

DIOXIN-BILANZ FÜR HAMBURG

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Inhaltsverzeichnis	i
Tabellenverzeichnis	iv
Abbildungsverzeichnis	vi
Glossar	vii
Zusammenfassung	1
1 Einleitung	10
1.1 Fragestellung	10
1.2 Methodik der Bilanzierung	11
2 Wasser, Sedimente und Abwasser	12
2.1 PCDD/PCDF-Einträge in die Elbe	13
2.2 PCDD/PCDF-Austräge mit der Elbe	13
2.3 PCDD/PCDF-Inventar in Elbe und im Hafen Hamburg	14
2.4 PCDD/PCDF-Inventar in Sedimenten von Elbe und Hafen	14
2.5 PCDD/PCDF-Einträge in den Klärschlamm	14
2.5.1 Belastung des Abwassers aus Haushalten in Hamburg	14
2.5.2 PCDD/PCDF-Eintrag durch Abspülung von Straßen und Hausdächern	16
2.5.3 Andere Eintragspfade in den Klärschlamm	17
2.6 Zusammenfassung der PCDD/PCDF-Frachten und -Inventare	18
3 Boden	19
3.1 Einleitung	19
3.2 Dioxininventare im Boden	19
3.3 Zusammenfassung	21
4 Luft	23
4.1 Einleitung	23
4.2 Übersicht über potentielle Dioxinemittenten	23
4.3 Stationäre Quellen	24
4.3.1 Industrie	24
4.3.2 Andere stationäre Quellen	25
4.3.3 Energieerzeugung	26
4.3.4 Abfallverbrennung	27
4.4 Diffuse Quellen	29
4.4.1 Emissionen aus Verkehr	29
4.4.2 Hausfeuerungsanlagen	30
4.4.3 Emissionen aus dem Abbrennen von Ernterückständen	30
4.4.4 Wohnungsbrände	31
4.5 Dioxininventar in der Luft	31
4.6 Zusammenfassung der Frachten und Inventare	32
4.7 Ausblick	33

	Seite	
5	Landwirtschaft und Tierhaltung	34
5.1	Produkte aus der Landwirtschaft und dem Gartenbau	34
5.1.1	Pflanzliche Nahrungsmittel	34
5.1.2	Tierische Nahrungsmittel	35
5.1.3	PCDD/PCDF-Inventare und Frachten von Tieren	36
5.2	Abfälle aus der Tierhaltung	36
5.3	Verwertung organischer Abfälle in der Landwirtschaft und im Gartenbau	37
5.4	Zusammenfassung der Frachten und Inventare	38
6	Transfer- und Transformationsprozesse	39
6.1	Chemische, physikalische und biologische Voraussetzungen	39
6.1.1	Eintragswege in die Nahrungskette Kuh → Milch → Mensch	39
6.1.2	Verhalten von PCDD/PCDF in der Milchkuh	40
6.2	Transferprozesse von PCDD/PCDF zwischen Wasseroberflächen und der Umgebungsluft	41
6.3	Ausgasung von PCDD/PCDF aus dem Boden in die Luft	41
6.4	Verfrachtung von PCDD/PCDF durch Winderosion	42
6.5	Atmosphärische Deposition in Hamburg	43
6.6	Transferprozesse zwischen der Umgebungsluft und der Vegetation	45
6.7	Photochemische Transformation	47
6.8	Zusammenfassung der Frachten und Potentiale	48
7	Belastung des Menschen	49
7.1	Zusammenfassung der Humanexposition	49
7.2	Einführung	50
7.3	Ernährung allgemein	51
7.4	Exposition durch Umweltkompartimente	52
7.5	Ernährung im Bundesdurchschnitt	53
7.5.1	Milch und Milchprodukte	53
7.5.2	Fleisch und Fleischprodukte	54
7.5.3	Fisch und Fischprodukte	55
7.5.4	Andere Nahrungsmittel	56
7.6	Massen- und Dioxinbilanz des Menschen	57
7.7	PCDD/PCDF-Exposition des Hamburger Erwachsenen im Vergleich	60
7.7.1	Nahrungsaufnahme	60
7.7.2	Weitere Einflußgrößen	64
8	Handels Güter und Produkte	66
9	Verwertung und Entsorgung von Abfällen	69
9.1	Haus- und Sperrmüll und hausmüllähnlicher Gewerbeabfall	70
9.1.1	Berechnung von PCDD/PCDF-Frachten im Hausmüll aus der Müllzusammensetzung	70
9.1.2	PCDD/PCDF im Feinmüll	71
9.1.3	Dioxinfrachten aus der Hausmüllentsorgung	72
9.1.4	Verbrennung von Haus- und Sperrmüll sowie hausmüllähnlichen Abfällen	73

