

# **PCB-STOFFBILANZ ÖSTERREICH**

Walter MADERNER  
Gerhard HOBIGER

**MONOGRAPHIEN  
BAND 79**

Wien, August 1996

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie



**Projektleitung:** Walter Maderner  
**Analytik:** Eduard Frank  
Michael Schöndorfer

**Layout:** Elisabeth Lössl

**Titelfoto:** links: 3,3',4,4',5-Pentachlorbiphenyl (PCB-126)  
rechts: PCB-getränktes Isolierpapier (gerollt) aus Kleinkondensatoren

### **Impressum**

**Medieninhaber und Herausgeber:** Umweltbundesamt, Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien

**Druck:** Riegelnik, 1070 Wien

© Umweltbundesamt, Wien, August 1996  
Alle Rechte vorbehalten  
ISBN 3-85457-326-X

## INHALT

Kurzzusammenfassung .....	i
Summary .....	v
<b>1 PROBLEMSTELLUNG, ZIELSETZUNG UND DURCHFÜHRUNG DER PCB STUDIE.....</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Zielsetzung.....	2
1.3 Methodik.....	2
1.4 Datenübersicht und Informationsbeschaffung .....	3
1.5 Problembereiche .....	4
<b>2 ALLGEMEINE STOFFBESCHREIBUNG DER POLYCHLORIERTEN BIPHENYLE.....</b>	<b>6</b>
2.1 Nomenklatur.....	6
2.1.1 Polychlorierte Biphenyle .....	6
2.2 Physikalisch-chemische Eigenschaften .....	8
2.2.1 Physikalische Eigenschaften .....	8
2.2.2 Chemische Eigenschaften.....	8
2.3 Toxische Wirkungen von PCBs .....	10
2.3.1 Toxizitätsäquivalenzfaktoren .....	10
2.3.2 Akute Toxizität .....	11
2.3.3 Teratogenität.....	12
2.3.4 Kanzerogenität.....	12
2.3.5 Ökotoxikologische Effekte .....	12
2.4 Analytik der PCB.....	13
2.4.1 Probenahme .....	13
2.4.2 Abtrennung der Matrix .....	13
2.4.3 Quantitative Bestimmung der Kongenere.....	14
2.5 Polychlorierte Terphenyle .....	15
2.5.1 Allgemeines .....	15
2.5.2 Analytik der Polychlorierten Terphenyle (PCT).....	15
2.5.3 Bilanzierung der PCT.....	16
<b>3 PRODUKTION, NUTZUNG UND ENTSORGUNG VON PCB .....</b>	<b>17</b>
3.1 Industrielle Produktion .....	17
3.2 Verfahren zur technischen Herstellung und Produktbezeichnungen handelsüblicher PCB Mischungen .....	18
3.3 Hauptanwendungsbereiche technischer PCB Mischungen .....	21
3.3.1 Geschlossene Systeme .....	22
3.3.2 Offene Systeme .....	23
3.4 Verfahren zur technischen Zerstörung und stofflichen Umwandlung von PCB .....	25
3.4.1 Technische Zerstörung in Sonderabfallverbrennungsanlagen .....	25
3.4.2 Technische Zerstörung in anderen Verbrennungsanlagen.....	25
3.4.3 Hydrierverfahren zur stofflichen Umwandlung.....	26
3.4.4 Natriumverfahren zur stofflichen Umwandlung.....	26
3.4.5 Verfahren zum biologischen Abbau der PCB .....	26

<b>3.5</b>	<b>Verfahren zur Dekontaminierung und Entsorgung PCB haltiger Geräte.....</b>	<b>27</b>
3.5.1	Entsorgung PCB haltiger Transformatoren.....	27
3.5.2	Retrofilling Verfahren zur Dekontaminierung von PCB Transformatoren .....	27
3.5.3	Entsorgung PCB haltiger Leistungskondensatoren.....	28
<b>4</b>	<b>QUALITATIVE UND QUANTITATIVE UNTERSUCHUNG VON BESTAND UND VERBLEIB VON PCB IN ÖSTERREICH .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Verwendung von PCB in geschlossenen Systemen .....</b>	<b>29</b>
4.1.1	Einsatz von PCB in elektrischen Betriebsmitteln.....	29
4.1.2	Transformatoren .....	29
4.1.2.1	Transformatoröle (Askarele).....	29
4.1.2.2	Askareltransformatoren.....	30
4.1.2.3	Kontamination von Mineralöltransformatoren mit PCB .....	31
4.1.2.4	Abschätzung des PCB Lagers in Österreich für Transformatoren.....	32
4.1.3	Kondensatoren .....	34
4.1.3.1	Kondensatoröle .....	34
4.1.3.2	Einsatz PCB haltiger Kondensatoren.....	34
4.1.3.3	Abschätzung des PCB Lagers aus Leistungskondensatoren in Österreich.....	36
4.1.3.4	Die Aktion PCB in Linz .....	37
4.1.4	Kleinkondensatoren in Elektrogeräten aus Haushalt und Gewerbe .....	38
4.1.4.1	Bauformen und Einsatzbereiche.....	38
4.1.4.2	Forschungsvorhaben PCB Kleinkondensatoren im Jahr 1988 in West-Berlin.....	39
4.1.4.3	Jüngste Untersuchungen zur PCB Problematik von Kleinkondensatoren in Haushaltsgeräten in Österreich.....	43
4.1.4.4	Abschätzung des PCB Emissionspotentials von Kleinkondensatoren in Elektrogeräten in Österreich.....	46
4.1.4.5	Ölschütze .....	54
4.1.4.6	Ölgekühlte Gleichrichter .....	54
4.1.4.7	Ölgefüllte Kabel.....	54
4.1.4.8	Ölbefüllte elektrische Spulen.....	54
4.1.5	Zusammenfassende Diskussion der Abschätzung über den PCB Einsatz in elektrischen Betriebsmitteln in Österreich .....	55
4.1.6	Vergleich der österreichischen Zahlen mit der Schweiz und Deutschland.....	56
4.1.7	Sonstige PCB Anwendungen in geschlossenen Systemen.....	58
4.1.7.1	PCB haltige Hydrauliköle.....	58
4.1.7.2	Ölradiatoren .....	58
<b>4.2</b>	<b>Verwendung von PCB in Offenen Systemen .....</b>	<b>59</b>
4.2.1	Fugendichtungsmassen .....	61
4.2.2	Kunststoffe.....	62
4.2.3	Chlorkautschuklacke .....	62
4.2.4	Zusammenfassende Abschätzung über PCB Anwendung in offenen Systemen in Österreich.....	63
<b>4.3</b>	<b>PCB in der Abfallwirtschaft .....</b>	<b>63</b>
4.3.1	Auswertung aus dem Abfalldatenverbund.....	63
4.3.2	PCB im Altöl.....	66
4.3.3	PCB im Klärschlamm.....	68
4.3.3.1	Hochrechnung der PCB-Fracht von Österreich in kommunalen Klärschlamm .....	69
4.3.3.2	Berechnung des Gesamtgehaltes an PCB aus den 6 Ballschmitter-Kongeneren .....	69
4.3.3.3	Berechnung der durchschnittlichen Konzentration des Abwassers.....	69
4.3.4	PCBs im Altpapier.....	70
4.3.5	PCB Kontamination der Shredderfraktionen.....	70
4.3.6	PCB in den Deponien .....	72
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN.....</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>ZITIERTE UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR.....</b>	<b>78</b>
	<b>ANHANG: GESETZLICHE REGELUNGEN .....</b>	<b>85</b>

## KURZZUSAMMENFASSUNG - PCB-Stoffbilanz Österreich

### Hintergrund

Die Stoffgruppe der Polychlorierten Biphenyle, kurz PCB genannt, besteht aus 209 Einzelsubstanzen. PCB wurden seit 1929 bis Anfang der 80er Jahre großtechnisch produziert und eingesetzt. Sie galten als ideale Werkstoffe für vielfältige technische Anwendungen. Heute, 30 Jahre nach dem ersten Nachweis von PCB in Tier und Mensch, gehört diese Stoffgruppe zu den wohl am besten untersuchten Umweltschadstoffen. Die PCB können als allgegenwärtige Umweltgifte bezeichnet werden. Sie werden leicht aus lokalen Kontaminationsstellen verfrachtet und sind in sämtlichen globalen Ökosystemen verteilt. Durch unsachgemäße Handhabung und leichtfertige Beseitigung sind bis heute etwa ein Drittel der gesamten Weltproduktion unkontrolliert in die Umwelt gelangt. Zudem muß aus mehreren Quellen mit fortlaufenden, bis über das Jahr 2000 hinaus andauernden Einträgen in die Umwelt gerechnet werden.

Vor dem Hintergrund der latent vorhandenen Bedrohung von Mensch und Umwelt durch PCB, entschloß sich das Umweltbundesamt zur Durchführung der Studie *PCB Stoffbilanz Österreich*. Ziel dieser Studie war es, eine Bestandsaufnahme über Einsatz und Verbleib dieser Stoffgruppe in Österreich durchzuführen. Dabei sollte sowohl ein Überblick über die insgesamt eingesetzten, und die noch in Gebrauch befindlichen Mengen (Lager) gewonnen werden, als auch das Emissionspotential für den relevantesten PCB Stoffstrom für die kommenden Jahre abgeschätzt werden.

### Resultate

Aufgrund der außerordentlich spärlichen Datenlage stellen die in der Folge aufgelisteten Zahlen eine **Mindestabschätzung** über den PCB Einsatz in Österreich dar. Anwendungsbereiche, bei denen kein ausreichendes Datenmaterial zur Verfügung stand, oder bei denen Abschätzungen, die über Literaturquellen gewonnen wurden, und nicht ausreichend plausibilisiert werden konnten, wurden nicht berücksichtigt.

Insgesamt wurden in Österreich rund 2.300 - 2.800 t PCB eingesetzt.

Mehr als 1.800 t wurden in geschlossenen Systemen, vor allem in **elektrischen Betriebsmitteln**, eingesetzt. Mit rund 500 - 600 t stellt das gegenwärtige PCB Lager in diesem Anwendungsbereich das bedeutendste anthropogene PCB Lager dar (Stand Dezember 1995). Die untenstehende Tabelle gibt eine zusammenfassende Abschätzung der in Österreich insgesamt eingesetzten PCB Mengen, dem gemeldeten, und den geschätzten Lagerbestand an.

*Gegenüberstellung der PCB Lager in elektrischen Betriebsmitteln für die Jahre 1983 und 1995 in Österreich*

PCB in elektrischen Betriebsmitteln*	1983	1995 gemeldet	1995 Bestand geschätzt
	PCB [t]	PCB [t]	PCB [t]
Transformatoren	497	118,4	> 118,4
Leistungskondensatoren	512	24	93 - 183
Kleinkondensatoren	820		270
gesamt	1.829	142,4	481 - 571

\* Nicht berücksichtigt werden konnten mangels verfügbarer Daten PCB in Ölschützen, Spulen, etc..

- In **Askareltransformatoren** wurden in Österreich rund 500 t PCB eingesetzt, wobei rund  $\frac{3}{4}$  des Bestandes bereits entsorgt sind.
- Die 100 t gemeldeter **Kontaminierter Trafoöle** tragen mit etwa 250 kg nur einen kleinen Teil zum PCB Lagerbestand bei
- Bei den **Leistungskondensatoren** wurden insgesamt mehr als 500 t PCB in Österreich eingesetzt. Das gegenwärtige PCB Lager in Leistungskondensatoren dürfte etwa bei 90 - 180 t liegen, wobei nur rund 24 t gemeldet sind.
- In **Kleinkondensatoren** wurden insgesamt rund 820 t PCB eingesetzt, wobei 550 t bereits entsorgt, und 270 t noch in Gebrauch sind. Die ordnungsgemäße und fachgerechte Entsorgung der Kleinkondensatoren nach dem Stand der Technik ist bisher noch nicht flächendeckend gewährleistet. Daher stellen die Kleinkondensatoren in Elektrogeräten die derzeit bedeutendste potentielle PCB Emissionsquelle dar. Die untenstehende Tabelle zeigt die voraussichtlich jährlich aus Elektrogeräten anfallende PCB Fracht, die einer ordnungsgemäßen Entsorgung zuzuführen ist. Bemerkenswert ist, daß erst nach dem ersten Viertel des nächsten Jahrtausends die anfallenden Mengen die Größenordnung unter einer Tonne pro Jahr erreichen werden.

*Detaillierte Prognose der anfallenden PCB Mengen in Elektrogeräten*

Jahr	PCB Emissionspotential Waschmaschinen [kg]	PCB Emissionspotential Leuchten [kg]	PCB Emissionspotential Elektrogeräte gesamt [kg]
1996	1.070	30.000	31.100
1997	870	28.600	29.500
1998	680	26.860	27.580
1999	520	24.900	25.500
2000	380	22.800	23.200
2001	270	20.500	20.800
2002	180	18.200	18.400
2003	120	15.900	16.050
2004	75	13.700	13.800
2005	45	11.600	11.650
2006	30	9.660	9.700
2007	15	7.900	7.950
2008	8	6.370	6.380
2009	4	5.040	5.050
2010	2	3.925	3.930
2011	1	3.000	3003
2012	0	2.250	2.250
2013	0	1.660	1.660
2014	0	1.200	1.200
2015	0	850	850
2016	0	600	600
2017	0	410	410
2018	0	270	270
2019	0	180	180
2020	0	120	120

\* Inklusive Leuchten

Es kann davon ausgegangen werden, daß gegenwärtig noch ein großer Teil des in Kleinkondensatoren anfallenden PCB über Shredderung bzw. Deponierung unkontrolliert in die Umwelt gelangt. Das Gefährdungspotential dieser Emissionsquelle wird, gemäß Hochrechnung, noch sehr lange relevant sein.

Die in Österreich eingesetzten PCB Mengen in **offenen Systemen** mußten indirekt über Literaturangaben, unter Berücksichtigung der österreichischen Einsatz- und Gebrauchsmuster, abgeschätzt werden. Insgesamt kann von einem Einsatz von 500 - 1000 t in offenen Systemen ausgegangen werden.

- Bis Anfang der 70er Jahre war der Einsatz von PCB in fast allen **Lacksystemen** üblich.
- Bis Anfang der 70er Jahre wurden in Österreich PCB bewußt in die Umwelt als **Träger-substanz für Insektizide** im Weinbau eingesetzt.
- PCB haltige **Fugendichtungsmassen** wurden in Österreich zwar nie hergestellt, dafür aber mit großer Wahrscheinlichkeit importiert, und bei Gebäuden mit Betonplattenbauweise eingesetzt.
- Es kann davon ausgegangen werden, daß PCB in **Massenkunststoffen**, durch den Import von Gebrauchsgütern, auch in Österreich von Bedeutung war.
- Die PCB Gehalte im **Altöl** zeigen eine sinkende Tendenz. Der gegenwärtige PCB Massenstrom im Altöl liegt in der Bandbreite von 50 - 250 kg pro Jahr.
- Die jährliche PCB Fracht im **Klärschlamm** bewegt sich in der Größenordnung um die 50 kg.
- Über die Kontamination der **Shredderfraktionen** konnten mangels verfügbarer Daten keine quantitativen Abschätzungen durchgeführt werden. Qualitativ läßt sich jedoch sagen, daß vor allem die Shredderleichtfraktion und der im Shredder anfallende Staub bei nicht vorbehandeltem Shreddergut (hauptsächlich Weißware) hoch belastet sind.
- **PCB im Deponiegas** wurde auf österreichischen Deponien zwar nachgewiesen, eine seriöse Abschätzung der PCB Emissionen läßt sich aufgrund der spärlichen verfügbaren Datenlage jedoch nicht machen. Die gegenwärtige PCB Emission aus Deponien liegt in der Größenordnung von wenigen kg pro Jahr.

In der vorliegenden Studie war es möglich die relevanten PCB Massenströme zu identifizieren und größtenteils zu quantifizieren. Trotz gelegentlich großer Unschärfen bei den Daten, wie etwa bei der PCB Anwendung in offenen Systemen, lassen sich dennoch richtungssichere Aussagen im Hinblick auf das latente PCB Gefährdungspotential und die Prioritätensetzung bei den zu treffenden Maßnahmen ableiten.

## **ABSTRACT - MATERIAL BALANCE OF PCB (POLYCHLORINATED BIPHENYLS) IN AUSTRIA**

During the past decades, polychlorinated biphenyls (PCB) have been used for many technical purposes, before being totally banned as a dangerous pollutant. As a result of careless use and disposal, they can still be detected in humans, animals and all kinds of ecosystems worldwide.

The present study of the Austrian Federal Environment Agency gives an overview on the status of use and disposal of PCBs in Austria. Although they are not used any more in new technical installations, it will still be necessary to secure annually the safe disposal of more than one ton of PCBs until the year 2015 (at present more than 30 tons annually).

Generally, safe disposal of PCBs used in closed installations is at present guaranteed with the exception of small capacitors in electrical devices (consumer goods used by private households).

The total amount of PCBs ever used in Austria is estimated at about 2,300 to 2,800 tons, about 500 to 1,000 tons of which in „open systems“.

The study identifies all relevant material fluxes of PCBs in Austria and quantifies most of them. These data can be used for assessing potential hazards and planning safety measures.

# 1 **PROBLEMSTELLUNG, ZIELSETZUNG UND DURCHFÜHRUNG DER PCB STUDIE**

## 1.1 **PROBLEMSTELLUNG**

Polychlorierte Biphenyle (kurz PCB) wurden erstmals vor etwa 100 Jahren durch Chlorierung von Biphenyl hergestellt. Seit 1929 bis Anfang der 80er Jahre wurden sie weltweit großtechnisch produziert und eingesetzt. Sie galten als ideale Werkstoffe für vielfältige technische Anwendungen. Sie wurden in geschlossenen Systemen als Isolier- und Kühlflüssigkeit in Transformatoren, als Dielektrikum für Kondensatoren und als Hydraulikflüssigkeit im Bergbau benutzt. Daneben fanden die PCB auch in offenen Systemen, als Zusatz zu Schmiermitteln, Kunststoffen, Wachsen, Farben, Lacken und Klebstoffen Verwendung. Während PCB in offenen Systemen etwa ab Mitte der 70er Jahre in den OECD Staaten nicht mehr zur Anwendung kamen, wurden sie bis Anfang der 80er Jahre in geschlossenen Systemen, vor allem in elektrischen Betriebsmitteln, noch immer in Verkehr gebracht.

Heute, ziemlich genau 30 Jahre nach dem ersten Nachweis von PCB in Vögeln, Fischen und Menschenhaar durch den schwedischen Forscher Sören Jensen (JENSEN, 1966), gehören die PCB zu den wohl am besten untersuchten Umweltschadstoffen. Sie können als allgegenwärtige Umweltgifte bezeichnet werden. Sie sind in praktisch allen Meerespflanzen, -tieren, in Süßwasserfischen und Vögeln, Vogeleiern, Säugetieren und auch im Menschen nachweisbar. PCB werden leicht aus lokalen Kontaminationsstellen verfrachtet und sind in sämtlichen globalen Ökosystemen verteilt. Daß PCB in Mitteleuropa noch immer ein Problem sind, zeigte sich 1990 in der Schweiz, wo das seit einigen Jahren verfolgte Projekt, den Fischotter wieder anzusiedeln, abgebrochen werden mußte. Ursache dafür war die Belastung der Gewässer mit PCB und DDT. Keines der untersuchten schweizer Gewässer beherbergte Fische mit weniger als 0,04 mg/kg PCB im Frischgewicht, so daß die Reproduktionsfähigkeit der Fischotter nicht gewährleistet schien, und so ernsthafte Störungen befürchtet werden mußten. Man entschloß sich daraufhin den Fischotter nicht auszusetzen.

Gegenwärtig werden die persistenten Umweltchemikalien PCB in einem kontinuierlichen Zirkulationsprozeß in den Umweltkompartimenten von Medium zu Medium verfrachtet. Dieser Zirkulationsprozeß umfaßt den Transfer von PCB (in der Gasphase oder adsorbiert an Staubpartikel) aus Wasser und Boden in die Atmosphäre, und ihre anschließende Entfernung durch nasse bzw. trockene Deposition in Wasser und Boden. Gespeist wird dieser Kreislauf von zahlreichen anthropogenen Emissionsquellen. Es sind dies Punktquellen, wie etwa Deponien, aus denen PCB mobilisiert wird, oder diffuse Quellen, wie zum Beispiel die großen Flächen der Anti-Korrosionsbeschichtungen, wo durch mechanischem Abrieb ein unkontrollierter Eintrag von PCB in die Umwelt erfolgt. So wird geschätzt, daß durch unsachgemäße Handhabung und leichtfertige Beseitigung bis heute etwa ein Drittel der gesamten Weltproduktion (ca. 300.000 t) **unkontrolliert in die Umwelt** gelangt sind. Zudem muß aus mehreren Quellen (z.B. Kondensatoren in Haushaltselektrogeräten) mit fortlaufenden, bis über das Jahr 2000 hinaus andauernden Einträgen in die Umwelt gerechnet werden.

## 1.2 ZIELSETZUNG

Vor dem Hintergrund der noch immer vorhandenen latenten Bedrohung von Mensch und Umwelt durch PCB schien es wünschenswert auch in Österreich eine Bestandsaufnahme über Einsatz und Verbleib dieser persistenten Stoffgruppe durchzuführen.

In Anbetracht der schlechten Datenlage und der lang zurückliegenden Zeiträume stellte sich nach eingehender Prüfung der Datenlage heraus, daß die ursprüngliche Maximalvariante, nämlich den Ausstieg aus der PCB Anwendung in Österreich anhand einer Zeitreihe von PCB Stoffflußdiagrammen zu dokumentieren, mit vertretbarem Aufwand nicht durchgeführt werden konnte. Daher wurden nach einer eingehenden Sondierung der Datenlage die Sachziele des Projektes wie folgt adaptiert:

- **Überblick** über die in Österreich insgesamt eingesetzten Mengen in den jeweiligen Anwendungsgebieten,
- **Quantifizierung** der noch in Verwendung stehenden und der zu entsorgenden PCB Lager,
- **Studium der Dynamik** des Ausmusterungsprozesses bei Kleinkondensatoren in Haushaltsgeräten,
- **Quantifizierung** des PCB Emissionspotentials bei den relevantesten Anwendungen (Kleinkondensatoren)

## 1.3 METHODIK

Nachdem ein Top - Down Ansatz aufgrund nicht vorhandener statistischer Eckdaten (Import Export und Produktionsdaten) nicht durchgeführt werden konnte, mußten die in der Literatur dokumentierten PCB Anwendungsgebiete über einen Bottom - Up Ansatz einzeln recherchiert werden. Dabei wurden offene und geschlossene Anwendungen unterschieden. Die Aussagekraft der Ergebnisse ist dabei maßgeblich bestimmt von der Qualität der verfügbaren Informationsquellen. Während bei den offenen Anwendungen so gut wie überhaupt keine quantitative Information über eingesetzte PCB Mengen verfügbar war, konnte bei den geschlossenen Anwendungen auf mehrere unabhängige Datenquellen zurückgegriffen werden.

Wo es möglich war, wurde versucht die in den verschiedenen Anwendungsgebieten eingesetzten PCB Mengen auf wenigstens zwei unabhängigen Wegen abzuschätzen, oder zumindestens durch unabhängige Datenquellen zu plausibilisieren. Es zeigte sich, daß in vielen Fällen die Frage nach den insgesamt in Österreich eingesetzten Mengen, bzw. den im Jahre 1995 noch in Verwendung stehenden PCB Frachten zumindest größenordnungsmäßig beantwortet werden konnte.

Die Abschätzung des Emissionspotentials PCB-haltiger Produkte war nur dort möglich, wo zu dieser Fragestellung bereits umfangreiches statistisches Material vorhanden war, auf das zurückgegriffen werden konnte. Dies war für den Einsatzbereich der PCB haltigen Kleinkondensatoren der Fall. Allerdings gewann dieses Thema mit zunehmender Recherche zusehends an Bedeutung, sodaß für eine Untermauerung der Hochrechnung des Emissionspotentials aus Motor- und Leuchtenkondensatoren eigene Laboranalysen durch das Umweltbundesamt durchgeführt wurden. Auf diese Weise konnte die sensible Größe der Hochrechnung, nämlich der PCB Gehalt der Kleinkondensatoren (in Massenprozent), der von den Herstellern sehr widersprüchlich angegeben wurde, durch eigene Untersuchungen überprüft und bestimmt werden.

## 1.4 DATENÜBERSICHT UND INFORMATIONSBESCHAFFUNG

Aus Zeitgründen und Effizienzgründen wurde meist telefonisch recherchiert. Wo dies notwendig schien wurde die telefonische Recherche durch eine schriftliche Befragung unterstützt.

Daten aus der amtlichen Statistik über den Einsatz von PCB Flüssigkeiten bzw. PCB haltigen Geräten in Österreich waren nicht vorhanden. So listet die Außenhandelsstatistik beispielsweise PCB summarisch unter dem Code Nr. 2903 69 90 (*Halogenderivate der aromatischen Kohlenwasserstoffe (ausg. Chlorbenzol, o-Dichlorbenzol, p-Dichlorbenzol, Hexachlorbenzol, DDT [1,1,1-Trichlor-2,2-bis[p-chlorphenyl]ethan und Pentabrommethylbenzol)*) auf. Aus diesen aggregierten Zahlen konnten keine Rückschlüsse über PCB Importe bzw. Exporte gezogen werden. Auch die Roh- und Hilfsstoffliste bzw. die Monaterhebung von Industrie und Großgewerbe enthielten keine Angaben über den PCB Einsatz in Österreich.

Die Fachverbände und Branchen, die den einzelnen PCB Anwendungen zugeordnet werden konnten, wurden einzeln befragt. Dabei waren nur beim Fachverband der Elektrizitätswerke Österreichs ausreichende Unterlagen über eingesetzte PCB Mengen vorhanden. Bei allen anderen Interessensvertretungen waren keine oder nur sehr spärlich qualitative Informationen verfügbar. Es wurden dann jeweils bei den größten Unternehmen der Branche angefragt und die erhaltenen Informationen auf die gesamte Branche umgelegt. Wo es wegen der schon lange zurückliegenden Zeiträume nicht möglich war quantitative Informationen über den PCB Einsatz zu erhalten, wurden unter Berücksichtigung der österreichischen Produktions- und Gebrauchsmuster deutsche bzw. schweizer Zahlen zur Abschätzung herangezogen. Dies war vorwiegend bei den offenen Anwendungen der Fall.

Neben Industrie und Gewerbe wurden ebenso die Österreichische Post- und Telegraphenverwaltung<sup>1</sup>, die Österreichische Bundesbahnen und das Österreichische Bundesheer befragt.

In Österreich wurde im Rahmen der *Aktion PCB* in der Stadt Linz im Jahr 1988 der Bestand an PCB haltigen Isolierölen in Transformatoren und Kondensatoren in Industrie- und Gewerbebetrieben und öffentlichen Einrichtungen erfaßt. Diese Zahlen sind aufgrund ihrer Erhebung (Inspektion vor Ort) außerordentlich genau, beziehen sich allerdings nur auf die Stadt Linz.

In den Ländern waren einzig im Amt der Salzburger Landesregierung Unterlagen über Askereltrafos und PCB haltige Kondensatoren verfügbar. Die Aufzeichnungen erstreckten sich über die letzten zehn Jahre.

Gemäß der *Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über das Verbot von halogenierten Biphenylen, Terphenylen, Naphtalinen und Diphenylmethanen (BGBl.: 210/1993)* besteht für elektrische Betriebsmittel mit einer Füllung von mehr als einem Liter und einem PCB Gehalt von mehr als 30 ppm bis zum 31. Dezember 1996 Kennzeichnungs- und Meldepflicht an das Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie. Die bis 31. Dezember 1995 dort eingelangten Meldungen wurden zur Abschätzung des PCB Lagers herangezogen.

Auf der Abfallseite standen als Datenquelle die Auswertungen aus dem Abfalldatenverbund über das Aufkommen PCB haltiger Abfälle vom Jahr 1991 an zur Verfügung. Allerdings

---

<sup>1</sup> Jetzt: Post und Telekom Austria Aktiengesellschaft.

konnte bei den verschiedenen Schlüsselnummern von der angegebenen Gesamtmasse nicht auf den PCB Gehalt zurückgeschlossen werden. Durch die spezifische Art des Erfassungssystems war es oft nicht möglich den Erstanfall von PCB haltigen Abfällen eindeutig zuzuordnen.

Detailinformationen, vor allem am Abfallsektor, konnten vielfach von amtlichen Sachverständigen und Zivilingenieuren eingeholt werden.

Eine wertvolle Hilfe für die Absicherung der Plausibilität des hochgerechneten PCB Emissionspotentials von Haushaltselektrogeräten stellten die im Zuge der Projekte *Pilotsammlung von Elektrogeräten in Bregenz* und *Untersuchungen zur PCB-Problematik von Kleinkondensatoren in Haushaltsgeräten im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuches zur Sammlung, Demontage und Verwertung von Elektro- und Elektronikgeräten (EAG) im Bezirk Weiz* erhobenen Daten zur PCB Belastung von Haushaltselektrogeräten dar.

Um die Frage nach der Füllmenge der Motor- und Leuchtenkondensatoren zu beantworten wurden vom Umweltbundesamt 10 PCB Leuchten- und 4 PCB Motorkondensatoren auf ihren PCB Massenanteil untersucht.

Daneben wurden in- und ausländische Forschungsinstitute kontaktiert, die auf dem Gebiet der PCB Analytik arbeiten.

## 1.5 PROBLEMBEREICHE

Aus den Literaturquellen war nur wenig direkt verwertbare Information zu erhalten. Daher war für diese Studie eine kritische Wertung der über die Primärquellen (Auswertung der Befragungen) gewonnenen Informationen notwendig. Kurz zusammengefaßt kann man die häufigsten aufgetretenen Probleme wie folgt charakterisieren:

- **PCB sind in den amtlichen Statistiken nicht unter einem eigenen Code erfaßt,**
- **Massiver PCB Einsatz seit Mitte der 50er, Produktionsstopp Anfang/ Mitte der 80er Jahre. Daten in Industrie und Gewerbe über den Zeitraum des PCB Einsatzes sind meist nicht mehr oder nur sehr schwer verfügbar,**
- **Mitarbeiter, die über entsprechende Sachkenntnis verfügen, sind oft nicht mehr bei den jeweiligen Firmen,**
- **Zurückhaltung mit der Informationsweitergabe, da Angst besteht, daß PCB wieder in die öffentliche Diskussion gerät,**
- **Erhebung der nachgefragten Informationen mit zu hohem Zeit- und Kostenaufwand verbunden,**
- **PCB in offenen Anwendungen meist nur als Zusätze,**
- **Problem der Quantifizierung bei der PCB-Analytik.**

Als besonders problematisch erwies sich der Kontakt mit den Herstellern PCB haltiger Geräte, da diese die Produktion PCB haltiger Geräte schon Anfang bis Mitte der 80er Jahre eingestellt hatten. Einige Unternehmen existieren mittlerweile nicht mehr. Bei anderen fanden Fusionen und Übernahmen statt, und oft waren qualifizierte Mitarbeiter, die die Produktion in den 60er und 70er Jahren in diesen Betrieben geleitet hatten, nicht mehr bei der Firma beschäftigt. Außerdem waren Aufzeichnungen über die Produktion spätestens nach 10 Jahren nicht mehr vorhanden. So konnten oftmals von den Herstellern keine ausreichenden Informationen über die produzierten Geräte mit PCB Füllung geliefert werden.

Bei den offenen Anwendungen waren auch nach eingehender Recherche keine quantitativen Angaben über den PCB Einsatz in Österreich verfügbar, da dort PCB nur als Zusätze beigefügt waren. Es gibt auch in der Literatur nur wenige PCB haltige Produkte, bei denen die genaue Zusammensetzung der Rezepturen von den Herstellern bekanntgegeben wurde.

Ein Problem, das nicht mit der Datenbeschaffung, sondern mit dem heterogenen Stoffgemisch der PCB zusammenhängt, ist das der Quantifizierung der PCB Gehalte. Da es viel zu aufwendig ist alle 209 Kongenere in einem Gaschromatogramm zu quantifizieren, muß von wenigen Kongeneren mittels eines empirischen Umrechnungsfaktors auf den PCB Gesamtgehalt hochgerechnet werden. Dieser Umrechnungsfaktor wird durch Vergleich mit besonders häufig vorkommenden technischen Mischungen ermittelt, und ist nur dann annähernd genau, wenn die untersuchte Substanz im wesentlichen mit der technischen Vergleichsmischung übereinstimmt. Weicht das zu untersuchende PCB Gemisch stark von der technischen Vergleichsmischung ab, wie es häufig in Umweltproben beobachtet wird, wo die persistenteren hochchlorierten PCB durch Abbau der niederchlorierten Komponenten überproportional vertreten sind, dann muß man zu einem anderen Umrechnungsfaktor übergehen, oder einen größeren Fehler in Kauf nehmen.

## 2 ALLGEMEINE STOFFBESCHREIBUNG DER POLYCHLORIERTEN BIPHENYLE

### 2.1 NOMENKLATUR

#### 2.1.1 Polychlorierte Biphenyle

Das Grundgerüst der polychlorierten Biphenyle ist der aromatische Kohlenwasserstoff „Biphenyl“ ( $C_{12}H_{10}$ ). Als allgemeine Summenformel für die PCB kann  $C_{12}H_{(10-n)}Cl_n$  ( $n= 1, 2, \dots, 10$ ) geschrieben werden. Durch den Ersatz eines oder mehrerer Wasserstoffatome durch Chlor sind zehn verschiedene Isomere möglich. Die einzelnen Isomere unterscheiden sich somit nur durch die Anzahl der Chloratome im Molekül. Da die Chloratome an verschiedenen Stellen im Molekül gebunden sein können, sind noch verschiedene Molekülstrukturen möglich, die sich nur von der Stellung der Chloratome im Molekül unterscheiden. Diese unterschiedlichen Molekülarten werden Kongenere genannt. In Summe sind 209 verschiedene Kongenere möglich.

Tabelle 2.1: PCB - Isomere und Kongenere

n	PCB - Isomere	Molekulare Masse (g/mol)	Anzahl der Kongenere	% Chlor
1	Monochlorbiphenyl	188,66	3	18,8
2	Dichlorbiphenyl	223,10	12	31,8
3	Trichlorbiphenyl	257,55	24	41,3
4	Tetrachlorbiphenyl	291,99	42	48,6
5	Pentachlorbiphenyl	326,44	46	54,3
6	Hexachlorbiphenyl	360,88	42	58,9
7	Heptachlorbiphenyl	395,33	24	62,8
8	Oktachlorbiphenyl	429,77	12	66,0
9	Nonachlorbiphenyl	464,22	3	68,7
10	Decachlorbiphenyl	498,66	1	71,2

Die Bezeichnung der Kongenere erfolgt so, daß die Ringpositionen des Biphenyls im Ring A von 1 bis 6 und im Ring B von 1' bis 6' durchnummeriert werden, wobei die beiden Ringe an den Stellen 1 und 1' miteinander verbunden sind.

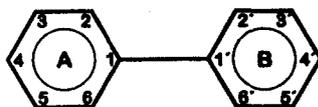


Abbildung 2.1: Chemische Formel von Biphenyl

Die Nomenklatur der einzelnen Kongenere gibt die jeweilige Stelle der Chloratome an. Dabei ist zu beachten, daß die Bindung der beiden Ringe miteinander frei drehbar ist. Erfolgt nun systematisch der Ersatz von Wasserstoff durch Chlor, so gelangt man sukzessive zu allen möglichen Kongeneren. Um nicht immer den gesamten chemischen Namen anführen zu müssen, haben Ballschmiter und Zell im Jahre 1980 (BALLSCHMITER und ZELL, 1980) jedem Kongener eine Zahl zugeordnet, und diese als vereinfachte Nomenklatur vorgeschlagen. Diese vereinfachte Nomenklatur wurde auch von der IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) übernommen und wird allgemein verwendet. In der Tabelle 2.2 ist die von Ballschmiter und Zell vorgeschlagenen Nomenklatur aufgelistet.

Die Stellen 2 bzw. 2' bzw. 6 bzw. 6' werden auch als ortho (o)-Stellen, die Stellen 3 bzw. 3' bzw. 5 bzw. 5' als meta (m)-Stellen und die Stellen 4 bzw. 4' als para (p)-Stellen bezeichnet.

Tabelle: 2.2: Nomenklatur der PCB-Kongeneren nach Ballschmiter und Zell

Nr.	Chem. Struktur						
<b>Monochlorbiphenyle</b>		<b>Tetrachlorbiphenyle</b>		<b>Pentachlorbiphenyle</b>		<b>Hexachlorbiphenyle</b>	
1	2	52	2,2',5,5'	107	2,3,3',4',5	162	2,3,3',4',5,5'
2	3	53	2,2',5,6'	108	2,3,3',4,5'	163	2,3,3',4',5,6
3	4	54	2,2',6,6'	109	2,3,3',4,6	164	2,3,3',4',5',6
		55	2,3,3',4	110	2,3,3',4',6	165	2,3,3',5,5',6
<b>Dichlorbiphenyle</b>		56	2,3,3',4'	111	2,3,3',5,5'	166	2,3,4,4',5,6
4	2,2'	57	2,3,3',5	112	2,3,3',5,6	167	2,3',4,4',5,5'
5	2,3	58	2,3,3',5'	113	2,3,3',5',6	168	2,3',4,4',5',6
6	2,3'	59	2,3,3',6	114	2,3,4,4',5	169	3,3',4,4',5,5'
7	2,4	60	2,3,4,4'	115	2,3,4,4',6		
8	2,4'	61	2,3,4,5	116	2,3,4,5,6	<b>Heptachlorbiphenyle</b>	
9	2,5	62	2,3,4,6	117	2,3,4',5,6	170	2,2',3,3',4,4',5
10	2,6	63	2,3,4',5	118	2,3',4,4',5	171	2,2',3,3',4,4',6
11	3,3'	64	2,3,4',6	119	2,3',4,4',6	172	2,2',3,3',4,5,5'
12	3,4	65	2,3,5,6	120	2,3',4,5,5'	173	2,2',3,3',4,5,6
13	3,4'	66	2,3',4,4'	121	2,3',4,5',6	174	2,2',3,3',4,5,6'
14	3,5	67	2,3',4,5	122	2',3,3',4,5	175	2,2',3,3',4,5',6
15	4,4'	68	2,3',4,5'	123	2',3,4,4',5	176	2,2',3,3',4,6,6'
		69	2,3',4,6	124	2',3,4,5,5'	177	2,2',3,3',4',5,6
<b>Trichlorbiphenyle</b>		70	2,3',4',5	125	2',3,4,5,6'	178	2,2',3,3',5,5',6
16	2,2',3	71	2,3',4',6	126	3,3',4,4',5	179	2,2',3,3',5,6,6'
17	2,2',4	72	2,3',5,5'	127	3,3',4,5,5'	180	2,2',3,4,4',5,5'
18	2,2',5	73	2,3',5',6	<b>Hexachlorbiphenyle</b>		181	2,2',3,4,4',5,6
19	2,2',6	74	2,4,4',5	128	2,2',3,3',4,4'	182	2,2',3,4,4',5,6'
20	2,3,3'	75	2,4,4',6	129	2,2',3,3',4,5	183	2,2',3,4,4',5',6
21	2,3,4	76	2',3,4,5	130	2,2',3,3',4,5'	184	2,2',3,4,4',6,6'
22	2,3,4'	77	3,3',4,4'	131	2,2',3,3',4,6	185	2,2',3,4,5,5',6
23	2,3,5	78	3,3',4,5	132	2,2',3,3',4,6'	186	2,2',3,4,5,6,6'
24	2,3,6	79	3,3',4,5'	133	2,2',3,3',5,5'	187	2,2',3,4',5,5',6
25	2,3',4	80	3,3',5,5'	134	2,2',3,3',5,6	188	2,2',3,4',5,6,6'
26	2,3',5	81	3,4,4',5	135	2,2',3,3',5,6'	189	2,3,3',4,4',5,5'
27	2,3',6			136	2,2',3,3',6,6'	190	2,3,3',4,4',5,6
28	2,4,4'	<b>Pentachlorbiphenyle</b>		137	2,2',3,4,4',5	191	2,3,3',4,4',5',6
29	2,4,5	82	2,2',3,3',4	138	2,2',3,4,4',5'	192	2,3,3',4,5,5',6
30	2,4,6	83	2,2',3,3',5	139	2,2',3,4,4',6	193	2,3,3',4',5,5',6
31	2,4',5	84	2,2',3,3',6	140	2,2',3,4,4',6'	<b>Octachlorbiphenyle</b>	
32	2,4',6	85	2,2',3,4,4'	141	2,2',3,4,5,5'	194	2,2',3,3',4,4',5,5'
33	2',3,4	86	2,2',3,4,5	142	2,2',3,4,5,6	195	2,2',3,3',4,4',5,6
34	2',3,5	87	2,2',3,4,5'	143	2,2',3,4,5,6'	196	2,2',3,3',4,4',5,6'
35	3,3',4	88	2,2',3,4,6	144	2,2',3,4,5',6	197	2,2',3,3',4,4',6,6'
36	3,3',5	89	2,2',3,4,6'	145	2,2',3,4,6,6'	198	2,2',3,3',4,5,5',6
37	3,4,4'	90	2,2',3,4',5	146	2,2',3,4',5,5'	199	2,2',3,3',4,5,6,6'
38	3,4,5	91	2,2',3,4',6	147	2,2',3,4',5,6	200	2,2',3,3',4,5',6,6'
39	3,4',5	92	2,2',3,5,5'	148	2,2',3,4',5,6'	201	2,2',3,3',4,5,5',6'
		93	2,2',3,5,6	149	2,2',3,4',5',6	202	2,2',3,3',5,5',6,6'
<b>Tetrachlorbiphenyle</b>		94	2,2',3,5,6'	150	2,2',3,4',6,6'	203	2,2',3,4,4',5,5',6
40	2,2',3,3'	95	2,2',3,5',6	151	2,2',3,5,5',6	204	2,2',3,4,4',5,6,6'
41	2,2',3,4	96	2,2',3,6,6'	152	2,2',3,5,6,6'	205	2,3,3',4,4',5,5',6
42	2,2',3,4'	97	2,2',3',4,5	153	2,2',4,4',5,5'		
43	2,2',3,5	98	2,2',3',4,6	154	2,2',4,4',5,6'	<b>Nonachlorbiphenyle</b>	
44	2,2',3,5'	99	2,2',4,4',5	155	2,2',4,4',6,6'	206	2,2',3,3',4,4',5,5',6
45	2,2',3,6	100	2,2',4,4',6	156	2,3,3',4,4',5	207	2,2',3,3',4,4',5,6,6'
46	2,2',3,6'	101	2,2',4,5,5'	157	2,3,3',4,4',5'	208	2,2',3,3',4,5,5',6,6'
47	2,2',4,4'	102	2,2',4,5,6'	158	2,3,3',4,4',6		
48	2,2',4,5	103	2,2',4,5',6	159	2,3,3',4,5,5'	<b>Decachlorbiphenyl</b>	
49	2,2',4,5'	104	2,2',4,6,6'	160	2,3,3',4,5,6	209	2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'
50	2,2',4,6	105	2,3,3',4,4'	161	2,3,3',4,5',6		
51	2,2',4,6'	106	2,3,3',4,5				

## 2.2 PHYSIKALISCH - CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

### 2.2.1 Physikalische Eigenschaften

Sämtliche PCB Kongenere weisen Dichten von mehr als 1 g/cm<sup>3</sup> auf. Sie sind also schwerer als Wasser. Die Löslichkeit der Kongenere in Wasser nimmt mit steigendem Chlorierungsgrad ab. Leicht löslich sind sie in allen unpolaren Lösemitteln. Analog zur Löslichkeit nimmt auch der Dampfdruck mit steigendem Chlorgehalt ab. Im allgemeinen nimmt der Schmelzpunkt der Reinsubstanzen mit der Anzahl der Chloratome zu. Außerdem sind die physikalischen Eigenschaften nicht nur abhängig von der Anzahl der Chloratome pro Molekül, sondern auch von deren genauen Stellung, also vom Kongener selbst.

