



## Grundlagen zum Thema PCB

**PCB ist eine Gruppe von industriell hergestellten Stoffen, die in der Umwelt kaum abbaubar sind.**

Unter dem Kürzel PCB wird eine Gruppe von industriell hergestellten Stoffen bezeichnet, welche bestimmte chemische Eigenschaften haben, die in Industrie und Technik sehr wichtig sind: Sie sind nicht brennbar, sehr gut haltbar, durch natürliche Prozesse kaum abbaubar, kaum wasserlöslich aber fettlöslich. Stoffe mit diesen Eigenschaften eignen sich sehr gut als Isolationsflüssigkeiten in Kondensatoren und Transformatoren von elektrischen Anlagen sowie als Hydrauliköle.

**PCB ist die Abkürzung für Polychlorierte Biphenyle und bezeichnet eine Gruppe von 209 ähnlichen Stoffen.**

Polychlorierte Biphenyle werden industriell aus sogenanntem Biphenyl und Chlorgas hergestellt. Bei den unterschiedlichen chemischen Prozessen kann das Biphenyl mit einem bis zehn Chloratomen eine Verbindung eingehen. Dabei sind insgesamt 209 Kombinationen, sogenannte Kongenere möglich. Diese unterschiedlichen Kongenere unterscheiden sich unter anderem in ihrer Wasser- oder Fettlöslichkeit und in ihrer Giftigkeit.

Biphenyl bestehen aus 12 Kohlenstoffatomen (Chemisches Zeichen C), an die 10 Wasserstoffatome (chemisches Zeichen H) angelagert sind. Wenn eines bis 10 Chloratome (chemisches Zeichen Cl) angelagert werden, entstehen Polychlorierte Biphenyle. Die allgemeine chemische Summenformel PCB wird als  $C_{12} H_{10-x} Cl_x$  geschrieben.

**PCB wurde für technische Anlagen und Gebäude verwendet.**

PCB wurden als Isolationsflüssigkeiten in Kondensatoren und Transformatoren von elektrischen Anlagen sowie als Hydrauliköle eingesetzt und in den 1950er bis 1970er Jahren als Weichmacher in Anstrichmitteln aus Chlorkautschuk zum Witterungsschutz von Metallkonstruktionen (Brücken, Gittermaste von Hochspannungsleitungen) sowie in Fugendichtungsmaterialien in Gebäuden verwendet. Sie wurden auch in Wasserkraftanlagen für Korrosionsschutzanstriche an Metallteilen (Leitungen, Turbinen, Schieber, Druckleitungen) eingesetzt.

**Herstellung, Abgabe und Einfuhr von PCB sind seit 1986 verboten.**

1972 wurde in der Schweiz ein Anwendungsverbot für PCB erlassen. Für geschlossene Systeme wie Kondensatoren und Transformatoren galt eine Ausnahmeregelung, die 1983 mit einem Kreisschreiben des Bundesamtes für Gesundheit aufgehoben wurde. Mit der Verordnung über umweltgefährdende Stoffe vom 9. Juni 1986 (Stoffverordnung, StoV; SR 814.013; aufgehoben am 1. August 2005) wurde 1986 das Herstellen, Abgeben und Einführen von PCB und PCB-haltigen Produkten vollständig verboten. Noch in Betrieb stehende Kondensatoren und Transformatoren mit PCB-haltigen Bestandteilen hätten bis spätestens 1998 fachgerecht saniert bzw. entsorgt werden müssen.

### **PCB werden in Nahrungsmitteln angereichert.**

Da PCB in der Umwelt kaum abgebaut werden, werden sie auch über die Luft in der Umwelt verteilt und über die Nahrung von Menschen und Tieren aufgenommen. Da die Stoffe schlecht wasserlöslich, jedoch gut fettlöslich sind, lagern sie sich im Fettgewebe von Menschen und Tieren ein. Obwohl im Wasser äusserst geringe Konzentrationen an PCB vorkommen, findet man beispielsweise in Fischen wesentlich höhere Konzentrationen, da diese laufend geringste Mengen an PCB aufnehmen und im Fettgewebe einlagern. In den Fischen können deshalb 1000 bis 100 000 Mal grössere Konzentrationen an PCB gefunden werden als in der Umwelt. Diesen Vorgang nennt man Bioakkumulation.

### **PCB sind bei direkter Berührung oder Aufnahme in grossen Mengen und bei ständiger Aufnahme geringer Mengen schädlich.**

Vergiftungen treten beim Menschen erst nach der Aufnahme von Mengen auf, die weit über den Belastungen liegen, die in der Umwelt vorkommen. Diese Gefahr besteht nur bei Unglücksfällen oder wenn Lebensmittel grosse Mengen an PCB enthalten würden. Die Symptome einer solchen, unvermutet auftretenden Vergiftung (akute Vergiftung) sind: Hautausschläge und Störungen der Leber- und Immunsystemfunktion.

