

# **BRANDSCHUTZ - FORSCHUNG**

**DER BUNDESLÄNDER**

**BERICHTE**

**Untersuchung der Löschverfahren und Löschmittel  
zur Bekämpfung von Bränden gefährlicher Güter  
- Entstehung von Dioxinen und Furanen  
im Brandfall und erforderliche Abwehrmaßnahmen**

**77**

Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer  
Arbeitskreis V - Unterausschuß "Feuerwehrangelegenheiten"

Forschungsbericht Nr. 77

**Entstehung von  
Dioxinen und Furanen  
im Brandfall und  
erforderliche Abwehrmaßnahmen**

von

Dipl.-Ing. C. Axel Föhl

Forschungsstelle für Brandschutztechnik  
an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe  
Dezember 1991

## INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG .....	1
2. ENTSTEHUNG UND VERBREITUNG VON DIOXINEN .....	8
3. DURCHSCHNITTLICHE EXPOSITION UND GEFÄHRDUNGSSCHWELLE .....	13
4. ENTSTEHUNG IM BRANDFALL .....	22
5. ERFORDERLICHE ABWEHR- UND ENTSORGUNGSMASSNAHMEN .....	30
6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....	42
7. BILDER UND TABELLEN .....	46
8. LITERATURVERZEICHNIS .....	60

## 1. EINLEITUNG

Am 7. Januar 1988 wurde die Berufsfeuerwehr Düsseldorf zu einem Brand in die Universitätsklinik gerufen. In Brand geraten war ein kleines Lager mit einer Grundfläche von etwa 15 m<sup>2</sup>, das Verbandsmaterial, Einwegspritzen und eine größere Menge von Schläuchen aus weichem Polyvinylchlorid enthielt. Nach dem Löschen des Brandes veranlaßte die Universität die Entnahme von Rußproben, um sie analysieren zu lassen. Dabei wurden Dioxin-Konzentrationen festgestellt [1], die unter dem Gesichtspunkt der gesundheitlichen Vorsorge nicht als unbedenklich angesehen werden konnten.

Um die Bedeutung der Entstehung von Dioxinen im Brandfall darzustellen, erhielt die Forschungsstelle für Brandschutztechnik im März 1990 den Auftrag, im Rahmen des von ihr bearbeiteten Forschungsvorhabens "Untersuchung der Löschverfahren und Löschmittel zur Bekämpfung von Bränden gefährlicher Güter" [2] an Hand einer Literaturrecherche zu prüfen, wann mit der Bildung von Dioxinen zu rechnen ist, welche Schutzmaßnahmen vorzusehen sind und welche Schritte zur Reinigung und Entsorgung unternommen werden müssen. Ausgewertet wurde Literatur

- der Badischen Landesbibliothek,
- des Bundesgesundheitsamtes,
- des Bundesverfassungsgerichtes,
- des Engler-Bunte-Instituts und des Fachbereichs Chemie der Universität Karlsruhe,
- der Forschungsstelle für Brandschutztechnik,
- des Labors für Isotopentechnik und der Bibliothek des Kernforschungszentrums Karlsruhe,
- der Landesanstalt für Umweltschutz und des Landesgewerbeamtes in Karlsruhe,
- des Umweltbundesamtes und
- der Universitätsbibliotheken in Bayreuth, Hannover, Kaiserslautern, Karlsruhe, Konstanz, Stuttgart und Tübingen.

Die Fülle der in jüngster Zeit zu diesem Thema publizierten Untersuchungen erlaubte nur die Berücksichtigung von Arbeiten, die sich mit dem Gefährdungspotential von Dioxinen und Furanen befassen, die die Dioxin-Entstehung behan-

deln und von solchen, in denen feuerwehr-relevante Fragen besprochen werden.

Parallel zu der vorliegenden Literaturrecherche zum Thema "Dioxin" ist auch im Institut der Feuerwehr in Heyrothsberge bei Magdeburg eine Literaturuntersuchung zu demselben Thema angefertigt worden, die - neben amerikanischen und westeuropäischen - speziell osteuropäische Quellen auswertet [3]. Das Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in München nennt in seiner Zusammenstellung der Maßnahmen zur Förderung der gegenwärtigen und zukünftigen Dioxin-Forschung [4] fünf feuerwehr-relevante Forschungsvorhaben [5...9], auf die hier ebenfalls hingewiesen werden soll.

Dioxine und die ihnen chemisch nahe verwandten Furane sind den Wissenschaftlern seit 1957 bekannt [10...15]. Weltweite Aufmerksamkeit haben sie jedoch erregt, als am 10.7.1976 durch einen Betriebsunfall in einem chemischen Werk in Oberitalien eine unbekannte Menge dieser Stoffe freigesetzt wurde [16], die das Werksgelände und 18 km<sup>2</sup> der benachbarten Landwirtschaft in einem Maße verseuchte [17...22], daß 4.750 Kaninchen [23] und 3.293 Haustiere verendeten und weitere 77.716 notgeschlachtet werden mußten [24...27] und daß 736 Bewohner [26, 28] aus der näheren Umgebung des Werkes evakuiert und 193 [20, 29...31] im Krankenhaus wegen ihrer Hautverätzungen und der hierdurch ausgelösten Chlorakne behandelt werden mußten. 187 davon waren Kinder, die während des Unfalls im Freien gespielt hatten [28, 32]. - Der Wiedergutmachungsaufwand in den folgenden 10 Jahren betrug über 300 Millionen Schweizer Franken [33, 20] ohne die reinen Reparaturkosten zum Beispiel für das Abtragen und Verbrennen der Fabrikationsanlage und der 200.000 m<sup>3</sup> des am stärksten kontaminierten Erdreiches, wofür weitere 400 Millionen aufgewendet wurden [22]. Sieben Jahre später wurden, nach einer makaberen Irrfahrt, 41 Fässer mit den dioxinhaltigsten Produktionsrückständen in der Schweiz entsorgt [34, 32, 27].

Ort des Geschehens, "dieser katastrophalsten Umweltverseuchung durch eine giftige Chemikalie" [35], war das Werksgelände der "Industria Chimica Meda, Società Azionaria (ICMESA)" bei Seveso 20 km nördlich von Mailand, einer Tochtergesellschaft von Hoffmann-LaRoche/Givaudan. Die Schätzungen, wieviel Dioxin freigesetzt wurde, variieren zwischen 135 g und 120 kg [33, 16, 28], nach neueren Angaben zwischen 200 g und 3,5 kg [36...38]. Einzigartig und

unvorhersehbar, wie von Firmenseite gerne dargestellt [16], war dieser Unfall keineswegs. Zum einen hatten sich bis dahin schon mehrere Unfälle mit Dioxin ereignet, die schwere gesundheitliche Schäden für die betroffenen Arbeiter und im allgemeinen die Schließung und den Abriß der Produktionsstätten zur Folge hatten. Zum anderen hatte der deutsche Hersteller von Trichlorphenol, bei dem 19 Jahre zuvor das Dioxin und sein hohes toxisches Potential erkannt worden war, noch im selben Jahr alle Trichlorphenolproduzenten auf die mit dem bisherigen Herstellungsverfahren verbundenen Risiken und auf Möglichkeiten zu ihrer Vermeidung hingewiesen [39].

In den Jahren 1962 bis 1970 [40] wurden bei den Entlaubungsaktionen während des Krieges in Südvietnam etwa 110 kg bis 180 kg Dioxin als Beimengung der eingesetzten chemischen Kampfstoffe ("Agent Orange" und andere) ausgetragen [24, 41, 42, 29]. Das Verhältnis zwischen dieser, verteilt auf eine Fläche von 14.000 km<sup>2</sup> bis 20.000 km<sup>2</sup>, geringen Menge und der Zahl der schwerwiegend Verletzten, die zu einer Flut von 200.000 Schadensersatzforderungen [43, 44] gegen die Firma Dow Chemical Company, den wichtigsten Produzenten dieser Chemie-Waffe, führte, gilt als weiterer Beweis des hohen Gefährdungspotentials dieser Stoffe. Noch 14 Jahre später wurden in Südvietnam Dioxingehalte in Proben von Humanfettgewebe gemessen, wie sie sonst nur in Industrieregionen der nördlichen Hemisphäre vorkommen. Dagegen liegen, entsprechenden Messungen zufolge, die Dioxingehalte im Norden Vietnams bei einem Zehntel dieser Werte wenn nicht gar unter der Nachweisgrenze [45, 46].

Dioxine sind nach der Nomenklatur der Chemie zweifach ungesättigte, sechsgliedrige, heterocyclische Verbindungen mit vier Kohlenstoff- und zwei Sauerstoffatomen in para-Stellung und Furane zweifach ungesättigte, fünfgliedrige, heterocyclische Verbindungen mit vier Kohlenstoffatomen und einem Sauerstoffatom (Bild 1). Werden diesen Heterocyclen zwei halogenierte Benzolringe angelagert, so entstehen polyhalogenierte (zum Beispiel -chlorierte) Dibenzodioxine (PCDD) und -furane (PCDF), umgangssprachlich verkürzt zu "Dioxin" (die verwendeten Abkürzungen sind in Tabelle 1 zusammengestellt). Insbesondere bezieht sich diese Bezeichnung auf den wichtigsten, weil giftigsten Vertreter dieser Stoffgruppe: das 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin (2,3,7,8-TCDD) mit der Chemical Abstracts Registry Number (CARN) 1746-01-6. - In Hinblick auf

Ihre Entstehung und chemische Verwandtschaft wären die Dioxine treffender als durch Sauerstoff verbundene, polyhalogenierte Benzolringe zu bezeichnen [47].

Wie viele andere halogenierte, speziell chlorierte, Kohlenwasserstoffe sind auch die Dioxine giftig und möglicherweise fruchtschädigend, krebserregend und erbgutverändernd [48, 33, 49...51, 42, 52...63, 23, 64...67, 38]. Sie unterliegen deshalb der Gefahrgut-, der Gefahrstoff-, der Störfall- und der Höchstmengenverordnung [68...71] sowie der Verordnung über Abfallverbrennungsanlagen [72]. Auf Grund Ihrer besonderen Gefährlichkeit sollen sie aus der Gefahrstoffverordnung ausgegliedert und in einer speziellen Dioxinverordnung behandelt werden. Eine entsprechende Gesetzesvorlage, in der erstmals auch die bromierten Dibenzodioxine und -furane bewertet werden sollen, wird gegenwärtig im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit erarbeitet [73, 74].

Ihre Aufnahme erfolgt mit der Nahrung, in geringerem Maße mit der Atmung [75, 76, 37] oder durch die Haut. Sie rufen Chlorakne hervor und schädigen Leber, Nerven- und Immunsystem [77, 31, 78, 79, 44].

Die Gefährlichkeit der Dioxine ist unter anderem durch Ihren hohen  $K_{OW}$ -Wert begründet. Mit dem  $K_{OW}$ -Wert (Nernstscher Verteilungskoeffizient) wird die Löslichkeit in der lipoiden zu der in der wäßrigen Phase ins Verhältnis gesetzt. Je größer dieser Wert ist, desto stärker ist einerseits die Anreicherung im Körperfett und desto geringer andererseits die Ausscheidung über das Körperwasser. Dioxine sind ähnlich wie polychlorierte Biphenyle extrem lipophil, aber in Wasser nahezu unlöslich [80, 81]. Das Verhältnis der Löslichkeit in Octanol zu der in Wasser beträgt  $1,6 \cdot 10^6$  bis  $10^{12}$  [67, 29, 57, 82...84]. Zusammen mit der ebenfalls hohen Persistenz der Dioxine führt dies zu einer besonders bei Fischen und Säugern stark ausgeprägte Bioakkumulation - vorzugsweise in der Leber und im Fettgewebe weniger in der Haut und im Muskelgewebe [33, 81, 85].

Ihre Teratogenität - zumindest bei Mäusen - ist seit langem bekannt [86, 87]. Die Vietnam Veterans Administration macht sie für Mißbildungen an etwa 4.000 Kindern von US-Soldaten verantwortlich, die mit Agent Orange in Berührung gekommen waren [49, 44]. Ein mutagenes Potential konnte bislang nicht nach-

gewlesen werden. Bezüglich Krebs scheint eher eine fördernde als eine auslösende Wirkung zu bestehen [88]. In scharfem Kontrast hierzu stehen mehrere engagierte Diskussionsbeiträge auf dem internationalen Dioxin-Symposium 1984 in Hamburg [89], in denen 2,3,7,8-TCDD als der am stärksten krebserregende Stoff bezeichnet wird - gestützt auf "Jüngste Veröffentlichungen der amerikanischen Umweltschutzbehörde, bestimmt keiner radikalen Organisation" [90]. Bei Nagetieren hat es sich eindeutig als krebserzeugend erwiesen [42, 91, 67, 38]. Langzeituntersuchungen an exponierten Chemikarbeitern in Hamburg und Ludwigshafen am Rhein belegen denselben Tatbestand für den Menschen [92, 93, 67, 94].

Als stünde es im Belieben der Toxikologen, das Ergebnis anzustellender wissenschaftlicher Untersuchungen vorwegzunehmen, formuliert der Vertreter [95] der nordrhein-westfälischen Landesanstalt für Immissionsschutz, der 1986 in Essen die VDI-Tagung "Dioxine" [80] eröffnete, "daß man im Gegensatz zu cancerogenen Stoffen, für die es keine Immissionsgrenzwerte gibt, ... auf dem Gebiet der ... Dioxine ... nicht in diese Situation kommen muß." Hierbei stützt er sich auf die Bundesärztekammer, nach deren Ansicht es keinen Anhaltspunkt dafür gibt, daß 2,3,7,8-TCDD teratogen, mutagen oder cancerogen sei. Wörtlich schrieb diese in Ihrer Stellungnahme [96]: "Teratogene ... Wirkungen ... sind aus Tierexperimenten bekannt." Dennoch bedeute dies "für den Menschen ... keinen ... Hinweis darauf, daß 2,3,7,8-TCDD ... teratogen wirkt." Andere Stellungnahmen [90, 94] hierzu werden ignoriert. Die (Sensations-)Presse wird aufgefordert, sich des Themas mit mehr Sachkunde anzunehmen.

Die Toxizität von 2,3,7,8-TCDD gilt als so extrem, daß sie die jeden anderen synthetischen Stoffes bei weitem übertrifft [43, 77, 97, 98, 29, 85, 99, 100], die Gefährlichkeit einiger natürlicher Gifte allerdings nicht erreicht [101, 102, 67]: "Even the presence of ultratrace amount of these compounds in the workplace should be construed as dangerous." Tabelle 2 enthält eine vergleichende Zusammenstellung, in der die Giftigkeit der aufgeführten Stoffe auf 2,3,7,8-TCDD bezogen ist [103].

Die Grenzwerte für 2,3,7,8-TCDD sind denn auch dementsprechend niedrig angesetzt: Für Nagetiere, das empfindlichste ist das Meerschweinchen, wird als einmalige Dosis [56, 104], bei der 50 % der Individuen sterben ( $LD_{50}$ ),  $0,6 \mu\text{g}$



pro kg Körpergewicht (KG) (= 0,6 ppb) und als chronische Dosis, die ohne erkennbare Auswirkung bleibt (NOEL), 1 ng pro kg KG und Tag (= 1 ppt/d) angegeben [105, 57, 106...108, 61]. Im Tierversuch führten Dosen von 4 mal 1 ng pro Woche und kg KG, die nahe am NOEL liegen, bereits zu einer Beeinträchtigung des Immunsystems [79]. Für den Menschen wird daraus ein Wert von 1 pg bis 10 pg pro kg KG und Tag (= 1 ppq/d bis 10 ppq/d) abgeleitet [89, 105, 109, 108, 94], der selbst bei täglicher Einnahme noch keine Gefährdung darstellen soll (ADI).

In der Landwirtschaft gelten Bodenbelastungen unter 5 ng/kg als uneingeschränkt und solche bis zu 40 ng/kg (= 5 ppt bis 40 ppt) als eingeschränkt zulässig [110, 67, 111]. Durchschnittliche Werte in Baden-Württemberg liegen in landwirtschaftlichen Gebieten unter 1 ng/kg, in städtischen Grünanlagen unter 6 ng/kg und in Kleingärten im Stadtgebiet zwischen 6 ng/kg und 20 ng/kg [112]. Nach jüngsten Meldungen beabsichtigt die Bundesregierung nun, gegen den Widerstand der Wissenschaftler, den unteren Grenzwert auf das Niveau des oberen anzuheben [113, 114]. In Wohngebieten werden bis zu 1 µg/kg (= 1 ppb) toleriert [105, 115, 116]. Eine Internationale Expertengruppe [89] nennt dieselbe Zahl als Unbedenklichkeitsgrenze für Abfalldeponien und fordert für Luft und Trinkwasser Werte, die mindestens sechs Größenordnungen darunter liegen: < 1 ppq. Zum Vergleich: Die maximale Konzentration am Arbeitsplatz (MAK) für das 10.000mal weniger giftige Natriumcyanid beträgt 5 mg/m<sup>3</sup> [117], das entspricht 3,85 ppm, wenn 1 m<sup>3</sup> Luft mit 1,3 kg gewichtet wird.

Im allgemeinen treten die Dioxine und Furane als Gemische der 210 denkbaren chlorierten Kongenere (= Isomere der Homologenreihe, siehe Bild 1) auf. Werden außer chlorierten auch noch bromierte und gemischt chloriert/bromierte Kongenere berücksichtigt, so erhöht sich diese Zahl auf über 5.200 [110], von denen über 400 als toxisch betrachtet werden müssen [73]. Die für Mensch und Umwelt gefährlichsten unter ihnen sind jene, bei denen die Chloratome die Positionen 2, 3, 7 und 8 im Molekülverband besetzen. Die Gefährlichkeit der verschiedenen Kongenere wird durch Toxizitätsäquivalenzfaktoren (TEF) auf 2,3,7,8-TCDD bezogen [118...120, 105, 121...125, 37, 126...128]. Allerdings sind sowohl die zahlenmäßige Größe dieser Faktoren als auch die Zulässigkeit solcher Vergleiche überhaupt umstritten [109, 96, 129, 75, 76, 130...132]. Eine Zusammenstellung der von verschiedenen Institutionen vorgeschlagenen Äquivalenzfaktoren zeigt Tabelle 3

- und die im Einzelfall bis zu 10.000 % betragenden Abweichungen zwischen diesen Vorschlägen. Wenn auch die Äquivalenzfaktoren der meisten Kongenere sehr klein sind, so dürfen diese doch keineswegs vernachlässigt werden. Denn erstens sind auch Stoffe, deren Toxizität "nur" ein Hundertstel oder Tausendstel der des 2,3,7,8-TCDD beträgt, noch extrem giftig (siehe Tabelle 2) und zweitens ist ihr Anteil an den üblichen Dioxingemischen so hoch, daß sie ein Vielfaches des reinen 2,3,7,8-TCDD zur Gesamttoxizität beitragen [133].

In Tabelle 4 sind typische Proben von einem Holzschutzmittel (Pentachlorphenol) und einer Transformatorenfüllung (Polychlorbiphenyl), aus dem Abgas einer Müllverbrennungsanlage und aus menschlichem Fettgewebe zusammengestellt [110], die mit Hilfe der fünf meist verwendeten Äquivalenzfaktoren bewertet wurden. Die Differenzen zwischen den so berechneten Toxizitätsäquivalenzmengen (TEQ) hängen sowohl von der unterschiedlichen Wichtung der einzelnen Kongenere als auch von deren prozentuaem Anteil am Dioxingehalt der Proben ab. Relativ gut ist die Übereinstimmung zwischen dem skandinavischen und dem internationalen System. Im Vergleich hierzu erscheinen nach der Bewertung des Bundesgesundheitsamtes (BGA) die Dioxingehalte von Polychlorbiphenyl und von Humanfett nur mit halber Giftigkeit, da das vom BGA um den Faktor 5 niedriger eingestufte 2,3,4,7,8-Pentachlordibenzofuran hierin mit besonders hohem Anteil enthalten ist. Entsprechendes gilt für die Bewertung durch die amerikanische Umweltschutzbehörde (EPA). Bei dieser ist jedoch zu berücksichtigen, daß die von ihr postulierten niedrigen Äquivalenzwerte zu korrelieren sind mit dem im Vergleich zu allen anderen Systemen niedrigsten ADI-Wert, wie die folgende Zusammenstellung zeigt [134...136, 94, 38]:

- USA, EPA/FDA	:	0,006...0,06 pg/Tag/kg KG
- Großbritannien	:	1 pg/Tag/kg KG
- Niederlande	:	4 pg/Tag/kg KG
- Schweden	:	5 pg/Tag/kg KG
- Deutschland, BGA	:	1...10 pg/Tag/kg KG
- Weltgesundheitsorganisation (WHO):	:	1...10 pg/Tag/kg KG
- Kanada	:	10 pg/Tag/kg KG
- Japan	:	100 pg/Tag/kg KG

Die jüngste der Gesetze und Verordnungen, die in Deutschland die Emission von Dioxinen regeln, die Verordnung über Abfallverbrennungsanlagen [72], wendet nun die internationalen TEF an, nachdem bislang die TEF des Bundesgesundheitsamtes [105] zugrunde gelegt wurden, wenn die verschiedenen Dioxin-Kongenere nicht überhaupt ungewichtet zusammengezählt wurden [69].

## 2. ENTSTEHUNG UND VERBREITUNG VON DIOXINEN

Dioxine und Furane wurden niemals industriell zu irgendeinem Zweck hergestellt [110]. Sie entstehen ausschließlich ungewollt als Verunreinigung des eigentlichen Verfahrensproduktes (bisher schätzungsweise 60,5 Tonnen weltweit [137], in der Bundesrepublik etwa 10 kg TEQ pro Jahr [93]) bei chemischen und thermischen Prozessen, immer - zum Teil in nur sehr geringen Mengen - wenn Kohlenstoffverbindungen, vor allem ringförmige, in Gegenwart von Chlor erhitzt oder - verbrannt werden [33, 138, 139, 85, 100, 140...142, 67, 143, 111].

In der Industrie sind hauptsächlich die folgenden Prozesse mit der Entstehung von Dioxinen verbunden:

- Herstellung von
  - Papier,
  - Pflanzenschutz-,
  - Holz-, Flammschutz- und
  - Desinfektionsmitteln und
  - Isolier-, Kühl- und Hydraulikflüssigkeiten,
- Recycling von Metallschrott.

Beispiele für dioxinbildende Verbrennungsprozesse finden sich in:

- Müll- und Sondermüllverbrennungsanlagen,
- öl- und kohlebefeuerter Kraftwerken,
- Heizungsanlagen der Privathaushalte und
- Automotoren.

Nach chemischen Kriterien läßt sich die Dioxin-Entstehung wie folgt gliedern [144, 145]: In Prozesse, bei denen das Chlor an aromatische, und solche, bei

denen es an aliphatische Kohlenwasserstoffe gebunden ist, in Prozesse mit anorganischem Chlor und solche mit chlorhaltigen Katalysatoren. Unabhängig von der Chlor-Quelle entstehen als Zwischenprodukte immer chlorierte Benzole, Phenole, Ethylene oder Acetylene [146, 147]. Aus diesen entwickelt sich unter Wärmeeinfluß Dioxin, zum Beispiel bei halogenierten Biphenylen und bei Trichlorphenol über 180°C [148, 105], bei ortho-halogenierten Phenolen schon ab 145°C [105].

In der Industrie entstehen Dioxine, wenn auch nur in geringer Menge, überall, wo Chlorkohlenwasserstoffe - auch aliphatische! [144, 146, 145] - verarbeitet werden, in nennenswerten Mengen jedoch beim Stahl-, Aluminium- und Kupfer-Recycling [148, 149, 144, 145, 141, 150], wenn kunststoffhaltiger Auto-, Kabel- oder Elektronikschrott eingeschmolzen wird, und beim Bleichen des Zellstoffes während der Papierherstellung [151], hier schon bei Temperaturen von 40°C bis 60°C - die 12 giftigsten Kongenere wurden nachgewiesen [152, 37]. Als zwar unerwünschtes doch nicht unerhebliches Nebenprodukt entstehen sie bei der Herstellung von Schädlingsbekämpfungs- und Desinfektionsmitteln, von Holz- und Flammschutzmitteln [153] und bei der Herstellung und Verwendung [154] von Kühl- und Isolierflüssigkeiten für Transformatoren und Kondensatoren (sogenannte Askarele [155, 51, 156, 105, 32, 157, 110, 143]), wenn polyhalogenierte Ringkohlenwasserstoffe, zum Beispiel polychlorierte oder -bromierte Biphenyle, polychlorierte Benzole oder Phenole erhitzt werden. Nur in geschlossenen Systemen, die den Zutritt von Sauerstoff verhindern, bilden Askarele auch bei Erwärmung keine Dioxine [158, 159]. Flammgeschützte Kunststoffgehäuse von Computern und Videorecordern emittieren polybromierte Furane schon bei Betriebstemperatur: Während einer Stunde Fernsehen nimmt ein Zuschauer etwa 1 µg Furan auf (nicht TEF-gewichtet) [67].

Bei der Holzimprägnierung entstehen Hexa- bis Octachlordibenzodioxine und -furane, wenn das Natriumsalz des Pentachlorphenols (PCP) über 300°C [160, 12], beziehungsweise über 230°C [105] erwärmt wird. Zusätzlich kann das Trichlorphenol, aus dem es hergestellt wird, selbst schon Dioxin enthalten. Allein für die Bundesrepublik Deutschland wurde 1987 eine Dioxin-Immission (nicht TEF-gewichtet) durch verunreinigtes PCP von 215 kg ermittelt [91] - etwa 15 % des entsprechenden kanadischen Wertes [161, 162].

Die bedeutendste Dioxinquelle findet sich im ICMESSA-Verfahren, mit dem aus 1,2,4,5-Tetrachlorbenzol 2,4,5-Trichlorphenol hergestellt wird, der wichtigste Grundstoff für die Produktion von Schädlingsbekämpfungsmitteln und Desinfektionsmitteln. Bei diesem Verfahren wird das Tetrachlorbenzol mit Natronlauge in einem Ethylenglykol-Xylol-Gemisch unter Erwärmen hydrolisiert [163, 15]. Im Gegensatz zu der ungefährlicheren Synthese, die sich in Methanol als Lösungsmittel und unter Druck im Autoklaven vollzieht, erfordert das drucklose und darum billigere ICMESSA-Verfahren höhere Arbeitstemperaturen. Vor allem beim Überhitzen des Reaktionsgemisches entstehen in einer Nebenreaktion die Dioxine, die auch in das Folgeprodukt 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure (2,4,5-T), das Vietnam-Entlaubungsmittel, mitgeschleppt werden [43, 160, 49, 42]. Unter der gleichen Verunreinigung leiden auch andere, häufig eingesetzte Biozide wie die Derivate der Phenoxy-carbonsäuren (2,4-D, 2,4-DB, Dichlorprop, Fenoprop, MCPA, MCPB, Mecoprop, ... [33]) und das Desinfektionsmittel Hexachlorophen [24], deren Herstellungsverfahren auf dem Trichlorphenol basieren. Die Menge der mit der Herstellung von 2,4,5-T angefallenen 2,3,7,8-TCDD-Verunreinigung betrug bei den (west)deutschen Herstellern 8 kg pro Jahr [163] - beim größten Hersteller allein mindestens 5 kg pro Jahr [39, 105]. Die Produktion dieser Schädlingsbekämpfungsmittel stellt die wichtigste Quelle [164], und ihre heute nahezu weltumspannende Anwendung den wesentlichen Grund der ubiquitären Verbreitung der Dioxine dar.

Die Dioxinmengen und vor allem die Konzentrationen des 2,3,7,8-TCDD, die bei diesen industriellen Prozessen anfallen, können - wie der Unfall in Seveso zeigte - ganz erhebliche Ausmaße annehmen. Seit 1982, verschärft in den Jahren 1986 bis 1990, sind die Hersteller jedoch gesetzlich verpflichtet, die Dioxin-Verunreinigung in ihren Produkten und damit den Austrag in die Umwelt zu minimieren [165, 68, 166, 167, 69, 168, 70, 72, 169]. Diese Gesetze und Verordnungen scheinen zu greifen: Untersuchungen, die die Kongenerenprofile von Fisch-, Muttermilch- und Fettgewebe-Proben aus Skandinavien, Mitteleuropa, Nordamerika, Japan und Vietnam vergleichen, zeigen nicht nur eine große Ähnlichkeit der Dioxin-Belastung, sondern auch, daß die Bedeutung des Hauptemittenten der 60er und 70er Jahre, der Chlorphenolchemie, zurückgegangen ist und daß diejenige der Metallrückgewinnungs- und der Müllverbrennungsanlagen wächst, wobei Kunststoffe und Papier die wichtigsten Chlorquellen darstellen [170, 171]. Doch ist der durch Holzschutz- und Desinfektionsmittel verur-

sachte Dioxineintrag noch deutlich höher als der durch die Müllverbrennung [141, 142].