Der Einfluß der Chlorstellung auf die physikalischen Eigenschaften soll am Beispiel der Schmelzpunkte der Kongenere PCB-2 und PCB-3 des Monochlorbiphenyls illustriert werden: Es gilt allgemein, daß Biphenyle, die an der 4-Stellung mit Chlor substituiert sind, generell höhere Schmelzpunkte besitzen. So ist bei Raumtemperatur das Kongener PCB-2 flüssig (Öl) und das Kongener PCB-3 ein Feststoff wie aus der Tabelle 2.3 der Monochlorbiphenyle erkennbar ist.

Tabelle 2.3: Schmelzpunkte der Monochlorbiphenyle (SHIU und MACKAY, 1986)

PCB-Nr. (IUPAC)	chemische Bezeichnung	Schmelzpunkt (°C)
PCB-2	3-Monochlorbiphenyl	25
PCB-3	4-Monochlorbiphenyl	78

Zusammenfassend kann man die PCB als meist feste oder flüssige (ölige), in Wasser schwer lösliche, und nicht leicht verdampfende Substanzen charakterisieren.

Die wichtigsten physikalischen Eigenschaften sind in Tabelle 2.4 aufgelistet. Dabei beziehen sich die Zahlenangaben auf die gesamte Bandbreite der 209 PCB Kongenere.

Tabelle 2.4: Wichtigsten physikalisch-chemischen Eigenschaften der PCB (SHIU und MACKAY, 1986; FIEDLER, 1995)

Parameter	Dimension	Wert
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	1,182-1,1566
Schmelzpunkt	°C	25-306
Wasserlöslichkeit	mg/l	1,2*10 <sup>-6</sup> -5,5
Dampfdruck	Pa	5*10 <sup>-8</sup> -2,04

### 2.2.2 Chemische Eigenschaften

Die polychlorierten Biphenyle sind chemisch äußerst stabil. Sie sind weder oxidationsempfindlich noch säureempfindlich. Auch gegen hydrolytischen Abbau sind sie sehr widerstandsfähig. So können die Mono- und Dichlorbiphenyle nur mit wässriger Natronlauge bei 300 - 400 °C im Autoklaven zur entsprechenden Hydroxyverbindung hydrolysiert werden.

(ULLMANN'S Encyklopädie, 1972 -1984). Die schwere Entflammbarkeit der PCB resultiert aus den hohen Flammpunkt, der je nach Chlorgehalt zwischen 170 - 380 °C liegt. (FIEDLER, 1995). Geraten sie dennoch in Brand, erzeugen sie eine stark rußende Flamme. Erfolgt die Verbrennung bei niedrigen Temperaturen so entstehen durch verschiedene Reaktionen die hochtoxischen polychlorierten Dibenzodioxine (PCDD) bzw. die polychlorierten Dibenzofurane (PCDF) (FIEDLER, 1995). Vollständige Mineralisation, d. h. Zersetzung in anorganische Bestandteile, kann nur bei einer Mindesttemperatur von 1200 °C und einer Kontaktzeit von mehr als 2 Sekunden eintreten (KREFT und GROTHAUS, 1989; FIEDLER, 1995).

Im festen Biphenyl liegen die beiden Ringe in einer Ebene, was der energetisch günstigsten Konfiguration entspricht. Man bezeichnet diese Stellung als „coplanar“. Bei den PCB ist eine coplanare Konfiguration nur dann möglich, wenn keine der o-Stellungen (2 und/oder 2' und/oder 6 und/oder 6') mit Chlor substituiert ist. Von den 209 Kongeneren gibt es nur 20, die keine o-Substitution mit Chlor besitzen. Sie werden *coplanare PCB* genannt und sind in der Tabelle 2.5 aufgelistet. Die räumliche Struktur der coplanaren PCB ist den polychlorierten Dibenzofuranen bzw. polychlorierten Dibenzodioxinen sehr ähnlich. Allerdings wird bei den letztgenannten hochtoxischen Verbindungen die Planarität durch eine zusätzliche bzw. zwei Sauerstoffbrücke(n) fixiert. Die dadurch bedingten ähnlichen stereochemischen Eigenschaften finden sich in der ebenfalls höheren Toxizität der coplanaren PCB wieder. (GIGER, 1992; KOHLER, 1992).

Tabelle 2.5: Coplanare Polychlorierte Biphenyle

Nr. (IUPAC)	Struktur
PCB-2	3-Monochlorbiphenyl
PCB-3	4-Monochlorbiphenyl
PCB-11	3,3'-Dichlorbiphenyl
PCB-12	3,4-Dichlorbiphenyl
PCB-13	3,4'-Dichlorbiphenyl
PCB-14	3,5-Dichlorbiphenyl
PCB-15	4,4'-Dichlorbiphenyl
PCB-35	3,3',4-Trichlorbiphenyl
PCB-36	3,3',5-Trichlorbiphenyl
PCB-37	3,4,4'-Trichlorbiphenyl
PCB-38	3,4,5-Trichlorbiphenyl
PCB-39	3,4',5-Trichlorbiphenyl
PCB-77	3,3',4,4'-Tetrachlorbiphenyl
PCB-78	3,3',4,5-Tetrachlorbiphenyl
PCB-79	3,3',4,5'-Tetrachlorbiphenyl
PCB-80	3,3',5,5'-Tetrachlorbiphenyl
PCB-81	3,4,4',5-Tetrachlorbiphenyl
PCB-126	3,3',4,4',5-Pentachlorbiphenyl
PCB-127	3,3',4,5,5'-Pentachlorbiphenyl
PCB-169	3,3',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl

Sind im Molekül eine oder mehrere ortho-Stellungen mit Chlor substituiert, so tritt eine geringfügige sterische Hinderung der freien Rotation um die Einfachbindung durch die großen Chloratome ein. Die energetisch günstigste Konfiguration wird in diesen Fällen durch die gegenseitige Verdrehung der Ringe erreicht. Dadurch liegen beide Ringe nicht mehr in einer Ebene. Die dadurch bedingte optische Aktivität dieser Moleküle kommt nicht zum Vorschein,

da die Rotationsbarriere der beiden Ringe zueinander so gering ist, daß sich beide Antipoden bei Raumtemperatur durch die freie Drehbarkeit der Ringe ineinander umwandeln und somit nicht trennbar sind.

## 2.3 TOXISCHE WIRKUNGEN VON PCB

Während der 70er Jahre wurde in zahlreichen Tierversuchen die Wirkung von PCB auf die Gesundheit höherer Lebewesen untersucht. Dies geschah mittels den handelsüblichen technischen PCB Produkten, die, je nach Hersteller, über sehr unterschiedliche Zusammensetzung des Kongenerenspektrums verfügten. Dabei wurde nicht berücksichtigt, daß diese Gemische stets eine geringe Konzentration an hochtoxischer Verunreinigungen enthalten, zum Beispiel polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und Dibenzodioxine (PCDD). Nach Erkennen dieses Problems wurden in den 80er Jahren weitere toxikologische Untersuchungen mit einzelnen PCB Kongeneren durchgeführt, die zeigten, daß deren toxische Wirkung stark variiert und von der spezifischen Molekülstruktur abhängt.

Die Toxizität von individuellen PCB Kongeneren abzuschätzen bereitet einige Schwierigkeiten:

- Individuelle PCB Kongenere müssen synthetisiert und von Nebenprodukten gereinigt werden
- Es besteht ein erheblicher Unterschied zwischen *in vitro* und *in vivo*-Toxizität.
- Bei Verabreichung von geringen Dosen wirken die wenigsten PCB toxisch. Signifikante toxische Effekte treten bei Verabreichung hoher Dosen, oder bei chronischer Verabreichung geringer Dosen auf.

Entscheidend für die Frage der Toxizität scheint die räumliche Anordnung der beiden Phenylringe zu sein, die durch die Stellung der Chlorsubstituenten bestimmt wird. Wie bereits oben erwähnt, sind es gerade die coplanaren Kongenere (siehe Tabelle 2.5), die ähnliche sterische Eigenschaften wie die hochtoxischen polychlorierten Dibenzodioxine aufweisen (KÖHLER, 1992).

### 2.3.1 Toxizitätsäquivalenzfaktoren

Toxizitätsäquivalenzfaktoren (TEF) wurden erstmals für polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD) und Dibenzofurane (PCDF) entwickelt, um das mögliche Risiko von Gemischen dieser Substanzen abschätzen zu können. Für PCB, die nach dem selben Mechanismus wie die PCDD / PCDF toxisch wirken, kann diese Methode ebenfalls angewendet werden. Durch Multiplikation der TEF mit der Konzentration des betreffenden Kongeners und der anschließenden Addition aller Produkte, läßt sich das Gesamt-Toxizitätsäquivalent (Gesamt TEQ) bestimmen. Dieser TEQ entspricht in seiner toxischen Wirkung dann der Äquivalenzkonzentration derselben Menge an 2,3,7,8, - Tetrachlordibenzo - p - dioxin. Tabelle 2.6 listet exemplarisch einige TEF für dioxin - ähnliche PCB Kongenere auf.

Tabelle 2.6: TEF für dioxin - ähnliche PCB Kongenere (FIEDLER, 1995)

Substitutionstyp	Kongener	IUPAC Nummer	TEF
non - <i>ortho</i> - substituiert	3,3',4,4' - TetraCB	77	0,0005
	3,3',4,4',5 - PentaCB	126	0,1
	3,3',4,4',5,5' - HexaCB	169	0,01
mono - <i>ortho</i> - substituiert	2,3,3',4,4' - PentaCB	105	0,001
	2,3,4,4',5 - PentaCB	114	0,0005
	2,3',4,4',5 - PentaCB	118	0,0001
	2',3,4,4',5 - PentaCB	123	0,0001
	2,3,3',4,4',5 - HexaCB	156	0,0005
	2,3,3',4,4',5' - HexaCB	157	0,0005
	2,3',4,4',5,5' - HexaCB	167	0,00001
	2,3,3',4,4',5,5' - HeptaCB	189	0,0001
di - <i>ortho</i> - substituiert	2,2',3,3',4,4',5 - HeptaCB	170	0,0001
	2,2',3,4,4',5,5' - HeptaCB	180	0,00001

3,3',4,4',5 - Pentachlorbiphenyl (PCB - 126) ist das am stärksten toxische PCB und erhält einen TEF von 0,1. Zum Vergleich dazu wurde dem 2,3,7,8 - Tetrachlordibenzo - p - dioxin, als diejenige Verbindung, die die höchste toxische Wirkung aufweist, ein TEF von 1 zugeordnet (FIEDLER, 1995). Da im menschlichen Gewebe und in der Umwelt größere Mengen an coplanaren PCB nachgewiesen werden, als an polychlorierten Dibenzodioxinen und polychlorierte Dibenzofuranen, stellen PCB diesbezüglich ein höheres toxikologisches Risiko dar.

Abgesehen von der toxischen Wirkung der einzelnen Kongenere, enthalten die technischen PCB Mischungen, herstellungsbedingt, unterschiedliche Anteile von polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF). Einige Vertreter dieser wiederum sehr komplex zusammengesetzten Stoffgruppe sind außerordentlich giftig. Daher ist die Möglichkeit einer toxischen Wirkung, die von Verunreinigersubstanzen ausgeht, als relativ hoch einzustufen (GIGER, 1992).

### 2.3.2 Akute Toxizität

Die akute Toxizität von PCB ist sehr niedrig. Bei einer einmaligen Verabreichung schwankt die mittlere tödliche Dosis ( $LD_{50}$ ) der technischen PCB Produkte sowie einzelner Kongenere in weiten Grenzen: Die  $LD_{50}$  - Werte von Ratten und Kaninchen variieren im Falle von Aroclor Produkten zwischen 1 und 11 g/kg Körpergewicht bzw. zwischen 1 und 3 g/kg Körpergewicht. Für Meerschweinchen, die generell empfindlicher reagieren, beträgt mit 3,3',4,4',5,5' - Hexachlorbiphenyl (PCB 169 nach Tabelle 2.2) der  $LD_{50}$  - Wert 0,5 mg/kg Körpergewicht, und mit 2,2',4,4',6,6' - Hexachlorbiphenyl (PCB-155 nach Tabelle 2.2) 64 mg/kg Körpergewicht (KÖHLER et al., 1992). Diese unterschiedliche Wirkung zweier Kongenere mit der gleichen Anzahl von Chloratomen führte zur vorhin diskutierten Frage nach der Strukturabhängigkeit der PCB-Toxizität.

Bei technischen PCB Mischungen tritt der Tod der Versuchstiere bei oraler Verabreichung der letalen Dosis innerhalb von 3 Tagen ein, bei intravenöser Aufnahme tritt der Tod noch früher ein (FIEDLER, 1995).

### 2.3.3 Teratogenität

Embryotoxische Wirkungen wurden bei verschiedenen Tierarten gefunden. Neben Verzögerungen in der Entwicklung wurde eine verringerte Zahl von Nachkommen beobachtet. Den stärksten Effekt zeigten, sowohl isoliert, als auch im Gemisch mit anderen Fraktionen, non- und mono- *ortho* - *coplanare* Kongenere.

Mehrere Wissenschaftler befürworten die These, daß der Rückgang der Fischotterpopulationen in Europa in Zusammenhang mit der zunehmenden Anreicherung von PCB in Fischen, der Nahrungsgrundlage der Fischotter, zu sehen ist. Begründet wird diese These durch die Ergebnisse von Laborversuchen mit amerikanischen Nerzen, die dem Fischotter verwandt sind. Bei diesen Versuchen waren Reproduktionsausfälle schon dann beobachtet worden, wenn die PCB Konzentration in der, ihnen als Nahrung dienenden Fischen, geringer war als die in den Gebieten mit Fischotterrückgang gemessenen. Ein direkter Kausalzusammenhang konnte daraus allerdings nicht abgeleitet werden.

### 2.3.4 Kanzerogenität

*In vitro* Untersuchungen über eine mögliche kanzerogene Wirkung der PCB erbrachten keine gesicherten Nachweise. Es wird allerdings vermutet, daß PCB Tumorbildungen nicht notwendig auslösen, jedoch unterstützen. Epidemologische Untersuchungen an Personen mit PCB Exposition am Arbeitsplatz haben keinen Nachweis für eine kanzerogene Wirkung beim Menschen erbracht. Allerdings zeigte sich bei weißen und afro-amerikanischen Frauen, die im Vergleich zum Rest der weiblichen Weltbevölkerung den höchsten Serumspiegel an DDE (Dichlordiphenyldichlorlethen, der Hauptmetabolit des DDT) und PCB aufweisen, ein zwei- bis dreifach höheres Erkrankungsrisiko an Brustkrebs, als bei jenen mit niedrigeren Spiegeln (DAVIS und BRADLOW, 1993). Außerdem fand man in mehreren Langzeitstudien an Ratten und Mäusen nach Aroclor 1260 - Gabe eine erhöhte Anzahl von Lebertumoren (FIEDLER, 1995).

### 2.3.5 Ökotoxikologische Effekte

Der Einfluß der sich in der Umwelt befindlichen PCB auf ganze Ökosysteme, das heißt auf die Zusammensetzung und den Gesundheitszustand ihrer ansässigen Lebensgemeinschaften, ist weit schwieriger zu ermitteln als die durch kontrollierte Verabreichung hervorgerufenen Effekte auf einzelne, isolierte Systeme. Schon alleine die Tatsache, daß in der Umwelt Transportvorgänge und biologische Umwandlungsprozesse die ursprüngliche Zusammensetzung der technischen PCB Gemische fortlaufend verändern, erschwert den Nachweis, daß eine beobachtete Störung tatsächlich und ausschließlich aufgrund von PCB Einträgen erfolgt ist.

Ein für die Ökotoxikologie von PCB wichtiges Phänomen ist der Transport und die Konzentrationsverschiebung innerhalb des organischen Teils des Ökosystemes selbst über die Nahrungskette. Durch die geringe biologische Abbaubarkeit und die physikalisch-chemischen Eigenschaften der PCB reichern sich diese Substanzen in den unpolaren Umweltkompartimenten, allen voran der Fettphase der Biosphäre an. So sind zum Beispiel PCB Konzentrationen in der Größenordnung von 10 mg/kg im Fett von Meeressäugetieren durch die hohen Biokonzentrations- und Biomagnifikationsfaktoren in aquatischen Nahrungsketten (bis zu  $10^5$  vom Wasser zum Beutefisch, und noch einmal  $10^2$  vom Beutefisch zum Meeressäuger) durchaus zu erreichen.

## 2.4 ANALYTIK DER PCB

Aufgrund der jahrelangen weltweiten Produktion, der Anwendung von mehr als einer Million Tonnen PCB, und ihrer hohen chemischen Stabilität kommen die PCB bereits in allen umweltrelevanten Medien vor. In den meisten Fällen bewegen sich die Konzentrationen im Spurenbereich. Zur Bestimmung der PCB müssen sie zuerst von der Matrix getrennt werden. Im Anschluß daran muß das, theoretisch aus 209 Kongeneren bestehende, erhaltene Stoffgemisch der PCB getrennt werden, um sie quantifizieren zu können. Es ergibt sich daher folgender Analysenweg:

- Probenahme
- Extraktion und Anreicherung aus der Matrix
- Chromatographische Trennung der Kongenere
- Quantitative Bestimmung der ausgewählten Kongenere

All diese Verfahrensschritte werden als Analysenmethode zusammengefaßt. Um eine gute Analytik durchzuführen, muß für jede Fragestellung, eine dem Problem angepaßte Analysenmethode gewählt werden, die entsprechend modifiziert und optimiert werden muß.

### 2.4.1 Probenahme

Der erste Schritt jeder Analytik ist die Probenahme. Im Rahmen der Probenahme muß eine repräsentative Probe des zu untersuchenden Mediums gezogen werden. Dabei ist die Planung der Probenahme ein äußerst wichtiger Faktor, um eine der Fragestellung entsprechende Probe zu erhalten. Oft werden bei der Probenahme große Fehler gemacht, die dann zu falschen Rückschlüssen führen können. Man unterscheidet zwischen:

- festen Proben (Boden, getrockneter Klärschlamm, Asche,...),
- flüssige Proben (Oberflächenwasser, Abwasser,...) und
- gasförmige Proben (Luft, Deponiegas,...).

Je nach Art der Probe erhält man die Probe in unterschiedlicher Form. So liegen die festen und flüssigen Proben bereits in dem für das Analysenverfahren geeigneten Aggregatzustand vor, während die gasförmigen Proben meist auf bestimmte Trägermaterialien (z.B. Filter) adsorbiert werden.

Die gezogene Probe wird in einem geeigneten Behälter in das Labor gebracht und dort weiter behandelt. Beim Transport der festen und flüssigen Proben ist auf das Material der Probenahmegefäße zu achten, um einer eventuellen Adsorption an der Gefäßwand vorzubeugen. Vorzugsweise soll die Probe auch während des Transportes gekühlt werden, um etwaige Veränderungen der Probe zu erschweren.

### 2.4.2 Abtrennung der Matrix

Im Labor erfolgt im ersten Schritt eine Trocknung der zu analysierenden Probe. Dies geschieht entweder direkt oder mit Hilfe der probenschonenderen Gefriertrocknung (Lyophilisation). Im Anschluß daran wird eine Anreicherung der PCB aus der Matrix durchgeführt, wobei als Matrix jener Teil der Probe bezeichnet wird, der nicht bestimmt werden soll. Zur Trennung werden je nach Art der Matrix (fest, flüssig oder gasförmig) verschiedene Methoden eingesetzt.

Ziel sämtlicher Extraktionen von Proben ist die weitgehende Trennung des Analyten von der Matrix und eine starke Anreicherung im Extraktionsmittel.

Durch die Extraktion hat man den größten Teil der Matrix von den zu bestimmenden Analyten getrennt und angereichert. Im Extrakt liegen allerdings neben dem Analyten auch noch Substanzen, die die spätere Endbestimmung stören können vor. Dazu muß das Extrakt noch einem oder mehrerer Reinigungsschritte, dem sogenannten „Clean-up“, unterzogen werden. Dieser in der Praxis äußerst wichtige Verfahrensschritt erfolgt meist mit Hilfe einer adsorptionschromatographischen Methode, wobei eine weitgehende Abtrennung der Störsubstanzen erfolgt. Als Resultat dieses Arbeitsschrittes soll die zu bestimmende Stoffgruppe soweit gereinigt werden, daß die qualitative und quantitative Bestimmung keiner Störung durch andere Substanzen unterliegt. Schlußendlich erhält man eine Lösung, die die zu bestimmenden Stoffe in einer Konzentration enthält, die quantifizierbar und nahezu frei von Störsubstanzen ist.

### 2.4.3 Quantitative Bestimmung der Kongenere

Zur Identifizierung und Quantifizierung ist die Kapillarsäulengaschromatografie (GC) die Methode der Wahl. Durch die hohe Selektivität und Empfindlichkeit ist sie besonders für die Endbestimmung von Stoffgemischen in Umweltproben im Spurenbereich geeignet. Als Detektion wird meist ein Elektroneneinfangdetektor (ECD) oder ein massenselektiver Detektor eingesetzt. In der Trennsäule werden die einzelnen Substanzen unterschiedlich lang zurückgehalten, wodurch eine Trennung des Stoffgemisches resultiert. Die heute in Verwendung stehenden Kapillarsäulen besitzen eine so hohe Trennleistung, sodaß sehr viele der Kongenere getrennt bestimmt werden können. Zur Identifikation der einzelnen Kongenere dienen die Retentionszeiten. Wird ein massenselektiver Detektor eingesetzt, kann auch das zu jeder Substanz erhaltene Massenspektrum zur Identifizierung herangezogen werden. Es muß sichergestellt werden, daß nicht zwei verschiedene Substanzen die gleiche Retentionszeit besitzen.

Bei der Qualifizierung und Quantifizierung ergibt sich das Problem, daß **nicht alle Kongenere bestimmt werden können**, da der entsprechende personelle als auch der apparative Aufwand zu hoch wäre. Man quantifiziert daher nur einzelne Kongenere und gibt sie sowohl einzeln als auch als Summe an.

Die Bestimmung des PCB Gehaltes in Altölen und kontaminierten Trafoölen erfolgt üblicherweise mittels GC/ECD nach DIN 51 527, Teil 1, Ausgabe Mai 1987, über eine vereinfachte Summenrechnung. Diese Analysenmethode ist auch in der *Altölverordnung* (BGBl. 383/1987) zur Beurteilung des Gesamtgehaltes an PCB im Altöl vorgeschrieben. Bei dieser Methode werden die Referenzkongenere PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-153, PCB-138, PCB-180 (nach Tabelle 2.2) bestimmt. Die quantitative Bestimmung von nur wenigen Kongeneren ist bei den Altölproben deshalb zielführend, da das Kongenerenmuster sich nur wenig von dem eines technischen Produktes unterscheidet. Da die Substanzklasse der PCB insgesamt 209 Kongenere umfaßt, wird zum Zweck der Ermittlung des tatsächlichen Gehaltes gemäß *Altölverordnung* 1987 eine Hochrechnung durch Multiplikation des Analyseergebnisses mit dem Faktor 5 vorgenommen.

## 2.5 POLYCHLORIERTE TERPHENYLE

### 2.5.1 Allgemeines

Neben dem Biphenyl wurden auch Terphenyle polychloriert. Die polychlorierten Terphenyle (PCT) stellen eine Substanzklasse mit der allgemeinen Summenformel  $C_{18}H_{14-n}Cl_n$ , ( $n=1$  bis 14) dar. Das molekulare Grundgerüst der Terphenyle ist ein Benzolring, bei dem 2 Wasserstoffatome durch Phenylgruppen ersetzt sind. Es gibt daher drei isomeren Formen des Terphenyls: o-Terphenyl, m-Terphenyl und p-Terphenyl.

Je nach Reaktionsbedingungen der Chlorierung können unterschiedlich viel Wasserstoffatome des Terphenyls durch Chloratome ersetzt werden. Als Reaktionsprodukt erhält man eine Mischung von den unterschiedlichsten Kongeneren der drei isomeren Formen des Terphenyls. Unabhängig von der Stellungsisomerie des Terphenyls kann diese Substanzklasse auch nach der Anzahl der Chloratome im Molekül, also nach den Isomerengruppen, unterteilt werden. Da ein Terphenyl bis zu 14 Chloratome enthalten kann, gibt es 14 Isomerengruppen (Monochlorterphenyle, Dichlorterphenyle, etc...). Insgesamt sind 8557 Kongenere möglich (REMBERG, 1996).

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der PCT sind den PCB sehr ähnlich. So zeigen die PCT ebenfalls eine hohe chemische Stabilität, hohe Dielektrizitätskonstante sowie niedrige elektrische Leitfähigkeit. Die Schmelzpunkte sind generell höher als die der PCB, sodaß die PCT meist zähe bis kristalline Stoffe sind. Auf Grund dieser Eigenschaften konnten sie oft für den gleichen technischen Verwendungszweck wie die PCB eingesetzt werden. Nach Jakobi wurden die PCT hauptsächlich in offenen Anwendungen, wie z. B. als Weichmacher, flammwidrige Anstrichmittel, Insektizid-Trägerstoff (bis zu 50 % PCT), Streckmittel für Überzugswachse (ca. 40 % PCT), Isolationsmassen für Elektrokabeln, Isolierlacke für Drähte und Imprägnierungen von Baumwoll- und Asbestgewebe und Papier, eingesetzt (JAKOBI, 1985).

Als Produktnamen verwendeten die Hersteller die gleichen Handelsnamen wie für die PCB.

Die PCT hatten trotz der ähnlichen Eigenschaften zu den PCB nie solch eine Bedeutung wie die PCB. Es ist daher auch nicht verwunderlich, daß die Gesamtproduktion der PCT nur ca. 10 % der Weltproduktion der PCB ausgemacht hat (JAKOBI, 1985).

### 2.5.2 Analytik der Polychlorierten Terphenyle (PCT)

Wie oben erwähnt sind die chemischen und physikalischen Eigenschaften der PCT auf Grund ihrer chemischen Struktur denen der PCB sehr ähnlich. Im Gegensatz dazu unterscheiden sie sich analytisch so sehr, daß es auch in ferner Zukunft keine Bestimmungsmethode analog zu den PCB geben wird. Dies liegt vor allem daran, daß von den PCT 8557 Kongenere existieren. Diese Zahl wurde erst jetzt exakt bestimmt, daher gibt es noch keine so einfache Nomenklatur wie bei den PCB (REMBERG, 1996). Ist es bisher nicht gelungen mit *einem* analytischen Verfahren alle 209 Kongenere der PCB zu trennen, so ist es leicht vorstellbar, daß eine analytische Trennung von 8557 Kongeneren derzeit unmöglich ist (REMBERG, 1996). Zur Bestimmung der PCB gibt es international anerkannte Analysenstrategien, die alle im wesentlichen sechs spezielle Einzelverbindungen bestimmen, die als Repräsentanten für den PCB-Gehalt herangezogen werden. Zu den einzelnen Bestimmungen in den verschiedenen Matrices gibt es neben genormten Analyseverfahren auch ausreichend Literatur, sodaß es prinzipiell möglich ist, die ausgewählten sechs Kongenere der PCB in jeder beliebigen Probe zu bestimmen. Bei den PCT gibt es, von einer genormten

Methode ganz abgesehen, keine analoge Strategie bei der Bestimmung der Kongenere so wie bei den PCB. Dies ist neben der großen Anzahl der Kongenere hauptsächlich auf den mengenmäßig geringen Anteil (4 % gegenüber den PCB (BOOS et al., 1995)) zurückzuführen. Der prinzipielle Weg zur Bewältigung der Analyse der PCT geht im Spurenbereich (analog der PCB-Analytik) auch mit Hilfe der Gaschromatographie und anschließender Detektion mit einem Elektroneneinfangdetektor (ECD) oder einem massenspektrometrischen Detektor. Bei diesem analytischen Verfahren werden zur Bestimmung der Einzelsubstanzen die entsprechenden Reinsubstanzen benötigt. Von den 8557 sind derzeit nur 13 Kongenere käuflich als Analysenstandards erhältlich (2 Kongenere von den Monochlorterphenylen, 4 Kongenere von den Dichlorterphenylen, 2 Kongenere von den Trichlorterphenylen, 3 Kongenere von den Tetrachlorterphenylen und 2 Kongenere von den Pentachlorterphenylen). Daraus ist ersichtlich, daß die Isomere, die mit der höchsten numerischen Anzahl in der theoretischen Kongenerenverteilung vertreten sind (Hexa-, Hepta-, und Octachlorterphenyle) kommerziell nicht zu bekommen sind. Bei Betrachtung der Analyse von den technischen Produkten Arochlor 5432 (31% Dichlorterphenyl, 42 % Trichlorterphenyl und 23 % Tetrachlorterphenyl) und Arochlor 5460 (46 % Oktachlorterphenyl, 29 % Nonachlorterphenyl und 12 % Dekachlorterphenyl) erkennt man, daß mit den derzeit käuflichen Standards bestenfalls nur für die niedrigchlorierten technischen Produkte Referenzsubstanzen gibt.

### 2.5.3 Bilanzierung der PCT

Wie aus der Beschreibung der Analytik der PCT deutlich wird, sind exakte PCT-Analysen entsprechend solchen von PCB nicht zu haben. Es ist daher derzeit unmöglich eine seriöse Abschätzung der Verteilung der PCT in den einzelnen Kompartimenten anzugeben. Daher wurde von einer Bilanzierung der PCT im Rahmen dieser Studie Abstand genommen.

### 3 PRODUKTION, NUTZUNG UND ENTSORGUNG VON PCB

#### 3.1 INDUSTRIELLE PRODUKTION

Die großindustrielle Produktion polychlorierter Biphenyle startete im Jahr 1929 bei der *Swan Chemical Company* in den USA. Im Zeitraum von 1929 bis etwa 1984 wurden weltweit etwa 1.500.000 t produziert, wobei alleine etwa 1.100.000 t auf die OECD-Staaten entfallen (DE VOOGT und BRINKMAN, 1989; FIEDLER, 1995).

Die gesamte Weltproduktion stammte nur von einigen wenigen Produzenten. Betrachtet man die Jahre, in denen PCB hergestellt wurden, so erkennt man, daß sich die Herstellungsmenge nicht gleichmäßig über diesen Zeitraum verteilt. Von der Erstproduktion bis in die 50er Jahre wurde bedeutend weniger hergestellt als in den 60er und 70er Jahren. Dabei wurde die höchste Produktionsrate Ende der 60er, Anfang der 70er Jahre mit etwa 70.000 Jahrestonnen erreicht (ENGELS, 1990). Ab Mitte der 70er Jahre nahm die Produktionsrate drastisch ab. Der Produktionsrückgang begründet sich durch die zunächst freiwillige Reduktion der Produktion ab 1972, und durch die gänzliche Einstellung der PCB Produktion des weltweit größten Herstellers, der Firma Monsanto in der USA, im Jahre 1977. Der weltweit zweitgrößte Hersteller, die Firma Bayer in der BRD, stellte ihre Produktion erst im Jahre 1983 ein.

In Westeuropa wurden PCB noch bis Ende der 80er Jahre produziert, nachweislich in Frankreich, wo ab 1984 bis Ende der 80er Jahre von der Firma Prodelec noch etwa 4.000 Jahrestonnen in Verkehr gebracht wurden (DE VOOGT und BRINKMAN; 1989).

Die folgende Tabelle 3.1 gibt die Produktionen der OECD-Länder an.

Tabelle 3.1: Produktion von PCB in Tonnen innerhalb der OECD Länder (DE VOOGT und BRINKMAN, 1989)

Land	bis 1954	1955-1959	1960-1964	1965-1969	1970-1974	1975-1979	1980-1984	Total
Frankreich	2800	7085	14401	16975	25759	28141	21560	116721
BRD	7200	8125	22465	29429	36343	34072	20609	158243
Italien	-	520	1920	4430	7195	8076	5867	28008
Spanien	-	150	1289	4296	9433	9300	4496	28964
UK	100	2042	10215	22973	22017	9501	-	66848
Japan	200	3960	10530	24750	19879	-	-	59319
USA	172000	68000	94500	166300	114000	32900	-	647700
<b>Total</b>	<b>182300</b>	<b>89882</b>	<b>155320</b>	<b>269153</b>	<b>234626</b>	<b>121990</b>	<b>52532</b>	<b>1105803</b>

In Osteuropa wurden PCB vermutlich bis Ende der 80er, Anfang der 90er Jahre hergestellt. Belegt ist die PCB Produktion in der ehemaligen UdSSR, in Polen, der ehemaligen Tschechoslowakei und der ehemaligen DDR. Vor 1968 stellte die Firma Chemko in der Tschechoslowakei etwa 6.000 Jahrestonnen PCB her. Anfang der 80er Jahre ging die Produktion auf ca. 500 Jahrestonnen zurück, und soll, nach Angaben des Unternehmens 1984 aus ökologischen Gründen eingestellt worden sein. Belegbar ist auch der Einsatz von PCB in offenen Anwendungen bis 1984 (!) in der DDR, die nach Einstellung der heimischen Produktion im Jahre 1964, ihre PCB Mischungen von der Firma Chemko bezog. In der UdSSR wur-

den PCB seit 1934 hergestellt. Über die Produktionszahlen und über das Datum eines etwaigen Ausstieges aus der Produktion liegen keine Angaben vor (DE VOOGT und BRINKMAN, 1989; SCHAAFFHAUSEN und GRAMENZ, 1993).

### 3.2 VERFAHREN ZUR TECHNISCHEN HERSTELLUNG UND PRODUKTBEZEICHNUNGEN HANDELSÜBLICHER PCB MISCHUNGEN

Die technische Herstellung der PCB erfolgt durch Chlorierung von Biphenyl mit Eisen (Fe) oder Eisen-III-Chlorid ( $\text{FeCl}_3$ ) als Katalysator. Es gibt sowohl chargenweise, als auch ein- und mehrstufige kontinuierliche Chlorierungen. Die Temperatur bei der Chlorierung beginnt bei ca. 10 °C über dem Schmelzpunkt des Reaktionsgemisches und erreicht maximal 150 - 160 °C. Der Grad der Chlorierung wird über eine Dichtebestimmung des Reaktionsgemisches gesteuert. Durch diesen chemischen Prozeß erhält man ein Kongeneren- bzw. Isomerenmisch, welches je nach Chlorierungsgrad ein unterschiedliches Verteilungsmuster der Isomere bzw. Kongenere aufweist. Neben den Kongeneren entstehen, allerdings in Spuren, auch andere, oft hochtoxische chlorierte Verbindungen. Folgende Verunreinigungen wurden in den technischen Produkten nachgewiesen:

- polychlorierte Naphthaline (PCN),
- polychlorierte Dibenzofurane (PCDF), ca. 10 ppm.

Erst nach 1975 konnte der Produktionsprozeß so verbessert werden, daß von diesen Stoffen nur geringere Mengen entstehen. Es kann daher davon ausgegangen werden, daß die bis Mitte der 70er Jahre in den offenen Anwendungen eingesetzten PCB stärker mit polychlorierten Dibenzofuranen und polychlorierten Dibenzodioxinen belastet waren (GOSSLER und HÖHLEIN, 1991).

Tabelle 3.2: PCDF - Gehalt eines mit Aroclor 1242 gefüllten Transformators in mg/kg PCB (GOSSLER und HÖHLEIN, 1991)

MonoCDF	DiCDF	TriCDF	TetraCDF	PentaCDF
0,24 - 0,60	0,24	0,24 - 0,36	0,24 - 0,36	1,1 - 1,3

Aufgrund dieses Stoffgemisches haben die kommerziell erhältlichen PCB etwas andere Eigenschaften als die Reinsubstanzen. Die im Handel erhältlichen PCB-Mischungen wurden nach deren Chlorierungsgrad eingeteilt. Nach der Chlorierung erhält man je nach Chlorgehalt flüssige bis feste Produkte. Bis ca. 60 % Chlor sind die Produkte flüssig bis zähflüssig, und ab ca. 65 % Chlor sind sie fest. Die folgende Tabelle 3.3 zeigt die technisch wichtigen Eigenschaften der Clophene der Fa. Bayer.



Jeder Hersteller vertreibt seine PCB-Produkte unter einem bestimmten Handelsnamen und eigener Nomenklatur. In der folgenden Tabelle 3.5 sind die wichtigsten Hersteller und deren Produktnamen aufgelistet:

*Tabelle 3.5: Die wichtigsten Handelsnamen und deren Hersteller von PCB-Produkte (SCHINDLBAUER, 1988; DE VOOGT 1989)*

Handelsname	Hersteller	Land
Arochlor, Santotherm	Mitsubishi - Monsanto-	Japan
Aroclor, Pyrochlor	Monsanto	USA
Pyrochlor	Industrial Chemicals Co.	UK
Chlorestol	Allis-Chalmers	USA
Dykanol	Cornell-Dubilier	USA
Inerteen	Westinghouse-Electric	USA
Noflamol, Diachlor, Elemex, Bukola 131, Diachlor, Asbestol, Chlorextol	Wagner-Electrical Corporation	USA
Pyranol	Geneva Industries	USA
Pyranol	General Electric	USA
Therminol	Monsanto	USA
Elaol	Bayer AG	BRD
Clophen	IG bzw. Bayer AG	BRD
Orophene	DSW - VEB	DDR
Fenclor	Caffaro	Italien
Delo, Delorene	Chemko	CSSR
Kannechlor	Kanegafuchi Chemical Co.	Japan
Fenochlor, Pyralene	S.A.Cros	Spanien
Pyralene, Phenochlor	Prodelec	Frankreich
Fenclor, Apirolio, DK	Caffaro	Italien
Sovol, Sovtol	?-	UdSSR

Nachfolgend wird die Nomenklatur der beiden weltweit größten Hersteller, Monsanto und Bayer, im Hinblick auf die Klassifizierung ihrer PCB Produkte Aroclor bzw. Clophen beschrieben:

**Aroclor-Produkte der Firma Monsanto (USA):**

Als Bezeichnung der Aroclorprodukte verwendete die Firma Monsanto einen vierziffrigen Code. Die beiden ersten Ziffern (12 und bei einem Produkt 10) geben an, daß es sich um PCB handelt. Die dritte und vierte Stelle gibt in der Regel den Chlorgehalt in Prozent an (SCHINDLBAUER, 1988).