Für den Menschen ist daher eher die ständige Aufnahme geringer Mengen an PCB bedeutend, weil sich die Stoffe im Körperfett anreichern und nur äusserst langsam ausgeschieden oder abgebaut werden. Dadurch können Menschen, die über lange Zeit geringen PCB-Mengen in der Nahrung oder der Raumluft ausgesetzt sind, ebenfalls Vergiftungen erleiden (chronische Vergiftung).

PCB werden krebserzeugende Eigenschaften bei Menschen zugewiesen. In Tierexperimenten wurden giftige Eigenschaften im Bereich der Fortpflanzung, der Immunabwehr, der Nerven sowie krebserregende und hormonähnliche Wirkungen nachgewiesen.

Auf der Internetseite des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) wird Folgendes zur dauernden Aufnahme von PCB durch Menschen angegeben: Die Weltgesundheitsorganisation WHO hat eine Menge von 24–60 Mikrogramm (millionstel Gramm) an PCB definiert, die von Menschen täglich während des ganzen Lebens aufgenommen werden kann, ohne dass Schädigungen zu erwarten sind (Zahlen bezogen auf Personengewicht 60 kg). In der Schweiz nimmt eine Person täglich im Durchschnitt ca. 3 bis 4 Mikrogramm auf.

### **Der Bund hat Höchstmengen für PCB in Lebensmitteln in der Kontaminantenverordnung festgelegt (Grenzwerte).**

Die Höchstwerte für PCB in Lebensmitteln sind in der Verordnung des EDI über die Höchstgehalte für Kontaminanten vom 16. Dezember 2016 (Kontaminantenverordnung, VHK; SR 817.022.15) definiert worden. Auf diese Weise soll erreicht werden, dass Menschen während des ganzen Lebens nur so viel PCB in den Organen anhäufen (akkumulieren), wie gesundheitsverträglich ist.

### **Die 12 gefährlichsten der insgesamt 209 vorkommenden PCB sind «dioxinähnlich».**

Eine Gruppe von 12 PCB Kongenere hat ähnliche Eigenschaften wie der Giftstoff mit der Bezeichnung 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin (kurz: TCDD), wobei sie weniger giftig sind. Das TCDD gehört zu einer Stoffgruppe mit der Bezeichnung Polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD). Die Stoffe werden auch als Dioxine oder Dioxin bezeichnet. Das TCDD wurde durch einen Chemieunfall in Italien am 10. Juli 1975 bekannt, bei welchem unter anderem das Gebiet der Gemeinde Seveso verseucht wurde. Es wird daher auch Seveso-Gift oder Seveso-Dioxin genannt.

Die 12 dioxinähnlichen PCB werden so genannt, weil Sie eine ähnliche Form annehmen wie die Polychlorierten Dibenzodioxine und dadurch ähnliche Eigenschaften und Wirkungen haben.

### **Die Giftigkeit der 12 dioxinähnlichen PCB wird mittels sogenannter Toxischer Equivalentenfaktoren (TEF) verglichen.**

Die Giftigkeit der 12 dioxinähnlichen PCB wird im Vergleich zu 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin (kurz: TCDD, auch als Seveso-Gift oder Seveso-Dioxin bekannt) angegeben, welches den Wert 1 hat. Das giftigste PCB ist zehnmal weniger giftig als TCDD. Es braucht somit die zehnfache Menge dieses Stoffes, um die gleiche Giftigkeit wie TCDD zu erreichen. Ein weiterer Stoff ist dreissigmal weniger giftig als TCDD. Sieben dieser 12 PCB sind im Vergleich zu TCDD dreissigtausendmal weniger giftig. In diesem Fall ist 1 Gramm TCDD gleich giftig wie 30 Kilogramm dieses Stoffes. Es bleiben noch zwei der 12 Stoffe übrig. Einer ist tausendmal und der andere dreitausendmal weniger giftig als TCDD.

Auf diese Weise lassen sich unterschiedliche Gemische dieser 12 Stoffe, die gemessen wurden, bezüglich deren Schädlichkeit miteinander vergleichen.

Ein solche Umrechnung nennt man Toxisches Equivalent (TEQ). Den Umrechnungsfaktor nennt man Toxischen Equivalentenfaktor (TEF).

Aufgrund der Giftigkeit dieser 12 Stoffe werden dafür Höchstwerte in der Verordnung des EDI über die Höchstgehalte für Kontaminanten vom 16. Dezember 2016 (Kontaminantenverordnung, VHK; SR 817.022.15) definiert. Die Höchstwerte sind dort allerdings zusammen mit sogenannten Polychlorierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen definiert worden.