Im Gegensatz zu den Herstellern und Verbrauchern industrieller Chemieprodukte lassen sich die individuellen Emittenten geringerer Dioxinmengen gesetzlich nur unzureichend fassen. Vermutlich stammt aber auch von Ihnen ein bedeutender Beitrag zur zunehmenden, globalen Dioxin-Belastung. Die Dioxinbildung bei der Brandrodungen, beim Hausbrand von Kohle, Holz und Torf, beim Kraftfahr- und Flugzeugverkehr, bei der Müllverbrennung, ... ist zwar gering, doch übersteigt die Masse der bei diesen Prozessen auf der Welt insgesamt umgesetzten Stoffe die der Industrie nicht nur um ein Vielfaches [171, 172], sie wächst zudem exponentiell - dem Wachstum der Bevölkerung und dem ihres Prokopf-Energieverbrauches entsprechend. Tabelle 5 nennt die wichtigsten natürlichen und industriellen Emittenten in der Reihenfolge ihres Dioxinausstoßes, so wie er für Kanada vor sechs Jahren geschätzt wurde [162]. Als wichtigste, natürliche Quelle erscheint danach das Verbrennen von chemisch unbehandeltem Holz - weit übertroffen jedoch von dem an Pentachlorphenol und an polychlorierte Biphenyle (PCB) gebundenen gewerblich-industriellen Eintrag.

In den Tabellen 6, 7 und 8 sind Werte für Schweden, die Schweiz und die Bundesrepublik zusammengestellt [37, 111]. Im Unterschied zu Tabelle 5, die die ungewichteten Summen aller Dioxine und Furane der einzelnen Emittenten nennt, sind diese Zahlen entsprechend den in Skandinavien beziehungsweise in Deutschland gültigen Toxizitätsäquivalenten bewertet. Der Vergleich wird aber auch dadurch erschwert, daß es einerseits in Kanada weder eine dioxin-emittierende Papierindustrie noch ein Metallrecycling zu geben scheint und daß andererseits in Schweden und in der Schweiz bei der Müllverbrennung anscheinend keine festen Reststoffe anfallen und die privaten Haushaltsheizungen wohl genauso dioxinfrei arbeiten wie die dortige Chemieindustrie. Die Summe der Dioxin-Emissionen ist also sicher größer als die hier genannten Werte, die jedoch selbst schon in einer Höhe rangieren, die vorsorglich nicht mehr als gesundheitlich unbedenklich bezeichnet werden kann (vergleiche die Angaben zu Seveso und Vietnam auf Seite 2 und 3 [67]).

Die Entwicklung der hochauflösenden Analysegeräte, durchweg Kombinationen eines Gaschromatographen mit einem Massenspektrometer (GC/MS), senkte die

Nachweisgrenze für PCDD/PCDF in den vergangenen 20 Jahren von 300 pg auf heute 1 pg [173, 110]. Diese modernen Geräte ermöglichen es, auch geringste Konzentrationen ( $10 \text{ pg/kg} = 10 \text{ ppq} = 10^{-12} \%$  [33]) zu messen und so zu zeigen, daß Dioxine nicht nur bei industriellen, sondern in Gegenwart einer Chlorquelle auch bei natürlichen (unvollständigen [174, 110]) Verbrennungsvorgängen auftreten und, der vor etwa zwölf Jahren viel diskutierten Theorie "Spurenchemie des Feuers" zufolge, also schon immer vorhanden gewesen sein müssen [175, 176, 138, 177...180]. Nachgewiesen wurde ihr Vorkommen in der Asche von Holz- und Kohlefeuern [181, 182], von Holzkohlengrills und Zigaretten [33, 111], in den Auspuffgasen von Otto- und Dieselmotoren [180, 141] (nach jüngsten Untersuchungen hauptsächlich in verbleitem Kraftstoff wegen der in diesem enthaltenen halogenierten Scavengerverbindungen [103, 183, 67, 143, 111], die im kommenden Jahr verboten werden sollen [184, 185]), in der Flugasche und der Schlacke von Müllverbrennungsanlagen und im Sickerwasser von Mülldeponien [186...188, 141, 63].

Bei Verbrennungsprozessen im Real- und im Labormaßstab können sowohl der Mangel [189, 190, 33, 191, 53, 192, 193] als auch der Überschuß [189, 190, 194, 195, 193] an Sauerstoff die Dioxinbildung begünstigen. In Müllverbrennungsanlagen (MVA) und in thermischen Kraftwerken gelten Verbrennungsbedingungen mit hoher Temperatur, ausreichendem Luftangebot, guter Durchwirbelung und hoher Verweildauer des Brennstoffes in der Brennkammer als dioxinmindernd [196]. Wenn die Abgase jedoch noch Brennstoffreste enthalten, so bilden sich - trotz optimaler Verbrennungsbedingungen im Feuerungsraum - die Dioxine erneut in der Zone nach dem Dampferzeuger, in der sich das Rauchgas auf  $250^\circ\text{C}$  bis  $300^\circ\text{C}$  abgekühlt hat [197, 198, 193, 199, 142, 47, 200], am schnellsten in Gegenwart von Sauerstoff und katalytisch wirkenden Kupfersalzen (zum Beispiel  $\text{CuCl}_2$ ) [146, 85, 201, 174, 202]. Mögliche Vorläuferverbindungen werden, ebenso wie die entstehenden Dioxine selbst, vorzugsweise von den Flugaschepartikeln gebunden [198].

Dioxine sind inzwischen weltweit verbreitet. Tabelle 9 führt stichwortartig auf, wo und in welchen Konzentrationen sie vorzufinden sind [203].

### 3. DURCHSCHNITTLICHE EXPOSITION UND GEFÄHRDUNGSSCHWELLE

Die Dioxin-Konzentration in unserer Umwelt ist heute schon so hoch, daß in Industrieländern pro Person und Tag eine Menge von 1 pg bis 280 pg 2,3,7,8-TCDD aufgenommen wird (unterschiedlich je nach Untersuchung [108, 75, 76, 130, 204, 37, 205]). Inzwischen ist die große Spannbreite dieser Angaben auf etwa 15 pg bis 30 pg 2,3,7,8-TCDD pro Person und Tag eingeeengt worden [93]. Berücksichtigt man noch die anderen in unserer Umgebung, besonders in der Nahrungskette, vorhandenen polychlorierten Dioxine und Furane und bewertet sie entsprechend den vom Bundesgesundheitsamt [105] genannten Äquivalenzfaktoren (TEF), so ist für sie eine Toxizitätsäquivalenzmenge (TEQ) von 55 pg bis 110 pg zu addieren. Zusammen werden also mit der Nahrung im täglichen Durchschnitt etwa 1 pg bis 2 pg TEQ pro kg Körpergewicht (= 1 ppq bis 2 ppq) aufgenommen. In der Tabelle 10 sind die in der Literatur gefundenen Werte zusammengestellt und auf vergleichbare Dimensionen umgerechnet.

Mit Hilfe des folgenden Akkumulationsgesetzes

$$A = D \cdot \frac{1 - 2^{-nt/T}}{1 - 2^{-t/T}}$$

A = Akkumulation [pg/kg KG]  
D = regelmäßige Dosis [pg/kg KG]  
T = Halbwertszeit [Tage]  
t = Dosisintervall [Tage]  
n = Dosiswiederholung

und unter Annahme einer Halbwertszeit (HWZ) von T = 6 Jahren [88] im menschlichen Organismus haben die zitierten Autoren die in der Tabelle genannten Werte aus Messungen des Dioxingehaltes von Humanfettproben zurückgerechnet.

Bei der Berechnung des Einflusses der Dioxin-kontaminierten Atemluft auf die Gesamtbelastung fallen Differenzen auf: So wird einmal von einer Atemkapazität pro Person und Tag von 10 m<sup>3</sup> [76], ein andermal von 20 m<sup>3</sup> [75] ausgegangen. Da sich gleichzeitig die angenommenen Dioxin-Konzentrationen in der Luft um den reziproken Faktor unterscheiden, kommen dann beide Autoren zu vergleichbaren Ergebnissen: 10 pg bis 25 pg TEQ Aufnahme mit der täglichen Atmung, was etwa 10 % bis 20 % der Aufnahme mit der Nahrung entspricht und für unerheblich gehalten wird. Bei den durch Pfeile in Bezug zueinander ge-



setzten Aufnahmemengen in der Tabelle 10 ist zu berücksichtigen, daß diese Aufnahmepfade von einander unabhängig sind und also der größere Wert bei der Inhalation (0,4 pg/kg) auch auf den kleineren bei der Ingestion (2 pg/kg) bezogen werden kann. - In Einzelfällen, bei Personen die sich in stark holzschutzmittel-belasteter Umgebung aufhalten, kann die Dioxinaufnahme mit der Atmung (Innen- und Außenluft, Haus- und Straßenstaub) auch höhere Werte erreichen, wie in der letzten Zelle der Tabelle dargestellt [206].

Auch andere Autoren bewerten die direkte Inkorporation von Dioxin mit der Atemluft gering [135], warnen jedoch vor der landwirtschaftlichen Nutzung von Böden in der Umgebung von Dioxin-Emittenten, speziell vor der Nutzung als Viehweide. Die Belastung dieser Böden bis zu einer Tiefe von 10 cm kann im Einzelfalle die durchschnittliche Grundbelastung (vergleiche die baden-württembergischen Werte auf Seite 6) ganz erheblich überschreiten, wie folgende Beispiele zeigen [110, 94, 111, 207]:

- Grundbelastung : 1 ng TEQ / kg
- Umgebung älterer Müllverbrennungsanlagen : 40 ng TEQ / kg
- Klärschlamm-gedüngte Böden : 3...260 ng TEQ / kg
- Straßenränder : 260 ng TEQ / kg
- Ablagerungen der Papierindustrie : 6.500 ng TEQ / kg
- Umgebung des Metallumschmelzwerkes in Rastatt: 7.930 ng TEQ / kg
- Umgebung der Kabelabbrennanlage in Crailsheim: 29.000 ng TEQ / kg

Die Aufnahme durch die Haut kann bei Personen, die nicht berufsbedingt mit Dioxin in Kontakt kommen, vernachlässigt werden. Im anderen Falle ist entsprechende Schutzkleidung vorzusehen.

Der überwiegende Teil der heute festzustellenden Dioxin-Inkorporation, darüber sind sich alle Autoren einig, wird über die Nahrungskette aufgenommen. Die Bedeutung der einzelnen Schritte auf diesem Aufnahmepfad wird hingegen gering bewertet. Dies zeigen nicht nur die folgenden Zitate, sondern auch Äußerungen zahlreicher anderer Autoren.

- Emission einer Verbrennungsanlage [105, Seite 232]: Die "jährliche Anreicherung des Bodens durch eine Müllverbrennungsanlage (beträgt im höchstbeaufschlagten Gebiet) 5 ppq. Das ergibt

ohne Berücksichtigung der Halbwertszeit und einer zur Zeit meßtechnisch in der Regel nicht darstellbaren Vorbelastung einen Zeitraum bis zur Erreichung des (für landwirtschaftliche Nutzung gültigen) Grenzwertes (von 40 ppt) von 8.000 Jahren. Ein signifikantes Risiko ist demnach auch über diesen Belastungspfad nicht erkennbar."

- Austrag von Dioxin mit modernen Schädlingsbekämpfungsmitteln [105, Seite 120 und 234]: "Beim normalen Einsatz von Herbiziden, die 2,3,7,8-TCDD als Verunreinigung enthalten, ist in den Ernteprodukten bei einer Nachweisgrenze von 2 ppt bis 10 ppt nicht mit 2,3,7,8-TCDD-Gehalten zu rechnen." ... "Seit 1981 gilt für die in der Bundesrepublik zugelassenen Pflanzenschutzmittel, daß die Verunreinigung an 2,3,7,8-TCDD nicht mehr als 5 ppb betragen darf. Über den 31.10.1985 hinaus sind 2,4,5-T-haltige Pflanzenschutzmittel nicht mehr zugelassen. Somit entfällt für die Bundesrepublik Deutschland ein 2,3,7,8-TCDD-Eintrag in die Umwelt über 2,4,5-T."
- Aufnahme durch Pflanzen aus belasteten Böden [105, Seite 119]: "Die 2,3,7,8-TCDD-Aufnahme der Pflanzen aus dem Boden ist gering. Versuche mit Hafer und Sojabohne auf Böden mit 200.000-fach höheren 2,3,7,8-TCDD-Gehalten als sie durch 'normale' 2,4,5-T-Applikation erreicht werden, ergaben in jungen Pflanzen Spurenrückstände (< 1 ppt), in den ausgewachsenen Pflanzen konnten keine Rückstände nachgewiesen werden."
- Inkorporation bei Rindern, die auf verunreinigten Weiden grasen [105, Seite 121]: "Experimentelle Untersuchungen auf 2,4,5-T-behandelten Weideflächen ergaben 2,3,7,8-TCDD-Werte zwischen 4 ppt und 70 ppt ... das Verfüttern kontaminierter Futtermittel kann zu 2,3,7,8-TCDD-Anreicherungen im Rinderfett von 5 ppt bis 10 ppt führen ... bei Rindern, die auf Weideland gegrast hatten, das mit 2,4,5-T in üblichen Dosen behandelt worden war, lagen einige Werte im Bereich der Nachweisgrenze (1 ppt)."

- Und ganz allgemein [105, Seite 119]: "Versuche, 2,3,7,8-TCDD in nicht besonders kontaminierten Pflanzen-, Tier- und Nahrungsmittelproben nachzuweisen, waren bisher nicht erfolgreich."

Um zu erklären, weshalb dennoch die tägliche Dioxinaufnahme des Menschen Werte erreicht, die zu Besorgnis und zu wissenschaftlichen Untersuchungen Anlaß geben, finden sich vorsichtige Formulierungen wie [105, Seite 144]

"Die orale Aufnahme zusammen mit Nahrungsmitteln ist in bestimmten Fällen möglich."

oder [208]

"Erste Untersuchungen über PCDD/PCDF in Pflanzen zeigen bei Silomais einen tendenziellen Zusammenhang mit dem Boden."

und der mit relativ guter Übereinstimmung von verschiedenen Autoren berechnete Wert von 0,2 pg bis 0,4 pg 2,3,7,8-TCDD pro kg Körpergewicht (= 0,2 ppq bis 0,4 ppq), der im Durchschnitt von jedem Menschen täglich mit der Nahrung und der Atmung aufgenommen wird [209, 105, 210, 108, 75, 76, 130, 204, 141, 205, 93, 38, 137]. Zusammen mit den anderen, 2,3,7,8-TCDD begleitenden Kongeneren, gewichtet entsprechend ihren Toxizitätsäquivalenzfaktoren, erhält man Werte (vergleiche Tabelle 10) von 1 pg bis 2 pg TEQ pro kg KG und Tag (= 1 ppq/d bis 2 ppq/d).

Was sich im allgemeinen nicht findet, ist der deutliche Hinweis darauf, daß dieser Wert den nicht nur vom Bundesgesundheits- und vom Umweltbundesamt postulierten ADI-Wert von 1 pg bis 10 pg TEQ pro kg KG und Tag (= 1 ppq/d bis 10 ppq/d) tangiert beziehungsweise überschritten hat [105, 211, 76] (in der erforderlichen Klarheit wird dies erstmals in der Expertenanhörung im Anschluß an das Dioxin-Symposium 1990 in Karlsruhe zum Ausdruck gebracht [93]). Da dies sicherlich nicht daran liegen kann, daß die Menschen in Industrieländern sich überwiegend von verseuchtem Fisch ernähren (nicht mehr nur in Süßwasserfischen werden erwähnenswerte Dioxingehalte gemessen [211], inzwischen wegen der bis in die Arktis reichenden Kontaminationen auch in Seefischen [212, 213, 110, 111]), kann nur geschlossen werden, daß entweder der ADI-Wert zu niedrig angesetzt ist, oder daß die Dioxin-Akkumulationen auf den einzelnen Schritten des Aufnahmepfades doch nicht so unerheblich sind. Tatsächlich wurde für 2,3,7,8-TCDD der höchste Bioakkumulationsfaktor aller

untersuchten Umweltschadstoffe ermittelt: Konzentrationsverhältnis Kuhmilch / Futter = 12,2; Humangewebe / menschliche Nahrung = 100 bis 200 [210, 214].

Darüberhinaus zeigen neueste Berechnungen, denen der "mittlerer Nahrungskorb" aus dem Ernährungsbericht 1984 der Deutschen Gesellschaft für Ernährung in Frankfurt am Main [215] zugrunde liegt, daß Fisch, der nur einen sehr geringen Anteil der Durchschnittsnahrung ausmacht, in der Tat überproportional zur täglichen Dioxin-Belastung beiträgt, weil er in ganz besonderem Maße kontaminiert ist. Der überwiegende Anteil der Inkorporation stammt aber aus den gängigen Lebensmitteln Fleisch, Geflügel, Milch und Molkereiprodukte. In Tabelle 11 sind diese Werte zusammengestellt, so wie sie vom Bundesgesundheitsamt berechnet wurden [205]. Zahlenwerte von vergleichbarer Größe wurden beim Internationalen Dioxin-Symposium 1991 in Research Triangle Park vorgetragen [216, 137] und auch von der Chemische Landesuntersuchungsanstalt von Nordrhein-Westfalen ermittelt [217]. Von den wichtigsten Nahrungsmitteln werden die durchschnittliche Tagesration, ihr Fettanteil und die damit verbundene Aufnahme von Dioxinen wiedergegeben, dargestellt in reinen 2,3,7,8-TCDD-Werten, in deutschen, amerikanischen und in internationalen Äquivalenzwerten [105, 122, 127]. Es zeigt sich zum einen, daß das deutsche und das amerikanische Bewertungssystem zwar im einzelnen differieren, in der Summe jedoch nahe beieinander liegen. Der internationale Wert liegt etwa 80 % höher, weil hier die pentachlorierten Furane stärker berücksichtigt werden. Und andererseits wird deutlich, daß diese über die Nahrungsaufnahme ermittelten Werte mit jenem aus der Messung der Dioxingehalte in Humanfettproben (Tabelle 10) recht gut übereinstimmen.

Die Bewertung des Anteils an der Dioxin-Inkorporation, der durch den Fischverzehr verursacht wird, ist mit der Schwierigkeit verbunden, daß der Ernährungsbericht nicht zwischen Fisch und Fischkonserven unterscheidet, weder beim Gesamt- noch beim Fettverzehr. Da die Dioxine jedoch fettgebunden aufgenommen werden, wäre diese Unterscheidung von Bedeutung, denn das Fett in Fischkonserven stammt überwiegend aus pflanzlichen Rohstoffen mit nur geringer Dioxin-Belastung. Unter Berücksichtigung dieses Aspektes ist die fischgebundene Dioxinaufnahme um etwa 40 % niedriger anzusetzen, was sich dann bei der durchschnittlichen täglichen Aufnahme in einer Verringerung von 15 % bis 18 % je nach Bewertungssystem auswirkt [216]. Dieses Beispiel zeigt

auch, daß die heute bekannten Zahlenwerte über chronische Dioxin-Expositionen nur als Abschätzungen, nicht als exakte Einzelinformation zu begreifen sind [218].

Die Beurteilung der Toxizität von polychlorierten Dioxinen gilt nach wie vor als außerordentlich problematisch, denn

- Dioxine treten fast durchweg als Gemische auf, innerhalb derer sich die Einzelwirkungen sowohl additiv als auch antagonistisch oder überadditiv verhalten können [81, 108],
- außer 2,3,7,8-TCDD ist nahezu kein weiteres einzelnes Dioxin oder Furan eingehend untersucht worden, geschweige denn das Zusammenwirken verschiedener PCDD/PCDFs [93],
- lediglich die gesundheitlichen Folgen für den Menschen bei hohen, akuten Intoxikationen sind einigermaßen bekannt. Doch ist eine Verknüpfung von Ursache und Wirkung mit vielerlei Unsicherheiten behaftet, denn diese Vergiftungen traten als Folge von Unglücksfällen auf, weshalb über die tatsächlich wirksame Höhe der emittierten Dosis entsprechend geringe Informationen existieren. Bei den zugrundeliegenden Unglücksfällen wurde jeweils ein Gemisch von Schadstoffen emittiert, das nicht nur verschiedene Dioxine und Furane, sondern häufig auch weitere Chemikalien wie beispielsweise Chlorphenole enthält. Über die Mechanismen beim Zusammenwirken solch verschiedenartiger Belastungen existieren praktisch keine Erkenntnisse [92]. Informationen über die Auswirkung geringer Dosen bei langfristiger Exposition, die anerkanntermaßen nicht mit der akuten Intoxikation korrelieren, fehlen jedoch völlig [81, 108], und
- über die Dauer der Halbwertszeit herrscht noch nicht einmal beim 2,3,7,8-TCDD Klarheit. Die Angaben variieren zwischen 5 und 10 Jahren [219, 108, 220, 37, 111]. Die höchsten Werte wurden bei den jüngsten Untersuchungen ermittelt.

Bei kontinuierlicher Inkorporation hängt es von der Größe der Halbwertszeit ab, nach welcher Zeitspanne eine bestimmte Akkumulation im Gewebe erreicht wird,

zum Beispiel 90 % des Maximalwertes, der sich bei täglicher Aufnahme des unteren ADI-Wertes ergäbe. Beträgt die Halbwertszeit 8 Jahre, so wird dieser Wert nach etwa 12 Jahren überschritten, bei einer Halbwertszeit von 10 Jahren schon 2 Jahre früher - noch früher, wenn die ubiquitäre Dioxin-Konzentration zwischenzeitlich zunimmt. Hätten die Dioxine dagegen eine Halbwertszeit von 5 Jahren oder weniger, würde selbst bei lebenslanger Inkorporation dieser Wert nicht erreicht werden.

Bei der Spannweite der Angaben zur Größe der Halbwertszeit scheint es wenig vertrauenerweckend, wenn in einzelnen Publikationen dann wieder Werte genannt werden (2120 Tage [221]), die den Eindruck exakten Wissens machen sollen. Auch besonders niedrige Werte wirken eher alarmierend als beruhigend [211]: "Unter der Annahme einer biologischen Halbwertszeit von 100 Tagen wurde" aus dem Dioxingehalt nordamerikanischer Humanfettproben von 7 ppt bis 9 ppt "eine tägliche Belastung von 2 pg/kg errechnet." Eine Kontrollrechnung mit Hilfe des Akkumulationsgesetzes von Seite 13 zeigt, daß eine HWZ von 7,5 Jahren "angenommen" wurde. Ein Vertreter der Firma Hoffmann-LaRoche bot 1982 sogar Minihalbwertszeiten von 10 bis 30 Tagen an [222].

Einig sind sich die Wissenschaftler darüber, daß bei Versuchen mit Nagetieren nach Verabreichung von 2,3,7,8-TCDD im ppb-Bereich (= µg/kg KG) akute, charakteristische Symptome auftreten, und daß Dosen unterhalb von 1 ng 2,3,7,8-TCDD pro kg Körpergewicht und Tag ohne Auswirkung bleiben (NOEL = 1 ppt/d). Ein Sicherheitsfaktor, der entsprechend dem zunehmendem Wissensstand (unter anderem über die Verweildauer und Akkumulation im Humangewebe) von 100 auf 1.000 vergrößert werden soll [109, 108, 93], dient dazu, für den Menschen eine Menge (ADI = 1 ppq/d bis 10 ppq/d) zu definieren, die auch bei lebenslanger, täglicher Einnahme toleriert werden kann. In ähnlicher Weise hat der Nordische Rat mit einem Sicherheitsfaktor von 200 für die skandinavischen Staaten eine tolerierbare Wocheninkorporation (TWI) von 35 pg pro kg KG (= 35 ppq) festgeschrieben [125]. Nach der Expertenanhörung beim Karlsruher Dioxin-Symposium 1990 [65] faßt das Bundesgesundheitsamt wie folgt zusammen [93, 203]: "Bei einer ... Aufnahme ... von 1 pg bis 10 pg TEQ pro kg KG und Tag können ... keine konkreten Schäden für die Gesundheit angenommen werden. Jedoch lassen die Ergebnisse sowohl aus dem Bereich der Toxikologie als auch aus dem der Epidemiologie den Schluß zu, daß bei der ... genannten Aufnahme

... ein hinreichender, an den Prinzipien des vorsorgenden Gesundheitsschutzes zu messender Sicherheitsabstand nicht mehr gegeben ist."

Fische gelten als besonders empfindlich: Ohne die tatsächliche Inkorporation zu erwähnen (für den Akkumulationsfaktor werden Werte zwischen 2.000 und 20.000 genannt [51, 223, 63, 64]), wird berichtet, daß schon Konzentrationen von 3 ppt bis 10 ppt im Wasser zu hundertprozentiger Mortalität führen [105]. Für die Forelle wird eine Konzentration ( $LC_{50}$ ) im Wasser, die auf 50 % der Individuen letal wirkt, von 46 ppq angegeben [57]. Sowohl in der aquatischen als auch in der terrestrischen Nahrungskette werden Anreicherungsfaktoren von mehreren Zehnerpotenzen erreicht [224]: insgesamt  $\approx 10^6$ . Der Mechanismus der Weitergabe der Schadstoffe in dieser Kette des Fressens und Gefressenwerdens erklärt die überraschend hohe Akkumulation in Fischen, denn ihre Dioxinwerte werden nicht auf die der von ihnen verzehrten Klein- und Kleinstlebewesen bezogen, sondern direkt auf die des Wassers [225].

Grundsätzlich muß festgestellt werden, daß die Einschätzung der Dioxin-Belastung und die daraus resultierende Gefährdung offenbar noch mit vielen Unsicherheiten verbunden ist. So wird einerseits darauf hingewiesen, daß der Mensch 2,3,7,8-TCDD achtzigmal langsamer ausscheidet als andere Säugetiere [76], das heißt, daß eine achtzigmal niedrigere orale Aufnahme zu den gleichen Konzentrationen im menschlichen Gewebe führt wie im tierischen, wenn man von einer Halbwertszeit im menschlichen Organismus von 5 Jahren ausgeht, und schon eine einhundertundsechzigmal niedrigere bei Annahme einer Halbwertszeit von 10 Jahren [37]. Andererseits konstatiert derselbe Autor, die Exposition der Bevölkerung liege mindestens achtzigmal unterhalb der Konzentrationen, welche beim Tier erste, sehr geringe Effekte verursachen. Ohne das Wörtchen "mindestens" heißt das doch, daß der Mensch gegenwärtig (1987) schon einer Dioxin-Konzentration ausgesetzt ist, die "erste, sehr geringe Effekte" erwarten läßt - eine Schlußfolgerung, die der Autor allerdings nicht zieht.

Eine originelle Einstellung findet sich im bayerischen Umweltministerium [60]: Zwar wird tatsächlich konstatiert, "die tägliche Aufnahme liegt im Bereich der duldbaren Aufnahme (ADI) oder auch darüber", doch wird gleichzeitig der besorgte Leser mit dem Hinweis beruhigt, man befände sich damit noch um den Faktor 100 unter dem kritischen Niveau. Der Faktor 100 ist definiert als Pro-

dukt zweier Sicherheitsbeiwerte (10·10), die die möglicherweise größere Empfindlichkeit des Menschen im Vergleich mit dem Versuchstier und eventuelle Empfindlichkeitsunterschiede zwischen den einzelnen Menschen berücksichtigen sollen. Er stellt also keine argumentative Manövriermasse dar. Wegen der neuesten Erkenntnisse über die Halbwertszeit wird im Gegenteil erwogen, den ersten Faktor von 10 auf 100 anzuheben [93]. - Überlegungen, den ADI-Wert weiter abzusenken [159, 221], können nicht als sehr realitätsbezogen eingestuft werden, wenn es schon nicht gelingt, den gegenwärtig gültigen Wert einzuhalten.

