten Richtwerts für dioxinähnliche PCBs.



### Abbildung 8

Messunsicherheit der Bestimmung der dioxinähnlichen PCB's in der Innenraumluft von Gebäuden mit PCB-belasteten Deckenplatten unter „Norm-Bedingungen in Abhängigkeit vom Messzeitpunkt.



**Tabelle III. 18**

Ergebnisübersicht – Dioxinähnliche PCBs in WHO-TEQ/m³ Ergebnisse der Messungen unter „Nutzungs“- Bedingungen in den Gebäuden A bis D

	Sommer				Winter			
	Bau A	Bau B	Bau C	Bau D	Bau A	Bau B	Bau C	Bau D
Mittelwert	4,2	9,2	9,3	6,7	5,0	5,8	7,3	3,3
St.Abw. (gem.)	0,9	0,6	0,9	0,4	0,6	1,2	0,6	0,6
	Varianz bei 1 s							
Untergrenze	3,3	8,6	7,5	6,3	4,4	4,6	6,7	2,7
Obergrenze	5,1	9,8	11,1	7,1	5,6	7,0	7,9	3,9
	Varianz bei 2 s							
Untergrenze	2,4	8,0	5,7	5,9	3,8	3,4	6,1	2,1
Obergrenze	6,0	10,4	12,9	7,5	6,2	8,2	8,5	4,3

Unter Nutzungsbedingungen, die unter anderem durch eine höhere Schwankungsbreite der Ergebnisse gekennzeichnet sind, überschreiten 3 von 4 Gebäuden (B, C und D) im Sommer den Gefahrenwert, teilweise sogar deutlich. Die entsprechenden Gehalte in der Innenraumluft des Gebäudes A liegen im Bereich dieses Richt- bzw. Grenzwerts. In der Winterperiode überschreitet das Gebäude C, wegen des dort gegebenen Nutzerverhaltens den Gefahrenwert deutlich, während für die Gebäude A und B weder eine Überschreitung noch eine Unterschreitung festgestellt werden kann. Das Gebäude D unterschreitet auch unter Nutzungsbedingungen im Winter den Gefahrenwert mit hoher Wahrscheinlichkeit.

Da in der Praxis davon auszugehen ist, dass die Beurteilung der Belastung der Innenraumluft mit dioxinähnlichen PCBs in der Regel auf einem Einzelmesswert, unter besonderen Umständen manchmal vielleicht auf zwei Messwerten basiert und es zudem Gebäude (Beispiele Gebäude A, C und D) gibt, deren Belastung im Bereich des diskutierten Gefahrenwerts liegt, ist die Festlegung einer Schwankungsbreite von entscheidender Bedeutung für die Frage, ob der diskutierte Gefahrenwert überschritten wird. Die hier ermittelten erheblichen, im wesentlichen von den klimatischen (auch raumklimatischen) Randbedingungen abhängigen Schwankungen der Gehalte an dioxinähnlichen PCBs in der Innenraumluft von Gebäuden mit PCB-haltigen Deckenplatten erfordern nach unserer Ansicht die Festlegung eines Verfahrens zur Abschätzung von Jahresmittelwerten.

### **III.6 Dioxinähnliche PCBs in Innenraumluft – Abschätzung von Jahresmittelwerten**

Aus der Arbeit Nix et.al. [5] ist abzuleiten, dass resultierend aus den klimatischen Bedingungen in Mitteleuropa folgender Rechenansatz geeignet erscheint einen PCB - Jahresmittelwert in Gebäuden mit PCB Belastung abzuschätzen:

Messergebnis (e)  $c_k$

in der Periode Oktober bis etwa Mitte April (Winter) entsprechend ca. 220 Tage pro Jahr

Messergebnis (e)  $c_w$

aus dem Zeitraum Früh- und Spätsommer (Mai, Juni und Mitte August, September)

etwa 100 Tage pro Jahr

Messergebnis (e)  $c_H$

aus dem Hochsommer (Mitte Juli bis Mitte August) entsprechend etwa 40 Tage pro Jahr

Daraus konnten die Autoren über die Formel

$$\text{PCB (JMW)} = [(c_k \times 218) + (c_w \times 96) + (c_H \times 51)] / \Sigma \text{ Tage ableiten.}$$

In der vorliegenden Arbeit kann gezeigt werden, dass die Raumtemperaturen im Winter wegen des Nutzerverhaltens nicht gravierend von den Sommertemperaturen abweichen. Es erscheint daher möglich diese oben abgeleitete Formel zur Abschätzung von Jahresmittelwerten weiter erheblich zu vereinfachen. Unter den in Mitteleuropa herrschenden Bedingungen kann etwa 2/3 des Jahres einer „kühleren“ Periode zugerechnet werden, in der die Raumtemperatur (Nutzungstemperatur) und schlechteres Lüftungsverhalten die Konzentration an PCBs in der Raumluft mit hoher Wahrscheinlichkeit dominieren.

Ein Drittel des Jahres kann der „wärmeren Jahreszeit“ zugeordnet werden, die sich einerseits durch ein intensiveres Lüften der Nutzer und andererseits durch höhere Raumtemperaturen resultierend aus hohen Außentemperaturen wie im übrigen die beiliegenden Innenraumklimadaten für die Gebäude belegen.

Es erscheint daher möglich für die 4 untersuchten Gebäuden jeweils einen Jahresmittelwert abzuleiten. Dabei wird vereinfacht, dass die Ergebnisse der Winterperiode mit 2/3 angesetzt und die Ergebnisse der Sommerperiode mit 1/3. Unter dieser Voraussetzung können Jahresmittelwert näherungsweise abgeschätzt werden. Die dabei zwangsläufig auftretende Ungenauigkeit ist nach unserer Ansicht wegen der gegebenen Messunsicherheit und den Schwierigkeiten bei der Bewertung von Einzelmessergebnissen tolerierbar. In der nachfolgenden Tabelle III. 19 sind die Ergebnisse der Abschätzungen der jeweiligen Jahresmittelwerte für die Gebäude A bis E unter Norm - und Nutzungsbedingungen zusammengefasst wiedergegeben.

**Tabelle III. 19**

Geschätzte Jahresmittelwerte für coplanare, dioxinähnliche PCBs in der Innenraumluft PCB-belasteter Gebäude mit unterschiedlichen PCB-Quellen

BAU	JAHRESMITTELWERT AUS NORM-BEDINGUNGEN	JAHRESMITTELWERT AUS NUTZUNGSBEDINGUNGEN
Coplanare PCBs in pg WHO-TEQ / m <sup>3</sup>		
Gebäude mit PCB-belasteten Deckenplatten		
A	7 +/- 2	5 +/- 2
B	10 +/- 2	7 +/- 2
C	7 +/- 2	8 +/- 2
D	4 +/- 1,5	4,5 +/- 1,5
Gebäude mit PCB-belasteten Fugen		
E	1,5	1

Unter Berücksichtigung der in den Tabellen III. 17 bis III. 19 dargestellten Ergebnissen (Varianzbreiten der Ergebnisse) kann damit für die Belastung der Innenraumluft der Gebäude A bis E folgende Einteilung in Bezug auf den diskutierten Gefahrenwert von 4,7 pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> für die dioxinähnlichen PCB's vorgenommen werden:

- Gebäude, bei dem im Jahresmittel sowohl unter Nutzungsbedingungen als unter Normbedingungen der Gefahrenwert sicher unterschritten wird hier Bau E.
- Gebäude, bei dem im Jahresmittel sowohl unter Nutzungsbedingungen als unter Normbedingungen nicht mit der notwendigen Sicherheit entschieden werden kann, ob der Gefahrenwert unterschritten wird, hier Bau D.
- Gebäude, bei denen sowohl unter Nutzungs- als auch unter Normbedingungen der Gefahrenwert mit hoher Wahrscheinlichkeit überschritten wird, hier Gebäude B und C.
- Gebäude, bei dem unter Norm - Bedingungen der Gefahrenwert mit hoher Wahrscheinlichkeit überschritten wird, bei denen jedoch unter Nutzungsbedingungen nicht entschieden werden kann, ob der Gefahren wird über- oder unterschritten wird, hier Gebäude A.

### **III.7 Polychlorierte Dibenzofurane in der Innenraumluft PCB-belasteter Gebäude.**

Die Ergebnisse der Bestimmung der PCDD/F in Innenraumluft von Gebäuden mit PCB-belasteten Deckenplatten und PCB-belasteten Fugen (vgl. dazu auch Kapitel II Ergebnisse Tab. II.11 bis II.13) belegen, wie schon die Material- und Staubanalysen gezeigt haben, dass de facto ausschließlich polychlorierte Dibenzofurane von Bedeutung sind. Von diesen 2,3,7,8-substituierten PCDF trägt das 2,3,7,8-Tetra-CDF in der Raumlufte, sowohl absolut als auch bezogen auf den Anteil an der Belastung in I-TE's mit weit über 90 % zur Gesamtbelastung der Raumlufte mit PCDD/F bei. Diese im Vergleich mit den Primärquellen und den Hausstäuben erhebliche Verschiebung des Kongenerenmusters (Anteile an 2,3,7,8-TCDF in den Quellen zwischen 20 und 40 %; Anteile an 2,3,7,8-TCDF in den Stäuben im Durchschnitt in allen Stäuben, mit Ausnahme Bau E, ca. 20 %; vgl. Tab. II.30 bis II. 34 – Kapitel II Ergebnisse) kann auf den im Vergleich zu den anderen PCDD/F höheren Dampfdruck von

2,3,7,8-TCDF zurückgeführt werden. In der nachfolgenden Tabelle 20 sind die Ergebnisse der Bestimmung von PCDD/F in der Raumluft unter diesem Gesichtspunkt nochmals zusammengefasst.

**Tabelle III. 20**

PCDD/F in der Innenraumluft von PCB-belasteten Gebäuden unter Berücksichtigung der Raumtemperatur, der Jahreszeit und der baulichen Gegebenheiten

Gebäude	Jahreszeit	Raumtemperatur in °C	2,3,7,8-TCDF in pg/m <sup>3</sup>	Σ 2,3,7,8 – subst. PCDF in pg/m <sup>3</sup>	I-TE PCDD/F in pg/m <sup>3</sup> (min.)
Gebäude mit PCB-haltigen Schallschutzdeckenplatten (vollflächig) – PCB-Muster A60 Beladungsverhältnisse ca. 0,3/m					
A	Winter	19,3 – 25,8	-	-	-
	Sommer	22,0 – 25,5	9,6	10,2	1,2
B	Winter	21,4 – 24,8	8,6	8,8	1,1
	Sommer	22,7 – 31,0	27,0	29,3	3,5
C	Winter	21,5 – 22,5	8,1	9,0	1,1
	Sommer	22,4 – 38,1	32,5	35,2	3,3
Gebäude mit PCB-haltigen Deckenplatten und PCB-haltigen Fugen (Clophen A 40/50) Beladungsverhältnis ca. 0,3/m					
D	Winter	18,0 – 19,5	7,4	8,3	1,0
	Sommer	20,6 – 23,6	18,6	20,6	2,4
Gebäude mit PCB-haltigen Fugen (Muster A 30/40) Beladungsverhältnis < 0,01					
E	Winter	19,0 – 21,2	0,65	0,92	0,07
	Sommer	21,9 – 25,6	1,65	1,87	0,17

Betrachtet man die vorliegenden Ergebnisse der Gebäude A bis D, die nach Augenschein eine ähnliche Belastungssituation aufweisen (Hauptquelle der PCBs PCB-haltige Schallschutzdeckenplatten vollflächig verlegt) so fällt unmittelbar auf, dass sich die Belastung des Gebäudes A mit PCDD/F deutlich von der Belastung der Raumluft in den Gebäuden B bis D unterscheidet. Die TCDF-Konzentration in dieser PCB-Quelle liegt deutlich unter den PCDF-Konzentrationen der anderen PCB-Quellen. Zudem ist TCDF in den Deckenplatten des Baus A im Vergleich mit den anderen Deckenplatten deutlich unterrepräsentiert.

**Tabelle III. 21**

Vergleich der Absolutgehalte sowie der prozentualen an 2,3,7,8-TCDF mit dem Gesamtgehalt  $\Sigma$  2,3,7,8-substituierter PCDF in Primärquelle, Hausstaub und Raumluft (RL)

		A		B		C		D	
	Dimen- sion	Konzen- tration	Anteil	Konzen- tration	Anteil	Konzen- tration	Anteil	Konzen- tration	Anteil
Quelle	$\mu\text{g}/\text{kg}$	155	15	--	--	526	29	263	29
Staub	$\mu\text{g}/\text{kg}$	2,15	6	4,26	28	4,20	29	2,13	29
RL	$\text{pg}/\text{m}^3$	9,6	94	27,0	92	32,5	92	18,64	90

Trotz der Tatsache, dass die hier als Probe für die PCDD/F Untersuchungen ausgewählte Deckenplatte aus dem Gebäude B im Gegensatz zu den anderen Deckenplatten dieses Gebäudes nicht primär mit PCB behandelt war (vgl. hierzu auch Ergebnisse - PCB Tabelle II.1 PCBs in Primärquellen – Bau B I) kann an Hand der Staubanalyse mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass der prozentuale Anteil an 2,3,7,8-TCDF in den übrigen Deckenplatten des Baus B dem der Gebäude C und D vergleichbar ist. Das Kongenerenspektrum der Deckenplatten des Gebäudes A weist demgegenüber einen Anteil von ca. 27 % an OCDF auf, während der OCDF-Anteil in den Deckplatten C und D bei etwa 5 % liegt. Parallel dazu liegt der Anteil an 2,3,7,8-TCDF mit 15 % deutlich unter dem 2,3,7,8-TCDF-Anteil der Deckenplatten der Gebäude C und D (vgl. auch Tab. III.20 und III. 21).

Die Unterschiede in den Raumluftgehalten an PCDD/F kann in diesem Einzelfall auf die Unterschiede in der Zusammensetzung der Quelle zurückgeführt werden. Die vorliegenden Daten lassen erkennen, dass nicht die Absolutgehalte alleine, sondern die Kombination Gehalte und Kongenerenverteilung die Zusammensetzung der Raumluft wesentlich beeinflussen.

Wegen des ähnlichen Emissionsverhaltens des 2,3,7,8-TCDF mit den dioxinähnlichen PCBs ist es nach unserer Ansicht erlaubt den Jahresmittelwert in Anlehnung an das Berechnungsverfahren für coplanare PCBs abzuschätzen (Jahresmittelwert = 2/3 Winterwert + 1/3 Sommerwert). Betrachtet man die vorliegenden Ergebnisse für die Gebäude B, C und D so fällt auf, dass die Gehalte im Sommer um etwa das 2,5 bis 3 fache über den Gehalten im Winter liegen. Dies bedeutet auch, dass für die Belastung an PCDD/F, die wesentlich aus den Belastung mit 2,3,7,8-TCDF resultiert, ebenfalls als Faustformel davon ausgegangen werden kann, dass eine Erhöhung der Temperatur um 5 °C zu einer Verdreifachung der Belastung der

Raumluft mit PCDD/F führt, wenn es sich bei der PCDD/F-Quelle um PCB-belastete Schallschutzdeckenplatten handelt.

**Tabelle III. 22**

Abschätzung der Jahresmittelwerte der Belastung an PCDD/F in PCB-belasteten Gebäuden

Gebäude	Jahresmittelwert in pg/m <sup>3</sup>
A *	k.A.
B	1,9
C	1,8
D	1,5
E	0,1

A \* Jahresmittelwert für Gebäude A keine Angabe ; kein Winterwert gegeben

### **III. 8 Abschätzung der durchschnittlichen jährlichen Gesamtbelastung der Raumluft mit dioxinähnlichen PCBs und PCDD/F**

Betrachtet man die vorliegenden Ergebnisse so kann gezeigt werden, dass in den untersuchten Gebäuden unterschiedliche Quellsituationen vorliegen. Es wurden in Bezug auf die PCB und PCDD/F-Belastung unterschiedliche Typen von Deckenplatten vorgefunden:

- Deckenplatte Gebäude A  
PCB-Gesamtgehalt von ca. 250 g/kg,  
vergleichsweise höherer Gehalt an dioxinähnlichen PCBs ( $\Sigma$  ca. 6500 mg/kg) – hier vor allem an PCB 118 und 156  
geringerer Anteil an 2,3,7,8-TCDF
- Deckenplatte Gebäude B  
PCB-Gesamtgehalt von ca. 120 g/kg,  
vergleichsweise höherer Gehalt an dioxinähnlichen PCBs ( $\Sigma$  ca. 6500 mg/kg) – hier vor allem an PCB 118 und 156  
höherer Anteil an 2,3,7,8-TCDF
- Deckenplatten im Gebäude C  
PCB-Gesamtgehalt von ca. 325 g/kg

vergleichsweise höherer Gehalt an dioxinähnlichen PCBs (  $\Sigma$  ca. 6500 mg/kg) – hier vor allem an PCB 118 und 156

höherer Anteil an 2,3,7,8-TCDF

– Deckenplatten im Gebäude D

PCB-Gesamtgehalt von ca. 125 g/kg

vergleichsweise niedrigerer Gehalt an dioxinähnlichen PCBs ( $\Sigma$  ca. 3000 mg/kg )

höherer Anteil an 2,3,7,8-TCDF

Diese erkennbaren Unterschiede treten jedoch im Vergleich zum Einfluss der Raum- bzw. Gebäudetemperatur und Jahreszeit in den Hintergrund. Die Temperatur und damit der jahreszeitliche Gang der Emissionen sind der wesentliche bestimmende Faktor der Belastung der Raumluft sowohl mit dioxinähnlichen PCBs als auch mit PCDF, hier vor allem 2,3,7,8-TCDF, dessen Emissionsverhalten dem der PCBs ähnlich ist. Die Gehalte an dioxinähnlichen PCBs und PCDD/F im Sommer sind in der Regel um den Faktor 3 höher als im Winter. Vereinzelt konnten nutzungsbedingt jedoch auch im Winter hohe Raumluftbelastungen gemessen werden, diese gingen jedoch immer einher mit hoher Raumtemperatur im Winter. In der nachfolgenden Tabelle III. 23 sind die abgeleiteten durchschnittlichen Belastungen  $\Sigma$  dioxinähnlichen PCBs und PCDD/F der Raumluft der hier untersuchten Gebäude wiedergegeben.



**Tabelle III. 23**

Jahresmittelwerte für coplanare, dioxinähnliche PCBs in der Innenraumluft PCB-belasteter Gebäude mit unterschiedlichen PCB-Quellen

BAU	JAHRESMITTELWERT AUS „NORM“-BEDINGUNGEN			JAHRESMITTELWERT AUS NUTZUNGSBEDINGUNGEN		
	Coplanare PCBs in pg WHO- TEQ / m <sup>3</sup>	PCDD/F in pg I-TE/m <sup>3</sup>	Σ PCB und PCDD/F in TEQ/m <sup>3</sup>	Coplanare PCBs in pg WHO- TEQ / m <sup>3</sup>	PCDD/F in pg I-TE/m <sup>3</sup>	Σ PCB und PCDD/F in pg TEQ/m <sup>3</sup>
A	7	< 0,7	8	5	--	> 5
B	10	1,9	12	7	--	> 7
C	7	1,8	9	8	--	> 8
D	4	1,5	5,5	5	--	> 5
E	1,5	0,1	2,5	1	--	> 1

Damit wird deutlich, dass in allen hier untersuchten Gebäuden mit vollflächig verlegten PCB-haltigen Deckenplatten der derzeit diskutierte Gefahrenwert (RW-II-Wert) für den tolerablen ausschöpfbaren Anteil der Innenraumluft von 4,7 pg WHO-TEQ für die Summe dioxinähnlicher PCBs und PCDD/F im Jahresmittel mit hoher Wahrscheinlichkeit überschritten wird. Erst bei Raumtemperaturen unter 20 °C (wahrscheinlich sogar unter 18 °C) ist davon auszugehen, dass die Konzentration an dioxinähnlichen PCBs und PCDD/F den Gefahrenwert unter diesen baulichen Bedingungen signifikant unterschreiten wird. In Gebäude mit PCB-haltigen Fugen (hier exemplarisch untersucht am Gebäude E) treten signifikant niedrigere Belastungen an dioxinähnlichen PCBs und PCDD/F im Jahresmittel auf.

Das derzeit geltende Bewertungsschema für die PCB-Belastung in Innenräumen berücksichtigt die Belastung der Raumluft mit hier untersuchten dioxinähnlichen PCBs sowie die polychlorierten Dibenzofuranen nicht. Die Beurteilung erfolgt ausschließlich an Hand der Konzentration der Leitkongenere (Summe 6 \* 5 nach LAGA) und ist in der PCB-Richtlinie geregelt [26]. Der dabei geltende Gefahrenwert liegt je nach Auslegung der PCB-Richtlinie zwischen 9000 ng/m<sup>3</sup> ( bei Berücksichtigung einer maximalen täglichen Aufenthaltsdauer im belasteten Innenraum von 8 h) und 3000 ng/m<sup>3</sup> (ohne Berücksichtigung einer definierten Aufenthaltsdauer im belasteten Innenraum). Die vorliegenden Daten dieser Arbeit zeigen in Übereinstimmung mit der allgemeinen Erfahrung, dass in der Innenraumluft in Gebäuden die ausschließlich PCB - belastete Deckenplatten als PCB-Quelle aufweisen durchschnittlich

Gehalte zwischen 1000 bis 2.500 ng PCB/m<sup>3</sup> gemessen werden können. Entsprechend der Vorgaben der PCB-Richtlinie sind diese Gebäude weiter nutzbar und nur mittelfristig zu sanieren. Den Nutzern wird lediglich vorgegeben die Belastung durch verbesserte Lüftung und ggf. durch gründliche Reinigung zur Reduzierung der Staubbelastung zu reduzieren.