PCB's: 1221, 1242, 1254, 1260, 1268

Clophen Produkte der Firma Bayer:

Die Firma Bayer (Deutschland) bezeichnete ihre Produkte mit dem Handelsnamen Clophen. Es wurden folgende Abkürzungen verwendet:

Tabelle 3.6: Bezeichnung der Clophene der Fa. Bayer (JAKOBI, 1985)

Clophen-Typ	Bemerkung
A 30	ca. 42 % Chlor, Hauptbestandteil: Trichlorbiphenyl
A 40	ca. 47 % Chlor, Hauptbestandteil: Tetrachlorbiphenyl
A 50	ca. 55 % Chlor, Hauptbestandteil: Pentachlorbiphenyl
A 60	ca. 60 % Chlor, Hauptbestandteil: Hexachlorbiphenyl
C, Cl	für Kondensatoren, meist A30 und A40
T 64	für Transformatoren, Zusatz: 30 % Trichlorbenzol
T64 N	wie T 64 nur zusätzlich eine Inhibitor zur Vermeidung der HCl-Bildung bei elektrischem Glimmen od. Lichtbogen
T 82	Transformatoröl mit 20 % Trichlorbenzol
T 241	Transformatoröl mit 35 % Trichlorbenzol und 10 % Tetrachlorbenzol
T 241 N	Transformatoröl T241 mit Inhibitor gegen HCl-Bildung (siehe T 64 N)

### 3.3 HAUPTANWENDUNGSBEREICHE TECHNISCHER PCB MISCHUNGEN

Aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften wurden die PCB in vielen technischen Bereichen eingesetzt. Man unterscheidet dabei je nach Art ihrer Verwendung die **geschlossenen** und die **offenen** Systeme. Zu den geschlossenen Systemen zählen sämtliche Systeme bei denen die PCB nach Konstruktion keinen Kontakt zur Umwelt besitzen. In diesen Systemen können die PCB nur durch Beschädigung des Gerätes (Leck) bzw. durch Öffnen und Freilegen der PCB-haltigen Teile in die Umwelt gelangen. Dagegen sind bei den offenen Systemen die PCB so in Verwendung, daß sie jederzeit (durch Verdampfen oder durch mechanischen Abrieb) in die Umwelt gelangen können. Nachfolgend werden die wichtigsten Anwendungsbereiche summarisch aufgelistet. Eine genauere Diskussion erfolgt im Kapitel 4 bei der Erhebung der in Österreich eingesetzten Mengen.

### 3.3.1 Geschlossene Systeme

Seit Beginn der industriellen Produktion im Jahre 1929, bis Ende der 80er Jahre wurden PCB in geschlossenen Systemen vielfältig eingesetzt. Geschlossenen Systeme stellen traditionell den wichtigsten Anwendungsbereich dar. Die folgende Aufzählung faßt die wichtigsten Anwendungsbereiche der PCB in diesen Systemen zusammen:

- *Transformatoröle (Askarele)*
  - in Transformatoren
  - in Gleichrichtern
  - in Spulen
  - in Ölschüttschaltern und Schaltanlagen
- *Wärmeübertragungsöle (Umlaufsysteme)*
  - als Heizflüssigkeit in Wärmetauschern
  - als Ausdehnungsflüssigkeit in Temperaturreglern
- *Isolieröle*
  - als Tränkmittel in Leistungskondensatoren
  - als Tränkmittel in Kleinkondensatoren (Motor- und Leuchtenkondensatoren)
  - in ölgefüllten Spezialkabeln
- *Hydrauliköle (Umlaufsysteme)*
  - in Turbokupplungen
  - in Bremslüftern
  - in hydrodynamischen Getrieben
  - in hydraulischen Stellantrieben
  - zur Kraftübertragung in Hochleistungsmaschinen

Je nach Verwendungszweck unterscheiden sich die technischen PCB Mischungen hinsichtlich ihres Kongenerenspektrums und der beigefügten Additive.

Bei den Transformatoren wurden hauptsächlich hochchlorierte PCB eingesetzt (Chlorgehalt >54%). Sie dienen zur Wärmeübertragung und zur Isolation der Wicklungen. Zur Erreichung einer bestimmten Viskosität fanden Zusatzstoffe, Verwendung (bis zu 30 % Trichlorbenzol). Bei den Wärmeübertragungsölen wurden vorwiegend Trafoölmischungen verwendet.

Bedingt durch die hohe Dielektrizitätskonstante, wurden PCB als Dielektrikum in Kondensatoren eingesetzt. Es waren vor allem niedrigchlorierte PCB (ca. 42% Cl), die in reiner Form sowohl in Leistungskondensatoren als auch in Kondensatoren für Motoren und Leuchtstoffleuchten verwendet wurden. Eingesetzt wurden die PCB Isolieröle überall dort, wo es auf Nichtentflammbarkeit bei relativ hohen Umgebungstemperaturen und auf Spannungsfestigkeit ankam.

Aufgrund des flammhemmenden Verhaltens wurden die PCB im Bergbau für Hydraulikanlagen eingesetzt. Im deutschen und französischen Steinkohlebergbau wurden als Hydraulikflüssigkeiten der Gruppe HS-D PCB mit speziellen Zusätzen zur Alterungsstabilisierung, Korrosionsschutz, Verschleißschutz und Schaumverhalten verwendet (RAUHUT, 1978). In den Fällen, wo die Hochdruckbelastbarkeit keine grundlegende Rolle spielt, wurden Öle mit überwiegendem Anteil an Trichlorbiphenyl eingesetzt. Für Öle, die ausschließlich zur Kraftübertragung in Hochleistungsmaschinen eingesetzt wurden, wurden PCB Mischungen mit überwiegendem Anteil an Tetrachlorbiphenyl eingesetzt.

### 3.3.2 Offene Systeme

Bis in die 70er Jahre wurden die PCB in offenen Systemen eingesetzt. Als offene Systeme sind alle jene Einsatzgebiete zu verstehen, bei denen die PCB direkt mit der Umwelt in Kontakt treten können. Auf Grund ihrer Fähigkeit Kunststoffe geschmeidig zu machen, wurden sie oft als Weichmacher in den verschiedensten Materialien eingesetzt. Ein weiteres großes Anwendungsgebiet waren die PCB als Flammenschutzmittel, da sie selbst schwer entflammbar sind. Durch die hohe Reaktionsträgheit konnten sie auch als Bohr- und Schmieröle eingesetzt werden. Die folgende Liste zeigt die wichtigsten offenen Einsatzgebiete der PCB:

- *Weichmacher*
  - in Kunststoffen (z.B. in PVC, PE, PS, Kautschuk, PU Schaumstoff)
  - in Harzen und Lacken (Öl- und Emulsionsfarben, Vinylchlorid-, Nitrocellulose- und Chlorkautschuklacke) in Klebstoffen (PVA- Emulsionen, Ethylcellulose)
- *Flammenschutzmittel*
  - feuerhemmendes Imprägniermittel in der Elektroindustrie
  - feuerhemmendes Imprägniermittel in Deckenanstrichen (z.B. Holzbehandlungsmittel, häufige Anwendung in Silos)
  - feuerhemmendes Imprägniermittel in Textilien
- *Anwendung im Baubereich*
  - Schalöle im Betonbau
  - dauerelastische Fugendichtungsmassen für Betonfugen (Thiokoll- Dichtungsmassen)
  - Zusätze in Asphaltmaterial
  - Zusätze in PVC Belägen
  - Dispersionsfarben für den Innen- und Außenbereich von Gebäuden
- *Anwendungen in der Druckindustrie*
  - Zusätze in Druckfarben (Illustriertendruck)
  - Bindemittel für Farbstoffpasten
  - Zusätze in durchschlaglosem Durchschreibpapier
  - Zusätze in Tinten
- *Zusätze in Schmier- und Kühlmitteln*
  - Zusätze in Schmier- und Schneideölen, Borölen und Schleifflüssigkeiten
  - Zusätze in Getriebe- und Hochdruckpumpenölen
  - Zusätze in Schraubenfetten
- *Sonstige Anwendungen*
  - Zusätze in organischen Lösemitteln
  - Zusätze in Spachtel- und Vergußmassen, Kittungen und Wachsen
  - Zusätze in Fingernagellacken
  - Niveau- und Trennflüssigkeiten in Meßgeräten
  - Trägersubstanz für Insektizide
  - Schweröle in Ringwaagen
  - Polymerisationskatalysator - Träger für die Petrochemie
  - Immersionsöle für die Mikroskopie

Ebenso vielfältig wie die Einsatzgebiete selbst waren auch die darin eingesetzten PCB-Mischungen und ihr prozentualer Massenanteil. Zahlenwerte über die in den einzelnen Anwendungen eingesetzten PCB-Mengen lassen sich nur schwer abschätzen, da Datenmaterial hierzu von den PCB Herstellern bzw. Weiterverarbeitern nicht oder nur unzureichend veröffentlicht wird. Daß es sich bei den in den offenen Anwendungen eingesetzten Mengen

bedeutend waren, beweist die Tatsache, daß in der ehemaligen BRD ca. 32 % der Inlandproduktion, das sind etwa 24.000 t PCB, in die offenen Anwendungen gingen.

Zur Illustration der in offenen Anwendungen eingesetzten PCB Produkte sei hier eine der wenigen Veröffentlichungen des weltweit größten PCB Herstellers, der MONSANTO Cooperation in den USA, wiedergegeben. In dieser Veröffentlichung wird neben dem eingesetzten Basismaterial und dem Chlorierungsgrad, ebenso der PCB Anteil und die Endnutzung der Produkte aufgelistet.

*Tabelle 3.7: Einsatz der Arochlorprodukte der Firma Monsanto in offenen Anwendungen (SCHIEMANN, 1995)*

Basismaterial	Typ von Arochlor (Anteil in Massenprozent)	Endnutzung und Einsatzzweck
Polyvinylchlorid	1248, 1254, 1260 (7 - 8 %)	Sekundäre Weichmacher und Flammschutzmittel
Polyvinyl - Acetat	1221, 1232, 1242 (11 %)	reißfeste Fasern
Polyester - Harze	1260 (10 - 20 %)	verstärktes Plexiglas, verstärkte, flammgeschützte Harze
Polystyrol	1221 (2 %)	Weichmacher
Epoxy - Harze	1221, 1248 (20 %)	Schutzmittel gegen Oxidation und chemischen Angriff; verbesserte adhäsive Eigenschaften
Styrol - Butadien	1254 (8 %)	Erhöhung der Chemikalienbeständigkeit
Neopren	1268 (40 %)	Flammschutzmittel
Kreppgummi	1262 (5 - 50 %)	Additive in Farben und Lacken
Nitrocellulose Lacke	1262 (7 %)	Additive in Nagellacken
Ethylen- Vinyl- Acetat	1254 (41 %)	Druckempfindliche Klebstoffe und Kitte
Chlorkautschuk	1254 (5 - 10 %)	Erhöhung des Flammschutzes und der elektrischen Isolation
Lacke, Polituren	1260 (25 % des Ölanteils)	Verbesserter Widerstand gegen Wasser und Alkali
Wachs	1262 (5 %)	Erhöhter Feuchtigkeits- und Flammschutz

In der Europäischen Gemeinschaft wurde die Einschränkung der PCB Anwendung auf geschlossene Systeme erstmals durch die Richtlinie 76/769/EWG geregelt. Diese Regelung entstand vor dem Hintergrund steigender PCB Gehalte in Flußsedimenten, Klärschlämmen, Straßenstäuben, sowie steigenden PCB Gehalten in Muttermilch und Körperfett. Allerdings beschloß in der BRD im Jahre 1972, im Rahmen einer Selbstbeschränkung, der einzige deutsche Hersteller, die Bayer AG in Leverkusen, seine Clophen Produkte nur noch an Verwender zu liefern, die PCB in geschlossenen Systemen einsetzen. Diese Entscheidung wurde getroffen, nachdem die Organisation für wirtschaftlichen Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) eine entsprechende Empfehlung an die Hersteller und Weiterverarbeiter gegeben hatte.

In den USA wanderten in den Jahren vor 1971 etwa 26% der dort technisch eingesetzten PCB Mischungen in die offenen Anwendungen. Im Jahre 1971 stellte Monsanto die Produktion der PCB, die für die offenen Anwendungen bestimmt waren ein (DE VOOGT und BRINKMAN, 1989).

### **3.4 VERFAHREN ZUR TECHNISCHEN ZERSTÖRUNG UND STOFFLICHEN UMWANDLUNG VON PCB**

Am Ende der Nutzungsdauer der technischen PCB Mischungen und der PCB haltigen Geräte steht die Frage nach der umweltgerechten Entsorgung. Durch ihre lange Nutzungsdauer wird diese Fragestellung noch lange Zeit aktuell sein. Außerdem sind die PCB als persistente<sup>1</sup> Umweltchemikalien außerordentlich schwer abbaubar, sodaß unsachgemäße Entsorgung zwangsläufig zu einer irreversiblen Kontamination der Umweltmedien, mit allen damit verbundenen volkswirtschaftlichen und gesundheitlichen Schäden führt. Daher ist man bei der umweltgerechten Beseitigung von PCB Mischungen und von PCB haltigen Abfällen auf technische Verfahren zur effizienten Zerstörung bzw. stofflichen Umwandlung angewiesen.

#### **3.4.1 Technische Zerstörung in Sonderabfallverbrennungsanlagen**

Die Verbrennung von höher kontaminierten PCB haltigen Abfällen (Askarele, Kondensatoröle, stark kontaminierte Mineralöle) erfolgt in den Drehrohröfen der Sonderabfallverbrennungsanlagen (SAV). Dabei müssen die PCB haltigen Öle so chargiert werden, daß sie einen PCB Gehalt von 1.000 ppm nicht überschreiten, um eine ordnungsgemäße Verbrennung in der Nachbrennkammer bei einer Temperatur von etwa 1.200 °C zu gewährleisten. Die PCB kontaminierten Gehäuse der Transformatoren und Leistungskondensatoren werden ausgeglüht, bevor sie in einer Sonderabfalldeponie endgelagert werden (JAKOBI, 1994).

#### **3.4.2 Technische Zerstörung in anderen Verbrennungsanlagen**

In den Drehrohröfen der Zement- und Kalkherstellung können gering kontaminierte PCB haltige flüssige Abfälle (kontaminierte Altöle) als Zusatzbrennstoff eingesetzt werden. Infolge der im Prozeß erreichten hohen Temperaturen und den relativ langsamen Gasgeschwindigkeiten (lange Verweilzeiten), liegen für die Zerstörung organischer Halogenverbindungen optimale Verhältnisse vor. Untersuchungen ergaben eine fast vollständige thermische Zersetzung und dadurch sehr geringe Emissionen im Abgas. Zersetzungsgrade von 99,9999 % werden erreicht. Da das Brenngut alkalisch ist (Calciumoxid und Alkalioxide), wird eine Chlorwasserstoffemission verhindert. Das Chlor bleibt in Form von Chloriden im Staub und kann so abgeschieden werden (KREFT und GROTHAUS, 1989).

In Deutschland wurden im Werk Lägerdorf der ALSEN - BREITENBURG Zement- und Kalkwerke bei Betriebsversuchen von August 1990 bis Juli 1992 untersucht ob PCB haltige Altöle in der Hauptfeuerung einer Zementdrehofenanlage umweltverträglich verfeuert werden können. Es zeigte sich, daß auch bei Einsatz von Altöl mit dem erhöhten PCB Gehalt

---

<sup>1</sup> In starker Abhängigkeit vom chemischen Milieu und vom Chlorierungsgrad der Isomere, kann mit Halbwertszeiten von Jahren bis Jahrzehnten gerechnet werden.

von 200 ppm keine signifikante PCDD / F - Emission festgestellt werden konnte. Man fand heraus, daß die Verfeuerung von Altöl in der Primärfeuerung der Drehofennlage zu keiner signifikanten Änderung der Emissionen umweltrelevanter Stoffe führte (JAKOBI, 1994).

### 3.4.3 Hydrierverfahren zur stofflichen Umwandlung

Beim Hydrierverfahren wird mit Wasserstoffüberdruck (etwa 300 bar) bei erhöhten Temperaturen ( $> 475\text{ °C}$ ) das organisch gebundene Chlor der PCB abgespalten und in Salzsäure übergeführt. Allerdings muß in geeigneten Aufbereitungsschritten die PCB Konzentration auf weniger als 10.000 ppm verringert werden. Die bei der Reaktion entstehende Salzsäure wird durch zugesetzte Alkali- bzw. Erdalkaliverbindungen zu den entsprechenden Salzen neutralisiert. Als Endprodukt verbleibt neben den Salzen chlorfreies Biphenyl und diverse Spaltprodukte, wie Benzol, Cyclohexan und in geringer Menge andere Kohlenwasserstoffe. Beim Verfahren der stofflichen Umwandlung stellt sich allerdings die Frage nach der ordnungsgemäßen Entsorgung der Reaktionsprodukte.

### 3.4.4 Natriumverfahren zur stofflichen Umwandlung

Beim Natriumverfahren können kontaminierte Öle bis zu 20% PCB Gehalt mit fein verteiltem Natrium behandelt werden. Das organisch gebundene Chlor wird dabei als Natriumchlorid ausgetragen. Bei entsprechender Dosierung der Natriumdispersion läßt sich die Effizienz der Entchlorung gaschromatographisch verfolgen, wobei die PCB bis unterhalb der Nachweisgrenze zerstört werden. Das Natriumverfahren ist bislang im Testbetrieb erfolgreich erprobt worden, dürfte sich aber für den großtechnischen Einsatz noch nicht rechnen (JAKOBI (2), 1994).

### 3.4.5 Verfahren zum biologischen Abbau der PCB

Verfahren zum biologischen Abbau von PCB stecken, trotz bereits lang andauernder Bemühungen, noch im Entwicklungsstadium. Mikrobieller PCB Abbau in der Umwelt findet nur in jenen „glücklichen“ Fällen statt, wo alle für die Existenz der dazu fähigen Organismen oder für die gewünschten Stoffwechselaktivitäten notwendigen Bedingungen über lange Zeit erfüllt sind. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist im allgemeinen verschwindend. Daher wird bei der Entwicklung biologischer Verfahren versucht mittels Gentechnik das biologische Abbaupotential von Bakterien und Pilzen besser zu nutzen. Speziell geht es darum ein Bakterium zu erzeugen, das alle PCB abbauenden Prozesse alleine bewerkstelligt, und andererseits kein Antibiotikum mehr erzeugt<sup>2</sup>. Laborversuche unter speziellen definierten Randbedingungen waren bisher erfolgreich. Allerdings variiert das physikalisch-chemische Milieu in der Praxis von Fall zu Fall außerordentlich, sodaß von definierten Randbedingungen wie sie im Labor herstellbar sind nicht die Rede sein kann. Damit ist auch eine definierte Wirkung der Mikroorganismen nicht mehr gewährleistet. Erschwerend kommt noch dazu, daß in jedem Fall das **ökologische Risiko der Freisetzung gentechnisch veränderter Mikroorganismen** kalkulierbar bleiben muß. Somit ist in absehbarer Zeit nicht mit dem großtechnischen Einsatz biologischer Verfahren zum Abbau von PCB zu rechnen.

---

<sup>2</sup> Der Abbauweg der PCB in der Natur verläuft häufig über ein Zwischenprodukt, das antibiotisch wirksam ist, die Bakterien tötet, und somit den Abbau stoppt.

### 3.5 VERFAHREN ZUR DEKONTAMINIERUNG UND ENTSORGUNG PCB HALTIGER GERÄTE

#### 3.5.1 Entsorgung PCB haltiger Transformatoren

**Einlagerung in eine Sonderabfalldeponie:** Dieses Verfahren ist sowohl für Askareltransformatoren, als auch für jene mit kontaminiertem Mineralöl anzuwenden<sup>3</sup>. Transformatoren werden entweder vor Ort oder, nach entsprechendem Transport, an einem Behandlungsort entleert. Die Kühlflüssigkeit wird in einen Tank gepumpt. Sie wird anschließend der Verbrennung zugeführt. Bei dem Entsorgungsunternehmen werden die äußerlich demontierbaren Teile abgenommen, und soweit diese nicht PCB kontaminiert sind, verschrottet. Anschließend wird der Transformator mit einem aufsaugenden Mittel gefüllt, um die noch aus den Wicklungen und den inneren Teilen des noch herauslaufenden PCB Mengen aufzusaugen. Der Transformator wird anschließend zum Transport in eine Untertagedeponie verpackt, und dort endgelagert (LAGA - MERKBLATT(1), 1992)

**Totale Entsorgung:** Nach der Entleerung werden die Transformatoren in einem speziellen Behandlungsgebäude gespült und anschließend zerkleinert. Anhand des Kontaminierungsgrades wird die Verweilzeit in einem Hochtemperaturofen festgelegt. Die Feststoffe werden im gleichen Ofen ausgeglüht. Obwohl die PCB Moleküle unter diesen Bedingungen binnen Sekunden zerstört werden, bleibt das Material bis zu 6 Stunden im Ofen. Nach der Kontrolle der abgeschlossenen Dekontamination können die Metallrückstände als Material niedriger Qualität in entsprechenden Gießereien wiederverwertet werden (TRAFOSUISSE, 1992).

#### 3.5.2 Retrofilling Verfahren zur Dekontaminierung von PCB Transformatoren

Bei diesem Verfahren wird das maximal bis 1.000 ppm PCB kontaminierte Trafoöl im geschlossenen System in Sicherheitsgebinde abgepumpt und anschließend in einer Hochtemperaturanlage verbrannt. Der Aktivteil und das Gehäuse werden mit einem geeigneten Lösemittel gespült, und anschließend mit Mineralöl befüllt. Spülen und Auswechseln des Öles genügen jedoch in der Regel nicht. PCB kontaminierte Hölzer, Papiere, Isolationen und Blechlamellenpakete müssen bei diesem Vorgang auf besondere Art behandelt werden. Pro Füllvorgang läßt sich die Kontamination auf etwa 1/10 verringern. Insgesamt kann durch das Retrofilling Verfahren die Kontamination bis auf unter 10 ppm reduziert werden.

Die Wiederbefüllung von Askareltransformatoren mit Mineralöl, Silikon oder komplexen Estern stellt keine Alternative zur Entsorgung des gesamten Gerätes dar. Dies deshalb weil selbst nach Ablassen des Transformatoröls die Wicklungen genug PCBs zurückhalten, um binnen kürzester Zeit die Neubefüllung erheblich zu kontaminieren. Auch bei mehrmaligem Spülen mit geeigneten Lösungsmitteln gelingt es nicht den vorgeschriebenen Höchstwert für nicht kontaminierte Öle von 30 ppm PCB zu unterschreiten. Außerdem weisen die PCB haltigen Transformatoren konstruktive Unterschiede zu den nicht PCB haltigen Transformatoren auf, sodaß eine Neubefüllung auch im Hinblick auf die technische Einsatzbereitschaft fragwürdig erscheint. So muß etwa bei einer Neubefüllung mit Silikonflüssigkeiten bei gleicher Dimensionierung die Leistung des Transformators um etwa 10% gesenkt werden (TRAFOSUISSE, 1992).

---

<sup>3</sup> Für kontaminierte Mineralöltransformatoren mit weniger als 1000 ppm PCB im Trafoöl, kommt als alternatives Verfahren das untenstehend diskutierte Retrofilling-Verfahren in Betracht.

### **3.5.3 Entsorgung PCB haltiger Leistungskondensatoren**

Eine organisierte Entsorgung ist für Leistungskondensatoren vorhanden, die PCB in größeren Mengen (Füllmenge meist über 1 Liter), enthalten. Zunächst werden die Geräte von einem konzessionierten Entsorger abgeholt. Anschließend wird der Kondensator beim Entsorger geöffnet (angebohrt) und erwärmt, um das frei verfügbare PCB und möglichst viel von der in dem Papierwickel gebundenen PCB Flüssigkeit zu mobilisieren. Sobald die mobilisierbare Flüssigkeit entleert wurde, werden die Bohrlöcher in den Kondensatorgehäusen wieder verschlossen. Die Kondensatoren werden in auslaufsicheren Behältern gestapelt und zu einer Untertagedeponie transportiert und in diesen Behältern eingelagert. Die anfallende PCB wird in einer Sonderabfallverbrennungsanlage verbrannt (LAGA MERKBLATT (2), 1992).

## **4 QUALITATIVE UND QUANTITATIVE UNTERSUCHUNG VON BESTAND UND VERBLEIB VON PCB IN ÖSTERREICH**

### **4.1 VERWENDUNG VON PCB IN GESCHLOSSENEN SYSTEMEN**

#### **4.1.1 Einsatz von PCB in elektrischen Betriebsmitteln**

Den Anstoß für die im Jahre 1929 in den Vereinigten Staaten anlaufende industrielle Produktion von PCB gab das Bedürfnis der Elektroindustrie, technisch hochwertige Isolierflüssigkeiten für den Einsatz in Transformatoren und Kondensatoren zur Verfügung zu haben. Die handelsüblichen PCB Mischungen verbinden gute dielektrische Eigenschaften mit guten Wärmeübertragungseigenschaften. Sie sind chemisch und thermisch stabil, nicht entflammbar, und nicht brennbar. Dadurch waren sie den herkömmlichen Isolierflüssigkeiten technisch in vieler Hinsicht überlegen. Sie wurden bevorzugt dort eingesetzt, wo es galt die Feuergefahr elektrischer Betriebsmittel auf ein Minimum zu reduzieren. Der Einsatz von PCB in elektrischen Betriebsmitteln stellt den klassischen Hauptanwendungsbereich dieser Stoffgruppe dar. In diesen Bereich ist weltweit ein Großteil der industriellen PCB Produktion eingeflossen. Dabei wurden PCB Mischungen hauptsächlich im Bereich der Isolieröle eingesetzt.

In Österreich wurde der Einsatz von PCB in elektrischen Betriebsmitteln erstmals in § 10 der *Elektrotechnikverordnung (ETV)* vom 20. August 1985 durch ein **Verbot des Inverkehrbringens** PCB-haltiger elektrischer Betriebsmittel (mit Ausnahme ihrer schadlosen Beseitigung), geregelt, und in der Neufassung der ETV vom 28. Mai 1990 übernommen. Im Rahmen der *Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über das Verbot von halogenierten Biphenylen, Terphenylen, Naphtalinen und Diphenylmethanen vom 23. März 1993 (BGBl.: 210/1993)* bestehen zusätzlich Kennzeichnungs- und Meldepflichten für die Betreiber zusammen mit einer Fristsetzung für die Außerbetriebnahme bestimmter PCB haltiger elektrischer Betriebsmittel.

#### **4.1.2 Transformatoren**

##### **4.1.2.1 Transformatoröle (Askarele)**

Transformatoröle sollen isolieren und die Verlustwärme aus dem Eisenpaket und den Wicklungen abführen. Dabei kommt es ganz entscheidend auf die Wärmeleitfähigkeit der Öle an: Bei geringer Wärmeleitfähigkeit kann die Wärmeabfuhr nur durch die Bewegung des Öles erfolgen. Außerdem sollen die Öle ihre guten Anfangseigenschaften über einen längeren Zeitraum behalten. Sie sollen möglichst wenig altern. Bei mineralischen Ölen erfolgt dieses altern meist durch Zersetzen, Verschlammen und Sauerwerden.

Die PCB haltigen, synthetischen Transformatoröle, vielfach auch **Askarele**<sup>1</sup> genannt, sind den herkömmlichen mineralischen Transformatorölen vor allem im Hinblick auf Brandschutz und Alterungsbeständigkeit überlegen:

- PCB gefüllte Transformatoren zeigten im allgemeinen auch nach 20 Jahren wartungsfreien Betriebes keinerlei Versauerung oder Schlamm Bildung,
- PCB gefüllte Transformatoren sind niemals Quelle eines Brandes<sup>2</sup>.

Die handelsüblichen synthetischen PCB haltigen Transformatoröle, sind hauptsächlich Mischungen aus Penta-, Hexachlorbiphenylen, die mit Verdünnungsmitteln (meist Chlorbenzolen) versetzt sind, um die gewünschte Viskosität zu erreichen. Tabelle 3.6 gibt einen beispielhaften Überblick über die von der Firma Bayer hergestellten Askarele und deren Chlorierungsgrad. Die Firma Bayer bezeichnete ihre PCB Mischungen mit der Produktbezeichnung „Chlophen“.

Durch die extreme Alterungsbeständigkeit der PCB, weisen die PCB Transformatoröle auch nach Jahren noch die selben Betriebseigenschaften auf, so daß es im allgemeinen während der Betriebsdauer des Transformators nicht zu einem Austausch der PCB Füllung kommt. Eine allfällige Aufbereitung, bei der die Öle von Verunreinigungen gereinigt werden, ist allerdings nicht auszuschließen.

Nachteile der PCB Füllungen sind, neben des hohen Umweltgefährdungspotentials im technischen Bereich (Leckagen, PCDF Bildung im Brandfall), vor allem die Anfälligkeit der Dichtungsmaterialien, und die hohe Viskosität der PCB.

#### 4.1.2.2 Askareltransformatoren

In der ehemaligen Bundesrepublik Deutschland wurden Transformatoren bereits seit den 30er Jahren, verstärkt aber erst seit den 50er Jahren, mit PCB befüllt (LADENDORF, 1990). Der Ausstieg aus der PCB Befüllung der Transformatoren erfolgte 1983 (BERGHOF, 1989) bzw. 1984 (ENGELS und STAUB, 1990).

In der *PCB Bilanz* (RAUHUT, 1978) wurde der Einsatzbereich der PCB Transformatoren (Askareltransformatoren) in der Bundesrepublik näher untersucht. Dort stellte sich heraus, daß speziell die Flammwidrigkeit von PCB zu einem verstärkten Einsatz PCB-haltiger Transformatoren in der Nähe von Versammlungsstätten, in Kaufhäusern, Hochhäusern und Werkstätten führte. Obwohl PCB haltige Transformatoren etwa 25 % teurer waren als die mineralölbefüllten, rentierte sich die Investition vielfach durch den Wegfall des Einbaus feuersicherer Transformator-kammern und automatischer Feuerlösch- und Warnanlagen.

Bei einer Lebensdauer von 20 - 30 Jahren der PCB befüllten Transformatoren kann davon ausgegangen werden, daß die in der Industrie aufgestellten Verteilungstransformatoren mehrere Male den Standort wechselten. Ursachen dafür waren neue Fabrikationsanlagen, höherer Strombedarf bei zunehmender Automatisierung und dergleichen mehr. Häufig mußte ein in einem Betrieb vorhandener Transformator durch einen größeren ersetzt werden. Der voll funktionsfähige Transformator konnte dann an andere Firmen verkauft werden.

<sup>1</sup> Askarel ist ein internationaler Sammelname für ein elektrisches Isolationsmaterial, welches, einem Lichtbogen ausgesetzt, ausschließlich nichtexplosive Gase emittiert.

<sup>2</sup> Es sind allerdings Fälle bekannt in denen Askareltrafos in Brände verwickelt waren. So wurde bei einem Brand im Jahre 1981 in Binghampton, im Staate New York, in dem ein Askareltrafo beteiligt war, hochtoxische polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) nachgewiesen. Dies bestätigte in natura die schon im Jahre 1978 bei Laboratoriumsexperimenten beobachtete Bildung der giftigen PCDF aus den weniger giftigen PCB bei hohen Temperaturen (GIGER, 1992).

Auf diese Weise war es möglich, daß ein Transformator während seiner jahrzehntelangen Lebenszeit nicht nur den Standort, sondern auch den Besitzer wechselte. In den letzten zehn bis fünfzehn Jahren wurden bei diesen Gelegenheiten der Großteil der PCB haltigen Transformatoren entsorgt (RAUHUT, 1982).

Die oben geschilderte Situation dürfte qualitativ auch für Österreich zutreffen. Allerdings betrug, bedingt durch die in Österreich etwas anderen Anschlußbedingungen der EVUs, der Einsatz PCB haltiger Transformatoren in kundeneigenen Stationen im Verhältnis nur etwa 10 % der deutschen Werte.

#### 4.1.2.3 Kontamination von Mineralöltransformatoren mit PCB

Neben den Askareltransformatoren, deren Einsatzgebiete hauptsächlich auf brandgefährdete Orte beschränkt war, wurden und werden in großem Umfang von Industrie und Energieversorgungsunternehmen Mineralöltransformatoren eingesetzt. Gaschromatographische Untersuchungen ergaben PCB Kontamination bei einem Teil der Transformatoren.

Untersuchungen einer größeren Zahl von Öltransformatoren in der Schweiz zeigten, daß unerwartet viele Geräte Transformatoröle mit PCB Gehalten von über 50 ppm enthielten (TRAFOSUISSE, 1992). Die Verunreinigung der Öle wurde auf verschiedene Ursachen zurückgeführt:

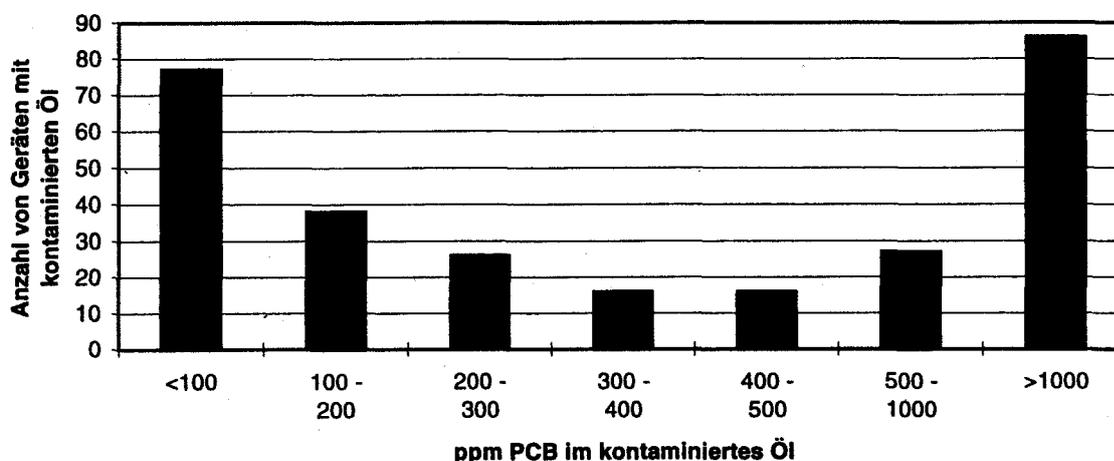
- Das PCB gelangte mit dem Neuöl in den Transformator. So kann beispielsweise das Öl in bereits mit PCB verunreinigten Behältern (Tankwagen, Fässern etc.) transportiert worden sein. Ferner ist bekannt, daß bei einigen Herstellern die gleichen Einrichtungen zum Befüllen der PCB befüllten und der nicht PCB befüllten Transformatoren verwendet wurden.
- PCB ist beim Nachfüllen mit bereits verunreinigtem Öl in den Apparat gelangt, oder Nachfüll-Öl wurde beim Betreiber in verunreinigten Reservetanks gelagert.
- PCB wurde aus den Isolierstoffen der Tanks und der Transformatoren (z.B. PVC Schläuche, Lacke etc. extrahiert).

Ausländische Hersteller hatten mineralische Transformatoröle durch PCB Zusatz „verbessern“ wollen (Vermeidung des Schäumens der Flüssigkeit). Dies erfolgte allerdings nur kurzzeitig. Die so „verbesserten“ Öle weisen typischerweise PCB Konzentrationen von 1000 - 2000 ppm auf.

In Österreich sind ebenfalls zahlreiche Fälle kontaminierter Transformatoren dokumentiert. Gemäß § 5 der *Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über das Verbot von halogenierten Biphenylen, Terphenylen, Naphtalinen und Diphenylmethanen vom 23. März 1993 (BGBl.: 210/1993)*, sind elektrische Betriebsmittel, bei denen der begründete Verdacht besteht, daß sie PCB als Verunreinigung enthalten vom Verwender anlässlich ihrer Außerbetriebnahme, spätestens aber bis 31. Dezember 1996, nach einem, dem Stand der Technik entsprechenden Verfahren (PCB Analyse nach DIN 51 527) auf ihren PCB Gehalt zu analysieren. Die Analyse darf nur dann entfallen, wenn eine Analyse der Füllflüssigkeit auf ihren Chlorgehalt zweifelsfrei ergeben hat, daß kein Verdacht auf eine höhere PCB Kontamination als 30 ppm vorliegt. Im Falle einer Kontamination von mehr als 30 ppm besteht Kennzeichnungs- und Meldepflicht.

Bis zum Stichtag 31. Dezember 1995 wurden 288 Geräte (vorwiegend Transformatoren) mit kontaminierten Ölen gemeldet. Davon waren 286 Meldungen auswertbar. Die PCB Gehalte der kontaminierten Mineralöle schwanken zwischen 50 ppm und 100.000 ppm. Abbildung 4.1 zeigt eine Auswertung der Meldungen.

Abbildung 4.1: Auswertung der Meldungen an das Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie über den PCB-Gehalt kontaminierter Trafoöle



Der Beitrag der PCB im kontaminierten Trafoöl beträgt rund 250 kg. Insgesamt fallen von den 286 auswertbaren gemeldeten elektrischen Betriebsmitteln (Transformatoren, Netzregler, Durchgangsregler und Löschspulen) rund 100 t an kontaminiertem Trafoöl an.

#### 4.1.2.4 Abschätzung des PCB Lagers in Österreich für Transformatoren

Im Gegensatz zu Deutschland wurden in Österreich, anteilmäßig, deutlich weniger PCB Transformatoren eingesetzt. Dies deshalb, weil in Deutschland der Kunde ab 50 kVA verpflichtet ist sich seine eigene Trafostation zu bauen, und daher in Deutschland, relativ gesehen, etwa zehn mal mehr kundeneigene Trafostationen als in Österreich existieren. Die PCB Transformatoren in Österreich waren Sonderanfertigungen auf Kundenwunsch. Sie waren bis um die Hälfte teurer als mineralöhlhaltige Transformatoren.

Im Jahre 1983 führte der *Verband der Elektrizitätswerke Österreichs* eine Erhebung unter den Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVUs) über den Bestand an eigenen, PCB befüllten Transformatoren und Kondensatoren durch. Die untenstehende Tabelle listet die erhobenen Stückzahlen und PCB Frachten in Litern auf.

Tabelle 4.1: Ergebnis der „Umfrage vom 19. September 1983 über die Kosten für den Ersatz UVE eigener Geräte mit Askarefüllung“ (Verband der Elektrizitätswerke Österreichs)

	Stück	Füllmenge [l]
Transformatoren (in Betrieb)	104	74.036
Transformatoren (gesamt)	136	88.754
Kondensatoren	7.408	70.455

Rechnet man die Dichte der Askarele mit rund  $1,6 \text{ g/cm}^3$  (ULLMANN, 1971 - 1984), dann ergibt das eine Fracht von rund 142 t PCB in Transformatorölen<sup>3</sup>. Für die Kondensatoren ergeben sich

<sup>3</sup> Herkömmliche Trafoöle enthalten etwa 20 - 30% Trichlorbenzol. Die Tonnenangaben der vorliegenden Studie beziehen sich stets auf das gesamte Gemisch.

mit einer mittleren Dichte von 1,45 g/cm<sup>3</sup> etwa 102 t PCB. Zusammen wurden damals also rund 244 t PCB in den elektrischen Betriebsmitteln der EVUs erhoben.

Nach Angaben des Verbandes der Elektrizitätswerke Österreichs sind die PCB haltigen elektrischen Betriebsmittel in den 80er Jahren zum Großteil nach Deutschland exportiert worden, wo die abgelassenen Öle verbrannt, und die mit Kieselgel wiederbefüllten Gehäuse im Salzstock der Untertageponie Herfa Neurode gelagert wurden.

Es wird insgesamt geschätzt, daß in Österreich zum Zeitraum der oben genannten Erhebung (1983) etwa **580 PCB befüllte Transformatoren** kleinerer bis mittlerer Bauart (< 20 MVA) installiert waren. Zieht man die 136 Transformatoren der EVUs ab, dann verblieben 444 Transformatoren in Industrie, Gewerbe und öffentlichen Einrichtungen. Zu Abschätzung der damals in Österreich vorhandenen PCB Menge, kann man eine mittlere Füllmenge von 500 l pro Transformator annehmen. Dies entspricht etwa 0,8 t Askarel<sup>4</sup> bei der oben angenommenen Dichte von 1,6 g/cm<sup>3</sup>. Unter dieser Annahme waren damals also über 350 t PCB in Transformatoren von Industrie, Gewerbe und öffentlichen Einrichtungen. Mit den EVUs zusammen ergibt das eine Menge von rund 500 t PCB in Transformatoren im Jahre 1983.