Gravlierender noch scheint das Ergebnis zweier Meßreihen:

- Wegen der besonders hohen Akkumulation in der Muttermilch wird bei gestillten Säuglingen der ADI-Wert von 1 pg bis 10 pg pro kg Körpergewicht und Tag mit 15 pg bis 20 pg 2,3,7,8-TCDD pro kg KG und Tag (= 80 pg bis 90 pg TEQ pro kg KG und Tag mit den TEF des BGA [105] beziehungsweise 150 pg bis 160 pg TEQ pro kg KG und Tag mit den internationalen TEF [127]) dramatisch überschritten [226, 149, 75, 93, 216]. Die Dioxinaufnahme durch das Milchtrinken ist also keineswegs zu vernachlässigen [226].
- Bei dioxin-exponierten Arbeitern eines Betriebes zur Herstellung von Pflanzenschutzmitteln wurden in Fettgewebeproben Dioxinkonzentrationen gefunden [75, 227], die im Vergleich zur Durchschnittsbevölkerung für die verschiedenen Kongenere 10- bis 100mal höher lagen, beim giftigsten, dem 2,3,7,8-TCDD, sogar 580mal, und eine Krebsrate, die 240 % über dem Durchschnitt lag [44]. - Daß die Dioxin-Exposition dieser Arbeiter 30 Jahre vor der Entnahme der untersuchten Gewebeproben stattfand, verdeutlicht, wie langsam Dioxin vom menschlichen Körper abgebaut und/oder ausgeschieden wird [141].



#### 4. ENTSTEHUNG IM BRANDFALL

Die Verbrennungsvorgänge bei einem Wohnungs- oder Industriebrand können grundsätzlich mit jenen in einer Müllverbrennungsanlage verglichen werden. Dies gilt jedoch nur für die Zusammensetzung des Brandgutes [221], denn es gibt hier nichts, was es nicht auch dort gäbe, nicht aber für die Möglichkeiten, juristisch und technisch auf den Prozessverlauf einzuwirken.

Der gegenwärtige Kenntnisstand über die Entstehung und Vermeidung von Dioxinen wurde nicht zuletzt in modernen Müllverbrennungsanlagen gewonnen [110, 228, 143, 200, 229...231], die es erlauben, durch Steuerung des Temperatur- und des Sauerstoffprofils während des Verbrennungsprozesses den gesetzlichen Vorgaben Genüge zu tun, und so den ursprünglichen Dioxingehalt von etwa 50 ng TEQ pro kg Abfall auf nahezu ein Hundertstel zu reduzieren [232, 228, 233]. Die gegenwärtig in Betrieb befindlichen Anlagen, besonders die Sondermüllverbrennungsanlagen, müssen entsprechend nachgerüstet werden [234]. Neueste Forschungen konzentrieren sich darauf, durch Vermeidung von Staubablagerungen und kritischen Temperaturbereichen die Bildung von Dioxinen schon zu Beginn (head-end) des Verbrennungsverfahrens zu verhindern, anstatt erst am Verfahrensende (tail-end) zum Beispiel durch Aktivkohlefilter die Dioxine wieder aus dem Rauchgas zu entfernen [235, 236, 196].

Die Feuerwehr muß auf diese modernen Erkenntnisse verzichten und sich statt dessen darauf einstellen, daß in einem Brand Zonen verschiedener Sauerstoffkonzentration und unterschiedlicher Temperatur vorkommen, die geeignet sind, die Entstehung von Dioxinen zu begünstigen. Besonders im gewerblichen und im technischen Bereich können bei einigen chlororganischen Verbindungen im Falle eines Brandes oder einer Explosion Dioxine in Konzentrationen auftreten [105], "die eine lokale Gefährdung der Umwelt darstellen." Dieser einengenden Betrachtungsweise widersprechen neuere Untersuchungen vor Spitzbergen, die auf Grund ihrer Meßergebnisse zu besorgniserregenderen Schlußfolgerungen Anlaß geben - ohne Brand oder Explosion und Tausende von Meilen vom nächsten Dioxin-Emittenten entfernt [212, 213, 110, 111]: "Die PCDD/PCDF-Konzentrationen in den untersuchten arktischen Robben beweisen, daß die PCDD/PCDF-Verseuchung nicht länger als ein lokales Problem betrachtet werden kann, sondern daß sie weltweite Bedeutung hat."

Für den gewerblichen Bereich - Herstellung, Handel, Transport und Lagerung - hat die Umweltschutzbehörde der Vereinigten Staaten mehrere Listen von Stoffen herausgegeben, bei deren Herstellung Dioxine gebildet werden oder werden können oder deren Ausgangsprodukte Dioxine enthalten oder enthalten können [164]. Diese Stoffe sind alphabetisch in Tabelle 12 zusammengestellt. Ein großer Teil dieser Chemikalien stellt Wirkstoffe von Schädlingsbekämpfungsmitteln dar. Sie sind in der Zusammenstellung des Herstellerverbandes [237] aufgelistet - allerdings ohne einen Hinweis auf die möglicherweise enthaltenen Dioxine, geschweige denn auf die Gefahr ihrer Bildung im Falle eines Brandes. Befinden sich Stoffe aus dieser Zusammenstellung im Brandherd, so ist mit einer Dioxin-Freisetzung in gefährlicher Höhe zu rechnen und ein angemessener Personenschutz vorzusehen, der Inhalation und Hautkontakt zuverlässig verhindert.

Entsprechendes gilt für Brände in Lagern [24, 105, 238]

- der Landwirtschaft, bei denen zu beachten ist, daß beispielsweise bei den bekanntesten Herbiziden nicht nur die während des Herstellungsverfahrens entstandenen Dioxin-Verunreinigungen freigesetzt werden, sondern daß sich unter Brandbedingungen, in gesteigertem Maße während des sehr wahrscheinlichen Falles eines Schwelbrandes, auch aus den Produkten selbst zusätzliche Dioxine und Furane in Konzentrationen entwickeln können, die durchaus mit jenen in Seveso zu vergleichen sind [32],
- der Holzverarbeitenden Industrie wegen der als Holzschutz- und Flamschutzrüstung verwendeten Mittel auf der Basis von Pentachlorphenol oder von polyhalogenierten Biphenylen und
- der Chemie- und Pharmaindustrie wegen der in Arzneimitteln, Drogerie- und Körperpflegeartikeln enthaltenen dioxinhaltigen oder -bildenden Desinfektionsmittel, auf die im allgemeinen nicht hingewiesen wird [54, 32].

In ganz besonderem Maße gilt dies für mechanische oder elektrische Anlagen, in denen PCB möglicherweise als Hydrauliköl im Bergbau oder als Kühl- und Isolierflüssigkeiten in Transformatoren, Kondensatoren oder Gleichrichtern dienen [239...241]. In der alten Bundesrepublik befinden sich gegenwärtig noch etwa 150.000 solcher Transformatoren und eine unbekannte Zahl anderer elek-

trischer Großgeräte mit PCB-Füllung in Betrieb, deren Gehalt auf über 50.000 Tonnen geschätzt wird [159, 242]. Die entsprechenden Schätzungen für die USA [243]: 375.000 Tonnen in 123 Millionen Transformatoren und Kondensatoren.

Obwohl schon 1978 bei der Verbrennung von PCB Dibenzofurangehalte in den Rückständen von bis zu 25 % gemessen wurden und obwohl auf die mit der Verwendung von polychlorierten Biphenylen verbundenen Gefahren hingewiesen wurde [189], ereigneten sich in den 80er Jahren einige spektakuläre Unfälle [154, 244...253, 32, 254...257]. So löste im Februar 1981 ein defekter Schalter in der elektrischen Zentrale eines Bürohochhauses in Binghampton (New York) einen Brand aus, bei dem etwa 700 Liter der Kühlflüssigkeit des Transformators ausliefen, die zu zwei Dritteln aus PCB und zu einem Drittel aus polychlorierten Benzolen bestand. Während des Brandes, der zwar auf den Schaltschrank begrenzt werden konnte, wurden aber aus der Kühlflüssigkeit Dioxine und Furane in einem Maße freigesetzt und gebildet und von der Klimaanlage mit dem Ruß über das gesamte Gebäude verteilt, daß es evakuiert und versiegelt werden mußte. Trotz eines Aufwandes von 40 Millionen Dollar (70 Millionen [252]) für die Reinigung, war es mindestens sieben Jahre nicht mehr zu benutzen - Dioxin-Forscher ausgenommen [254, 116]. Der PCDD/PCDF-Gehalt betrug mehr als 2 g pro kg Ruß ( $\geq 0,2$  %).

Untersuchungen haben ergeben, daß sich das Maximum der PCDD/PCDF-Bildung in Gegenwart von Sauerstoff in einem Temperaturbereich von 550°C bis 800°C befindet [189, 190, 258, 259]. 3 % bis 25 % des PCBs wurden vorzugsweise in Furane und zum geringeren Teil in Dioxine umgesetzt. Die medizinische Beobachtung der mit dem Ruß in Kontakt gekommenen Personen der Feuerwehr und des Reinigungsdienstes wird bis heute fortgesetzt [29]. Die amerikanische Umweltschutzbehörde hat den weiteren Einsatz von PCB-haltigen Elektrogeräten in publikums-zugängigen Gebäuden untersagt [260, 254]. In Deutschland darf das Lüftungssystem von Transformatorenräumen nicht mehr mit dem des übrigen Gebäudes in Verbindung stehen [240]. PCB dürfen seit 1978 nur noch in geschlossenen Systemen verwendet werden [261], ab dem 1. Januar 2000 gar nicht mehr [262].

Auch wenn neuere Gesetze und Verordnungen das Ziel verfolgen [261...263, 169], nicht nur die Entstehung der Dioxine selbst [69, 72], sondern auch schon die Produktion möglicher Vorläuferverbindungen für die Dioxinbildung (PCB als Dielektrikum, als Kühl-, Isolier- oder Hydraulikflüssigkeit, als Weichmacher in Kunststoffen, PBB als Flammschutz-, PCP als Holzschutz- und Desinfektionsmittel, ...) zu verringern, so ist doch davon auszugehen, daß zumindest im privaten Bereich diese Stoffe noch lange anzutreffen sein werden, PCB zum Beispiel in den Kleinkondensatoren von Leuchtstofflampen, Wasch- und Geschirrspülmaschinen und alten Rundfunkempfängern. Des weiteren ist zu berücksichtigen, daß Dioxine nicht nur aus Vorläuferverbindungen wie halogenierten, polycyclischen, aromatischen Kohlenwasserstoffverbindungen entstehen können, sondern daß sie sich in Anwesenheit eines Chlor-Donators und unter geeigneten Sauerstoff- und Temperaturverhältnissen auch aus aliphatischen Radikalen und aus organischen Grundstoffen neu bilden können (de-novo-Synthese [264, 174, 202, 110, 143, 111]).

Eine besondere Stellung in der wissenschaftlichen Erörterung der Dioxin-Problematik nimmt das Polyvinylchlorid (PVC) ein, einer der heute am weitesten verbreiteten Kunststoffe. Aus PVC bestehen Leitungsrohre, Fensterprofile, Möbelbeschichtungen, Bodenbeläge, Schallplatten, Kunstlederartikel, Verpackungen, Fasern für Heim- und Bekleidungstextilien, Folien, Kabelisolierungen usw. Der Beitrag von PVC zur Bildung von Dioxin während eines Brandes wurde von zahlreichen Autoren untersucht - und unterschiedlich bewertet: Sowohl die Auffassung, daß aus PVC im Brandfalle Dioxine und Furane entstehen [265, 266, 138, 226, 149, 171, 267...269, 141, 1, 270...272, 110, 273, 150, 143, 207], als auch das genaue Gegenteil wird vertreten [33, 274, 20, 85, 275, 229].

Häufig genügen weder die Argumente noch die Art und Weise des Zitierens seriösen Ansprüchen [276]. So verweist das Lexikon der Chemie [33], um die PVC-Dioxin-Koppelung zu widerlegen, unter dem Stichwort "Polyvinylchlorid" auf einen 10-Zeilen-Artikel in der Zeitschrift "Europa Chemie", in dem sich keinerlei Information zum Thema findet außer dem Verweis auf eine Literaturstelle [20], die das Lexikon jedoch unter demselben Stichwort schon genannt hat. Und unter dem Stichwort "2,3,7,8-Tetrachlordibenzo[1,4]dioxin" zitiert es, um dieselbe These zu stützen, eine schwedische Arbeit [277], in der PVC gar

nicht vorkommt, sondern die sich mit der Entstehung von Dioxin aus Phenol und Chlorwasserstoff befaßt.

Daneben finden sich differenziertere Argumentationen, die eine de-novo-Dioxinbildung aus organischen Grundstoffen wie Tetrachlorkohlenstoff über Zwischenprodukte wie Trichlorethylen, Dichloracetylen, Hexachlorbenzol und Pentachlorphenol für möglich halten [278, 279, 266, 144, 145, 280, 174]. Als Grundstoff käme hier auch Vinylchlorid infrage, wie selbst einer der Verfasser der obskuren Theorie "Spurenchemie des Feuers" einräumt [178]. Auf jeden Fall ist PVC im Brandfalle eine wichtige Quelle für reaktionsfähiges Chlor [245, 281, 201, 280], welches eine wesentliche Voraussetzung für die Bildung von Dioxin darstellt, denn beim Erhitzen wird schon ab 130°C Chlorwasserstoff freigesetzt [282].

Erstaunlicherweise hält der Herausgeber des "Handbook of Environmental Chemistry" [50] in seinem einleitenden Vortrag [85] auf dem VDI-Kolloquium 1987 in Mannheim [30] und auch noch zwei Jahre später in der Fachzeitschrift "Chemosphere" [100] PVC nicht für einen Chlor-Donator, weil nachgewiesen worden sei [282], daß unter simulierten Müllverbrennungsbedingungen (800°C bis 950°C) keine polychlorierten Biphenyle als PCDD/PCDF-Vorläufer, sondern nur polycyclische, aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) gebildet werden. Die Neubildung von Dioxin bei tieferen Temperaturen aus ebendiesen PAK und dem freigesetzten Chlor war nicht Gegenstand der zitierten Arbeit - wohl aber das Thema zweier weiterer Vorträge [280, 174] auf diesem VDI-Kolloquium. Noch erstaunlicher mutet dies an, da in einem anderen, fünf Jahre zuvor erschienenen Band [25] desselben Herausgebers ein ausführlicher Artikel [264] enthalten ist, in dem er auch als Mitverfasser zeichnet und (drei Jahre nachdem in der Flugasche und im Abgas von Müllverbrennungsanlagen Dioxine festgestellt worden waren [186]) erläutert, daß einerseits bei der Verbrennung von PVC chlorierte Benzole entstehen und daß andererseits bei deren Verbrennung Dioxine gebildet werden können. Außerdem bezieht er sich bei seinen Betrachtungen über den PVC-Dioxin-Zusammenhang auf das "Handbook of Solid Waste Management" [283], in dem die Menge an Chlorwasserstoff, die bei der Verbrennung von PVC entsteht, exakt mit 0,59 Pfund je Pfund PVC beziffert wird, in dem jedoch der Begriff "Dioxin" selbst gar nicht vorkommt - auch gar nicht vorkommen kann, denn es wurde gerade ein halbes Jahr nach dem Unfall in Seveso herausgegeben, der das allgemeine Interesse erst wieder auf diese

Stoffklasse richtete, nachdem sie in der Öffentlichkeit jahrelang unbeachtet geblieben war [13].

Im wesentlichen bleiben zwei Quellen, die den PVC-Dioxin-Zusammenhang in Abrede stellen: Eine Informationsschrift [20] des Verbandes der Kunststoff-erzeugenden Industrie (VKE) und Messungen an einer französischen Müllverbrennungsanlage [274], auf die sich die Kunststoffindustrie in Ihrer Informationsschrift bezieht. Diese belegen, daß die Dioxin-Emission von Müllverbrennungsanlagen in erster Linie von der Sauerstoffkonzentration und vom Temperaturverlauf nach dem Feuerungsraum abhängen - unabhängig davon, was in diesem selbst geschieht. Dieselbe Forschergruppe findet ein Jahr später, vom VKE ebenfalls verfälscht zitiert, daß sich bei Laborversuchen aus PVC polycyclische, aromatische Kohlenwasserstoffe entwickeln, und daß PVC als wichtiger Chlor-Donator dient [282]. Beides zusammen sind gute Voraussetzungen für die Dioxinbildung bei der Müllverbrennung im Realmaßstab. Die chlorierten, aromatischen Kohlenwasserstoffe, die heute als Vorläuferverbindungen bei der Entstehung von Dioxinen eingestuft werden, waren schon in einer noch älteren Untersuchung beim Verbrennen von PVC gefunden worden, doch wurde die PVC-Verbrennung damals noch nicht als umweltrelevante Quelle für die Bildung von PAK angesehen [284].

Bei moderneren Untersuchungen an Müllverbrennungsanlagen wurde zwar bestätigt, daß die Dioxinbildung dort hauptsächlich vom Sauerstoffanteil während der Verbrennung und vom Temperaturprofil nach dem Kessel abhängt, weniger vom PVC-Anteil im verbrannten Müll [275, 236]. Dennoch ist die Darstellung der Kunststoffindustrie nicht nur durch alle neueren Untersuchungen [269...271, 285, 150] widerlegt ([149]: "A recent German pamphlet [20] arrives at the same erroneous conclusion."), sie ist auch von Wunschdenken und Euphemismus in einem Maße geprägt, welches an nur wenigen Beispielen aus dieser Werbeschrift [20] veranschaulicht werden soll:

- Seite 12: "Das Umweltbundesamt kommt in einer Risikoabschätzung zu dem Ergebnis, daß in Nahrungsmitteln der EPA-Sicherheitswert selbst bei Annahme ungünstigster Voraussetzungen um ein Vielfaches unterschritten wird." Für die einzelnen Nahrungsmittel selbst ist dies richtig, jedoch bewirkt Ihr Verzehr,

daß dieser Sicherheitswert erreicht und sogar überschritten wird (siehe Seite 16).

- Seite 11: Wegen der "in den letzten Jahren bis an ungeahnte Grenzen verfeinerten Analysemethode" konnte nachgewiesen werden, daß "Dioxin im Ofenruß in einer Verdünnung von weniger als 1 : 1 Milliarde" vorkommt. Daß dies genau die Konzentration (Verdünnung?) ist, deren Inkorporation bei der Hälfte der Meerschweinchen zum Tod führt (LD<sub>50</sub>), wird überspielt, indem dort eine andere Bezugsgröße gewählt wird: "1 Mikrogramm je Kilogramm Körpergewicht" - beides ist 1 ppb, auch wenn kein Meerschweinchen je ein halbes Kilogramm Ruß frißt.
- Seite 11: "Trichlorphenol selbst ist relativ ungiftig. Besondere Risiken für den Menschen sind nicht bekannt ... Mit der Anwendung von 2,4,5-T gelangt 2,3,7,8-TCDD in Spuren in die Umwelt. Bisher konnte es in der Bundesrepublik jedoch weder in Gemüse noch in Getreide oder tierischen Nahrungsmitteln nachgewiesen werden ... Das in Deutschland hergestellte PCP enthält jedoch keine nachweisbaren Mengen an 2,3,7,8-TCDD ... Die akute Giftigkeit von PCB ist gering. Wie sich herausstellte, können aus PCB jedoch ... unter sehr ungünstigen Umständen verschiedene Dioxine entstehen." - Weshalb nur ist die Produktion all dieser Stoffe seit 1983 eingestellt beziehungsweise seit 1989 verboten?
- Seite 13: "Der größte Teil der Zone A" der verseuchten Seveso-Umgebung "soll bis 1985 in einen Park umgewandelt werden." - Glückliche Italiener, großzügige Industrie, ein Park! für nichts! Nur "bei zwei Mädchen sind Vernarbungen im Gesicht zurückgeblieben."

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die pauschale Behauptung der Industrie, in zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten und durch Praxisversuche sei nachgewiesen worden, daß durch PVC in der Müllverbrennung die Dioxinbildung nicht erhöht werde [232], schlicht falsch ist. Zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten und Praxisversuche haben genau das Gegenteil nachgewiesen. - Doch ist es neuesten Untersuchungen zufolge möglich, in modernen (!) Müllverbrennungsanlagen auch PVC zu verbrennen, ohne daß dabei Dioxine entste-

hen müssen. Im Falle eines Schadensfeuers aber werden sie entstehen - in einer Größenordnung wie bei Transformatorbränden [286], wie die diesen Bericht veranlassenden Messungen in der Universitätsklinik in Düsseldorf gezeigt haben [1]. Deshalb werden im Rahmen der Untersuchung möglicher Folgen eines Kabelbrandes in einer Nuklearanlage, beispielsweise der Gefährdung redundanter, baulich nicht getrennter Kabelsysteme, bei Brandversuchen im Realmaßstab mit PVC-isolierten Kabeln auch die Rauchgase analysiert [73], denn "alle Unterlagen zeigen, daß beim Brand von Kabeln mit Kunststoffumhüllungen aus PVC oder ähnlichem Material unter Anwesenheit von Sauerstoff und Kupfer als Katalysator Dioxine und Furane entstehen werden..."

Unter dem Aspekt der Dioxinbildung während eines Brandes müssen auch die bis in die 80er Jahre häufig angewendeten Methoden der Holzkonservierung mit pentachlorphenol-haltigen Mitteln und der Flammschutzausrüstung mit polybromierten Biphenylen (PBB) neu bewertet werden. Auch hier besteht wieder eine doppelte Gefahr der Dioxin-Freisetzung: Zum einen sind Dioxine und Furane als Verunreinigungen in PCP und PBB enthalten [160], zum anderen entstehen sie, wenn diese Stoffe erhitzt werden [287]. Bei der Pyrolyse von PCP werden bis zu 2 % in PCDD umgesetzt [10, 288]. Seit 1989 ist der Einsatz von Pentachlorphenol und von polychlorierten Biphenylen, nicht aber der von polybromierten, verboten [287, 262, 263].

Die gleiche Gefahr geht auch von Wärmeübertragungs- und Flammschutzmitteln auf der Basis von polybromierten Diphenylethern (PBDPE) aus, die ebenfalls als direkte Vorläuferverbindungen angesehen werden müssen [191, 289...291, 85, 172]: Bei 510°C bis 630°C werden 10 % in Dioxine und Furane umgesetzt. In noch höherem Maße gilt dies für Flammschutzmittel auf der Basis von tri-, tetra- und pentabromierten Phenolen: In Pyrolyserückständen wurden bis zu 90 % polybromierte Dibenzodioxine und -furane (PBDD, PBDF) ermittelt [290]. Ähnliche Ergebnisse wurden bei der Pyrolyse bekannter Flammschutzmittel (Bromkal G 1, Bromkal 70 DE, FR 300 BA, FireMaster BP-6, ...) auf der Basis von polybromierten Diphenylethern erzielt [291, 292].



## 5. ERFORDERLICHE ABWEHR- UND ENTSORGUNGSMASSNAHMEN

Die gegenwärtige Höhe der Belastung des statistischen Durchschnittsmenschen durch die ubiquitär verbreiteten Dioxine hat den als Grenzwert postulierten ADI-Wert erreicht beziehungsweise überschritten. Diese Grenzwertüberschreitung darf jedoch nicht dadurch relativiert werden, daß auf die geringe absolute Größe des ADI-Wertes verwiesen wird, denn für den giftigsten aller bis heute synthetisch hergestellten Stoffe (erwogen wurde deshalb der Einsatz als chemischer Kampfstoff [38]) wurde er bewußt so niedrig angesetzt, da die toxikologische Wirkung geringer und geringster chronischer Dosen auf den Menschen bis heute unbekannt ist, ganz zu schweigen von der Wirkung von Gemischen verschiedener Dioxine, Furane und anderer gesundheitsschädlicher Stoffe.

Da die Produktion von Dioxinen in keinem Falle beabsichtigt ist und da sie für den Menschen und seine Umwelt keinerlei nützliche Eigenschaften besitzen, um derenhalben gewisse Nachteile in Kauf genommen werden könnten, und da ähnlich wie für die polychlorierten Biphenyle auch für die Dioxine gilt, daß nach heutigem Wissensstand eine technische Eliminierung aus der Umwelt im nachhinein praktisch ausscheidet, ist in Anlehnung an die Schlußworte in den Seminarrvorträgen und Fachartikeln der meisten der zitierten Autoren also zu fordern, die Bildung von Dioxinen und Furanen wegen ihrer ausschließlich schädlichen Eigenschaften auf das nach dem neuesten Stand der Technik mögliche Minimum zu reduzieren [258, 95, 110, 293, 93]. In diesem Sinne werden beispielsweise von der kanadischen Umweltbehörde Gesetze entwickelt, mit deren Hilfe der Dioxinausstoß der Hauptemittenten (Chemieindustrie, Papiermühlen, Müllverbrennungsanlagen) mit dem Ziel kontrolliert werden soll, ihn zunächst zu begrenzen und letztlich ganz zu unterbinden [294].

Dort, wo ihr Entstehen nicht ausgeschlossen werden kann, müssen für Personen, die einer Belastung zusätzlich zur durchschnittlichen Allgemeinbelastung ausgesetzt sein können, entsprechende Schutzmaßnahmen getroffen werden, um mögliche toxikologische Auswirkungen zu verhindern. Zwar zeigten sich bei ersten Untersuchungen von Personen, die mit Reinigungsarbeiten nach dioxin-emittierenden Bränden befaßt waren, keine signifikant erhöhten Dioxinwerte im Blut [295], doch ist es fraglich, ob diese Ergebnisse verallgemeinert und auch

auf Feuerwehrleute übertragen werden dürfen. Deshalb wurden bei der Berufsfeuerwehr Düsseldorf in Zusammenarbeit mit dem nordrhein-westfälischen Innenministerium und dem Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales Messungen durchgeführt, um die Belastung dieser Berufsgruppe zu untersuchen [9]. Vergleichsmessungen wurden vorgenommen bei der Flughafenfeuerwehr, die mit weniger Bränden konfrontiert ist, und bei einer von spezieller Dioxin-Belastung nicht betroffenen Berufsgruppe. Die Auswertung dieser Meßreihen wird für das Frühjahr nächsten Jahres erwartet [296].

Mit einer den Durchschnittswert überschreitenden Zusatzbelastung durch Dioxine müssen alle Beschäftigten rechnen, bei Bränden in besonderem Maße die Feuerwehr, die in Gebäuden arbeiten, in denen halogenierte

- Schädlingsbekämpfungsmittel,
- Flamschutzmittel,
- Holzschutzmittel,
- Askarele,
- Hydraulikflüssigkeiten,
- Schmier- und Schneidmittel,
- Desinfektionsmittel und
- Kunststoffe mit Weichmachern auf PCP-, PCB- oder PBB-Basis oder
- andere Stoffe aus der Tabelle 12

hergestellt, gelagert, gehandelt oder verarbeitet werden. Deshalb erfordern Löscharbeiten hier die Anwendung besonderer Personenschutzmaßnahmen. Dieses betrifft [297, 102] Betriebe der

- chemischen, der Mineralöl- und der Kunststoffindustrie,
- Zellstoff- und der Textilindustrie,
- Holz- und der Lederverarbeitung  
(Sägemühlen, Schreinereien, Gerbereien),
- metallverarbeitenden und der Elektroindustrie,
- Farben- und der Pharmaindustrie und, wegen ihrer kunststoffhaltigen Ausstattung (vergleiche Seite 1), auch
- Arztpraxen und Kliniken.

Anzustreben ist der Ersatz aller dioxin-behafteten und -emittierenden Arbeitsstoffe und Materialien durch gesundheitlich unbedenklichere. So werden heute keine gebleichten Kaffeefilter mehr benutzt, obwohl sie "im Vergleich zur ...

Nahrung ... als Quelle für eine Dioxin-Belastung ... nur eine untergeordnete Rolle gespielt" haben sollen - nämlich 5 pg 2,3,7,8-TCDD pro Person und Tag (= 20 %) [111, 205]. In brandgefährdeten elektrischen Schaltanlagen sollten statt chlor- oder bromhaltiger Kunststoffe besser Ethylen-Vinylacetat-Polymere als Kabelisolierungen verwendet werden [93].