Wird der hier diskutierte „Gefahrenwert“ (RW-II-Wert) von 4,7 pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> Bestandteil des Bewertungsschemas für PCB-belastete Innenräume so müssten aus der Logik der Gefahrenwerte im Baurecht alle Gebäude mit einer vergleichbaren Quellenlage de facto sofort geschlossen und saniert werden. Dies würde beispielsweise für Baden-Württemberg zwangsläufig zur unmittelbaren Schließung einer Reihe von Hochschulgebäuden führen, da eine Überschreitung eines Gefahrenwerts eine unmittelbare Gefahr (im Sinne des Polizeirechts) für die Nutzer dieser Gebäude bedeuten. Vor einer Nutzung müssten diese Gebäude aufwendig saniert werden, wobei mit Kosten von ca. 200 € pro m<sup>2</sup> zu rechnen ist. Damit wäre allein in Baden-Württemberg unmittelbar mit Sanierungskosten im Hochschulbereich von ca. 20 Millionen € zu rechnen.

## IV Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden insgesamt 5 Gebäude auf unterschiedliche PCB-Quellen (PCB-belastete Deckenplatten und PCB-belastete Fugen) auf die Gehalte an dioxinähnliche PCBs und PCDF in den Quellen (vgl. Tab. IV.1) in Hausstaub (vgl. Tab. IV.2) und Innenraumluft (vgl. Tab. IV.3 bis IV.6) untersucht. Schwerpunkt der Arbeit lag bei der Erkennung der Zusammenhänge baulicher und klimatischer Einflüsse auf die Gehalte an dioxinähnlichen PCBs und PCDF in der Innenraumluft.

**Tabelle IV. 1**

Dioxinähnliche PCBs in PCB-haltigen Deckenplatten

PCB-Kongener	Deckenplatte Typ A wie z.B. Bau C (Mittelwert)		Deckenplatte Typ B Bau D	
	Gehalt in mg/kg	Prozent. Anteil	Gehalt in mg/kg	Prozent. Anteil
105	345	5	140	5
118	2700	40	1210	44
126	< 50	< 1	< 10	< 1
156	1920	29	930	33
167	920	14	180	6
189	430	6	200	7
Summe (min.)	6670	100 %	2780	100 %

Voraussetzung zur Erkennung möglicher Einflussgrößen auf die Belastung der Innenraumluft durch wechselnde klimatische Bedingungen, bauliche Gegebenheiten und/oder andersartige Quellenlage ist die Kenntnis über die Messgenauigkeiten unter vergleichbaren Bedingungen. Die vorliegenden Ergebnisse (vgl. Tab. IV.3) zeigen, dass der Gehalt an coplanaren, dioxinähnlichen PCBs in der Raumluft eines ausreichend großen Innenraums mit guter Genauigkeit und Vergleichbarkeit erfasst werden kann.

**Tabelle IV. 2**

Gehalte ausgewählter polychlorierter Dibenzofurane in den Gebäuden A, C, D und E

PCDF-KONGENER	BAU A DP		BAU C DP		BAU D DP		BAU E FUGEN	
	Gehalt in µg/kg und prozentualer Anteil ( $\Sigma$ PCDF = 100 %)							
	Gehalt	Anteil	Gehalt	Anteil	Gehalt	Anteil	Gehalt	Anteil
2,3,7,8- TCDF	155	16	526	29	263	29	191	50
2,3,4,7,8-PeCDF	110	11	394	21	212	23	85	22
1,2,3,4,7,8 - HxCDF	167	17	412	23	208	23	51	13
OCDF	262	27	116	4	39	4	< 1	< 1
Summe 2,3,7,8-PCDF	986	100	1824	100	891	100	384	100
Summe 2,3,7,8-PCDD/F	1008		1824		891		390	

DP = Deckenplatte

Der Gehalt an dioxinähnlichen PCBs in diesem Raum kann im Mittel mit 5,0 +/- 0,6 pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> angegeben werden. Da der Mittelwert für die dioxinähnlichen PCBs in diesem Raum in der Nähe des Gefahrenwerts liegt kann davon ausgegangen werden, dass die Genauigkeit der Bestimmung der dioxinähnlichen PCBs bei Messwerten im Bereich dieses Gefahrenwertes mit 4,7 +/- 0,6 pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> angegeben werden muss.

Messtechnisch ist daher nicht zu entscheiden, ob der Gefahrenwert in diesem Fall über- oder unterschritten wird.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Bestimmungen der dioxinähnlichen PCBs in Abhängigkeit verschiedener baulicher und klimatischer Randbedingungen zusammenfassend dargestellt. Basis dieser Darstellung sind Ergebnisse von Probenahmen unter Norm-Bedingungen (Probenahme nach VDI 4300 Bl. 2; Lüftung am Vorabend, Verschließen des Raums und Messbeginn am nächsten Morgen und parallel Messung der Raumtemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit) und die Ergebnisse der Messungen unter Nutzungsbedingungen (in der Regel 1 – 2 malige kurzzeitige Lüftung je Stunde und parallel Messung der Raumtemperatur, relativen Luftfeuchtigkeit und des CO<sub>2</sub>-Gehaltes). Messungen unter Nutzungsbedingungen wurden entweder, in zeitlicher Nähe oder, wo auf Grund des

Raumangebots möglich, parallel zu den „Norm-Messungen“ in baugleichen benachbarten Räumen durchgeführt.

**Tabelle IV.3**

Schwankungsbereich ausgewählter PCBs in Innenräumen am Beispiel von 5 Messungen in einem Raum (hier Bau A – Großraumbüro) – Winter 2003/2004

		Raum A Raum- mitte	Raum A Raum- mitte W	Raum A Innen- wand	Raum A Innen- wand W	MW	Std- Abw (abs)	UBA- [26]
Durchschnittstemp. in °C		23,8		23,5				
PCB-Kongener	WHO - TEF	<b>A*</b>	<b>B*</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G*</b>
		PCB in Raumluft in ng/m <sup>3</sup>						
<b>105</b>	0,0001	2,5	2,4	2,3	2,7	2,48	0,17	1,93
114	0,0005	0,1	0,1	0,08	0,07	0,09	0,02	0,09
<b>118</b>	0,0001	14,2	13,6	10,8	12,2	12,70	1,52	17,00
<b>126</b>	<b>0,1</b>	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	< 0,01	0,020
<b>156</b>	0,0005	2,7	2,4	2,6	2,7	2,60	0,14	<b>2,46</b>
169	0,01	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	--	0,001
Summe (min) ng/m <sup>3</sup>		22,4	21,4	18,2	20,2	20,55	1,81	23,89
Summe (max) ng/m <sup>3</sup>		22,4	21,5	18,2	20,2	20,56	1,82	23,89
WHO-TE min in pg/m <sup>3</sup>		<b>5,2</b>	<b>5,5</b>	4,2	4,9	4,9 <sub>5</sub>	<b>0,56</b>	<b>5,4</b>
WHO-TE max in pg/m <sup>3</sup>		<b>5,2</b>	<b>5,6</b>	4,2	5,0	5,00	<b>0,59</b>	<b>5,4</b>
PCB-Leitkongenere								
Summe nach LAGA		1380	1465	1215	1239	1307	93	1535

\*Ergebnisse Spalten A und B sowie Spalte G Vergleichsmessung mit GfS (UBA)- Winter 2003/2004 [26]

Die Ergebnisse der Tabelle IV.2 belegen, dass die Dichtigkeit der Gebäudehülle, hier abgebildet über die Luftwechselzahl bei vergleichbarer Quellsituation de facto keine Rolle spielt (vgl. z.B. Bau A und B Tab. IV.4 ). Charakteristisch ist die unter Norm-Bedingungen um etwa 1/3 höhere Belastung der Innenraumluft in den Sommermonaten im Vergleich zur Belastung in den Wintermonaten. Dies zeigt, dass die Lüftung im Vergleich zur Temperaturbelastung eine untergeordnete Rolle spielt. Unter Nutzungsbedingungen sinken die Gehalte an dioxinähnlichen PCBs in der Regel um etwa 10 bis 40 % im Vergleich zu Messungen unter Norm-Bedingungen. In Abhängigkeit von der Raumtemperatur können unter Nutzungsbedingungen vereinzelt höhere Gehalte als unter Norm-Bedingungen gemessen werden (vgl. Tabelle IV.2 Bau C und D).

**Tabelle IV.4**

Zusammenhänge baulicher und klimatischer Gegebenheiten mit den Gehalten dioxinähnlicher PCBs in der Innenraumluft PCB-belasteter Gebäude – Basis „Norm“-Probenahmen (Norm) (Probenahme nach VDI 4300 Bl. 2) und Probenahme unter Nutzungsbedingungen (Nu).

Bau	Jahreszeit	Zwangsluft- wechsel in 1/h	Raum- temperatur in °C		diox. PCB in pg WHO- TEQ/m <sup>3</sup>		Gesamt-PCB (LAGA) in ng/m <sup>3</sup>	
			Norm	Nu	Norm	Nu	Norm	Nu
Gebäude mit PCB-haltigen Deckenplatten ; Beladungsverhältnis ca. 0,3 m <sup>-1</sup> (PCB – Muster Clophen A 60)								
A	Sommer	0,3	23,6	--	10,0	--	2190	--
A	Sommer	--	--	25,3	--	4,2	--	1235
A	Winter	0,3	22,5	--	5,6	--	1730	--
A	Winter	--	--	22,5	--	5,0	--	1307
B	Sommer	1,3	25,0	--	13,6	--	3827	--
B	Sommer	--	--	28,1	--	9,2	--	2448
B	Winter	1,3	23,0	--	8,1	--	2240	--
B	Winter	--	--	24,5	--	5,8	--	2360
D	Sommer	0,8	21,8	--	7,1	--	2166	--
D	Sommer	--	--	26,0	--	6,7	--	3160
D	Winter	0,8	17,5	--	2,55	--	1303	--
D	Winter	--	--	23,1	--	3,3	--	1821
Gebäude mit PCB-haltigen Deckenplatten ; Beladungsverhältnis ca. 0,3 m <sup>-1</sup> ; (PCB – Muster Clophen A 60); zusätzlich PCB-Fugenmassen (PCB-Muster Clophen A 50/60)								
C	Sommer	0,5	25,1	--	13,7	--	4514	--
C	Sommer	--	--	28,2	--	9,3	--	2875
C	Winter	0,5	21,5	--	3,5	--	990	--
C	Winter	--	--	26,6	--	7,3	--	2221
Gebäude mit PCB-haltigen Fugenmassen; Beladungsverhältnis ca. 0,0003 m <sup>-1</sup> (PCB – Muster Clophen A 30/40)								
E	Sommer	0,7	23,9	--	2,4	--	6963	--
E	Sommer	--	--	25,6	--	1,3	--	4313
E	Winter	0,7	18,9	--	1,0	--	3925	--
E	Winter	--	--	23,7	--	1,2	--	1054

Es kann gezeigt werden, dass eine für eine orientierende Abschätzung ausreichend genaue Abschätzung der Belastung der Innenraumlufte durch dioxinähnliche PCBs aus der Summe der Leitkongeneren (nach LAGA) für Gebäude mit PCB-haltigen Deckenplatten möglich ist. Für derartige Gebäude kann davon ausgegangen werden, dass je 1000 ng PCB pro m<sup>3</sup> (nach LAGA) mit etwa 3,5 pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> gerechnet werden muss. Der dabei auftretenden Fehler liegt in der Größenordnung von ca. 20 bis 50 % , wobei im Regelfall eine Überschätzung des Gehaltes an WHO-TEQ ermittelt wird.

Der geringe Einfluss des Lüftungsverhaltens wird nach unserer Ansicht belegt durch Messungen der PCB-Belastung in Räumen in denen kontrolliert Stoßlüftung (Türen und Fenster stündlich jeweils ca. 3 min voll geöffnet) über einen Arbeitstag durchgeführt wurde (vgl. Tab. IV.5). Die dabei durchgeführten Lüftungsmaßnahmen (Stoßlüftung) gehen weit über die Lüftung hinaus, die unter so genannten „Nutzungsbedingungen“ von den Nutzern der jeweiligen Gebäude eigenverantwortlich durchgeführt wurden. Betrachtet man den Gehalt an CO<sub>2</sub> in der Raumlufte, die Raumtemperatur und die relative Luftfeuchte in den Messräumen so fällt auf, dass im Durchschnitt unter Nutzungsbedingungen nur einmal pro Stunde kurzfristig gelüftet wurde (vgl. Klimadaten in den Innenräumen im Anhang). Der CO<sub>2</sub>-Gehalt fällt in keinem der Innenräume unter Nutzungsbedingungen auf Außenluftgehalte am Ende der Lüftungsmaßnahme ab. Erst im Laufe des Abends nach Ende der Nutzungsphase nimmt der CO<sub>2</sub>-Gehalt in allen Messräumen auf Grund des Zwangsluftwechsels deutlich ab und erreicht langsam Außenluftniveau.

**Tabelle IV.5**

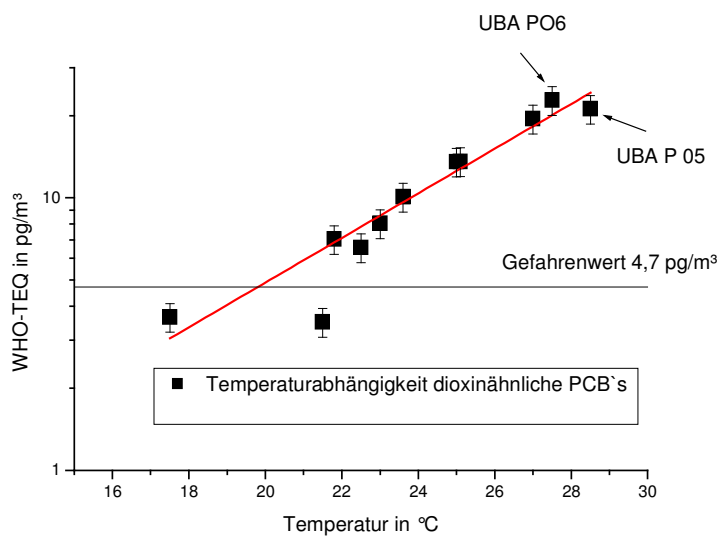
Wirksamkeit von Stoßlüftung (stündlich je drei Minuten ) –dioxinähnliche PCBs sowie Leitkongeneren in zwei Büroräumen des Gebäudes A.(Messperiode Sommer)

MESSRAUM	BÜRO I	BÜRO II	BÜRO II
	Stoßlüftung 3 min / h		„Norm“
Temp. in °C	18,2 – 29,4 Ø 25,2		22 – 25,5 Ø 23,6
Summe coplan. PCBs ng/m <sup>3</sup>	25,5	18,4	46,9
WHO-TE min in pg/m <sup>3</sup>	4,1	2,9	10,3 <sub>5</sub>
WHO-TE max in pg/m <sup>3</sup>	5,1	4,0	10,4 <sub>5</sub>
PCB-Leitkong. (Σ LAGA)	1095	835	2215

In der Abbildung 1 ist die deutliche Temperaturabhängigkeit der Gehalte der dioxinähnlichen PCBs als WHO-TEQ in  $\text{pg}/\text{m}^3$  für die Gebäude A bis D dargestellt. Die Graphik enthält zusätzlich zwei Literaturergebnisse [26] aus vergleichbaren Gebäuden (Quelle: PCB-belastete Deckenplatten), die bei höheren Raumtemperaturen ( $> 27,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) erhalten wurden. Für die Gehalte der dioxinähnlichen PCBs in der Innenraumlufte führt eine Temperaturerhöhung von  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  in etwa zu 2,5 - 3 - fach höheren Werten. Vergleichbare Abhängigkeiten sind für 2,3,7,8-TCDF zu finden. Die jeweiligen Summen 2,3,7,8- substituierter PCDF's in der Sommerperiode liegen etwa um den Faktor 2,5 über den Gehalten, die in der Winterperiode gemessen werden können (vgl. Tab. IV. 4).

### Abbildung 1

Temperaturabhängigkeit (Durchschnittstemperatur) der Gehalte an dioxinähnlichen PCBs in Gebäuden mit vollflächig verlegten PCB-haltigen Deckenplatten unter Normbedingungen



Wie zu erwarten, werden unter Nutzungsbedingungen die unter „Norm-Bedingungen“ messbaren Spitzenbelastungen reduziert, ohne das jedoch eine signifikante Verbesserung der Qualität der Innenraumlufte unter den von den Nutzern selbst gewählten Bedingungen erkennbar wäre. Unter Nutzungsbedingungen ist in der Winterperiode in der Nutzung generell mit höheren Temperaturen zu rechnen (MW aller Temperaturen Norm  $22,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ; Mittelwert Nutzung  $25,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Diese Situation im Zusammenhang mit im Winter weiter



reduzierten Lüftungsmaßnahmen führt zu einer deutlichen Erhöhung der Belastung durch dioxinähnliche PCBs, so dass der Effekt der Lüftung zumindest partiell aufgehoben wird.

Zusätzlich zu der Belastung an dioxinähnlichen PCBs ist in den Gebäuden mit PCB-haltigen Deckenplatten eine Belastung durch polychlorierte Dibenzofurane gegeben. Hauptanteil an dieser Belastung der Raumluft ist 2,3,7,8-TCDF mit Gehalten von ca. 10 pg/m<sup>3</sup> (Winterperiode) bis ca. 30 pg/m<sup>3</sup> (Sommerperiode) (vgl. Tab. IV.6). Die Gehalte aller anderer PCDD/PCDF-Kongenere liegt unter 1 pg/m<sup>3</sup>. Die Gesamtbelastung der Raumluft in den Innenräumen liegt zwischen 1,0 und 1,3 pg I-TE/m<sup>3</sup> (Winterperiode) und zwischen 1,0 – 3,5 pg I-TE/m<sup>3</sup> (Sommerperiode). Im Gebäude E (nur mit Fugen Clophen A30) liegt die Belastung der Raumluft mit PCDD/PCDF zwischen 0,07 pg I-TE/m<sup>3</sup> (Winter) und 0,17 pg I-TE/m<sup>3</sup> (Sommer) und signifikant unterhalb der Belastung von Räumen mit PCB-haltigen Deckenplatten.

**Tabelle IV.6**

PCDD/F in der Innenraumluft von PCB-belasteten Gebäuden unter Berücksichtigung der Raumtemperatur und der Jahreszeit

Gebäude	Jahreszeit	Raumtemperatur in °C	2,3,7,8-TCDF in pg/m <sup>3</sup>	Σ 2,3,7,8 – subst. PCDF in pg/m <sup>3</sup>	I-TE PCDD/F in pg/m <sup>3</sup> (min)
<b>Gebäude mit PCB-haltigen Schallschutzdeckenplatten (vollflächig) – PCB-Muster A60</b>					
A	Winter	19,3 – 25,8	n.b.	n.b.	n.b.
	Sommer	22,0 – 25,5	9,6	10,2	1,2
B	Winter	21,4 – 24,8	8,6	8,8	1,1
	Sommer	22,7 – 31,0	27,0	29,3	3,5
C	Winter	21,5 – 22,5	8,1	9,0	1,1
	Sommer	22,4 – 38,1	32,5	35,2	3,3
D	Winter	18,0 – 19,5	7,4	8,3	1,0
	Sommer	20,6 – 23,6	18,6	20,6	2,4
<b>Gebäude mit PCB-haltigen Fugen (Muster A 30/40)</b>					
E	Winter	19,0 – 21,2	0,65	0,92	0,07
	Sommer	21,9 – 25,6	1,65	1,87	0,17

n.b. = nicht bestimmbar Wiederfindungsraten < 50 %

Die Ergebnisse der Tabellen IV.2 und IV.4 bestätigen den dominanten Einfluss der Jahreszeit bzw. der Raumtemperatur auf den Gehalt an dioxinähnlichen PCBs und PCDF in der Raumluft und lassen erkennen, dass das Lüftungsverhalten von nachrangiger Bedeutung ist. Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass die Temperatur des Innenraums bzw. die Jahreszeit

zum Messzeitpunkt den dominierenden Einfluss auf die Gehalte an dioxinähnlichen PCBs , die Leitkongenere und die Dibenzofurane hat. Weitere Einflüsse sind durch bauliche Gegebenheiten (z.B. Ausrichtung des Messraum nach Süden oder Norden sowie zusätzliche PCB-Quellen) erkennbar. Die andersgeartete Quellensituation im Gebäude E (PCB-belastete Fugen PCB-Muster entsprechend Clophen A30/40) führt zu einer signifikant unterschiedlichen Belastungssituation.

Relevant für die Beurteilung der Belastung der Innenraumluft ist die durchschnittliche Belastung über einen längeren Zeitraum (Jahresmittelwert). Systematische Untersuchungen zur Ermittlung von Jahresmittelwerten [4,5] zeigen, dass der Jahresmittelwert sich proportional aus den Ergebnissen bei unterschiedlichen klimatischen Randbedingungen zum Messzeitpunkt ableiten lässt. Vereinfacht können unter den in Mitteleuropa herrschenden klimatischen Bedingungen etwa 2/3 des Jahres einer „kühleren“ Periode und 1/3 des Jahres der „wärmeren“ Jahreszeit zugerechnet werden. Es erscheint daher möglich für die 5 untersuchten Gebäude jeweils einen Jahresmittelwert entsprechend abzuschätzen.

**Tabelle IV.7**

Abschätzungen der jeweiligen Jahresmittelwerte für die Gebäude A bis E unter Norm - und Nutzungsbedingungen

Bau	Jahresmittelwert (abgeschätzt)			
	Normbedingungen			Nutzungsbedingungen
	Dioxinähnliche PCBs in pg WHO-TEQ /m <sup>3</sup>	PCDD/F in pg I-TE/m <sup>3</sup>	Σ PCB und PCDD/F in pg TEQ/m <sup>3</sup>	Dioxinähnliche PCBs in pg WHO-TEQ /m <sup>3</sup>
A	7 +/- 2	0,7	9 +/- 2	5 +/- 2
B	10 +/- 2	1,9 +/- 1	12 +/- 2	7 +/- 2
C	7 +/- 3	1,8 +/- 1	10 +/- 3	8 +/- 2
D	4 +/- 2	1,5 +/- 0,5	6 +/- 2	5 +/- 1
E	1,5 +/- 0,5	0,1	1,5 +/- 0,5	1 +/- 0,5

Unter diesen Voraussetzungen ist davon auszugehen, dass in Gebäuden mit vollflächig verlegten PCB-haltigen Deckenplatten (sog. „Wilhelmi-Platten“) der Gefahrenwert von 4,7 pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> resultierend aus der Belastung an dioxinähnlichen PCBs und PCDFs mit hoher

Wahrscheinlichkeit im Jahresdurchschnitt erreicht bzw. überschritten wird. Dies gilt sicher unter Norm - Bedingungen, nach unserer Ansicht jedoch auch unter den Bedingungen unter denen die Nutzung derartiger Gebäude praktiziert wird und ist weitgehend unabhängig von den jeweiligen baulichen Randbedingungen und Unterschieden in der Quellenlage.