	Seite
9.2 Entsorgung von Sonderabfällen	74
9.2.1 Behandlung, Deponierung und Verbrennung	74
9.2.2 Schlacken und Filterstäube aus der Sonderabfallverbrennung	75
9.2.3 Polychlorierte Biphenyle (PCB)	75
9.3 Abfälle aus industriellen Prozessen	77
9.4 Reststoffe aus der Abwasserreinigung	77
9.5 Wertstoffe	78
9.5.1 Altreifen von Kfz	78
9.5.2 Holz und Altholz	78
9.5.3 Papier und Altpapier	78
9.5.4 Textilien aus der Wertstoffsammlung	79
9.6 Verwertung und Kompostierung von organischen Abfällen	79
9.6.1 Organische Abfälle aus Privathaushalten	79
9.6.2 Organische Abfälle aus Handel, Gewerbe und Industrie	80
9.6.3 Organische Abfälle von Gebietskörperschaften	82
9.7 Abfallwirtschaftliche Planungen mit Einfluß auf die Dioxin-Bilanz	84
9.7.1 Sanierung der AVG-Anlage	84
9.7.2 Sanierung der Hausmüllverbrennungsanlagen (MVA)	85
9.7.3 Klärschlammverbrennung	85
9.7.4 Ausweitung der Kompostierung organischer Abfälle	85
9.7.5 Einfluß der Wertstoffsammlung	86
9.8 Zusammenfassung der Frachten und Potentiale	86
10 Bilanzierung der PCDD/PCDF-Stoffströme in Hamburg	88
10.1 PCDD/PCDF-Inventare in der Umwelt	88
10.2 Bilanzräume der Anthroposphäre	89
10.2.1 Dioxinbilanz der industriellen und gewerblichen Aktivitäten in Hamburg	89
10.2.2 Bilanz der Privathaushalte	91
10.2.3 Bilanzierung der Abfallentsorgung in Hamburg	93
10.2.4 Bilanzierung einer Hamburger Hausmüllverbrennungsanlage	95
10.3 Dioxinbilanz eines Hamburger Haushalts	97
10.4 Abschätzung der aktuellen Dioxinmissionen Hamburgs für das Jahr 1995	99
10.5 Zusammenfassung aller PCDD/PCDF-Frachten und Inventare	104
11 Weiterführende Literatur	111

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Gemessene PCDD/PCDF-Konzentrationen in Haushaltsabwasser und in Altpapier	15
Tabelle 2: Wasserverbrauch und Abschätzung der PCDD/PCDF-Frachten je Einwohner und Tag aus Haushaltsabwässern in Hamburg	15
Tabelle 3: Niederschlagsbedingte PCDD/PCDF-Frachten von verschiedenen bebauten Flächen je Regenereignis in Abhängigkeit von der Regenintensität	16
Tabelle 4: Intensitätsverteilung von Niederschlägen, berechnete Dioxinfrachten im Abfluß und Anteile an der täglichen Dioxinfracht in den Klärschlamm	17
Tabelle 5: PCDD/PCDF-Frachten in Oberflächenwasser, Sediment und kommunalem Abwasser in Hamburg.	18
Tabelle 6: Tabellarische Zusammenstellung der durchschnittlichen PCDD/PCDF-Konzentrationen in Abhängigkeit von der Bodennutzung in Hamburg	20
Tabelle 7: PCDD/PCDF-Inventare in Deponien, Altstandorten und Altablagerungen	21
Tabelle 8: Zusammenstellung der Dioxininventare im Hamburger Boden (ohne Deponien, Altablagerungen und Altstandorte)	22
Tabelle 9: Brennstoffeinsatz der Hamburgischen Elektrizitätswerke (1990)	26
Tabelle 10: Müllmengen und mittlere Emissionswerte für Anlagen, in denen im Jahr 1992 Müll aus Hamburg verbrannt wurde	28
Tabelle 11: Berechnete Verbrauchsmengen für verschiedene Kfz-Typen und resultierende Dioxinfrachten in Hamburg für das Jahr 1992	29
Tabelle 12: Dioxinemissionen in die Luft durch Quellen in Hamburg im Jahr 1992	32
Tabelle 13: Gegenüberstellung der Jahresfrachten aus Quellen mit hohem Dioxinminderungspotential	33
Tabelle 14: PCDD/PCDF im Viehbestand in Hamburg (1990)	35
Tabelle 15: PCDD/PCDF-Fracht der in Hamburg anfallenden Gülle und Exkremete aus der Tierhaltung	36
Tabelle 16: Dioxinfrachten aus Produkten und Reststoffen der Landwirtschaft in Hamburg	38
Tabelle 17: Vergleich der Ausgasungsraten für 2,3,7,8-Cl ₄ DD und Cl ₈ DD mit mittleren Depositionsraten aller PCDD/PCDF-Kongenere	42
Tabelle 18: Flächen mit erhöhten PCDD/PCDF-Konzentrationen	43
Tabelle 19: Depositionsraten von PCDD/PCDF in Hamburg (Jahre 1990-1991)	44