Auch Flammenschutzmittel auf der Basis von bromierten Phenolen, Biphenylen und Diphenylethern sollten durch Derivate der Tetrabromphthalsäure ersetzt werden, die bei der Pyrolyse keine Furane und Dioxine produzieren [290], denn bei den erstgenannten [33] "steht der Verminderung eines Brandrisikos die Möglichkeit von Umweltgefährdung gegenüber. Halogenierte Flammenschutzmittel können bei der Verbrennung die Atmosphäre belasten und/oder persistente Rückstände bilden. Bei Verbrennungsvorgängen in Gegenwart organischer Chlorverbindungen kann die Bildung hochtoxischer Dioxine nicht ausgeschlossen werden." - Auch der Einsatz von Halonen (halogenated hydrocarbons) als Feuerlöschmittel (zum Beispiel Halon 1211 =  $\text{CF}_2\text{ClBr}$  oder Halon 1301 =  $\text{CF}_3\text{Br}$ ), deren inhibierende Löschwirkung auf der Abspaltung von Halogenradikalen beruht, muß überdacht werden, da sie als Chlor- beziehungsweise Bromdonatoren bei der Dioxinbildung fungieren können [298].

Die Verwendung von PCB als Askarel in Transformatorenfüllungen wurde lange diskutiert und letztlich verboten [261, 262]. Die für die Übergangszeit geltenden Vorschriften sollten allerdings auch auf andere PCB-haltige Geräte ausgedehnt werden, beispielsweise auf Kondensatoren, da deren alterungsbedingtes Schadensrisiko eher größer ist als das von Transformatoren [159]. Die bislang in Erwägung gezogenen Ersatzstoffe (Siliconöle, paraffinische Kohlenwasserstoffe, Diarylalkane, Poly-alpha-olefine, synthetische Ester, chlorierte Aromaten, ... [252, 240, 299, 300]) erscheinen unter dem Gesichtspunkt der Dioxinbildung ebenfalls nicht unproblematisch, sind doch gerade die Chloraromaten als Dioxin-Vorläuferverbindungen bekannt geworden. Außerdem ist die Mehrzahl von ihnen im Vergleich zu PCB leichter entflammbar, was im Brandfalle die vollständige Zerstörung des Gebäudes, in dem ein solchermaßen befüllter Transformator steht, zur Folge haben könnte [301, 302]. Inzwischen hat sich bei der Neuinstallation PCB-freier Transformatoren überwiegend der Umstieg auf Trockentransformatoren vollzogen [303], während bei Weiterverwendung der vorhandenen Geräte der Austausch des PCB-haltigen Askarels gegen halogenfreie

synthetische Öle vorgezogen wird [304]. Auch monomethyliertes Tetrachlor-diphenylmethan (Ugilec) ist als Ersatz für PCB sowohl in hydraulischen wie in elektrischen Anlagen abzulehnen, da es ebenfalls beim Erhitzen Dioxine und Furane bildet [305, 306].

Die Anwendung des in den vergangenen 40 Jahren häufig eingesetzten Holzschutzmittels Pentachlorphenol, das sich in Hölzern von Innenräumen in Konzentrationen bis zu 10 ppm findet [153], wurde zwar unter anderem wegen der erheblichen Gefahr der Dioxin-Freisetzung im Falle eines Brandes vom deutschen Gesetzgeber verboten [263], vom europäischen jedoch nach einer Entscheidung im März dieses Jahres weiterhin zugelassen [307].

Wo im gewerblichen Bereich potentielle Dioxin-Emittenten nicht oder nicht kurzfristig eliminiert werden können, ist "für die Brandbekämpfung ... die katastermäßige Erfassung aller Anlagen ... in einem Lageplan" vorzusehen [240].

Nicht nur die oben genannten Produktions-, Lager- und Verarbeitungsgebäude bergen aus Sicht der Feuerwehr bedeutsame Dioxinquellen. Wegen der weit verbreiteten Verwendung von Kunststoffen und elektrischen/elektronischen Geräten in Werkstätten, Läden, Büros, Gaststätten, Schulen und Wohnungen muß bei jedem Brand mit der Bildung von Dioxinen gerechnet werden [273, 308, 221], "... vorzugsweise bei Temperaturen zwischen 300°C und 600°C ... das heißt, daß ... diese Verbindungen bei jedem Brand entstehen." So wurden bei Küchen- und bei Wohnungsbränden Dioxingehalte in den abgelagerten Brandrückständen von 5 ng bis 25 ng TEQ pro m<sup>2</sup> festgestellt [272]. Mitverbrannte Fernsehgeräte steigerten diesen Wert auf bis zu 170 ng TEQ pro m<sup>2</sup>. Neben der Anwesenheit von Chlordonatoren gilt Sauerstoffmangel als besonders gefährlich [241]: "Erhöhte Dioxinbildung ist verstärkt in der Brandentwicklungsphase und beim Löschen zu erwarten."

Nach Bränden, bei denen sich Anteile von chlorierten Kunststoffen (Chloropren, PVC, ...) in der Brandlast befanden, wurden Flächenbelastungen durch die Summe aller chlorierten Dioxine und Furane von 1.509 ng/m<sup>2</sup> bis 2.166 ng/m<sup>2</sup> gemessen [272]. Umgerechnet mit den TEF des Bundesgesundheitsamtes [105] ergeben sich Belastungen von 45 ng bis 54 ng TEQ pro m<sup>2</sup>. Bromhaltige Flammschutzmittel in Fernsehgeräten, emittierten zusätzlich 7.473 ng/m<sup>2</sup> polybromier-

te Dibenzodioxine und -furane. Zwar existieren für diese noch keine Äquivalenzfaktoren, doch werden sie von allen Toxikologen als genauso gesundheitsschädlich eingestuft wie die chlorierten Dioxine und Furane [309]. In erster Näherung ist also mit einer fünffach höheren Flächenbelastung zu rechnen. Erhöhte Anteile von chlorierten Kunststoffen im Brand haben im Maximalfall (bei reinem PVC) Werte bis zu 9.700 ng TEQ pro m<sup>2</sup> zur Folge. Das entspricht einem Dioxingehalt im Ruß von 0,11 mg TEQ pro kg (= 0,11 ppm TEQ).

In seltenen Fällen, bei Bränden mit trockener Rußablagerung, können gravimetrisch analysierbare Rußproben entnommen werden. Im allgemeinen lagert sich jedoch auf den zu prüfenden Oberflächen ein schmieriges Gemisch verschiedener Niederschläge ab, das nur an Hand von Wischproben untersucht werden kann. Deshalb korrelieren die Angaben zur Dioxin-Konzentration in [ng/m<sup>2</sup>] und in [mg/kg] nicht in jedem Falle [310]. So enthielt der Ruß bei Transformatorbränden 0,02 mg bis 2,8 mg TEQ pro kg (= 0,02 ppm bis 2,8 ppm TEQ), während auf die Fläche bezogen 100 ng bis 200.000 ng TEQ pro m<sup>2</sup> gemessen wurden, in Binghampton beispielsweise 2.000 ng TEQ pro m<sup>2</sup> [272, 286]. Entsprechende Laborversuche ergaben die gleichen PCDD/PCDF-Konzentrationen und -profile [271, 8].

Nach Untersuchungen der Gesellschaft für Arbeitsplatz- und Umweltanalytik in Münster führen bereits einfache Wohnzimmerbrände (mit einem Fernsehgerät) zu Dioxin-Flächenbelastungen, die mindestens um den Faktor 5 über dem von der amerikanischen Umweltschutzbehörde postulierten Schwellenwert von 10 ng TEQ pro m<sup>2</sup> liegen [272], bei dessen Überschreiten besondere Sanierungsmaßnahmen notwendig werden. Brandlasten mit besonders hohem Chloranteil haben einen Überschreitungsfaktor bis zu 970 (PVC) und 20.000 (PCB) zur Folge.

Die Dioxine sind adsorptiv an Rußpartikel gebunden und können durch Hautkontakt oder durch Inhalation aufgenommen werden. Im Gegensatz zur alltäglichen Dioxin-Inkorporation, der Ingestion, werden im Brandfalle während des Entstehens der Dioxine diese beiden Aufnahmepfade von besonderer Bedeutung sein. Hierauf ist deshalb ein wirksamer Personenschutz abzustellen [311]:

- Für die Einsatzkräfte ist während der Löscharbeiten, das gilt auch für Arbeiten an der Rauchgrenze und für Nachlöscharbei-

ten [221], ein umluftunabhängiger Atemschutz unbedingt erforderlich [249, 252, 299, 243, 73].

- Die Schutzanzüge sollten abwaschbar sein. Die früher üblichen aus saugfähigen Textilien sind wegen der Gefahr der Anreicherung mit Schadstoffen ungeeignet [308, 312, 207].
- Nach dem Einsatz sollten die Anzüge sichergestellt und bei begründetem Verdacht der Dioxin-Exposition fachgerecht dekontaminiert werden [249, 252, 255], zum Beispiel mit aktivkohle-gefilterten Hochleistungsstaubsaugern. Fahrzeuge, Ausrüstung und Gerät sollten in diesem Falle mit Hochdruckreinigern gesäubert werden. Das Waschwasser ist aufzufangen.
- Bei Sanierungs- und Reinigungsmaßnahmen sind Atemschutzfilter, Handschuhe und Einmalanzüge mit Kapuze zu tragen, um die Inhalation, den Hautkontakt und die Verbreitung von Staub und Rußpartikeln zu unterbinden [303, 273, 312, 207].
- Kontaminierte Hautflächen sind zunächst mit Polyethylenglykol und anschließend mit Wasser und Seife zu reinigen [249, 313, 104].
- Sind bei einem Brand entsprechende Mengen halogenierter Kunststoffe (mehr als 50 kg PVC) verbrannt, so sollte die Einsatzstelle gesperrt werden und den zuständigen Stellen (Gesundheitsamt, Gewerbeaufsichtsamt) mit dem Hinweis auf eventuelle Bildung von Dioxinen übergeben werden [69, 312, 221].

Der Vorschlag, Arbeitskleidung und -gerät nach dem Einsatz in hergebrachter Weise zu reinigen und erst nach der Bestätigung eines Dioxin-Verdachtens zu dekontaminieren, weil nur "bei einem sehr geringen Anteil der Feuer mit der Anwesenheit" von Dioxinen zu rechnen sei [311], ist abzulehnen. Erstens widerspricht diese Begründung den Ausführungen auf Seite 33 über die Bildungswahrscheinlichkeit von Dioxinen. Zweitens würde eine Reinigung nach bisher üblicher Art nur dazu dienen, mögliche Dioxin-Verschmutzungen zu verteilen. Wenn schon nicht prophylaktisch dekontaminiert werden soll, dann sollten eventuell dioxin-belastete Kleidungsstücke und Geräte wenigstens sichergestellt werden und bis zu einer analytischen Prüfung unter Verschluss bleiben,

so wie das auch 1989 nach dem Brand eines Chemikalienlagers in Hamburg geschah, das unter anderem 2.500 kg bromierter Flammschutzmittel enthielt, von denen man nicht wußte, bei welcher Temperatur sie verbrannt waren [314].

Dioxin-Analysen stellen hohe Anforderungen an die Meßtechnik. Wegen der teureren Meßgeräte und wegen des notwendigerweise hochqualifizierten und langjährig geschulten Personals [173] sind sie nicht nur sehr kostspielig (über 3.000 DM pro Messung [103, 308, 229]), sie sind auch sehr zeitraubend (4 Tage [221] bis 1 Woche [298]) und deshalb im akuten Löscheinsatz unbrauchbar.

Schon die Probenahme stellt ein besonderes Problem dar. Deshalb hat die VDI-Kommission "Reinhaltung der Luft" aus den während der umfangreichen Untersuchungen von Müllverbrennungsanlagen gewonnenen Erfahrungen inzwischen ein genormtes Meßverfahren entwickelt [104]. Da die PCDD/PCDF nur als Spurenbestandteile vorliegen, ist in jedem einzelnen Untersuchungsfall eine Probenaufbereitung (clean up) erforderlich. In diesem Schritt des Meßverfahrens wird die Hauptmasse der Probenmatrix abgetrennt, um die Konzentration des Analyten anzuheben. Bei Rauchgasmessungen wird das Probenvolumen von 100 m<sup>3</sup> auf 1 mm<sup>3</sup> bis 10 mm<sup>3</sup> eingengt (10<sup>11</sup> : 1) [315]. Auf Grund der heute in der Dioxin-Analytik anfallenden Vielfalt von Probenmatrizes kann diese Probenaufbereitung nur mit einem entsprechenden Aufwand und der Kenntnis der grundlegenden analytischen Probleme und auch dann nur mit Einschränkung als allgemein beherrschbar angesehen werden [110].

Das Meßverfahren muß folgenden Anforderungen genügen [29]:

- hohe Sensitivität wegen der sehr geringen beziehungsweise niedrigen Konzentrationen der Dioxine in den Probenmatrizes,
- hohe Selektivität zur Unterscheidung der Dioxine von den Furanen und anderen mitextrahierten Verbindungen und
- hohe Spezifität zur Identifikation der einzelnen Isomere innerhalb einer Verbindungsklasse.

Das letzte Kriterium ist besonders wichtig, da das giftigste der Dioxin-Isomere, das 2,3,7,8-TCDD, ausgerechnet in der Homologengruppe enthalten ist, die die

höchste Zahl von Isomeren pro Gruppe umfaßt. Entsprechendes gilt auch für das 2,3,7,8-chlorierte Furan (siehe Bild 1).

Moderne Massenspektrometer sind in der Lage, das Empfindlichkeitskriterium zu erfüllen. Die Nachweisgrenze der Messung wird jedoch nicht nur von der Sensitivität des Meßgerätes bestimmt, sondern von der Summe der Unsicherheiten bei allen Teilschritten des Analyseverfahrens: Von der verfügbaren Probenmenge, von der Konzentrierung bei der Probenaufbereitung, von der Größe des Anteils der aufbereiteten Probe, der zur Bestimmung eingesetzt wird, und vom Blindwertsignal des Probenmaterials, das von der Allgegenwartskonzentration des Analyten und aller Verbindungen, die Scheinsignale erzeugen, abhängt [316, 315].

Da die meisten der PCDD/PCDF-Kongenere ähnliche Massenspektren liefern, führt nur die Vorschaltung eines hochauflösenden Gaschromatographen mit Quarzkapillaren mit einem Innendurchmesser von 0,2 mm bis 0,3 mm und Längen von 50 m bis 60 m zur gewünschten isomerenspezifischen Charakterisierung der Probe und zur Trennung von anderen mitextrahierten Verbindungen.

Die Richtigkeit der Analyse muß durch Zugabe eines internen Standards zur Probe überprüft werden [29]. Analyseergebnisse weisen bei Proben- und Laboridentität eine Standardabweichung von < 20 % [281] und bei Laborvergleichen eine solche bis zu 40 % [129] auf. Die Analysenmethodik erfordert in jedem Fall hochqualifizierte Laboratorien, deren Qualifikation in wiederholten Überprüfungen nachzuweisen ist [315].

Wegen des hohen Zeitaufwandes von Dioxin-Untersuchungen können Reinigungs- und Sanierungsmaßnahmen erst mit erheblicher Verzögerung ergriffen werden. Um während der Zeit bis zur Auswertung der Dioxin-Messungen die Folgeschäden eines Brandes, beispielsweise durch salzsäurehaltige Beaufschlagung von Einrichtung und Vorräten, nicht noch zu erhöhen, ist es ratsam, kontinuierlich arbeitende Luftentfeuchtungsgeräte einzusetzen [298]. Doch könnte es, auch wegen der hohen Analysekosten (bei nur drei Messungen leicht über 10.000 DM), preisgünstiger sein, bei jedem Verdacht auf Dioxinbildung zu dekontaminieren [273, 221] - eine Überlegung, die dem Verband der Sachversicherer nicht einleuchtet [317]: "Ganz erhebliche Bedenken haben wir dagegen, daß entspre-



chend den Empfehlungen des Bundesgesundheitsamtes (BGA) im Grunde 'auf Verdacht' gereinigt wird ... Die Sachversicherer müßten bei einer undifferenzierten Umsetzung der BGA-Empfehlungen mit erheblich höheren Entschädigungsleistungen rechnen ..." denn "wenn bei Zimmer- oder Bürobränden keine größeren Mengen Kunststoff verbrennen, entstehen keine Dioxine. Dagegen muß beim Brand flamschutzausgerüsteter Fernseher oder ähnlicher Geräte mit der Freisetzung schädlicher Konzentrationen gerechnet werden."

Gerade weil heute jedes Büro, jeder Laden, jede Gaststätte und jede Wohnung mit Holz-, Kunststoff-, Elektro- und Elektronik-Geräten ausgestattet ist -

Leitungsrohre, Fensterprofile, Möbelbeschichtungen, Bodenbeläge, Gehäuse von Haushaltsgeräten, Schallplatten, Spielzeug, Kunstlederartikel, Verpackungen, Helm- und Bekleidungstextilien, Schaumstoffe [241], Folien, Kabelisolierungen, Computer, Fernsehgerät, Stereoanlage, ...

- die zumelst auch noch mit mehr oder weniger modernen, dioxinbildenden Flamschutzmitteln (polybromierte Biphenyle oder Diphenylether) ausgerüstet sind, empfiehlt das Bundesgesundheitsamt die Reinigung und Dekontaminierung der Brandstätte durch eine Fachfirma [273].

Wegen der Bindung der PCDD/PCDF und PBDD/PBDF an Ruß und Rauchkondensat genügt es, optisch deutlich wahrnehmbare Brandverschmutzungen zu entfernen [273]. Dieses kann trocken geschehen durch Abstrahlen und Absaugen mit Hochleistungsstaubsaugern [318, 319], deren Abluft mit Aktivkohle gefiltert wird [320, 313], oder naß durch Abwaschen mit alkalischen Lösungsmitteln oder mit Heißwasser-Druck-Waschgeräten [251], wenn die baulichen Voraussetzungen zum Auffangen des anfallenden Schmutzwassers gegeben sind. Mit diesen Verfahren lassen sich schon bei einmaliger Anwendung über 90 % der Kontamination entfernen. Beton und andere poröse Oberflächen erfordern im Einzelfalle eine Kombination verschiedener, trockener und nasser Reinigungsschritte [286].

Die dioxinhaltigen Schmutzpartikel dürfen nicht in die Kanalisation gelangen [313]. Durch Sedimentieren und/oder Filtrieren sind sie aus dem Waschwasser zu entfernen und fachgerecht zu entsorgen [321]. Die Filter sind, wie auch die festen Abfälle und Rückstände, in einer geeigneten Hochtemperaturanlage zu verbrennen [102, 322...324, 313, 325, 312, 67] oder in einer dicht verschleißbaren

Deponie zu lagern [326, 207]. Auch dioxinhaltige Klärschlämme können in solchen Anlagen entsorgt werden. Andere chemische, elektrochemische oder biologische Verfahren zur Sanierung von Dioxin-Kontaminationen erwiesen sich wegen der hohen chemischen Stabilität der PCDD/PCDF bislang als erfolglos. Die Zersetzung mit Hilfe von UV-Strahlen ist nur zum Teil erfolgreich und mehr für den Laborbereich geeignet [102, 36, 326]. Auch um eventuelle Restverschmutzungen zu binden, sollten kontaminierte Gebäudetelle nach der Reinigung frisch gestrichen werden [318].

Bei Großbränden im industriellen oder gewerblichen Bereich sollten allerdings PCDD/PCDF- beziehungsweise PBDD/PBDF-Untersuchungen des Bodens vor allem in Hauptwindrichtung stattfinden, da landwirtschaftliche Nutzungsbeschränkungen notwendig werden könnten [273]. Befinden sich wie bei Transformatorbränden polychlorierte Biphenyle im Brandherd, so ist nicht nur auf die von PCDF und PCDD ausgehende Gefahr zu achten - auch bestimmte PCBs in den Askarelen sind hochgiftig [155, 247, 81, 241]!

Auch bei Veröffentlichungen in Feuerwehrzeitschriften, die sich mit dem Dioxin-Thema befassen, muß festgestellt werden, daß nicht immer die erforderliche Seriosität gewahrt ist. So berufen sich Sicherheits- und Feuerwehr-Praktiker [327, 298, 308, 159, 312, 221, 241], um das Gefahrenpotential dieser Verbindungen zu relativieren, auf die antiquierte Dow-Chemical-Theorie [175... 178, 180], derzufolge Dioxine deswegen weltweit verbreitet seien, weil sie etwas Natürliches sind und schon immer vorhanden waren ("seit Uhrzeiten" [308]), insbesondere auch im Rauch der unscheinbaren, kleinen Zigarette und des beliebten Freizeitgrills. Bei dieser Argumentation wird erstens übersehen, daß die "Naturstoffe" Tabak und Holzkohle keineswegs frei sind von nicht natürlichen, beim Erhitzen dioxin-produzierenden Schädlingsbekämpfungsmitteln [32] und daß zweitens durch Sedimentsuntersuchungen [268], die die Dow Chemical Company als undurchführbar bezeichnet hatte [178], längst nachgewiesen wurde, daß Dioxine tatsächlich schon existierten, bevor sich die Chemieindustrie zu ihrer heutigen Größenordnung entwickelte, in einer Menge jedoch, die verglichen mit der gegenwärtigen Konzentration absolut zu vernachlässigen war, und in einer Zusammensetzung, die in ihrer Toxizität auch nicht mit der heutigen zu vergleichen ist, daß Dioxine also "im wesentlichen durch anthropogene Prozesse erzeugt" werden [57, 85, 110, 47, 94].

Ebensowenig vermittelt die Kurzfassung einer TEF-Tabelle den Eindruck ernsthafter Beschäftigung mit dem Thema [221], denn es fehlen in ihr ausgerechnet die nach dem 2,3,7,8-TCDD zweitgiftigsten, die pentachlorierten Dioxine und Furane, die in New York und Kalifornien, und was ihre tumorpromovierenden Eigenschaften betrifft auch International [137], diesen sogar gleichgestellt werden. Die Gleichsetzung von ppq mit  $10^{-24}$  [308], weil der Autor nicht weiß, daß eine amerikanische quadrillion einer deutschen Billiarde entspricht, ist aber doch erstaunlich.

Als Beitrag zur Beruhigung besorgter Gemüter ist sicherlich auch die Relativierung des ADI-Wertes durch die Grenzwerte in der Gefahrstoffverordnung [69] gemeint [298]. Der Verfasser verkennt jedoch die unterschiedliche Bedeutung dieser Werte:

- Zweck der Gefahrstoffverordnung ist es, den Umgang (= herstellen, lagern, "inverkehrbringen" [= handeln und transportieren], bearbeiten, anwenden, vernichten) mit Stoffen, Zubereitungen, Erzeugnissen so zu regeln, daß der Mensch und seine Umwelt vor Gefährdung geschützt werden. Für einzelne Gefahrstoffe werden deshalb Sicherheitskennzeichnungen und Schutzmaßnahmen vorgeschrieben und Maximalkonzentrationen genannt, oberhalb derer sie nicht mehr in den Verkehr gebracht werden dürfen. Zum Beispiel in § 9,6: 2 ppb für 2,3,7,8-TCDD oder 5 ppb für PCDD. Oder Anhang III,3: Übersteigt der 2,3,7,8-TCDD-Gehalt eines Stoffes innerhalb geschlossener Anlagen 10 ppb (100 ppb für PCDD), so ist dies der zuständigen Behörde anzuzeigen. Personenschutzrüstung bei geöffneter Anlage ist schon bei Überschreiten der niedrigeren Grenzwerte des § 9,6 vorgeschrieben.
- Der vom Bundesgesundheitsamt festgelegte ADI-Grenzwert von 1 ppq bis 10 ppq besagt, daß mit einer Aufnahme von weniger als 1 pg bis 10 pg 2,3,7,8-TCDD pro kg Körpergewicht (= 70 pg bis 700 pg pro Person) mit der täglichen Nahrung noch keine Gesundheitsgefahr verbunden sei.

Würde also der Elektroinstallateur sein dioxinhaltiges Transformatorenkühlmittel zum Vesper trinken wollen, so dürfte er davon sein Leben lang täglich 14 mg bis 140 mg zu sich nehmen, vorausgesetzt es entspricht der Gefahrstoffverordnung und enthält höchstens 5 µg PCDD pro kg (der niedrigere Grenzwert ist hier anzusetzen, denn zwischen Herstellung und Gebrauch muß das Kühlmittel ja in den Verkehr gebracht worden sein). Nur so lassen sich die Grenzwerte der Gefahrstoffverordnung und der ADI-Wert miteinander kombinieren und nicht wie in dem völlig unsinnigen Vergleich, in dem körperrgewichtbezogene Inkorporation und relative Kontamination von Arbeitsstoffen miteinander verquickt werden [298]: "... Stoffe dürfen ... bis zum hundertmillionenfachen des ADI-Wertes ... außerhalb geschlossener Anlagen von Personen ohne Sachkunde und Verantwortung und ohne Einschaltung der Behörde hergestellt und verwendet ... werden."

Derselbe Autor verfaßte auch den folgenden, beschönigenden Satz [298], "Untersuchungen zeigen, daß Askarel-Füllungen von Transformatoren bei Temperaturen zwischen 300°C und 1.000°C in geringen Mengen Dioxine bilden," nachdem er zuvor vom weltweiten Aufsehen berichtete, das der Hochhausbrand in Binghampton erregte, allerdings ohne zu erwähnen, mit welcher Dioxinbildung dieser Brand verbunden war (siehe Seite 24). Und ebenso verharmlosend räumt er ein, daß zwar bei Laborversuchen mit polybromierten Diphenylethern als Flammenschutzmittel deren chemische Struktur die Bildung von Furanen und Dioxinen begünstige, doch seien ihm an der Praxis orientierte Brandversuche zu dieser Problematik nicht bekannt. Das ist zu bedauern, denn das Bundesgesundheitsamt in Berlin und die Gesellschaft für Arbeitsplatz- und Umweltanalytik in Münster messen seit 1986 die Dioxin-Emissionen von Bränden [328, 272], von wirklichen, nicht nur von Versuchen. Diese Messungen (siehe Seite 33) belegen eindeutig, in welchem Maße bromierte Flammenschutzmittel die Entstehung von Dioxinen "begünstigen".

Wie nach der grundsätzlichen Anerkennung des von der amerikanischen Umweltschutzbehörde empfohlenen und für die Feuerwehren in Hessen und Nordrhein-Westfalen verbindlichen Schwellenwertes für besondere Sanierungsmaß-

nahmen von 10 ng TEQ pro m<sup>2</sup> \*) und nach der Schilderung eines "normalen Brandschadens" mit Verschmutzungen bis zu 12 ng TEQ pro m<sup>2</sup> geschlossen werden kann [308], "bei der überwiegenden Anzahl von Bränden muß nicht mit einer Dioxin-Kontamination gerechnet werden", bleibt rätselhaft.

Dagegen ist es zweifellos richtig [308], daß "solange nicht bekannt ist, welche Stoffe an einem Schadenfeuer in geschlossenen Räumen beteiligt waren, mit dem Vorhandensein von Dioxinen zu rechnen ist ... Während des Brandes oder unmittelbar danach ist festzustellen, ob besondere Dioxinquellen ... verbrannt sind. Falls ja, ist in Absprache mit den zuständigen Behörden ... ein Sachverständiger hinzuzuziehen ... Waren keine besonderen Dioxinquellen am Brand beteiligt, sollten" - dennoch - "vorsorglich Hautkontakte mit ... Rauchkondensat und Ruß vermieden werden."

## 6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Auf Grund des hohen Gefahrenpotentials, mit dem Dioxine und die ihnen chemisch nahestehenden Furane behaftet sind, und wegen einiger spektakulärer Unfälle haben sie in der Öffentlichkeit ein ungewöhnlich großes Interesse gefunden. Sie entstehen bei chemischen und thermischen Prozessen, wenn ringförmige Kohlenwasserstoffverbindungen in Gegenwart von Chlor erhitzt werden - ausschließlich als ungewollte Verunreinigung des eigentlichen Verfahrensproduktes. Wichtigste Emittenten sind industrielle Anlagen zur Produktion von Schädlingsbekämpfungsmitteln-, Desinfektions-, Holz- und Flammschutzmitteln, von Papier und zur Wiederverwertung von Metallschrott.