Das derzeit geltende Bewertungsschema für die PCB-Belastung in Innenräumen berücksichtigt die Belastung der Raumluft mit hier untersuchten dioxinähnlichen PCBs sowie die polychlorierten Dibenzofuranen nicht. Die Beurteilung erfolgt ausschließlich an Hand der Konzentration der Leitkongenere (Summe 6 \* 5 nach LAGA) und ist in der PCB-Richtlinie geregelt [26]. Der dabei geltende Gefahrenwert liegt je nach Auslegung der PCB-Richtlinie zwischen 9000 ng/m<sup>3</sup> ( bei Berücksichtigung einer maximalen täglichen Aufenthaltsdauer im belasteten Innenraum von 8 h) und 3000 ng/m<sup>3</sup> (ohne Berücksichtigung einer definierten Aufenthaltsdauer im belasteten Innenraum). Die vorliegenden Daten dieser Arbeit zeigen in Übereinstimmung mit der allgemeinen Erfahrung, dass in der Innenraumluft in Gebäuden die ausschließlich PCB - belastete Deckenplatten als PCB-Quelle aufweisen durchschnittlich Gehalte zwischen 1000 bis 2.500 ng PCB/m<sup>3</sup> gemessen werden können. Entsprechend der Vorgaben der PCB-Richtlinie sind diese Gebäude weiter nutzbar und nur mittelfristig zu sanieren. Den Nutzern wird lediglich vorgegeben die Belastung durch verbesserte Lüftung und ggf. durch gründliche Reinigung zur Reduzierung der Staubbelastung zu reduzieren.

Wird der hier diskutierte „Gefahrenwert“ (RW-II-Wert) von 4,7 pg WHO-TEQ/m<sup>3</sup> Bestandteil des Bewertungsschemas für PCB-belastete Innenräume so müssten aus der Logik der Gefahrenwerte im Baurecht alle Gebäude mit einer vergleichbaren Quellenlage de facto sofort geschlossen und saniert werden. Dies würde beispielsweise für Baden-Württemberg zwangsläufig zur unmittelbaren Schließung einer Reihe von Hochschulgebäuden führen, da eine Überschreitung eines Gefahrenwerts eine unmittelbare Gefahr (im Sinne des Polizeirechts) für die Nutzer dieser Gebäude bedeuten. Vor einer Nutzung müssten diese Gebäude aufwendig saniert werden, wobei mit Kosten von ca. 200 € pro m<sup>2</sup> zu rechnen ist. Damit wäre allein in Baden-Württemberg unmittelbar mit Sanierungskosten im Hochschulbereich von ca. 20 Millionen € zu rechnen.

Im Zuge der „Untersuchung auf PCB-haltige Baustoffe in den Gebäuden des Landes Baden Württemberg“ durchgeführt vom Finanzministerium Baden Württemberg und unterstützt vom Sozialministerium Baden Württemberg wurde eine Leitplanung zur Sanierung PCB-

belasteter Gebäude im Besitz des Landes Baden Württemberg basierend auf der derzeit geltenden PCB-Richtlinie [23] erstellt. Die Priorisierung der Sanierungsmaßnahmen erfolgte unabhängig von der Problematik der hier untersuchten Belastung von Gebäuden mit „dioxin-ähnlichen“ PCBs. Resultierend aus den Ergebnissen der Untersuchung des Finanzministeriums waren, zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts, Sanierungsvorhaben in öffentlichen Gebäuden des Landes Baden Württemberg entweder bereits erfolgreich durchgeführt, begonnen oder für die nahe Zukunft in der Planung. Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung ist festzustellen, dass nach unserem Kenntnisstand die Sanierungen der Gebäude B, D und E zum Zeitpunkt der Berichtserstellung bereits erfolgreich abgeschlossen waren. Die Sanierung des Gebäudes C wird derzeit durchgeführt. Die Sanierung des Gebäudes A ist für den Zeitraum 2006/7 geplant.

## **Danksagung**

### **Für die Unterstützung und Förderung dieses Projekt möchten wir uns bedanken**

- bei dem Mittelgeber BWPlus und den beteiligten Gutachtern für die Möglichkeit dieses Projekt durchführen zu können
- bei den Gebäudeeigentümern bzw. den Gebäudeverwaltern für die Möglichkeit die umfangreichen Probenahmen in diesen Gebäuden durchführen zu können
- bei den Nutzern dieser Gebäude, deren Geduld wir beansprucht haben, auf deren Mitarbeit wir angewiesen waren und bei denen unsere Aktivitäten durchaus zu Irritationen geführt haben
- bei Frau Dipl. Ing. Hansen, Herrn Dr. G. Krause und Herrn Dr. Zöltzer auf deren umfangreiches Wissen wir zurückgreifen konnten und deren Ratschläge mit entscheidend für das Gelingen des Vorhabens waren

## Literatur

- 1) Michael Ball and Tunga Salthammer - Sampling and Analysis of PCDDs/PCDFs, PAH's and PCBs- in Organic Indoor Air Pollutants Edt. T. Salthammer Wiley-VCH Weinheim 1999
- 2) D. Hansen, G. Volland – Schwerflüchtige organische und partikelgebunden organische Verbindungen im Innenraum Verteilung zwischen Hausstaub und Raumluft VDI-Berichte 1656 (2002) 341-355
- 3) M. Ball und Th. Herrmann – Wieviele Messungen sind notwendig im Wechsel der Jahreszeiten -VDI-Berichte 1122 (1994) S 503 – 512
- 4) E. Balfanz ; J. Fuchs ; H.Kieper; Sampling and Anaylsis of Polychlorinated Biphenyls in Indoor Air due to permanently elastic Sealants Chemosphere Vol 26 No. 5 pp 871 – 880 ; 1993
- 5) N.Nix; P.Pluschke; B. Packenbusch Stadt Nürnberg Chemisches Untersuchungsamt- Jahreszeitliche PCB-Konzentrationen in Innenraumluft –Poster VDI Innenraumlufttage November 2004
- 6) H. Fiedler; Sources and Chemical Identity of PCB  
[www.chem.unep.ch/pops/stpeter/stepte2c.html](http://www.chem.unep.ch/pops/stpeter/stepte2c.html)
- 7) Mögliche Gefährdung des Grundwassers durch PCB und andere organische Stoffe einschließlich der Dioxine und Furane im Boden – Kurzfassung des Abschlußberichts zum Projekt – Prof. Dr. P. Krauß , Dipl. Chem. J. Taue Hrsg. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – Karlsruhe Dezember 1995
- 8) Stoffbericht Polychlorierte Biphenyle (PCB) Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung Band 16/95 Landesanstalt für Umweltschutz Baden Württemberg
- 9) T. Gabrio ; I. Piechtowski ; T. Wallenhorst ; M. Klett ; L. Cott ; P. Friebel ; B. Link ; M. Schwenk PCB-blood levels in teachers, working in PCB-contaminated schools ; Chemosphere Vol. 40 (2000) pp 1055 - 1062
- 10) Stephen Safe Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins and related Compounds : Sources, Environmental Distribution and Risk Assesment in Environ.Carcino. & Ecotox. Revs. C 9 (2) 261 – 302 ( in [www.free.de/WiLa/Arbeitsschutz/pcbinal](http://www.free.de/WiLa/Arbeitsschutz/pcbinal).)
- 11) H. Fiedler Dioxin and Furan Inventories – Source Releases and Past Inputs  
[www.chem.unep.ch/pops](http://www.chem.unep.ch/pops)
- 12) Taniyasu, S.; Falandysz, J.; Swiettojanska, A. Flisak, M.; Horii, Y., Hanarri, N.; Yamaashita, N.; Petrick, G. - Composition and Content of CB`s CDF`s and CN`s of Clophen A 60 – Organohalogencompounds Vol. 66 (2004) p 912 ff
- 13) Ishikawa, Y. ; Noma, Y. Mori, Y.; Sakai, S.; - Congener Profiles of PCBs and New Proposal of Indicator Congeners – Organohalogencompounds – Vol. 66 (2004) pp 525 ff
- 14) Bgvv Pressedienst 26/2001 11. September 2001
- 15) Ahlborg et.al. Toxic Equivalency Factors For Dioxin-Like PCBs Chemosphere Vol 28 No. 6 pp 1049 – 1067

- 16) Van den Berg et. al. ; Toxic Equivalency Factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for humans and wildlife Environ.Health Perspect. 106 , 775 – 792 (1998)
- 17) D. Schrenk ; P. Fürst ; Ableitung der tolerierbaren täglichen Dioxin-Aufnahme durch die WHO Umweltmed.Forsch.Prax. 4, 163 – 167 (1999)
- 18) H.Beck, B. Heinrich-Hirsch, G. Koss, D. Neubert, E. Roßkamp, D. Schrenk, J. Schuster, D. Wölfle und J. Wuthe Anwendbarkeit von 2,3,7,8-TCDD-TEF für PCB für Risikobewertungen Bundesgesundheitsbl. 4/96 S 141 – 147
- 19) M. Kohler Messung coplanarer polychlorierter Biphenyle (PCB) in Innenraumluft – Untersuchungsbericht Nr. 840`516 Abteilung Organische Chemie Dezember 2001 [www.empa.ch/plugin/template/empa/\\*/4371](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/4371)
- 20) H. Sagunski, E. Roßkamp, B. Heinrich-Hirsch Polychlorierte Biphenyle in Innenräumen: Versuch einer Bilanz Gesundheitswesen 59 (1997) 391 – 399
- 21) Prüfbericht ARGUK Umweltlabor GmbH Nr. 0222-1/2002 in [www.tat.uni-tuebingen.de/~pcb-info/messbericht/bibliothek.luft.pdf](http://www.tat.uni-tuebingen.de/~pcb-info/messbericht/bibliothek.luft.pdf)
- 22) Kerstin, M. Untersuchungen und Bewertung von Proben aus verschiedenen Umweltkompartimenten auf PCDD/PCDF sowie PCB unter Berücksichtigung der neuen WHO-Toxizitätsäquivalenzfaktoren FuE-Projekt Nr. 7000 Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 2003
- 23) Bekanntmachung des Wirtschaftsministeriums über die Einführung technischer Baubestimmungen; hier: Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-bleasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie)-Fassung September 1994 Az. 6-2601.1/17 vom 09. März 1995 GABl. Nr. 5 vom 26. April 1995 S 220 - 231
- 24) R.Blessing – Polychlorierte Dioxine und Furane in öffentliche Gebäuden Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 57 (1997) 305 – 309
- 25) C.Zellweger; M. Hill ; R. Gehrig ; P. Hofer Schadstoffemissionsverhalten von Baustoffen EMPA Abt. Luftfremdstoffe/Umwelttechnik 2. Auflage Januar 1997 [www.empa-ren.ch/ren/Projekte\\_Umwelt/Pdf%20Umwlt/bew2%20deutsch.pdf](http://www.empa-ren.ch/ren/Projekte_Umwelt/Pdf%20Umwlt/bew2%20deutsch.pdf)
- 26) Kieper, H.; Hemminghaus, H.-J. PCB-Untersuchungen in Innenräumen Umweltforschungsplan UFOPLAN 2003 FuE-Projekt 203 61 218/04 ; Umweltbundesamt März 2004
- 27) B.G.J. Heinzow; S Mohr; G. Ostendorp, M. Kerst; W. Körner Dioxin-like PCB in indoor air contaminated with different sources Organohalogen Compuonds Vol. 66 (2004) pp. 2470 - 2475

## Anhang

### Einzelergebnisse und Angaben zu Gebäudeerhebung

#### Gebäude A

Gebäudetyp – Hochhaus – 12 - geschossig  
Nutzung Büro und Seminarräume

#### Bauliche Verhältnisse

##### Raum A Grossraumbüro 11. Stock

**1) Gebäudetyp:**

12 geschossiges Hochhaus, Baujahr 1969, Länge: 24 m, Breite: 24 m, Höhe: 56 m

**2) Raumgröße und Raumtyp:**

größte Breite: 7,45 m, größte Länge: 23,75 m, Höhe: 2,95 m; Raumvolumen: 475,8 m<sup>3</sup>  
Großraumbüro

**3) Quellen:**

PCB-belaste Schallschutzplatten an der Decke

**4) Beladungsverhältnis des Raumes:**

Quellenfläche/Raumvolumen  $148,8 \text{ m}^2 / 475,8 \text{ m}^3 = 0,31/\text{m}$

**5) Zwangsluftwechselrate:**

$n = 0,36/\text{h}$

**6) Lage des Raums im Gebäude:**

11. Stock des Gebäudes Ostseite, Fenster nach Norden, Osten, Süden,  
Sonneneinstrahlung ist möglich

**7) Innenausstattung des Raums:**

Teppichboden, Tische (Holz/Kunststoff), Stühle, Einbauschränke, Holzregale, Stellwände  
Computer, Drucker

**8) Raumreinigungsintervall:**

vom Nutzer keine Angaben

**9) Heizungsart:**

Heizkörper



## **Bauliche Verhältnisse Gebäude A**

### **Raum B 10. OG**

**1) Gebäudetyp:**

12 geschossiges Hochhaus, Baujahr 1969, Länge: 24 m, Breite: 24 m, Höhe: 56 m

**2) Raumgröße und Raumtyp:**

Breite: 5,03 m, Länge: 4,92 m, Höhe: 2,95 m; Raumvolumen: 70,4 m<sup>3</sup>  
Besprechungsraum

**3) Quellen:**

PCB-belaste Schallschutzplatten an der Decke

**4) Beladungsverhältnis des Raumes:**

Quellenfläche/Raumvolumen  $21,7 \text{ m}^2 / 70,4 \text{ m}^3 = 0,31/\text{m}$

**5) Zwangsluftwechselrate:**

$n = 0,24/\text{h}$

**6) Lage des Raums im Gebäude:**

10. Stock des Gebäudes, Westseite, Fenster nach Westen, Sonneneinstrahlung ist möglich

**7) Innenausstattung des Raums:**

Teppichboden, Wände aus Kunststoff und Glas, 2 Tische (Holz/Kunststoff),  
12 Stühle (Holz), 1 Einbauschränk

**8) Raumreinigungsintervall:**

vom Nutzer keine Angaben

**9) Heizungsart:**

4 Heizkörper

**Tabelle A 1 – PCB in Quelle und Hausstaub (Sekundärquelle)**

Gehalte an PCB's in Hausstaub (keine Altersangabe) und PCB - belasteten Schallschutzdeckenplatten

		Raum A	Raum A
		Deckenplatte	Staub
PCB-Kongener	WHO - TEF	mg/kg	mg/kg
77	0,0001	120	0,2
81	0,0001	< 50	0,01
105	0,0001	440	1,19
114	0,0005	< 50	0,03
118	0,0001	2.930	6,09
123	0,0001	70	0,18
126	0,1	< 50	0,02
156	0,0005	1.710	3,99
157	0,0005	160	0,34
167	0,00001	710	1,84
169	0,01	90	0,01
189	0,0001	310	0,71
Summe (min)		6540	14,6
Summe (max)		6540	14,6
PCB-Leitkongenere			
28		80	0,4
52		460	1,42
101		5330	11,2
153		14260	44,9
138		17630	31,7
180		9540	27,3
Summe		47300	117
Summe nach LAGA			585
Gehalt an PCB in %		ca. 23	

**Tabelle A 2 – PCDD/PCDF in Quelle und Hausstaub (Sekundärquelle)**

Gehalte an PCDD/PCDF in Hausstaub (keine Altersangabe) und PCB - belasteten Schallschutzdeckenplatten

	TEF	Deckenplatte	Staub
Polychlorierte Dibenzodioxine		Konzentration in µg /kg	
2,3,7,8- TCDD	1	< 0,6	< 0,006
1,2,3,7,8-PCDD	1	< 1,0	< 0,005
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	< 1,1	0,008
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	< 0,9	0,04 <sub>5</sub>
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	< 0,8	0,02
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	< 0,9	0,93
OCDD	0,0001	22	7,23
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		22	8,23
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		27,3	8,24
Polychlorierte Dibenzofurane			
2,3,7,8-TCDF	0,1	155	2,15
1,2,3,7,8-PCDF	0,05	26	0,26
2,3,4,7,8-PCDF	0,5	110	1,02
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	167	0,89
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	25	0,14
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	19	0,09
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	31	0,20
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	100	0,68
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	91	0,17
OCDF	0,0001	262	1,03
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		986	6,63
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		986	6,63
Σ 2,3,7,8 -PCDD/PCDF (min.)		1008	14,86
Σ 2,3,7,8 - PCDD/PCDF (max.)		1013	14,87

**Tabelle A 3 – PCB in Innenraumluft - Winter 2003/2004 - Vergleichsmessung**

Gehalte an PCB's in Innenraumluft

		Raum A Raummitte	Raum A Raummitte W	Raum A Innenwand	Raum A Innenwand W
		Innenraumparameter			
Raumtemperatur		19,3 – 25,8 °C			
Durchschnitt		23,8			
Luftfeuchte (Durchschnitt)		25 % rel.			
Raumvolumen		371 m <sup>3</sup>			
Fläche der PCB-Quelle		124 m <sup>2</sup>			
Sonneneinstrahlung möglich		ja			
Sonneneinstrahlung		partiell		nein	
PCB-Kongener	WHO - TEF				
		PCB in Raumluft in ng/m <sup>3</sup>			
77	0,0001	0,7	0,7	0,6	0,7
81	0,0001	0,04	0,04	0,03	0,03
105	0,0001	2,5	2,4	2,3	2,7
114	0,0005	0,1	0,1	0,08	0,07
118	0,0001	14,2	13,6	10,8	12,2
123	0,0001	0,7	0,6	0,56	0,6
126	0,1	0,02	0,02	0,01	0,02
156	0,0005	2,7	2,4	2,6	2,7
157	0,0005	0,3	0,3	0,2	0,2
167	0,00001	1,1	1,1	0,9	0,9
169	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
189	0,0001	0,1	0,1	0,1	0,1
Summe (min.) ng/m <sup>3</sup>		22,4	21,4	18,2	20,2
Summe (max.) ng/m <sup>3</sup>		22,4	21,5	18,2	20,2
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		<b>5,2</b>	<b>5,5</b>	<b>4,2</b>	<b>4,9</b>
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		<b>5,2</b>	<b>5,6</b>	<b>4,2</b>	<b>5,0</b>
PCB-Leitkongenere					
28		29	38	28	36
52		65	67	60	65
101		71	76	64	65
153		61	60	50	52
138		39	29	32	23
180		11	10	9	8
Summe		276	279	243	248
Summe nach LAGA		1380	1394	1215	1239

**Tabelle A 4 in Innenraumluft – Winter 2003/2004 – Norm**

Gehalte an PCB's in Innenraumluft unter Norm - Bedingungen

Messraum		Raum B	Raum B (W)
Innenraumparameter			
Raumtemperatur		20 – 29,1 °C	
Durchschnitt		22,5 °C	
Luftfeuchte		34,4 % rel.	
Raumvolumen		70,4 m <sup>3</sup>	
Fläche der PCB-Quelle		21,7 m <sup>2</sup>	
Messbedingungen		Norm VDI 4300 Bl. 2 (über Nacht verschlossen)	
Luftwechselrate unter Messbedingungen		0,24/h	
Sonneneinstrahlung		ja	
PCB-Kongener	WHO - TEF		
77	0,0001	0,4	0,4
81	0,0001	0,02	0,01
105	0,0001	4,2	3,4
114	0,0005	0,1	n.b.
118	0,0001	21,7	12,7
123	0,0001	0,9	0,6
126	0,1	0,02	< 0,01
156	0,0005	5,4	3,0
157	0,0005	0,4	0,3
167	0,00001	n.b.	1,6
169	0,01	< 0,01	< 0,02
189	0,0001	0,2	0,2
Summe (min.) ng/m <sup>3</sup>		33,3	22,2
Summe (max.) ng/m <sup>3</sup>		33,3	22,2
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		<b>7,8</b>	<b>3,4</b>
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		<b>7,9</b>	<b>5,1</b>
PCB-Leitkongenere			
28		32	30
52		57	64
101		78	89
153		79	82
138		72	81
180		12	15
Summe		330	362
Summe nach LAGA		1648	1812

(\* Anmerkung Raum B – Winter – Wiederfindungsraten im Durchschnitt < 60 % )

**Tabelle A 5 – PCB in Innenraumluft - Sommer 2004**

Gehalte an PCB's in Innenraumluft unter Norm – Bedingungen und unter Nutzungsbedingungen

		Raum A Raummitte	Raum A Raummitte W	Raum A Innenwand	Raum A Innenwand W
Innenraumparameter					
Raumtemperatur		22,0 – 25,5 °C		20,8 – 27,5 °C	
Durchschnitt		23,6 °C		25,3 °C	
Luftfeuchte		29,7 % rel.		35 % rel.	
Raumvolumen		476 m <sup>3</sup>			
Fläche der PCB-Quelle		124 m <sup>2</sup>			
Messbedingungen		Norm VDI 4300 Bl. 2 (über Nacht verschlossen)		Nutzungsbedingungen	
Luftwechselrate unter Messbedingungen		0,36/h		Fensterlüftung 1 –2 mal arbeitstäglich	
Sonneneinstrahlung möglich		ja			
Sonneneinstrahlung					
PCB-Kongener	WHO - TEF				
PCB in Raumluft in ng/m <sup>3</sup>					
77	0,0001	1,7	1,8	0,8	0,7
81	0,0001	0,09	0,1	0,03	0,03
105	0,0001	4,7	4,9	2,4	2,3
114	0,0005	0,2	0,3	0,1	0,09
118	0,0001	36,7 <sub>5</sub>	39,5	13,2	12,2
123	0,0001	1,3	1,4	0,6	0,6
126	0,1	0,02	0,02	0,01	0,01
156	0,0005	5,6 <sub>5</sub>	6,1	3,0	3,0
157	0,0005	0,5	0,5	0,3	0,2
167	0,00001	3,1	3,3	1,2	1,1
169	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
189	0,0001	0,2	0,2	0,1	0,1
Summe (min.) ng/m <sup>3</sup>		54,2	58,1	21,7	20,3
Summe (max.) ng/m <sup>3</sup>		54,2	58,1	21,7	20,3
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		<b>9,7</b>	<b>10,2</b>	<b>4,9</b>	<b>4,7</b>
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		<b>9,8</b>	<b>10,3</b>	<b>5,0</b>	<b>4,8</b>
PCB-Leitkongenere					
28		61	59	34	28
52		98	100	51	48
101		100	100	61	57
153		107	104	67	60
138		59	59	37	33
180		15	14	9	8
Summe		440	436	259	234
Summe nach LAGA		2200	2180	1295	1170