	Seite
Tabelle 20: Flächennutzung, Biomassezuwachs und Jahresfracht der PCDD/PCDF in der Vegetation in Hamburg	46
Tabelle 21: Transferprozesse und Stoffflüsse von PCDD/PCDF in Hamburg im Überblick	48
Tabelle 22: Dioxinaufnahme eines erwachsenen Hamburger Menschen (25- bis 50jährig, 70,7 kg KG) aus Nahrungsmitteln im Vergleich zum Bundesdurchschnitt	63
Tabelle 23: Dioxin-Bilanz für den Transport von Handelsgütern nach Hamburg und aus Hamburg heraus	69
Tabelle 24: Zu behandelnde Abfälle in Hamburg nach stofflicher Verwertung im Jahr 1992	70
Tabelle 25: Zusammensetzung des Hamburger Hausmülls und abgeleitete PCDD/PCDF-Gehalte in einzelnen Müllfraktionen	71
Tabelle 26: Dioxinfrachten aus der Müllentsorgung Hamburgs im Jahr 1992	72
Tabelle 27: Art und Menge der 1992 in Hamburg entsorgten PCB-Abfälle	76
Tabelle 28: Abfallmengen und resultierende Dioxinfrachten aus Abfällen der Metallherstellung	77
Tabelle 29: Anfallende Mengen und Verwertungswege organischer Reststoffe in Hamburg für das Jahr 1992	81
Tabelle 30: PCDD/PCDF-Frachten aus Abfällen in Hamburg für das Jahr 1992	87
Tabelle 31: Massenströme und PCDD/PCDF-Frachten aus den Aktivitäten der Industrie und des Gewerbes in Hamburg für das Bezugsjahr 1992	90
Tabelle 32: Massenströme und PCDD/PCDF-Frachten aus den Aktivitäten der Haushalte für das Bezugsjahr 1992	92
Tabelle 33: Dioxinbilanz der Abfallentsorgung Hamburgs für das Bezugsjahr 1992	94
Tabelle 34: Tägliche Massenströme und Dioxinfrachten für einen Menschen in einem Hamburger Privathaushalt (ohne Energieerzeugung)	98
Tabelle 35: Prognose der PCDD/PCDF-Emissionen aus Hamburger Quellen in die Umgebungsluft für das Jahr 1995	101
Tabelle 36: Zusammenfassung der ermittelten Dioxinfrachten und -inventare in der Freien und Hansestadt Hamburg	104