Dioxine und Furane treten im allgemeinen als Gemische von 210 chlorierten Einzelverbindungen auf, die sich nach Zahl und Stellung der Chloratome im Molekül unterscheiden. Berücksichtigt man neben chlorierten auch bromierte

---

\*) Das entspricht etwa einem Hundertstel der geringsten in Seveso aufgetretenen Bodenbelastung. 1976 wurden dort nach dem ICMESSA-Unfall Werte von 0,75 µg/m<sup>2</sup> bis 20 mg/m<sup>2</sup> gemessen [329].

und gemischt chloriert/bromierte, so erhöht sich diese Zahl auf über 5.200. Besonders giftig sind jene Dioxine, bei denen die Halogene die Positionen 2, 3, 7 und 8 im Molekülverband besetzen. Dies trifft auf über 400 Verbindungen zu. 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin gilt als giftigster vom Menschen jemals synthetisierter Stoff. Ob und auf welche Art und Weise Dioxine Krebs erregen, das Erbgut verändern oder fruchtschädigend wirken, scheint noch umstritten [136, 330, 66, 331]. Unumstritten ist, daß schon sehr kleine Dosen gefährlich sind. Deshalb wurden als Toleranzgrenze für die tägliche Aufnahme besonders niedrige Werte festgesetzt: ADI = 1 pg bis 10 pg pro kg Körpergewicht und Tag. Das Bundesgesundheitsamt (BGA) strebt die Festschreibung des unteren Wertes an. Manchem "Praktiker" erscheinen diese Werte so gering, daß er sich versucht fühlt, sie auf die leichte Schulter zu nehmen und die Gefährlichkeit der Dioxine durch den Hinweis zu relativieren, daß sie ja auch in der Natur gebildet werden. Die Menge dieser natürlichen Dioxine ist jedoch im Verhältnis zu jenen anthropogenen Ursprungs vernachlässigbar klein.

Dioxine sind inzwischen weltweit verbreitet, dennoch war man lange Zeit relativ sorglos im Umgang mit diesen Stoffen, wohl auf Grund der Meinung, daß sie sich in den großen Räumen von Wasser, Luft und Erde praktisch bis zur Unendlichkeit verdünnen würden. Im Laufe der Zeit hat sich jedoch herausgestellt, daß einige dieser Substanzen eine hohe Persistenz besitzen und den Weg aus der Verdünnung wieder zurückfinden, indem sie sich in der Nahrungskette zu ganz erheblicher Konzentration anreichern [224]. Heute nimmt sie jedermann - besonders in der industrialisierten nördlichen Hemisphäre - mit der täglichen Nahrung zu sich. Im menschlichen Gewebe akkumulieren sie in einem Maße, das zeigt, daß der ADI-Wert erreicht beziehungsweise überschritten wird. In geringerem Maße - aber gerade für die Feuerwehr von Bedeutung - werden sie auch über die Atmung und durch die Haut aufgenommen.

Die Feuerwehr stellt einen besonders exponierten Berufsstand dar. Denn im Gegensatz zu Angehörigen anderer Berufe, die ebenfalls mit Gefahrstoffen umgehen, dabei jedoch wissen, wo und wann sie welchen Gefahren ausgesetzt sind, sieht sie sich bei jedem Brand einer unbekanntem Mischung verschiedener Gefahrstoffe konfrontiert. Zu dieser Mischung gehören auch Dioxine und Furane, die nicht nur bei Großbränden in der Industrie freigesetzt werden, wo jene Stoffe produziert werden, die die von der amerikanischen Umweltbehörde (EPA)

zusammengestellten dioxin-verdächtigen Chemikalien enthalten. Sie entstehen während des Brandes, erst recht während eines Schwelbrandes, auch aus holz- oder flammgeschützten Alltagsartikeln wie Fernsehgeräten, Computern, PVC-Bodenbelägen, ... Besonders gefährlich sind Brände in elektrischen oder hydraulischen Anlagen, die PCB enthalten. Dioxin tritt im Brand über einen großen Bereich verteilt auf, so daß man nicht sofort feststellen kann, ob eine Kontamination vorliegt oder nicht. Da eine Gefahr, die man nicht sieht, weitaus gefährlicher ist als eine sichtbare [332], müssen sich Feuerwehrleute mit umluftunabhängigen Atemgeräten und mit abwaschbaren Schutzanzügen prophylaktisch schützen, um eine die Durchschnitts-Dioxinbelastung überschreitende zusätzliche Inkorporation zu verhindern. Der besonderen Gefährdung durch im Brandgeschehen freigesetzte oder entstehende Dioxine nimmt sich eine Untersuchung an Düsseldorfer Feuerwehrleuten an [9]. Bedauerlicherweise steht ihre Auswertung seit über einem Jahr aus.

Auch wenn man davon ausgehen kann, daß die während eines Brandes entstandenen Dioxine an Ruß und Rauchkondensat gebunden sind, so daß es also genügt, die sichtbaren Verschmutzungen zu entfernen, empfiehlt das BGA doch, die Reinigung der Brandstätte grundsätzlich von einer Spezialfirma durchführen zu lassen, anstatt eine außerordentlich zeit- und kostenintensive Dioxin-Analyse abzuwarten. Außerdem wird der von der EPA festgesetzte Wert für die maximale Dioxin-Kontamination von  $10 \text{ ng/m}^2$ , bei dessen Überschreitung besondere Sanierungsmaßnahmen ergriffen werden müssen, fast bei jedem normalen Brand erreicht. Nach Großbränden in der Industrie ist zu prüfen, ob in der Umgebung die landwirtschaftliche Nutzung eingeschränkt werden muß.

Der beste Schutz vor einer Dioxin-Verseuchung wäre zweifellos das Verbot aller dioxinhaltigen Stoffe und der dioxin-produzierenden Herstellungsverfahren oder, wie es der baden-württembergische Umweltminister ausdrückt [112]: "Alle bekannten Dioxin-Quellen müssen auf Dauer verstopft werden." Die Verwirklichung dieser Absicht scheitert häufig daran, daß mögliche Ersatzstoffe nicht den an sie gestellten Anforderungen genügen und/oder daß sie ebenfalls als Dioxin-Produzenten gelten. Die Erfüllung der EPA-Forderung, die Dioxin-Emission nicht an Grenzwerte zu binden, sondern sie entsprechend dem Stand der Technik zu minimieren, kann dazu beitragen, die ubiquitäre Dioxin-Be-

lastung zu verringern. - Der Feuerwehrmann muß sich vergegenwärtigen, daß Dioxine in einem Schadenfeuer immer auftreten können.

Zur Verbesserung des Wissensstandes über polychlorierte und -bromierte Dioxine und ähnliche Verbindungen bleiben folgende, vordringliche Aufgabenstellungen [60, 208, 110],

- die Erforschung der großen Unterschiede bei der Reaktion der verschiedenen Lebewesen auf PCDD und die Einordnung des Menschen unter ihnen,
- die Klärung der Resorptionsverhältnisse bei verschiedenen Aufnahmewegen und
- die Bewertung des toxischen Potentials, insbesondere der Kanzerogenität, beim Menschen,
- die Untersuchung der Kombinationswirkung von PCDD-Gemischen, das heißt, die Festlegung verbindlicher Toxizitätsäquivalenzfaktoren,
- die Kenntnislücken hinsichtlich Eintrag, Ausbreitung und Verbleib der PCDD/PCDF zu schließen. Die Belastungspfade für den Menschen sind über die Nahrung hinaus zu untersuchen: Woher kommen die PCDD/PCDF und wie kommen sie in die Nahrung?

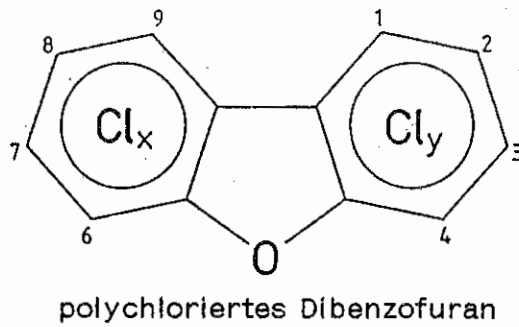
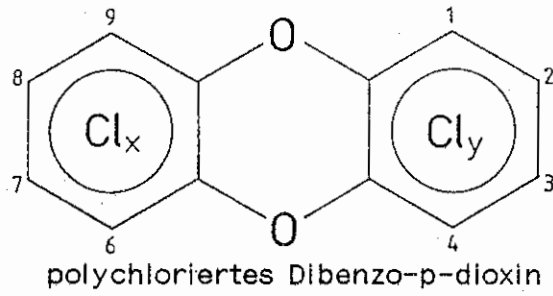
Zusätzlich werden vom Bundesministerium für Forschung und Technologie [4]

- die Erkennung und Erfassung von Altlasten,
- die Entwicklung zuverlässiger Entsorgungstechniken,
- die Optimierung der Müllverbrennung,
- die Untersuchung besonders belasteter Personengruppen und
- die Bewertung von Flammschutzmitteln

als Prioritäten gesetzt.

Für die freundliche Unterstützung bei der Beschaffung der umfangreichen auswärtigen Literatur möchte ich mich bei den Mitarbeiterinnen der Bibliotheken der Universität und des Kernforschungszentrums Karlsruhe bedanken, und bei den Professoren Hanspaul Hagenmaier, Tübingen und Otto Hutzinger, Bayreuth, die mir in unkonventioneller Weise Quellen aus Ihren Institutsbibliotheken zur Verfügung stellten. Mein besonderer Dank gilt Dr. Wolfgang Rotard vom Bundesgesundheitsamt in Berlin für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.





Anzahl (x+y) der Chloratome in den Homologen	Anzahl der PCDD-Isomere	Anzahl der PCDF-Isomere
1	2	4
2	10	16
3	14	28
4	22	38
5	14	28
6	10	16
7	2	4
8	1	1
Kongenere	75	135

Bild 1: Die Strukturformeln und die Anzahl der Kongenere von polychlorierten Dibenzo-p-dioxinen und Dibenzofuranen

Tabelle 1: Die verwendeten Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
HCB	Hexachlorbenzol
HCH	Hexachlorcyclohexan
PAK	polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PBB	polybromierte Biphenyle
PBDD	polybromierte Dibenzodioxine
PBDF	polybromierte Dibenzofurane
PBDPE	polybromierte Diphenylether
PCB	polychlorierte Biphenyle
PCDD	polychlorierte Dibenzodioxine
PCDF	polychlorierte Dibenzofurane
PCP	Pentachlorphenol
PVC	Polyvinylchlorid
TCDD	Tetrachlordibenzodioxin
TCDF	Tetrachlordibenzofuran
TCP	Trichlorphenol
ADI	Acceptable Daily Intake
KG	Körpergewicht
LC <sub>50</sub>	Letalkonzentration in Wasser für 50 %
LD <sub>50</sub>	Letaldosis für 50 % der Versuchstiere
NOEL	No-Observable-Effect-Level
TEF	Toxicity Equivalence Factor
TEQ	Toxicity Equivalence Quantity
ppm	parts per million = Teile je Million = 1/10 <sup>6</sup>
ppb	parts per billion = Teile je Milliarde = 1/10 <sup>9</sup>
ppt	parts per trillion = Teile je Billion = 1/10 <sup>12</sup>
ppq	parts per quadrillion = Teile je Billiarde = 1/10 <sup>15</sup>
mg	Milligramm = 10 <sup>-3</sup> Gramm = 10 <sup>-6</sup> Kilogramm
µg	Mikrogramm = 10 <sup>-6</sup> Gramm = 10 <sup>-9</sup> Kilogramm
ng	Nanogramm = 10 <sup>-9</sup> Gramm = 10 <sup>-12</sup> Kilogramm
pg	Pikogramm = 10 <sup>-12</sup> Gramm = 10 <sup>-15</sup> Kilogramm
fg	Femtogramm = 10 <sup>-15</sup> Gramm = 10 <sup>-18</sup> Kilogramm

Tabelle 2: Vergleichende Zusammenstellung verschiedener natürlicher und synthetischer Giftstoffe, deren Toxizität auf 2,3,7,8-TCDD bezogen wurde [103]

---

Giftstoff	relative LD <sub>50</sub> -Dosis
Botulinus-Toxin A	0,000 03
Tetanus-Toxin	0,000 1
Ricin	0,02
Crotoxin	0,2
2,3,7,8-TCDD	1
Strychnin	500
Morphin	4.000
Natriumcyanid	10.000
Phenobarbital	100.000

---

Tabelle 3: Die Toxizitätsäquivalenzfaktoren der wichtigsten in biologischen Geweben gefundenen PCDD/PCDF-Kongenere

Kongener \ Quelle	a	b	c	d	e	f	g	h
2,3,7,8-TetraCDD	1	1	1	1	1	1	1	1
1,2,3,7,8-PentaCDD	0,4	0,5	0,1	0,5	1	1	0,1	0,5
..2,3..7,8..-HexaCDD	0,1	0,1	0,1	0,04	0,033	0,03	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	0,01	0,01	0,01	0,001	0	0,03	0,01	0,01
OctaCDD	0,001	0,001	0,001	0	0	0	0,0001	0,001
2,3,7,8-TetraCDF	0,1	0,1	0,1	0,1	0,33	1	0,5	0,1
1,2,3,7,8-PentaCDF	0,01	0,01	0,1	0,1	0,33	1	0,5	0,05
2,3,4,7,8-PentaCDF	0,4	0,5	0,1	0,1	0,33	1	0,5	0,5
..2,3..7,8..-HexaCDF	0,1	0,1	0,1	0,01	0,011	0,03	0,1	0,1
..2,3..7,8..-HeptaCDF	0,01	0,01	0,01	0,001	0	0,03	0,01	0,01
OctaCDF	0,001	0,001	0,001	0	0	0	0,0001	0,001

a: Schweiz: Schlatter und Polger [37]

b: Skandinavien: Ahlberg [125]

c: BRD: Bundesgesundheitsamt [105]

d: US-EPA: Bellin und Barnes [122]

e: New York: Eadon [118, 119]

f: Kalifornien: Dep. of Health [123]

g: Ontario: Min. of Environment [120]

h: International: Kutz [127]

Tabelle 4: Die Dioxingehalte verschiedener Proben, nach unterschiedlichen Toxizitätsäquivalenten bewertet [110]

	Pentachlor- phenol	Polychlor- biphenyl	Müllverbrennung, Abgas	Human- fett
	[ $\mu\text{g TEQ} / \text{kg}$	=	ppb TEQ	= $1/10^9$ ]
Skandinavien [125]	2.300	2.100	0,009	0,1
Deutschland [105]	2.700	1.400	0,009	0,06
USA-EPA [122]	400	900	0,004	0,05
New York [118, 119]	60	2.600	0,007	0,1
international [127]	2.300	2.200	0,009	0,1

Tabelle 5: Der jährliche Eintrag von PCDD/PCDF in die Umwelt in Kanada [162]

Emittent	Emission	
	[g/Jahr]	[%]
Produktion und Anwendung von Chemikalien		93
- 2,4-D	100	
- 2,4,5-T	5	
- PCP	$1,6 \cdot 10^6$	
- PCB	75.000	
Waldbrände		3
- Rauchgase	58.700	
städtische Müllverbrennung		2
- Flugasche	7.800...22.700	
- Rauchgase	800...35.400	
Verbrennung von Holzabfällen		0,9
- Rauchgase	0...30.200	
Klärschlamm-Verbrennung		0,4
- Rauchgase	2.900...9.800	
Verbrennung von Eisenbahnschwellen (Rauchgase)	6.000	0,3
Brandrodungen		0,2
- Rauchgase	3.300	
kohlebefeuerte Kraftwerke		0,1
- Flugasche	30...1.600	
- Rauchgase	1.000	
private Holz-Feuerung		0,1
- Rauchgase	1.800	
private Gasheizung		0,05
- Rauchgase	900	
Automobilabgase	200	0,01
Zigaretten-Rauch	2...4	-
private Ölheizung		-
- Rauchgase	< 1	
Summe	$1,8 \cdot 10^6$	100

Tabelle 6: Der jährliche Eintrag von PCDD/PCDF in die Umwelt in Schweden, bewertet mit skandinavischen Äquivalenzfaktoren [37]

Emittent	Emission	
	[g TEQ / Jahr]	[%]
städtische Müllverbrennung - Rauchgase	60...120	39
Metallrecycling - Abgase	50...150	44
Papierherstellung - Abgase	4...6	12
- Abwasser	15...30	
Automobilabgase	5...15	4,4
kohlebefeuerte Kraftwerke - Rauchgase	ca. 1	0,4
Summe	130...320	100

Tabelle 7: Der jährliche Eintrag von PCDD/PCDF in die Umwelt in der Schweiz, bewertet mit skandinavischen Äquivalenzfaktoren [37]

Emittent	Emission	
	[g TEQ / Jahr]	[%]
städtische Müllverbrennung - Rauchgase	270...340	93
Metallrecycling - Abgase	7...21	4,3
Papierherstellung - Abgase	0,1	0,4
- Abwasser	0,7...1,5	
Automobilabgase	4,5...13,5	2,7
kohlebefeuerte Kraftwerke - Rauchgase	./.	0
Summe	280...380	100

Tabelle 8: Der jährliche Eintrag von PCDD/PCDF in die Umwelt in der Bundesrepublik, bewertet mit deutschen Äquivalenzfaktoren [111]

Emittent	Emission	
	[g TEQ / Jahr]	[%]
thermische Quellen (Kraftwerke, private Heizungen)	7.000	37
Produktion und Anwendung von Chemikalien		25
- PCP	1.300	
- PCB	3.500	
Metallrecycling		18
- Abgase	3.500	
städtische Müllverbrennung		18
- Flugasche	3.100	
- Rauchgase	400	
Papierherstellung	keine	Angaben
Automobilabgase	50	0,3
Summe	ca. 19.000	< 100



Tabelle 9: PCDD/PCDF-Konzentrationsbereiche  
in der Umwelt [203]

Bereich	Vorkommen
g/kg (‰)	Rückstände aus der PCP-, 2,4,5-TCP-, 2,4,5-T-, 2,4-D-, HCH-, HCB-Produktion, die zur Deponierung oder Verbrennung gelangen; Pyrolyse von PCB
mg/kg (ppm)	Chemikalien wie Chlorphenole, Chlorphenoxyessigsäure-Derivate, Hexachlorophen, Hexachlorbenzol, polychlorierte Biphenyle, Chlordiphenylether, Chlornaphthaline, Chloranile; Asche von Müllverbrennung, PVC-Verbrennung, Verbrennung von chlororganischen Stoffen
µg/kg (ppb)	Unfälle: Kontamination von Böden, Gebäuden, Lebensmitteln, Pflanzen, Tieren, Menschen; Sickeröl aus Sondermülldeponien, Chemikalien, Böden in Umgebung von Kabelverschmelungsanlagen, Kupferschmelzen usw.
ng/kg (ppt)	Holzverbrennung, Tabakrauch, Autoabgase, Reingas von Müllverbrennung, Abwasser; ubiquitäre Belastung von Sedimenten, Böden, Straßenstaub, Tieren, Menschen
pg/kg (ppq)	Stadtluft, Oberflächenwasser
fg/kg (ppqt)	Landluft

Tabelle 10: Die durchschnittliche Dioxin-Belastung, gemessen an der täglichen Aufnahme pro Person

Quelle	Toxizitätsäquivalenzmenge		davon 2,3,7,8-TCDD	
	[pg/Person]	[pg/kg Körpergew.]	[pg/Person]	[pg/kg Körpergew.]
<b>Ingestion:</b>				
Neubert (1986) [108]	5...150	0,07...2,15	<u>1...30</u>	0,014...0,43
Beck (1987) [75]	75	1	<u>15</u>	0,2
Schlatter (1987) [76]	140...1.400	<u>2...20</u>	28...280	0,4...4
Neubert (1987) [130]	20...350	0,3...5	4...70	<u>0,06...1</u>
Beck (1989) [205]	<u>93</u>	1,3	<u>25</u>	0,35
BGA/UBA (1990) [93]	70...140	<u>1...2</u>	14...28	0,2...0,4
<b>Inhalation:</b>				
Beck (1987) [75]	10	0,15	<u>2</u>	0,03
Schlatter (1987) [76]	10...25	<u>0,14...0,4</u>	2...5	0,03...0,08
Rotard (1990) [206]	50	<u>0,7</u>	10	0,14

fett : Originalzitat  
 Umrech- 70 kg / Person [130]  
 -nung :  $m_{TEQ} \cong 5 \cdot m_{2,3,7,8-TCDD}$  [75]

Tabelle 11: Die tägliche, durchschnittliche Dioxin-Belastung, ermittelt aus der Nahrungsaufnahme pro Person [205]

Nahrungs- mittel	Verzehr [g/Tag]	Fett- gehalt [%]	Fett- verzehr [g/Tag]	2,3,7,8-TCDD				polychlorierte Dibenzodioxine und -Furane, gewichtet			
				Gehalt [ppq]	Aufnahme [pg/Tag]	Gehalt [ppq]	Aufnahme [pg TEQ / Tag]	nach BGA [105] Gehalt [ppq]	nach EPA [122] Gehalt [ppq]	international [127] Gehalt [ppq]	Aufnahme [pg TEQ / Tag]
Fleisch, Wurst...	188	20	37,5	185	7	630	23,5	480	17,9	960	35,9
Milch, Butter...	279	3... 100	28	220	6,2	1.020	28,5	950	26,6	1.970	55,1
Eier	34	11	3,8	200	0,8	1.070	4,2	800	3,1	1.520	5,9
Fleisch, -produkte	15	12	1,8	4.780	8,6	18.500	33,3	21.440	38,6	33.700	60,5
Pflanzen- fett	28	90	25,3	5	0,1	10	0,3	10	0,3	15	0,4
Gemüse	244	./.	./.	5	1,2	10	2,4	10	2,4	15	3,7
Obst	135	./.	./.	5	0,7	10	1,3	10	1,3	15	2,0
Brot, sonstiges	1.103	2	20,3	54	1,1	280	5,7	250	5	460	9,4
Summe / Person	2.026	6	116,8	220	25,7	850	99,2	820	95,2	1.480	172,9
Summe / kg KG				0,37		1,42		1,36			2,47

Tabelle 12: Eine Zusammenstellung der Chemikalien und Biozide, die Dioxin enthalten oder enthalten können [164]

3-Amino-5-chlor-2-hydroxybenzol-sulfonsäure	Decabromphenoxybenzol
2-Amino-4-chlor-6-nitrophenol	2,4-Dibromfluorbenzol
o-Anisidin	3,5-Dibrom-4-hydroxybenzonitril (= Bromoxynil)
Benzaldehyd	2,6-Dibrom-4-nitrophenol
o-Benzyl-p-chlorphenol	2,4-Dibromphenol
Bifenox	Dicamba
Brombenzol	Dicapthon
4-Brom-2,5-dichlorphenol	Dichlofenthion
o-Bromfluorbenzol	Dichlone
Bromoxynil	3,4-Dichloranilin
Bromphenetol	3,4-Dichlorbenzaldehyd
o-Bromphenol	o-Dichlorbenzol
Carbophenothion	3,4-Dichlorbenzotrichlorid
Chloranil	3,4-Dichlorbenzotrifluorid
2-Chlor-1,4-diethoxy-5-nitrobenzol	3,6-Dichlor-2-methoxybenzoesäure (= Dicamba)
5-Chlor-2,4-dimethoxyanilin	2,3-Dichlor-1,4-naphthochinon (= Dichlone)
o-Chlorfluorbenzol	1,2-Dichlor-4-nitrobenzol
3-Chlor-4-fluornitrobenzol	2,3-Dichlorphenol
2-Chlor-4-fluorphenol	2,4-Dichlorphenol
3-Chlor-4-fluorphenol	2,5-Dichlorphenol
Chlorhydrochinon	2,6-Dichlorphenol
2-(4-Chlor-2-methyl-phenoxy)-propionsäure (= Mecoprop)	3,4-Dichlorphenol
4-Chlor-2-nitrophenol	2,4-Dichlorphenoxybuttersäure (= 2,4-DB) und Ihre Salze
Chlorpentafluorbenzol	2,4-Dichlorphenoxyessigsäure (= 2,4-D), Ihre Ester und Salze
o-Chlorphenol	2,4-Dichlorphenoxyethylsulfat Natriumsalz (= Disul sodium)
2-Chlor-4-phenylphenol	
4-Chlorresorcin	
2,4-D	
2,4-DB	
DCEP	

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle 12: Fortsetzung

2-(2,4-Dichlorphenoxy)-propionsäure (= Dichlorprop, 2,4-DP)	2,4-Dinitrophenol
3,4-Dichlorphenylisocyanat	2,4-Dinitrophenoxyethanol
2,4-Dichlorphenyl-p-nitrophenylether (= Nitrophen)	3,5-Dinitrosalicylsäure
Dichlorprop	Diphenylether
3,4-Dichlorpropionanilid (= Propanil)	Disul sodium
3,5-Dichlorsalicylsäure	2,4-DP
O,O-Diethyl-S-(4-chlorphenylthio)- methyl-dithiophosphat (= Carbophenothion)	Erbon
O,O-Diethyl-O-(2,4-dichlorphenyl)- thiophosphat (= Dichlofenthion)	Fenchlorphos
O,O-Diethyl-O-(4-nitrophenyl)- thiophosphat (= Parathion)	o-Fluoranisol
3,4-Difluoranilin	o-Fluorphenol
o-Difluorbenzol	Fumarsäure
1,2-Dihydroxybenzol-3,5-dinatrium- disulfonat	Hexabrombenzol
2,5-Dihydroxybenzolkaliumsulfonat	Hexachlorbenzol
2,5-Dihydroxybenzolsulfonsäure	1,2,3,4,5,6-Hexachlorcyclohexan (= Lindan)
3,5-Diod-4-hydroxybenzonitril (= Loxynil)	Hexachlorophen
2,6-Diod-4-nitrophenol	Hexafluorbenzol
3,5-Diodsalicylsäure	Lindan
O,O-Dimethyl-O-(2-chlor-4-nitro- phenol)-thiophosphat (= Dicapthon)	Loxynil
O,O-Dimethyl-O-(2,4,5-trichlorphenyl)- thiophosphat (= Fenchlorphos, Ronnel)	Maleinsäure
2,4-Dinitro-6-sec.-butylammonium- phenolat	Maleinsäureanhydrid
	MCPA
	MCPB
	Mecoprop
	4-(2-Methyl-4-chlor-phenoxy)-butter- säure (= MCPB)
	2-Methyl-4-chlor-phenoxyessigsäure (= MCPA)
	Methyl-5-(2,4-dichlorphenoxy)-2-nitro- benzoat (= Bifenox)
	2,2'-Methylen-bis(3,4,6-trichlorphenol) (= Hexachlorophen)

Schluß nächste Seite

Tabelle 12: Schluß

3-(2-Methylpiperidino)-propyl-3,4-dichlorbenzoat (= Piperalin)	2,4,5-T
Naphthaline, polychlorierte	Tetrabrom-bisphenol A
Natriumpikrat	Tetrabromphthalsäureanhydrid
o-Nitroanisol	1,2,4,5-Tetrachlorbenzol
2-Nitro-p-kresol	2,3,5,6-Tetrachlor-1,4-benzoldicarbon-säuredimethylester (= DCPA)
Nitrophen	Tetrachlor-bisphenol A
o-Nitrophenol	2,3,5,6-Tetrachlor-2,5-cyclohexadien-1,4-dion (= Chloranil)
Parathion	2,3,4,6-Tetrachlorphenol
PCNB	Tetrachlorphthalsäureanhydrid
PCP	Tetradifon
Pentabromchlorcyclohexan	Tetrafluor-m-phenylendiamin
Pentabrommethylbenzol	Tribrombenzol
Pentabromphenol	2,4,6-Tribromphenol
Pentabromtoluol	2,3,6-Trichlorbenzoesäure
Pentachloranilin	1,2,4-Trichlorbenzol
Pentachlornitrobenzol (= PCNB)	1,2,4-Trichlor-5-(4-chlorphenyl-sulfonyl)-benzol (= Tetradifon)
Pentachlorphenol (= PCP) und seine Salze	2,4,5-Trichlorphenol
Pentafluoranilin	2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure (= 2,4,5-T), ihre Ester und Salze
o-Phenetidin	2-(2,4,5-Trichlorphenoxy)-ethyl-2,2-dichlorpropionat (= Erbon)
Phenol aus Chlorbenzol	2-(2,4,5-Trichlorphenoxy)-propion-säure (= Silvex), ihre Ester und Salze
1-Phenol-2-sulfonsäure, Kondensat mit Formaldehyd	2,3,6-Trichlorphenylessigsäure und ihre Natriumsalze
Phthalsäureanhydrid	Trilodbenzoesäure
Pikrinsäure	2,4,6-Trinitroresorcin
Piperalin	
Piperidinopropyl-3,4-dichlorbenzoat	
Propanil	
Ronnel	
Silvex	