**Tabelle A 6 – PCB-Leitkongenere- Schwankungsbereich in der Innenraumluft – Winter 2003/2004**

Schwankungsbreite der Gehalte der PCB - Leitkongenere in der Innenraumluft eines Großraumbüros (Raum A) auf von Basis 9 Einzelmessungen der Raumluft während Winterperiode 2003/2004

PCB-Kongener	Mittelwert	Standardabweichung (abs)	Min.	Max.	Median	90-Perzentil
Gehalte in Raumluft in ng/m <sup>3</sup>						
28	34,1 <sub>5</sub>	9,1	26,7	56,6	30,9 <sub>5</sub>	37,6
52	64,4	5,5	56,6	75,2	64,3 <sub>5</sub>	67,8
101	75,1	10,4	64,2	93	72,5 <sub>5</sub>	89,2
153	63,9	14,1	48	83,4	59,5	82,5
138	37,2	13,4	22,5	57	30,8	55
180	11,0	2,9	8	16,2	9,9	15
Summe	285,7	39,1	237,8	344,1	276,7	335,9
Summe LAGA	<b>1428,7</b>	195,4	1189	1720,5	<b>1383,5</b>	<b>1679,5</b>

**Tabelle A 7**

Prozentuale Verteilung der PCB-Leitkongeneren in der Raumluft (Großraumbüro Gebäude A)

PCB-Kongener	Basis Mittelwert	Basis Median	Basis 90-Perzentil
Angabe in %			
28	12	11,2	11,2
52	22,5	23,3	20,2
101	26,3	26,2	26,5
153	22,4	21,5	24,5
138	13	11,1	16,4
180	3,8	3,6	4,5
Summe	100	100	100

**Tabelle A 8 – PCB in Innenraumluft – Wirksamkeit von Lüftungsmaßnahmen**

Wirksamkeit von Lüftungsmaßnahmen, hier Stoßlüftung am Beispiel von 2 nebeneinanderliegenden Büroräumen im Gebäude A (jeweils gleiches Stockwerk. Gehalte an PCB's in der Innenraumluft (Sommer 2004) in zwei Büroräumen des Gebäudes A – Stoßlüftung 2 – 4 min je Stunde

MESSRAUM		BÜRO I	BÜRO II	BÜRO II
		Stoßlüftung 2 – 4 min je Stunde		Norm
		Sommer		Sommer
	Temp. in °C	18,2 – 29,4 Ø 25,2		22 – 25,5 Ø 23,6
PCB-Kongener	WHO - TEF			
77	0,0001	1,3	1,3	0,6
81	0,0001	0,07	0,07	0,03
105	0,0001	3,1	2,4	5,2
114	0,0005	0,2	0,2	0,2
118	0,0001	14,6	10,1	28,9
123	0,0001	0,8	0,8	1,3
126	0,1	< 0,01	< 0,01	0,03
156	0,0005	3,6	2,3	7,3
157	0,0005	0,3	0,3	0,7
167	0,00001	1,3	0,9	2,4
169	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
189	0,0001	0,2	0,1	0,3
Summe (min.) ng/m <sup>3</sup>		25,5	18,4	46,9
Summe (max.) ng/m <sup>3</sup>		25,5	18,4	46,9
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		4,1	2,9	10,3 <sub>5</sub>
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		5,1	4,0	10,4 <sub>5</sub>
PCB-Leitkongenere				
28		23	19	36
52		45	40	82
101		48	42	101
153		46	29	129
138		46	30	77
180		11	7	18
Summe		219	167	443
Summe nach LAGA		1095	835	2215



**Tabelle A 6 – PCDD/PCDF in Innenraumluft – Winter 2003/2004 und Sommer 2004**

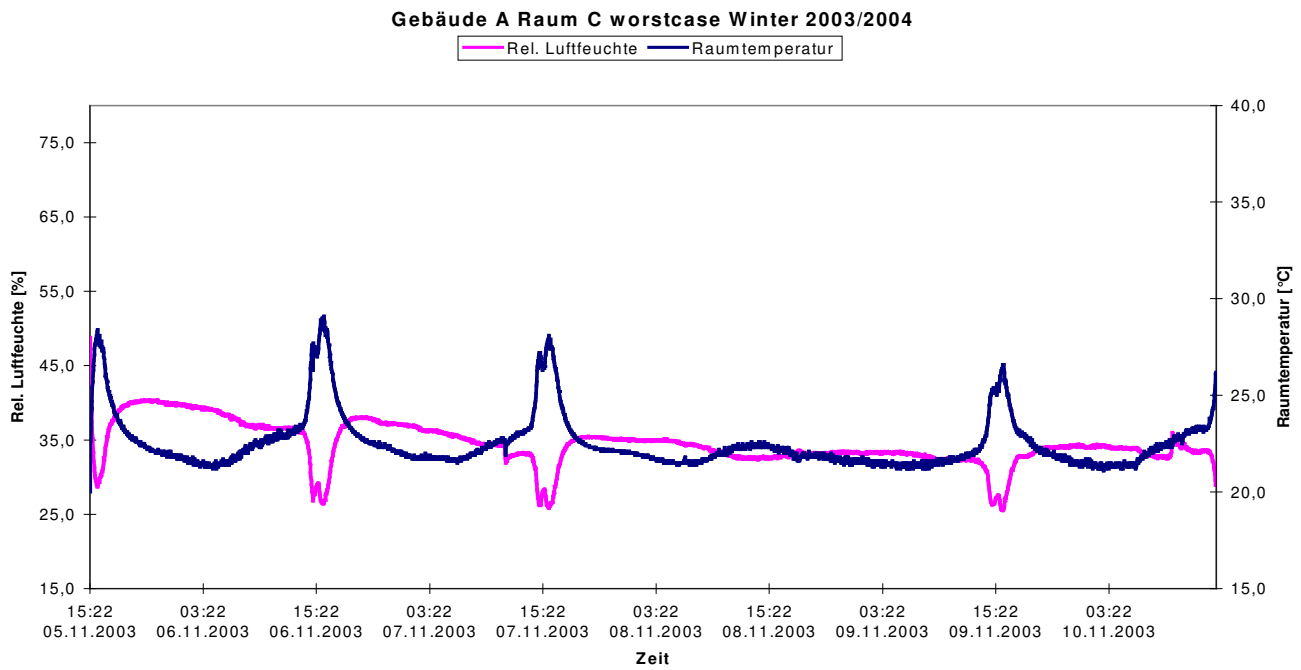
Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane in Innenräumen mit PCB-belasteten Schallschutzdeckenplatten

		Raum A *	Raum A	Raum A (W)
	TEF	Winter	Sommer	
Raumtemperatur in °C		19,3 – 25,8	22,0 – 25,5	
Polychlorierte Dibenzodioxine		Konzentration in pg /m <sup>3</sup>		
2,3,7,8- TCDD	1	n. b.	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8-PCDD	1	n. b.	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	n. b.	< 0,05	< 0,05
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	n. b.	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	n. b.	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	n. b.	< 0,05	< 0,05
OCDD	0,0001	n. b.	0,12	0,22
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)				
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)				
I - TE (PCDD) (min.)				
I - TE (PCDD) (max.)				
Polychlorierte Dibenzofurane				
2,3,7,8-TCDF	0,1	n. b.	9,8	10,01
1,2,3,7,8-PCDF	0,05	n. b.	0,11	0,11
2,3,4,7,8-PCDF	0,5	n. b.	0,39	0,61
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	n. b.	< 0,05	< 0,05
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	n. b.	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	n. b.	< 0,05	< 0,05
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	n. b.	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	n. b.	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	n. b.	< 0,05	< 0,05
OCDF	0,0001	n. b.	< 0,05	< 0,05
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)				
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)				
I-TE (PCDF) (min.)				
I-TE (PCDF) (max.)				
I-TE Σ PCDD/PCDF (min.)			1,12	1,17
I-TE Σ PCDD/PCDF (max.)			1,23	1,31

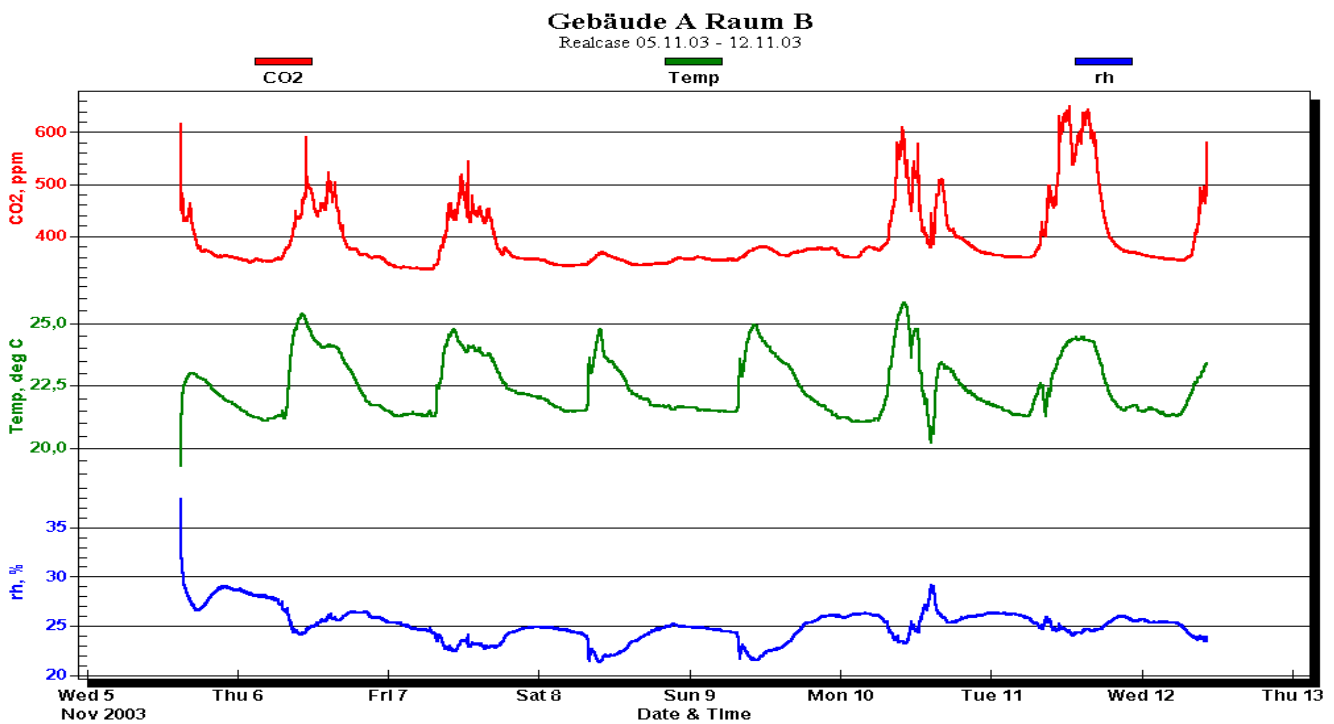
Raum A \* n. b. = nicht bestimmbar - Wiederfindungsraten << 50 %

# Raumklimadaten Bau A

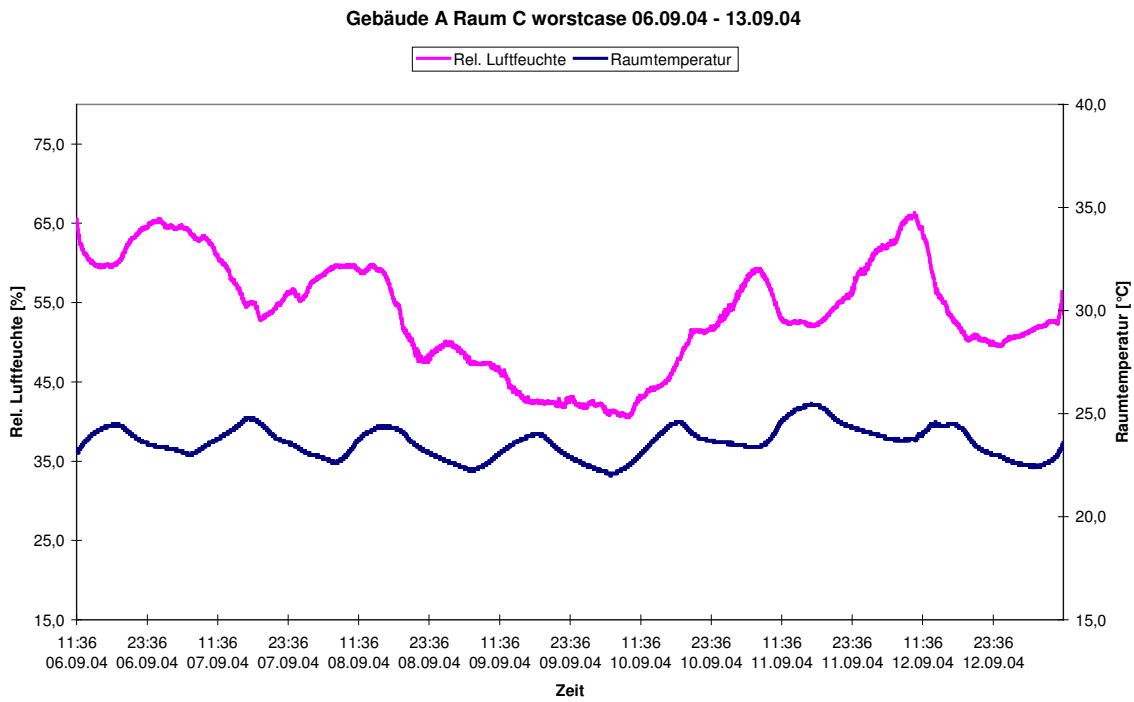
## Normbedingungen Winter



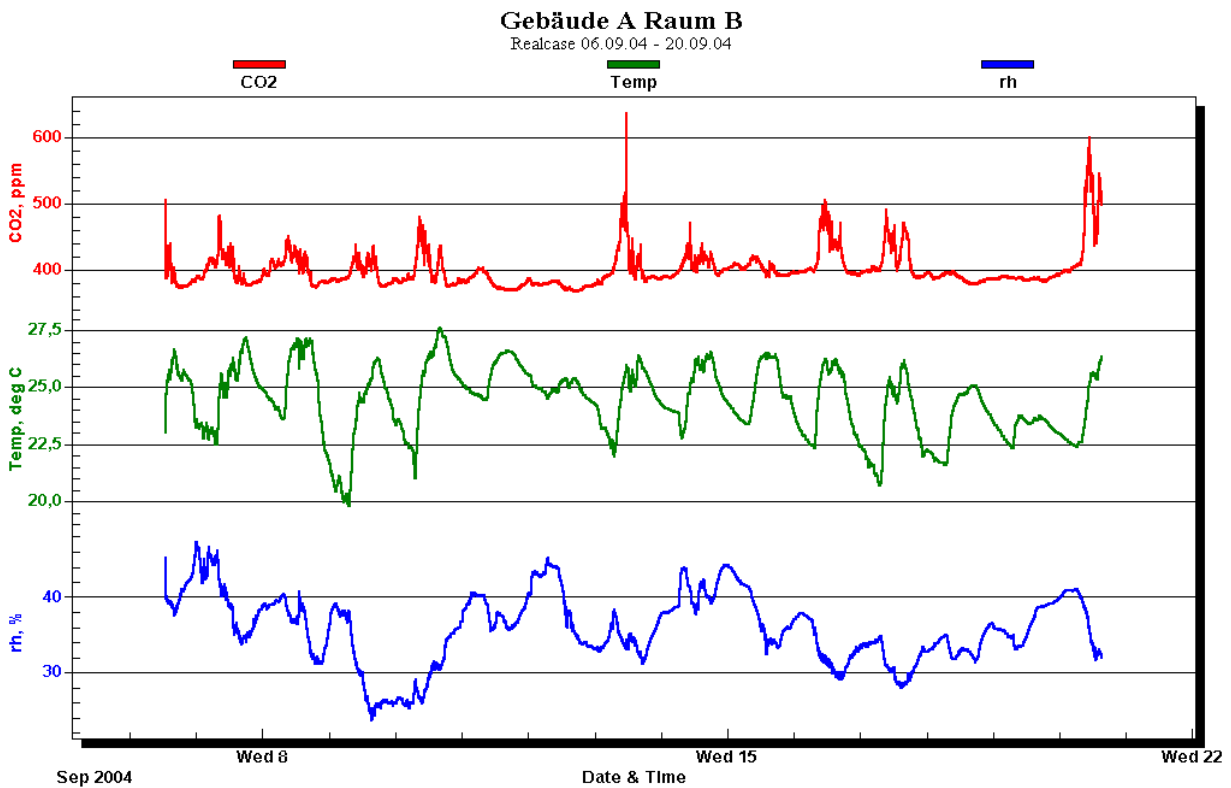
## Nutzungsbedingungen Winter



## Normbedingungen Sommer



## Nutzungsbedingungen Sommer



## Gebäude B

Gebäudetyp – Flachbau – 1-geschossig;  
Nutzung Büro

### Baulichen Verhältnisse Gebäude B; Raum A

- 1) **Gebäudetyp:**  
Eingeschossiger Flachbau, Baujahr 1973
- 2) **Raumgröße und Raumtyp:**  
Breite: 3,54 m, Länge: 8,38 m, Höhe: 3 m; Raumvolumen: 88 m<sup>3</sup>  
als Büroraum genutzt
- 3) **Quellen:**  
PCB-belastete Schallschutzplatten an der Decke
- 4) **Beladungsverhältnis des Raumes:**  
Quellenfläche/Raumvolumen  $24 \text{ m}^2 / 88 \text{ m}^3 = 0,27 \text{ /m}$
- 5) **Zwangsluftwechselrate:**  
 $n = 1,27 \text{ 1/h}$
- 6) **Lage des Raums im Gebäude:**  
Erdgeschoß Südseite, Fenster nach Süden → Sonneneinstrahlung möglich  
Alte Holzfenster ohne Dichtungslippe, Fenster über ganze Breite des Raumes,  $\frac{1}{4}$  der Fensterfläche ist ganz zu öffnen, zudem sind Fenster im oberen Bereich leicht kippbar  
Lüftungsanlage vorhanden, aber außer Funktion; Querlüftung möglich
- 7) **Innenausstattung des Raums:**  
Kunststoff-Fußboden, 2 Kunststoffwände, 1 gemauerte Wand, Fensterwand aus Beton  
1 Holzschreibtisch, 3 Stühle, 1 Computer, 1 Drucker, 1 Labortisch mit Waschbecken,  
4 Schränke jeweils (H: 2,11 m x B: 1,11 m x T: 0,36 m)
- 8) **Raumreinigungsintervall:**  
vom Nutzer keine Angaben
- 9) **Heizungsart:**  
Rippenheizkörper

**Tabelle B 1 – PCB-Quellen sowie PCB in Hausstaub (Sekundärquelle)**

Gehalte an n PCB's in Hausstaub (keine Altersangabe) und PCB - belasteten Schallschutzdeckenplatten und PCB-belasteten Fugen

		Raum A	Raum A	Raum A
		Deckenplatte	Deckenplatte II	Staub
PCB-Kongener	WHO - TEF	mg/kg	mg/kg	mg/kg
77	0,0001	< 0,1	110	< 0,01
81	0,0001	< 0,1	< 50	0,05
105	0,0001	0,7	380	1,4
114	0,0005	0,2	< 50	0,02
118	0,0001	3,2	2850	6,8
123	0,0001	0,3	70	0,23
126	0,1	< 0,1	< 50	0,01
156	0,0005	1,8	1810	5,0
157	0,0005	0,1	160	0,49
167	0,00001	1	820	2,2
169	0,01	0,2	70	0,01
189	0,0001	0,2	380	0,95
Summe (min.)		7,7	6650	17,2
Summe (max.)		8,0	6800	17,2
PCB-Leitkongenere				
28		0,1	20	0,2
52		1,2	350	3,5
101		13	3370	33
152		40	9180	41
138		59	5830	47
180		36	5330	14
Summe		149,3	24080	138,7
Summe nach LAGA		747	--	694

**Tabelle B 2 – PCDD/PCDF in Quelle und Hausstaub (Sekundärquelle)**

Gehalte an PCDD/PCDF in Hausstaub (keine Altersangabe) und PCB - belasteten Schallschutzdeckenplatten

	TEF	Deckenplatte	Staub
Polychlorierte Dibenzodioxine		Konzentration in µg /kg	
2,3,7,8- TCDD	1	< 0,01	< 0,04
1,2,3,7,8-PCDD	1	< 0,02	< 0,06
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	< 0,01	< 0,06
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	0,06	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	< 0,01	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,89	1,51
OCDD	0,0001	5,33	9,79
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		6,28	11,30
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		6,33	11,56
Polychlorierte Dibenzofurane			
2,3,7,8-TCDF	0,1	0,29	4,26
1,2,3,7,8-PCDF	0,05	0,03	0,64
2,3,4,7,8-PCDF	0,5	0,20	2,16
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0,22	2,10
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	0,04	0,21
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	< 0,01	< 0,06
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	0,07	0,34
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,46	1,08
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	0,04	0,11
OCDF	0,0001	0,83	4,06
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		2,19	14,96
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		2,20	15,02
Σ 2,3,7,8 - PCDD/PCDF (min.)		8,47	26,26
Σ 2,3,7,8 - PCDD/PCDF (max.)		8,53	26,58