Gemäß der oben zitierten *Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über das Verbot von halogenierten Biphenylen, Terphenylen, Naphtalinen und Diphenylmethanen (BGBl.: 210/ 1993)*, sind PCB haltige Transformatoren mit einer Füllmenge von über einem Liter<sup>5</sup> kennzeichnungs- und bis spätestens 31. Dezember 1996 dem Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie meldepflichtig sofern die PCB Konzentration der Transformatoröle 30 ppm überschreitet. Die Außerbetriebnahme bzw. Weiterverwendung von Askareltrafos und kontaminierten Mineralöltrafos wurde in der Verordnung vom Grad der Kontamination abhängig gemacht. Tabelle 4.2 gibt eine Übersicht über die Regelungen. Die Wiederbefüllung der kontaminierten Transformatoren ist gemäß der Verordnung nur dann zulässig, falls das zur Anwendung gelangte Verfahren erwarten läßt, daß auch 6 Monate nach der Wiederbefüllung den Grenzwert von 30 ppm PCB in der Neufbefüllung nicht überschritten wird. Im Lichte des in Kapitel 3.5.2 Gesagten, ist die Wiederbefüllung nur für Trafos mit einer Kontamination von bis zu 1000 ppm sinnvoll.

Tabelle 4.2: *Regelungen der Kennzeichnung- Meldepflicht und Außerbetriebnahme für Transformatoren (BGBl. Nr. 210/1993)*

PCB Gehalt des Trafoöles	Kennzeichnungs- und Meldepflicht *	Weiterbetrieb / Außerbetriebnahme	Wiederbefüllung
< 30 ppm	keine	Weiterbetrieb	nicht notwendig
30 - 500 ppm	bis spätestens 31.12.1996	Weiterbetrieb	sinnvoll
500 - 1000 ppm	bis spätestens 31.12.1996	Außerbetriebnahme bis spätestens 31.12.1999	sinnvoll
> 1000 ppm	bis spätestens 31.12.1996	Außerbetriebnahme bis spätestens 31.12.1999	nicht sinnvoll

\* Falls aufgrund von Gerätetype, Hersteller oder aufgrund sonstiger Tatsachen ein PCB Gehalt von mehr als 30 ppm offenkundig ist, besteht Kennzeichnungs- und Meldepflicht bis spätestens ein Jahr nach Inkrafttreten der Verordnung (= 23.März 1994).

<sup>4</sup> Eine Stichprobe von 1383 Askareltrafos in Deutschland ergab eine mittlere PCB Menge von 870 kg und ein Transformatorleergewicht von 1.702 kg (HILLEJAN und SCHAFFHAUSEN, 1990).

<sup>5</sup> Die Kennzeichnungs- und Meldepflicht elektrischer Betriebsmittel erstreckt sich auch auf solche mit weniger als einem Liter Flüssigkeit, falls mehrere dieser Betriebsmittel aufgrund ihres engen räumlichen Zusammenhanges eine Gruppe mit einem Gesamthalt von mehr als zwei Litern bilden.

Bis zum Dezember 1995 wurden 207 Transformatoren gemeldet, davon 47 Stück mit PCB Befüllung und 160 Stück mit PCB kontaminierten Ölen. Von den 136 PCB befüllten Transformatoren der Elektrizitätsversorgungsunternehmen sind gegenwärtig (Stand 1995) nur mehr zwei Stück mit Askarel und einer Füllmenge von 1,6 t im Einsatz. Die restlichen Transformatoren wurden ausgetauscht. Das Wiederbefüllen der Transformatoren dürfte in Österreich nur eine untergeordnete Rolle gespielt haben. Die verbleibenden 45 gemeldeten Askarel befüllten Transformatoren in Industrie, Gewerbe und öffentlichen Einrichtungen enthalten etwa 116,8 t Askarel. Der größte Anteil der verbleibenden PCB Mengen mit 98,3 t in den Transformatoren der Industrie stammen von einem einzigen Unternehmen.

Tabelle 4.3: Gegenüberstellung der PCB Mengen in Transformatoren für die Jahre 1983 und 1995

PCB Lager in TRANSFORMATOREN	1983		1995	
	Stück	PCB [t]	Stück	PCB [t]
EVU	136	142	2	1,6
Industrie, Gewerbe und öffentl. Einrichtungen	444	355	45	116,8
gesamt	580	497	47	118,4

Der Beitrag der 160 PCB kontaminierten Mineralöltransformatoren wurde in Tabelle 4.3 nicht mitberücksichtigt. Die PCB Fracht bei den auswertbaren Meldungen beträgt 0,25 t, und ist daher für die Größenordnung des Lagers nicht relevant. Unter Berücksichtigung dieser Menge ergibt sich für das **Jahr 1995 ein Lagerbestand von 118,65 t (≈120 t) PCB in Transformatoren.**

### 4.1.3 Kondensatoren

#### 4.1.3.1 Kondensatoröle

Die chemisch- physikalischen Eigenschaften der PCB machen dieses zu einem nahezu idealen Dielektrikum für Kondensatoren. Die besonderen Einflußfaktoren sind die hohe Dielektrizitätskonstante, die Nichtbrennbarkeit und vor allem die Spannungsfestigkeit der PCB Mischungen.

Bei den Kondensatoren setzte früher als bei den Transformatoren der Ersatz der höherchlorierten durch niedrigchlorierte PCB ein. Seit Ende der 70er Jahre wurden keine mittel-, höher- oder hochchlorierten PCBs mehr benötigt, sondern nur noch niedrigchlorierte eingesetzt, die einen Anteil von ca. 2% Pentachlorbiphenyl aufweisen (RAUHUT, 1982). So waren beispielsweise die von der Firma Bayer unter der Produktbezeichnung C bzw. CI ausgelieferten Kondensatoröle Mischungen mit Hauptbestandteilen aus Trichlor- und Tetrachlorbiphenylen (siehe Tabelle 3.6). Im Gegensatz zu den Transformatorölen sind die Kondensatoröle nahezu reine PCB Mischungen. Der dokumentierte Einsatz der PCB Anwendung in Kondensatoren in Österreich reicht von etwa 1960 bis 1981.

#### 4.1.3.2 Einsatz PCB haltiger Kondensatoren

Kondensatoren finden Anwendung als Ankopplungskondensatoren in Umspannwerken, Kondensatoren für die Blindstromkompensation (meist beim Verbraucher vor Ort) und als Rundsteuerkondensatoren. Das größte Anwendungsfeld von Interesse ist das der Blindstromkompensation.

Bei der **Blindstromkompensation** wird durch Zuschaltung von Kapazitäten mittels Kondensatoren die induktive Blindleistung, die von Anlagen mit nennenswertem induktiven Widerstand aufgenommen wird, kompensiert. Dadurch werden bei gleicher Wirkleistung die aus dem Netz aufgenommene Scheinleistung und auch der aufgenommene Strom im Vergleich zur nicht kompensierten Anlage, kleiner. Bei einer kompensierten Anlage treten daher kleinere Leitungsverluste auf. Ebenso können die Leiterquerschnitte kleiner dimensioniert werden.

Bis auf die beiden großen Kondensatorfelder der Verbundgesellschaft liegt die Blindstromkompensation in Österreich beim Verbraucher. Dies hat den technischen Grund, daß nach der Kompensation die Blindleistung nicht mehr zwischen Erzeuger und Verbraucher hin und her pendelt, sondern nur noch zwischen Kondensator und Verbraucher. Kompensationsanlagen werden deshalb möglichst nahe am Verbraucher aufgestellt. Das Netz liefert dann vorwiegend Wirkleistung.

In Abhängigkeit von Bauart, Beschaffenheit und Betriebsweise des Verbrauchers, kommen je nach Wirtschaftlichkeit, verschiedene technische Realisierungen der Kompensation zur Anwendung:

- **Einzelkompensation:** Hier wird die induktive Blindleistung am Ort ihres Entstehens kompensiert. Jedem induktiven Verbraucher wird ein Kondensator der entsprechenden Dimension zugeordnet. In der Praxis wird die Einzelkompensation typischerweise bei Asynchronmotoren (durch **Motorkondensatoren**), und Entladungslampen (durch **Leuchtenkondensatoren**) mit konventionell induktiven Vorschaltgeräten angewendet.
- **Gruppenkompensation:** Es werden mehrere induktive Verbraucher einem Kondensator zugeordnet, dessen Größe der insgesamt zu kompensierenden Blindleistung angepaßt ist. Gruppenkompensationen werden hauptsächlich bei großen Beleuchtungsanlagen angewendet. Bedingt durch die meist geringe Leistungsaufnahme, sind die bei der Einzelkompensation eingesetzten Kondensatormassen gering, und liegen typischerweise zwischen 0,1 und 1 kg. Zur Unterscheidung von den größeren Bauformen werden sie in der Folge als „Kleinkondensatoren“ bezeichnet.
- **Zentralkompensation:** Ist eine Einzel- oder Gruppenkompensation, wie etwa bei größeren Anlagen, die mit ständig wechselnder Last gefahren werden, nicht möglich, dann kann zentral kompensiert werden. Dabei werden automatisch Einzelkondensatoren oder Kondensatorgruppen je nach Bedarf zugeschaltet.
- **gemischte Kompensation:** Dies ist eine Mischform aus Einzel-, Gruppen und Zentralkompensation.

Nach Angaben von Herstellern ist die Lebensdauer solcher Kondensatoren bzw. Kondensatoranlagen relativ hoch. Sie kann bis zu 40 Jahren betragen.

Abnehmer großer Blindleistung erhalten vom Energieversorgungsunternehmen Blindverbrauchszähler. Bis zu einem  $\cos \varphi$  von 0,9 wird der Blindstrom von den Energieversorgungsunternehmen nicht verrechnet. Was darüber hinausgeht muß der Verbraucher bezahlen. Da durch Kompensation die Kosten für den Blindverbrauch nennenswert gesenkt werden können, amortisiert sich eine Anlage zur Blindstromkompensation in den meisten Fällen binnen 1 bis 2 Jahren. Daher kann davon ausgegangen werden, daß die Verbraucher mit Blindstromzählern auch über Kondensatoren zur Blindstromkompensation verfügen. Umgekehrt verfügt nicht jeder Verbraucher, der Blindstrom kompensiert über einen Blindstromzähler. Deshalb kann die Anzahl der Blindstromkompensierer nur schwer über die Anzahl der Blindstromzähler abgeschätzt werden.

Nach Auskunft des *Verbandes der Elektrizitätswerke Österreichs* sind gemäß Erlösstatistik 1994 folgende Anzahl von Sondervertragskunden zu verzeichnen, bei denen davon ausgegangen werden kann, daß bei diesen ein Blindstromzähler installiert ist. Diese Zahlen haben sich in den letzten 20 Jahren nicht wesentlich verändert.

Tabelle 4.4: Anzahl der Sondervertragskunden, bei denen anzunehmen ist, daß sie Blindstrom kompensieren

Industrie	6.792
öffentliche und sonstige Anlagen	13.957
Verkehr	1.005
gesamt	21.754

Diese Zahl bildet wiederum nur eine untere Grenze für die Anzahl der Verbraucher, die Blindstrom kompensieren, also über eine Kondensatoranlage verfügen. Kleinere Gewerbebetriebe, die Blindstrom kompensieren haben ja im allgemeinen keinen Sondertarif. Leider geht aus diesen Zahlen nicht hervor wieviele dieser Anlagen mit PCB haltigen Kondensatoren betrieben werden.

#### 4.1.3.3 Abschätzung des PCB Lagers aus Leistungskondensatoren in Österreich

Für die Abschätzung des PCB Lagers in Kondensatoren ist eine Unterscheidung in Kondensatoranlagen mit einer mittleren bis hohen Leistungsaufnahme (Füllmenge > 1 Liter), in der Folge auch Leistungskondensatoren genannt, und den Kondensatoren mit einer dementsprechend geringen Leistungsaufnahme in Elektrogeräten und Leuchten, in der Folge auch Kleinkondensatoren genannt, zweckmäßig. Letztere werden in einem eigenen Kapitel gesondert behandelt. Die in diesem Kapitel durchgeführte Abschätzung des PCB Lagers aus Kondensatoren bezieht sich **ausschließlich** auf die Leistungskondensatoren<sup>6</sup>.

Nach Angaben eines österreichischen Herstellers wurden im Zeitraum von 1960 bis 1981 in Österreich Kondensatoren fast ausschließlich mit PCB befüllt. In diesem Zeitraum sind etwa 90 % der Inlandsversorgung an Niederspannungskondensatoren von zwei österreichischen Herstellern mit annähernd gleichen Marktanteilen abgedeckt worden. Es wurden pro Hersteller etwa 8000 Kondensatoren in diesem Zeitraum erzeugt. Dies macht etwa 16.000 Stück, wobei mit einem Exportanteil von etwa 20 % gerechnet werden kann, sodaß rund 13.000 der in Österreich hergestellten Kondensatoren im Lande verblieben. Diese Abschätzung bezieht sich auf Kondensatoren in Industrie, Gewerbe und öffentlichen Einrichtungen. Bei einer mittleren Füllmenge von ca. 20 Liter wurden in diesen 13.000 Kondensatoren etwa 260.000 Liter, oder etwa 370 t PCB eingesetzt. Rechnet man auf die gesamte Versorgung hoch, dann ergibt das rund 410 t PCB, bzw. etwa 14.500 Stück Kondensatoren in Österreich. Die Hochspannungskondensatoren der Elektrizitätsversorgungsunternehmen sind dabei nicht erfaßt.

Es kann angenommen werden, daß sicherlich mehr als die Hälfte dieser Kondensatoren bereits entsorgt wurde, da diese nach Bekanntwerden der Umweltauswirkungen der PCB nach 1985 sukzessive bei den ersten sich bietenden Gelegenheiten ausgetauscht wurden. Daher

<sup>6</sup> Kondensatoranlagen dieser Art sind bis spätestens 31. Dezember 1996 gemäß der *Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über das Verbot von halogenierten Biphenylen, Terphenylen, Naphtalinen und Diphenylmethanen (BGBl.: 210/1993)* meldepflichtig.

ist heute, grob geschätzt, mit einer verbleibenden Menge von 3000 - 6000 dieser Kondensatoren, oder mit einer Menge von rund 90 - 180 t PCB in den Kondensatoren von Industrie, Gewerbe und öffentlichen Einrichtungen zu rechnen.

Bei der oben erwähnten Erhebung des *Verbandes der Elektrizitätswerke Österreichs* wurden ebenfalls PCB haltige Kondensatoren erfaßt. Gemäß Tabelle 7.2 waren im Jahre 1983 in den Anlagen der EVUs 7.408 PCB haltige Kondensatoren mit einer Füllmenge von 70.455 l installiert. Dies entspricht rund 102 t PCB in Kondensatoren der Elektrizitätsversorgungsunternehmen.

Gemäß der Meldungen nach der oben bereits mehrfach zitierten Verordnung *Verbot von halogenierten Biphenylen, Terphenylen, Naphtalinen und Diphenylmethanen*<sup>7</sup> wurden 1061 Kondensatoren gemeldet. Bei fast der Hälfte, nämlich 479 der gemeldeten Kondensatoren war keine oder nur eine unvollständige Mengenangabe vorhanden. Aus den 582 vollständig deklarierten Kondensatoren ließ sich eine Füllmenge von 13,23 t PCB erheben. Bei vorsichtiger Hochrechnung auf den gesamten gemeldeten Kondensatorbestand ergibt das eine Fracht von rund 24 t PCB.

Tabelle 4.5: Gegenüberstellung der PCB Mengen in Kondensatoren für die Jahre 1983 und 1995

PCB Lager in LEISTUNGSKONDENSATOREN	1983		1995	
	Stück	PCB [t]	Stück	PCB [t]
EVU	7.408*	102	299***	3,5
Industrie, Gewerbe und öffentl. Einrichtungen	14.500**	410	3000** - 6000	90 - 180**
gesamt	21.908	512	3300 - 6300	93 - 183

\* Durch den Verband der Elektrizitätswerke Österreichs erhoben.

\*\* Nach Angaben von Herstellern geschätzt

\*\*\* Es wurde angenommen, daß alle bei den EVU befindlichen Kondensatoren bis Dezemer 1995 gemeldet wurden.

#### 4.1.3.4 Die Aktion PCB in Linz

Von 1986 - 1988 wurde in der Stadt Linz die *Aktion PCB* durchgeführt. Bei dieser Aktion wurde der Standort größerer PCB haltiger elektrischer Anlagen in der Stadt Linz flächendeckend ermittelt, deren Füllmenge vor Ort erhoben, und deren Entsorgung unter einer angemessenen Fristsetzung durch Bescheid vorgeschrieben. Mit der Ausarbeitung und Durchführung der Aktion war das *Amt für Technik* (früher Maschinenamt der Stadt Linz) betraut. Im Zuge der Recherchen wurde auch die Gewerbebehörde eingeschaltet. Als Informationsquelle dienten bereits bestehende Erhebungen der Feuerwehr und die Informationen des örtlichen Elektrizitätsversorgungsunternehmens über Blindstromzähler. Das Ergebnis der Ermittlungen lag im März 1988 vor. Mit der Aktion wurden PCB haltige Isolieröle in Transformatoren und Kondensatoren in Industrie- Gewerbebetrieben und öffentlichen Einrichtungen erfaßt.

Insgesamt wurden bei der *Aktion PCB* 237 Betriebe erfaßt. 80 der Betriebe wiesen keine, und der Rest von 157 Betrieben wiesen PCB haltige elektrischen Betriebsmittel auf. Dies wurde durch Inspektion vor Ort kontrolliert. Nach einer feineren Unterteilung wurde zwischen

<sup>7</sup> Anders als bei den Transformatoren gibt es nach der Verordnung keine differenzierte Fristsetzung für die Außerbetriebnahme bei Kondensatoren. Sämtliche PCB Kondensatoren müssen bis spätestens 31. 12. 1996 außer Betrieb genommen werden.

Gewerbebetrieben (im Sinne der Gewerbeordnung) und Nichtgewerbebetrieben (wie etwa öffentliche Bauten u. ä.) unterschieden:

Tabelle 4.6: Erhebungen im Rahmen der Aktion PCB in Linz

<b>Gewerbebetriebe (ohne VÖEST und CHEMIE)</b>	
insgesamt erhobene Betriebe	156
ohne PCB-haltige elektrische Betriebsmittel	62
mit PCB-haltige Betriebsmittel	94
<b>VÖEST und CHEMIE</b>	
<b>Nichtgewerbebetriebe</b>	
insgesamt erhobene Betriebe	80
ohne PCB-haltige elektrische Betriebsmittel	52
mit PCB-haltige elektrische Betriebsmittel	28

Durch Inspektion vor Ort konnte das PCB Lager der untersuchten Betriebe sehr genau ermittelt werden. Es bleibt jedoch darauf hinzuweisen, daß sich möglicherweise nicht alle Betriebe, die PCB haltige elektrische Betriebsmittel verwendeten, unter den 237 untersuchten befanden. Daher sind die untenstehenden Zahlen mit Sicherheit nur als eine Mindestabschätzung für das zu dieser Zeit (März 1988) in Linz lagernde PCB zu betrachten.

Tabelle 4.7: PCB Füllmengen im Zuge der Aktion Ermittelte PCB in Linz (Stand 1987)

Gewerbebetriebe ohne VÖEST und CHEMIE	18.455 kg PCB
VÖEST	106.000 kg PCB
CHEMIE	5.500 kg PCB
Nichtgewerbebetriebe	1.407 kg PCB
PCB Lager Linz 1988 gesamt	131.362 kg PCB

Es fällt auf, daß in den untersuchten Gewerbebetrieben auch ohne der großen Industrieunternehmen VÖEST und CHEMIE ein recht beachtliches PCB Lager anzutreffen war.

Da im Zuge der Aktion PCB auch der Austausch und die fachgerechte Entsorgung der PCB haltigen elektrischen Betriebsmittel, unter Setzung einer „angemessenen Frist“ erfolgte, ist davon auszugehen, daß der überwiegende Anteil bereits fachgerecht entsorgt wurde. Im Falle der VÖEST steht die Entsorgung unmittelbar bevor (Stand: Dezember 1995). Die Aktion bezog sich auf Kondensatoren und Transformatoren.

#### 4.1.4 Kleinkondensatoren in Elektrogeräten aus Haushalt und Gewerbe

##### 4.1.4.1 Bauformen und Einsatzbereiche

Für die vorliegende Studie sind nur jene Bauformen von Kondensatoren von Bedeutung, bei denen Isolieröle (und damit auch möglicherweise PCB) als Tränkmittel verwendet wurden. Dies war nur bei den Papier- und Metallpapierkondensatoren der Fall.

- Bei den **Papierkondensatoren** bestanden die leitenden Flächen aus zwei Metallfolien, welche das Dielektrikum aus imprägniertem Isolierpapier umschlossen. Aus Platzgründen

wurden Metallfolien und Dielektrikum zu einem Wickel gerollt, und in einem zylindrischen Becher (meist Aluminium), der mit einer Vergußmasse abgedichtet wurde, eingekapselt. Als Tränkmittel wurden Wachse (auf der Basis von chlorierten Naphtalinen), Rizinusöl oder PCB (Clophen) verwendet. Letzteres zeichnet sich vor allem durch die höchste Dielektrizitätszahl, günstiges Verhalten bei elektrischen Glimmentladungen, chemische Beständigkeit, sowie Flammwidrigkeit aus.

- Die **Metallpapierkondensatoren** (MP - Kondensatoren) waren die direkten Konkurrenten der Papierkondensatoren. MP - Kondensatoren bestanden aus einem Papierband, auf das im Vakuum eine dünne Metallschicht (meist Zink) aufgedampft wurde. Das Papierband wurde in Isolieröl getränkt. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, daß PCB nicht als Tränkmittel für Metallpapierkondensatoren eingesetzt wurde (MERKBLATT des BMUJF, 1991). Dies wird auch durch die umfangreichen Laboranalysen im Zuge des unten beschriebenen Projektes der TU Berlin bestätigt, bei denen kein Chlor in den Tränkmitteln der Metallpapierkondensatoren nachgewiesen werden konnte (BARGHOORN, 1988).

Grundsätzlich wurden Papier- und Metallpapierkondensatoren eingesetzt als:

- *Motor*kondensatoren für Einphasen - Wechselstrommotoren (zu finden vor allem in langlebigen Haushaltsgeräten der sogenannten „Weißware“, wie Waschmaschinen, Geschirrspüler und ähnliches).
- *Leuchten*kondensatoren zur Kompensation von Blindstrom beim Betrieb von Leuchtstofflampen, meist als Einzel- bzw. Gruppenkompensation.

Das breitgestreute Spektrum der Anwendungs- und Einsatzbereiche der Papier- und Metallpapierkondensatoren führte dazu, daß PCB haltige Papierkondensatoren wahrscheinlich schon seit den 50er (sicher seit 1960) bis Anfang der 80er Jahre in einer breiten Palette von Elektrogeräten eingesetzt wurden.

Mit der Elektrotechnikverordnung 1985 (BGBl.: 343/1985) wurde im Zuge des Verbotes des Inverkehrbringens PCB-haltiger elektrischer Betriebsmittel, auch der Einsatz PCB-haltiger Kleinkondensatoren verboten.

#### 4.1.4.2 Forschungsvorhaben *PCB Kleinkondensatoren* im Jahr 1988 in West - Berlin

Anläßlich einer Überprüfung durch den Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz wurde 1985 erkannt, daß PCB haltige Kleinkondensatoren aus Elektrogeräten in erheblichem Umfang die Entsorgungswege von Haus- und Gewerbeabfällen mit PCB belasten. Damals bestand der begründete Verdacht, daß PCB bei den bisher üblichen praktizierten Verfahren (Shredderung) unkontrolliert in die Umwelt freigesetzt wird.

In einer, von Jänner 1987 bis Dezember 1988 dauernden, großangelegten Untersuchung durch die TU Berlin, wurden im Rahmen einer Felduntersuchung auf mehreren Berliner Schrottplätzen eine große Zahl langlebiger elektrischer Geräte dahingehend untersucht, ob sie Kleinkondensatoren enthalten, und in welchen dieser Kleinkondensatoren in der Vergangenheit PCB als Tränkmittel verwendet wurde. In der Folge werden die wichtigsten Aussagen und Resultate der Berliner Untersuchung, die für die Abschätzung des PCB Emissionspotentials von Elektrogeräten in Österreich relevant sind, zusammengefaßt.

Im Rahmen der Studie wurden 2394 Geräte untersucht, 4355 Kondensatoren und kondensatorähnliche Bauteile (Filter) ausgebaut und 610 Kondensatoren klassifiziert. Im Mittelpunkt des Interesses standen von vornherein die Haushaltsgeräte der weißen und braunen Ware (Kühlschränke, Waschmaschinen, Radios, Fernseher) und elektrische Geräte aus dem ge-

werblichen Bereich (Kopierer, Leuchtstofflampen, Rechenmaschinen). Rund  $\frac{3}{4}$  der Geräte stammten aus privaten Haushalten (siehe Tabelle 4.8). Die Informationen wurden dadurch gewonnen, daß die nach dem Zufallsprinzip ausgewählten Geräte unmittelbar nach ihrer Ankunft auf dem Schrottplatz demontiert wurden. Es wurden wichtige Gerätedaten (Baujahr, Hersteller, Typennummer) aufgenommen, und die gegebenenfalls vorhandenen Kondensatoren bzw. kondensatorähnlichen Bauteile registriert und ausgebaut.

Tabelle 4.8: Aufschlüsselung der Anzahl der untersuchten Geräte nach Kategorien (BARGHOORN)

Gerätekategorie	Anzahl
Braune Ware	759
Weißer Ware	899
Haushaltsgeräte (sonstige)	115
Leuchtstoffleuchten	517
Gewerbliche Geräte	104
gesamt	2394

Erfaßt wurden *Büromaschinen, Dunstabzugshauben, Elektromotoren, Fernseher, Geschirrspüler, sonstige Haushaltsgeräte, Kühlgeräte, Kopierer, Leuchtstoffleuchten, Ölbrenner, Radios, Rasenmäher, Staubsauger, Trockenhauben, Waschmaschinen, Wäschetrockner, Wäscheschleudern, und gewerbliche Geräte*. Bis auf *Rasenmäher, Wäschetrockner und Wäscheschleudern* wurden in allen Gerätegattungen PCB Kondensatoren gefunden. Die untenstehende Tabelle enthält eine Zusammenfassung der Resultate. Dabei bezieht sich der Ausdruck Gefahrenquote auf das prozentuelle Verhältnis der PCB belasteten Geräte zum Gesamtbestand in jeder Gerätegruppe.

Tabelle 4.9: Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse der Berliner Untersuchung (BARGHOORN, 1988)

Gerätetyp	erfaßte Geräte (Anzahl)			ausgebaute Kondensatoren (Anzahl)	
	gesamt	davon PCB belastet	Anteil in %	gesamt	davon PCB Kondensatoren
Büromaschinen	20	5	25	93	5
Dunstabzugshauben	12	4	33,3	10	5
Elektromotoren	11	2	18,2	14	3
Fernseher *	670	10	1,5	2314	10
Geschirrspüler	143	6	4,2	194	8
Haushaltsgeräte (sonstige)	16	2	12,5	14	2
Kühlgeräte	211	1	0,5	32	1
Kopierer	19	2	10,5	31	2
Leuchtstoffleuchten	517	354	68,5	470	355
Ölbrenner	19	10	52,6	20	11
Radio/Phono	89	3	3,4	217	3
Rasenmäher	13	0	0	13	0
Staubsauger	55	1	1,8	41	1
Trockenhauben	16	9	56,3	20	9
Waschmaschinen	500	49	9,8	767	64
Wäschetrockner	16	0	0	19	0
Wäscheschleudern	29	0	0	17	0
gewerbl. Geräte	32	4	12,5	60	4
andere Geräte	6	0	0	9	0
<b>Gesamt</b>	<b>2394</b>	<b>462</b>	<b>19,3</b>	<b>4355</b>	<b>483</b>

\* Bei älteren Fernsehern wurden in geringem Umfang relativ große PCB haltige Kondensatoren gefunden

Tabelle 4.9 dokumentiert sehr deutlich die PCB Belastung der Weißware. Das Vorkommen von PCB Kondensatoren in brauner Ware kann zwar nicht ausgeschlossen werden, doch ist die PCB Belastung von Braunware vermutlich sehr gering. Bei Fernsehgeräten, wo die Stückzahlen der untersuchten Geräte groß genug sind um fundierte Aussagen zu treffen, beträgt die PCB-Belastung etwa 1,5 %.

In einer zweiten Phase wurde das PCB Emissionspotential der Gerätegruppen *Dunstabzugshauben*, *Geschirrspüler*, *Leuchtstoffleuchten*, *Ölbrenner*, *Trockenhauben* und *Waschmaschinen* berechnet. Maßgeblich für die Auswahl dieser Gerätegruppen waren das Ausmaß ihrer durchschnittlichen PCB Belastung, die Verfügbarkeit statistischer Daten über Produktion, Import und Export, und die Anzahl der hergestellten Geräte. Die Abweichungen der Stückzahlen der erfaßten Geräte in den Tabellen 4.9 und 4.10 resultiert aus der Einschränkung auf die Jahre des nachweislich belegten PCB Einsatzes in Tabelle 4.10.

Tabelle 4.10: Stichprobenwerte bezogen auf die Jahre der Herstellung von PCB Kondensatoren (1960 - 1981) in ausgewählten Geräten. (BARGHOORN, 1988)

	Jahre bis *	Geräte [Stk.]	Geräte ge- wichtet [Stk.]	PCB Geräte [Stk.]	Gefahren- quote [%]**
Dunst-Abzugshaube	1978	11	11	4	36,4
Geschirrspüler	1977	97	97	6	6,2
Leuchtstoffleuchte	1981	432	529 **	348	65,8
Ölbrenner	1977	16	16	10	62,5
Trockenhaube	1973	15	15	9	60,0
Waschmaschine	1980	474	474	49	10,3

\* Bis zu diesem Jahr wurden PCB Kondensatoren in den angeführten Geräten gefunden.

\*\* Die Anzahl der Leuchten wurde von den 517 untersuchten auf die 529 Stück nach den Angaben des Statistischen Bundesamtes rechnerisch erhöht, um die Leuchten aus den privaten Haushalten zu berücksichtigen. Nach Angaben der Hersteller enthielten Leuchten für die privaten Haushalte keine Kondensatoren zur Blindstromkompensation.

\*\*\* Die Gefahrenquote ist die Anzahl der PCB belasteten Geräten je 100 Geräte.

Auffallend an Tabelle 4.10 ist die große Zahl der untersuchten Leuchtstoffleuchten und Waschmaschinen. Aufgrund der Vermessung, Verwiegung, und Klassifizierung der ausgebauten Kondensatoren konnte die durchschnittliche PCB Menge pro Gerät berechnet werden. Bei den Leuchtstoffleuchten stellte sich im Rahmen der Studie heraus, daß die durchschnittliche Kondensatormasse im untersuchten Zeitraum von 1960 - 1981 aufgrund technologischer Verbesserungen kontinuierlich abnahm. Bei den übrigen Geräteklassen konnte eine Abnahme der Kondensatormassen nicht mit ausreichender statistischer Sicherheit belegt werden. Auffallend sind die hohen Kondensatormassen bei den Waschmaschinen.

Tabelle 4.11: Durchschnittliche PCB Kondensatormasse, PCB Kondensatorenanzahl und PCB Fracht pro PCB belastetem Gerät (BARGHOORN, 1988).

	Durchschnittliche PCB Kondensa- tormasse [g]	durchschnittliche Anzahl von PCB Kondensatoren je belastetem Gerät	Summe der PCB Konden- satormassen [g]	PCB Fracht pro Gerät* [g]
Dunstabzugshauben	154	1,25	193	58
Geschirrspüler	255	2,0	510	153
Leuchtstoffleuchten	219	1,0	219	63
Ölbrenner	151	1,2	181	54
Trockenhauben	64	1,3	83	25
Waschmaschinen	403	1,7	685	205

\* In der Berliner Studie wird angenommen, daß der PCB Tränkmittelanteil 30 % der Kondensatormasse beträgt. Die Untersuchungen des Umweltbundesamtes ergaben einen Anteil von 20 %. Vergleiche Tabelle 4.12 weiter unten.

Bei Leuchtstoffleuchten (517 Geräte) und Waschmaschinen (500 Geräte) war die Anzahl der untersuchten Geräte groß genug um zuverlässige Angaben über die Gebrauchsdauer der Gerätegruppen anzustellen. Über die Gebrauchsdauer der Geräte und die statistischen Daten der Versorgung (= Produktion + Import - Export) wurde die jährliche **Ausmusterungsrate**<sup>9</sup>, über die **Gefahrenquote**<sup>9</sup>, das jährliche **Emissionspotential** an PCB hochgerechnet. Es

<sup>9</sup> Unter der jährlichen Ausmusterungsrate einer Gerätegruppe wird die Anzahl jener Geräte verstanden, die innerhalb des betreffenden Jahres als Abfall anfallen.

<sup>9</sup> Die Gefahrenquote ist der prozentuelle Anteil der PCB belasteten Geräte im Gesamtbestand dieser Gruppe. Für den Gerätegesamtbestand werden allerdings nur jene Baujahre berücksichtigt, bei denen es zu einem dokumentierten Einatz von PCB Kondensatoren in dieser Gerätegruppe gekommen ist.

zeigte sich, daß sich der Zeitraum der Ausmusterung bei unverändertem Verschrottungsverhalten bis in das erste Viertel des nächsten Jahrtausends erstrecken wird.

Für die sechs oben aufgelisteten PCB belasteten Gerätearten wurde die eingesetzte PCB Gesamtmenge für Berlin West, bezogen auf den Zeitraum der dokumentierten PCB Verwendung 1960 - 1981 auf mindestens 342 Tonnen PCB hochgerechnet, wobei zum Zeitpunkt der Abfassung der Studie (Dezember 1988) mehr als die Hälfte der Menge noch nicht freigesetzt war. Es zeigte sich auch, daß **Leuchtstoffleuchten mit 90,5% und Waschmaschinen mit 5,8% zusammen mit 96,3% der 342 Tonnen bereits den Großteil der eingesetzten PCB Menge ausmachen (BARGHOORN, 1988).**

Zu bemerken bleibt, daß diese Abschätzung strenggenommen nur für die sechs oben aufgelisteten Gerätegattungen zutrifft. Wie groß der Anteil dieser sechs Gerätegattungen am gesamten Emissionspotential der Elektrogeräte aus Haushalt und Gewerbe ist, kann nicht mit Sicherheit quantifiziert werden. Es ist jedoch plausibel, daß damit der überwiegende Großteil der PCB Menge in Elektrogeräten aus Haushalt und Gewerbe abgedeckt wird. Die Abschätzung des Berliner Projektes stellt daher strenggenommen nur eine **Mindestabschätzung des Emissionspotentials** dar.

#### 4.1.4.3 Jüngste Untersuchungen zur PCB Problematik von Kleinkondensatoren in Haushaltsgeräten in Österreich

Im Zuge des **Modellversuches zur Sammlung, Demontage und Verwertung von Elektro- und Elektronikgeräten (EAG) im Bezirk Weiz (Steiermark)** wurde im Auftrag der Steiermärkischen Landesregierung durch das Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) der Montanuniversität Leoben erstmals versucht im Rahmen einer Felduntersuchung Daten über die PCB Belastung der Kategorie „Haushaltsgeräte groß“ in Österreich statistisch zu untersuchen.

Es wurden 121 Waschmaschinen und Geschirrspüler demontiert, die im Rahmen des Modellversuches gesammelt wurden. Die untersuchten Geräte stammten aus der Südsteiermark und waren zum überwiegenden Teil österreichischer, deutscher und italienischer Herkunft. Aus den erfaßten Geräten wurden 100 Kondensatoren ausgebaut, welche anschließend mittels eines semiquantitativen, ursprünglich für die PCB Kontamination von Böden entwickelten, und für die Überprüfung der Kondensatoren entsprechend adaptierten „*Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay (ELISA)*“ Tests auf ihren PCB Gehalt hin untersucht wurden.

Von den 100 ausgebauten Kondensatoren enthielten 11 Stück PCB als Tränkmittel. Die in der Studie der TU Berlin gefundene Korrelation von spezifischer Kondensatormasse und PCB Gehalt konnte dabei bestätigt werden. Die durchschnittliche Kondensatormasse der PCB belasteten Kondensatoren lag bei 346 g. Der leichteste PCB Kondensator wog 93,6 g, der schwerste 735,5 g. Von den 11 PCB belasteten Geräten waren Geräte 10 Waschmaschinen und 1 Geschirrspüler (es wurde höchstens ein Kondensator pro Gerät entnommen).

Vergleicht man diese Daten mit den in Berlin erhobenen, dann ergibt sich bei entsprechender Gewichtung der Berliner Daten eine sehr genaue Übereinstimmung: (durchschnittliche Kondensatormasse für PCB Kondensatoren in Geschirrspülern nach BARGHOORN = 255 g) x 1/11 + (durchschnittliche Kondensatormasse von PCB Kondensatoren in Waschmaschinen nach BARGHOORN = 403 g) x 10/11 = 389 g, was mit den 346 g aus der IED Untersuchung passabel übereinstimmt.

Im Rahmen des Projektes **„Pilotsammlung von Elektrogeräten in Bregenz“** wurde versucht den Sammelerlaß des BMU über Elektrogeräte umzusetzen. Durchgeführt wurde das Projekt vom Institut für Abfallwirtschaft an der Universität für Bodenkultur in Wien. Analog

Projekt vom Institut für Abfallwirtschaft an der Universität für Bodenkultur in Wien. Analog wie im oben genannten Weizer Projekt wurden die am Ende der Entsorgungsschiene anfallenden Haushaltselektrogeräte gemäß ÖNORM S 2106 (Entwurf vom 1. Dezember 1995) zerlegt, um die nicht schadstoffhaltigen Anteile von den schadstoffhaltigen zu trennen. Im Zuge dieser Schadstoffentfrachtung wurden „größere“<sup>10</sup> Kondensatoren ausgebaut. Da in Bregenz zwei Entsorger, streng getrennt nach Gerätegruppen tätig waren (Haushaltsgeräte groß/klein), waren die bei ihnen anfallenden Kondensatoren nur jeweils für die eine Gerätegruppe repräsentativ. Um, anders als in der Untersuchung durch die Montanuniversität Leoben, einen Überblick über die PCB Belastung durch Kondensatoren im gesamten Spektrum der Haushaltselektrogeräte zu erhalten, wurde beschlossen die Stichprobe bei einem steirischen Entsorger zu ziehen. Dieser war in das Weizer Projekt eingebunden und zerlegte die gesamte Gerätepalette<sup>11</sup> an Haushaltselektrogeräten.

Es wurde nach dem Zufallsprinzip eine Stichprobe der ausgebauten „größeren“ Kondensatoren gezogen. Diese Stichprobe wurde durch das *Umweltinstitut des Landes Vorarlberg* wie folgt untersucht: Es wurden aus der großen Stichprobe nach dem Zufallsprinzip 50 Kondensatoren ausgewählt. Diese wurden aufgesägt und sensorisch untersucht. Wo ein öliges Tränkmittel festgestellt wurde, wurde mittels GC - ECD der PCB Gehalt bestimmt. Der PCB Gehalt wurde auf das technische Gemisch Arochlor 1242 berechnet.

Von den 50 untersuchten Kondensatoren waren 14 mit öligen Tränkmitteln gefüllt. 3 davon waren PCB haltig. Die Kondensatormasse der PCB Kondensatoren waren vergleichsweise hoch (295 g, 626 g, 364 g). Bezogen auf die Stichprobe liegt die -Trefferquote bei 6 %. Dies ist, am ersten Blick, im Vergleich zur Berliner Studie eher gering, da dort die Trefferquote bei rund 11 % lag. Allerdings wurden in Berlin auch Geräte aus dem gewerblichen Bereich (vor allem Leuchten) untersucht. Läßt man die Beiträge der Leuchtstoffleuchten mit PCB Kondensatoren außer Betracht<sup>12</sup>, dann ergibt sich auch in Berlin eine Trefferquote von 3,3%.