## 8. LITERATURVERZEICHNIS

(Numerierung der Quellenangaben in der Reihenfolge ihrer Erwähnung im Text - werden an einer Stelle mehrere Quellen zitiert, so stehen sie dort in einer [ ], geordnet nach dem Datum ihrer Veröffentlichung)

- [1] Graf, Werner  
(Berufsfeuerwehr Düsseldorf):  
Schreiben an den Vorsitzenden der  
Arbeitsgemeinschaft der Leiter der  
Berufsfeuerwehren (AGBF)  
13.4.1988
- [2] Föhl, C. Axel und Peter Basmer  
(Forschungsstelle für Brandschutz-  
technik, Universität Karlsruhe):  
Untersuchung der Löschverfahren  
und Löschmittel zur Bekämpfung  
von Bränden gefährlicher Güter,  
Forschungsbericht Nr. 73 der Arbeits-  
gemeinschaft der Innenministerien der  
Bundesländer - Arbeitskreis V -  
Unterausschuß "Feuerwehrangelegen-  
heiten", Karlsruhe 1990
- [3] Institut der Feuerwehr -  
Informationszentrum (IZF):  
Literaturuntersuchung über die Ent-  
stehung von Schadstoffen bei der un-  
kontrollierten, störfallbedingten  
Verbrennung von Sondermüll,  
IZF, Heyrothsberge 1991
- [4] Bundesministerium für Forschung und  
Technologie und GSF-Forschungszentrum  
für Umwelt und Gesundheit:  
Dioxine, Furane und polychlorierte  
Biphenyle, Forschungsaktivitäten  
und Forschungsbedarf in der Bundes-  
republik Deutschland,  
München 1991
- [5] Hutzinger, Otto et al.  
(Universität Bayreuth):  
Untersuchung der möglichen Freisetzung  
von polybromierten Dioxinen und Fura-  
nen beim Brand flammgeschützter Kunst-  
stoffe,  
Bayreuth 1989
- [6] ITU-Forschungsgesellschaft Technischer  
Umweltschutz GmbH:  
Brandgas-, Brandschutt- und Löschwas-  
seruntersuchungen auf umweltrelevante  
Schadstoffe (Bericht Nr. 90/618/154b  
"Feuerwehrbericht"),  
Senatsverwaltung für Stadtentwicklung  
und Umweltschutz, Abt.IV K,  
Berlin 1990
- [7] ERGO-Forschungsgesellschaft mbH,  
Fresenius-Untersuchungslaboratorium,  
Gesellschaft für Arbeitsplatz- und  
Umweltanalytik und Otto Hutzinger et  
al. (Universität Bayreuth):  
Weiterführende Untersuchung zur  
Bildung von polybromierten Dioxinen  
und Furanen bei der thermischen Be-  
lastung flammgeschützter Kunststoffe  
und Textilien,  
Hamburg, Wiesbaden, Münster, Bayreuth  
1991
- [8] Theisen, Jochen et al.  
(Gesellschaft für Arbeitsplatz-  
und Umweltanalytik - GfA, Münster):  
Untersuchung der möglichen Umwelt-  
gefährdung beim Brand von Kunst-  
stoffen,  
Umweltbundesamt-Forschungsbericht  
Nr. 104 09 222, Berlin 1991
- [9] Trampisch, Hans Joachim  
(Ruhr-Universität Bochum):  
Dioxine und verwandte Substanzen -  
Untersuchung bei Feuerwehrleuten,  
Düsseldorf 1991
- [10] Sandermann, Wilhelm et al.:  
Über die Pyrolyse des  
Pentachlorphenols,  
Chemische Berichte 90 (1957),  
Heft 5, Seite 690...692
- [11] Kimmig, Josef und Karl Heinz Schulz:  
Chlorierte aromatische zyklische Ether  
als Ursache der sogenannten Chlorakne,  
Die Naturwissenschaften 44 (1957),  
Heft 11, Seite 337...338
- [12] Sandermann, Wilhelm:  
Dioxin - Die Entdeckungsgeschichte des  
2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxins  
(TCDD, Dioxin, Sevesogift),  
Naturwissenschaftliche Rundschau 37  
(1984), Heft 5, Seite 173...178
- [13] Sandermann, Wilhelm:  
Dioxinabbau durch Betastrahlen - Zur  
Entdeckungsgeschichte des 2,3,7,8-  
Tetrachlordibenzo-p-dioxins  
(II. Mitteilung),  
Naturwissenschaftliche Rundschau 37  
(1984), Heft 11, Seite 445...446

- [14] Ballschmiter, Karlheinz et al.  
(Fortbildungszentrum Gesundheits-  
und Umweltschutz Berlin - FGU):  
Dioxine: Entstehung -  
Wirkungen - Beseitigung,  
Abfallwirtschaft in Forschung und  
Praxis, Band 14,  
E.Schmidt-Vlg., Berlin 1985
- [15] Krum, W.:  
Entstehung und Emission von 2,3,7,8-  
TCDD bei der Herstellung und Anwen-  
dung des Herbizids 2,4,5-T-Säure,  
Seite 19...32 in [14]
- [16] Sambeth, Jörg  
(Hoffmann-LaRoche/Givaudan, Genf):  
Der Seveso-Unfall,  
Chimia 36 (1982),  
Heft 3, Seite 128...132  
≡ Nachrichten aus Chemie, Technik  
und Laboratorium 30 (1982),  
Heft 5, Seite 367...371
- [17] Coulston, Frederick  
und Francesco Pocchiari:  
Accidental Exposure to Dioxins,  
Human Health Aspects,  
Ecotoxicology and Environmental  
Quality Series, Academic Press,  
New York, London,... 1983
- [18] Pocchiari, Francesco et al.:  
Environmental Impact of the Acciden-  
tal Release of Tetrachlorodibenzo-p-  
dioxin (TCDD) at Seveso (Italy),  
Seite 5...37 in [17]
- [19] Noè, Luigi:  
Reclamation of the TCDD-  
Contaminated Seveso Area,  
Seite 69...77 in [17]
- [20] Verband Kunststoffherzeugende  
Industrie (VKE):  
PVC - Ursache für Dioxin-Bildung?,  
Frankfurt/M 1985
- [21] Exner, Jürgen H.:  
Solving Hazardous Waste Problems -  
Learning from Dioxins,  
ACS-Symposium Series 338,  
American Chemical Society,  
Washington (D.C.) 1987
- [22] Exner, Jürgen H.:  
Perspective on Hazardous Waste  
Problems Related to Dioxins,  
Seite 1...17 in [21]
- [23] Mastroiacovo, Pierpaolo et al.:  
Birth Defects in the Seveso Area  
after TCDD Contamination,  
Journal of the American Medical  
Association 259 (1988),  
Heft 11, Seite 1668...1672
- [24] Koch, Egmont R. und Fritz Vahrenholt:  
Seveso ist überall -  
die tödlichen Risiken der Chemie,  
Vlg. Kiepenheuer & Witsch, Köln 1978
- [25] Hutzinger, Otto et al.:  
Chlorinated Dioxins & Related Com-  
pounds - Impact on the Environment,  
Proceedings of a Workshop held at the  
Istituto Superiore di Sanità,  
vom 22. bis 24. Oktober 1980 in Rom,  
Pergamon Series on Environmental  
Science, Band 5, Pergamon Press,  
Oxford, New York,... 1982
- [26] Wipf, H.-K. et al. (Givaudan  
Research Laboratories, Dübendorf):  
TCDD-Levels in Soil and Plant  
Samples from the Seveso Area,  
Seite 115...126 in [25]
- [27] Bouissou, François:  
PCB depuis dix ans,  
Face au risque - revue du centre na-  
tional de prévention et de protection,  
Heft 219 (Januar 1986), Seite 39...47
- [28] Hay, Alastair W.M.:  
The Chemical Scythe -  
Lessons of 2,4,5-T and Dioxin,  
Plenum Press, New York und London 1982
- [29] Hutzinger, Otto et al.  
(Universität Bayreuth):  
PCDD und PCDF: Gefahr für  
Mensch und Umwelt?,  
Chemie in unserer Zeit 20 (1986),  
Heft 5, Seite 165...170
- [30] Verein Deutscher Ingenieure -  
VDI-Kommission Reinhaltung der Luft:  
Dioxin - eine technische, analytische,  
ökologische und toxikologische Heraus-  
forderung,  
Kolloquium vom 5. bis 7. Mai 1987  
in Mannheim, VDI-Berichte 634,  
VDI-Verlag, Düsseldorf 1987
- [31] Abel, J. (Universität Düsseldorf):  
2,3,7,8-TCDD-Intoxikation  
beim Menschen,  
Seite 487...502 in [30]
- [32] Weidenbach, Thomas et al.:  
Dioxin - die chemische Zeitbombe:  
Bestandsaufnahme und Auswege,  
Vlg. Kiepenheuer und Witsch, Köln 1984
- [33] Neumüller, Otto-Albrecht:  
Römpps Chemie-Lexikon, 8.Aufl.,  
Franckh'sche VlgdVg.,  
Stuttgart 1979...88 und  
Falbe, Jürgen und Manfred Regitz:  
Römpp Chemie-Lexikon, 9.Aufl.,  
G.Thieme-Vlg., Stuttgart, New York  
1989ff



- [34] Layman, Patricia L.:  
Europe Provides Test Case of  
Human Exposure to Dioxin,  
Chemical and Engineering News (C&EN)  
61 (1983), Heft 23, Seite 61...64
- [35] Klaassen, Curtis D. et al.:  
Casarett and Doull's Toxicology -  
the Basic Science of Poisons, 3<sup>rd</sup> Ed.,  
Macmillan Publishing Comp.,  
New York 1986
- [36] Korte, Friedhelm:  
Ecologic Chemistry of Dioxins  
and Related Compounds,  
Seite 171...184 in [17]
- [37] Schlatter, Christian und H. Pojger  
(Universität Zürich):  
Chlorierte Dibenzodioxine und Di-  
benzofurane (PCDDs/PCDFs) - Belastung  
und gesundheitliche Beurteilung,  
Umweltwissenschaft und Schadstoff-  
Forschung / Zeitschrift für Umwelt-  
chemie und Ökotoxikologie 1 (1989),  
Heft 2, Seite 11...17
- [38] Cikryt, Peter (Universität Würzburg):  
Die Gefährdung des Menschen durch  
Dioxin und verwandte Verbindungen,  
Nachrichten aus Chemie, Technik  
und Laboratorium 39 (1991),  
Heft 6, Seite 648...656
- [39] Vahrenholt, Fritz  
(Umweltbundesamt - UBA, Berlin):  
Seveso - eine beispiellose  
Umweltkatastrophe?,  
Umwelt - Zeitschrift des Vereins  
Deutscher Ingenieure für Immissions-  
schutz, Abfall, Gewässerschutz 7  
(1977), Heft 1, Seite 59...64
- [40] Anonym:  
Dioxin Report - a C&EN Special Issue,  
Chemical and Engineering News (C&EN)  
61 (1983), Heft 23, Seite 20...21
- [41] Young, Alvin L. et al. (US Air Force):  
The Toxicology, Environmental Fate and  
Human Risk of Herbicide Orange and its  
Associated Dioxins,  
US Air Force Occupational and Environ-  
mental Health Laboratory (A FOEHL),  
Technical Report 78-92,  
US Department of Commerce,  
National Technical Information Service  
(NTIS) AD-A062-143,  
Springfield (Virginia) 1978
- [42] Kommission der Europäischen Gemein-  
schaften (CEC) - Generaldirektion für  
Landwirtschaft:  
Bericht des wissenschaftlichen Aus-  
schusses für Schädlingsbekämpfungsmittel  
über Vermarktung und Verwendung  
von 2,4,5-T,  
Seite 43...69 in Bericht EUR 7581,  
Amt für amtliche Veröffentlichungen  
der Europäischen Gemeinschaften,  
Luxemburg 1981
- [43] Neilands, J.B.:  
Survey of Chemical and  
Related Weapons of War,  
Die Naturwissenschaften 60 (1973),  
Heft 4, Seite 177...183
- [44] Schnibben, Cordt:  
Das war der Tod persönlich /  
Der Tod aus Ingelheim,  
Der Spiegel 45 (1991),  
Heft 31, Seite 102...114 und  
Heft 32, Seite 106...120
- [45] Rappe, Christoffer; Gangadhar  
Choudhary und Lawrence H. Keith:  
Chlorinated Dioxins and Dibenzofurans  
in Perspective - Proceedings of the  
Symposium held at the 189<sup>th</sup> National  
Meeting of the American Chemical So-  
ciety (ACS), vom 28. April bis 3. Mai  
1985 in Miami Beach (Florida),  
Lewis Publishers, Chelsea (Michigan)  
1986
- [46] Schecter, Arnold J. et al.  
(State University of New York):  
Chlorinated Dioxins and Dibenzofurans  
in Human Tissues from  
Vietnam 1983...84,  
Seite 35...50 in [45]
- [47] Blessing, Roland et al.:  
Dioxin-Emissionen  
aus Feuerungsanlagen,  
Umwelt - Zeitschrift des Vereins  
Deutscher Ingenieure für Immissions-  
schutz, Abfall, Gewässerschutz 21  
(1991), Heft 3, Seite E43...E48
- [48] Roth, Lutz und Max Dauderer:  
Giftliste: giftige, gesundheits-  
schädliche, reizende und krebs-  
erzeugende Stoffe, 6.Aufl.,  
ecoméd-vlg., Landsberg, München,...  
1977...91
- [49] Koch, Egmont R. und Fritz Vahrenholt:  
Angeklagt  $C_{12}H_5O_3Cl_3$ ,  
GEO 5 (1980), Heft 12, Seite 82...96

- [50] Hutzinger, Otto:  
The Handbook of Environmental  
Chemistry, 20 (Teil-)Bände,  
Springer-Vlg., Berlin, New York,...  
1980...91
- [51] Rappe, Christoffer  
(Universität Umea):  
Chloroaromatic Compounds  
Containing Oxygen,  
Seite 157...179 in "Anthropogenic  
Compounds A" = Band 3 von [50]
- [52] Choudhry, Ghulam G. und Otto  
Hutzinger (Universität Amsterdam):  
Photochemical Formation and Degrada-  
tion of Polychlorinated Dibenzo-  
furans and Dibenzo-p-dioxins,  
Residue Reviews - Residues of Pesti-  
cides and Other Contaminants in the  
Total Environment 84 (1982),  
Seite 113...161
- [53] Ballschmiter, Karlheinz  
und Adolf Nottrodt:  
Umweltforschungsplan des Bundes-  
ministers des Inneren - Luftrein-  
haltung: Vorkommen und Emissions-  
minderung von polychlorierten  
Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen  
bei Verbrennungsvorgängen,  
Umweltbundesamt, Berlin 1982
- [54] Braun, Walter und Axel Dönhardt:  
Vergiftungsregister: Haushalts- und  
Laborchemikalien, Arzneimittel, Symp-  
tomatologie und Therapie, 3. Aufl.,  
G.Thieme-Vlg., Stuttgart, New York  
1982
- [55] Rawis, Rebecca L.:  
Dioxin's Human Toxicity is  
Most Difficult Problem,  
Chemical and Engineering News (C&EN)  
61 (1983), Heft 23, Seite 37...48
- [56] Verschueren, Karel:  
Handbook of Environmental Data  
on Organic Chemicals, 2<sup>nd</sup> Ed.,  
Van Nostrand Reinhold, New York 1983
- [57] Rippen, Gerd  
(Battelle-Institut, Frankfurt/M):  
Handbuch Umweltchemikalien: Stoff-  
daten, Prüfverfahren, Vorschriften,  
3. Aufl.,  
ecomed-vlg., Landsberg, München,...  
1984...91
- [58] Keith, Lawrence H.;  
Douglas B. Walters und Verband  
der Chemischen Industrie (VCI):  
Compendium of Safety Data Sheets for  
Research and Industrial Chemicals,  
Parts I...VI,  
Vlg. Chemie (VCH), Weinheim, Deerfield  
Beach (Florida) 1985...87
- [59] Sorbe, Günter:  
Sicherheitstechnische Kenndaten  
chemischer Stoffe,  
ecomed-vlg., Landsberg, München,...  
1986ff
- [60] Mücke, Wolfgang  
(Bayerisches Staatsministerium für  
Landesentwicklung und Umweltfragen):  
Risikoabschätzung für  
Dioxine in der Umwelt,  
Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmen-  
tal Problems 16 (1987), Heft 1,  
Seite 43...48
- [61] Bundesminister für Umwelt, Natur-  
schutz und Reaktorsicherheit:  
Umweltpolitik: Auswirkungen der Luft-  
verunreinigungen auf die menschliche  
Gesundheit,  
Universitäts-Buchdruckerei, Bonn 1987
- [62] Fingerhut, Marilyn A. et al.  
(National Institute for Occupa-  
tional Safety and Health - NIOSH):  
Epidemiology of Populations  
Exposed to Dioxins,  
Seite 142...161 in [21]
- [63] Korte, Friedhelm et al.:  
Lehrbuch der ökologischen Chemie,  
Grundlagen und Konzepte für die öko-  
logische Beurteilung von Chemikalien,  
2. Aufl., G.Thieme-Vlg.,  
Stuttgart, New York 1987
- [64] Koch, Rainer und Burkhard O. Wagner:  
Umweltchemikalien: Physikalisch-  
chemische Daten, Toxizitäten, Grenz-  
und Richtwerte, Umweltverhalten,  
Vlg. Chemie (VCH), Weinheim, New York  
1989
- [65] The Toxicology Forum, Washington (DC);  
Bundesministerium für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit;  
Ministerium für Ernährung, Landwirt-  
schaft, Umwelt und Forsten Baden-  
Württemberg und Ministerium für Umwelt  
und Reaktorsicherheit Hessen:  
Health Effects and Safety Assessment  
of Dioxins and Furans - Protokoll der  
internationalen Tagung  
vom 15. bis 17. Januar 1990  
am Kernforschungszentrum Karlsruhe

- [66] Spill, Elvira:  
Where Did Science Fail?,  
Seite 291...301 in [65]
- [67] Dauderer, Max:  
Handbuch der Umweltgifte - klinische  
Umwelttoxikologie für die Praxis,  
ecomed-vlg., Landsberg, München,...  
1990
- [68] Bundesminister für Verkehr:  
Verordnung über die innerstaatliche  
und grenzüberschreitende Beförderung  
gefährlicher Güter auf Straßen  
(Gefahrgutverordnung Straße - GGVS),  
Bundesgesetzblatt Teil I,  
Seite 1550...1559, 22.7.1985,  
Änderung: BGBI. I,  
Seite 2858...2861, 21.12.1987
- [69] Bundesminister für Arbeit  
und Sozialordnung et al.:  
Verordnung über gefährliche Stoffe  
(Gefahrstoffverordnung - GefStoffV),  
Bundesgesetzblatt Teil I,  
Seite 1470...1487, 26.8.1986,  
1. Änderung: BGBI. I,  
Seite 2721...2743, 16.12.1987,  
2. Änderung: BGBI. I,  
Seite 2235...2236, 12.12.1989,  
3. Änderung: BGBI. I,  
Seite 493...547, 14.3.1990,  
4. Änderung: BGBI. I,  
Seite 790...807, 23.4.1990
- [70] Bundesminister für Umwelt, Natur-  
schutz und Reaktorsicherheit et al.:  
Verordnung zur Änderung von Verord-  
nungen zur Durchführung des Bundes-  
Immissionsschutzgesetzes, Artikel 1:  
Änderung der 12. Verordnung zur  
Durchführung des Bundes-Immissions-  
schutzgesetzes (Störfallverordnung),  
Bundesgesetzblatt Teil I,  
Seite 608...662, 19.5.1988
- [71] Classen, Hans-Georg et al.:  
Toxikologisch-hygienische Beurteilung  
von Lebensmittelinhalts- und -zusatz-  
stoffen sowie bedenklicher Verunrei-  
nungen, Studentexte Nr. 54,  
Parey-Vlg., Berlin und Hamburg 1987
- [72] Bundesminister für Umwelt, Natur-  
schutz und Reaktorsicherheit:  
17. Verordnung zur Durchführung des  
Bundes-Immissionsschutzgesetzes  
(Verordnung über Verbrennungsanlagen  
für Abfälle und ähnliche brennbare  
Stoffe),  
Bundesgesetzblatt Teil I,  
Seite 2545...2553, 23.11.1990,  
Änderung: BGBI. I,  
Seite 2832, 13.12.1990
- [73] Müller, K. (AG Brand zur Versuchs-  
gruppe E42 Kabelbrandversuche im  
Projekt HDR-Sicherheitsprogramm):  
Dioxin-Problematik bei Kabelbrand:  
Maßnahmen, Vorbereitung der Anlage,  
Vorversuche, Messungen,  
Kernforschungszentrum Karlsruhe 1991
- [74] Bundesministerium für Umwelt, Natur-  
schutz und Reaktorsicherheit:  
persönliche Mitteilung, 16.1.1992
- [75] Beck, Hans et al.  
(Bundesgesundheitsamt - BGA):  
Isomerenspezifische Bestimmung von  
PCDD und PCDF in Human- und Lebens-  
mittelproben,  
Seite 359...382 in [30]
- [76] Schlatter, Christian  
(Universität Zürich):  
Risiko-Abschätzung  
(Toxizitätsäquivalente),  
Seite 503...514 in [30]
- [77] Reggiani, Giuseppe  
(Hoffmann-LaRoche, Basel):  
Toxicology of TCDD and Related  
Compounds: Observations in Man,  
Seite 463...493 in [25]
- [78] Verein Deutscher Ingenieure -  
VDI-Kommission Reinhaltung der Luft:  
Halogenierte organische Verbindungen  
in der Umwelt: Herkunft, Messung,  
Wirkung, Abhilfemaßnahmen; 2 Bände,  
Kolloquium vom 25. bis 27. April 1989  
in Mannheim, VDI-Berichte 745,  
VDI-Verlag, Düsseldorf 1989
- [79] Greim, Helmut  
(Gesellschaft für Strahlen- und  
Umweltforschung - GSF, München):  
VDI-Kolloquium "Halogenierte organi-  
sche Verbindungen in der Umwelt" - Zu-  
sammenfassung des medizinischen Teils,  
Seite 1017...1023 in [78]
- [80] Verein Deutscher Ingenieure -  
VDI-Kommission Reinhaltung der Luft  
und Hanspaul Hagenmaier et al.  
(Universität Tübingen):  
Dioxine: Vorkommen, Bestimmung,  
Bewertung, Entsorgung,  
VDI-Tagung am 22./23.4.86 in Essen,  
Schriftenreihe Band 3,  
VDI-Verlag, Düsseldorf 1986
- [81] Krowke, R.  
(Freie Universität Berlin):  
Toxizität von polychlorierten Dibenzodioxinen (PCDDs) und polychlorierten Dibenzofuranen (PCDFs),  
Seite 132...173 in [80]

- [82] Kirschmer, P. (Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen - LIS, Essen): Entstehung der PCDD/PCDF sowie Vorkommen in der Außenluft von Nordrhein-Westfalen, Seite 5...22 in [80]
- [83] Geyer, Harald J.; I. Scheunert und Friedhelm Korte (Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung - GSF, München): Bioakkumulation von 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin (TCDD) und anderer polychlorierter Dibenzop-dioxine (PCDDs) in aquatischen und terrestrischen Organismen sowie im Menschen, Seite 317...347 in [30]
- [84] Neidhard, H. und M. Herrmann (Umweltbundesamt - UBA, Berlin): Abbau, Persistenz, Transport polychlorierter Dibenzodioxine und Dibenzofurane in der Umwelt, Seite 303...316 in [30]
- [85] Hutzinger, Otto und Heideleore Fiedler (Universität Bayreuth): Entstehung und Vorkommen polychlorierter Dibenzop-Dioxine (PCDDs) und Dibenzofurane (PCDFs), Seite 17...36 in [30]
- [86] Courtney, K. Diane und John A. Moore: Teratology Studies with 2,4,5-Trichlorophenoxyacetic Acid and 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-P-dioxin, Toxicology and Applied Pharmacology 20 (1971), Seite 396...403
- [87] Krowke, R. (Freie Universität Berlin): Teratogenität und Fetotoxizität von PCDDs und PCDFs, Seite 431...442 in [30]
- [88] Neubert, Diether und R. Meister (Freie Universität Berlin): Mutagenic and Carcinogenic Potential and Potency of PCDDs and PCDFs, Seite 443...486 in [30]
- [89] Behörde für Bezirksangelegenheiten, Naturschutz und Umweltgestaltung (BBNU): Internationales Symposium "Deponie Georgswerder", vom 13. bis 15. Juni 1984 in Hamburg, Wortprotokoll, Freie und Hansestadt Hamburg 1984
- [90] Epstein, Samuel: Diskussionsbeiträge in [89]
- [91] Ministerium für Umwelt: Umweltbericht 1987, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe 1987
- [92] Wassermann, Otmar (Universität Kiel): Are there Safe Levels for Dioxin?, Seite 594...599 in [65]
- [93] Bundesgesundheitsamt (BGA) und Umweltbundesamt (UBA), Berlin: Erster Sachstandsbericht und Maßnahmenkatalog nach der fachöffentlichen Expertenanhörung im Anschluß an das Dioxin-Symposium [65] Stand März 1990
- [94] Hilmer, Eckart: Dioxine und Furane, Umwelt - Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure für Immissionsschutz, Abfall, Gewässerschutz 21 (1991), Heft 4, Seite 206...207
- [95] Buck, M. (Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen - LIS, Essen): Begrüßung bei der Dioxin-Tagung des VDI, Seite 1...4 in [80]
- [96] Abel, J. et al. (Universität Düsseldorf): Polychlorierte Dibenzodioxine und polychlorierte Dibenzofurane, Stellungnahme des wissenschaftlichen Beirates der Bundesärztekammer, Deutsches Arzteblatt 83 (1986), Ausgabe B, Heft 4, Seite 192...193
- [97] Verband der Chemischen Industrie (VCI): Dioxin in der Umwelt, VCI-Schriftenreihe Chemie und Fortschritt, Heft 1, Frankfurt/M 1985
- [98] Meerkamp van Embden, Ian (Verband der Chemischen Industrie - VCI): Einführung in das Dioxin-Symposium des VCI, am 22. Oktober 1984 in Frankfurt/M, Seite 5...7 in [97]
- [99] Stephen, T.; D.N. McNelis et al.: Chlorinated Dioxins and Related Compounds - Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium, vom 4. bis 9. Oktober 1987 an der Universität von Nevada in Las Vegas, Pergamon Press, Oxford, New York, ... 1989 = Chemosphere - Chemistry, Biology and Toxicology as Related to Environmental Problems 18 (1989), Heft 1...6, Seite 1...1340