**Tabelle B 3 – PCB in Innenraumluft Winter 2003/2004**

Gehalte an PCB's in Innenraumluft unter Norm- und Nutzungsbedingungen

		Raum A	Raum A W	Raum A	Raum A W
Innenraumparameter					
Raumtemperatur		22,1 – 24,8		23,8 – 25,8 °C	
Durchschnitt		24,1 °C		25,2 °C	
Luftfeuchte		18 – 25 %		18 – 25 % rel.	
Raumvolumen		88 m <sup>3</sup>			
Fläche der PCB-Quelle		24 m <sup>2</sup>			
Messbedingungen		Norm VDI 4300 Bl. 2 (über Nacht verschlossen)		Nutzungsbedingungen	
Luftwechselrate unter Messbedingungen		1,27 h <sup>-1</sup>		Fensterlüftung 3 – 4 mal täglich	
Sonneneinstrahlung möglich		Ja			
Sonneneinstrahlung		ja		nein	
PCB-Kongener	WHO - TEF				
PCB in Raumluft in ng/m <sup>3</sup>					
77	0,0001	0,2	0,2	0,2	0,2
81	0,0001	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
105	0,0001	4,3	3,9	3,8	4,3
114	0,0005	0,1	0,1	0,2	0,2
118	0,0001	41,4	41,1	21,4	26,8
123	0,0001	1,5	1,2	1,1	1,8
126	0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
156	0,0005	6,1	5,8	4,0	5,9
157	0,0005	0,4	0,4	0,3	0,5
167	0,00001	3,8	3,6	1,7	2,4
169	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
189	0,0001	0,3	0,3	0,2	0,3
Summe (min.) ng/m <sup>3</sup>		58,2	56,6	32,8	42,2
Summe (max.) ng/m <sup>3</sup>		58,2	56,6	32,9	42,2
WHO-TE min.		<b>8,2</b>	<b>7,9</b>	<b>4,9<sub>5</sub></b>	<b>6,6</b>
WHO-TE max.		<b>9,3</b>	<b>9,0</b>	<b>6,05</b>	<b>7,7</b>
PCB-Leitkongenere					
28		4,4	6,3	5,3	5,4
52		41	55	54	58
101		145	183	151	178
153		115	141	118	152
138		73	91	75	101
180		19	23	19	28
Summe		397	499	422	522
Summe nach LAGA		1985	2495	2110	2610

**Tabelle B 4 - PCB in Innenraumlufte - Sommer 2004**

Gehalte an PCB's in Innenraumlufte unter Norm- und Nutzungsbedingungen

		Raum A	Raum A W	Raum A	Raum A W
Innenraumparameter					
Raumtemperatur		19,5 – 27,2 °C		22,7 – 31,0 °C	
Durchschnitt		25,0 °C		28,1 °C	
Luftfeuchte		54,7		34,9	
Raumvolumen		88 m <sup>3</sup>			
Fläche der PCB-Quelle		27 m <sup>2</sup>			
Messbedingungen		Norm VDI 4300 Bl. 2 (über Nacht verschlossen)		Nutzungsbedingungen	
Luftwechselrate unter Messbedingungen		1,27 h <sup>-1</sup>		Fensterlüftung 3 –4 mal täglich	
Sonneneinstrahlung möglich		Ja			
Sonneneinstrahlung		ja		nein	
PCB-Kongener	WHO - TEF				
PCB in Raumlufte in ng/m <sup>3</sup>					
77	0,0001	0,3	0,3	0,4	0,5
81	0,0001	0,01	0,01	0,02	0,02
105	0,0001	4,7	5,0	4,6	4,9
114	0,0005	n.b.	n.b.	0,3	0,22
118	0,0001	60,9	67,2	27,0	27,9
123	0,0001	1,7	1,9	1,8	1,9
126	0,1	0,01	0,02	0,02	0,02
156	0,0005	8,7	8,9	6,6	7,4
157	0,0005	0,6	0,7	0,5	0,6
167	0,00001	4,7	5,0	2,6	2,9
169	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
189	0,0001	0,4	0,4	0,3	0,3
Summe (min.) ng/m <sup>3</sup>		81,9	89,4	44,00	46,4
Summe (max.) ng/m <sup>3</sup>		81,9	89,4	44,01	46,4
WHO-TE min.		<b>13,0</b>	<b>14,1</b>	<b>8,7</b>	<b>9,6</b>
WHO-TE max.		<b>13,1</b>	<b>14,2</b>	<b>8,8</b>	<b>9,7</b>
PCB-Leitkongenere					
28		9,2	8,8	9,7	9,8
52		74,7	75,9	64	70,1
101		241,0	246	140	150
153		266,0	279	157	176
138		126	135	74,5	83,9
180		33,7	35,4	20,8	23,4
Summe					
Summe nach LAGA		3753	3901	2330	2566



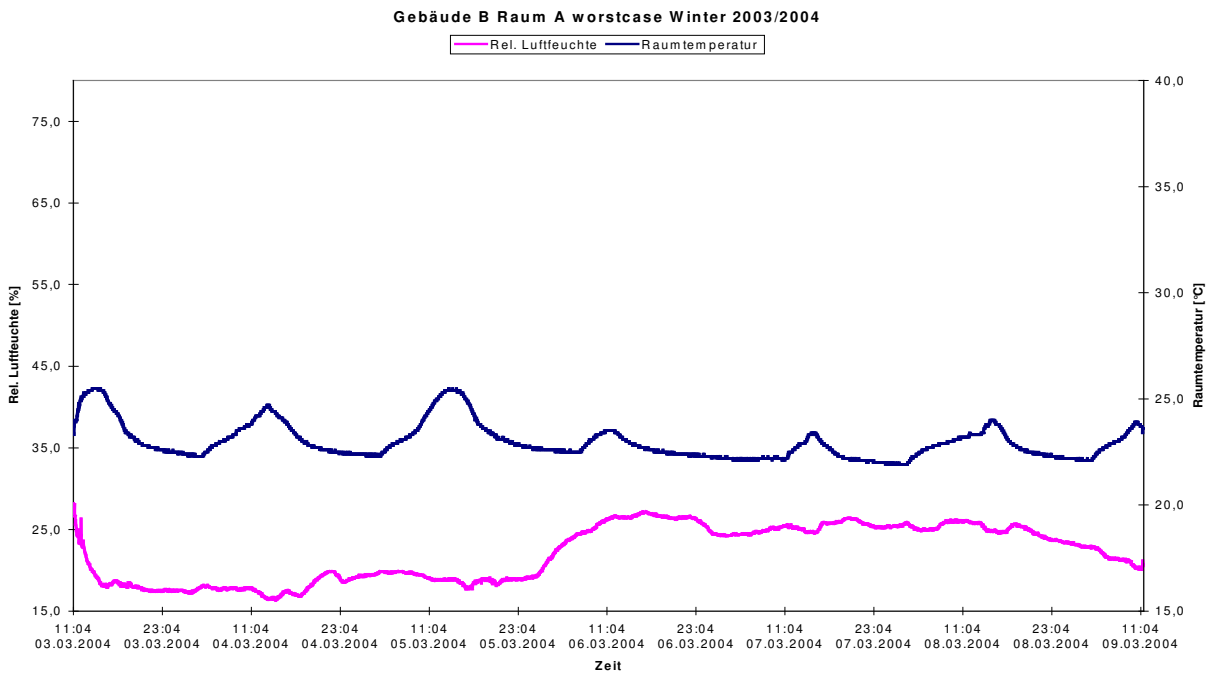
**Tabelle B 5 PCDD/PCDF in Innenraumluft Winter 2003/2004 und Sommer 2004**

Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane in Innenräumen mit PCB-belasteten Schallschutzdeckenplatten

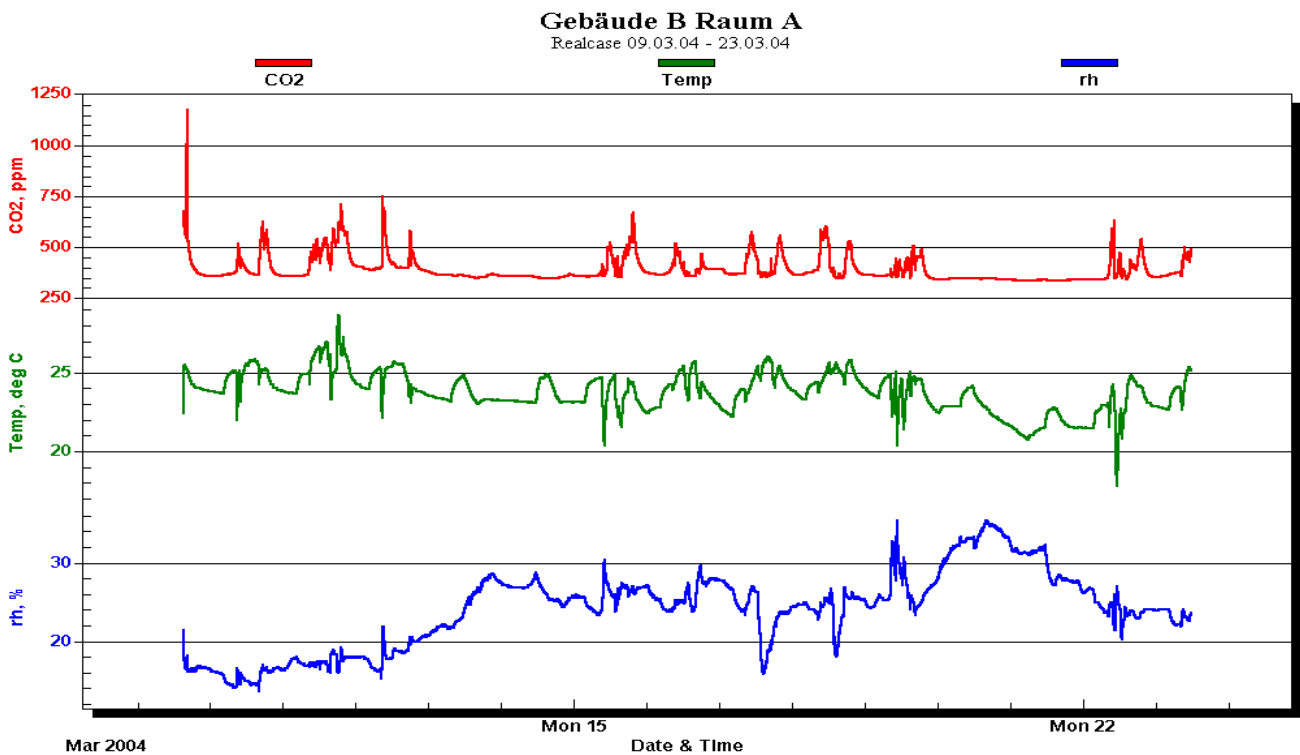
		Winter	Sommer	Sommer (W)
Raumtemperatur in °C		21,4 – 24,8	22,7 – 31,0	
Polychlorierte Dibenzodioxine	TEF	Konzentration in pg /m <sup>3</sup>		
2,3,7,8- TCDD	1	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8-PCDD	1	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05
OCDD	0,0001	0,36	0,18	0,07
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)				
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)				
I - TE (PCDD) (min.) in pg/m <sup>3</sup>		0,0001		
I - TE (PCDD) (max.) in pg/m <sup>3</sup>		0,12		
Polychlorierte Dibenzofurane				
2,3,7,8-TCDF	0,1	8,55	25,35	28,74
1,2,3,7,8-PCDF	0,05	0,18	0,38	0,52
2,3,4,7,8-PCDF	0,5	0,5	1,30	1,48
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0,11	0,33	0,36
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,17	< 0,05	0,06
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05
OCDF	0,0001	0,08	< 0,05	0,11
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		9,41	27,36	31,27
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		9,79	27,66	31,47
I-TE (PCDF) (min.) in pg/m <sup>3</sup>		1,13		
I-TE (PCDF) (max.) in pg/m <sup>3</sup>		1,15		
I-TE Σ PCDD/PCDF (min.)		1,1	3,24	3,67
I-TE Σ PCDD/PCDF (max.)		1,3	3,34	3,78

# Raumklimadaten Bau B

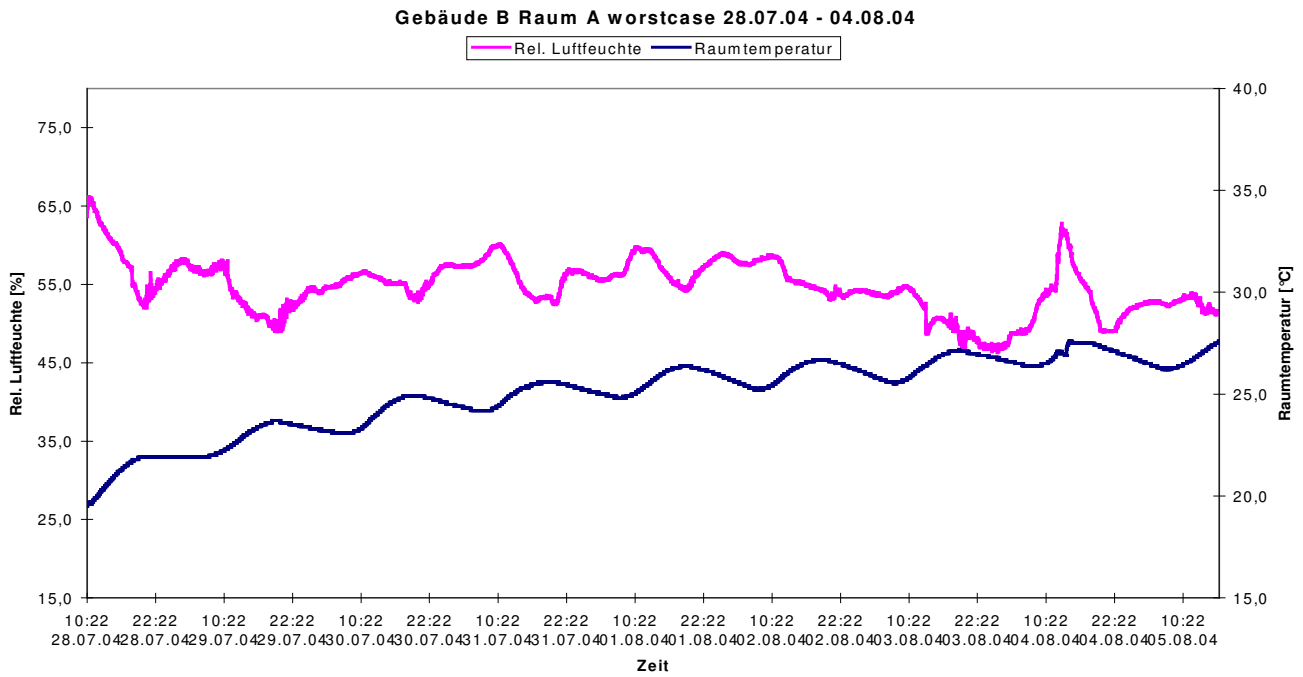
## Normbedingungen Winter



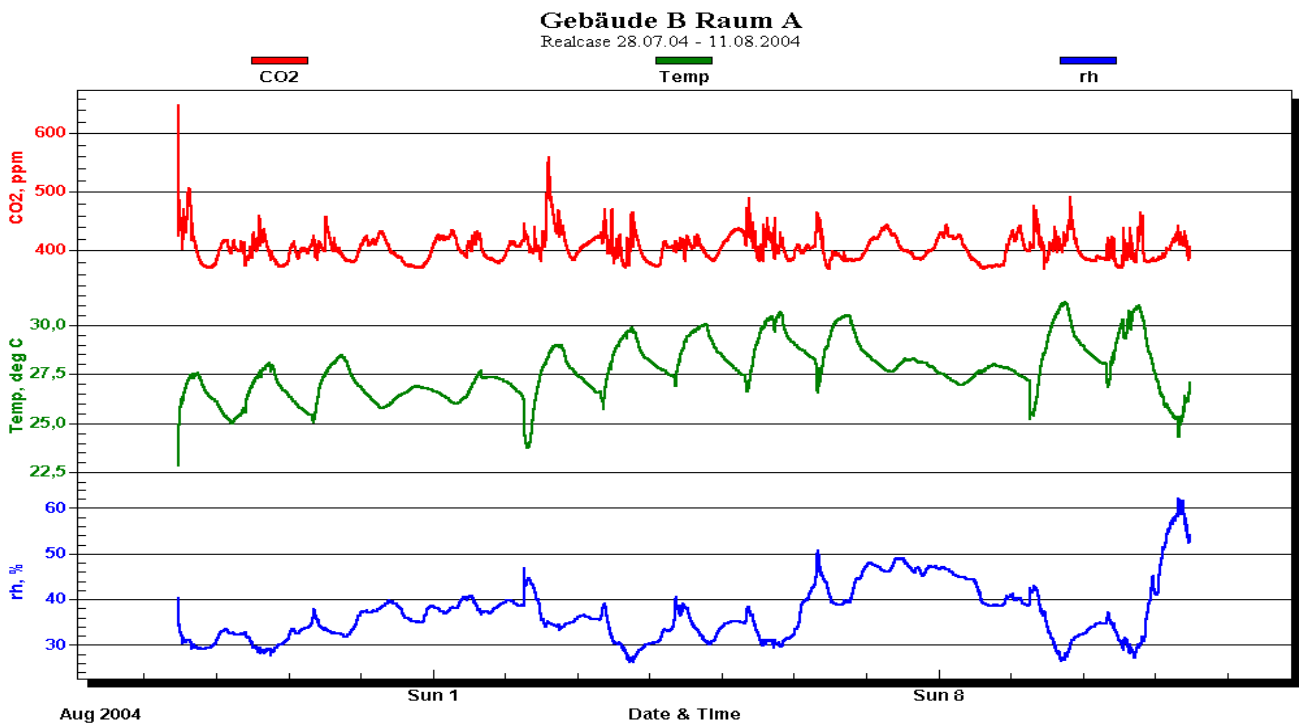
## Nutzungsbedingungen Winter



## Normbedingungen Sommer



## Nutzungsbedingungen Sommer



## Gebäude C

Gebäudetyp – Hochhaus 10 - geschossig;  
Nutzung Büro

### Baulichen Verhältnisse Gebäude C; Raum A

**1) Gebäudetyp:**

Hochhaus mit 10 Geschossen ca. (65 m lang, 25 m breit, 40 m hoch), Baujahr 1973

**2) Raumgröße und Raumtyp:**

Breite: 3,57 m, Länge: 6,05 m, Höhe: 2,96 m; Raumvolumen: 63,9 m<sup>3</sup>  
Büro A zur Zeit leerstehend

**3) Quellen:**

PCB-belastete Schallschutzplatten an der Decke, PCB-belastete Fugen im Fensterbrüstungsbereich

**4) Beladungsverhältnis des Raumes:**

Quellenfläche/Raumvolumen  $21,5 \text{ m}^2 / 63,9 \text{ m}^3 = 0,34 \text{ /m}$

**5) Zwangsluftwechselrate:**

$n = 0,48 \text{ 1/h}$

**6) Lage des Raums im Gebäude:**

Ostseite des Gebäudes im 9. Stock, Fenster nach Osten → Sonneneinstrahlung ist möglich

Fensterfläche ca. 6,9 m<sup>2</sup>, davon läßt sich aber nur 1/5 öffnen, Zugscheinungen nicht bemerkbar; keine Lüftungsanlage vorhanden, Querlüftung möglich.

**7) Innenausstattung des Raums:**

PVC-Fußboden, lackierte Metallwände, 1 Labortisch mit Waschbecken, kunststofffurnierte Möbel

**8) Raumreinigungsintervall:**

vom Nutzer keine Angaben

**9) Heizungsart:**

1 Rippenheizkörper

## **Baulichen Verhältnisse; Gebäude C; Raum B**

### **1) Gebäudetyp:**

Hochhaus mit 10 Geschossen ca. (65 m lang, 25 m breit, 40 m hoch), Baujahr 1973

### **2) Raumgröße und Raumtyp:**

Breite: 3,45 m, Länge: 6,05 m, Höhe: 2,96 m; Raumvolumen: 61,7 m<sup>3</sup>  
Büroraum in Nutzung

### **3) Quellen:**

PCB-belastete Schallschutzplatten an der Decke, PCB-belastete Fugen im Fensterbrüstungsbereich

### **4) Beladungsverhältnis des Raumes:**

Quellenfläche/Raumvolumen  $20,8 \text{ m}^2 / 61,7 \text{ m}^3 = 0,34 \text{ m}^{-1}$

### **5) Zwangsluftwechselrate:**

$n = 0,45/\text{h}$

### **6) Lage des Raums im Gebäude:**

Westseite des Gebäudes im 10. Stock, Fenster nach Westen → Sonneneinstrahlung ist möglich

Metallfenster, Fensterfläche ca. 6,5 m<sup>2</sup>, davon läßt sich aber nur 1/5 öffnen, Zugscheinungen nicht bemerkbar; keine Lüftungsanlage vorhanden, Querlüftung möglich.