**Eigene Untersuchungen des Umweltbundesamtes** hatten zum Ziel Klarheit über den Massenanteil von PCB pro Kondensator zu erlangen. Im Hinblick auf diesen Parameter waren selbst nach ausgiebigen Recherchen bei den Herstellern nur ausgesprochen widersprüchliche Angaben zu erhalten, die von unter 10 % bis zu 45 % schwankten. Auch in der vorher zitierten Berliner Studie wurde der Massenanteil an PCB pro Kondensator nicht explizit überprüft, sondern nach Herstellerangaben auf 30 Massen% PCB pro Kondensator geschätzt. Für eine seriöse Abschätzung des Emissionspotentials, war es daher nötig diesen Parameter stichprobenartig nachzuprüfen.

Es wurden 14 PCB Kondensatoren überprüft, davon 10 Leuchten- und 4 Motorkondensatoren. Diese wurden aus einer Charge von 51 Kondensatoren (42 Leuchten- und 9 Motorkondensatoren) ausgewählt, die bei zwei österreichischen Entsorgern, der Firma AGS in Graz und der Firma AVE in Timelkam angefallen, waren.

Es wurde keine gaschromatographische Überprüfung des PCB Gehaltes durchgeführt, da mittels Bestimmung der Kondensatordichte und/oder, über die explizite Tränkmittelbezeichnung die PCB Kondensatoren mit hinreichender Sicherheit identifiziert werden konnten.

---

<sup>10</sup> Unter einem „größeren“ Kondensator versteht die ÖNORM S 2106 (Entwurf vom 1. Dezember 1995) Kondensatoren mit Durchmessern von mehr als 1 cm und Längen von mehr als 2 cm. Bei allfällig anderer Bauform werden darunter Kondensatoren mit einem größenordnungsmäßig gleichen Volumen verstanden.

<sup>11</sup> Es wurden Haushaltsgeräte groß, Sondergeräte groß, TV Geräte und Monitore, PCs und Kommunikationsgeräte (ohne Monitore), Unterhaltungselektronik, Film- Fotogeräte, Haushaltsgeräte klein, Sondergeräte klein und Kühlgeräte unterschieden.

<sup>12</sup> Diese Annahme ist plausibel, da in privaten Haushalten Blindstrom nicht kompensiert zu werden braucht.

Durch das hohe spezifische Gewicht der PCB weisen PCB Kondensatoren typische Dichten zwischen 1,6 und 1,8 g/cm<sup>3</sup> auf, während mineralölbefüllte Kondensatoren mit Dichten um 1,25 g/cm<sup>3</sup> gut davon unterscheidbar sind.

Die Bestimmung des Tränkmittelanteiles wurde mittels einer Differenzwägung durchgeführt. Zunächst wurden Schrauben und abstehende Drahtstücke vom Kondensator entfernt, und dessen Masse bestimmt. Anschließend wurden die Metallhülsen der Kondensatoren einzeln an der Unterseite rundherum aufgeschnitten und der feste Inhalt (Kondensatorwickel) entnommen. Eventuell auslaufendes Tränkmittel wurde in einem Gefäß aufgefangen.

Der feste Inhalt, sowie die leeren Kondensatorhülsen wurden mit n-Hexan ausgewaschen. Danach wurde der Kondensatorwickel aufgerollt, die Metall- und Papierfolien voneinander getrennt, und die einzelnen Folienteile nochmals mit n-Hexan gewaschen. Abschließend wurden alle mit n-Hexan gewaschenen Teile des Kondensators im Trockenschrank bei ca 30 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und danach gewogen. Der Tränkmittelanteil wurde aus der Differenz der Gesamtmasse mit der Masse der getrockneten Kondensatorhülsen samt Folien bestimmt.

Tabelle 4.12: Ergebnisse der Untersuchungen des Umweltbundesamtes bezüglich Massenanteil des PCB Tränkmittels in Kondensatoren

Hersteller	Baujahr	Anwendungs-kategorie Deklaration	Masse [g]	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Tränkmittelanteil %
Neuberger*	1959	Cp	251,8	1,80	21,7
Kapsch*	1961	C	128,7	1,62	28,3
Kapsch*	1972	HPF 3 CD	218,4	1,66	19,7
Kapsch*	1972	HPF 3 CD	220,9	1,66	20,0
Kapsch*	1972	HPF 3 CD	219,8	1,66	24,8
FRAKO*	1971	JPC 3 CD	230,9	1,66	19,2
FRAKO*	1976	HMC / HPC 3 CD	199,6	1,67	17,5
FRAKO*	1973	HMC 3CD	177,5	1,68	24,6
FRAKO*	1971	JPC 3 CD	144,5	1,65	13,8
FRAKO*	1974	HMC / HPC 3 CD	160,9	1,68	21,1
SLIMOTOR**	?	JSFH 3 CD	311,4	1,80	14,0
SLIMOTOR**	?	?	291,1	1,60	19,4
Ducati**	?	?	427,1	1,75	20,8
GE**	?	?	385,2	1,62	16,3

\* Leuchtenkondensator

\*\*Motorkondensator (Waschmaschine)

Der PCB Massenanteil schwankt von rund 14 % bis 29 % erheblich. Eine signifikante Korrelation mit der Kondensatormasse ist nicht festzustellen. Die in der Berliner Studie unterstellten 30 Massen% dürften allerdeings zu hoch liegen. Der Mittelwert des Tränkmittelmasseanteiles der 14 untersuchten Kondensatoren liegt bei 20%.

Die durchschnittlichen Kondensatormassen liegen mit 195,3 g bei Leuchtenkondensatoren und 353 g bei Motorkondensatoren etwas unter den Berliner Werten (vergleiche Tabelle 4.11). Wegen der größeren Anzahl der untersuchten Kondensatoren wurden jedoch die Berliner Werte für die Kondensatormassen für die unten erfolgende Hochrechnung des PCB Emissionspotentials verwendet. Der Tränkmittelanteil an PCB pro Kondensator wurde, den eigenen Untersuchungen zufolge, mit 20 % angesetzt.

#### 4.1.4.4 Abschätzung des PCB Emissionspotentials von Kleinkondensatoren in Elektrogeräten in Österreich

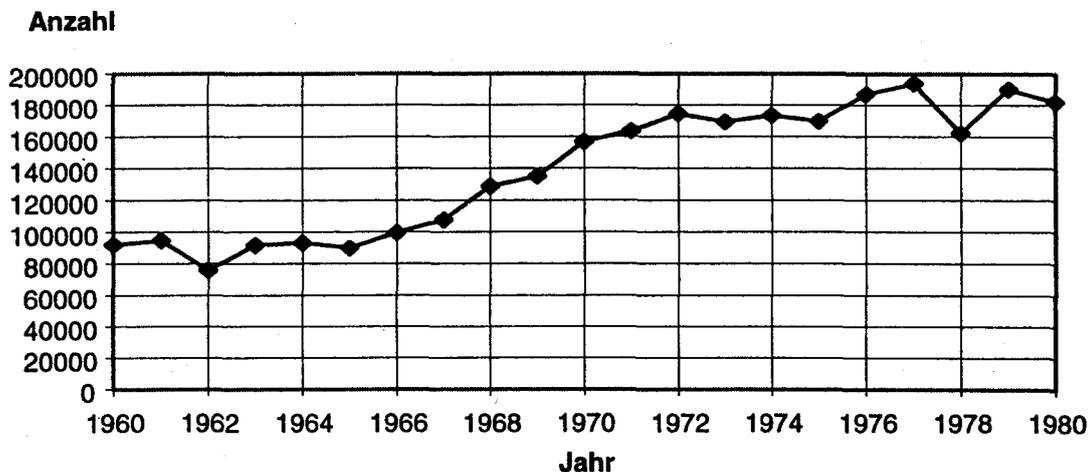
Aufgrund der Daten, die im Zuge der oben genannten Untersuchungen erhoben wurden, war es möglich das PCB Emissionspotential und die jährlich zu erwartende Ausmusterungsrate für die beiden Gerätetypen **Waschmaschinen** und **Leuchtstoffleuchten** für Österreich hochzurechnen. Gemäß der Berliner Untersuchung decken die beiden Gerätearten den Großteil der für Haushaltselektrogeräte eingesetzten PCB Fracht ab. Daher kann angenommen werden, daß das für die beiden Gerätearten summierte Emissionspotential größenordnungsmäßig bereits das Emissionspotential der gesamten Braun<sup>13</sup>- und Weißware beschreibt.

Als Grundlage der Hochrechnung wurden, mit Ausnahme des Tränkmittelanteiles, die Daten aus der Berliner Untersuchung herangezogen. Österreichische Daten vergleichbarer Detailliertheit waren nicht verfügbar. Wie bereits oben erwähnt werden die Berliner Daten durch die in Österreich durchgeführten Untersuchungen im Großen und Ganzen bestätigt.

##### 4.1.4.4.1 Hochrechnung für Haushaltswaschmaschinen

Die Inlandsversorgung mit Haushaltswaschmaschinen berechnet sich aus Produktion + Import - Export. Die Daten wurden aus der Industrie und Gewerbestatistik und der Außenhandelsstatistik des ÖSTAT für die Jahre 1960 bis 1980 entnommen. Dieser Zeitraum entspricht dem dokumentierten Einsatz von PCB haltigen Kondensatoren in Waschmaschinen.

Abbildung 4.2.: Inlandsversorgung mit Haushaltswaschmaschinen < 5kg

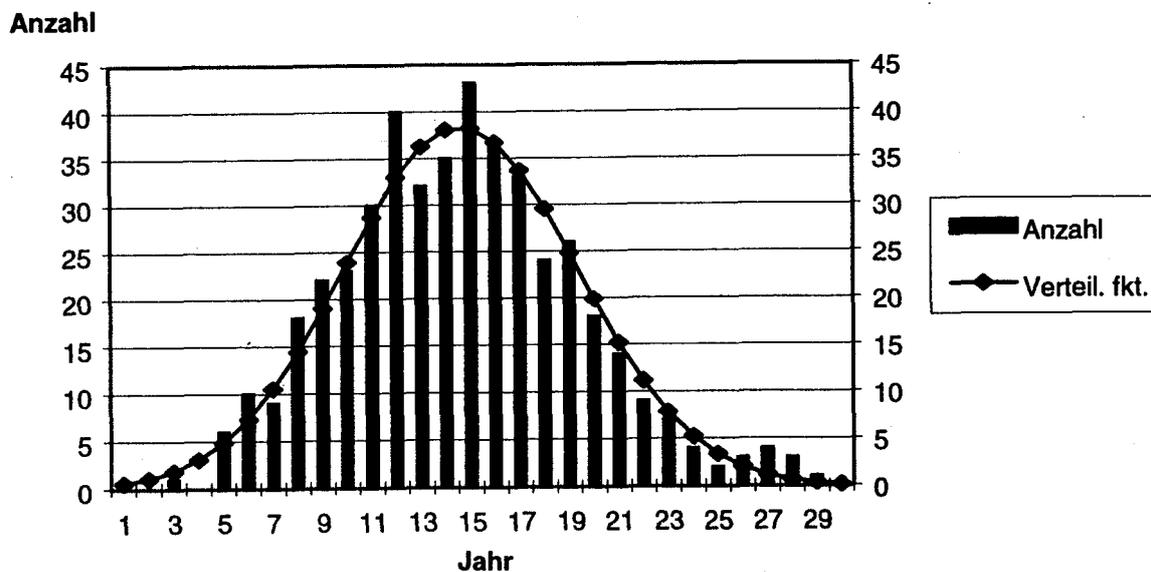


Der Verteilung der Baujahre der in Berlin untersuchten Waschmaschinen wurde eine Normalverteilung angepaßt<sup>14</sup>. Es ergab sich eine mittlere Gebrauchsdauer von 14,6 Jahren mit einer Standardabweichung von 4,7.

<sup>13</sup> Die Berliner Studie hat gezeigt, daß zwar immer wieder PCB Kondensatoren in brauner Ware gefunden wurden, diese Gerätegruppen allerdings im Vergleich zur Weißware relativ gering belastet sind.

<sup>14</sup> Anpassungskriterium war: Reproduktion des gleichen Mittelwertes und des Schwankungsquadrates. Dies sichert Eindeutigkeit.

Abbildung 4.3: Empirisch gefundene Verteilung der Lebensdauer für Haushaltswaschmaschinen und angepaßte Normalverteilung



Zur Berechnung der **jährlichen Ausmusterungsrate** an Haushaltswaschmaschinen der Baujahre 1960 - 1980<sup>15</sup> wurden angenommen, daß die oben angegebene Verteilung der Gebrauchsdauer über den betrachteten Zeitraum konstant ist. Die Ausmusterungsrate  $A(T)$  berechnet sich dann gemäß:

$$A(T) = \sum_{t=1960}^{1980} GD(T-t)IV(t)$$

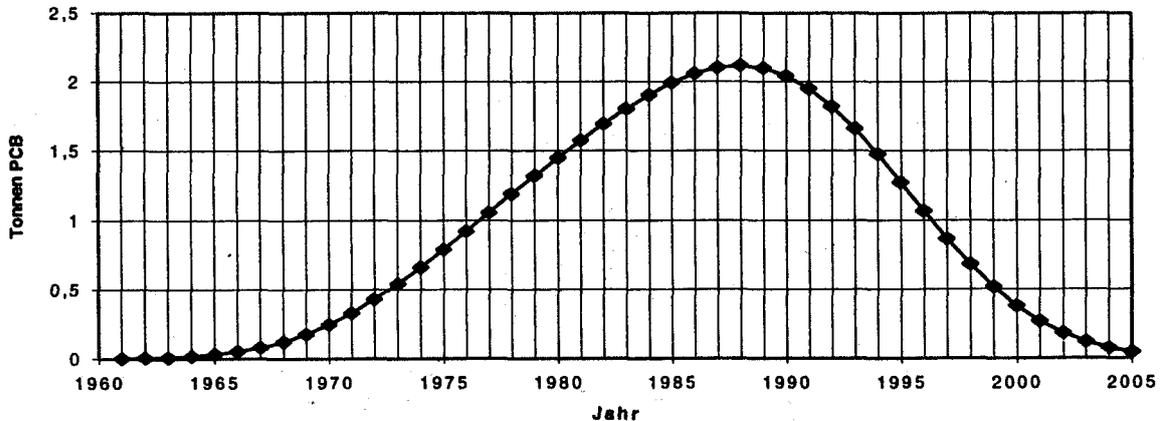
Dabei bedeuten  $GD(t)$  die in Abbildung 4.3 angegebene Dichteverteilung der Gebrauchsdauer für Waschmaschinen und  $IV(t)$  die Inlandsversorgung an Waschmaschinen in den Jahren 1960 - 1980 (Abbildung 4.2). Es wurde  $T > 1980$  angenommen. Für  $T < 1980$  erstreckt sich die Summation jeweils nur bis  $T$ .

Das **PCB Emissionspotential**, das von den im Jahr  $T$  ausgemusterten Waschmaschinen ausgeht erhält man durch Multiplikation von  $A(t)$  mit der in Berlin erhobenen Gefahrenquote von 10,3 % und der durchschnittlichen PCB Menge von 137 g pro Gerät<sup>16</sup> (siehe Tabelle 4.11). Wie bereits oben erwähnt sind die Werte für die Gefahrenquote auch für Österreich repräsentativ. In der untenstehenden Graphik ist das jährliche PCB Emissionspotential angegeben.

<sup>15</sup> Kondensatoren mit Herstellungsjahren aus diesem Zeitraum wurden ausgebaut.

<sup>16</sup> Die 137 g PCB pro Gerät berechnen sich aus der durchschnittlichen Masse PCB belasteter Kondensatoren von 685 g (=1,7 Stück PCB Kondensatoren pro PCB-belastetem Gerät zu je 408 g, wie in Tabelle 4.11) mit einem PCB Massenanteil von 20 %).

Abbildung 4.4: Emissionspotential von Haushaltswaschmaschinen &lt; 5 kg



Nach den Berechnungen zufolge wurden insgesamt 42 t PCB in Waschmaschinen eingesetzt, wovon noch etwas mehr als 4 t in Verwendung sind. Ein Absinken des Emissionspotentials unter die 100 kg/a - Schwelle ist erst ab dem Jahr 2004 zu erwarten. In der Tabelle 4.16 weiter unten findet sich eine Prognose der anfallenden PCB Mengen in Waschmaschinen ab dem Jahr 1996.

#### 4.1.4.4.2 Hochrechnung für Leuchtstoffleuchten

Die Inlandsversorgung an Leuchtstoffleuchten wurde für die Jahre 1960 - 1981 wie bei den Waschmaschinen aus ÖSTAT Daten ermittelt. Dies war jedoch mit der Schwierigkeit verknüpft einen Überblick über die Importe an Leuchten zu gewinnen, da diese unter der Rubrik Leuchtstofflampen und -Röhren in der Außenhandelsstatistik zusammen mit den Leuchtstoffröhren aufgeführt waren. Umgekehrt umfaßten die Exporte nur Leuchten, da nach Angaben der Branche zu dieser Zeit keine Leuchtstoffröhrenhersteller in Österreich tätig waren. Von der Produktionsseite her wurden Zier- Zweck und Straßenleuchten berücksichtigt, und die exportierten Leuchten abgezogen. Die so ermittelte Zahl der im Inland erzeugten und verbliebenen Anzahl von Leuchten wurde dann, nach Angaben der Branche, über das Verhältnis von gesamtem Marktvolumen an kondensatorrelevanten Produkten und dem heimischen Selbstversorgungsgrad an diesen Produkten korrigiert, um die tatsächlich jährlich im Inland verbliebene Anzahl von Leuchten, also die Inlandsversorgung, abzuschätzen.

Die Frage nach der Anzahl der Kondensatoren pro Leuchte ist für Leuchtstoffleuchten insofern schwieriger als für die Waschmaschinen zu beantworten, da einerseits früher mehrflammige Leuchten mit mehr als einem Kondensator in Betrieb waren, und andererseits in einigen Beleuchtungsanlagen nur etwa die Hälfte der Leuchten zur Vermeidung von Überkompensation mit Kondensatoren bestückt waren. Mangels Verfügbarkeit detaillierter österreichischer Daten zu dieser Problematik, wurden für die folgenden Hochrechnungen von Ausmusterungsrate und Emissionspotential die Daten aus der Berliner Studie (BARGHOORN, 1988) zugrundegelegt.

In der oben zitierten Studie wurde, analog wie bei den Waschmaschinen, der Verteilung der untersuchten Leuchten eine Gaußverteilung angepaßt. Als Erwartungswert für die Lebensdauer einer Leuchte wurden 19,2, als Schwankungsbreite wurden 6,9 Jahre empirisch er-

mittelt. Nach Angaben des statistischen Bundesamtes wurden in 81,7 % aller Leuchten<sup>17</sup> Kondensatoren eingesetzt<sup>18</sup>. In diesem Fall wurde mit einem Kondensator pro Leuchte gerechnet. Die ermittelte Gefahrenquote von 65,8 % (siehe Tabelle 4.11) bezieht sich auf die Gesamtheit der Leuchten aus Haushalten und Gewerbe. Dies bedeutet, daß im Durchschnitt rund 66 von hundert Leuchten mit Baujahr zwischen 1960 und 1981 PCB belastet sind. Pro PCB belasteter Leuchte wird mit durchschnittlich einem PCB Kondensator gerechnet.

Bei den in den Leuchten eingebauten Kondensatoren war ein eindeutiger Trend zur Verwendung leichterer Kondensatoren zu verzeichnen. Tabelle 4.14 listet die durchschnittlichen Masse der PCB Kondensatoren in den Leuchten, bezogen auf Intervalle von 5 Jahren.

Tabelle 4.14: Durchschnittliche Masse und Stichprobenzahl von PCB haltigen Leuchtstoffleuchtenkondensatoren nach Herstellungsjahren (BARGHOORN, 1988)

Jahre	Masse [g]	untersuchte Anzahl von PCB Leuchtenkondensatoren
1956 - 1960	305	20
1961 - 1965	257	77
1966 - 1970	200	74
1971 - 1975	224	69
1976 - 1980	168	67
1981 - 1985	151	2

Die **jährliche Ausmusterungsrate** in Stück berechnet sich analog zum Fall der Waschmaschinen. Es wurden die Jahre 1960 - 1981 berücksichtigt. Das daraus resultierende **Emissionspotential EP(T)** im Jahr T berechnet sich nach der Formel

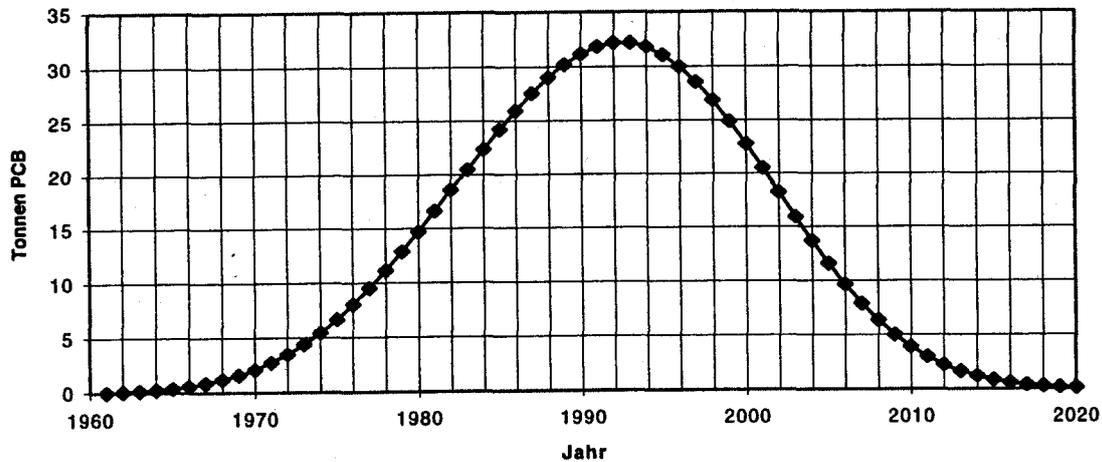
$$EP(T) = 0,658 \sum_{t=1960}^{1981} GD(T-t)IV(t)M(t),$$

wobei sich der Faktor 0,658 auf das Gefahrenpotential bezieht, und M(t) jene Treppenfunktion ist, die den PCB Gehalt der eingesetzten Kondensatoren nach Baujahren angibt. Es wurde wieder angenommen, daß 20 % des Massenanteiles des Kondensators vom Tränkmittel stammen. Die untenstehende Graphik gibt das Emissionspotential an PCB in Tonnen wieder.

<sup>17</sup> Es wurden die Leuchtstoffleuchten aus den privaten Haushalten mitberücksichtigt. Die Zahlen beziehen sich auf Mittelwerte der Jahre 1968 bis 1987.

<sup>18</sup> Österreichische Hersteller sprechen von einem Anteil von etwa 70 - 80 %. Detaillierteres statistisches Material war nicht verfügbar. Bedenkt man, daß bei mehrflammigen Leuchten auch mehrere Kondensatoren pro Leuchte eingesetzt wurden, dann sind die deutschen Zahlen sehr plausibel.

Abbildung 4.5: PCB Emissionspotential von Leuchtstoffleuchten



Auffallend ist, daß für die Leuchten durch ihre verhältnismäßig hohe Lebensdauer das Emissionspotential noch für viele Jahre relativ hoch sein wird. Gemäß obiger Rechnung sind bis einschließlich 1995 bereits 492 t PCB aus Leuchtenkondensatoren im Abfall, 256 t sind noch in Gebrauch.

Nach Angaben eines österreichischen Kondensatorherstellers wurden während des Zeitraumes des PCB Einsatzes in Kondensatoren von etwa 1960 bis 1981 über viele Jahre hindurch etwa eine Million PCB haltiger Kleinkondensatoren an den größten Leuchtenhersteller geliefert. Dies alleine entspricht einer jährlichen Fracht von rund 50 t PCB. Verwendet wurde das Produkt „Pyralene“ des französischen Herstellers Prodelec.

Im Anschluß an die oben beschriebene Aktion PCB in Linz führte das Liegenschaftsamt auf Veranlassung des Amtes für Technik eine **detaillierte Erhebung über Kleinkondensatoren in städteigenen Gebäuden durch**. Bei der Bestandsaufnahme war es infolge der enormen Anzahl an Beleuchtungskörpern unumgänglich die Erfassung auf Stichproben zu beschränken. Es wurde festgestellt, daß sich in den städtischen Objekten etwa 45.000 Leuchtstoffbalken befinden, wobei etwa 11.700 PCB haltige Kondensatoren<sup>19</sup> in Verwendung stehen (STALTNER, 1988).

Die Ermittlungen des Liegenschaftsamtes über PCB haltige Kondensatoren eignen sich hervorragend um die oben durchgeführte Hochrechnung für Leuchtstoffleuchten auf Plausibilität zu überprüfen. Ermittelt man den Gesamtbestand an Leuchten im Jahr 1988 aus der Inlandsversorgung minus den jeweils ausgemusterten Leuchten, und berechnet man nach der selben Methode den Bestand an PCB haltigen Leuchten unter Zugrundelegung des Gefährdungspotentials von 65,8 % (dies wurde auch in der obigen Hochrechnung angenommen), dann ergibt dies einen Anteil von 33,5 % an PCB haltigen Leuchten im Gesamtbestand.

Da bei der Erhebung des Liegenschaftsamtes zunächst nur die deklarierten PCB Kondensatoren berücksichtigt wurden, muß die Zahl der PCB haltigen Kondensatoren nach oben korrigiert werden (Nach den bisherigen Erfahrungen sind nicht alle PCB haltigen Kondensatoren eindeutig als solche deklariert). Daher erhöht sich der Bestand von 11.700 um den

<sup>19</sup> Die Anzahl bezieht sich auf die als PCB haltig deklarierten Kondensatoren.

Faktor 1,2<sup>20</sup> auf etwa 14.000. Das liefert einen Anteil von etwa 31 % an PCB haltigen Kondensatoren im Gesamtbestand im Jahre 1988. Ein Vergleich mit der Hochrechnung (33,5 %) zeigt, unter Berücksichtigung der bei solchen Rechnungen gemachten Vereinfachungen, eine ausgesprochen gute Übereinstimmung mit den Untersuchungen des Liegenschaftsamtes. Dies stützt auch im Falle der Leuchten die Plausibilität der Rechnung.

#### 4.1.4.4.3 Zusammenfassende Abschätzung des Emissionspotentials von Kleinkondensatoren in Elektrogeräten

Das PCB Emissionspotential für Elektrogeräte wurde mittels der oben durchgeführten Schätzungen für die Emissionspotentiale von Waschmaschinen und Leuchtstoffleuchten hochgerechnet. Es wurde angenommen, daß sich die Frachten in Österreich anteilmäßig ähnlich auf die verschiedenen Gerätegruppen verteilen, wie in der zitierten Berliner Studie. Dort entfielen 90,5 % der eingesetzten PCB Menge auf Leuchtstoffleuchten, 5,8 % auf Waschmaschinen, 1,7 % auf Ölbrenner, 1,5 % auf Dunstabzugshauben und 0,4 % auf Geschirrspüler. Daher kann durch Abschätzung des Emissionspotentials von Leuchten und Waschmaschinen schon etwa 96,3 % der Gesamtfracht der oben genannten sechs Problemgerätegruppen erfaßt werden.

Mangels statistischen Materials konnten gewisse minder- bis mittel PCB belastete Gerätegruppen, wie etwa Büromaschinen, Elektromotoren, Fernseher, Geschirrspüler, Kühlgeräte, Kopierer, Radios, Staubsauger, Wäscheschleudern und diverse andere gewerbliche Geräte in der Abschätzung nicht berücksichtigt werden. Das abgeschätzte PCB Emissionspotential von Kondensatoren in der gesamten Palette der Elektrogeräte dürfte daher in Wahrheit höher liegen, als das untenstehend angegebene.

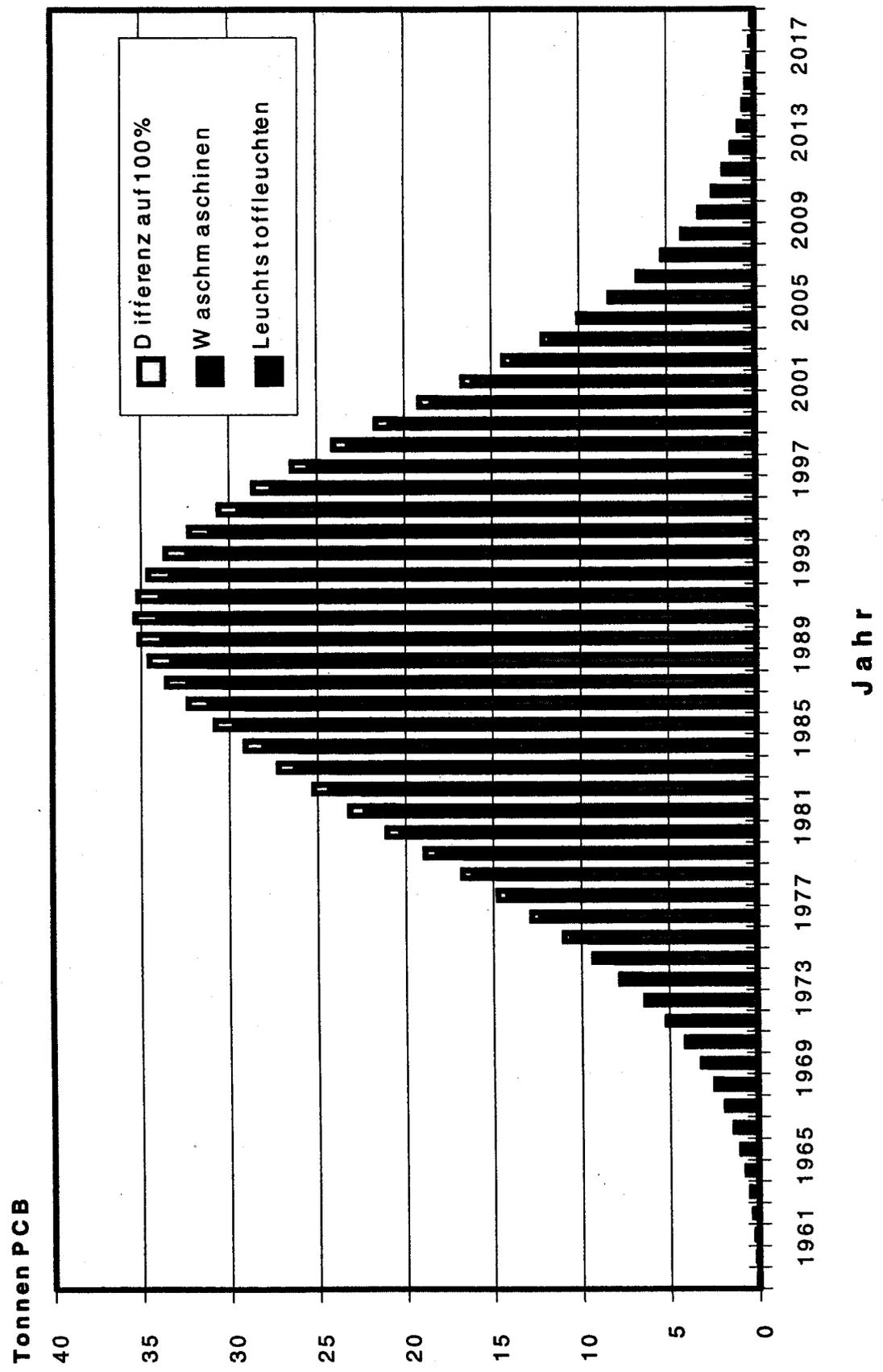
Tabelle 4.15: Mindestabschätzung des PCB Emissionspotentials von Kondensatoren in Elektrogeräten

	gesamt [t]	davon bis 1995 entsorgt [t]	noch in Verwendung [t]
PCB Fracht in Kondensatoren in Elektrogeräten	820	550	270

Zur Abschätzung des jährlichen Emissionspotentials wurden die Emissionspotentiale von Leuchten und Waschmaschinen addiert, und entsprechend hochgerechnet. Auf die individuellen Ausmusterungsraten der verbleibenden vier Problemgerategattungen konnte dabei nicht eingegangen werden. Die dadurch entstehende Ungenauigkeit dürfte jedoch gering sein, da Waschmaschinen und Leuchten bereits über 95 % der PCB Fracht in den Problemgeräten abdecken.

<sup>20</sup> Der Korrekturfaktor ergibt sich als „PCB haltige Kondensatoren/als PCB haltig deklarierte Kondensatoren“. Sein numerischer Wert folgt aus den Ergebnissen von (BARGHOORN, 1988).

Abbildung 4.6: Jährliches PCB-Emissionspotential von Kondensatoren in Elektrogeräten (Mindestabschätzung)



Eine detaillierte Prognose über die, in Elektrogeräten anfallenden PCB Menge, gibt Tabelle 4.16. Während bei Waschmaschinen der jährliche Eintrag schon im Jahre 2004 unter die 100 kg Grenze fällt, dauert dies bei den Leuchten immerhin bis zum Jahr 2021. Es muß allerdings an dieser Stelle noch einmal betont werden, daß wegen der statistischen Unsicherheiten sämtlicher Datenquellen ein Fehlerbereich von 20 % möglich ist. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten.

Tabelle 4.16: Zeitliche Prognose der anfallenden PCB Mengen in Elektrogeräten (gerundet<sup>21</sup>)

Jahr	PCB Emissionspotential Waschmaschinen [kg]	PCB Emissionspotential Leuchten [kg]	PCB Emissionspotential Elektrogeräte gesamt [kg]
1996	1.070	30.000	31.100
1997	870	28.600	29.500
1998	680	26.860	27.580
1999	520	24.900	25.500
2000	380	22.800	23.200
2001	270	20.500	20.800
2002	180	18.200	18.400
2003	120	15.900	16.050
2004	75	13.700	13.800
2005	45	11.600	11.650
2006	30	9.660	9.700
2007	15	7.900	7.950
2008	8	6.370	6.380
2009	4	5.040	5.050
2010	2	3.925	3.930
2011	1	3.000	3003
2012	0	2.250	2.250
2013	0	1.660	1.660
2014	0	1.200	1.200
2015	0	850	850
2016	0	600	600
2017	0	410	410
2018	0	270	270
2019	0	180	180
2020	0	120	120

\* Inklusive Leuchten

<sup>21</sup> Ab dem Jahr 2012 verschwindet der Beitrag der sonstigen Elektrogeräte (inklusive Waschmaschinen) im Rundungsfehler.

#### 4.1.4.5 Ölschütze

Von Beginn der 30er Jahre an, bis etwa 1975 wurden Ölschütze in Österreich hergestellt, und auch exportiert. Nach Angaben des Herstellers wurden diese aber nicht im Werk befüllt, sondern mußten vom Kunden mit Trafoöl befüllt werden. Die Öfüllmenge eines solchen Schalters für den privaten Gebrauch belief sich auf etwa 0,75 - 1 Liter. Eingesetzt wurden diese Schalter vor allem in Hauswasseranlagen zu Regulierung der Pumpenfunktion. Die außergewöhnlich lange Lebensdauer dieser Schalter (30 Jahre und mehr) machen es wahrscheinlich, daß noch viele Exemplare dieser Gattung in Betrieb sind. Nach Einschätzung der Branche wurden, wegen der hohen Preise der PCB allerdings vorwiegend mineralische Trafoöle eingesetzt. Allerdings kann eine Befüllung mit PCB auch nicht ausgeschlossen werden. Eine Quantifizierung des PCB Lagers in Ölschützen war wegen nicht vorhandener Daten nicht möglich.

#### 4.1.4.6 Ölgekühlte Gleichrichter

In der Galvanikbranche werden große und leistungsfähige Gleichrichteranlagen verwendet. Diese Anlagen (sogenannte Galvano - Gleichrichter) wurden mit Trafoölen zu Kühlzwecken befüllt. Die Füllmengen bewegen sich - je nach Ausführung von 100 kg - 5000 kg. Nach Angaben eines Herstellers wurden die Anlagen vom Kunden mit Trafoöl befüllt. Ob und wieviel PCB haltige Öle dabei eingesetzt wurden ließ sich nicht ermitteln. Die Lebensdauer von 20 - 25 Jahren dieser Anlagen machen es wahrscheinlich, daß noch einige Altanlagen, die zur Zeit der allgemeinen PCB Anwendung errichtet wurden, im Betrieb sind. Auch für ölgekühlte Gleichrichter kann eine mögliche PCB Kontamination nicht quantifiziert werden.

#### 4.1.4.7 Ölgefüllte Kabel

Bis Mitte der 70er Jahre wurden Spezialkabel mit ölgetränktem Isolierpapier auch in Österreich eingesetzt. Nach Auskunft der österreichischen Kabelwerke wurden keine PCB als Tränkmitteln in diesen Kabeln eingesetzt.

#### 4.1.4.8 Ölgefüllte elektrische Spulen

Ölgefüllte Spulen finden Anwendung als Erdschlußspulen, Sternpunktbildner, Sternpunkt-Erdungsdrosselspulen und Löschspulen. Ihre Aufgabe ist unter anderem die Verhinderung eines Erdschlusses und damit die Verhinderung des Zusammenbruches des Stromnetzes. Die Herstellung dieser Geräte erfolgt vorwiegend durch die Transformatorenhersteller. Nach Angaben der Hersteller wurde als Isoliermedium vorwiegend Mineralöl verwendet. Auf besonderen Kundenwunsch erfolgte eine Befüllung mit PCB.

Genauso wie bei den Mineralölbefüllten Transformatoren kam es auch bei den ölgefüllten Spulen zu PCB Kontaminationen. In Deutschland, wo dieses Problem untersucht wurde, schätzt man, daß etwa 10% der eingesetzten Spulen PCB kontaminiertes Mineralöl mit mehr als 50 ppm enthalten. In Österreich wurde, entsprechend der Meldepflicht PCB-haltiger elektrischer Betriebsmittel, erst eine Spule mit kontaminiertem Mineralöl gemeldet. Es ist aber davon auszugehen, daß noch mehr solcher kontaminierter Spulen in Verwendung sind.

#### 4.1.5 Zusammenfassende Diskussion der Abschätzung über den PCB Einsatz in elektrischen Betriebsmitteln in Österreich

Zusammenfassend sind in Tabelle 4.17 noch einmal die PCB Lagerbestände in elektrischen Betriebsmitteln für die Jahre 1983 und 1995 gegenübergestellt.

Tabelle 4.17: Gegenüberstellung der PCB Lager in elektrischen Betriebsmitteln für die Jahre 1983 und 1995 in Österreich

PCB in elektrischen Betriebsmitteln*	1983	1995 gemeldet	1995 Bestand geschätzt
	PCB [t]	PCB [t]	PCB [t]
Transformatoren	497	118,4	> 118,4
Leistungskondensatoren	512	24	93 - 183
Kleinkondensatoren	820		270
gesamt	1.829	142,4	481 - 571

\* Nicht berücksichtigt werden konnten mangels verfügbarer Daten PCB in Ölschützen, Spulen, etc..

Auffallend ist die geringe Zahl der Askareltrafos in Österreich. Die vom Fachverband genannte Zahl von 580 Stück Askareltrafos konnte allerdings durch Rückfrage bei den Herstellern plausibilisiert werden. Nach Auskunft des Verbandes der Elektrizitätswerke Österreichs ist, bis auf die gemeldeten 1,6 t, bereits alles PCB aus den Transformatoren der EVUs entsorgt worden (dies entspricht etwa 140 t). In den Betrieben der Industrie und in den öffentlichen Einrichtungen sind gegenwärtig 116,8 t Askarele in 45 Transformatoren gemeldet. Nimmt man an, daß durch die Meldungen alle Askareltransformatoren erfaßt wurden, dann würde dies bedeuten, daß von dem im Jahre 1983 erhobenen 444 Stück in Industrie und öffentlichen Einrichtungen der Bestand auf mittlerweile 10 % zurückgegangen ist. Angesichts der hohen Lebensdauer dieser Geräte (> 25 Jahre), ist eine derart hohe Ausmusterungsrate allerdings nicht plausibel. Es muß daher vermutet werden, daß das tatsächliche noch in Betrieb befindlichen Lager geringfügig größer ist.

Bei den Leistungskondensatoren war die Datenlage besonders schlecht. Hier konnten nur Herstellerinformationen, soweit verfügbar, zu einer Abschätzung herangezogen werden. Eine Erhebung des Fachverbandes, ähnlich wie bei den Askareltransformatoren, gab es nicht. Es scheint auch das Problembewußtsein im Hinblick auf PCB bei den Leistungskondensatoren nicht in dem Ausmaß ausgeprägt zu sein wie bei den Transformatoren.

Trotz der hohen Unsicherheit bei den geschätzten Frachten ist davon auszugehen, daß bei den Leistungskondensatoren, speziell in Industrie, Gewerbe und den öffentlichen Einrichtungen noch immer eine hohe Dunkelziffer nicht gemeldeter Kondensatoranlagen existiert. Diese Einschätzung wurde wiederholt von diversen Informanten bestätigt. So sind Fälle bekannt, wo PCB Kondensatoren in Altanlagen bewußt nicht gemeldet wurden, und sogar bei einem Wechsel des Betriebsstandortes mitübersiedelten.