- [100] Hutzinger, Otto und Heide Lore Fiedler (Universität Bayreuth): Sources and Emissions of PCDD/PCDF, Seite 23...32 in [99]
- [101] Choudhary, Gangadhar; Lawrence H. Keith und Christoffer Rappe: Chlorinated Dioxins and Dibenzofurans in the Total Environment - Proceedings of the Symposium held at the 184<sup>th</sup> National Meeting of the American Chemical Society (ACS), vom 12. bis 17. September 1982 in Kansas City (Missouri), Butterworth Publishers, Boston (Massachusetts) 1983
- [102] Choudhary, Gangadhar: Occupational Exposure to Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans: a Perspective, Seit 335...353 in [101]
- [103] Schwenk, Michael: Wie gefährlich ist Dioxin wirklich?, Bild der Wissenschaft 21 (1984), Heft 11, Seite 64...76
- [104] Verein Deutscher Ingenieure - VDI-Kommission Reinhaltung der Luft: Messen von polychlorierten Dibenzo-p-dioxinen (PCDD) und polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF) ... , VDI-Richtlinie 3499 E, Blatt 1...4, Beuth-Vlg., Berlin 1990
- [105] Barniske, L.; Klaus E. Appel et al. (Umweltbundesamt - UBA; Bundesgesundheitsamt - BGA; Berlin): Sachstand Dioxine: Stand November 1984, Bericht 5/85, E.Schmidt-Vlg., Berlin 1985
- [106] Schlatter, Christian (Universität Zürich): Toxische und kanzerogene Wirkungen von TCDD, Seite 149...164 in [14]
- [107] Verein Deutscher Ingenieure - VDI-Kommission Reinhaltung der Luft: Aktuelle Probleme der Luftreinhaltung, Teil I Pseudokrapp, Teil II Dioxine/Furane, Schriftenreihe Band 2, VDI-Verlag, Düsseldorf 1986
- [108] Neubert, Diether und R. Krowke (Freie Universität Berlin): Probleme bei einer toxikologischen Risikoabschätzung von polychlorierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen, Seite 225...263 in [107]
- [109] Neubert, Diether (Freie Universität Berlin): Ergebnisse und Interpretationen reproduktionstoxikologischer Untersuchungen von polychlorierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen, Seite 165...196 in [14]
- [110] Hagenmaier, Hanspaul (Universität Tübingen): Polychlorierte Dibenzodioxine und polychlorierte Dibenzofurane - Bestandsaufnahme und Handlungsbedarf, Seite 939...978 in [78]
- [111] Ballschmiter, Karlheinz (Universität Ulm): Chemie und Vorkommen der Halogenierten Dioxine und Furane, Nachrichten aus Chemie, Technik und Laboratorium 39 (1991), Heft 9, Seite 988...1000
- [112] Günther, Rainer R.: Erhöhter Dioxingehalt in städtischen Böden, Badische Neueste Nachrichten 47, Nr. 18, 23.1.1992
- [113] American Press / Deutsche Presse Agentur (AP/dpa): Bonner Kredithilfen für Modell-Umweltprojekte, Badische Neueste Nachrichten 46, Nr. 262, 12.11.1991
- [114] Schanz, Andreas: Neue Dioxin-Spitzenwerte in Lebensmitteln gemessen, Badische Neueste Nachrichten 46, Nr. 263, 13.11.1991
- [115] Paustenbach, D.J. et al.: Assessing the Potential Human Health Hazards of Dioxin-Contaminated Soil, Seite 178...213 in [21]
- [116] Fawcett, Howard H.: Hazardous and Toxic Materials - Safe Handling and Disposal, 2<sup>nd</sup> Ed., Wiley-Interscience Publishing Comp., New York 1988
- [117] Weizbacher, Ulrich: Neue Datenblätter für gefährliche Arbeitsstoffe nach der Gefahrstoffverordnung, WEKA-Fachvlg., Kissing 1989...91
- [118] Eadon, G. et al. (New York State Department of Health): Comparisons of Chemical and Biological Data on Soot Samples from the Binghamton State Office Building, Albany (New York) 1982

- [119] Eadon, G. et al. (New York State Department of Health): Chemical Data on Air Samples from the Binghamton State Office Building, Memo from Center for Laboratory and Research, 7/7/83 Albany (New York) 1983
- [120] Ministry of the Environment: Scientific Criteria Document for Standard Development: Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins (PCDDs) and Polychlorinated Dibenzofurans (PCDFs), prepared for Intergovernmental Relations and Hazardous Contaminants Coordination Branch, Report Nr. 4-84, Toronto (Ontario) 1985
- [121] Stephen, T.; Otto Hutzinger et al.: Chlorinated Dioxins and Related Compounds - Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Symposium, vom 16. bis 19. September 1985 an der Universität Bayreuth, Pergamon Press, Oxford, New York, ... 1986  $\equiv$  Chemosphere - Chemistry, Biology and Toxicology as Related to Environmental Problems 15 (1986), Heft 9...12, Seite 1079...2132
- [122] Bellin, Judith S. und Donald G. Barnes (US Environmental Protection Agency - EPA, Office of Solid Waste and Emergency Response Office of Pesticides and Toxic Substances): Health Hazard Assessment for Chlorinated Dioxins and Dibenzofurans other than 2,3,7,8-TCDD, Toxicology and Industrial Health 1 (1985), Heft 4, Seite 235...248,  $\equiv$  Seite 1895...1903 in [121] und Interim Procedures for Estimating Risks Associated with Exposures to Mixtures of Chlorinated Dibenzo-p-Dioxins and -Dibenzofurans (CDDs and CDFs) and 1989 Update, Report PB 90-145.756/XAD, EPA-625/3-89/016, US Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, National Technical Information Service (NTIS), Springfield (Virginia) 1989
- [123] State of California, Department of Health Service (CA DHS): Technical Support Document: Report on Chlorinated Dioxins and Dibenzofurans, Part B: Health Effects of Chlorinated Dioxins and Dibenzofurans, Sacramento 1986
- [124] Stephen, T.; Christoffer Rappe et al.: Chlorinated Dioxins and Related Compounds - Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Symposium, vom 21. bis 26. August 1988 an der Universität Umea, Pergamon Press, Oxford, New York, ... 1990  $\equiv$  Chemosphere - Chemistry, Biology and Toxicology as Related to Environmental Problems 19 (1989), Heft 1...6, Seite 1...1018
- [125] Ahlborg, Ulf G.: Nordic Risk Assessment of PCDDs and PCDFs, Seite 603...608 in [124]
- [126] Stephen, T.; Brendan Birmingham; R. Clement et al.: Chlorinated Dioxins and Related Compounds - Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Symposium, vom 17. bis 22. September 1989 im Hilton International Hotel in Toronto (Ontario), Pergamon Press, Oxford, New York, ... 1990  $\equiv$  Chemosphere - Chemistry, Biology and Toxicology as Related to Environmental Problems 20 (1990), Heft 7...12, Seite 729...1979
- [127] Kutz, Frederick W. et al. (US Environmental Protection Agency - EPA, Office of Research and Development): The International Toxicity Equivalency Factor (I-TEF) Method of Risk Assessment for Complex Mixtures of Dioxins and Related Compounds, Seite 751...757 in [126]
- [128] Maisel, Bruce E. und Gary T. Hunt: Background Concentrations of PCDDs/PCDFs in Ambient Air - a Comparison of Toxic Equivalency Factor (TEF) Models, Seite 771...778 in [126]
- [129] Hagenmaier, Hanspaul et al. (Universität Tübingen): Stand der Dioxin-Analytik, Seite 61...90 in [30]
- [130] Neubert, Diether (Freie Universität Berlin): Medizinische Schlußfolgerungen und Vorschläge zur Abschätzung und Verminderung des Risikos einer Exposition gegenüber PCDDs und PCDFs, Seite 665...674 in [30]
- [131] Schlatter, Christian (Universität Zürich): Toxicokinetics and Risk Assessment Seite 517...523 in [65]

- [132] Martin, Andreas:  
Nur wenige Dioxingruppen  
"bioverfügbar",  
Frankfurter Allgemeine Zeitung 46,  
Nr. 263, 12.11.1991
- [133] Olie, K.; J.W.A. Lustenhouwer und Otto Hutzinger (Universität Amsterdam):  
Polychlorinated Dibenzop-Dioxins  
and Related Compounds in Incinerator  
Effluents,  
Seite 227...244 in [25]
- [134] Stephen, T.; Otto Hutzinger et al.:  
Chlorinated Dioxins and Related  
Compounds - Proceedings of the 3<sup>rd</sup>  
International Symposium,  
vom 12. bis 14. Oktober 1982  
an der Universität Salzburg,  
Pergamon Press, Oxford, New York, ...  
1983  $\approx$  Chemosphere - Chemistry,  
Biology and Toxicology as Related  
to Environmental Problems 12 (1983),  
Heft 4/5, Seite 425...790
- [135] Olie, K. et al.  
(Universität Amsterdam):  
Formation and Fate of PCDD and  
PCDF from Combustion Processes,  
Seite 627...636 in [134]
- [136] Tollefson, Linda (US Food and Drug  
Administration - FDA, Washington):  
Human Cancer Associated with 2,3,7,8-  
TCDD Exposure - Implications for Risk  
Assessment,  
Seite 171...201 in [65]
- [137] Cikryt, Peter (Universität Würzburg):  
Dioxine: Wirkungsmechanismen  
und Risiken,  
Nachrichten aus Chemie, Technik  
und Laboratorium 39 (1991),  
Heft 12, Seite 1405...1406
- [138] Lustenhouwer, J.W.A.; K. Olie und Otto  
Hutzinger (Universität Amsterdam):  
Chlorinated Dibenzop-Dioxins and  
Related Compounds in Incinerator  
Effluents,  
Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmen-  
tal Problems 9 (1980), Seite 501...522
- [139] Worthy, Ward:  
Both Incidence, Control of  
Dioxin are Highly Complex,  
Chemical and Engineering News (C&EN)  
61 (1983), Heft 23, Seite 51...56
- [140] Miller, Glenn C. und Richard G. Zepp:  
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-  
dioxin: Environmental Chemistry,  
Seite 82...93 in [21]
- [141] Hagenmaier, Hanspaul et al.  
(Universität Tübingen):  
Abschlußbericht zum Forschungs- und  
Untersuchungsvorhaben "Belastung der  
Umwelt mit Dioxinen",  
Ministerium für Ernährung, Landwirt-  
schaft, Umwelt und Forsten Baden-  
Württemberg, Stuttgart 1987
- [142] Blümich, Mary-Joan:  
PCDD und PCDF bei der Verbrennung  
von kommunalem Abfall,  
Nachrichten aus Chemie, Technik  
und Laboratorium 38 (1990),  
Heft 3, Seite 324...328
- [143] Lange, Michael:  
Minimierung der Dioxin- und Furanemis-  
sionen aus Abfallverbrennungsanlagen,  
Umwelt - Zeitschrift des Vereins  
Deutscher Ingenieure für Immissions-  
schutz, Abfall, Gewässerschutz 21  
(1991), Heft 3, Seite E35...E40
- [144] Heindl, A. und Otto Hutzinger  
(Universität Bayreuth):  
Search for Industrial Sources of  
PCDD/PCDF, I. Approaches in the  
Federal Republic of Germany,  
Seite 2001...2002 in [121]
- [145] Heindl, A. und Otto Hutzinger  
(Universität Bayreuth):  
Suche nach industriellen Quellen der  
PCDD/PCDFs: Chlorierte Kohlenwasser-  
stoffe,  
Seite 235...242 in [30]
- [146] Ballechmitter, Karlheinz  
und M. Swerev (Universität Ulm):  
Reaction Pathways for the Formation  
of Polychlorodibenzodioxins (PCDD)  
and -furans (PCDF) in Combustion  
Processes I,  
Fresenius' Zeitschrift für Analytische  
Chemie 328 (1987), Seite 125...127
- [147] Ballechmitter, Karlheinz et al.  
(Universität Ulm):  
Reaction Pathways for the Formation  
of Polychloro-dibenzodioxins (PCDD)  
and -dibenzofurans (PCDF) in Combustion  
Processes: II. Chlorobenzene and  
Chlorophenols as Precursors in the  
Formation of Polychloro-dibenzodioxins  
and -dibenzofurans in Flame Chemistry,  
Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmen-  
tal Problems 17 (1988), Heft 5,  
Seite 995...1005
- [148] Ballechmitter, Karlheinz et al.  
(Universität Ulm):  
Occurrence and Absence of Polychloro-  
dibenzofurans and Polychlorodibenzo-  
dioxins in Fly Ash from Municipal  
Incinerators,  
Seite 585...594 in [134]

- [149] Marklund, Stellan et al.  
(Universität Umeå):  
Determination of PCDDs and PCDFs in  
Incineration Samples and Pyrolytic  
Products,  
Seite 79...92 in [45]
- [150] Riss, Alarich et al.:  
Comparison of PCDD/PCDF Levels in  
Soil, Grass, Cow's Milk, Human Blood  
and Spruce Needles in an Area of  
PCDD/PCDF Contamination through Emis-  
sions from a Metal Reclamation Plant,  
Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmen-  
tal Problems 21 (1990), Heft 12,  
Seite 1451...1456
- [151] Sandermann, Wilhelm:  
Intermediäre Bildung von Dioxinen  
in der Zellstoffindustrie,  
Naturwissenschaftliche Rundschau 40  
(1987), Heft 7, Seite 253...258
- [152] Swanson, Stephen E. et al.:  
Emissions of PCDDs and PCDFs  
from the Pulp Industry,  
Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmen-  
tal Problems 17 (1988), Heft 4,  
Seite 681...691
- [153] Eckrich, Wolfgang  
(Universität Bochum):  
Untersuchungen der Innenraumluft  
auf PCDD/PCDF in Wohngebäuden,  
Seite 193...202 in [30]
- [154] Jansson, B. und G. Sundström (Swedish  
Environmental Protection Board):  
Formation of Polychlorinated Dibenzo-  
furans (PCDF) During a Fire Accident  
in Capacitors Containing Polychlori-  
nated Biphenyls (PCB),  
Seite 201...208 in [25]
- [155] World Health Organisation (WHO) -  
International Agency for Research on  
Cancer (IARC):  
Polychlorinated Biphenyls and  
Polybrominated Biphenyls,  
IARC-Monographs on the Evaluation of  
the Carcinogenic Risk of Chemicals to  
Humans, Band 18, Lyon 1978
- [156] Pearson, C.R.:  
Halogenated Aromatics,  
Seite 89...116 in "Anthropogenic  
Compounds B" = Band 3 von [50]
- [157] Bühler, F. et al.  
(Universität Zürich):  
PCB-Belastung bei Trafobränden,  
Seite 659...668 in [78]
- [158] Brown, John F. et al.:  
Levels of Bioactive PCDF Congeners in  
PCB Dielectric Fluids from Capacitors  
and Transformers,  
Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmen-  
tal Problems 17 (1988), Heft 9,  
Seite 1697...1702
- [159] Geschefsky, Günter:  
Wie gefährlich sind  
"Clorphen-Unfälle" wirklich?,  
Schadenprisma - Zeitschrift für Schade-  
nenverhütung und Schadenforschung der  
öffentlich-rechtlichen Versicherer  
19 (1990), Heft 4, Seite 74...80
- [160] Sandermann, Wilhelm:  
Polychlorierte aromatische  
Verbindungen als Umweltgifte,  
Die Naturwissenschaften 61 (1974),  
Heft 5, Seite 207...213
- [161] Stephen, T. et al.:  
Chlorinated Dioxins and Related  
Compounds - Proceedings of the 4<sup>th</sup>  
International Symposium,  
vom 16. bis 18. Oktober 1984  
an der Universität Ottawa,  
Pergamon Press, Oxford, New York,...  
= Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmental  
Problems 14 (1985), Heft 6/7,  
Seite 571...989
- [162] Sheffield, Arthur (Environmental  
Protection Service, Ottawa):  
Sources and Releases of PCDD's and  
PCDF's to the Canadian Environment,  
Seite 811...814 in [161]
- [163] Vahrenholt, Fritz  
(Umweltbundesamt - UBA, Berlin):  
Seveso - Informationen über  
eine Umweltkatastrophe,  
Materialien 8/76, Umweltbundesamt,  
Berlin 1976
- [164] Esposito, M.P. et al. (US Environ-  
mental Protection Agency - EPA):  
Dioxins (4 Bände),  
Report PB 82-136.847,  
US Department of Commerce, National  
Technical Information Service (NTIS),  
Springfield (Virginia) 1980,  
EPA-600/2-80/156 + EPA-600/2-80/197,  
US Environmental Protection Agency  
(EPA), Industrial Environmental Re-  
search Laboratory, Office of Research  
and Development, Cincinnati (Ohio)  
1980
- [165] Anonym:  
2,4,5-T erneut zugelassen,  
Europa Chemie 1982, Heft 25, Seite 421



- [166] Knebel, J.:  
Dioxin - rechtliche Regelungen,  
Seite 235...247 in [14]
- [167] Bundesminister des Inneren:  
1. allgemeine Verwaltungsvorschrift  
zum Bundes-Immissionsschutzgesetz  
(Technische Anleitung zur Reinhaltung  
der Luft - TA Luft),  
Gemeinsames Ministerialblatt 37,  
Nr. 7, Seite 95...134, 28.2.1986,  
Berichtigung: GMBL 37, Nr. 11,  
Seite 202, 25.4.1986
- [168] Sander, H.P.:  
Dioxine in rechtlicher Sicht,  
Seite 37...52 in [30]
- [169] Bruder-Pasewald, Roswitha (wit):  
Dioxinmissionen der Industrie  
sollen weiter verringert werden,  
Badische Neueste Nachrichten 46,  
Nr. 200, 29.8.1991
- [170] Stephen, T.; Yoshito Matsuda et al.:  
Chlorinated Dioxins and Related  
Compounds - Proceedings of the 6<sup>th</sup>  
International Symposium 1986,  
Pergamon Press, Oxford, New York,...  
1987  $\equiv$  Chemosphere - Chemistry,  
Biology and Toxicology as Related  
to Environmental Problems 16 (1987),  
Heft 8/9, Seite 1599...2210
- [171] Rappe, Christoffer  
(Universität Umea):  
Overview on Environmental Fate of  
Chlorinated Dioxins and Dibenzofurans:  
Sources, Levels and Isomeric Pattern  
in Various Matrices,  
Seite 1603...1618 in [170]
- [172] Buser, Hans-Rudolf (Eidgenössische  
Forschungsanstalt, Wädenswil):  
Bromierte und gemischt bromiert/  
chlorierte Dibenzodioxine und  
Dibenzofurane,  
Seite 243...256 in [30]
- [173] Weis, H. et al.:  
PCDD/PCDF-Spurenanalytik in der in-  
dustriellen Praxis, Problematik und  
Konzeption der Probenvorbereitung,  
Seite 103...117 in [80]
- [174] Hagenmaier, Hanspaul et al.  
(Universität Tübingen):  
Die Bedeutung katalytischer Effekte  
bei der Bildung und Zerstörung von  
polychlorierten Dibenzodioxinen und  
polychlorierten Dibenzofuranen,  
Seite 557...584 in [30]
- [175] Crummett, Warren B. et al. ("the  
Chlorinated Dioxin Task Force"):  
The Trace Chemistries of Fire -  
a Source of and Routes for the  
Entry of Chlorinated Dioxins into  
the Environment,  
Dow Chemical Company,  
Midland (Michigan) 1978
- [176] Hay, Alastair W.M.:  
Dispute over Dow Chemicals'  
Theory of Dioxin Traces,  
Nature 281 (1979), Heft 5733,  
Seite 619...620
- [177] Bumb, Robert R. et al.  
(Dow Chemical Company, Midland):  
Trace Chemistries of Fire:  
A Source of Chlorinated Dioxins,  
Science 210 (1980), Heft 4468,  
Seite 385...390
- [178] Crummett, Warren B. et al.  
(Dow Chemical Company, Midland):  
Environmental Chlorinated Dioxins from  
Combustion - the Trace Chemistries of  
Fire Hypothesis,  
Seite 253...263 in [25]
- [179] Long, Janice R. und David J. Hanson:  
Dioxin Issue Focuses on Three  
Major Controversies in U.S.,  
Chemical and Engineering News (C&EN)  
61 (1983), Heft 23, Seite 23...36
- [180] Crummett, Warren B.  
und Donald I. Townsend  
(Dow Chemical Company, Midland):  
The Trace Chemistries of Fire  
Hypothesis: Review and Update,  
Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmen-  
tal Problems 13 (1984), Heft 7,  
Seite 777...788
- [181] Nestruck, T.J. und L.L. Lamparski  
(Dow Chemical Company, Midland):  
Assessment of Chlorinated Dibenzo-p-  
Dioxin Formation and Potential Emis-  
sion to the Environment from Wood  
Combustion,  
Seite 617...628 in [134]
- [182] Eklund, Göran und B. Strömberg:  
Detection of Polychlorinated Poly-  
nuclear Aromatics in Flue Gases from  
Coal Combustion and Refuse Incinera-  
tors,  
Seite 657...660 in [134]

- [183] Marklund, Stellan et al.  
(Universität Umeå):  
Emissions of PCDDs and PCDFs in  
Gasoline and Diesel Fueled Cars,  
Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmen-  
tal Problems 20 (1990), Heft 5,  
Seite 553...561
- [184] Deutsche Presse-Agentur (dpa):  
Keine Brom- und Chlorzusätze,  
Badische Neueste Nachrichten 46,  
Nr. 260, 10.11.1991
- [185] American Press (AP):  
Benzin künftig nur  
noch ohne Bromzusatz,  
Badische Neueste Nachrichten 46,  
Nr. 287, 12.12.1991
- [186] Olie, K.; P.L. Vermeulen und Otto  
Hutzinger (Universität Amsterdam):  
Chlorodibenzo-p-dioxins and Chloro-  
dibenzofurans are Trace Components of  
Fly Ash and Flue Gas of some Municip-  
al Incinerators in the Netherlands,  
Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmen-  
tal Problems 6 (1977), Heft 8,  
Seite 455...459
- [187] Götz, Rainer:  
Untersuchungen an Sickerwässern der  
Mülldeponie Georgswerder in Hamburg  
(Auswertung der Analyseergebnisse bis  
einschließlich 1982),  
Müll und Abfall 16 (1984), Heft 12,  
Seite 349...356
- [188] Götz, Rainer:  
Polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD),  
polychlorierte Dibenzofurane (PCDF)  
und andere toxische organische Sub-  
stanzen in Sickerflüssigkeiten der  
Mülldeponie Georgswerder/ Hamburg,  
Vom Wasser 65 (1985), Seite 215...228
- [189] Buser, Hans-Rudolf; Hans-Paul  
Boeshardt und Christoffer Rappe:  
Formation of Polychlorinated Dibenzo-  
furans (PCDF's) from the Pyrolysis of  
PCB's,  
Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmen-  
tal Problems 7 (1978), Heft 1,  
Seite 109...119
- [190] Buser, Hans-Rudolf und  
Christoffer Rappe:  
Formation of Polychlorinated Dibenzo-  
furans (PCDF's) from the Pyrolysis of  
Individual PCB Isomers,  
Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmen-  
tal Problems 8 (1979), Heft 3,  
Seite 157...174
- [191] Lindahl, Roger et al.:  
Formation of Polychlorinated Dibenzo-  
furans and Polychlorinated Dibenzo-p-  
dioxins from the Pyrolysis of Poly-  
chlorinated Diphenyl Ethers,  
Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmen-  
tal Problems 9 (1980), Seite 351...361
- [192] Ruhl, E.:  
PCDD/PCDF-Bildung bei der Verbrennung  
von flüssigen Rückständen,  
Seite 585...594 in [30]
- [193] Nottrodt, Adolf et al.:  
Ursachen und Minderung von PCDD/PCDF-  
Emissionen bei Müllverbrennungsanla-  
gen - Neue Untersuchungsergebnisse,  
Seite 595...634 in [30]
- [194] Buser, Hans-Rudolf (Eidgenössische  
Forschungsanstalt, Wädenswil):  
Formation of Polychlorinated Dibenzo-  
furans (PCDFs) and Dibenzo-p-Dioxins  
(PCDDs) from the Pyrolysis of Chloro-  
benzenes,  
Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmen-  
tal Problems 8 (1979), Heft 6,  
Seite 415...424
- [195] Zoller, W. und Karlheinz Ballschmiter  
(Universität Ulm):  
Formation of Polychlorinated Dibenzo-  
dioxins and Dibenzofurans by Heating  
Chlorophenols and Chlorophenates at  
Various Temperatures,  
Fresenius' Zeitschrift für Analytische  
Chemie 323 (1986), Seite 19...23
- [196] Völlhardt, Frohmüt:  
Maßnahmen bei Sondermüll-Verbrennungs-  
anlagen zur Reduzierung der de-novo-  
Bildung von Dioxinen/Furanen,  
Chemie-Ingenieur-Technik 63 (1991),  
Heft 6, Seite 621...622
- [197] Vogg, Hubert und Ludwig Stieglitz  
(Kernforschungszentrum Karlsruhe):  
Thermal Behaviour of PCDD/PCDF in  
Fly Ash from Municipal Incinerators,  
Seite 1373...1378 in [121]
- [198] Vogg, Hubert et al. (Kernfor-  
schungszentrum Karlsruhe - KfK):  
Recent Findings on the Formation and  
Decomposition of PCDD/PCDF in Municip-  
al Solid Waste Incineration,  
ISWA/WHO/DAKOFA Specialized Seminar on  
"Emission of Trace Organics from Muni-  
cipal Solid Waste Incinerators",  
vom 20. bis 22. Januar 1987  
in Kopenhagen,  
Waste Management and Research - the  
Journal of the International Solid  
Wastes and Public Cleansing Associa-  
tion 5 (1987), Heft 3, Seite 285...294

- [199] Miller, H. et al.:  
Correlation of Incineration Parameters  
for the Destruction of Polychlorinated  
Dibenzo-p-dioxins,  
Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmen-  
tal Problems 18 (1989), Heft 7/8,  
Seite 1485...1494
- [200] Reimann, Dieter O.:  
Multifunktionale, zukunftsorientierte  
Rauchgasreinigungstechniken,  
Umwelt - Zeitschrift des Vereins  
Deutscher Ingenieure für Immissions-  
schutz, Abfall, Gewässerschutz 21  
(1991), Heft 3, Seite E61...E64
- [201] Thoma, Heinz et al.  
(Universität Bayreuth):  
Pyrolyse von Dibenzodioxin, Di-  
benzofuran und 1,2,3,4-Br<sub>4</sub>DD mit  
verschiedenen Chlor-Donoren und  
Katalysatoren,  
Seite 293...298 in [30]
- [202] Hagenmaier, Hanspaul et al.  
(Universität Tübingen):  
Catalytic Effects of Fly Ash from  
Waste Incineration Facilities on the  
Formation and Decomposition of Poly-  
chlorinated Dibenzo-p-Dioxins and  
Polychlorinated Dibenzofurans,  
Environmental Science and Technology  
(ES&T) 21 (1987), Heft 11,  
Seite 1080...1084
- [203] Rotard, Wolfgang  
(Bundesgesundheitsamt - BGA):  
Aktuelles zur Dioxinproblematik -  
Ableitung von Dioxinrichtwerten für  
die Bodensanierung,  
Bundesgesundheitsblatt 34 (1991),  
Heft 4, Seite 155...158
- [204] Beck, Hans et al.  
(Bundesgesundheitsamt - BGA):  
PCDD and PCDF Body Burden from Food  
Intake in the Federal Republic of  
Germany,  
Seite 417...424 in [99]
- [205] Beck, Hans  
(Bundesgesundheitsamt - BGA):  
Schwerflüchtige Organohalogen-  
verbindungen im Menschen,  
Seite 627...657 in [78]
- [206] Rotard, Wolfgang  
(Bundesgesundheitsamt - BGA):  
Risikobewertung von Dioxinen in  
Innenräumen,  
Bundesgesundheitsblatt 33 (1990),  
Heft 3, Seite 104...107
- [207] Anonym:  
Sanierung des Betriebsgeländes der  
ehemaligen Firma Hölzl in Craillsheim-  
Maulach,  
Auer-Mitteilungen, Heft 13 (1991),  
Seite 3...5
- [208] König, W. und A. Hembrock:  
Vorkommen und Transfer persistenter  
chlorierter organischer Schadstoffe  
in Böden, Nutzpflanzen und Nahrung,  
Seite 423...439 in [78]
- [209] Graham, M. et al.:  
Background Human Exposure  
to 2,3,7,8-TCDD,  
Seite 925...928 in [161]
- [210] Geyer, Harald J. et al.  
(Gesellschaft für Strahlen- und  
Umweltforschung - GSF, München):  
Bioconcentration Potential (BCP) of  
2,3,7,8-Tetrachloro-dibenzo-p-dioxin  
(2,3,7,8-TCDD) in Terrestrial Orga-  
nisms including Humans,  
Seite 1495...1502 in [121]
- [211] Hutzinger, Otto  
(Universität Bayreuth):  
Dioxine - Ökochemie, Expositions- und  
Risikoanalyse, Grenzwertermittlung,  
Seite 26...34 in [97]
- [212] Oehme, Michael et al.:  
Presence of Polychlorinated Dibenzo-  
p-Dioxins, Dibenzofurans and Pestici-  
des in Arctic Seal from Spitzbergen,  
Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmen-  
tal Problems 17 (1988), Heft 7,  
Seite 1291...1300
- [213] Oehme, Michael:  
Vorkommen halogener organischer  
Verbindungen in der Atmosphäre und in  
biologischen Proben aus Norwegen und  
der Arktis,  
Seite 411...421 in [78]
- [214] Geyer, Harald J. et al.  
(Gesellschaft für Strahlen- und  
Umweltforschung - GSF, München):  
Bioakkumulation von Organohalogen-  
Verbindungen in Nutztieren am Bei-  
spiel Futter - Kuh - Milch,  
Seite 497...502 in [78]
- [215] Deutsche Gesellschaft für Ernährung:  
Ernährungsbericht 1984,  
Frankfurt/M 1984