### **7) Innenausstattung des Raums:**

PVC-Fußboden, lackierte Metallwände, 4 Computer, Leuchtstofflampen, kunststofffurnierte Möbel

### **8) Raumreinigungsintervall:**

vom Nutzer keine Angaben

### **9) Heizungsart:**

1 Rippenheizkörper

**Tabelle C 1 - PCB-Quellen im Gebäude C**

Gehalte an PCB's in PCB-haltigen Fugen und PCB - haltigen Schallschutzdeckenplatten

		Raum A Deckenplatte	Raum A Fuge A60-Muster	Raum B Deckenplatte	Raum B Fuge A 60 - Muster
		mg/kg			
PCB-Kongener	WHO - TEF				
77	0,0001	90	40	120	40
81	0,0001	< 10	< 10	< 10	< 10
105	0,0001	340	4.430	350	4.690
114	0,0005	< 10	230	< 10	230
118	0,0001	2.680	9.730	2.720	10.080
123	0,0001	80	830	80	880
126	0,1	< 10	< 10	< 10	< 10
156	0,0005	1.960	980	1.880	1.050
157	0,0005	170	230	170	250
167	0,00001	910	150	930	380
169	0,01	< 10	< 10	< 10	< 10
189	0,0001	420	50	440	40
Summe (min.)		6650	16670	6690	17650
Summe (max.)		6690	16700	6730	17680
WHO-TE min.		1,43	2,20	1,40	2,34
WHO-TE max.		2,54	3,34	2,46	3,44
PCB-Leitkongenere					
28		100	100	100	300
52		1200	3900	700	4700
101		9800	9900	8900	12300
153		25200	9100	23700	12900
138		15300	7500	15400	10100
180		14600	2700	13900	4500
Summe		66200	33200	62800	44800
Summe nach LAGA		331.000	166.000	314.000	224.000

**Tabelle C 2 – PCB in Hausstaub (Sekundärquelle)**

Gehalte an n PCB's in Hausstaub (keine Altersangabe)

		Raum A	Raum B
		Staub	
PCB-Kongener	WHO - TEF	mg/kg	mg/kg
77	0,0001	0,1	0,1
81	0,0001	< 0,1	< 0,1
105	0,0001	2,3	2,6
114	0,0005	2,1	2,6
118	0,0001	15,1	16,2
123	0,0001	0,3	0,5
126	0,1	0,1	0,1
156	0,0005	11,9	12,7
157	0,0005	0,9	1,1
167	0,00001	5,7	6,2
169	0,01	< 0,1	< 0,1
189	0,0001	3,0	3,2
Summe (min.)		41,5	42,8
Summe (max.)		41,7	43,0
PCB-Leitkongenere			
28		2,8	0,2
52		6,2	3,2
101		38,3	38,2
138		124	136
152		73,6	88,5
180		67	94,1
Summe		311,9	360,2
Summe nach LAGA		1559,5	1801

**Tabelle C 3 – PCDD/PCDF in Quelle und Hausstaub (Sekundärquelle)**

Gehalte an PCDD/PCDF in Hausstaub (keine Altersangabe) und PCB - belasteten Schallschutzdeckenplatten

	TEF	Deckenplatte	Staub
Polychlorierte Dibenzodioxine		Konzentration in µg /kg	
2,3,7,8- TCDD	1	< 0,3	< 0,01
1,2,3,7,8-PCDD	1	< 0,6	< 0,02
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	< 0,7	< 0,01
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	< 0,5	0,02
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	< 0,5	< 0,01
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	< 0,5	0,21
OCDD	0,0001	< 3,2	1,63
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		--	1,86
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		6,3	1,91
Polychlorierte Dibenzofurane			
2,3,7,8-TCDF	0,1	526	4,20
1,2,3,7,8-PCDF	0,05	66	0,52
2,3,4,7,8-PCDF	0,5	394	3,52
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	412	2,93
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	40	0,28
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	12	0,12
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	93	0,73
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	106	0,83
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	59	0,40
OCDF	0,0001	116	0,82
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		1824	14,36
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		1824	14,36
Σ 2,3,7,8 - PCDD/PCDF (min.)		1824	16,22
Σ 2,3,7,8 - PCDD/PCDF (max.)		1830	16,27



**Tabelle C 4 PCB in Innenraumlufth Winter 2003/2004**

Gehalte an n PCB's in Innenraumlufth unter Norm- und Nutzungsbedingungen

		Raum A	Raum A W	Raum B		Raum B W 1	
Innenraumparameter							
Raumtemperatur		21,5 – 22,0 °C		26,5 – 27 °C			
Luftfeuchte		35 – 45 % rel.		22 % rel.			
Raumvolumen		63 m <sup>3</sup>		62 m <sup>3</sup>			
Fläche der PCB-Quelle		21,5 m <sup>2</sup>		21 m <sup>2</sup>			
Messbedingungen		Norm VDI 4300 Bl. 2 (über Nacht verschlossen)		Nutzungsbedingungen			
Luftwechselrate unter Messbedingungen		0,48 h <sup>-1</sup>		Fensterlüftung 1 –2 mal täglich			
Sonneneinstrahlung möglich		ja		ja			
Sonneneinstrahlung				ja			
PCB-Kongener	WHO - TEF						
		PCB in Raumlufth in ng/m <sup>3</sup>					
77	0,0001	0,07	0,07	0,2	0,2		
81	0,0001	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
105	0,0001	2,0	2,2	4,9	4,8		
114	0,0005	0,1	0,1	0,2	0,2		
118	0,0001	18,2	19,3	30,7	28,7		
123*	0,0001	0,6	0,8	1,5	1,6		
126	0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
156	0,0005	2,2	2,3	6,18	5,70		
157	0,0005	0,2	0,2	0,5	0,5		
167	0,00001	1,2	1,28	2,4	2,3		
169	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
189	0,0001	0,1	0,1	0,3	0,3		
Summe (min.)		24,7	26,4	46,8	44,3		
Summe (max.)		24,7	26,4	46,9	44,3		
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		<b>3,3<sub>5</sub></b>	<b>3,6</b>	<b>7,7</b>	<b>6,8</b>		
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		<b>4,4<sub>5</sub></b>	<b>4,7</b>	<b>8,3</b>	<b>7,9</b>		
PCB-Leitkongenere							
28		4,1	3,9	11	9,1	11	9,5
32		55,6	46	81	79	93	80
101		75,8	63	167	149	180	156
153		37,5	36	95	88	100	99
138		28	33	76	60	78	67
180		7,6	6,3	22	16	23	18
Summe		208	188	452	410	485	430
Summe Nach LAGA		1040	940	2260	2050	2425	2150

**Tabelle C 4 - PCB in Innenraumluft Sommer 2004**

Gehalte an PCB's in Innenraumluft unter Norm- und Nutzungsbedingungen

		Raum A	Raum A W	Raum B	Raum B W
Innenraumparameter					
Raumtemperatur		22,4 – 38,1 (Ø 25,1)		23,5 – 30,9 (Ø 28,2)	
Luftfeuchte		61,4		32,1	
Raumvolumen		63 m <sup>3</sup>		62 m <sup>3</sup>	
Fläche der PCB-Quelle		21,5 m <sup>2</sup>		21 m <sup>2</sup>	
Messbedingungen		Norm VDI 4300 Bl. 2 (über Nacht verschlossen)		Nutzungsbedingungen	
Luftwechselrate unter Messbedingungen		0,48 h <sup>-1</sup>		Fensterlüftung 1 –2 mal täglich	
Sonneneinstrahlung möglich		ja		ja	
Sonneneinstrahlung				ja	
PCB-Kongener	WHO - TEF				
		PCB in Raumluft in ng/m <sup>3</sup>			
77	0,0001	0,3	0,3	0,3	0,22
81	0,0001	0,01	0,01	0,01	< 0,01
105	0,0001	5,9	5,1	4,8	4,24
114	0,0005	0,08	0,09	0,11	0,14
118	0,0001	68,1	65,0	33,3	32,35
123*	0,0001	2,4	2,1	1,8	1,4
126	0,1	0,01	0,01	0,01	0,01
156	0,0005	9,6	9,3	8,9	7,0
157	0,0005	0,7	0,7	0,6	0,5
167	0,00001	5,1 <sub>5</sub>	4,9	3,2	2,5
169	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
189	0,0001	0,4	0,3 <sub>5</sub>	0,4	0,3
Summe (min.)		92,6	87,8	53,5	48,8
Summe (max.)		92,6	87,8	53,5	48,8
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		<b>13,9</b>	<b>13,4</b>	<b>9,9</b>	<b>8,7</b>
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		<b>14,0</b>	<b>13,5</b>	<b>10</b>	<b>8,8</b>
PCB-Leitkongenere					
28		15	14,3	15	18
32		154	136	79	81
101		351	295	195	197
153		283	236	166	170
138		139	115	87	97
180		36,9	30,4	23	23
Summe					
Summe Nach LAGA		4895	4134	2820	2930

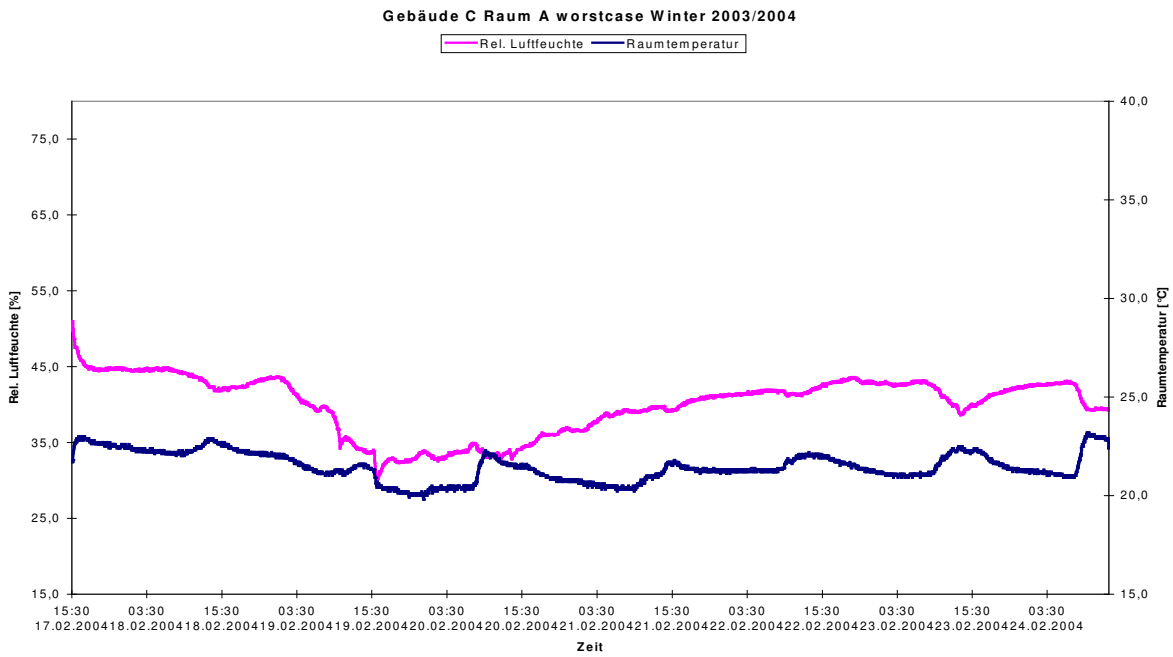
**Tabelle C 5 – PCDD/PCDF in Innenraumluft – Winter 2003/2004 und Sommer 2004**

Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane in Innenräumen mit PCB-belasteten Schallschutzdeckenplatten und PCB-belasteten Fugen

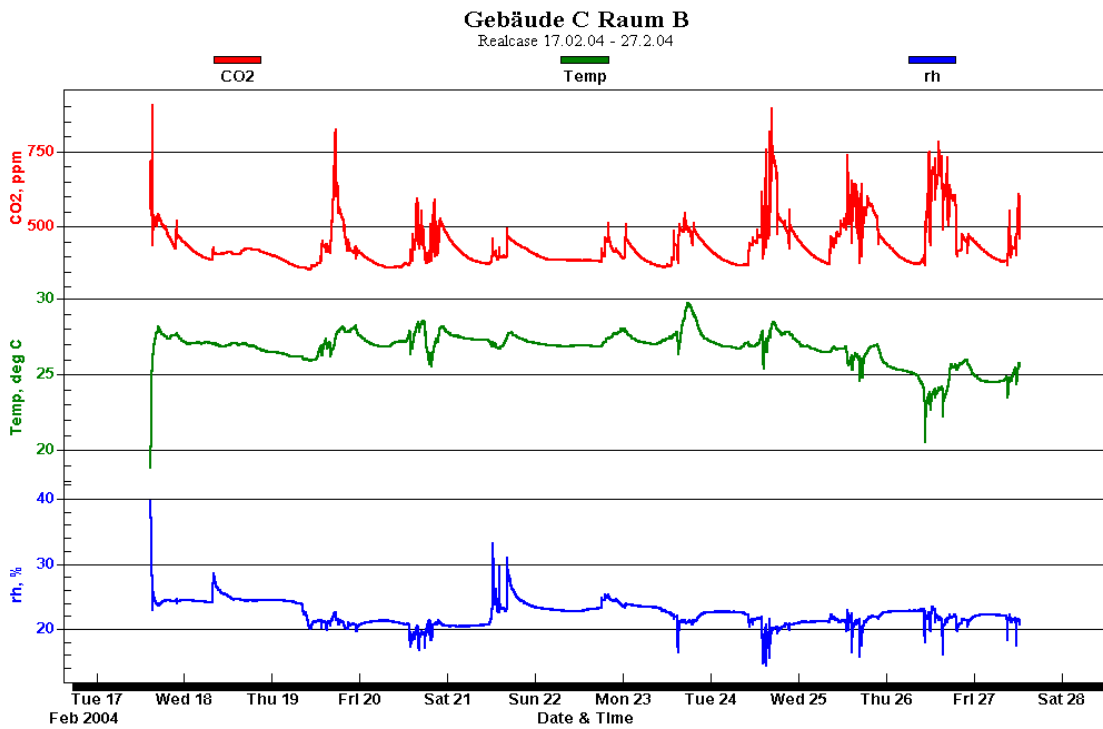
	TEF	Raum A	Raum A (W)	Raum A	Raum A (W)
		Winter		Sommer	
Raumtemperatur in °C		21,5 – 22,5		22,4 – 38,1	
Polychlorierte Dibenzodioxine		Konzentration in pg /m <sup>3</sup>			
2,3,7,8- TCDD	1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8-PCDD	1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,13	0,08	< 0,05	< 0,05
OCDD	0,0001	0,35	0,30	0,24	0,24
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		0,48			
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		0,73			
I - TE (PCDD) (min.)		0,001	< 0,001		
I - TE (PCDD) (max.)		0,12	0,11		
Polychlorierte Dibenzofurane					
2,3,7,8-TCDF	0,1	8,55	7,65	36,27	28,76
1,2,3,7,8-PCDF	0,05	0,18	0,19	0,27	0,51
2,3,4,7,8-PCDF	0,5	0,50	0,45	2,12	1,42
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0,11	0,09	0,41	0,39
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,11
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
OCDF	0,0001	0,08	0,08	< 0,05	0,23
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		8,8	7,74	39,07	31,42
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		9,79	8,82	39,37	31,62
I-TE (PCDF) (min.)		1,13	1,01		
I-TE (PCDF) (max.)		1,15	1,03		
I-TE Σ PCDD/PCDF (min.)		1,1	1,0	4,74	3,65
I-TE Σ PCDD/PCDF (max.)		1,3	1,1	4,85	3,76

# Raumklimadaten Bau C

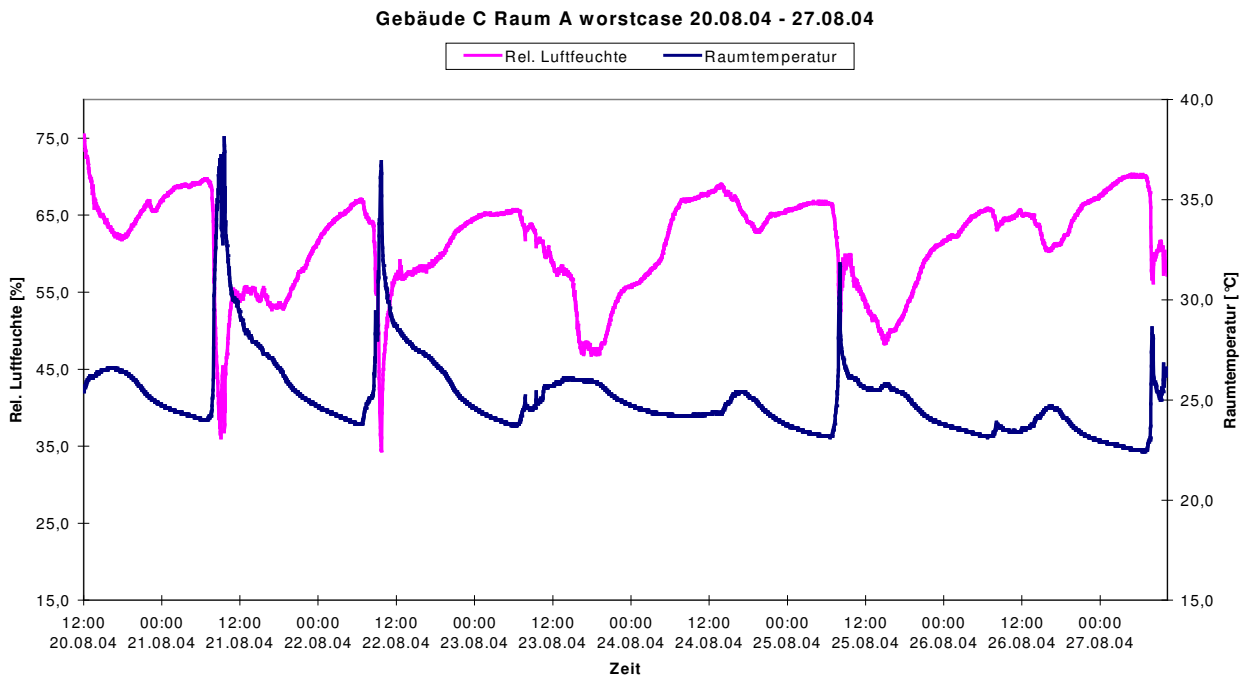
## Normbedingungen Winter



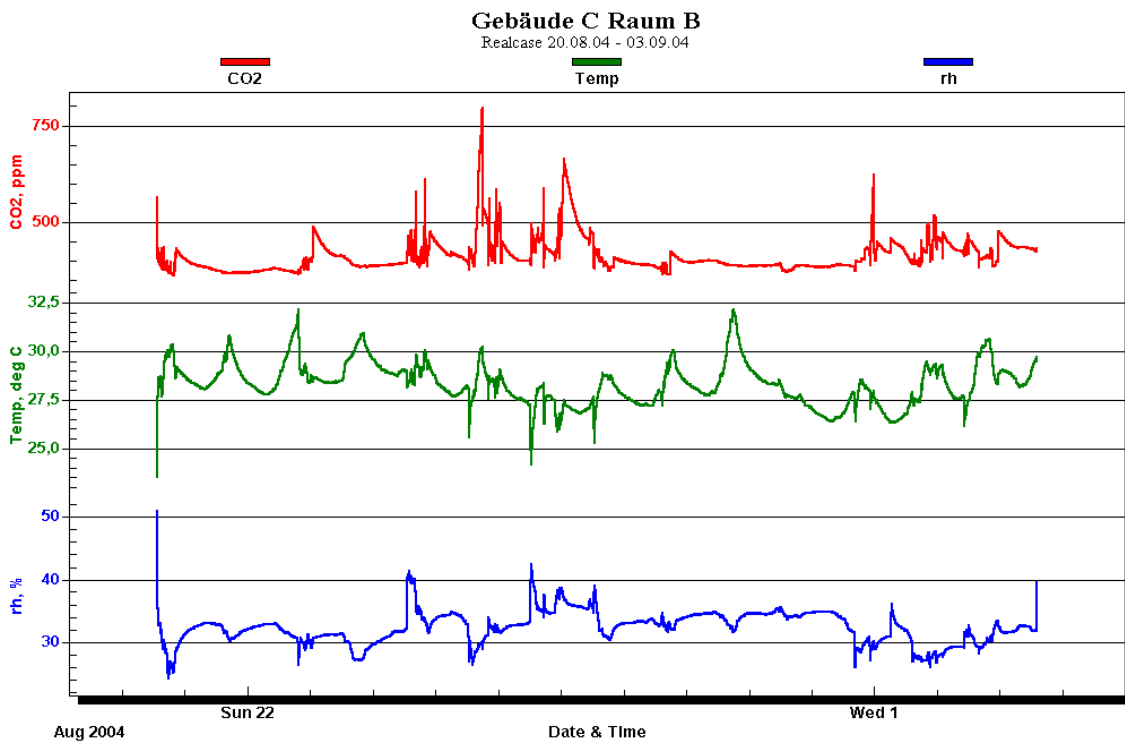
## Nutzungsbedingungen Winter



## Normbedingungen Sommer



## Nutzungsbedingungen Sommer



## Gebäude D

Gebäudetyp – Schulbau – 2 - geschossig

Nutzung Klassenräume / Berufliche Schule

### **Baulichen Verhältnisse Gebäude D; Raum A (ungenutzt)**

**1) Gebäudetyp:**

Zweigeschossiges Schulgebäude, Baujahr 1972

**2) Raumgröße und Raumtyp:**

Breite: 8,30 m, Länge: 8,55 m, Höhe: 2,95 m; Raumvolumen: 209,3 m<sup>3</sup>

Klassenzimmer zur Zeit ungenutzt

**3) Quellen:**

PCB-belastete Schallschutzplatten an der Decke

**4) Beladungsverhältnis des Raumes:**

Quellenfläche/Raumvolumen  $55,6 \text{ m}^2 / 209,3 \text{ m}^3 = 0,27 \text{ 1/m}$

**5) Zwangsluftwechselrate:**

$n = 0,77 \text{ 1/h}$

**6) Lage des Raums im Gebäude:**

2. Stock auf der Nord/Ostseite → Sonneneinstrahlung ist morgens möglich.

Es sind 4 Fenster auf der Ostseite und 1 Fenster auf der Nordseite vorhanden, die sich im oberen und unteren Viertel leicht kippen lassen. Allerdings funktioniert die obere Kippeinrichtung nur bei 3 Fenstern. Fenster sind ohne Dichtlippen und im schlechten Zustand.

Lüftungsanlage vorhanden, aber außer Funktion. Querlüftung eingeschränkt möglich.

**7) Innenausstattung des Raums:**

17 kunststofffurnierte Tische, 34 Melamin Stühle, Vorhänge.

**8) Raumreinigungsintervall:**

vom Nutzer keine Angaben

**9) Heizungsart:**

Rippenheizkörper

## **Baulichen Verhältnisse Gebäude D; Raum B (genutzt)**

### **1) Gebäudetyp:**

Zweigeschossiges Schulgebäude, Baujahr 1972

### **2) Raumgröße und Raumtyp:**

Breite: 8,30 m, Länge: 8,55 m, Höhe: 2,95 m; Raumvolumen: 209,3 m<sup>3</sup>  
Klassenzimmer

### **3) Quellen:**

PCB-belastete Schallschutzplatten an der Decke

### **4) Beladungsverhältnis des Raumes:**

Quellenfläche/Raumvolumen  $55,6 \text{ m}^2 / 209,3 \text{ m}^3 = 0,27 / \text{m}$

### **5) Zwangsluftwechselrate:**

nicht direkt bestimmt, Vergleichswert von Raum 401:  $n = 0,77 / \text{h}$   
Beide Räume stimmen im Aufbau größtenteils überein.