Das PCB Lager in den noch in Verwendung stehenden Elektrogeräten von Haushalt und Gewerbe ist vorwiegend in der Weißware und in den Leuchtstoffleuchten lokalisiert. Während in der Weißware die Kondensatoren hauptsächlich als Motorkondensatoren Anwendung finden, dienen die Leuchtenkondensatoren der Blindstromkompensation. Das Verhältnis der eingesetzten PCB Mengen von Leuchtstoffleuchten zu Motorkondensatoren beträgt etwa 18 : 1 und verschiebt sich durch die entsprechend höhere Lebensdauer der Leuchten

stetig in Richtung der Leuchtenkondensatoren. Es kann angenommen werden, daß mit der Abschätzung von Waschmaschinen und Leuchten derüberwiegende Großteil der PCB Fracht in Elektrogeräten für Haushalt und Gewerbe erfaßt sind.

Die PCB Anwendungen in Spulen, Ölschützen, Kabeln, Gleichrichtern usw. konnten nicht quantifiziert werden. Nach Auskunft der Hersteller kamen bei diesen Anwendungen vor allem mineralische Transformatorenöle bevorzugt zum Einsatz. PCB Befüllungen waren die Ausnahme. Eine Kontamination der mineralischen Transformatoröle mit PCB dürfte allerdings vermehrt auftreten. Zahlenmaterial hierzu war nicht verfügbar.

Bei der **Österreichischen Post- und Telegrafverwaltung (jetzt Österreichische Post und Telekom Aktiengesellschaft)** wurde auf Anfrage mitgeteilt, daß die fachgerechte Handhabung und Entsorgung PCB haltiger Kondensatoren erstmalig 1991 mit Verweis auf das vom BMUJF herausgegebene Merkblatt *Entsorgung von PCB haltigen Kompensationskondensatoren für Gasentladungslampen* postintern geregelt wurde. PCB haltige Kondensatoren in Kompensationsanlagen wurden zum Teil bereits vor 1990 getauscht und einer fachgerechten Entsorgung zugeführt. PCB haltige Kondensatoren in Beleuchtungskörpern wurden überwiegend ausgetauscht. Mengenangaben lagen nicht vor.

Beim **Österreichischen Bundesheer** wurden auf Anfrage nur die Frachten der PCB relevanten Abfallschlüsselnummern mitgeteilt. Demnach fielen unter nur unter der Schlüsselnummer 54 107 (Trafoöle, halogenhaltig) im Jahre 1992 194 kg, im Jahre 1993 35 kg, im Jahre 1994 0 kg und im Jahre 1995 136 kg an PCB haltiger Abfälle an. Nähere Angaben über den PCB Einsatz in wehrtechnischen Geräten waren nicht verfügbar. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß beim Heer, wo Flammwidrigkeit und Einsatztauglichkeit der elektrischen Betriebsmittel einen sehr hohen Stellenwert haben, PCB haltige elektrische Betriebsmittel eingesetzt wurden.

Nach Auskunft von den **Österreichischen Bundesbahnen** wurde der Großteil an PCB-haltigen Transformatoren und Kondensatoren bis 1991 ausgetauscht und entsorgt. Die Gesamtmenge betrug nach Angaben der Österreichischen Bundesbahnen 67,7 t. Davon wurden bis Ende der 80er Jahre 43,5 t und die restlichen 24,2 t 1991 entsorgt. Bei diesen Angaben handelt es sich allerdings um jeweils die Gesamtmasse der Transformatoren bzw. der Kondensatoren. Die reine PCB Menge ist daher geringer. Derzeit sind noch ca. 1500 Liter PCB-haltiges Öl in Gleisdrosseln enthalten, die jedoch durch die Gemeinden oder Firmen entsorgt werden. Weiters gibt es noch einen Transformator mit ca. 40 - 50 Liter PCB-haltigen Isolationsöl und eine geringe Menge an Schmieröl (30 Liter) und Hydrauliköl (10 Liter). Interessant ist, daß nach Auskunft der Österreichischen Bundesbahnen keine PCB-haltigen Transformatoren in den Triebfahrzeugen und Triebwagen eingesetzt wurden.

#### 4.1.6 Vergleich der österreichischen Zahlen mit der Schweiz und Deutschland

In der Schweiz wurde der bekannte Bestand an PCB haltigen Transformatoren im Jahr 1986, zum Zeitpunkt des totalen Verbots auf 2000 - 3000, und der der Leistungskondensatoren auf 5000 - 7000 geschätzt. Dies entspräche etwa einer Menge von etwa 3000 - 4000 t reinem PCB (MÜLLER, 1994). Im selben Jahr kann der Bestand in Österreich in diesen Betriebsmitteln mit knapp unter 1000 t geschätzt werden, und liegt somit deutlich unter den schweizer Werten. Über eine Abschätzung von PCB Frachten in Kleinkondensatoren in der Schweiz ist nichts bekannt.

Eine detaillierte Studie über *Herkunft und Verbleib PCB haltiger Rückstände* hat die in der ehemaligen Bundesrepublik eingesetzte Menge an PCB in elektrischen Betriebsmitteln wie folgt quantifiziert (HILLEJAN und SCHAAFFHAUSEN, 1990):

Tabelle 4.18: *Herkunft und Verbleib PCB haltiger Rückstände (HILLEJAN und SCHAAFFHAUSEN, 1990)*

Gesamt PCB in Transformatoren (in der BRD verblieben)	22.826 t
Gesamt PCB in Kondensatoren (in der BRD verblieben)	13.127 t
Summe	35.953 t

In der ehemaligen BRD wurden seit den 50er Jahren PCB zur Befüllung von Transformatoren und Kondensatoren verwendet. Es wird angenommen, daß über 26.000 Askareltransformatoren in der BRD zum Einsatz kamen. Diese im Vergleich zu Österreich sehr hohe Zahl (mehr als ein Faktor 45 absolut, bezogen auf die Einwohnerzahlen mehr als ein Faktor 5), erklärt sich durch die verschiedenen Anschlußbedingungen für Großkunden der EVU (mehr kundeneigene Trafostationen), und durch die strenge Kontrolle der Brandschutzvorschriften durch den deutschen TÜV. Vergleichsweise dazu scheint die in den Kondensatoren eingesetzten Mengen von 13.127 t im Verhältnis (skaliert über die Einwohnerzahlen) den österreichischen Mengen von 1332 t zu entsprechen. Dabei werden die Leistungs- und Kleinkondensatoren zusammen betrachtet. Tabelle 4.19 listet die Resultate einer Arbeitsgruppe des ZVEI Fachverbandes Starkstromkondensatoren über den Bestand an PCB Kondensatoren Ende 1989 auf.

Tabelle 4.19: *Resultate einer Arbeitsgruppe des ZVEI Fachverbandes Starkstromkondensatoren über den Bestand an PCB haltigen Leuchten-, Motor- und Leistungskondensatoren Ende 1989 (HILLEJAN und SCHAAFFHAUSEN, 1990).*

Gesamt		davon		
		Leuchtenkondensatoren	Motorkondensatoren	Leistungskondensatoren
Stück	20.950.000	20.000.000	750.000	200.000
Masse [t]	16.250	4.000	250	12.000
PCB Menge [t]	6.700	1.800	100	4.800

Die in der Arbeitsgruppe erhobene Menge von 1.900 t in Kleinkondensatoren erscheint im Vergleich zu anderen deutschen Quellen eher gering. Aus den empirischen Daten der Studie *PCB Kleinkondensatoren* (BARGHOORN, 1988) wurde eine PCB Einsatz von rund 10.000 t in Kleinkondensatoren für Deutschland abgeschätzt. Nach diesen Zahlen müßte der Ende 1989 vorhandene Lagerbestand rund 6000 t betragen. Das bedeutet einen Unterschied um den Faktor 3.

## 4.1.7 Sonstige PCB Anwendungen in geschlossenen Systemen

### 4.1.7.1 PCB haltige Hydrauliköle

In der ehemaligen Bundesrepublik Deutschland waren Hydraulikflüssigkeiten für den untertägigen Bergbaubetrieb bis 1984 aus Brandschutzgründen PCB haltig. Der Bergbau bezog das PCB Hydrauliköl von Mineralölgesellschaften, die PCB mit Korrosionsschutzmitteln und weiteren Additiven (z.B. Phosphorsäureestern) für die spezifischen Erfordernisse des Bergbaus konditionierten (PCB Anteil der Hydrauliköle 70 Gew. %). Im Bergbau finden diese Flüssigkeiten unter anderem Verwendung in hydraulischen Kupplungen, Walzenschrämladern, Seilbahnmachinen und als Spülflüssigkeit zur Beseitigung von Verschmutzungen (HILLEJAN und SCHAAFFHAUSEN; 1990).

Im Jahr 1989 wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie an die Sektion VII des Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten (Oberste Bergbehörde) die Anfrage gestellt wieviel PCB im österreichischen Bergbau eingesetzt wurde. Im Antwortschreiben vom 20. Oktober 1990 wurde eine Gesamtmenge von 25.000 kg PCB, welche nur in Transformatoren und Kondensatoren enthalten sind, geschätzt. Bezüglich der Hydrauliköle wurde angegeben, daß diese nicht mehr in Verwendung sind. Hydrauliköle wurden in Österreich kaum eingesetzt, und in den letzten Jahren durch PCB-freie Substanzen ersetzt. Nach einer weiteren Anfrage an die oberste Bergbehörde im Rahmen dieser Studie, wurde die oben angeführten Aussagen bestätigt.

### 4.1.7.2 Ölradiatoren

Ölradiatoren sind elektrische Geräte zur Beheizung von Räumen. sie bestehen aus einem ölgefüllten Heizkörper und einer elektrischen Schalteinrichtung. Je Heizkörperrippe werden 0,2 bis 0,3 kg Ölfüllung benötigt. Im Durchschnitt hat ein Ölradiator 10 Rippen, sodaß sich eine Füllmenge von 2 bis 3 kg Öl ergibt. Nach Rücksprache mit Experten der Branche liegen keine Indizien vor, daß in Ölradiatoren älterer Bauart PCB vorhanden sein könnte. Es wurde argumentiert, daß in solchen Geräten keine besondere Eigenschaften von PCB benötigt würden (z.B. hohe Isolierfähigkeit) und daher schon das (damalige) Preisverhältnis von 1:10 zugunsten der herkömmlichen Mineralöle einen Einsatz von PCB ausgeschlossen haben dürfte. Über mögliche PCB Verunreinigungen der verwendeten Mineralöle lagen keine Informationen vor.

Eine Befragung eines italienischen Unternehmens im Zuge der Studie *Herkunft und Verbleib PCB haltiger Rückstände*, ergab, daß erst ab dem 1. Juni 1986 die Ölfüllungen dieser Radiatoren PCB frei waren (HILLEJAN & SCHAAFFHAUSEN, 1990). Vor diesem Zeitpunkt seien Öle eingesetzt worden, deren PCB gehalt um einen Faktor 20 oder 40 niedriger lagen, als in den EU Richtlinien 76/769/EWG (1000 ppm PCB) und 85/467/EWG (100 ppm PCB) vorgeschrieben. Diese Aussage ist nur so zu erklären, daß sogenanntes Thermalöl aus der Sekundärraffination eingekauft wurde, und der PCB Gehalt dem Hersteller bekannt war. Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß Radiatoren dieses Herstellers auch vermehrt nach Österreich importiert wurden. Die Lebensdauer von mehr als 15 Jahren vermuten, daß in diesem Falle noch ein großer Teil dieser Radiatoren in Verwendung ist.

## 4.2 VERWENDUNG VON PCB IN OFFENEN SYSTEMEN

Noch Anfang der 50er Jahre stand man dem Thema PCB vergleichsweise unkritisch gegenüber. Dies erklärt die weit verbreitete Verwendung polychlorierter Biphenyle in **offenen Systemen**. So fanden PCB, neben den klassischen „geschlossenen Anwendungsbereichen“, bis Mitte der 70er Jahre häufige Anwendung in einer breiten Palette von Konsumprodukten, wie etwa in Druckertinten, in Textilien, in Harzen, in Fugendichtungsmassen, in Schmierfetten, als Trägersubstanz in Insektiziden und in Immersionsölen für die Mikroskopie. Ein Beispiel wie sorglos mit dieser Substanz umgegangen wurde, ist die Tatsache, daß bis Anfang der 70er Jahre in Österreich PCB als Haftungsmitel für Insektizide im Weinbau eingesetzt wurde.

In dieser heterogenen Palette von Produkten schwankt die Gebrauchsdauer von weniger als einem Jahr (Insektizide) bis zu einigen Jahrzehnten (Flammschutzanstriche, Fugendichtungsmassen). Auch die eingesetzten PCB Mischungen und Konzentrationen variieren naturgemäß erheblich (von wenigen ppm in Druckfarben bis zu mehreren hunderttausend ppm in Thiokol Fugendichtungsmassen). Allen Produkten gemeinsam ist jedoch ihre Rolle als potentielle diffuse PCB Emissionsquelle. Es wird schon während ihres Gebrauches durch Verdampfen, Auswaschen und mechanischem Abrieb PCB unkontrolliert an die Umwelt abgegeben. Außerdem wurden und werden diese Produkte, unbeschadet ihres PCB Gehaltes, meist als nicht gefährliche Abfälle entsorgt, und gelangen so in Müllverbrennungsanlagen, oder auf Deponien.

Geht man davon aus, daß die PCB Produktion für die offenen Anwendungen Anfang der 70er Jahre in den **OECD Staaten** im Vorfeld eines OECD Beschlusses<sup>22</sup> eingestellt wurde (Monsanto 1971, Bayer 1972), dann kann, unter Berücksichtigung des Aufbrauchs von Lagerbeständen bei den Herstellern, angenommen werden, daß in diesen Staaten etwa **ab Mitte der 70er Jahre** kein PCB in offenen Anwendungen in Verkehr gebracht wurde.

In der ehemaligen DDR sind jedoch Fälle belegt, wo PCB als Zusatz zu PVC Anstrichstoffen bis 1982, als Weichmacher für die PVC Ummantelung von Kabeln bis 1983, und als Zusätze zu optischen Kittten bis 1984 eingesetzt wurden. Daher ist davon auszugehen, daß in den **ehemaligen Ostblockstaaten** PCB in offenen Anwendungen zumindestens **bis Mitte der 80er Jahre** in Verkehr gebracht wurde (SCHAAFFHAUSEN und GRAMENZ; 1993).

Durch den, zumindest in den OECD Staaten, vor mehr als 20 Jahren erfolgten Ausstieg aus der PCB Anwendung in offenen Systemen, war es unmöglich die in offenen Anwendungen in Verkehr gebrachten PCB Mengen in Österreich getrennt abzuschätzen. Unterlagen darüber wurden entweder **nie erhoben**, oder waren **nicht mehr verfügbar**. Deshalb wurde versucht, ausgehend von Erhebungen in Deutschland und der Schweiz unter Berücksichtigung der jeweiligen österreichischen Gebrauchsmuster die Zahlen auf Österreich zu übertragen. Durch die regen Handelsverflechtungen Österreichs, vor allem mit Deutschland, scheint eine Umrechnung der deutschen Zahlen gerechtfertigt, da vor allem bei den Konsumgütern die Produktpaletten in beiden Ländern ziemlich ähnlich strukturiert waren, und ein reger Güteraus-tausch bestand. Außerdem wurde eine Reihe PCB haltiger Produkte von multinationalen Konzernen erzeugt und vertrieben.

In der BRD wurden bis 1972 rund 24.000 t PCB für die Anwendung in offenen Systemen hergestellt. Dies entspricht rund 29 % der insgesamten PCB Produktion von Bayer (bis einschließlich 1983). Seit 1972 wurde kein PCB mehr zum Zweck des offenen Einsatzes mehr

---

<sup>22</sup> OECD-Beschluß vom 13. Februar 1973 über den Schutz der Umwelt vor PCB-Verunreinigungen.

vertrieben. Zahlen über Importe und Exporte von PCB zum Zweck des offenen Einsatzes liegen nicht vor, sodaß in erster Näherung angenommen werden muß, daß die 24.000 t PCB der in der BRD eingesetzten Menge in offenen Anwendungen entspricht (HILLEJAN und SCHAAFFHAUSEN, 1990). Tabelle 4.20 zeigt die Vertriebszahlen der Firma Bayer für die Jahre 1970 - 1972, dem Jahre des Ausstieges von Bayer aus der Produktion für offene Anwendungen.

Tabelle 4.20: Vertriebszahlen der Firma Bayer für die Jahre 1970 - 1972 (GOSSLER und HÖHLEIN, 1991)

Verwendung	1970		1971		1972	
	t	%	t	%	t	%
Elektrosektor	6745	77,9	6493	77,9	6026	80,6
Hydrauliköl	47	0,5	95	1,1	230	3,0
Lack und Weichmachersektor	1904	21,8	1744	20,9	1219	16,3
gesamt	8696		8332		7475	

In der Schweiz wird davon ausgegangen, daß zwischen 1930 und 1980 etwa 6000 t PCB eingesetzt wurden, die sich mit ca. 4000 t auf Transformatoren und Leistungskondensatoren, mit rund 1000 t auf Kleinkondensatoren, und mit etwa 1000 t auf offene Anwendungen (Weichmacher für Lacke, Kunststoffe, Dichtungsmassen, Klebstoffe, Flammenschutzmittel für Kabel) verteilen (STOLZ; 1995). Es fällt auf, daß der pro Kopf Anteil an PCB in offenen Systemen deutlich niedriger ist als in Deutschland (1000 statt der umgerechneten 2400 t<sup>23</sup>). Dies rührt daher, daß die PCB verarbeitenden Industriezweige (Farben u. Lackindustrie, Kunststoffindustrie) in der Schweiz nicht die gleiche Bedeutung hatten wie in der BRD (MÜLLER, 1994).

In der ehemaligen DDR wurden, wie bereits oben erwähnt, PCB in offenen Systemen bis Mitte der 80er Jahre eingesetzt. Die untenstehende Tabelle listet die eingesetzten Mengen, gegliedert nach Industriezweig, Anwendungszweck und Anwendungszeitraum auf. Die Zahlen sind als zuverlässig einzustufen, da über die Höhe der Einsatzmengen noch betriebliche Unterlagen vorhanden waren.

Tabelle 4.20: PCB Einsatz in der ehemaligen DDR in offenen Systemen (SCHAAFFHAUSEN und GRAMENZ, 1993)

Industriezweig	Anwendungsbereich	Anwendungszeitraum	PCB Einsatz [t]
Chemische Industrie	Zusätze zu PVC Anstrichstoffen	1962 - 82	810
Elektroindustrie	Weichmacher für PVC Ummantelung von Starkstromkabeln	1967 - 83	170
Optische Industrie	Zusätze zu Immersionsölen	1960 - 80	8,4
	Zusätze zu optischen Kittten	1960 - 84	2,5
Einsatz in offenen Systemen			1.020

<sup>23</sup> Umrechnungsfaktor Schweiz: Deutschland  $\cong$  1:10.

Es muß allerdings bemerkt werden, daß die 1.020 t PCB in offenen Systemen eine Mindestabschätzung für die DDR darstellen. Wieviel PCB in Produkten importiert wurde ist nicht bekannt.

In der Folge sollen nun einige der bedeutendsten offenen Anwendungsbereiche aufgezählt werden.

#### 4.2.1 Fugendichtungsmassen

Eine der häufigsten Anwendungen in diesem Bereich war die Verwendung als Weichmacher in Fugendichtungsmassen auf der Basis eines Polysulfid - Kunstharzes.

Eines der wichtigsten Handelsprodukte im Bereich der Polysulfid- Kunstharze trug den Produktnamen **Thiokol**, weshalb die damit hergestellten Fugendichtungsmassen auch häufig als „*Thiokol - Fugenmassen*“ bezeichnet wurden. Sie wurden von 1956 bis etwa 1975 als dauerelastischer Dichtstoff an Gebäuden mit Betonplattenbauweise verwendet. Thiokole wurden als Zweikomponentenmaterial verwendet. Für die Elastizität dieser Fugenmassen sorgte die Beimengung von PCB. Nach Empfehlung der Thiokol Gesellschaft, die den Rohstoff an die verschiedenen Hersteller lieferte, sollten 15 - 20 % PCB (Aroclor 1254) beigelegt werden. Es sind allerdings Fälle bekannt bei denen der PCB Anteile bis 40 % betrug. Zu bemerken ist allerdings, daß auch schon zur Zeit der PCB Anwendung ein großer Anteil der Thiokol - Fugenmassen PCB frei war.

Tabelle 4.22: Richtrezeptur für dauerelastische Fugendichtungsmassen (GOSSLER und HÖHLEIN, 1991)

Thiokol	Massen %
Aroclor (Clophen)	35
Füllstoffe	67
Haftmittelzusatz	5
Schwefel	0,1
Stearinsäure	1
Härtepasten	1,5

Virulent wurde das Problem der PCB haltigen Fugendichtungsmassen in Deutschland, als es wiederholt zu Fällen erhöhter Innenraumbelastungen kam, für die man zunächst auslaufende PCB Leuchtenkondensatoren verantwortlich machte. Bei näherer Untersuchung mußte man feststellen, daß PCB Belastung durch die dauerelastischen Fugendichtungsmassen hervorgerufen wurde. Eine Untersuchung von einigen hundert Schulen in Deutschland ergab Werte von 100 - 2000 ng/m<sup>3</sup>, wobei der vom deutschen Bundesgesundheitsamt empfohlene Grenzwert für dauerhafte Exposition bei 300 ng/m<sup>3</sup> liegt. Die Spitzenbelastungen von bis zu 23.000 ng/m<sup>3</sup> in den Schalträumen der Hamburger Telecom führten sogar zu einer Tages-schaumeldung am 17. August 1993.

Nach Schätzungen des UBA Berlin sind in der BRD insgesamt etwa 20.000 t Thiokol Fugenmassen mit mindestens 2000 t PCB verarbeitet worden (JAKOBI; 1995).

Untersuchungen in der Schweiz ergaben, daß diese Dichtungsmassen vor allem für hochbeanspruchte Bauten im Außenbereich, wie etwa Tunnels, Tanklager, Kanäle, oder Haus-

fassaden verwendet wurden. Ein spezielles Einsatzgebiet lag im Unterwasserbereich, in Kläranlagen oder in Schwimmbädern. Im Innenraumbereich wurden diese Dichtungsmassen in der Schweiz nicht eingesetzt. Für die Schweiz beläuft sich diese Schätzung daher nur auf rund 100 t Dichtungsmassen. Dies entspricht, auf die Rezepturen umgelegt rund 10 t - 20 t PCB für diesen Einsatzzweck (MÜLLER, 1994).

Nach Angaben der Branche wurden in Österreich keine Thiokol Fugendichtungsmassen hergestellt. Diese Fugendichtungsmassen wurden daher ausschließlich importiert. Eine genauere Quantifizierung der Menge war nicht möglich.

#### 4.2.2 Kunststoffe

PCB wurden als Weichmacher oder als Flammenschutz vor allem in Massenkunststoffen eingesetzt, so z.B. in PVC, PU - Schäumen, Polyamiden, Celluloseestern/ -ethern oder Polycarbonaten. PCB diente dabei als sogenannter Extender, d.h. als Ersatz für die teuren Weichmacher auf Phthalsäureesterbasis. Die Verwendung als Flammschutz und Weichmacher geht dabei Hand in Hand. So entnimmt man beispielsweise der Tabelle 3.7 über den Einsatz der Arochlorprodukte der Firma Monsanto, daß in PVC bis zu 7 - 8 % hochchlorierter PCB Mischungen (48 - 60 % Chlorgehalt), in Polyester Harzen bis zu 20 % hochchlorierter PCB Mischungen (60 % Chlorgehalt), und bei Epoxy - Harzen bis zu 20 % niedrig bis mittelchlorierter PCB Mischungen (21 - 48% Chlorgehalt) eingesetzt wurden.

Es war nicht möglich die tatsächliche Menge an PCB, die hierfür eingesetzt wurde zu rekonstruieren. Überdies ist zu bedenken, daß die meisten dieser Kunststoffe in Fertigprodukten nach Österreich eingeführt worden sind. Nach Auskunft der Branche sind die österreichischen Gebrauchsmuster ähnlich den deutschen. Der prozentuelle Einsatz von Kunststoffen ist in Österreich jedoch geringer als in Deutschland.

#### 4.2.3 Chlorkautschuklacke

Im Rahmen einer Studie über ökotoxikologisch problematische Organika in Korrosionsschutzbeschichtungen von Objekten wird gegenwärtig in der Schweiz eine Übersicht über die in Korrosionsschutzbeschichtungen verwendeten Organika erstellt, und die Emissionen und Emissionsfaktoren für PCB beim Korrosionsschutz im Freien abgeschätzt. Besonderes Schwergewicht wurde auf die Untersuchung von PCB in Chlorkautschuklacken gelegt.

Chlorkautschuklacke wurden sowohl für Grundierungen als auch für Zwischen- und Deckbeschichtungen eingesetzt. In diesen Zwischen- und Decklacken wurden im Zeitraum von 1947 - 1972 in der Schweiz große Mengen an PCB eingesetzt (27 - 30 % Clophen A 60). Es wird geschätzt, daß in der Schweiz ca. 1.000 t PCB haltige Chlorkautschuklacke produziert und eingesetzt wurden. Dabei wurden ca. 200 - 400 t PCB verarbeitet. Nach Schätzungen des Verbandes der schweizerischen Lack und Farbenfabrikanten sind bis heute etwa die Hälfte der bis heute applizierten Chlorkautschukbeschichtungen „abgebaut“, durch Sanierungen abgetragen, oder zusammen mit den Objekten der Entsorgung zugeführt wurden. Das bestehende PCB Potential in Chlorkautschukbeschichtungen wird für die Schweiz auf weniger als 100 t geschätzt (STOLZ, 1995).

In Österreich war bis Anfang/ Mitte der 70er Jahre der Einsatz von PCB in der Farben- und Lackindustrie üblich. PCB wurden nicht nur den Chlorkautschuklacken zugesetzt, sondern waren in fast allen Lacksystemen vertreten. Nach Angaben der Branche war die Situation in Österreich, bedingt durch die Internationalität der Bindemittelherstellung, durchaus mit der in

Deutschland und der Schweiz zu vergleichen. Daher kann größenordnungsmäßig angenommen werden, daß der Einsatz von PCB in Österreich alleine für Chlorkautschuklacke mehrere hundert Tonnen betrug (vergleiche Schweiz). Der Ausstieg aus der PCB Anwendung für Farben und Lacken erfolgte gleitend bis Mitte der 70er Jahre.

Es kann davon ausgegangen werden, daß auch in Österreich, vor allem bei Chlorkautschuk-schichtungen, wo taugliche Substitute lange Zeit nicht zur Hand waren, noch ein erheblicher Teil auf den Objekten appliziert ist, und so eine weitere diffuse PCB Emissionsquelle darstellt.

#### 4.2.4 Zusammenfassende Abschätzung über PCB Anwendung in offenen Systemen in Österreich

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß weder Informationen über die Verteilung der eingesetzten PCB Mengen, noch Hinweise auf Importe bzw. Exporte aufgrund des weit zurückliegenden Zeitraumes verfügbar waren. Qualitative Einschätzungen der Branche über österreichische Gebrauchsmuster lassen den Schluß zu, daß die Situation in Österreich für weite Produktpaletten durchaus mit der in Deutschland und der Schweiz zu vergleichen ist. Hinsichtlich der eingesetzten Mengen scheint jedoch der Vergleich mit der Schweiz angebrachter, sodaß mit einer **vorsichtigen Schätzung** ca. 500 - 1000 t PCB in offenen Anwendungen für Österreich zu rechnen ist. Die Unsicherheit dieser Schätzung ist, wie oben erwähnt, mit dem Nichtvorhandensein von Primärdaten zu dieser Problematik zu sehen.

In Österreich hat der Gesetzgeber mit zwei Verordnungen auf Teilbereiche der offenen PCB Anwendung relativ spät Bezug genommen:

- Die *Schmiermittelverordnung* vom 20. September 1990 enthält ein Verbot des gewerblichen Inverkehrbringens von Schmiermitteln mit PCB Zusätzen.
- Die *Antifoulingverordnung* vom 16. August 1990 enthält ein Verbot der Herstellung und des Inverkehrbringens von Antifouling-Anstrichen mit PCB und PCT Gehalt.

Es ist auch davon auszugehen, daß in Österreich diverse PCB haltige Produkte aus dem ehemaligen Ostblock in Verkehr gebracht wurden. Nachdem dort der Ausstieg aus der offenen Anwendung vermutlich erst Mitte der 80er Jahre erfolgte, und es unter den offenen Systemen Produkte mit einer hohen Lebensdauer gibt (vor allem im Baubereich), kann noch immer mit einem signifikanten PCB Eintrag in die Umwelt aus den offenen Anwendungen gerechnet werden.

### 4.3 PCB IN DER ABFALLWIRTSCHAFT

#### 4.3.1 Auswertung aus dem Abfalldatenverbund

Gemäß § 38 (1) *Abfallwirtschaftsgesetz* (AWG) ist am Umweltbundesamt ein Datenverbund zur Kontrolle von Art, Menge Herkunft und Verbleib gefährlicher Abfälle und Altöle eingerichtet. Zusammengefaßt sind die, den jeweiligen Landeshauptleuten gemeldeten Daten über gefährliche Abfälle und die, nach §§ 34 - 36 AWG bekanntgegebenen Daten, über Importe und Exporte gefährlicher Abfälle.

Die Begriffsbestimmungen für die Besitzer gefährlichen Abfalls (Erzeuger, Sammler Behandler) sind in der *Abfallnachweisverordnung* geregelt, die *Verordnung zur Festsetzung gefährlicher Abfälle* regelt welche Abfälle gefährlich, und somit begleitscheinpflichtig sind.

Demnach ist Abfallerzeuger, wer eine Tätigkeit ausübt bei der gefährliche Abfälle anfallen, Abfallsammler, wer gefährliche Abfälle entgegennimmt oder abholt, und Abfallbehandler, wer gefährliche Abfälle verwertet, ablagert oder sonst behandelt.

Im Hinblick auf PCB werden in der *Verordnung zur Festsetzung gefährlicher Abfälle* die Schlüsselnummern 54 107 und 59 901 (über die Verbindlicherklärung der ÖNORM S 2101 *Überwachungsbedürftige Sonderabfälle* vom 1. Dezember 1983), und durch § 2 (24) jene flüssigen Mineralölerzeugnisse, Emulsionen von Erzeugnissen von flüssigen Mineralölerzeugnissen, Motor-, Getriebe-, Hydrauliköle aus synthetischen Kohlenwasserstoffen aus synthetischen Carbonsäureestern und Schmiermittel auf Basis pflanzlicher Öle, die... mehr als 30 ppm PCB, PCT aufweisen, zu gefährlichen Abfällen erklärt. Die Schlüsselnummern 54 110 „PCB haltige Erzeugnisse und Betriebsmittel“ und 54 111 „sonstige PCB haltige Abfälle „ sind in der Verordnung nicht explizit erwähnt, sind aber, wegen des oft hohen PCB Kontaminationsgrades und dem damit verbundenen erheblichen Gefahrenpotential im Katalog gefährlicher Abfälle enthalten.

Tabelle 4.22: ÖNORM Schlüsselnummern PCB haltiger Abfälle

Code	Überwachungsbedürftige Sonderabfälle, ÖNORM S 2101 vom 1. Dezember 1983	Katalog gefährlicher Abfälle ÖNORM S 2101 vom 1. Juni 1993 und Abfallkatalog ÖNORM S 2100 vom 1. März 1990
54 107	Trafofüllungen, Wärmeträgeröle, Spülöle, chlorhaltig*	Trafoöle, Wärmeträgeröle, halogenhaltig
54 110	scheint nicht auf	PCB haltige und PCT haltige elektrische Betriebsmittel
54 111	scheint nicht auf	sonstige PCB- und PCT- haltige Abfälle
59 901	PCB/PCT ausgenommen Abfälle der Schlüsselnummer 54 107	polychlorierte Biphenyle und Terphenyle

\* können PCB enthalten

Die obenstehende Tabelle 4.22 enthält die PCB relevanten Abfallschlüsselnummern in den verschiedenen Fassungen der ÖNORMen. Zum Vergleich dazu ist untenstehend die LAGA Definition dieser Schlüsselnummern aufgelistet. Es fällt auf, daß in der LAGA Bezeichnung unter 54 107 nur PCB haltige Öle verstanden werden, während in der ÖNORM S 2101 (1. Dezember 1983) Bezeichnung der Zusatz „halogenhaltig“ (mit der Anmerkung „können PCB enthalten“) verwendet wird.

Tabelle 4.23: LAGA - Abfallschlüsselnummern PCB haltiger Abfälle (SCHENKEL, 1995)

Code	Bezeichnung	Herkunft
54 107	Trafoöle, Wärmeträgeröle, Hydrauliköle PCB enthaltend	Transformatoren, Umspannwerke, Bergbau, Chemische Industrie, Gewerbliche Wirtschaft, Öffentliche Einrichtungen
54 110	PCB haltige Erzeugnisse und Betriebsmittel	Herstellung, Anwendung und Entsorgung von Transformatoren, Kondensatoren und hydraulischen Betriebsmitteln
54 111	sonstige PCB haltige Abfälle	Gewerbliche Wirtschaft
59 901	PCB	Chemische Industrie, PCB Anwender

Eine Bilanzierung der als Abfall anfallenden PCB Massenstromes aus den Daten des Abfalldatenverbundes ist nicht möglich, da zwar die Abfallmassen der jeweiligen Schlüsselnummern vorliegen, nicht jedoch die PCB Gehalte. Es kann auch nicht mit „durchschnittlichen“ PCB Gehalten gerechnet werden, da die PCB Gehalte innerhalb der Schlüsselnummern leicht um 4 - 5 (!) Größenordnungen schwanken können. So fallen beispielsweise sowohl kontaminiertes Tafoöl mit mehr als 30 ppm PCB, als auch reines Askarel mit 700.000 - 800.000 ppm PCB unter ein und dieselbe Schlüsselnummer 54 107. Noch dazu impliziert halogenhaltig ja nicht notwendig PCB haltig. Die Situation bei den anderen Schlüsselnummern ist analog: Ein Askareltrafo mit der Masse von 2,5 Tonnen (inklusive Füllung) enthält etwa 0,8 Tonnen PCB, während ein gleich schwerer kontaminierter Mineralöltransformator mit 1000 ppm PCB im Tafoöl effektiv nur 1,5 kg PCB enthält. Beide Transformatoren scheinen aber mit ihrer Masse von 2,5 Tonnen unter der Schlüsselnummer 54 110 auf.

Trotzdem läßt sich über den Begriff des **anfallenden Abfalls** ein Eindruck über das Aufkommen PCB haltiger Abfälle (nicht über den PCB Massenstrom!) in Österreich gewinnen. Der Begriff anfallender Abfall setzt sich nach Definition aus der Summen von Primär- und *Sekundärabfall* zusammen. Dabei bezeichnet der Begriff Primärabfall die Massensumme der Übergabe gefährlichen Abfalls mit der Erzeugernummer ohne Berücksichtigung fallweiser innerbetrieblicher Übergaben und Behandlungen, während unter dem Begriff Sekundärabfall die Massensumme der Übergaben gefährlichen Abfalls mit Behandlernummer verstanden wird. Nicht berücksichtigt werden dabei die bei den Sammlern<sup>24</sup> angefallenen Massensummen gefährlichen Abfalls, und, wie bereits oben erwähnt, die innerbetrieblichen Übergaben. Es muß allerdings noch bemerkt werden, daß Doppelzählungen durch diesen Auswertungsmodus nicht ausgeschlossen werden können. Für die tatsächliche angefallene Menge an PCB-Abfall ist vermutlich der Posten *primärer Abfall* am aussagekräftigsten

Tabelle 4.25: Anteil an primären und sekundären Abfall in kg

Jahr		SN. 54 107	SN. 54 110	SN. 54 111	SN. 59 901
1992	primärer Anfall*	321.769	76.456	3.229	16.289
	sekundärer Anfall*	19.088	307	-	-
	Gesamtanfall*	340.857	76.763	3.229	16.289
1993	primärer Anfall**	55.505	309.662	1.154	11.690
	sekundärer Anfall**	-	3.550	-	-
	Gesamtanfall**	55.505	313.212	1.154	11.690
1994	primärer Anfall***	10.832	133.125	2.826	2.025
	sekundärer Anfall***	28.369	7.642	-	680
	Gesamtanfall***	39.201	140.767	2.826	2.705
1995	primärer Anfall***	28.601	149.091	2.121	6.430
	sekundärer Anfall***	6.700	5.160	-	3.545
	Gesamtanfall***	35.301	154.251	2.121	9.975

\* Stand 6.6.1994

\*\* Stand 22.3.1995

\*\*\* Stand Mai 1996

<sup>24</sup> Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß manchmal fälschlicherweise erstmalig anfallender Abfall auch mit der Sammlernummer übergeben wird.

### 4.3.2 PCB im Altöl

Unter dem Begriff Altöl versteht das *Altölgesetz (AÖG) 1986* gebrauchte oder durch eine produktspezifische Verwendung (wozu auch Lagerung und Transport gehören), verunreinigte flüssige Mineralölerzeugnisse, Emulsionen von Erzeugnissen, synthetische Motor-, Getriebe- und Hydrauliköle, sofern sie aus synthetischen Kohlenwasserstoffen bestehen und halogenfrei sind, und pumpfähige Rückstände und Wasser- Öl Gemische. Altöle mit mehr als 50 ppm PCB, PCT gelten als Sonderabfall. Das Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) 1990 hat den Altölbegriff des AÖG 1986 übernommen, mit dem Zusatz, daß auch Schmiermittel auf Basis pflanzlicher Öle nach Gebrauch zu Altöl werden können. Außerdem wurde die höchstzulässige Konzentration von PCB und PCT im Altöl auf 30 ppm gesenkt.

Die in der Folge verwendeten Daten entstammen zur Gänze der, vom Umweltbundesamt publizierten Studie *Zusammensetzung und Behandlung von Altölen* (BOOS et al., 1995).

In Österreich fallen derzeit Altölmengen in der Größenordnung von etwa 45.000 - 50.000 t pro Jahr an, die etwa zu gleichen Teilen aus dem KFZ- und dem industriellen Sektor stammen. Mehr als 80 % der jährlich anfallenden Altölmenge wird zentral in vier Großanlagen entsorgt: den Zementwerken in Gmunden und Peggau, den Treibacher chemischen Werken, und der Abfallverbrennungsanlage der Entsorgungsbetriebe in Simmering.

Tabelle 4.26: Thermische Entsorgung von Altöl in Österreich (BOOS et al., 1995)

Anlage	entsorgte Jahrestonnen 1992	entsorgte Jahrestonnen 1993
Gmundner Zementwerke	12.100	10.700
Peggauer Zementwerk	10.200	8.800
Treibacher Chem. Werke	1.100	1.100
EBS	15.700	16.300

Zur Bestimmung der Altölqualität, und damit des PCB Gehaltes, wurden in der oben genannten Studie zwei Datenquellen herangezogen:

- die Ergebnisse von knapp 200 Altölanalysen bei Altölerzeugern, und
- die Auswertung der Altölanalysen, die im Rahmen der Eingangskontrolle von Zementwerken durchgeführt werden.

Die erstgenannte Datenquelle deckt vor allem den automotiven Sektor ab. In diesem Sektor ist kaum mehr mit nennenswerten PCB Gehalten<sup>25</sup> zu rechnen. Die Auswertung der knapp 200 Proben, die bei Altölerzeugern (überwiegend KFZ-Werkstätten) in den Jahren von 1989 bis 1993 gezogen wurden ergab, daß nur in einer Probe pro Jahr ein PCB-Gehalt über der Nachweisgrenze (NWG) bestimmt werden konnte. Eine Ausnahme war das Jahr 1988 wo in 8 von 31 Proben ein PCB-Gehalt über der Nachweisgrenze analysiert wurde. Die mittlere Nachweisgrenze lag bei 0,36 ppm PCB. Tabelle 4.27 enthält eine Übersicht der Untersuchungen.

<sup>25</sup>Das Inverkehrbringen von Motorölen mit halogenhaltigen Zusätzen ist seit 1. September 1987 durch die *Altölverordnung* vom 17. Juli 1987 verboten. Das gewerbliche Inverkehrbringen von Schmiermitteln mit Zusätzen von PCB und PCT ist seit 1. Jänner 1991 durch die *Verordnung ... über das Verbot bestimmter Schmiermittelzusätze und die Verwendung von Kettensägenölen* vom 20. September 1990 verboten

Tabelle 4.27: PCB / PCT Gehalt [ppm] in KFZ Altölen (BOOS et al., 1995)

Altölherkunft	Maximum	Minimum	Mittelwert*	Analysenzahl	unter NWG
LKW	1,00	0,06	0,02	78	74
PKW	1,00	0,10	0,05	51	46
Baumaschinen	0	0	0	17	17

\* Analysenergebnisse unter der Nachweisgrenze wurden mit 0 ppm einbezogen.