- [216] Beck, Hans et al.  
(Bundesgesundheitsamt - BGA):  
PCDDs, PCDFs and Related Contaminants  
in the German Food Supply,  
Vortrag auf dem 11. Internationalen  
Symposium "Chlorinated Dioxins and  
Related Compounds",  
vom 23. bis 25. September 1991  
in Research Triangle Park (North  
Carolina),  
Pergamon Press, Oxford, New York,...  
= Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmental  
Problems im Druck
- [217] Fürst, Peter; Christiane Fürst und  
Wilhelm Groebel (Chemische Landes-  
untersuchungsanstalt von Nordrhein-  
Westfalen, Münster):  
Levels of PCDDs and PCDFs in Food-  
Stuffs from the Federal Republic of  
Germany,  
Seite 787...792 in [126]
- [218] Mathar, Wolfgang  
(Bundesgesundheitsamt - BGA):  
persönliche Mitteilung, 29.11.1991
- [219] Poiger, H. und Christian Schlatter  
(Universität Zürich):  
Pharmacokinetics of  
2,3,7,8-TCDD in Man,  
Seite 1489...1494 in [121]
- [220] Poiger, H. (Universität Zürich):  
Aufnahme, Verteilung, Meta-  
bolismus von PCDDs und PCDFs  
- Vergleich Mensch / Tier,  
Seite 389...397 in [30]
- [221] Keller, Thomas:  
Dioxine, Situationsbericht  
für den Bereich Feuerwehr,  
Brandschutz / Deutsche Feuerwehr-  
Zeitung 45 (1991), Heft 1,  
Seite 18...20
- [222] Reggiani, Giuseppe  
(Hoffmann-LaRoche, Basel):  
Toxicology of TCDD and Related  
Compounds: Observations in Man,  
Seite 463...475 in [134]
- [223] Kimbrough, Renate D.:  
Health Implications of 2,3,7,8-TCDD  
Contamination of Residential Soil,  
Center of Disease Control,  
Atlanta (Georgia) 1984
- [224] Koransky, W. et al.:  
Einige Beispiele der Biokinetik und  
des Metabolismus persistierender  
halogenorganischer Verbindungen,  
Seite 749...761 in [78]
- [225] Reischl, A. et al.  
(Universität Bayreuth):  
Akkumulationskinetik schwerflüchtiger  
atmosphärischer Kohlenwasserstoffe in  
Koniferennadeln,  
Seite 511...523 in [78]
- [226] Nygren, Martin et al.  
(Universität Umeå):  
Identification of 2,3,7,8-substituted  
Polychlorinated Dioxins and Dibenzo-  
furans in Environmental and Human  
Samples,  
Seite 17...34 in [45]
- [227] Beck, Hans et al.  
(Bundesgesundheitsamt - BGA):  
Levels of PCDDs and PCDFs in  
Adipose Tissue of Occupationally  
Exposed Workers,  
Seite 507...516 in [99]
- [228] Schumacher, Adolf:  
Umweltverträgliche Abfallverwertung,  
TÜ - Technische Überwachung 32 (1991),  
Heft 3, Seite 93...94
- [229] Haendle, Rainer:  
Dioxine in Müllverbrennung  
fast komplett beseitigt,  
Badische Neueste Nachrichten 46,  
Nr. 159, 12.7.1991
- [230] Haendle, Rainer (raha):  
"Dioxin-Killer" für  
die Müllverbrennung,  
Badische Neueste Nachrichten 46,  
Nr. 178, 4.8.1991
- [231] Maltry, H. und B. Heinen:  
Umsetzung der 17. BImSchV-Anfor-  
derungen bei einer Sonderabfallver-  
brennungsanlage für klinische Abfälle,  
Energieconsulting Heidelberg 1991
- [232] Vereinigte Elektrizitäts-  
und Bergwerks-AG (VEBA):  
Abfallwirtschaft -  
Fakten und Argumente,  
Düsseldorf 1990
- [233] Bruder-Pasewald, Roswitha (wit):  
Im Müllofen wird "Ozonkiller"  
fast vollständig zerstört,  
Badische Neueste Nachrichten 47,  
Nr. 11, 15.1.1992
- [234] Antkowiak, R.:  
Dioxinfalle schnappt nicht immer zu,  
VDI-Nachrichten 45, Nr.48, 29.11.1991

- [235] Verein Deutscher Ingenieure - VDI-Gesellschaft Energietechnik: Prozessführung und Verfahrenstechnik der Müllverbrennung, Tagung vom 18. bis 19. Juni 1991 in Essen, VDI-Berichte 895, VDI-Verlag, Düsseldorf 1991
- [236] Vogg, Hubert et al. (Kernforschungszentrum Karlsruhe - KfK): Head-end-Techniken zur Dioxinminderung, Seite 193...210 in [235]
- [237] Industrieverband Pflanzenschutz (ips): Wirkstoffe in Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln, physikalisch-chemische und toxikologische Daten, Birtz-Vlg., Offenbach 1982 und Industrieverband Agrar (iva): Wirkstoffe in Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln, physikalisch-chemische und toxikologische Daten, 2. Aufl., Bayerischer Landwirtschafts-Vlg. (BLV), München 1990
- [238] Roth, Lutz und Ursula Weller: Chemie-Brände, ecomed-vlg., Landsberg, München,... 1990
- [239] Soldner, Karl und Gottfried Gollmer: Probleme mit PCB-gefüllten Transformatoren, Elektrizitätswirtschaft / Zeitschrift der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) 81 (1982), Heft 17/18, Seite 573...583
- [240] Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung: Gefährliche Stoffe - polychlorierte Biphenyle (PCB): Hinweise zum Gesundheits- und Gefahrenschutz, 2. Aufl., Schriftenreihe für Arbeitsschutz und Sicherheit, Band 10, München 1985
- [241] Schuppe, Frank (Institut der Feuerwehr): Gefahr bei jedem Einsatz? Dioxine - ein Überblick für die Feuerwehr, Unabhängige Brandschutzzeitschrift (UB) 41 (1991), Heft 2, Seite 10...12 und Heft 3, Seite 34
- [242] Kopp, Axel: Rechtliche Regelungen beim Umgang, beim Inverkehrbringen und bei der Entsorgung von PCB sowie von PCB-haltigen Zubereitungen und Erzeugnissen, Gewerbearchiv - Zeitschrift für Gewerbe- und Wirtschaftsverwaltungsrecht (GewArch) 37 (1991), Heft 4, Seite 128...133
- [243] Wilson, Michael R.: PCB update: The Problem Persists, Fire Command 53 (1986), Heft 1, Seite 33...35
- [244] Rappe, Christoffer et al. (Universität Umea): Polychlorinated Dioxins (PCDDs), Dibenzofurans (PCDFs) and Other Polynuclear Aromatics (PCPNAs) Formed During PCB Fires, Chemica Scripta 20 (1982), Seite 56...61
- [245] Rappe, Christoffer et al. (Universität Umea): Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins, Dibenzofurans and other Polynuclear Aromatics Formed during Incineration and Polychlorinated Biphenyl Fires, Seite 99...124 in [101]
- [246] Schecter, Arnold J. (State University of New York): Contamination of an Office Building in Binghamton (New York) by PCBs, Dioxins, Furans and Biphenylenes after an Electrical Panel and Electrical Transformer Incident, Seite 668...680 in [134]
- [247] Friege, Henning und Roland Nagel: Umweltgift PCB: Wie kommt Hydrauliköl ins Fischfilet? Vlg. Bund Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) Landesverband Baden-Württemberg, BUNDinformation 21, Freiburg 1982
- [248] Weiß, Alfons: Sind Askarele vom Typ der polychlorierten Biphenyle im Brandfall eine Gefahr?, Der Maschinenschaden - Fachzeitschrift für Risiko-Technologie 56 (1983), Heft 1, Seite 9...13
- [249] Cline, James (New York City Fire Department): PCBs: a closer look, Fire Service Today 50 (1983), Heft 6, Seite 26...28
- [250] Keith, Lawrence H.; Christoffer Rappe und Gangadhar Choudhary: Chlorinated Dioxins & Dibenzofurans in the Total Environment II - Proceedings of the Symposium held at the 186<sup>th</sup> National Meeting of the American Chemical Society (ACS), vom 28. August bis 2. September 1983 in Washington (DC), Butterworth Publishers, Boston (Massachusetts) 1985

- [251] Rappe, Christoffer et al.  
(Universität Umeå):  
Composition of Polychlorinated Dibenzofurans (PCDF) Formed in PCB Fires,  
Seite 401...424 in [250]
- [252] Achilles, Ernst  
(Berufsfeuerwehr Frankfurt):  
Brandschutztechnische Risiken mit  
Polychlorierten Biphenylen (PCBs),  
112 - Magazin der Feuerwehr 8 (1983),  
Heft 12, Seite 583...585
- [253] Erickson, Mitchell D. et al.:  
PCDF Formation from PCBs  
under Fire Conditions,  
Seite 855...858 in [161]
- [254] Schechter, Arnold J.  
(State University of New York):  
The Binghamton State Office Building:  
PCB, Dioxin and Dibenzofuran Electrical Transformer Incident: 1981 - 1986,  
Seite 1273...1280 in [121]
- [255] Aresu de Seui, H.  
(Association nationale pour la  
protection contre l'incendie):  
Les PCB et l'incendie,  
Revue Belge du Feu, Heft 89  
(Februar 1988), Dossier Technique  
Nr. 55, Seite 1...22
- [256] Bastian, Jürgen:  
Les transformateurs et l'incendie -  
une nouvelle approche constructive,  
revue générale de sécurité (rgs),  
Heft 78 (November 1988), Seite 40...43
- [257] Rao, Hari V. und David R. Brown:  
House Fire: A Source of Dioxins,  
Fire Technology 27 (1991), Heft 1,  
Seite 82...83
- [258] Lorenz, Helmut und Günther Neumeier  
(Bundesgesundheitsamt - BGA;  
Umweltbundesamt - UBA; Berlin):  
Polychlorierte Biphenyle (PCB),  
BGA-Schriften 4/83,  
MMV Medizin-Vlg., München 1983
- [259] Williams, C.H. et al.:  
Formation of Polychlorinated Dibenzofurans and Other Potentially Toxic  
Chlorinated Pyrolysis Products in PCB  
Fires,  
Seite 457...468 in [250]
- [260] Ackerman, Donald G. et al.:  
Destruction and Disposal of PCBs by  
Thermal and Non-Thermal Methods,  
Pollution Technology Review Nr. 97,  
Noyes Data Corporation,  
Park Ridge (New Jersey) 1983
- [261] Bundesminister des Inneren:  
10. Verordnung zur Durchführung des  
Bundes-Immissionsschutzgesetzes  
(Beschränkung von PCB, PCT und VC),  
Bundesgesetzblatt Teil I,  
Seite 1138, 26.7.1978
- [262] Bundesminister für Umwelt, Natur-  
schutz und Reaktorsicherheit et al.:  
Verordnung zum Verbot von polychlorierten  
Biphenylen, polychlorierten  
Terphenylen und zur Beschränkung von  
Vinylchlorid (PCB-, PCT-, VC-Verbots-  
verordnung),  
Bundesgesetzblatt Teil I,  
Seite 1482...1484, 18.7.1989
- [263] Bundesminister für Umwelt, Natur-  
schutz und Reaktorsicherheit:  
Pentachlorophenolverbots-  
verordnung (PCP-V),  
Bundesgesetzblatt Teil I,  
Seite 2235...2236, 12.12.1989
- [264] Choudhry, Ghulam G.; K. Olie und Otto  
Hutzinger (Universität Amsterdam):  
Mechanisms in the Thermal Formation of  
Chlorinated Compounds Including Poly-  
chlorinated Dibenzop-Dioxins,  
Seite 275...301 in [25]
- [265] Liebman, S.A. et al.:  
Thermal Decomposition of Poly(vinyl  
Chloride) and Chlorinated Poly(vinyl  
Chloride), II. Organic Analysis,  
Journal of Polymer Science, Part A1:  
Polymer Chemistry 9 (1971), Heft 7,  
Seite 1921...1935
- [266] Iida, Takeo et al.:  
Investigations on Poly(vinyl Chloride), I. Evolution of Aromatics on  
Pyrolysis of Poly(vinyl Chloride)  
and its Mechanism,  
Journal of Polymer Science, Polymer  
Chemistry Edition 12 (1974), Heft 4,  
Seite 737...749
- [267] Bröker, G. und B. Schilling:  
Emission polychlorierter Dibenzodioxine und Dibenzofurane aus Kabel-  
abbrennanlagen,  
Aus der Tätigkeit der LIS - Jahres-  
bericht der Landesanstalt für Immis-  
sionsschutz des Landes Nordrhein-  
Westfalen, Band 1986, Seite 17...20
- [268] Rotard, Wolfgang  
(Bundesgesundheitsamt - BGA):  
PCDD/PCDF in Wasser/Sediment  
und Boden,  
Seite 203...218 in [30]

- [269] Marklund, Stellan et al.  
(Universität Umeå):  
Emissions of PCDDs and PCDFs from  
a PVC-Fire in Holmsund, Sweden,  
Seite 1031...1038 in [99]
- [270] Christmann, W. et al.  
(Bundesgesundheitsamt - BGA):  
Combustion of Polyvinylchloride - an  
Important Source for the Formation of  
PCDD/PCDF,  
Seite 387...392 in [124]
- [271] Theisen, Jochen et al.  
(Gesellschaft für Arbeitsplatz-  
und Umweltanalytik - GfA, Münster):  
Determination of PCDFs and PCDDs in  
Fire Accidents and Laboratory Combustion  
Tests Involving PVC-Containing  
Materials,  
Seite 423...428 in [124]
- [272] Funcke, Werner et al.  
(Gesellschaft für Arbeitsplatz-  
und Umweltanalytik - GfA, Münster):  
Entstehung halogener organischer  
Substanzen in Brandfällen,  
Seite 195...208 in [78]
- [273] Bundesgesundheitsamt (BGA):  
Empfehlungen zur Reinigung von  
Gebäuden nach Bränden,  
Bundesgesundheitsblatt 33 (1990),  
Heft 1, Seite 32...34
- [274] Karasek, F.W. et al.:  
GC-MS Study of the Formation of  
PCDD/PCDF from PVC in a Municipal  
Waste Incinerator,  
Journal of Chromatography 270 (1983),  
Seite 227...234
- [275] Martin, Johannes J.E.  
und Michael Zahlten:  
Betriebs- und Inputvariationsversuche  
an einer Müllverbrennungsanlage -  
Ergebnisse und Ausblick,  
Abfallwirtschaftsjournal 1 (1989),  
Heft 5, Seite 41...54 und  
Heft 7/8, Seite 57...59
- [276] Gensch, C.-O. und M. Michel:  
PVC im Gerede -  
PVC in der Diskussion,  
Kunststoffe - Organ deutscher Kunst-  
stoff-Fachverbände 81 (1991), Heft 11,  
Seite 986...987
- [277] Eklund, Göran et al.:  
Phenol and HCl at 550 °C Yield a  
Large Variety of Chlorinated Toxic  
Compounds,  
Nature 320 (1986), Heft 6058,  
Seite 155...156
- [278] Noffz, D. et al. (Badische Anilin- und  
Sodafabrik AG - BASF):  
Untersuchung von Hochpolymeren mittels  
Pyrolyse-Gas-Chromatographie,  
Fresenius' Zeitschrift für Analytische  
Chemie 235 (1968), Seite 121...137
- [279] O'Mara, Michael M.:  
High-Temperature Pyrolysis of Poly-  
(vinylchloride): Gas Chromatographic/  
Mass Spectrometric Analysis of the  
Pyrolysis Products from PVC Resin and  
Plastisols,  
Journal of Polymer Science, Part A1:  
Polymer Chemistry 8 (1970), Heft 7,  
Seite 1887...1899
- [280] Bröker, G. (Landesanstalt für  
Immissionsschutz des Landes Nord-  
rhein-Westfalen - LIS, Essen):  
Maßnahmen zur Verminderung der  
Dioxinmissionen an Müllverbren-  
nungsanlagen,  
Seite 515...540 in [30]
- [281] Hagenmaier, Hanspaul et al.  
(Universität Tübingen):  
Emissionsmessungen von polychlorier-  
ten Dibenzodioxinen und Dibenzofura-  
nen an Abfallverbrennungsanlagen,  
Seite 199...224 in [107]
- [282] Hawley-Fedder, R.A.;  
F.W. Karasek et al.:  
Products Obtained During Combustion of  
Polymers under Simulated Incinerator  
Conditions, III. Polyvinyl Chloride,  
Journal of Chromatography 315 (1984),  
Seite 211...221
- [283] Wilson, David Gordon (Massachusetts  
Institute of Technology - MIT):  
Handbook of Solid Waste Management,  
Van Nostrand Reinhold, New York 1977
- [284] Ahling, Bengt et al. (Swedish Water  
and Air Pollution Research Institute):  
Formation of Chlorinated Hydrocarbons  
During Combustion of Poly(Vinyl Chloride),  
Chemosphere - Chemistry, Biology and  
Toxicology as Related to Environmen-  
tal Problems 7 (1978), Heft 10,  
Seite 799...806
- [285] Funcke, Werner et al.  
(Gesellschaft für Arbeitsplatz-  
und Umweltanalytik - GfA, Münster):  
Polychlorierte Dibenzofurane (PCDF)  
und polychlorierte Dibenzo(p)dioxine  
(PCDD) in Rückständen und Emissionen  
eines Brandes in Anwesenheit von PVC-  
haltigen Materialien,  
Staub - Reinhaltung der Luft 48  
(1988), Heft 10, Seite 393...396

- [286] Wade, Richard L. und John P. Woodyard: Sampling and Decontamination Methods for Buildings Contaminated with Polychlorinated Dibenzodioxins, Seite 369...375 in [21]
- [287] Keinhorst, H.: Rechtliche und administrative Regelungen bezüglich halogener organischer Verbindungen in der Umwelt, Seite 75...93 in [78]
- [288] Buser, Hans-Rudolf: Untersuchungsbericht über die Bildung von polychlorierten Dibenzop-Dioxinen (PCDDs) bei der Pyrolyse von Pentachlorphenol und Pentachlorphenol-Natrium, Eidgenössische Forschungsanstalt, Wädenswil 1982
- [289] Buser, Hans-Rudolf (Eidgenössische Forschungsanstalt, Wädenswil): Polybrominated Dibenzofurans and Dibenzop-Dioxins: Thermal Reaction Products of Polybrominated Diphenyl Ether Flame Retardants, Environmental Science and Technology (ES&T) 20 (1986), Heft 4, Seite 404...408
- [290] Thoma, Heinz et al. (Universität Bayreuth): Polybrominated Dibenzodioxins and -furans from the Pyrolysis of some Flame Retardants, Chemosphere - Chemistry, Biology and Toxicology as Related to Environmental Problems 15 (1986), Heft 5, Seite 649...652
- [291] Thoma, Heinz et al. (Universität Bayreuth): Polybrominated Dibenzofurans (PBDF) and Dibenzodioxins (PBDD) from the Pyrolysis of Neat Brominated Diphenyl-ethers, Biphenyls and Plastic Mixtures of these Compounds, Chemosphere - Chemistry, Biology and Toxicology as Related to Environmental Problems 16 (1987), Heft 1, Seite 277...285
- [292] Thoma, Heinz und Otto Hutzinger (Universität Bayreuth): Pyrolyse und GC/MS-Analyse von Flamm-schutzmitteln im On-Line-Betrieb, Seite 277...286 in [30]
- [293] Scheuplein, Robert J. (US Food and Drug Administration - FDA, Washington): FDA's Risk Assessment, Seite 605...609 in [65]
- [294] Muller, E.F. und D. Halliburton: Canada's Federal Program for the Control of Chlorinated Dioxins and Furans, Seite 743...749 in [126]
- [295] Pöpke, O. et al. (ERGO-Forschungs-gesellschaft mbH, Hamburg): Determination of PCDD/PCDF in whole Blood from Persons Involved in Fire Incidents, Seite 959...966 in [126]
- [296] Harbort, Armin (Berufsfeuerwehr Düsseldorf): persönliche Mitteilung, 14.11.1991
- [297] Rappe, Christoffer et al. (Universität Umea): Occupational Exposure to Polychlorinated Dioxins and Dibenzofurans, Seite 495...513 in [25]
- [298] Weiß, Alfons: Dioxine und Brandschäden, VFDB-Zeitschrift Forschung und Technik im Brandschutz 37 (1988), Heft 3, Seite 122...128
- [299] Délez, Charly (Feuerwehr Martigny): Sprengstoff-Attentat gegen die Aluminium-Fabrik Martigny, Schweizerische Feuerwehr-Zeitung 112 (1986), Heft 1, Seite 11...17
- [300] Rousseau, Michèle (Serétariat d'état à l'Environnement): Les P.C.B. et leurs substituts, Préventique - prévention et gestion du risque, Heft 26 (März/April 1989), Seite 47...53
- [301] Stein, Richard: Askarele als Kühlmittel in Transformatoren und als Dielektrikum in Kondensatoren, Der Maschinenschaden - Fachzeitschrift für Risiko-Technologie 56 (1983), Heft 1, Seite 14...20
- [302] Anonym: Les PCB: Leur élimination en vaut-elle le coût?, Revue Belge du Feu, Heft 89 (Februar 1988), Seite 33...35
- [303] Stein, Richard: Brandschutz für elektrische Anlagen - Teil III, Der Maschinenschaden - Fachzeitschrift für Risiko-Technologie 62 (1989), Heft 1, Seite 15...20



- [304] Anonym (BNN):  
Trafos ohne Dioxinrisiko,  
Badische Neueste Nachrichten 47,  
Nr. 37, 14.2.1992
- [305] Bouissou, François:  
PCB: les successeurs,  
Face au risque - revue du centre national de prévention et de protection,  
Heft 220 (Februar 1986), Seite 43...45
- [306] Theisen, Jochen et al.  
(Gesellschaft für Arbeitsplatz-  
und Umweltanalytik - GfA, Münster):  
Entstehung von polychlorierten Dibenzofuranen (PCDFs) und Dibenzodioxinen (PCDDs) durch Pyrolyse von Ugilec 141,  
Seite 265...276 in [30]
- [307] Schiele-Trauth, Ursula:  
Chemikalien unter der Brüsseler Lupe,  
VDI-Nachrichten 45, Nr. 44, 1.11.1991
- [308] Wagner, Günter:  
Dioxin-Belastung bei Bränden,  
Florian Hessen - Zeitschrift für die Feuerwehren 7 (1990), Heft 3,  
Seite 24...25
- [309] Neubert, Diether  
(Freie Universität Berlin):  
Einige Probleme der Toxizität und biologischen Wirkung schwerflüchtiger Organo-Halogen-Verbindungen,  
Seite 763...769 in [78]
- [310] Theisen, Jochen et al.  
(Gesellschaft für Arbeitsplatz-  
und Umweltanalytik - GfA, Münster):  
persönliche Mitteilung, 6.2.1992
- [311] Garvs, Wolfgang  
(Berufsfeuerwehr Hamburg):  
persönliche Mitteilungen, 5.9.1991
- [312] Mangelkamp, J.:  
"Ultragifte" - eine Herausforderung für die Feuerwehr,  
112 - Magazin der Feuerwehr 15 (1990),  
Heft 10, Seite 533...537 und  
Heft 11, Seite 610...611
- [313] Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie:  
Besondere Schutzmaßnahmen in Laboratorien,  
Merkblatt M 006 6/89,  
Jedermann-Vlg. O.Pfeffer,  
Heidelberg 1989
- [314] Nennecke, Hendrik et al. (ne/HK/rüd):  
Feuerwehr wußte nichts von der Dioxin-Gefahr,  
Hamburger Morgenpost 41,  
Nr. 143, 23.6.1989
- [315] Ballschmiter, Karlheinz  
(Universität Ulm):  
Die Bestimmung der polychlorierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane,  
Nachrichten aus Chemie, Technik und Laboratorium 39 (1991),  
Heft 9, Seite 1003...1007
- [316] Nottrodt, Adolf et al.:  
Emissionen von polychlorierten Dibenzodioxinen und polychlorierten Dibenzofuranen aus Abfallverbrennungsanlagen,  
Müll und Abfall 16 (1984), Heft 11,  
Seite 313...330
- [317] Verband der Sachversicherer (VDS):  
Verband der Sachversicherer e.V. zu den Empfehlungen des Bundesgesundheitsamtes zur Reinigung von Gebäuden nach Bränden,  
Brandschutz / Deutsche Feuerwehr-Zeitung 45 (1991), Heft 1, Seite 20
- [318] Bromley, Joan et al.  
(Hazardous Materials Service, Harwell Laboratories):  
Remedial Measures Following Accidental Release of Dioxin,  
Seite 687...703 in [134]
- [319] Wissenschaftlich-Technischer Dienst der Züricher Stadtpolizei:  
Bericht über die Sanierung nach dem Brand eines mit polychlorierten Biphenylen (PCB) gefüllten Kondensators am 18.1.86 in Binz,  
Zürich 1986
- [320] Kim, Nancy:  
Building Reclamation after Dioxin Contamination by PCB Fires,  
Seite 185...189 in [17]
- [321] Rappe, Christoffer et al.  
(Universität Umeå):  
Assessment of Human Exposure to Polychlorinated Dibenzofurans and Dioxins,  
Environmental Health Perspectives 60 (1985), Seite 303...304
- [322] Exner, Jürgen H. et al.:  
Detoxication of Chlorinated Dioxins,  
Seite 47...56 in [250]

- [323] Engler, M.:  
Entsorgung von dioxin-  
haltigen Abfällen,  
Seite 118...131 in [80]
- [324] Schmidt, R.:  
Emissionsvermeidung schwerflüchtiger  
halogener Kohlenwasserstoffe durch  
Einsatz thermischer Entsorgungsver-  
fahren,  
Seite 859...868 in [78]
- [325] Maës, M.:  
Contre dioxine et PCB:  
La torche à plasma,  
Face au risque - revue du centre na-  
tional de prévention et de protection,  
Heft 254 (Juni/Juli 1989),  
Seite 35...36
- [326] Fortunati, G. Umberto:  
The Seveso Lesson: Advances in  
Reclamation and Disposal Techniques,  
Seite 541...553 in [45]
- [327] Weinberg, ♂:  
PVC - ein umwelt-  
freundlicher Werkstoff,  
Bauen mit Kunststoffen (BmK) (1988),  
Heft 1, Seite 3...7
- [328] Rotard, Wolfgang  
(Bundesgesundheitsamt - BGA):  
persönliche Mitteilung, 13.2.1992
- [329] Cerquiglini Monteriolo, S.;  
Alessandro di Domenico et al.  
(Istituto Superiore di Sanità, Rom):  
2,3,7,8-TCDD Levels and Distribution  
in the Environment at Seveso after the  
ICMESA Accident on July 10<sup>th</sup> 1976,  
Seite 127...136 in [25]
- [330] Wahrendorf, Jürgen (Deutsches Krebs-  
forschungszentrum, Heidelberg):  
Epidemiology and Overview,  
Seite 224...228 in [65]
- [331] Barnes, Donald G. (US Environmental  
Protection Agency - EPA, Science Ad-  
visory Board, Washington):  
TEQ's and EPA's Risk Assessment,  
Seite 536...558 in [65]
- [332] Habermaier, Frank:  
PCB - der Dauerbrenner,  
Brandschutz / Deutsche Feuerwehr-  
Zeitung 41 (1987), Heft 1,  
Seite 17...19