### **6) Lage des Raums im Gebäude:**

2. Stock auf der Süd/Westseite → Sonneneinstrahlung ist nachmittags möglich.  
Es sind 4 Fenster auf der Südwestseite vorhanden, die sich im oberen und unteren Viertel leicht kippen lassen. Fenster sind ohne Dichtlippen und im schlechten Zustand.  
Lüftungsanlage vorhanden, aber außer Funktion. Querlüftung eingeschränkt möglich.

### **7) Innenausstattung des Raums:**

17 kunststofffurnierte Tische, 34 Melamin Stühle, Vorhänge.

### **8) Raumreinigungsintervall:**

vom Nutzer keine Angaben

### **9) Heizungsart:**

Rippenheizkörper

**Tabelle D 1 – PCB-Quellen (Deckenplatte und Fuge)**

Gehalte an n PCB's in PCB-haltigen Fugen und PCB - haltigen Schallschutzdeckenplatten

		Raum A	Raum A
		PCB-Decken- Platte	Fuge A 40/ 50
PCB-Kongener	WHO – TEF	mg/kg	
77	0,0001	< 10	< 10
81	0,0001	< 10	< 10
105	0,0001	140	10
114	0,0005	< 10	< 10
118	0,0001	1.210	50
123	0,0001	40	< 10
126	0,1	< 10	< 10
156	0,0005	930	30
157	0,0005	80	< 10
167	0,00001	180	20
169	0,01	< 10	< 10
189	0,0001	200	10
Summe (min.)		2780	120
Summe (max.)		2830	190
WHO-TE min.		0,66	0,02
WHO-TE max.		1,77	1,14
PCB-Leitkongenere nach LAGA			
28		20	1
52		370	13
101		3400	40
153		8430	40
138		5240	28
180		5040	17
Summe		22.500	139
Summe nach LAGA		--	695



**Tabelle D 2 – PCB in Hausstaub (Sekundärquelle)**

Gehalte an PCB's in Hausstaub (keine Altersangabe)

		Raum A	Raum B
		Staub	
PCB-Kongener	WHO - TEF	mg/kg	
77	0,0001	0,03	0,02
81	0,0001	< 0,01	< 0,01
105	0,0001	0,84	0,57
114	0,0005	0,01	0,01
118	0,0001	6,61	4,84
123	0,0001	0,1	0,1
126	0,1	< 0,01	< 0,01
156	0,0005	4,60	3,23
157	0,0005	0,4	0,3
167	0,00001	2,25	1,49
169	0,01	< 0,01	< 0,01
189	0,0001	0,8	0,54
Summe (min.)		15,7	11,1
Summe (max.)		15,7	11,1
WHO-TE min.		0,0034	0,0024
WHO-TE max.		0,0047	0,0035
PCB-Leitkongenere nach LAGA			
28		0,1	0,1
52		1	0,7
101		13,1	11
153		38	29
138		29	24
180		27	21
Summe		108	86
Summe nach LAGA		541	429

**Tabelle D 3 – PCDD/PCDF in Quelle und Hausstaub (Sekundärquelle)**

Gehalte an PCDD/PCDF in Hausstaub (keine Altersangabe) und PCB - belasteten Schallschutzdeckenplatten

	TEF	Deckenplatte	Staub
Polychlorierte Dibenzodioxine		Konzentration in µg /kg	
2,3,7,8- TCDD	1	< 0,6	< 0,007
1,2,3,7,8-PCDD	1	< 0,9	< 0,006
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	< 1,0	0,014
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	< 0,8	0,21
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	< 0,7	0,04
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	< 0,8	3,76
OCDD	0,0001	< 7,1	16,21
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		--	20,23
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		11,9	20,24
Polychlorierte Dibenzofurane			
2,3,7,8-TCDF	0,1	263	2,12 <sub>5</sub>
1,2,3,7,8-PCDF	0,05	36	0,19
2,3,4,7,8-PCDF	0,5	212	1,16
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	208	0,75
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	22	0,12
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	4	0,02
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	46	0,24
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	46	1,27
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	16	0,08
OCDF	0,0001	39	1,26
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		891	7,21
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		891	7,21
Σ 2,3,7,8 - PCDD/PCDF (min.)		891	27,44
Σ 2,3,7,8 - PCDD/PCDF (max.)		903	27,45

**Tabelle D 4 PCB in Innenraumluft – Winter 2003/2004**

Gehalte an PCB's in Innenraumluft unter Norm- und Nutzungsbedingungen

		Raum A	Raum A W	Raum B	Raum B W
Innenraumparameter					
Raumtemperatur		18 – 19,5°C		22,2- 23,4 °C	
Luftfeuchte		48 %		30 – 33 % rel	
Raumvolumen		209 m <sup>3</sup>		209 m <sup>3</sup>	
Fläche der PCB-Quelle		55,6 m <sup>2</sup>		55,6 m <sup>2</sup>	
Messbedingungen		Norm VDI 4300 Bl. 2 (über Nacht verschlossen)		Nutzungsbedingungen	
Luftwechselrate unter Messbedingungen		0,77 h <sup>-1</sup>		Fensterlüftung nur über Oberlichter	
Sonneneinstrahlung möglich		ja (vormittags)		ja (nachmittags)	
Sonneneinstrahlung				nein	
PCB in Raumluft in ng/m <sup>3</sup>					
PCB-Kongener	WHO - TEF				
77	0,0001	0,05	0,05	0,08	0,09
81	0,0001	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
105	0,0001	1,2	1,2	1,9	1,8
114	0,0005	0,03	0,03	0,06	0,04
118	0,0001	13,1	13,7	15,6	13,3
123	0,0001	0,3	0,3	0,6	0,6
126	0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
156	0,0005	1,8	1,9	2,9	2,6
157	0,0005	0,12	0,16	0,26	0,23
167	0,00001	1,0	1,1	1,2	1,1
169	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
189	0,0001	0,09	0,09	0,15	0,13
Summe (min.)		17,8	18,5	22,8	19,9
Summe (max.)		17,8	18,6	22,8 <sub>5</sub>	20,0
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		<b>2,5</b>	<b>2,6</b>	<b>3,5</b>	<b>3,0</b>
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		<b>3,6</b>	<b>3,7</b>	<b>4,6</b>	<b>4,1</b>
PCB-Leitkongenere nach LAGA					
28		3	4	3	3
52		34	34	43	43
101		108	110	157	145
153		58	76	115	94
138		36	37	53	47
180		10	13	15	12
Summe		248	273	385	343
Summe nach LAGA		1241	1366	1925	1717

**Tabelle D 5 - PCB in Innenraumluft; Sommer 2004**

Gehalte an PCB's in Innenraumluft unter Norm- und Nutzungsbedingungen

	Raum A	Raum A W	Raum B	Raum B W	
Innenraumparameter					
Raumtemperatur	20,6 – 23,6 °C		21,1 – 30,9 °C		
Durchschnitt	21,8 °C		26,0 °C		
Luftfeuchte	67,2 % rel.		44,9 % rel.		
Raumvolumen	209 m <sup>3</sup>				
Fläche der PCB-Quelle	55,6 m <sup>2</sup>				
Messbedingungen	Norm VDI 4300 Bl. 2 (über Nacht verschlossen)		Nutzungsbedingungen		
Luftwechselrate unter Messbedingungen	0,77 h <sup>-1</sup>		Fensterlüftung nur über Oberlichter		
Sonneneinstrahlung möglich	ja (vormittags)		ja (nachmittags)		
Sonneneinstrahlung			nein		
PCB in Raumluft in ng/m <sup>3</sup>					
PCB-Kongener	WHO - TEF				
77	0,0001	0,1	0,1	0,2	
81	0,0001	0,01	0,01	< 0,01	
105	0,0001	2,5	2,5	3,2	
114	0,0005	0,05	0,06	0,06	
118	0,0001	39,0	35,1	30,1	
123	0,0001	1,1	1,0	1,3	
126	0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
156	0,0005	4,7 <sub>5</sub>	4,4	5,7	
157	0,0005	0,4	0,4	0,4 <sub>5</sub>	
167	0,00001	2,4	2,5	2,3	
169	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
189	0,0001	0,2	0,2	0,2	
Summe (min.)		50,6	46,3	43,5	
Summe (max.)		50,6	45,3	43,5	
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		<b>6,6</b>	<b>7,5</b>	<b>6,9</b>	<b>6,4</b>
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		<b>7,7</b>	<b>8,6</b>	<b>8,0</b>	<b>7,5</b>
PCB-Leitkongenere nach LAGA					
28		6	6	7	17
52		57	60	75	117
101		161	166	220	258
153		102	108	130	165
138		83	88	108	128
180		14	15	18	21
Summe					
Summe nach LAGA		2115	2217	2789	3532

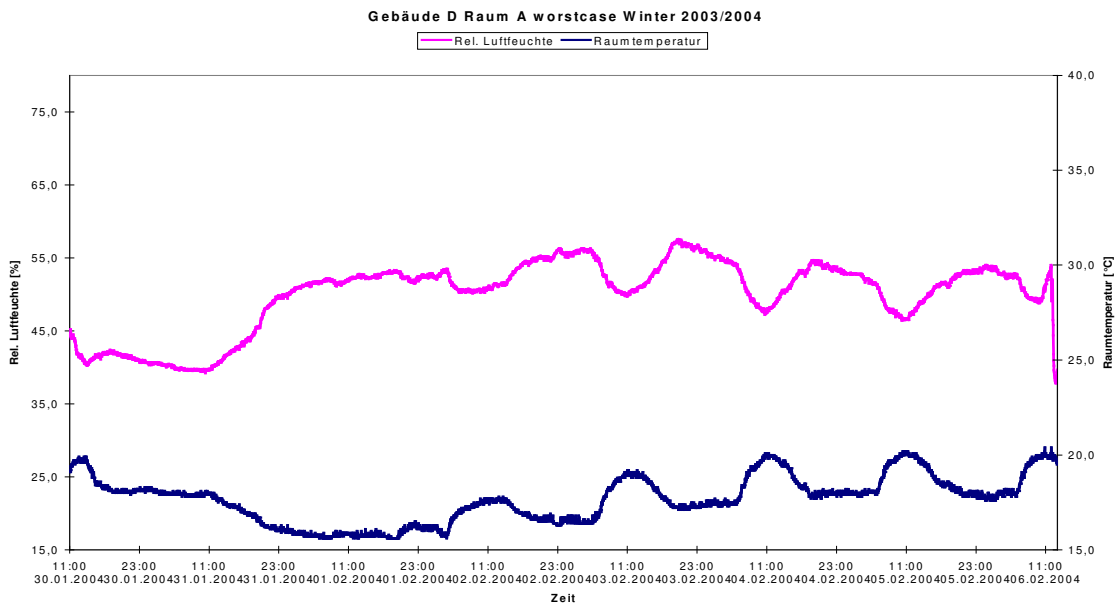
**Tabelle D 5 – PCDD/PCDF in Innenraumluft – Winter 2003/ 2004 und Sommer 2004**

Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane in Innenräumen mit PCB-belasteten Schallschutzdeckenplatten

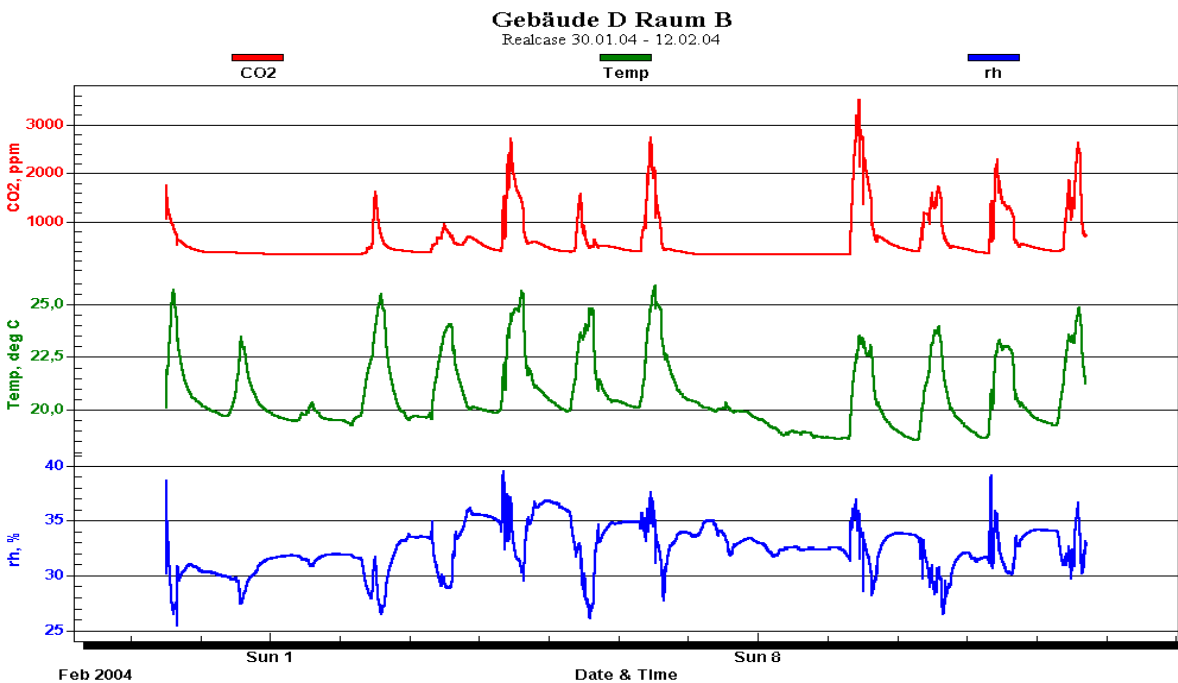
	TEF	Raum A	Raum A (W)	Raum A	Raum A (W)
		Winter		Sommer	
Raumtemperatur in °C		18 – 19,5		20,6 – 23,6	
Polychlorierte Dibenzodioxine		Konzentration in pg /m <sup>3</sup>			
2,3,7,8- TCDD	1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8-PCDD	1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,36	0,36	0,42	0,27
OCDD	0,0001	0,52	0,50	0,81	0,61
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		0,88	0,86		
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		1,13	1,11		
I - TE (PCDD) (min.)		0,004	0,004		
I - TE (PCDD) (max.)		0,12	0,12		
Polychlorierte Dibenzofurane					
2,3,7,8-TCDF	0,1	6,84	7,98	15,43	21,85
1,2,3,7,8-PCDF	0,05	0,10	0,14	0,23	0,20
2,3,4,7,8-PCDF	0,5	0,41	0,47	1,04	0,86
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0,09	0,07	0,23	0,17
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,17	0,17	0,39	0,22
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
OCDF	0,0001	0,05	0,06	0,59	< 0,05
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		7,06	8,2	17,91	23,30
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		7,86	9,8	18,11	23,55
I-TE (PCDF) (min.)		0,90	1,05		
I-TE (PCDF) (max.)		0,92	1,07		
I-TE Σ PCDD/PCDF (min.)		0,9	1,0 <sub>5</sub>	2,11	2,65
I-TE Σ PCDD/PCDF (max.)		1,0	1,2	2,21	2,76

# Raumklimadaten Gebäude D

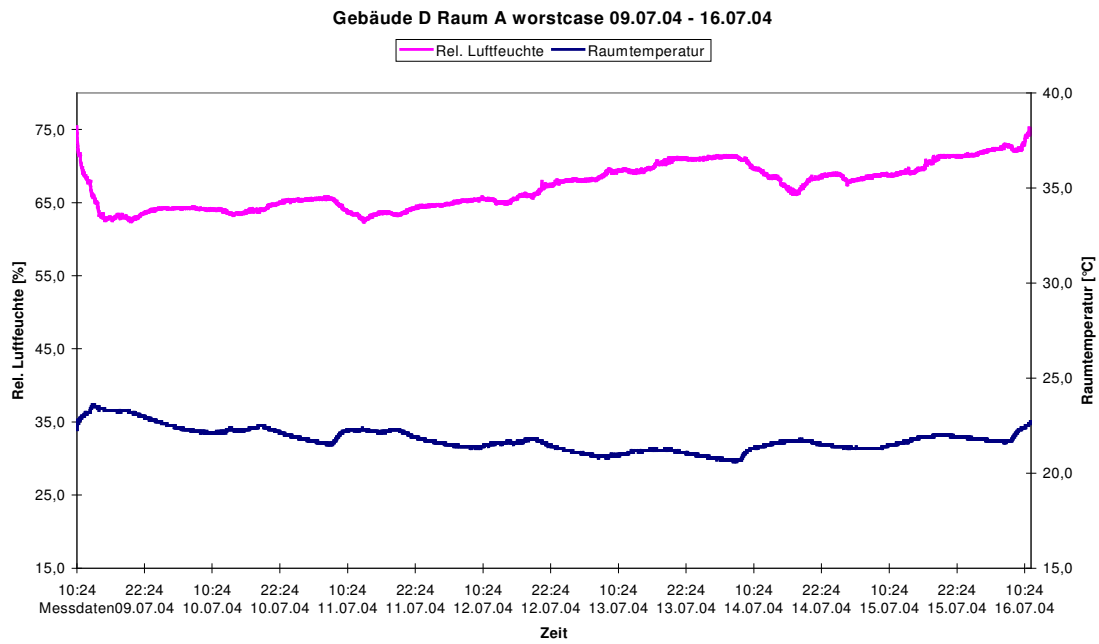
## Normbedingungen Winter



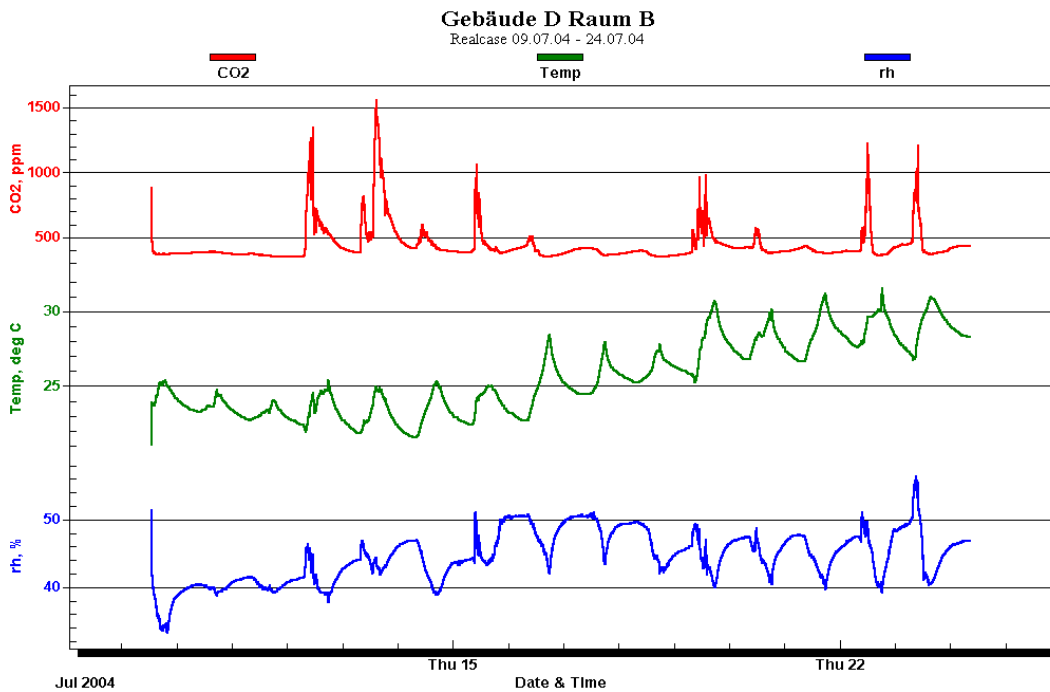
## Nutzungsbedingungen Winter



## Normbedingungen Sommer



## Nutzungsbedingungen Sommer



## **Gebäude E**

Gebäudetyp – Schulbau – 3- geschossig

Nutzung Klassenräume / Realschule

Quellen

PCB-haltige Fugen in Klassenräumen

### **Baulichen Verhältnisse Gebäude E; Räume A und B (baugleich)**

#### **1) Gebäudetyp:**

Schulgebäude mit 3 Geschossen, Baujahr 1971/72

#### **2) Raumgröße und Raumtyp:**

Breite: 9,53 m, Länge: 8,70 m, Höhe: 3,24 m; Raumvolumen: 268,6 m<sup>3</sup>

normal genutztes Klassenzimmer

#### **3) Quellen:**

Türfuge, Wandfugen (Primärquellen)

#### **4) Beladungsverhältnis des Raumes:**

Primärquellenfläche/Raumvolumen  $0,82 \text{ m}^2 / 268,6 \text{ m}^3 = 0,003/\text{m}$

#### **5) Zwangsluftwechselrate:**

$n = 0,70 /\text{h}$

#### **6) Lage des Raums im Gebäude:**

Im 3. Stock des Gebäudes, Fenster nach Norden und Süden → Sonneneinstrahlung ist möglich.

alte Holzfenster ohne Dichtungslippe, 3 große Fenster und 6 Oberlichter auf der Nordseite sowie 12 Oberlichter auf der Südseite; keine Lüftungsanlage vorhanden, Querlüftung möglich.