Der Lebensmittelchemiker muss somit in den Nahrungsmitteln die Gehalte der Polychlorierten Dibenzodioxine (PCDD), Polychlorierten Dibenzofurane (PCDF) und der dioxinähnlichen Polychlorierten Biphenyle (dioxinähnliche PCB, "dioxinlike" PCB oder dl-PCB) bestimmen. Anschliessend muss er die gemessenen Gehalte mit den Toxischen Equivalentenfaktoren (TEF) multiplizieren und die Ergebnisse zusammenzählen. In der Kontaminantenverordnung sind jeweils die Höchstwerte für die Summe aller PCDD, PCDF und dl-PCB definiert.

Die Polychlorierten Dibenzodioxinen (PCDD), Polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF) sind wesentlich giftiger als die dioxinähnlichen PCB. In der Kontaminantenverordnung gibt es dazu einen Höchstwert für die Summe der PCDD und PCDF.

<b>Bezeichnung</b>	<b>PCB Nr.</b>	<b>WHO-TEF 2005</b>
3,3',4,4'-Tetrachlorbiphenyl	77	0.0001
3,4,4',5-Tetrachlorbiphenyl	81	0.0003
2,3,3',4,4'-Pentachlorbiphenyl	105	0.00003
2,3,4,4',5-Pentachlorbiphenyl	114	0.00003
2,3',4,4',5-Pentachlorbiphenyl	118	0.00003
2,3',4,4',5'-Pentachlorbiphenyl	123	0.00003
3,3',4,4',5-Pentachlorbiphenyl	126	0.1
2,3,3',4,4',5-Hexachlorbiphenyl	156	0.00003
2,3,3',4,4',5'-Hexachlorbiphenyl	157	0.00003
2,3',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl	167	0.00003
3,3',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl	169	0.03
2,3,3',4,4',5,5'-Heptachlorbiphenyl	189	0.00003

*Toxische Equivalentenfaktoren (TEF) der 12 dioxinähnlichen PCB Kongenere*

**Eine Gruppe von sechs oder sieben PCB Kongenere aus allen 209 PCB-Typen wird als «Indikator-PCB» bezeichnet und zur Bestimmung der Gesamtbelastung verwendet.**

Da die PCB eine Gruppe von 209 Stoffen (Kongenere) darstellen, ist die Bestimmung jedes einzelnen in einer Probe sehr aufwändig. Daher wird in der Regel eine Auswahl von sechs Stoffen bestimmt, welche die Gesamtbelastung wiedergeben. Der Gesamt-PCB-Gehalt kann bestimmt werden, indem das Ergebnis mit dem Faktor 4.3 multipliziert wird. Wenn Fragestellungen zur Belastung von Innenraumluft betrachtet werden, wird noch ein siebtes Indikator-PCB untersucht. In der Verordnung des EDI über die Höchstgehalte für Kontaminanten vom 16. Dezember 2016 (Kontaminantenverordnung, VHK; SR 817.022.15) gibt es dazu ebenfalls Höchstwerte für Lebensmittel.

<b>Bezeichnung</b>	<b>Nummer</b>
2,4,4' -Trichlorbiphenyl	28
2,2',5,5' -Tetrachlorbiphenyl	52
2,2',4,5,5' -Pentachlorbiphenyl	101
2,2'3,4,4',5' -Hexachlorbiphenyl	138
2,2',4,4',5,5' -Hexachlorbiphenyl	153
2,2'3,4,4',5,5' -Heptachlorbiphenyl	180
2,3',4,4',5 -Pentachlorbiphenyl	(118)

*Indikator – PCB;*

*PCB Nr. 118 wird zusätzlich verwendet, wenn es um Belastungen der Innenraumluft geht.*

**In der Kontaminantenverordnung sind Höchstwerte für PCB in Fischen definiert.**

In der Verordnung des EDI über die Höchstgehalte für Kontaminanten vom 16. Dezember 2016 (Kontaminantenverordnung, VHK; SR 817.022.15) sind Höchstwerte für den Gehalt von PCB in Fischen definiert worden. Dabei geht es um Fische als Lebensmittel.