Über die Auswertung der Analysendaten, die im Zuge der Eingangskontrolle in den Zementwerken durchgeführt werden, kann naturgemäß ein besserer Überblick über die PCB Belastung von Altölen gewonnen werden. Dieser Überblick ist insofern besser, als einerseits die anfallenden Altöle aus verschiedenen Herkunftsbereichen stammen, und andererseits der Entsorgungsweg über die Zementwerke knapp die Hälfte des in Österreich anfallenden Altöls ausmacht.

Beim Zementwerk in Gmunden wird jede Charge auf PCB analysiert. Somit ist es möglich eine genaue statistische Auswertung seit 1992 des dort angelieferten Altöls durchzuführen: Der Mittelwert über alle Analysen im Jahre 1992 beträgt 1,4 ppm PCB. Bei einer Jahresmenge von 13.195 t Altöl entspricht das 18 kg PCB. Im Jahr 1993 betrug der durchschnittliche PCB-Gehalt 4,8 ppm. Umgerechnet auf die Jahresmenge von 11.642 t Altöl ergibt das 59 kg PCB. Tabelle 4.28 zeigt sehr schön den rückläufigen Trend der PCB Gehalte im angefallenen Altöl von 1989 - 1992. Die erhöhten Werte im Jahre 1993 hängen möglicherweise mit dem Inkrafttreten der *Verordnung: Verbot von halogenierten Biphenylen, Terphenylen, Naphtalinen und Diphenylmethanen vom 23. März 1993* zusammen.

Tabelle 4.28: Mittlerer PCB-Gehalt des im Gmündner Zementwerk entsorgten Altöls (BOOS et al., 1995)

	1989	1990	1991	1992	1993
Anzahl der Analysen	101	228	470	638	729
PCB (ppm) (Mittelwert)	19,4	12,7	6,4	1,4	4,8
Altöl/Jahr (t)	1.949	4.995	10.172	13.195	11.642
Verbrannte PCB (kg/ Jahr)	37,8	63,4	65,1	18,4	55,9

Im Zementwerk Peggau werden nur solche Altölchargen auf PCB analysiert, deren Gesamtchlorgehalt größer als 0,5% beträgt. Zusätzlich werden noch fünf willkürlich herausgegriffenen Chargen pro Jahr beprobt und auf PCB analysiert. Dabei zeigte sich im Jahr 1992 ein Mittelwert von 7 ppm und im Jahr 1993 vom 24 ppm PCB. Da hauptsächlich nur von jenen Chargen der PCB-Gehalt bestimmt wurde, deren Gesamtchlorgehalt über 0,5 % lag, kann auch nicht auf eine Jahresfracht geschlossen werden.

Tabelle 4.29: PCB-Gehalte im Altöl des Zementwerkes Peggau (BOOS et al., 1995)

	1989	1990	1991	1992	1993
PCB-Gehalt (ppm)*	-	19	26	7	24
Altöl/Jahr (t)	1.345	6.663	11.835	10.889	9.561

\* Im Jahre 1990 wurden nur 41 Proben und in den Jahren 1991 - 1993 nur 12 -14 Proben analysiert.

Sowohl bei den Treibacher Chemischen Werken, als auch bei den Entsorgungsbetrieben Simmering waren keine systematischen statistischen Auswertungen über den PCB Gehalt des angelieferten Altöls verfügbar.

Für eine größenordnungsmäßige Abschätzung der Bandbreite des, über das Altöl laufenden PCB Massenstromes können, unter Berücksichtigung der Fehlerbereiche, die statistischen Auswertungen des Zementwerkes in Gmunden zugrundegelegt werden: Geht man von einem Altölaufkommen von etwa 50.000 t im Jahr 1992, und einem Aufkommen von 46.000 t im Jahr 1993 aus, dann folgt über Hochrechnung aus den Zahlen der Tabelle 4.28 ein jährlicher PCB Massenstrom von knapp 80 kg PCB im Jahre 1992, und 240 kg PCB im Jahre 1994. Daher bewegt sich der jährlich über das Altöl laufende PCB Massenstrom größenordnungsmäßig in der Bandbreite von etwa 50 - 250 kg.

### 4.3.3 PCB im Klärschlamm

Durch die häufige Anwendung der PCB in früheren Jahren, vor allem durch ihre weite Verbreitung in offenen Systemen sowie durch Lecks und unsachgemäße Entsorgung bei geschlossenen Systemen, sind sie auch heute noch im Abwasser nachweisbar. Sie gelangen im Rahmen der Abwasserreinigung in die Kläranlagen und reichern sich dort zu mehr als 95% im Klärschlamm an (DRESCHER-KADEN, 1989).

Wegen des hohen Nährstoffgehaltes findet der Klärschlamm oft als Düngemittel in der Landwirtschaft Verwendung. Die Düngung erfolgt dabei durch Ausbringen von Klärschlamm auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen. Durch den hohen Anreicherungsgrad der PCB im Klärschlamm kann es daher durch die landwirtschaftliche Nutzung des Klärschlammes zu einer Kontamination des Bodens mit PCB kommen. Zur Vorbeugung einer zu großen PCB-Belastung des Bodens sind in zwei österreichischen Bundesländern (Oberösterreich und Niederösterreich) Grenzwerte für den PCB-Gehalt von landwirtschaftlich genutzten Klärschlamm als Landesgesetz verankert:

- Oö Klärschlamm- Müll- und Klärschlammkompostverordnung vom 22. Februar 1993,
- NÖ Klärschlammverordnung vom 28. September. 1994.

Sowohl in Oberösterreich als auch in Niederösterreich ist der Grenzwert der 6 Ballschmitter-Kongeneren (PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-138, PCB-153, PCB-180) mit einem PCB Gehalt je Kongener von 0,2 mg/kg Trockensubstanz (TS) festgelegt<sup>26</sup>. Die in den Boden gelangten PCB können dann über verschiedene Wege in die Pflanzen und anderen Umweltkompartimente (z.B. Luft, Grundwasser,...) eindringen. Die folgende Berechnung schätzt aus Klärschlammuntersuchungen des Umweltbundesamtes die gesamte PCB-Menge, die pro Jahr im kommunalen Klärschlamm anfallen, ab.

Das Umweltbundesamt hat im Winter 1994/1995 von 17 kommunalen Kläranlagen den Dünnschlamm auf organische und anorganische Schadstoffe analysiert (UBA-BE-046, 1995). Es wurden darunter auch der Gehalt an 10 Kongeneren der PCB (PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-138, PCB-153, PCB-180, (6 Ballschmitter-Kongeneren), PCB-77, PCB-81, PCB-126, PCB-169 (Coplanare Kongeneren)) bestimmt. Die durchschnittliche Konzentration der Summe der sechs Ballschmitter-Kongeneren lag bei 0,08 mg/kg TS (Trockensubstanz).

<sup>26</sup> Oberösterreichische Klärschlamm, Müll- und Kompostklärschlammverordnung, LGBl. für Oberösterreich Nr. 21/1993; Niederösterreichische Klärschlammverordnung und 1. Novelle, Niederösterreichisches LGBl. 6160/2-0 (1994) und 6160/2-1 (1994)

Beprobt wurden Kläranlagen deren Plangröße größer oder gleich 30.000 Einwohnergleichwerte (EGW) ist.

#### **4.3.3.1 Hochrechnung der PCB-Fracht von Österreich im kommunalen Klärschlamm**

Aus den Daten der chemischen Untersuchung des kommunalen Klärschlammes wurde folgende Fracht an PCB errechnet: Bei den Untersuchungen enthielt der kommunale Klärschlamm durchschnittlich 5% Trockensubstanz. Dieses Ergebnis stimmt mit den Werten des Bundes-Abfallwirtschaftsplanes 1995 (DREIER, 1995) überein. Ebenfalls im Bundes-Abfallwirtschaftsplan 1995 wird der Anfall von kommunalen Klärschlamm in Österreich im Jahr 1991 mit 3,4 Mill. m<sup>3</sup> ( $\cong$  3,4 Mill. t) angegeben. Die angegebene Menge hat einen Trockensubstanzanteil von 5%, wodurch sich eine Feststoffmenge für das Jahr 1991 von 170.000 t ergibt. Für das Jahr 2.000 wird ein Anfall an Trockensubstanz aus kommunalen Klärschlamm von 260.000 t abgeschätzt. Nimmt man in erster Näherung einen linearen Anstieg des jährlichen Klärschlammaufkommens an, so ergeben sich für das Jahr 1995 210.000 t Trockensubstanz. Bei einem Trockensubstanzgehalt von 5% entspricht das einer Menge von 4,2 Mill t ( $\cong$  4,2 Mill m<sup>3</sup>) Schlamm. Wird diese Menge mit der Einwohnerzahl von Österreich des Jahres 1995 von 8.158.662 (ÖSTERREICHISCHER AMTSKALENDER 1995/96) auf einen Einwohner umgerechnet, so errechnet sich eine Feststoffmenge pro Kopf und Jahr von rund 26 kg Trockensubstanz, was einer Dünnschlammfracht von etwa 515 kg pro Einwohner und Jahr entspricht.

#### **4.3.3.2 Berechnung des Gesamtgehaltes an PCB aus den 6 Ballschmitter-Kongeneren**

Im Untersuchungsbericht des Umweltbundesamtes werden die Gehalte von den oben erwähnten 10 Kongeneren einzeln, und die sechs Ballschmitter-Kongeneren auch als Summe angegeben. Um den Gesamtgehalt an PCB abschätzen zu können, muß von den wenigen, quantifizierten Kongeneren auf den PCB Gehalt geschlossen werden können. Der empirische Faktor 5 ist für das spezifische Kongenerenspektrum im Klärschlamm, das sich von den herkömmlichen technischen Mischungen unterscheidet, zu hoch. Illic ermittelte bei Klärschlammuntersuchungen in Deutschland den Faktor 3,2 für die Umrechnung der Summe der sechs Ballschmitter-Kongeneren auf die Gesamt-PCB Menge (ILIC, 1994). Für die weitere Berechnung wird aus diesem Grund ebenfalls der Faktor 3,2 verwendet. Es ergibt sich daher für die, vom Umweltbundesamt analysierten kommunalen Klärschlämme, ein Gesamtgehalt an PCB von 0,256 mg Ges PCB/kg TS. Daraus errechnet sich eine Gesamtmenge an PCB in Österreich von 6,6 mg Ges PCB pro Einwohner und Jahr. Weiters ergibt sich nach Multiplikation mit der Einwohnerzahl von Österreich eine jährlich im Klärschlamm anfallende Gesamtmenge an PCB von 54 kg.

#### **4.3.3.3 Berechnung der durchschnittlichen Konzentration des Abwassers**

Nach Drescher-Kaden (DRESCHER-KADEN, 1989) werden mehr als 95% der im Abwasser vorkommenden PCB-Menge im Klärschlamm wiedergefunden. In unserem Fall sind daher die 54 kg Ges PCB/a 95% der Jahresfracht an PCB im gesamten Österreichischen Abwasser. Die Jahresfracht an PCB im Abwasser von Österreich beträgt daher:  $54/95 \cdot 100 = 56$  kg Ges PCB/Jahr.

#### 4.3.4 PCBs im Altpapier

In der Papierproduktion und der Papierverarbeitung ist der Einsatz von PCB dokumentiert. So wurden in der USA zur Herstellung von kohlefreiem Durchschreibpapier rund 20.000 t PCB eingesetzt. Dies fand auch in Europa Verbreitung. Die in der ersten Hälfte der 80er Jahre teilweise auftretenden hohen PCB Gehalte im Recyclingpapier wurden darauf zurückgeführt (GOSLER, HÖHLEIN, 1991).

Nach Auskunft des Fachverbandes für Papierindustrie wurde kohlefreies Durchschreibpapier in Österreich nie hergestellt. Solches Papier wurde nur importiert.

Jüngst in Österreich durchgeführte Untersuchungen über den PCB Gehalt von Karton zeigen einen mittleren Gehalt von 76 µg PCB/kg. Bestimmt wurden die 6 Ballschmitter-Kongenere, die als Summe angegeben wurden (WENZEL, 1996). Dieser Karton entspricht einem Recyclat, sodaß die angegebene Konzentration allgemein für Altpapier angenommen werden kann. Dabei ist aber zu beachten, da auch in der Studie Kartons untersucht worden sind, in denen keine PCB gefunden wurden. Das bedeutet, daß der angeführte Wert, eine Konzentration angibt, die im Altpapier sein kann und somit als obere Schranke angesehen werden muß.

Der Altpapieranfall in Österreich im Jahre 1993 betrug 115 kg pro Kopf und Jahr (PILZ, 1996). Mit der Einwohnerzahl von 8,158 Millionen ergibt das eine Menge von 938.170 Tonnen Altpapieraufkommen pro Jahr, was einer PCB-Menge (Summe der 6 Ballschmitter-Kongenere) von ca. 71 kg Jahresfracht entspricht. bei dieser Hochrechnung ist allerdings zu berücksichtigen, daß das Altpapieraufkommen von 1993 und die Einwohnerzahl von 1996 verwendet wurde. Weiters ist auch nicht berücksichtigt, da es noch keine diesbzüglichen Untersuchungen gibt, ob es einen Trend zu niedrigeren Konzentrationen an PCB im Altpapier im Laufe der Zeit existiert.

#### 4.3.5 PCB Kontamination der Shredderfraktionen

Autowracks, Sammel- und Mischschrott, Hauhaltsschrott, sowie Leichtschrott aus der Sortierung von Gewerbe- und Baustellenabfall werden gegenwärtig in Shredderanlagen aufgearbeitet. Dabei fallen, durch mechanische Zerkleinerung, Separierung und Magnetabscheidung eine eisenmetallhaltige Schwerfraktion (FE), eine nichteisenmetallhaltige Schwerfraktion (NE) und eine Leichtfraktion (bzw. nach Korngrößen geordnete Leichtfraktionen) an. FE und NE Fraktionen sind wertvolle Sekundärrohstoffe, während die anfallende Leichtfraktion hauptsächlich aus nichtmetallischen Fremdstoffen mit oft hohem Schadstoffgehalt zusammengesetzt ist, und sich daher nicht sinnvoll wiederverwerten läßt.

Bei näherer Betrachtung des Shreddergutes zeigt es sich, daß immer noch PCB belastete Geräte und Geräteteile, vor allem aus dem Haushalts- und Gewerbebereich geshreddert werden. Dies führt zu einer stetigen Kontamination der einzelnen Shredderfraktionen mit PCB. Im Hinblick auf die Kontamination sind sowohl die PCB Anwendungen in offenen, als auch in geschlossenen Systemen von Bedeutung. Während bei den geschlossenen Systemen vorwiegend die Leuchten- und Motorkondensatoren in Haushalts- und Gewerbeelektrogeräten durch mechanische Zerstörung zu einer mitunter recht hohen und punktuellen Kontamination der Leichtfraktion und des Staubes führen, sorgen die PCB in Lacken, Kunststoffen und Dichtungsmassen für einen kontinuierlichen diffusen Belastungshintergrund, der auch bei den metallischen Fraktionen noch nachweisbar ist.

Der Haupteintragspfad der PCB erfolgt über den Misch- und Sammelschrott. Im Gegensatz dazu weisen Autoteile relativ geringe PCB Kontaminationsgrade auf. Untersuchungen an

Kunststoffteilen, Gummidichtungen, Schaumstoffpolsterungen und Autoreifen ergaben durchwegs PCB Gehalte von weniger als 1 - 2 ppm. Allerdings war die entsprechende Shredder Leichtfraktion mit durchschnittlich 5 - 15 ppm höher belastet. Dies wurde auf eine mögliche Kontamination mit PCB haltigen Ölrückständen zurückgeführt (PYLYPIV, 1991). Eine PCB Belastung von Autowracks ist daher mit großer Wahrscheinlichkeit auf PCB haltige Schmierstoffe und Öle zurückzuführen. PCB Analysen von Altölen in Österreich ergaben allerdings einen niedrigen PCB Kontaminationsgrad (Tabelle 4.27) sodaß generell die PCB Belastung von Autowracks als relativ gering einzustufen ist.

In dem Projekt *Untersuchungen des Sammelschrotts auf PCB Quellen und Entwicklung geeigneter Vorbehandlungsmaßnahmen*, wurden die Verwertungs und Entsorgungsmöglichkeiten der Leichtfraktion von Misch- und Sammelschrott untersucht, und die PCB Eintragspfade quantifiziert (SCHIEMANN, 1995). Dabei ließ sich die heterogene Zusammensetzung von Misch- und Sammelschrott besser durch die Unterteilung in *Weißware* (Wachmaschinen, Herde, Wäschetrockner, Spülmaschinen, etc...), *Formstähle und Kleinteile* (Profile, Stäbe, Drähte, Bleche, etc...), und *Elektronikschrott* (EDV Geräte, Unterhaltungselektronik, etc...) überblicken. In zwei verschiedenen Shredderanlagen wurde die Belastung der FE-, NE-, der Leichtfraktion, und der Stäube bezogen auf einen definierten Input gemessen. Außerdem wurde untersucht inwieweit sich die PCB Belastung durch spezielle Vorbehandlungsmaßnahmen des Shreddergutes senken lassen.

Bei diesen Versuchen zeigte sich, daß durch Ausbau aller Kondensatoren bei der weißen Ware die PCB-Belastung der Leichtfraktion um 10 ppm zu liegen kommt. Der Ausbau aller PCB-haltigen Materialien (betrifft Dichtungen und potentiell PCB haltige Kunststoffteile) bringt keine wesentliche Senkung der Belastung. Im Falle der Formstähle und Kleinteile kann die Belastung der Leichtfraktion durch Entfernen von Geräteteilen in denen PCB in geschlossener Anwendung vorliegt in den Bereich zwischen 10 und 50 ppm gebracht werden. Diese Geräteteile sind in dieser Gruppe oft als loses Stückgut im Vormaterial vorhanden. Bei zusätzlichen Ausbau von Teilen mit PCB in offener Anwendung hat die Leichtfraktion wieder einen Grundpegel von ca. 10 ppm PCB. Allgemein kann man daher sagen, daß durch gezielte Vorbehandlungsschritte die Shredderleichtfraktion auf einen PCB-Gehalt zwischen 10 und 50 ppm gebracht werden kann.

Ähnliches konnte auch bei den Staubanalysen festgestellt werden. So zeigte der Staub von der unbehandelten weißen Ware Werte bis zu 200 ppm, von der gering vorbehandelten Ware (Ausbau der Kondensatoren) Werte von 70 ppm, und von der umfangreich vorbehandelten Ware (Ausbau aller PCB-haltigen Teile, Kunststoffe und Dichtungsmassen) auf 11,5 ppm. Analog war auch die Abnahme des PCB-Gehaltes des Staubes von den geschredderten Formstähle und Kleinteile von 40,5 ppm auf 24 ppm nach entsprechender Vorbehandlung zu verzeichnen (SCHIEMANN, 1995).

In der Studie *Untersuchungen zur PCB - Problematik von Kleinkondensatoren*<sup>27</sup> findet sich eine exemplarische Hochrechnung auf der Basis einer statistischen Gesamtheit aus Haushaltsgroßgeräten (Waschmaschinen, Geschirrspülern, Elektroherden und Wäschetrocknern), die eine durchschnittlichen PCB Belastung des Shreddergutes von 91 ppm ergibt. Diese kumulative Durchschnittsbelastung ist jedoch für die einzelnen Fraktionen nicht repräsentativ. So dürfte die Kontamination der Feinfraktion und des Staubes wegen der großen spezifi-

---

<sup>27</sup> Die Studie wurde im Rahmen des bereits vorher zitierten Projektes *Modellversuche zur Sammlung, Demontage und Verwertung von Elektro- und Elektronikaltgeräten (EAG) im Bezirk Weiz (Steiermark)* erstellt.

schen Oberfläche deutlich höher sein, während die FE Fraktion deutlich geringer belastet ist. (LORBER et al., 1995).

Aus diesen Untersuchungen folgt, daß die Hauptbelastung der Shredderfraktionen von der PCB Anwendung in geschlossenen Systemen herrührt. Durch eine gezielte Vorbehandlung (Ausbau der PCB Kondensatoren) ließe sich die allgemeine PCB Belastung vor allem in den am stärksten belasteten Fraktionen mit vertretbarem Aufwand senken. Im Hinblick auf die noch immer in Gebrauch befindlichen PCB Frachten in Kleinkondensatoren, und der Tatsache, daß nur ein kleiner Teil der Geräte vorbehandelt wird, ergibt sich hier für die Entsorgungswirtschaft Handlungsbedarf.

#### 4.3.6 PCB in den Deponien

Bis jetzt wurden in Österreich deponierbare Abfälle nach Eluatklassen, gemäß der ÖNORM S 2072 eingeteilt. Im Rahmen der Eluatklasseneinteilung werden für bestimmte Stoffe und Stoffgruppen Grenzwerte festgelegt, die im Eluat nicht überschritten werden dürfen. PCB werden bei dieser Untersuchung nicht direkt bestimmt, sondern nur der POX (austreibbare organische Halogenverbindungen) und bei der Eluatklasse III auch der EOX (extrahierbare organische Halogenverbindungen). Allerdings sind alle Abfälle, die mehr als 100 mg/kg TS PCB beinhalten von der Deponierung ausgeschlossen. Die Bestimmung der Summe der PCB erfolgt laut ÖNORM S 2110 nach der DIN 51 527 Teil 1.

Spätestens ab 1.1.1997 tritt in Österreich die Deponieverordnung (BGBl. 164/1996) in Kraft. Diese wird künftig die ÖNORM S 2072 (Eluatklassen) insofern ersetzen, da im Rahmen der Verordnung die Bestimmung von Parametern im Eluat zur Einteilung der Deponierbarkeit vorgesehen ist. In dieser Verordnung werden zwischen

- Bodenaushubdeponie,
- Baurestmassendeponie,
- Reststoffdeponie und
- Massenabfalldeponie

unterschieden. Die Einteilung auf welcher Deponie ein bestimmter Abfall deponiert werden darf, erfolgt über die Gesamtbeurteilung des Abfalles. Dazu müssen unter anderem neben einer Gesamtanalyse nach der ÖNORM S 2110 auch Eluate (nach DIN 38 414 Teil 1) untersucht werden. In der Verordnung ist analog der Eluatklasseneinteilung (ÖNORM S 2072) kein Grenzwert für PCB im Eluat vorgesehen. Jedoch werden in den Eluaten Grenzwerte für die Summenparameter EOX (extrahierbare organische Halogenverbindungen) und bei der Gesamtanalysen für die Deponierung auf Massenabfalldeponien für POX vorgeschrieben. Die Analyse des Parameters PCB wird bei der Gesamtanalyse erforderlich sein, jedoch existiert dazu kein Grenzwert.

Auf Grund dieser Einteilung von Abfällen dürften auf Deponien, bis auf eine geringe Grundbelastung, keine PCB zu finden sein. Dies sollte sowohl für das Deponiegas als auch für das Deponiesickerwasser gelten. Müller und Hör (MÜLLER, HÖR, 1987) untersuchten die PCB-Emission im Deponiegas um ein Prognosemodell für die Belastung im Umfeld einer Deponie zu entwickeln. Sie fanden im Deponiegas eine mittlere Belastung von 1,1 µg PCB/Nm<sup>3</sup> und zeigten weiters, daß bei der Verbrennung des Deponiegases die Vernichtung und Erzeugung der PCB in etwa gleich ist. Es erfolgten Messungen an drei Stellen der Deponie. Weiters wurden 1984 von 8 Deponien in der Bundesrepublik Deutschland im Mittel 0,4 µg/m<sup>3</sup> PCB im Deponiegas gefunden (WILKEN, ZESCHMAH-LAHL, 1994). Da derzeit keine Daten von Deponiegasanalysen auf PCB vorhanden sind, kann auch keine Aussage darüber ge-

macht werden, ob dieser Wert auf den damals (1985) noch sehr häufigen Gebrauch von PCB-haltigen Materialien, die in der Deponie gelandet sind, zurückgeführt werden kann, oder ob es sich wirklich nur um einen Grundpegel, der allerdings heute auch vorhanden sein müßte, handelt.

In der Schweiz ließen sich 1994 (MÜLLER, 1994) keine konkreten Aussagen über eine Emission von PCB aus Deponien machen. Eine amerikanische Studie ergibt eine PCB-Emission von 10 bis 100 kg PCB pro Jahr über das Deponiegas (MURPHY, 1985). Wird diese Menge auf die Einwohnerzahl von Österreich ( $\approx 1/30$  der Bevölkerung der USA) umgerechnet, so ergibt sich eine Emission von 0,33 bis 3,3 kg PCB pro Jahr aus dem Deponiegas aller Deponien von Österreich. Dieses Ergebnis ist allerdings mit der Einschränkung, daß es sich um Zahlenmaterial aus den USA aus dem Jahr 1985 handelt zu betrachten. Neuere Zahlen liegen derzeit nicht vor. Es wäre daher wichtig, in Zukunft PCB Analysen von Deponiegas durchzuführen, um neuere Daten zu bekommen.

Auch im Deponiesickerwasser dürften neben einer geringen Grundbelastung keine PCB zu finden sein. Aus der sehr dürftigen derzeitigen Datenlage geht allerdings hervor, daß in jedem Sickerwasser PCB im  $\mu\text{g/l}$ -Bereich zu finden sind. In 8 deutschen Deponien wurden im Mittel 23  $\mu\text{g PCB/l}$  bestimmt (WILKEN, ZESCHMAR-LAHL, 1994). Allerdings sind auch diese Zahlen aus dem Jahr 1984.

Allgemein kann festgestellt werden, daß derzeit noch viel zu wenig Daten vorhanden sind, um eine genaue Gefährdungsabschätzung von Deponien bezüglich einer PCB Belastung angeben zu können. Jedenfalls sollten die PCB zum Routineparameterumfang bei der Analyse sowohl des Deponiegases als auch des Deponiesickerwassers gehören.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Im Rahmen dieser Studie wurde versucht einen Überblick über die Einsatzgebiete, die eingesetzten Mengen und, wo dies möglich war, den aktuellen Lagerbestand von PCB in Österreich zu gewinnen.

Aufgrund des sukzessiven Ausstieges aus der PCB Produktion für offene Systeme<sup>1</sup> Anfang der 70er Jahre, und für geschlossene Systeme in den 80ern, waren, zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie, die relevanten produktions und produktbezogenen Daten mehr als ein, oft sogar mehr als zwei Jahrzehnte alt. Dementsprechend aufwendig und mühsam gestaltete sich die Datenbeschaffung. Auch die Strategie quantitative Daten auf mindestens zwei unabhängigen Wegen zu ermitteln, konnte nicht immer erfolgreich verfolgt werden. Dort, wo jedoch bereits Beständserhebungen durchgeführt wurden, wie z.B. im Falle der Askareltransformatoren, konnten diese durch Befragung der größten Hersteller plausibilisiert werden. Zusätzlich erschwerte die Arbeit noch durch die Tatsache, daß in den statistischen Berichtssystemen in Österreich die Stoffklasse PCB als eigener Posten nicht aufgeführt ist, und daher statistische Eckdaten nicht zur Verfügung standen.

Trotzdem ist es gelungen, vor allem in den wichtigsten klassischen Anwendungsbereichen der elektrischen Betriebsmittel die eingesetzten Mengen und die noch vorhandenen Lager mit hinreichender Genauigkeit zu quantifizieren. Beim akuten Problembereich der Kleinkondensatoren konnte sogar die zeitliche Dynamik des PCB Massenstromes in die Abfallwirtschaft berechnet, und so das jährlich zu erwartende Emissionspotential quantifiziert werden.

Die Haupteckdaten der Studie können wie folgt zusammengefaßt werden:

- PCB stellen in Österreich nach wie vor ein **bedeutendes** und nach wie vor **hochaktuelles** Umweltproblem dar.
- Mehr als 1.800 Tonnen PCB wurden in Österreich in **elektrischen Betriebsmitteln** eingesetzt. Dies entspricht etwa 2/3 der insgesamt in Österreich eingesetzten Menge. Mit rund 500 - 600 t stellt das gegenwärtige PCB Lager in elektrischen Betriebsmitteln (Stand Dezember 1995) das bedeutendste anthropogene PCB Lager dar.
- In **Askareltransformatoren** wurden in Österreich rund 500 t PCB eingesetzt, wobei rund ¾ des Bestandes bereits entsorgt sind (Stand: Dezember 1995), und die verbleibenden Geräte bis Ende 1999 außer Betrieb zu nehmen sind.
- Die 100 t gemeldeter **Kontaminierter Trafoöle** tragen mit etwa 250 kg nur einen kleinen Teil zum PCB Lagerbestand bei. Die Kontaminationsgrade der eingesetzten Öle schwanken dabei von 30 bis zu mehreren tausend ppm. Bei kontaminierten Trafoölen ist mit einer erhöhten Dunkelziffer zu rechnen, da diese Öle, außer in Transformatoren, wegen ihrer Isolier- und Wärmeübertragungseigenschaften auch noch in Spulen, Gleichrichtern, Ölschützen und Schaltern eingesetzt wurden.
- Bei den **Leistungskondensatoren** wurden insgesamt mehr als 500 t PCB in Österreich eingesetzt. Bei diesen Geräten klafft allerdings eine erhebliche Lücke zwischen gemeldeten, und vermutlich noch in Betrieb befindlichen Geräten. Das gegenwärtige PCB Lager in Leistungskondensatoren dürfte etwa bei 90 - 180 t liegen, wobei nur rund 24 t gemeldet sind. Diese hohe Dunkelziffer zeigt, daß von diesen Geräten ein erhöhtes Gefährdungspotential ausgeht, da a priori nicht davon ausgegangen werden kann, daß diese Geräte allesamt einer geregelten Entsorgung zugeführt werden.

---

<sup>1</sup> Der Ausstieg aus den offenen Anwendungen Anfang der 70er bezieht sich auf die OECD Staaten.

- In **Kleinkondensatoren** wurden insgesamt rund 820 t PCB eingesetzt, wobei 550 t bereits entsorgt, und 270 t noch in Gebrauch sind. Die ordnungsgemäße und fachgerechte Entsorgung der Kleinkondensatoren nach dem Stand der Technik ist bisher noch nicht flächendeckend gewährleistet. Es kann davon ausgegangen werden, daß gegenwärtig noch ein großer Teil des in Kleinkondensatoren anfallenden PCB über Shredderung bzw. Deponierung unkontrolliert in die Umwelt gelangt. Das Gefährdungspotential dieser Emissionsquelle wird noch bis in die erste Hälfte des nächsten Jahrhunderts relevant sein: Gemäß der durchgeführten Prognose für das PCB Emissionspotential aus Elektrogeräten, wird erst im Jahre 2021 die jährlich aus Elektrogeräten anfallende PCB Menge weniger als 100 kg betragen.
- Über **Spulen, Ölschütze, Gleichrichter und Ölschalter** war keine quantitative Abschätzung der PCB Gehalte möglich. Es ist zwar prinzipiell nicht auszuschließen, daß diese Geräte vereinzelt mit Askarelen befüllt wurden, im allgemeinen wurde zur Befüllung dieser Geräte jedoch mineralisches Trafoöl verwendet. Eine Kontamination dieser Öle mit PCB ist möglich. Mit **PCB getränkte Kabel** wurden in Österreich nicht eingesetzt.
- Die in Österreich eingesetzten PCB Mengen in **offenen Systemen** mußten indirekt über Literaturangaben, unter Berücksichtigung der österreichischen Einsatz- und Gebrauchsmuster, abgeschätzt werden. Insgesamt kann von einem Einsatz von 500 - 1000 t in offenen Anwendungen ausgegangen werden. Die oben abgeschätzte Fracht läßt sich mangels Daten jedoch nicht auf die einzelnen Anwendungsbereiche quantitativ aufschlüsseln.
- Bis Anfang der 70er Jahre war der Einsatz von PCB in fast allen **Lacksystemen** üblich. Durch die Internationalität der Bindemittelherstellung ist die Situation durchaus mit dem der Nachbarstaaten zu vergleichen, wo es zu einem massiven Einsatz von PCB vor allem in Chlorkautschuklacken kam. Es ist anzunehmen, daß ein Teil der PCB haltigen Beschichtungen auch heute noch in Verwendung steht. Solche Beschichtungen sind als langlebige diffuse Quelle von Bedeutung.
- Bis Anfang der 70er Jahre wurden in Österreich PCB bewußt in die Umwelt als **Träger-substanz für Insektizide** im Weinbau eingesetzt.
- PCB haltige **Fugendichtungsmassen** wurden in Österreich zwar nie hergestellt, dafür aber mit großer Wahrscheinlichkeit importiert, und bei Gebäuden mit Betonplattenbauweise eingesetzt. Durch die lange Lebensdauer dieser Gebäude ist ein Teil dieser Dichtungsmassen vermutlich noch in Verwendung und kann möglicherweise zu einer Kontamination der Innenraumluft führen.
- Über den Einsatz von PCB als Weichmacher oder Flammschutzmittel in **Massenkunststoffen** war weder eine quantitative, noch eine qualitative Abschätzung möglich. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß PCB in Kunststoffen, durch den Import von Gebrauchsgütern, auch in Österreich von Bedeutung war.
- Die PCB Gehalte im **Altöl** zeigen eine sinkende Tendenz. Der gegenwärtige PCB Massenstrom im Altöl liegt in der Bandbreite von 50 - 250 kg pro Jahr.
- Die jährliche PCB Fracht im **Klärschlamm** bewegt sich in der Größenordnung um die 50 kg.
- Über die Kontamination der **Shredderfraktionen** konnten mangels verfügbarer Daten keine quantitativen Abschätzungen durchgeführt werden. Qualitativ läßt sich jedoch sagen, daß vor allem die Shredderleichtfraktion und der im Shredder anfallende Staub bei nicht vorbehandeltem Shreddergut (hauptsächlich Weißware) hoch belastet sind. Vor allem das Shreddern von Elektrogeräten, die PCB Kondensatoren enthalten, kann punktuell

zu hohen Kontaminationen der Leichtfraktion und des Staubes führen. Ein diffuser PCB Hintergrund wird durch die offenen Anwendungen verursacht.

- **PCB im Deponiegas** wurde auf österreichischen Deponien zwar nachgewiesen, eine seriöse Abschätzung der PCB Emissionen läßt sich aufgrund der spärlichen verfügbaren Datenlage jedoch nicht machen. Allerdings ist die gegenwärtige PCB Emission aus Deponien in der Größenordnung von wenigen kg pro Jahr zu suchen. Problematisch ist auch die Tatsache, daß bei der Verbrennung des Deponiegases die Vernichtung und Erzeugung von PCB in etwa gleich ist. Eine Gefährdungsabschätzung der Deponien im Hinblick auf PCB Emissionen wäre daher erforderlich.

In der vorliegenden Studie war es möglich die relevanten PCB Massenströme zu identifizieren und größtenteils zu quantifizieren. Trotz gelegentlich großer Unschärfen bei den Daten, wie etwa bei der PCB Anwendung in offenen Systemen, lassen sich dennoch richtungssichere Aussagen im Hinblick auf das latente PCB Gefährdungspotential und die Prioritätensetzung bei den zu treffenden Maßnahmen ableiten.

Die bedeutendste potentielle PCB Emissionsquelle stellen die **Kleinkondensatoren** in Haushalts- und Gewerbeelektrogeräten dar. Hier muß mit einer Maßnahme an der Quelle verhindert werden, daß diese Geräte unkontrolliert beseitigt werden. Auf der Ebene des Altmetallhandels ist es vielfach schon zu spät, um noch effizient eingreifen zu können. Als Maßnahmen für eine Verbesserung der umweltgerechten PCB Entsorgung, wären aus der Sicht des Umweltbundesamtes folgende Maßnahmen zu ergreifen:

- Bei der kommunalen Entsorgung sind Haushaltsgroßgeräte und Leuchten getrennt zu erfassen, und entsprechend zu behandeln (Ausbau der Kondensatoren).
- Eine effiziente Entsorgungsschiene kann über die Rücknahme von Altgeräten über den Elektrohandel und/ oder der Großkaufhäuser installiert werden: So könnten etwa bei Installation bzw. Lieferung der Neugeräte, die Altgeräte mit minimalem Aufwand gegen einen Entsorgungsbeitrag mitgenommen, und anschließen einem Behandler übergeben werden.
- Dem Gewerbe der Elektroinstallateure kommt im Hinblick auf die Schadstoffentfrachtung von Leuchten besondere Bedeutung zu: Hier gilt es im Zuge der Erneuerung von Beleuchtungsanlagen die alten Leuchten zu demontieren, zurückzunehmen und die Kondensatoren auszubauen. Dies ist bei Leuchten mit minimalem Aufwand möglich. Eine flächendeckende Maßnahme in diesem Bereich würde den **Großteil des PCB Massenstromes** aus Kleinkondensatoren erfassen.
- Bei Gebäudeabrissen und Sanierungsarbeiten sind die Elektroinstallationen vor dem Abriß von fachgerecht zu demontieren und ordnungsgemäß zu entsorgen.

Bei den noch im Einsatz befindlichen **Leistungskondensatoren** muß sichergestellt werden, daß diese fristgerecht außer Betrieb genommen, und einer, dem Stand der Technik entsprechenden Behandlung zugeführt werden. In diesem Bereich ist noch eine erhebliche Dunkelziffer nicht gemeldeter Kondensatoren zu vermuten. Erfahrungen aus dem Projekt *Aktion PCB* in Linz haben gezeigt, daß Erhebungen im Zuge von Kontrollen der zuständigen Behörden eine ausgesprochen wirksame Maßnahme darstellen, jedoch mit erheblichem zeitlichen und personellen Aufwand verbunden sind.

Im Bereich der offenen Anwendungen kann vor allem im Baubereich, wo naturgemäß langlebige Güter eingesetzt werden, durch PCB haltige **Fugendichtungsmassen** und **Lackbeschichtungen** ein unmittelbares Gefährdungspotential für Mensch und Umwelt ausgehen.

- Chlorkautschuk- und PVC - Copolymerbeschichtungen, welche vor Anfang der 70er Jahre auf Gebäuden appliziert wurden, sollten im Hinblick auf ihren PCB Gehalt überprüft werden. Die Relevanz der PCB Problematik im Hinblick auf diese Beschichtungen sollte durch ein entsprechendes Pilotprojekt mit eingeschlossenem Meßprogramm konkretisiert werden. PCB haltige Beschichtungen sollten möglichst umgehend ersetzt werden. Dabei richtet sich die Prioritätensetzung nach dem Umfang der emittierten PCB Mengen.
- Gleiches gilt insbesondere auch für dauerelastische Fugendichtungsmassen, die ab Mitte der 50er Jahre bis etwa 1975 vornehmlich bei Gebäuden mit Betonplattenbauweise eingesetzt wurden. Auch dieser Problembereich müßte auf Relevanz im Rahmen eines Pilotprojektes mit angeschlossenem Meßprogramm überprüft werden. PCB belastete Gebäude sind umgehend zu sanieren.

Im Abfallbereich sollte eine Vorbehandlung des **Shreddergutes** flächendeckend erfolgen. Die effizienteste Maßnahme ist der gezielte Ausbau der PCB Anwendungen in geschlossenen Systemen (vorwiegend Kondensatoren), sofern diese nicht schon an der Quelle erfolgt ist.

Abschließend läßt sich sagen, daß weltweite die PCB Anwendung, trotz unleugbarer technisch vorteilhafter Eigenschaften, zu einem nachhaltigen Umweltproblem geworden ist. Selbst massivste Verbotsregelungen, Kennzeichnungs- und Meldepflichten werden nicht verhindern können, daß auch weiterhin PCB unkontrolliert in die Umwelt gelangt, und dort Schaden anrichtet.