#### **7) Innenausstattung des Raums:**

Parkettfußboden, 13 resopal-furnierte Tische, 26 Stühle (zum Teil aus Kunststoff), Rückwand aus Fliesen, Seitenwände aus Beton, Stirnwand: Kunststoff. Decke: Heraklit

#### **8) Raumreinigungsintervall:**

vom Nutzer keine Angaben

#### **9) Heizungsart:**

6 Rippenheizkörper



**Tabelle E 1 – PCB - Quellen**

Gehalte an PCB's in PCB-haltigen Fugen

		Raum A	Raum A	Raum A	Treppenhaus
		Fuge 1 / Tür	Fuge 2 / Tür	Fuge/ Parkett	Fuge
PCB-Muster		A 30/40	A 30/40	A 30/40	A 30/40
PCB-Kongener	WHO - TEF	mg/kg			
77	0,0001	900	1090	1090	950
81	0,0001	< 50	50	40	50
105	0,0001	3.150	3.840	5.460	4,180
114	0,0005	240	270	370	290
118	0,0001	4.410	5.480	9.620	6.800
123	0,0001	600	680	990	780
126	0,1	< 50	20 *	20	50 *
156	0,0005	< 50	170	590	390
157	0,0005	< 50	40	130	80
167	0,00001	< 50	60	170	110
169	0,01	< 50	< 10	< 10	< 10
189	0,0001	< 50	< 10	30	20
Summe (min.)		9300	11.700	18.510	13.700
Summe (max.)		9650	11.720	18.520	13.710
WHO-TE min.		1,0	3,4	4,5	3,6
WHO-TE max.		5,1	3,4	4,6	3,6
PCB-Leitkongenere nach LAGA					
28		3750		2120	3720
52		11730		11710	12080
101		4910		7410	4760
153		1070		1610	1030
138		950		3090	1930
180		280		510	410
Summe		22.600		26.400	24.000
Summe nach LAGA		113.000	--	132.000	120.000

\* bei PCB 126 ist eine Überlagerung nicht auszuschließen

**Tabelle E 2 – PCB in Hausstaub (Sekundärquelle)**

Gehalte an PCB's in Hausstaub (keine Altersangabe)

		Raum A	Raum A (W)
		Staub	
PCB-Kongener	WHO - TEF	mg/kg	
77	0,0001	0,31	--
81	0,0001	0,01	--
105	0,0001	1,14	--
114	0,0005	0,08	--
118	0,0001	1,94	--
123	0,0001	0,21	--
126	0,1	< 0,01	--
156	0,0005	0,36	--
157	0,0005	0,05	--
167	0,00001	0,14	--
169	0,01	< 0,01	--
189	0,0001	0,07	--
Summe (min.)		4,31	--
Summe (max.)		4,33	--
WHO-TE min.		0,61	--
WHO-TE max.		1,71	--
PCB-Leitkongenere nach LAGA			
28		3,2	4,1
52		9,1	9,8
101		3,5	4,4
153		1,8	2,7
138		2	4
180		2,3	2,9
Summe			
Summe nach LAGA		110	140

**Tabelle E 3 – PCDD/PCDF in Quelle und Hausstaub (Sekundärquelle)**

Gehalte an PCDD/PCDF in Hausstaub (keine Altersangabe) und PCB - belasteten Fugenmaterial

	TEF	Fugen / Mischprobe	Staub
<b>Polychlorierte Dibenzodioxine</b>			
		Konzentration in µg /kg	
2,3,7,8- TCDD	1	< 0,5	< 0,003
1,2,3,7,8-PCDD	1	< 0,7	< 0,007
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	< 0,6	< 0,005
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	< 0,5	0,01
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	< 0,4	< 0,004
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	1,0	0,04
OCDD	0,0001	5,0	0,09
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		6,0	0,14
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		8,7	0,16
<b>Polychlorierte Dibenzofurane</b>			
2,3,7,8-TCDF	0,1	191	3,32
1,2,3,7,8-PCDF	0,05	17	0,34
2,3,4,7,8-PCDF	0,5	85	1,01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	51	0,43
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	14	0,09
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	7	0,04
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	11	0,12
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	6	0,06
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	2	0,02
OCDF	0,0001	< 1	0,08
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		384	5,52
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		385	5,52
Σ 2,3,7,8 - PCDD/PCDF (min.)		390	5,65
Σ 2,3,7,8 - PCDD/PCDF (max.)		393	5,68

**Tabelle E 3 – PCB in Innenraumluft – Winter 2003/2004**

Gehalte an PCB's in Innenraumluft unter Norm- und Nutzungsbedingungen

		Raum A	Raum A W	Raum B	Raum B W
Innenraumparameter					
Raumtemperatur		19- 21,2		22,4 – 24,8	
Luftfeuchte		45 %		24 % rel.	
Raumvolumen		286 m <sup>3</sup>		286 m <sup>3</sup>	
Fläche der PCB-Quelle		0,8 m <sup>2</sup>		0,8 m <sup>2</sup>	
Messbedingungen		Norm VDI 4300 Bl. 2 (über Nacht verschlossen)		Nutzungsbedingungen	
Luftwechselrate unter Messbedingungen		0,70 h <sup>-1</sup>		Fensterlüftung 1-3 mal pro Vormittag	
Sonneneinstrahlung möglich		ja		ja	
Sonneneinstrahlung				teilweise	
PCB-Kongener	WHO – TEF				
PCB-Gehalte in ng/m <sup>3</sup>					
77	0,0001	1,2	1,1	1,7	0,89
81	0,0001	0,09	0,08	0,10	0,06
105	0,0001	2,3	2,2	4,0	2,0
114	0,0005	0,34	0,31	0,44	0,20
118	0,0001	3,9	3,6	5,8	3,0
123	0,0001	0,80	0,74	1,0	0,46
126	0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
156	0,0005	0,06	0,06	0,22	0,12
157	0,0005	0,01	0,01	0,04	0,03
167	0,00001	0,02	0,01	0,07	0,04
169	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
189	0,0001	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Summe (min.)		8,7	8,2	13,3	6,9
Summe (max.)		8,8	8,2	13,4	6,9
WHO-TE min.		<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,6</b>	<b>0,8</b>
WHO-TE max.		<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	<b>2,2</b>	<b>1,4</b>
PCB-Leitkongenere nach LAGA					
28		287	281	264	160
52		464	468	419	244
101		31	33	36	20,3
153		2	2	2,8	1,5
138		0,8	1,1	3,6	1,8
180		0,1	0,1	0,6	<0,5
Summe		785	785	726	428
Summe nach LAGA		3924	3927	3631	2140

**Tabelle E 4 – PCB in Innenraumluft Sommer 2004**

Gehalte an PCB's in Innenraumluft unter Norm- und Nutzungsbedingungen

		Raum A	Raum A W	Raum B	Raum B W
Innenraumparameter					
Raumtemperatur		21,9 – 25,6 °C		21,3 – 30,4 °C	
Durchschnitt		23,9 °C		25,6 °C	
Luftfeuchte		63,0 % rel.		47,4 % rel.	
Raumvolumen		286 m <sup>3</sup>		286 m <sup>3</sup>	
Fläche der PCB-Quelle		0,8 m <sup>2</sup>		0,8 m <sup>2</sup>	
Messbedingungen		Norm VDI 4300 Bl. 2 (über Nacht verschlossen)		Nutzungsbedingungen	
Luftwechselrate unter Messbedingungen		0,70 h <sup>-1</sup>		Fensterlüftung 1-3 mal pro Vormittag	
Sonneneinstrahlung möglich		Ja		ja	
Sonneneinstrahlung				teilweise	
PCB-Kongener	WHO – TEF				
PCB-Gehalte in ng/m <sup>3</sup>					
77	0,0001	2,9	2,3	1,6	1,7
81	0,0001	0,2	0,2	0,1	0,1
105	0,0001	5,2	3,9	2,9	3,2
114	0,0005	0,7	0,5	0,4	0,45
118	0,0001	13,4	10,75	4,8	4,2
123	0,0001	<b>1,8</b>	<b>1,4</b>	<b>1,1</b>	<b>1,25</b>
126	0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
156	0,0005	0,08	0,08	0,09	0,08
157	0,0005	0,02	0,01	0,02	0,02
167	0,00001	0,04	0,04	0,03	0,02
169	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
189	0,0001	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Summe (min.)		24,3	19,19	11,0	11,1
Summe (max.)		24,3	19,22	11,0	11,1 <sub>5</sub>
WHO-TE min.		<b>2,7</b>	<b>2,16</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>
WHO-TE max.		<b>3,8</b>	<b>3,26</b>	<b>2,4</b>	<b>2,4</b>
PCB-Leitkongenere nach LAGA					
28		555	489	307	314
52		840	780	505	515
101		56,9	56,1	37,0	40,2
153		2	1,8	1,6	1,5
138		1,7	1,6	1,5	1,4
180		0,5	0,5	0,5	0,5
Summe		1456	1329	852	873
Summe nach LAGA		7281	6645	4263	4363

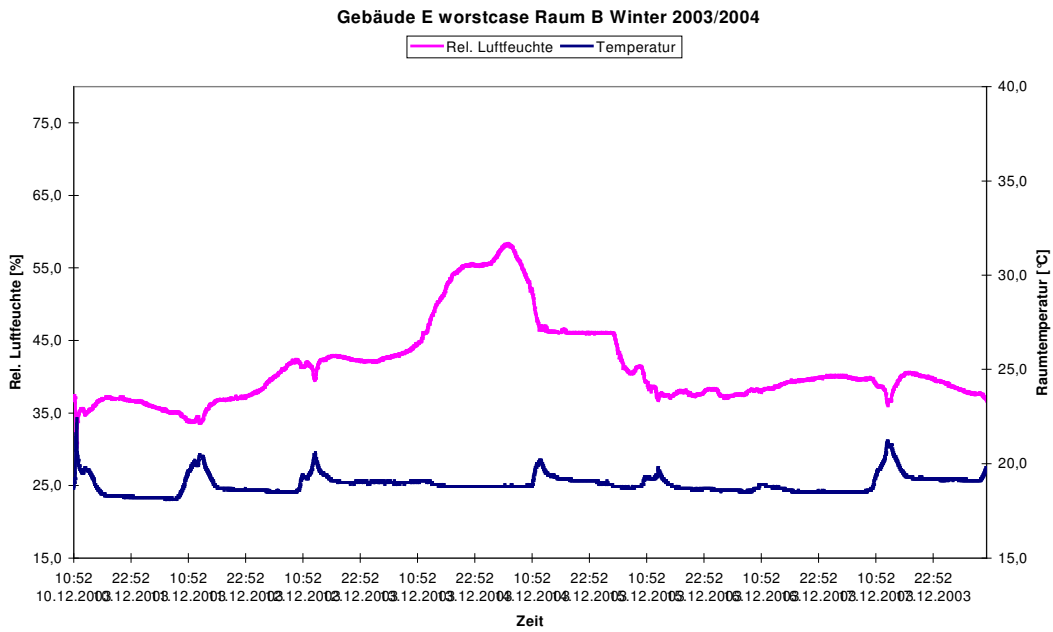
**Tabelle E 5 PCDD/PCDF in Innenraumlufte – Winter 2003/2004 und Sommer 2004**

Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane in Innenräumen mit PCB-belasteten Fugen

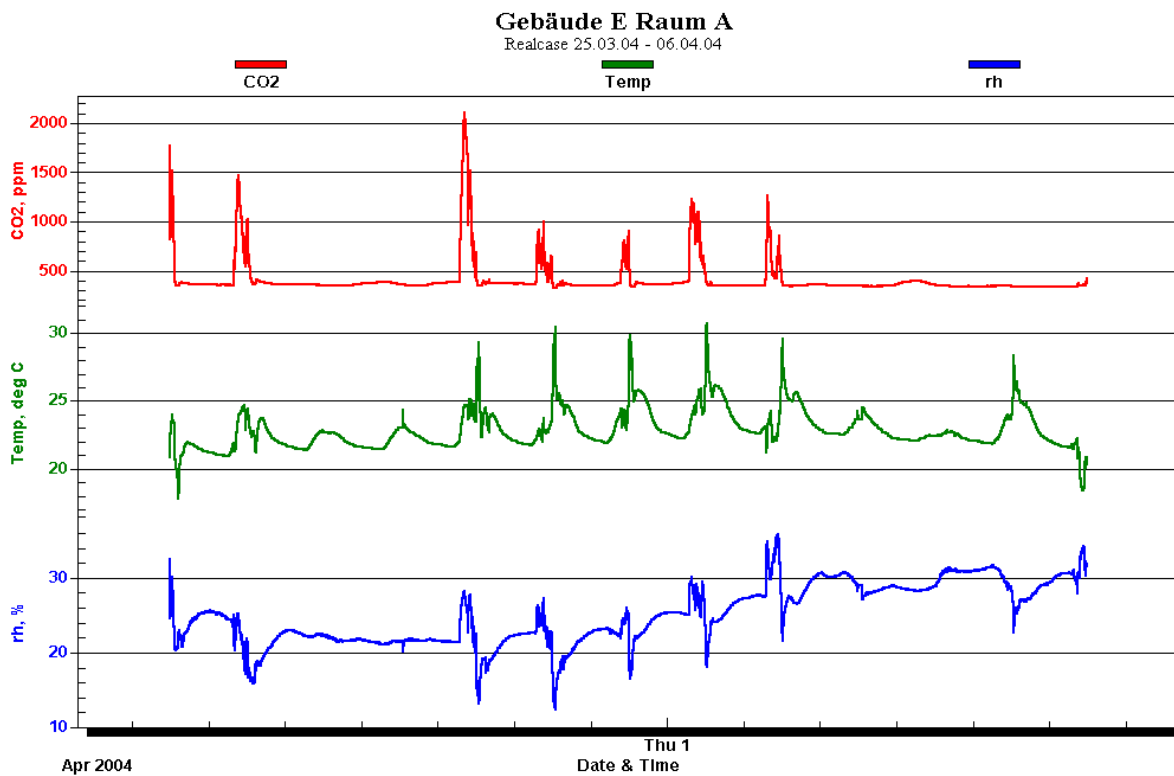
	TEF	Raum A	Raum A (W)	Raum A	Raum A (W)
		Winter		Sommer	
Raumtemperatur in °C		19 – 21,2		21,9 – 25,6	
Polychlorierte Dibenzodioxine		Konzentration in pg /m <sup>3</sup>			
2,3,7,8- TCDD	1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8-PCDD	1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,23	0,29	< 0,05	< 0,05
OCDD	0,0001	0,50	0,57	0,37	0,28
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (min.)		0,73	0,86		
Σ 2,3,7,8-subst. PCDD (max.)		0,98	1,11		
I - TE (PCDD) (min.)		0,0024	0,0030		
I - TE (PCDD) (max.)		0,12	0,12		
Polychlorierte Dibenzofurane					
2,3,7,8-TCDF	0,1	0,44	0,65	2,10	1,21
1,2,3,7,8-PCDF	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,3,4,7,8-PCDF	0,5	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,14	0,20	0,15	< 0,05
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
OCDF	0,0001	0,07	0,12	0,14	0,10
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (min.)		0,65	0,92	2,39	1,31
Σ 2,3,7,8-subst. PCDF (max.)		1,00	1,27	2,74	1,71
I-TE (PCDF) (min.)		0,045	0,067		
I-TE (PCDF) (max.)		0,12	0,12		
I-TE Σ PCDD/PCDF (min.)		<b>0,05</b>	<b>0,07</b>	<b>0,21</b>	<b>0,12</b>
I-TE Σ PCDD/PCDF (max.)		<b>0,23</b>	<b>0,24</b>	<b>0,35</b>	<b>0,26</b>

# Raumklimadaten Bau E

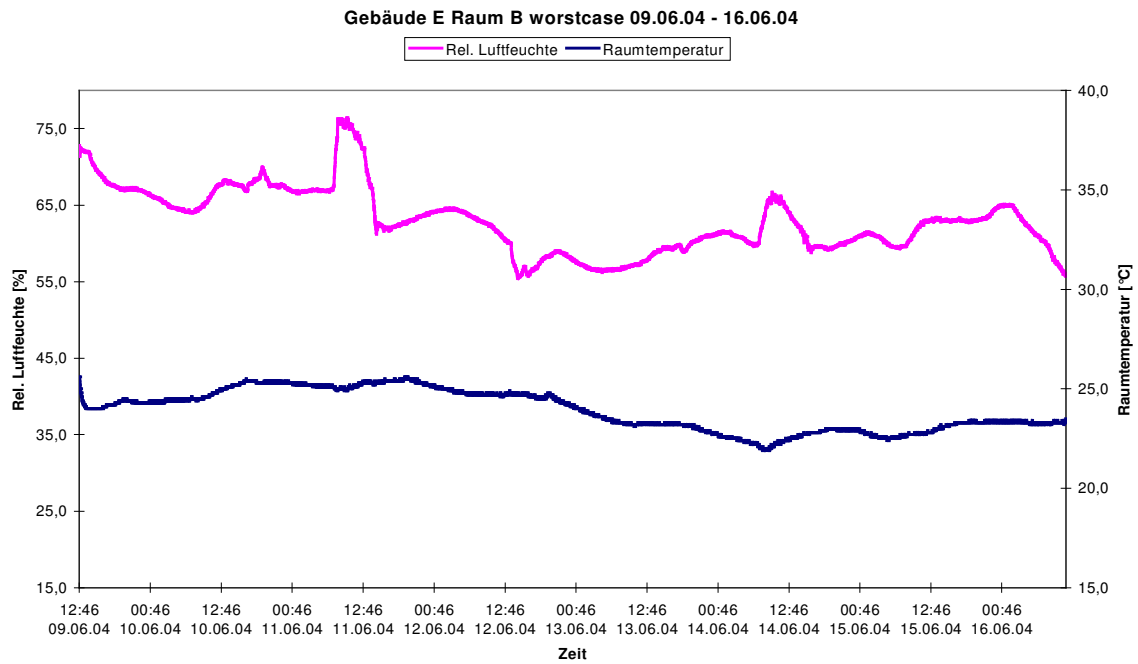
## Normbedingungen Winter



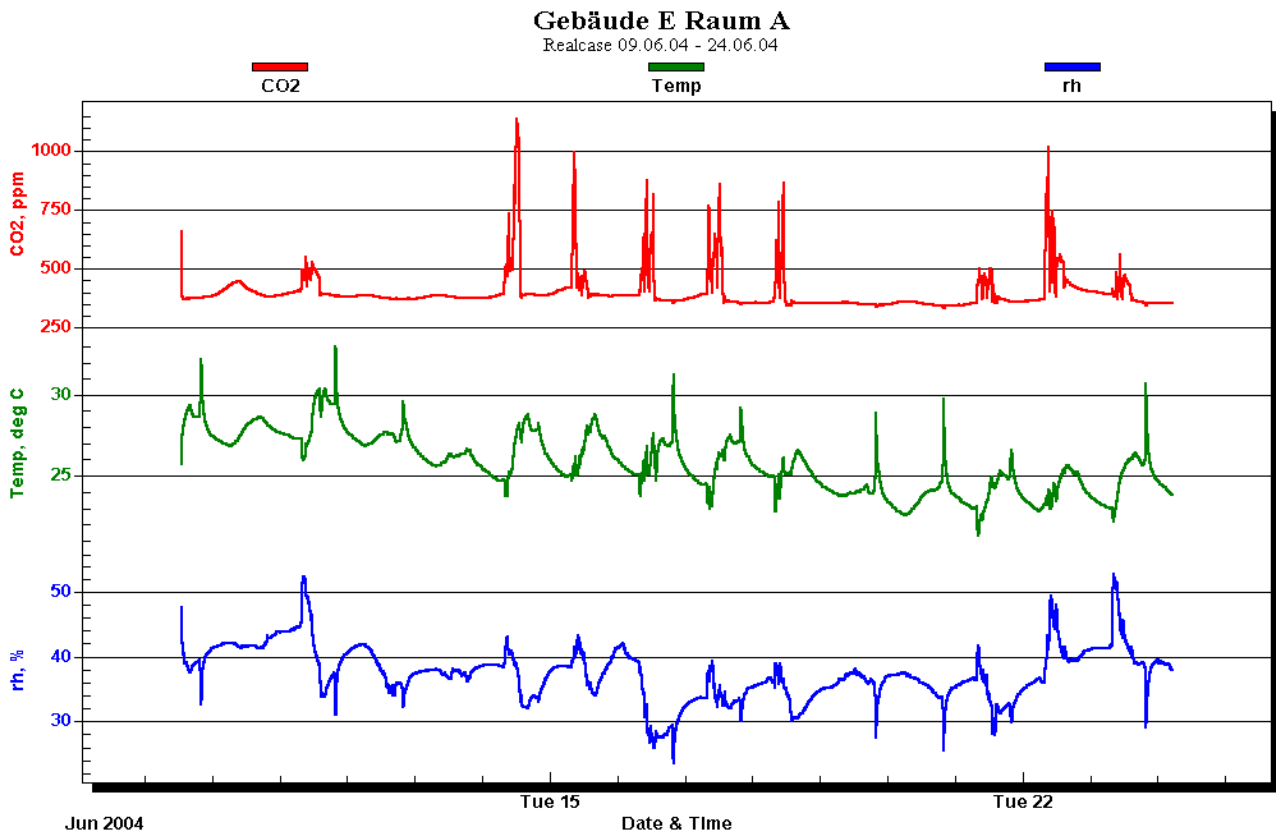
## Nutzungsbedingungen Winter



## Normbedingungen Sommer



## Nutzungsbedingungen Sommer





## F Außenluft

**Tabelle F 1 PCB in Außenluft**

		A I *	A II	A III	C	D	E
PCB-Kongener	WHO - TEF						
77	0,0001	0,0018	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,02
81	0,0001	< 0,0001	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
105	0,0001	0,0085	0,03	< 0,01	0,05	0,04	0,05
114	0,0005	0,0004	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
118	0,0001	0,041	0,07	0,04	0,25	0,15	0,06
123	0,0001	0,0022	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
126	0,1	< 0,0001	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
156	0,0005	0,0081	0,02	< 0,01	0,06	0,04	< 0,01
157	0,0005	0,0006	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01
167	0,00001	0,0046	< 0,01	< 0,01	0,03	0,01	< 0,01
169	0,01	< 0,0001	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
189	0,0001	0,0005	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01
Summe (min.)		0,0677	0,12	0,04	0,43	0,28	0,14
Summe (max.)		0,068	0,21	0,15	0,47	0,34	0,22
WHO-TE min. in pg/m <sup>3</sup>		0,0104	< 0,05	< 0,05	0,07	< 0,05	< 0,05
WHO-TE max. in pg/m <sup>3</sup>		0,0194	1,1	1,1	1,2	1,1 <sub>5</sub>	1,1

A I \* verbesserte NWG durch PN-Volumen 400 m<sup>3</sup>

Gebäude A und B