Die Höchstgehalte sind für folgende Parameter festgelegt:

- Summe aus Dioxinen (WHO- PCDD/F-TEQ): Summe der PCDD und PCDF (hier sind die Stoffgruppen der Polychlorierten Dibenzodioxine (PCDD) und der Polychlorierten Dibenzofurane PCDF gemeint)
- Summe aus Dioxinen und dl-PCB (WHO-PCDD/F-PCB- TEQ): Summe der PCDD, PCDF und dioxinähnlichen PCB
- Summe der sechs Indikator-PCB: Summe aus PCB28, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153 und PCB180

Unter anderem gibt es Höchstwerte für wild gefangene Fische für diese verschiedenen Stoffgruppen:

- PCDD + PCDF 3.5 pg/g Frischgewicht  
Summe aus Polychlorierten Dibenzodioxinen (PCDD) und Polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF), umgerechnet mit den Toxischen Equivalentsfaktoren (TEF).
- PCDD + PCDF+dl-PCB 6.5 pg/g Frischgewicht  
Summe aus Polychlorierten Dibenzodioxinen (PCDD), Polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF) und den dioxinähnlichen PCB, umgerechnet mit den Toxischen Equivalentenfaktoren (TEF).

- Summe der i-PCB  
Indikator PCB

125 ng/ g Frischgewicht

Die Werte gelten für die essbaren Teile der frisch gefangenen Fische.

Die Mengen werden in Bruchteilen von Gramm angegeben.

mg = Milligramm = 1/1 000 Gramm

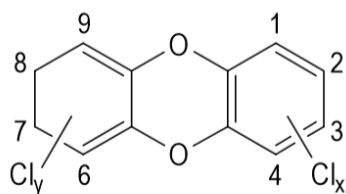
µg = Mikrogramm = 1/1 000 000 Gramm

ng = Nanogramm = 1/1 000 000 000 Gramm

pg = Picogramm = 1/1 000 000 000 000 Gramm

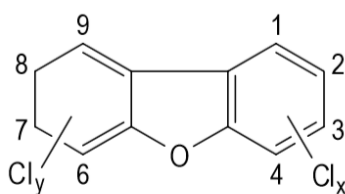
**Polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD), Polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und Polychlorierte Biphenyle werden mittels Angabe der Position, der Anzahl der Chloratome und der Grundform benannt.**

Die Moleküle als Grundformen der Polychlorierten Dibenzodioxine (PCDD), Polychlorierten Dibenzofurane (PCDF) und Polychlorierten Biphenyle werden mit Hilfe von Strukturformeln wie folgt dargestellt:



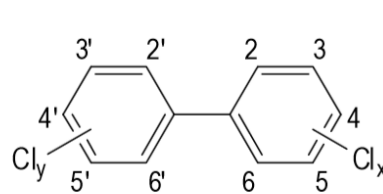
polychlorierte  
Dibenzo-*p*-dioxine (PCDD)  
 $x + y = 1-8$

75 Kongenere



polychlorierte  
Dibenzofurane (PCDF)  
 $x + y = 1-8$

135 Kongenere



polychlorierte  
Biphenyle (PCB)  
 $x + y = 1-10$

209 Kongenere

*Strukturformeln der Polychlorierten Dibenzodioxine, Dibenzofurane und Biphenyle.*

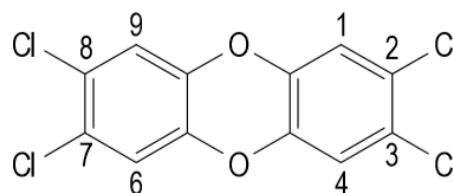
*Aus «Schmid Peter et al. 2010: Polychlorierte Biphenyle (PCB) in Gewässern der Schweiz. Daten zur Belastung von Fischen und Gewässern mit PCB und Dioxinen, Situationsbeurteilung. Umwelt-Wissen Nr. 1002, Bundesamt für Umwelt, Bern. 101 S.»*

Alle mit Zahlen bezeichneten Positionen können mit Chloratomen besetzt sein. Im Namen werden zuerst die von Chloratomen besetzten Positionen angegeben. Anschliessend wird die Anzahl der Chloratome angegeben: 1 = Chlor, 2 = Dichlor, 3 = Trichlor, 4 = Tetrachlor, 5 = Pentachlor, 6 = Hexachlor, 7 = Heptachlor, 8 = Octachlor, 9 = Nonachlor, 10 = Decachlor.

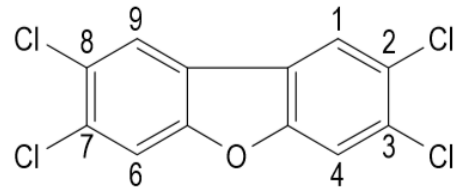
Schliesslich wird die Basis angegeben: Dibenzodioxin, Dibenzofuran oder Biphenyl.

Beispiel: 2,3,7,8 Tetrachlor Dibenzodioxin

(Schmid Peter et al. 2010)



Beispiel: 2,3,7,8 Tetrachlor Dibenzofuran  
(Schmid Peter et al. 2010)



Beispiel : 2,3,3',4,4' Pentachlor Biphenyl  
(Schmid Peter et al. 2010)