**ZITIERTE UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR**

- Ahlborg U. G. and Hanberg A., Toxic Equivalentcy factors for Dioxin-Like PCBs, *Environ. Sci & Pollut. res.* 1 (2) 67 - 68, 1994
- Alder A.C., Häggblom M.M., Oppenheimer S.R., Young L.Y., Reductive Dechlorination of Polychlorinated Biphenyls in Anaerobic Sediments, *Environ. Sci. Technol.*, Vol 27, Nr. 3, S. 530 - 538, (1993)
- Atlas E., Giam C. s., Global Transport of Organic Pollutants: Ambient Concentrations in the Remote Marine Atmosphere, *Science*, Vol. 211, 9 January 1981, S. 163 - 165
- Ballschmiter K., Niiemczyk R., Schäfer W., Zoller W.: Isomer - specific identification of polychlorinated benzenes (PCBz) and -biphenyls (PCB) in effluents of municipal waste incineration. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 328, 583-587 (1987)
- Ballschmiter K., Zell M., Analysis of Polychlorinated biphenyls (PCB) by Glass Capillary Gas Chromatography, *Fresenius Z. Anal. Chem.* 302, 20 - 31, 1980
- Balsler E., et. al., Gesamtschweizerische Stoffbilanzen, Stukturierte Anleitung zur Erstellung gesamtschweizerischen Stoffbilanzen, BUWAL, Sektion Stoffflüsse und umweltgefährdende Organismen, Jahr: nach 1989
- Barghoorn M., Bauer R.K., Gössele P.: PCB - Kleinkondensatoren. Abschlußbericht der Arbeitsgruppe Umweltstatistik (ARGUS) an der Technischen Universität Berlin (1988) (UBA-Sign.: 3704)
- Benthe Ch., Heinzow B., Jessen H., Mohe S., Rotard W., Polychlorinated Biphenyls. Indoor air contamination due to thiokol-rubber sealants in air office building, *Chemosphere*, Vol. 25, Nos 7-10, pp. 1481-1486, 1992
- Berghoff R., PCB-haltige Flüssigkeiten entsorgen, *Umwelt*, Bd. 19, Nr. 3, S. 124 - 125, 1989
- Boos R., Neubacher F., Reiter B., Schindlbauer H., Twrdik, F., Zusammensetzung und Behandlung von Altölen in Österreich, *Umweltbundesamt, Monographie Bd. 54, Februar 1995*
- Braun F., Schüßler W., Wehrle R., Organische Schadstoffe, Polychlorbiphenyle (PCB) und Pestizide im Kreislauf des Wassers: Bilanzierung und Bewertung, *Bayrische Landesanstalt für Wasserforschung*, 1987, 8000 München 22, Kaulbachstr. 37
- Brenk F.-R., Wentrup G.-J., Quantifizierung von polychlorierten Biphenylen (PCB) in Altölen, Gegenüberstellung der Peakmusterbestimmung und der Bestimmung über 6 Einzelkomponenten, *Erdöl und Kohle - Erdgas - Petrochemie vereinigt mit brennstoff-Chemie*, Band 38, Heft 10, Oktober 1985
- Brown jr. J., F., Frame II G., M., Olson D.,R., Webb J., L., The Sources of the Coplanar PCBs, organohalogen Compounds, Vol. 26, p. 427- 430, 1995
- Bundesamt für Umweltschutz Bern, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 90, Schutz vor Umweltschäden durch PCB-haltige Kondensatoren und Transformatoren, Juni 1988
- Bundesministerium f. Umwelt, Jugend und Familie, Merkblatt: Entsorgung von PCB-haltigen Kompensationskondensatoren für Gasentladungslampen, 11/1991
- BUWAL, Ökotoxikologisch problematische Organika in Korrosionsschutzbeschichtungen von Objekten im Freien, Fallbeispiele PCB und Chlorkautschuk (Entwurf), projekt 443.1 Basel, 2. februar 1995
- Capel P.D., Lichtensteiger Th., Brunner P.H.: The use of Sludge-only Landfills as Historical Records of Persistent Organic Chemicals and Heavy Metals in Sewage Sludge, *Wat. Res.* Vol 23, No. 4, pp. 525-527 (1989)
- Capel P.D. et al.: Hydrophobic organic chemicals in urban fog, *Atmospheric Environment* 25A (7), 1335 - 1346 (1991)

- Chovanec A., Vogel W.R., Lorbeer G., Hanus-Illnar A., Seif P., Chlorinated Organic Compounds, PAHs, and Heavy Metals in Sediments and Aquatic Mosses of Two Austrian Rivers, *Chemosphere*, Vol. 29, Nos. 9 - 11, p. 2117 - 2133, 1994
- Daunderer 1990: Handbuch der Umweltgifte, Klinische Umwelttoxikologie für die Praxis, Ecomed VerlagsgesmbH (mit Ergänzungslieferungen)
- Davis L. D. et al. in: *Environmental Health Perspectives*, Bd. 101, Heft 5 Seiten 372 - 377, Oktober 1993
- De Alencastro L. F., Tarradellas J., Origine et bila des Polychlorobiphenyls (PCB) dans les eaux usees en Suisse, *GAS - Wasser - Abwasser*, 68. Jahrgang, Nr. 3, S. 120 - 130, 1988
- Delschen T., Beurteilung von PAK und PCB in Kulturböden, *Wasser & Boden* 1/1994, S. 54 - 59
- De Voogt P., Brinkman U.A.Th.: Production Properties and Usage of Polychlorinated Biphenyls In: Kimbrough and Jensen (eds.): *Halogenated Biphenyls, Terphenyls, Naphtalenes, Dibenzodioxins and related products*. Elsevier Science Publishers 1989
- DIN 7723, Dezember 1977, Kunststoffe, Weichmacher, Kennbuchstaben und Kurzzeichen
- DIN 51 502, August 1990, Schmierstoffe und verwandte Stoffe, Kurzbezeichnung der Schmierstoffbehälter, Schmiergeräte und Schmierstellen
- DIN 55 945, Dezember 1988, Beschichtungsstoffe (Lacke, Anstrichstoffe und ähnliche Stoffe), Begriffe
- Drescher-Kaden U., Mathies M., Brüggemann R., Organische Schadstoffe in Klärschlamm, Wasser, Abwasser, 130. Jahrgangh, Nr. 12, S. 613 - 620, 1989
- Dreier P., Lassnig D. et al., Materialien zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan 1995, Nicht gefährliche Abfälle, Teil B: Baurestmassen, Klärschlamm, Holzabfälle, u. a., Umweltbundesamt, Monographien Bd. 65, 1995
- Duinker J. C., Bouchertall F., On the Distribution of Atmospheric Polychlorinated Biphenyls Congeners between Vapor Phase, Aerosols and Rain, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 23, No 1, S. 57 - 62, 1989
- Dunnivant Frank M., Coates John T. and Elzermann Alan W., Experimentally Determined Henry's Law Constants for 17 Polychlorobiphenyl Congeners, *Environ. Sci. Technol.* 22, 448 - 453, 1988
- Dunnivant Frank M. and Elzermann Alan W., Aqueous Solubility and Henry's Law Constant data for PCB Congeneres for Evaluation of Quantitative Structure-Property Relationships (QSPRs), *Chemosphere*, Vol 17, No. 3, 525 - 541, 1988
- Engels L. H., *Staub*, Bd. 50(5), S. 183 - 184, 1990
- Fängmark I. et al.: Influence of combustion parameters on the formation of polychlorinated dibenzodioxins, dibenzofurans, benzenes, and biphenyls and polyaromatic hydrocarbons in a pilot incinerator. *Environ. Sci. Technol.* 27 (8), 1602 - 1610 (1993)
- Falbe J., und Regitz M., 1989 -1992 Römpp Chemie Lexikon, Georg Thieme Verlag Stuttgart, 9. Auflage
- Fiedler H., et al., Stoffbericht Polychlorierte Biphenyle (PCB), Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle, Berichtsnummer 16/95, Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg, Karlsruhe (1995)
- Fimpel J. U., Wisotzki H., Maßnahmen zur Minimierung des Schadstoffeintrages in Shredderrückstände, *Abfallwirtschafts Journal* 6 (1994), Nr. 11, S. 760 - 764
- Fischer R., Ballschmitter K., Congener-specific identification of technical PCB mixtures by capillary gas chromatography on a n-octyl-methyl silicene phase (SB\_Octyl 50) with electron capture- and mass-selective detection, *Fresenius Z. Anal. Chem.* , 335, S. 457 - 463, 1989

- Frost P. et al., Organic micropollutants in Swiss sewage sludge, *Jour. of Chrom.* 643, S. 379 - 388, (1993)
- Funcke W., Balfanz E., Fuchs J., Luthardt P., Theisen J., Polychlorinated Biphenyls (PCBs), Polychlorinated Dibenzofurans (PCDFs) and polychlorinated Dibenzo(p)dioxins (PCDDs) in mineral oil based insulations oils - correlation between PCB content in accordance with DIN/LAGA and PCDF/D threshold value in accordance with german GEFSTOFFV, *Chemosphere*, Vol. 27, No. 4, pp 555-563, 1993
- Gerber M., Bender-Hollenstein K., Auswirkungen des Abfallgesetzes und der Abfallverordnung auf die Praxis der Altölentsorgung im Jahr 1991 in der Bundesrepublik Deutschland, Abschlußbericht zur Fortführung des Forschungsvorhabens Abfallbeseitigung Nr. 103 60 108, Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, November 1993 (UBA-Sigatur: 8198)
- Giger W., Polychlorierte Biphenyle: 25 Jahre „klassische“ Umweltchemikalien, *GAIA* 1, Nr. 1, S. 50 - 53 (1992)
- Gonzales M.-J. et al.: Application of multivariate analysis to the determination of PCBs in fly ash from municipal incinerators, *Chemosphere* 18 (11-12), 2213 - 2227 (1989)
- Gorter N. PCB's in Netherland, CBS 1980
- Goßler K., Höhle Th., Recherche über das Vorkommen von polychlorierten Biphenylen in Baumaterialien (Schlußbericht), Landesgewerbeanstalt Bayern (LGA) Tillystraße 2, D-8500 Nürnberg 80, Dezember 1991, (UBA-Sigatur: 8191)
- Granier L., Chevreuil M.: Automobile traffic: a source of PCB to the atmosphere. *Chemosphere* 23 (6), 785 - 788 (1991)
- Gruber H., Schnelltest auf PCB in Fugendichtungsmassen, *Entsorgungspraxis*, 12/1994, 25 - 27
- Hawker Darryl W., Vapor Pressures and Henry's Law Constants of Polychlorinated Biphenyls, *Environ. Sci. Technol.* 23, 1250 - 1253, 1989
- Hillejan U., Schaffhausen J., Herkunft und Verbleib PCB-haltiger Rückstände, *Forschungsbericht Nr. 103 02 119*, BSM - Gesellschaft für Betriebsberatung mbH Düsseldorf, April 1990
- Hoff R.M. et al.: Annual cycle of polychlorinated biphenyls and organohalogen pesticides in air in southern Ontario. 1. Air concentration data *Environ. Sci. Technol.* 26, 266 - 275 (1992)
- Holoubek I. et al.: Project Tocoen. The fate of selected organic compounds in the environment. Part VIII. PCBs, PCDDs and PCDFs in ambient air in Czechoslovakia - 1990. *Chemosphere* 23 (8-10), 1345 - 1348 (1991)
- Holsen T.M. et al.: Dry deposition of polychlorinated biphenyls in urban areas. *Envir. Sci. Technol.* 25 (6), 1075 - 1081 (1991)
- Ilic P., Knöfel S., Sachs-Paulus N., Die Belastung kommunaler Klärschlämme durch polychlorierte Dioxine/Furane und polychlorierte Biphenyle im Gebiet des Umlandverbandes Frankfurt, *Korrespondenz Abwasser* 3/94, 41. Jahrgang, S. 448 - 454, 1994
- Jakobi H. W., Produkte mit polychlorierten Biphenylen (PCB) und polychlorierten Terphenylen (PCT), - In: Kumpf/Maas/Straub, *Müllhandbuch*, Kennzahl: 8596, E. Schmidt Verlag, Berlin, 1985
- Jakobi H. W. (1994) (1): Austausch und Entsorgung von PCB-haltigen Kleinkondensatoren (Informationsmaterial zum Vorgehen, UBA Berlin, Oktober 1994, Geschäftszeichen: III 4.2 - 30 389/28)
- Jakobi H. W. (1994) (2): Polychlorierte Biphenyle auf dem Abfallsektor, hier: Fachliche Ausarbeitung „Herkunft und Verbleib von polychlorierten Biphenylen in Deutschland, Umweltbundesamt Berlin, Dezember 1994
- Jakobi PCB-haltige Betonfugen-Dichtungsmassen in Gebäuden, Informationsmaterial, Berlin April 1995, Geschäftszeichen: III 4.2 - 30 389/19

- Jensen S., New Scientist, 32, S. 612, (1966)
- Jones K.C., Buret V., Duarte-Davidson R. and Waterhouse K.S., PCB's in the Environment, Chemistry in Britain, May 1991, p. 435- 438
- Jost D., Analytische Verfahren zur Bestimmung von polychlorierten Biphenylen (PCB) und polychlorierten Terphenylen (PCT), In: Die neue TA Luft, Aktuelle immissionsschutzrechtliche Anforderungen an den Anlagenbetreiber, WEKA-Fachverlag für technische Führungskräfte GmbH, Morellstraße 33, D-86159 Augsburg, Kap: 12/4.9.1
- Jost D., Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe, In: Die neue TA Luft, Aktuelle immissionsschutzrechtliche Anforderungen an den Anlagenbetreiber, WEKA-Fachverlag für technische Führungskräfte GmbH, Morellstraße 33, D-86159 Augsburg, Kap: 12/4.9.2
- Just W., Entsorgung von PCB-Leistungskondensatoren - die PCB-Verbotsverordnung, Elektropraktiker, Berlin, 47, S. 11, 1993
- Kirsch N., Schmit R., Jager J., Klinkosch V., Vorzeitige Entsorgung von Askarel-Transformatoren in Luxemburg - Krieps-Modell,???
- Koch R., 1989 Umweltchemikalien, physikal.-chem Daten, Toxizitäten, Grenz- u. Richtwerte, Umweltverhalten, Verlag Chemie
- Kohler H.P. E., Kohler-Staub D., Alder A.C., Mikrobielle Umwandlungen polychlorierter Biphenyle (PCBs), GAIA 1, Nr. 3, S. 153 - 165 (1992)
- Kopp A., Rechtliche Regelungen beim Umgang, beim Inverkehrbringen und bei der Entsorgung von PCB-haltigen Zubereitungen und Erzeugnissen, GewArch, 4/1991, S. 128 - 133
- Kreft W., Grothaus F.J., Thermische Entsorgung PCB-haltiger Altöle in Zementdrehrohröfen, Entsorgungspraxis 7-8/1989, S. 359-363
- Kuhlmann F., Zum Vorkommen von polychlorierten Biphenylen und Polychlordibenzodioxinen/ -furanen in Alt- und Motoröl, Müll und Abfall, Nr. 12, S.: 312 - 417, 1985
- Ladendorf I., VDI, Bd. 44 (41), S. 5 (1990)
- LAGA (1) (Ländergemeinschaft Abfall), Arbeitsgruppe „PCB-haltige Abfälle“, Merkblatt: Entsorgung von PCB-verunreinigten Transformatoren mit mineralöhlhaltiger oder synthetischer Kühlflüssigkeit, Kennzahl 30 035, 33.Lieferung V. 92, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- LAGA (2) (Ländergemeinschaft Abfall), Arbeitsgruppe „PCB-haltige Abfälle“, Merkblatt: Entsorgung von PCB-haltigen Reststoffen und Abfällen, Kennzahl 30 030, 33.Lieferung V. 92, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- LGBl.-NÖ 6160/2-0, Niederösterreichische Klärschlammverordnung, 28.7.1994
- LGBl.-NÖ 6160/2-1, Niederösterreichische Klärschlammverordnung, 1. Novelle, 22.11.1994
- LGBl.-OÖ Nr. 21/1993, Oberösterreichische Klärschlamm-, Müll- und Klärschlammkompostverordnung
- Landesgewerbeanstalt Bayern, Bilanzen über den Verbrauch und Verbleib von Umweltchemikalien insbesondere Cadmium, PCB und DEHP/DOP, Jahr ???
- Lewis R.G. et al.: Measurements of fugitive atmospheric emissions of polychlorinated biphenyls from hazardous waste landfills. Environ. Sci. Technol. 19 (10), 986 - 991 (1985)
- Lorber K. E., Nelles M., Harant M., Hochhuber J., Untersuchungen zur PCB-Problematik von Kleinkondensatoren in Haushaltsgeräten im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs zur Sammlung, Demontage und Verwertung von Elektro- und Elektronikaltgeräten (EAG) im Bezirk Weiz, Inst. für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) der Montanuniversität Leoben, November 1995

- Lorenz H., Neumeier, G., 1983: Polychlorierte Biphenyle (PCB), Ein gemeinsamer Bericht des Bundesgesundheitsamtes und des Umweltbundesamtes BGA Schriften 4/83 MMV Medizinverlag München
- Marcomini A., Capel P.D., Giger W., Häni H., Residues of Detergent-Derived Organic Pollutants and Polychlorinated biphenyls in Sludge-Amended Soil, *Naturwissenschaften* 75, S. 460 - 462, (1988)
- Marcomini, A. Capel P.D., Lichtensteiger Th., Brunner P.H., Giger W., Behavior of Aromatic Surfactants and PCBs in Sludge-Treated Soil and Landfills, *J. Environ. Qual.* 18, 523 - 528, (1989)
- Michels S., Eikmann Th., Krieger Th., Polychlorierte Biphenyle - Entwicklung und Tendenzen in der Wirkungseinschätzung auf das Ökosystem, *Wissenschaft und Umwelt* 3, S.121 - 124, 1989
- Mischer G., Schnabel W., Verbrennung polychlorierter Biphenyle (PCB) und ähnlicher Verbindungen, *Staub - Reinhaltung der Luft* Bd.49, S. 217-220, 1989
- Müller J., Diffuse Quellen von PCB in der Schweiz, *Schriftenreihe Umwelt* Nr. 229 (BUWAL) 1994
- Müller U., Hör B., Dioxinmessungen an Deponiegasfackeln und Gasmotoren - Immissionsprognosemodelle für PCB und Gerüche aus Deponien, In: M. Schneider, (Hrsg.: K. J. Thome-Kozmiensky), *Deponie - Ablagerung von Abfällen* 3, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH
- Murphy T. J., Formanski L. J., Brownawell B., Meyer J. A., Polychlorinated Biphenyl Wmission to the Atmosphere in the Great Lakes Region. Municipal Landfills and Incinerators, *Environ. Sci. Technol.*, Vol 19, No. 10, 1985
- Neubacher F. P., UVE des Alu-Recycling Kombi-Projekt, Stand: 8.11.1995, S.: 49 - 58
- ÖNORM S 2072 Eluatklassen (Gefährdungspotential ) von Abfällen, 1. November 1990
- Pilz H., Die Bedeutung von Papierflüssen und -kreisläufen für die CO<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub>-Emissionen in Österreich, Diplomarbeit, Technische Universität 1996
- Pitulle H., Mohr S., Benthe C., Heinzow B., Sanitation of a PCB-Contaminated Building, *Organohalogen Compounds*, Vol. 26, p. 435- 439, 1995
- Pylypiv H.M.: Polychlorinated Biphenyls in auto parts and auto fluff. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 46, 681-685 (1991)
- Ramseier C.: Les PCB dans quelques produits de commerce en Suisse. *Chimia* 37 (3), 96 - 98 (1983)
- Rastogi S.C.: Investigation of isomer-specific polychlorinated biphenyls in printing inks. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 48, 567 - 571(1992)
- Rauhut A.: PCB- Bilanz 1974 - 1976, Landesgewerbeanstalt Bayern (1978)
- Rauhut A.: PCB - Bilanz 1977 - 1980, Landesgewerbeanstalt Bayern (1982)
- Remberg G., Untersuchung zur analytischen Erfassung von polychlorierten Terphenylen, Diplomarbeit, Universität Wien, 1996)
- Roth und Waller, 1982: Gefährliche Chemische Reaktionen, Ecomec VerlagsgesmbH, 1982 und Ergänzungslieferungen
- Sabljić A., Güsten H., Predicting Henry's Law Constants for Polychlorinated Biphenyls, *Chemosphere*, Vol. 19, Nos.10/11, pp 1503-1511 (1989)
- Safe S., Safe L, Mullin M., Polychlorinated Biphenyls: enviromental Occurrence and Analysis, In: Safe S., *Polychlorinated Biphenyls (PCBs): mammalian and Enviromental Toxicology*, Springer-Verlag Berlin heidelberg 1987
- Safe Stephen, Yao C. and Davis D., Development of Toxic Equivalency Factors for Polychlorinated Biphenyls (PCBs), In: *Organohalogen Compounds, Volume 2: Dioxin'90 - EPRI-SEMINAR*, ed by O Hutzinger and H. Fiedler, Bayreuth: Ecoinforma Press, 1990, pp: 55 - 59

- Schachermayer E., Polychlorierte Biphenyle, NÖ Klärschlammkonzept, Inst. f. Wassergüte und Abfallwirtschaft - Abteilung für Abfallwirtschaft TU Wien, Wien, S. 90 - 103, Oktober 1994
- Schaffhausen J., Gramenz J.-P., Aufkommen und Verbleib von PCB-Abfällen in der ehemaligen DDR sowie Herkunft und Entsorgung von PCB-Abfällen aus wehrtechnischen Geräten, aus Geräten bei der Bundesbahn (Reichsbahn) und Bundespost und von PCDM-Abfällen aus dem Bergbau, Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht Nr.: 103 50 204 im Auftrag des Umweltbundesamtes, Januar 1993
- Schenkel W., Arten der Abfälle, LAGA-Abfallschlüsselnummern, Müllhandbuch, Kennzahl 1110, 7. Lieferung 1995, Erich Schmidt-Verlag, Berlin
- Schiemann J., Untersuchungen des Sammelschrotts auf PCB-Quellen und Entwicklung geeigneter Vorbehandlungsmaßnahmen, Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 103 10 201, Institut für Umwelttechnologie und Umweltanalytik e. V. (IUTA), 1995
- Schindlbauer H., 1988: PCB - Mehr als ein Problem der Analytik, Österreichische Chemiker Zeitung, 6/1988
- Schönberger H., Klärschlamm - Kontamination auf Raten, Zur Schadstoffproblematik des Klärschlammes, 1. Auflage Juni 1990, Eigenverlag: Institut für ökologisches Recycling (IföR), Berlin
- Schulte E., Acker L., Identifizierung und Metabolisierung von polychlorierten Biphenylen, Naturwissenschaften, 61, S. 79 - 80, (1974)
- Schweizer Ch., Tarradellas J.: Etat de recherches sur les biphenyles polychlores en Suisse. Chimia 34 (12), 509 - 519 (1980)
- Schwerdt P., Bestimmung coplanarer PCB in der Immission, GIT Fachz. Lab. 9/94, 907 - 912
- Shiu W. Y., Mackay D.: A Critical Review of Aqueous Solubilities, Vapor pressures, Henry's law Constants, and Octanol-Water Partition Coefficients of the Polychlorinated Biphenyls, J. Phys. Chem. Data, Vol. 15, No. 2, 1986
- Singmaster J.A.: Urban PCB contamination. Chemical and Engineering News, Sept. 20, 1993, p.4
- Sorbe, 1983: Sicherheitstechnische Kenndaten, Gefahrenindex chemischer Stoffe, Ecomed VerlagsgesmbH (mit Ergänzungslieferungen)
- Staltner H., PCB-Report, Bericht 3/91, Grüne Reihe, Magistrat Linz, Amt für Umweltschutz, A-4041 Linz, Hauptstraße 1 - 5
- Stolz J., Ökotoxikologisch problematische Organika in Korrosionsschutzbeschichtungen von Objekten im Freien, Fallbeispiele: PCB und Chlorkautschuk (Entwurf), Carbotech AG, Eulerstraße 68, CH-4051 Basel, 2. Februar 1995
- Storr- Hansen E., Rastogi S.C.: Polychlorinated biphenyls and heavy metal levels in recycled paper for household use. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 40, 451 - 456 (1988)
- Sugimoto H., Shigenobu M., Sawyer D.T., Degradation of Polychlorobiphenyls and Halogenated Aromatic Molecules by Superoxide Ion and by Electrolytic Reduction, Environ. Sci. Technol., 22, S. 1182 - 1186, 1988
- Teubner, Flinner, Garbe, Keuzeder, Die Grünen, Kleine Anfrage an den deutschen Bundestag 11. Wahlperiode, 14.4.1989, PCB- Belastung landwirtschaftlicher Produkte, Zahl des Österr. BMU. 04 14342/7 1989, Eingelangt: 8.5.1989, Zahl der Österr. Botschaft: 31.31.01.2/13-A/89
- Trafosuisse, Informations-Broschüre des Verbandes Schweiz. Transformatoren Hersteller Trafosuisse -Trafoswiss, Basel, 1992
- Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie, Verlag Chemie 1972 (Band 1) - 1984 (Band 25)
- Umweltbundesamt Berlin, Daten zur Umwelt 1992/93 S. 541
- UBA-BE-046, Analytische Untersuchung von Klärschlamm, Umweltbundesamt Wien, Dezember 1995

- VDI, Maßgeschneiderte Bakterien knacken PCB, VDI Nachrichten, Nr. 44, 3.11.1995, S.31
- VDLUFA, Rahmenkonzept für die Routineanalytik von Polychlorierten Biphenyle (PCB), Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Schriftenreihe, Heft 12, 1985
- Vecsei-Hohl R., Gourec I., Bruna M., Zeh M., Fent K.: Chlorinated Hydrocarbons in Eels (*Anguilla anguilla* L.) from the River Rhine, *Naturwissenschaften* 79, S. 371 - 374, (1992)
- Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über das Verbot von halogenierten Biphenylen, Terphenylen, Naphthalinen und Diphenylmethanen (BGBl. 210/1993)
- Wentrup G.-J., PCB in Altöl, TÜ, Bd. 27, Nr. 12 (Dezember), S. 461-463, 1986
- Wenzel K. M., Klassenselektive Probenvorbereitungstechniken zur simultanen Bestimmung polychlorierter Biphenyle und polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe in Feststoffen, Dissertation, Technische Universität Graz 1996
- Wilke B.-M., Bräutigam L., Einfluß polychlorierter Biphenyle auf die mikrobielle Aktivität in Böden, *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 155, S 483 - 488, 1992
- Wilken M., Zeschmar-Lahl B., Schadstoffe in festen Abfällen, In: Müllhandbuch, Kennzahl: 1752, Lieferung: 7/94, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- ZVEI, Merkblatt - Entsorgung von PCB-haltigen Starkstromkondensatoren (Leuchtstofflampen- und Montorkondensatoren, Leistungskondensatoren Stand: Januar 1991, Zentralverband Elektrotechnik-und Elektronikindustrie e.V., Fachverband Starkstromkondensatoren, Karolinger Platz 10 - 11, 14052 Berlin
- Zwiener G., Sanierung PCB-belasteter Gebäude, *Entsorgungspraxis*, 12/1994, 22 - 24
- Zwiener G., PCB-haltige Baustoffe in Gebäuden, *BBauBl*, Heft 2, S. 121, Februar 1995

## **ANHANG: GESETZLICHE REGELUNGEN**

### **OECD-BESCHLÜSSE**

**Beschluß vom 13. Februar 1973 der OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung): Inkraftsetzung eines Beschlusses über den Schutz der Umwelt vor PCB - Verunreinigungen**

- PCB sollen nur mehr in geschlossenen Anwendungen verwendet werden (als Dielektrische Flüssigkeit, Hydraulikflüssigkeit und Wärmeträgerflüssigkeit).
- Die Herstellung, Import und Export von PCB sollen kontrolliert werden.
- Die PCB sollen sicher beseitigt werden.
- PCB und PCB-haltige Produkte sollen einheitlich bezeichnet werden.
- In naher Zukunft sollen die PCB in offenen Systemen nicht mehr eingesetzt werden (als Hydrauliköle (außer im Bergbau), Weichmacher, Schmiermittel, Schneideöle, Vakuumpumpenöle und Pestizide).
- PCB sollen durch weniger umweltgefährdende Substanzen ersetzt werden.
- Ein Informationsaustausch soll zwischen den OECD-Ländern durchgeführt werden.

**Beschluß vom 13. Februar 1987 der OECD: Weitere Maßnahmen zum Schutz der Umwelt durch die Kontrolle der PCB:**

- Ab dem 1.1. 1989 dürfen PCB, PCB-haltige Produkte und Geräte nicht mehr hergestellt, importiert, exportiert oder verkauft werden.
- Es müssen die noch in Verwendung stehenden PCB einer Kontrolle unterzogen werden, daß sie nicht in die Umwelt gelangen und daß sie keiner hohen Temperatur (> 300 °C) ausgesetzt werden (z. B. Brand).
- Es sollen weniger ökotoxische Verbindungen eingesetzt werden.
- In verseuchten Böden sollten 50 mg PCB/kg nicht überschritten werden.
- Damit keine Gefahr für die Gesundheit und Umwelt besteht, müssen auch PCB-verseuchte Geräte einer Kontrolle unterzogen werden.
- Abfälle mit 100 mg PCB /kg muß einer umweltgerechten Entsorgung zugeführt werden. (Empfehlung auch für Abfälle <100 mg/kg). Die Verdünnung solcher Abfälle ist verboten.
- Informationspflicht der OECD Staaten untereinander bei Verstößen gegen die Vereinbarung.

## **RICHTLINIEN DER EU**

### **EU-Richtlinie vom 6. April 1976 (76/403/EWG) über die Beseitigung polychlorierter Biphenyle und Terphenyle**

- PCB und PCT werden unter einem Synonym verwendet.
- PCB-haltige Gegenstände dürfen nicht unkontrolliert beseitigt werden. Sie müssen nachweislich umweltgerecht entsorgt werden.
- Die Regierung muß alle 3 Jahre einen Bericht über die Beseitigung von PCB an die Kommission abliefern.

### **EU Richtlinie 76/769/EWG: Richtlinie des Rates vom 27. Juli 1976 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen**

- PCB, PCT und Zubereitungen mit mehr als 0,1 Gewichtsprozent von PCB oder PCT enthalten, werden verboten.
- Erlaubt sind nur mehr PCB und PCT in den geschlossenen elektrischen Vorrichtungen (Transformatoren, Widerstände, Drosselspulen, große Kondensatoren --1 kg Gesamtmasse --, kleine Kondensatoren (die PCB dürfen höchstens 43 % Chlor und nicht mehr als 3,5 % Pentachlorbiphenyl enthalten), Wärmeübertragungsflüssigkeiten in geschlossenen Wärmeübertragungssystemen (außer in Anlagen, die zur Behandlung von Erzeugnissen zur Ernährung von Menschen und Tieren und von pharmazeutischen und Veterinärerzeugnissen bestimmt sind), Hydraulikflüssigkeiten für den untertägigen Bergbau und Bedienungsmaschinen der Behälter zur elektrolytischen Herstellung von Aluminium) Ausgangs- und Zwischenprodukte für die Weiterverarbeitung zu anderen Produkten.
- Weitere Ausnahme ist die Verwendung der PCB und PCT für Forschungs- und Analysezwecke.
- Die Mitgliedstaaten teilen der Kommission den Wortlaut ihrer Rechtsvorschriften mit.

### **EU Richtlinie 85/467/ EWG: Richtlinie des Rates vom 1. Oktober 1985 zur sechsten Änderung (PCB/PCT) der Richtlinie 76/769 EWG zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen**

- Verbot des Inverkehrbringens von Zubereitungen, die mehr als 100 ppm PCB PCT Anteil haben.
- Zulassung bis 30. Juni 1986 von: PCB in elektrischen Vorrichtungen, großen Kondensatoren, kleinen Kondensatoren mit hinreichend niedrigem PCB Gehalt, Wärmeübertragungsflüssigkeiten in geschlossenen Systemen, Hydrauliköle im Untertag Bergbau.

### **EU Richtlinie 91/689/EWG: Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 über gefährliche Abfälle (In Kraft getreten: 19. Dezember 1991)**

- PCB- und/oder PCT-haltige Stoffe werden zum gefährlichen Abfall deklariert.

### **Neue Richtlinie in Ausarbeitung**

Derzeit wird eine neue Richtlinie über die Beseitigung polychlorierter Biphenyle und Terphenyle (PCB und PCT) erarbeitet. Der Vorschlag (KOM (88) 559 endg. - SYN 161 vom 18. Oktober 1988 wurde dem Rat am 12. Dezember 1988 vorgelegt. Am 27. November 1995 wurde der gemeinsame Vorschlag des Rates (96/C 87/01) von der Kommission angenommen. Als Ziel wird die kontrollierte Beseitigung der PCB, die Reinigung oder Beseitigung von Geräten, die PCB enthalten, und/oder die Beseitigung gebrauchter PCB im Hinblick auf ihre vollständige Entsorgung vorgegeben.

## **DERZEIT GÜLTIGE NATIONALE GESETZGEBUNG IN ÖSTERREICH**

### **Verordnung des Bundesministers für Gesundheit und Umweltschutz vom 19. Jänner 1984 über die Bestimmung von gefährlichen Sonderabfällen; BGBl. Nr. 52/1984**

- für gefährliche Sonderabfälle wird die ÖNORM S 2101 vom 1. Dezember 1983 für verbindlich erklärt.

### **Verordnung des Bundesministers für wirtschaftliche Angelegenheiten vom 17. Juli 1987 über die Durchführung des Altölgesetzes 1986 (Altölverordnung), BGBl. 383/1987**

- Stoffe des Altölgesetzes > 30 ppm PCB und PCT Gehalt sind Sonderabfälle.
- Beurteilung des PCB Gesamtgehaltes nach DIN 51 527 Teil 1, Ausgabe Mai 1987; zur Beurteilung des PCB PCT Gesamtgehaltes ist der Wert mit dem Faktor 5 zu multiplizieren.
- Verbot des Inverkehrbringens von Motorölen mit halogenhaltigen Zusätzen.

### **Abfallwirtschaftsgesetz vom 6. Juni 1990; BGBl. Nr 325/1990**

- Übernahme des Altölgesetzes in das Abfallwirtschaftsgesetz.
- stoffliche Verwendung von Altölen nur wenn entstandenes Mineralölprodukt < 5 ppm PCB + PCT.
- Beimischungsverbot von PCB und PCT in Altölen (außer die aus technologischen Gründen erforderlichen Zusatzstoffe).
- Übernahme des Sonderabfallgesetzes in das Abfallwirtschaftsgesetz.

### **Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie vom 16. August 1990 über das Verbot bestimmter gefährlicher Stoffe in Unterwasser-Anstrichmitteln (Antifoulings), BGBl. 577/1990**

- In Anstrichmitteln, die gegen den Bewuchs von Schiffskörpern, Wasserbauten,... durch Tiere, Pflanzen oder Mikroorganismen verwendet werden, dürfen unter anderem keine PCB und PCT enthalten sein.

**Verordnung des Bundesministers für wirtschaftliche Angelegenheiten vom 20. September 1990 über das Verbot bestimmter Schmiermittelzusätze und die Verwendung von Kettensägenölen, BGBl. 647/1990**

- Schmiermittel mit Zusätzen von PCB und PCT dürfen nicht in den gewerblichen Verkehr gebracht werden.

**Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Festsetzung gefährlicher Abfälle vom 31. Jänner 1991, BGBl. 49/1991**

- Verbindlichkeitserklärung der ÖNORM S 2101 (1. Dezember 1983)
- Mineralölzeugnisse, synthetische Kohlenwasserstoff und pflanzliche Öle mit mehr als 30 ppm PCB und PCT sind gefährlicher Abfall.
- sonstige gefährliche Stoffe, die als Problemstoffe gekennzeichnet sind, sind gefährlicher Abfall.

**Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Nachweispflicht für Abfälle (Altöle), (Abfallnachweisverordnung), BGBl. 65/1991**

- Meldepflicht der Erzeuger von gefährlichen Abfällen und Altölen (> 200 l/Jahr) beim Landeshauptmann.
- Nachweis über Art, Menge, Herkunft und Verbleib durch ein Begleitscheinssystem.
- setzt die Sonderabfallnachweisverordnung (BGBl.: 553/1989) mit 15. Februar 1991 außer Kraft.

**BASLER ÜBEREIKOMMEN ÜBER DIE KONTROLLE DER GRENZÜBERSCHREITENDEN VERBRINGUNG GEFÄHRLICHER ABFÄLLE UND IHRER ENTSORGUNG; BGBl. 229/1993**

- Vertragsstaaten übermitteln dem Sekretariat jedes Jahr einen Bericht über die Menge und Eigenschaften der ein- und ausgeführten gefährlichen Abfälle.
- Abfallstoffe und Erzeugnisse, die PCBs und/oder PCT's enthalten sind in der „Gruppe der zu kontrollierenden Abfälle“ unter Y10 aufgelistet.

**Verordnung: Verbot von halogenierten Biphenylen, Terphenylen, Naphtalinen und Diphenylmethanen vom 23. März 1993; BGBl. Nr. 210/1993**

- **Verbot** von Herstellung, Inverkehrsetzen Verwenden von PCB, PCT, halogenierte Naphtaline, etc...(umfaßt auch alle Fertigwaren).
- **Verbot** v. Hydraulikanlagen mit Hydrauligflüssigkeiten > 30 ppm.
- **Kennzeichnungspflicht** elektrischer Betriebsmittel mit Füllung > 1l und > 30 ppm PCB als „mindergiftig“ (für mehrere kleine gelten > 2l).
- **Meldepflicht** des Verwenders bis spätestens ein Jahr nach Inkrafttreten der VO (=23.März 1994) an das Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie.
- **Verwendungsverbot** kennzeichnungspflichtiger elektr. Betriebsmittel bis 31.12.1996 (Ausnahme Trafos)
- **Außerbetriebnahme** kennzeichnungspflichtiger Trafos mit PCB Gehalt > 500 ppm bis 31.12.1999. für PCB < 500 ppm Verwendung bis Außerbetriebnahme erlaubt.

- **Verpflichtung** einer chemischen Analyse bis 31.12.1996 für elektr. Betriebsmittel bei begründetem Verdacht von PCB - Gehalt; Meldepflicht bei Verdachtsbestätigung bis 31.12.1996 an das Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie.
- **Wiederbefüllung** von Trafos, nur wenn auch nach 6 Monaten PCB Gehalt < 30 ppm
- Keine Bezugnahme der Verordnung auf mono- und dihalogenierte Stoffe

#### **Grundwasserschwellenwertverordnung vom 17. September 1991 BGBl. Nr. 502 / 1991**

**Schwellenwert** für  $\Sigma$  PCB's = 0,06  $\mu\text{g/l}$ ; Schwellenwert := Maßzahl für die Beurteilung der Meßwerte eines zur Bewertung der Grundwasserbeschaffenheit verwendeten Parameters. Bei Überschreitung des Schwellenwertes besteht im Hinblick auf das Langzeitverhalten des Stoffes im Untergrund die Besorgnis des Verlustes der Eignung von Grundwasser für Zwecke der Trinkwassergewinnung.

#### **Wassergüte Erhebungsverordnung (WGEV) vom 27. Juni 1991; BGBl. 121/1991**

- PCB's und PCT's werden im Zuge der Bestimmung der Grundwassergüte gemessen
- Mindestbestimmungsgrenze für PCB's und PCT's = 0,1  $\mu\text{g/l}$
- Methode: GC/ mit Elektroneneinfangdetektor, GC/ mit massenspektrometrischem Detektor, Methode der Bayrischen Landesanstalt für Wasserforschung in München 1987 (BRAUN, 1987) (ist die in Österreich gesetzliche Methode zur Bestimmung der PCB's in Wasser). Nach diesem Gesetz wird der PCB-Gehalt nur bestimmt, nicht aber begrenzt!

#### **Verordnung des Bundesministers für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen (Deponieverordnung) (BGBl.:164/1996) (Tritt spätestens am 1. Jänner 1997 in Kraft)**

- Im Rahmen der Deponieverordnung muß die Summe der PCB im Abfall (Gesamtgehalt) und im Eluat bestimmt werden
- kein Grenzwert für PCB im Abfall, Eluat und Deponiesickerwasser

## **ÖSTERREICHISCHE NORMEN**

#### **ÖNORM S 2100: Sonderabfallkatalog vom 1. Juni 1983, ÖNORM S 2101: Überwachungsbedürftige Sonderabfälle vom 1. Dezember 1983**

Auflistung der in Österreich vorkommenden Sonderabfälle; Anlehnung der Schlüsselnummern an den deutschen Abfallkatalog (Herbst 1980)

- 54 107 Trafoöle, Wärmetragöle chlorhaltig (chem. Industrie, Umspannwerke, Transformatoren)
- 59 901 PCB, PCT

#### **ÖNORM S 2072 Eluatklassen (Gefährdungspotential) von Abfällen, 1. November 1990**

PCB haltige Abfälle sind von einer Deponierung auszuschließen. Es gilt dann ein Grenzwert für die Summe der PCB von 100 mg/kg TS.

**ÖNORM S 2100 vom 1. März 1990 (Abfallkatalog) und ÖNORM S 2101 vom 1. Juni 1993 (Katalog gefährlicher Abfälle)**

- Schlüsselnummern entsprechen weitestgehend dem deutschen Abfallkatalog (LAGA - Katalog)
- 54 110 PCB haltige und PCT haltige elektrische Betriebsmittel; 54 111 sonstige PCB und PCT haltige Abfälle 59 901 PCB PCT (Sonderbehandlung); umweltgefährlich; Überschreitung der Wassergefährdungsklasse 1; Achtung die Schlüsselnummer 54 107 „Trafoöle, Wärmetragöle chlorhaltig“ gibt es auch in der Neufassung der Norm! „chlorhaltig“ muß allerdings nicht mit PCB - haltig korrelieren!