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Prozentualer Anteil verschiedener Milchprodukte an der PCDD/ PCDF-Gesamtaufnahmerate mit dieser Gruppe	53
Abbildung 2: Prozentualer Anteil verschiedener Fleischprodukte an der PCDD/ PCDF-Gesamtaufnahmerate mit dieser Gruppe	54
Abbildung 3: Prozentualer Anteil verschiedener Meeres- und Süßwasserfische inkl. Fischprodukten an der PCDD/PCDF-Gesamtaufnahmerate mit dieser Gruppe	55
Abbildung 4: Prozentualer Anteil wesentlicher Pfade an der Aufnahme von PCDD/PCDF im Bundesdurchschnitt	56
Abbildung 5: Entwicklung des Körpergewichts mit dem Alter sowie absolute und relative Dioxinaufnahme mit der Nahrung	57
Abbildung 6: Verzehrsmengen verschiedener Lebensmittel in Hamburg, Düsseldorf und München als Abweichung vom Bundesdurchschnitt	60
Abbildung 7: Differenz der verzehrten Fette für Hamburger Frauen und Männer als Abweichung vom Bundesdurchschnitt	61
Abbildung 8: Relative und absolute Differenz der Aufnahme von PCDD/ PCDF aus einzelnen Lebensmittelgruppen durch einen erwachsenen Hamburger Menschen	64
Abbildung 9: Unterschiede im Fettverzehr nach Schulabschluß und ausgewählten Lebensmittelgruppen, relativ zum durchschnittlichen Verzehr	65
Abbildung 10: Stationäre PCDD/PCDF-Inventare in der Umwelt in Hamburg (ohne Altstandorte, Altablagerungen und Deponien)	88
Abbildung 11: PCDD/PCDF-Frachten für das Jahr 1992 aus den Aktivitäten von Industrie und Gewerbe in Hamburg	91
Abbildung 12: PCDD/PCDF-Frachten für das Jahr 1992 aus den Aktivitäten der Haushalte in Hamburg	93
Abbildung 13: PCDD/PCDF-Frachten für das Jahr 1992 aus den Aktivitäten der Abfallentsorgung in Hamburg	95
Abbildung 14: Vergleich der PCDD/PCDF-Emissionen aus Hamburg in die Umgebungsluft für die Jahre 1992 und 1995	102

Glossar

Akkumulation	Anreicherung eines Stoffes in einem Umweltmedium oder einem Organismus auf Grund natürlicher oder vom Menschen verursachter Prozesse
Anthroposphäre	Einflußbereich menschlicher Aktivitäten in Landwirtschaft, Industrie, Handel, Gewerbe, Haushalten und Abfallentsorgung
Biosphäre	Lebensraum der Organismen und Einflußbereich natürlicher Prozesse
Carry over	Unter dem Begriff "Carry over" werden alle Vorgänge zusammengefaßt, die den Übergang von Inhaltsstoffen aus aufgenommenen in ausgeschiedene Substrate beinhalten, z.B. aus Futter in Kuhmilch
Deposition	Eintrag eines Stoffes aus der Luft in ein anderes Umweltmedium
Emission	Austrag eines Stoffes in die Umwelt über die Luft oder andere Umweltmedien
Exposition	Einwirkung eines Stoffes aus einem Umweltmedium auf einen Organismus
FHH	Freie und Hansestadt Hamburg
Fracht	Die Menge eines Stoffes, die sich pro Zeiteinheit durch ein abgegrenztes System hindurchbewegt (= Stoffstrom)
FS	Frischsubstanz
Immission	Einwirkung eines Stoffes aus der Luft auf ein Umweltmedium
Inventar	Stoffvorrat in einem abgegrenzten System oder Umweltmedium zu einem bestimmten Zeitpunkt
KG	Körpergewicht
MVA	Müllverbrennungsanlage
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD	Polychlorierte Dibenzo- <i>p</i> -dioxine
PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
PCP	Pentachlorphenol
Resorption	Aufnahme eines Stoffes in einem Organismus
Stoffstrom	Die Menge eines Stoffes, die sich pro Zeiteinheit durch ein abgegrenztes System hindurchbewegt (= Fracht)
SVA	Sonderabfallverbrennungsanlage
Technosphäre	Vom Menschen geschaffene, nicht natürliche Umgebung

TEF	Toxizitätsäquivalenzfaktor, Gewichtungsfaktor zum relativen Vergleich der Toxizität einzelner PCDD/PCDF; als Bezugsgröße dient das 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo- <i>p</i> -dioxin
BGA-TEQ	Toxizitätsäquivalente nach dem Schema von Bundesgesundheitsamt/Umweltbundesamt. Wird heutzutage praktisch nicht mehr verwendet und ist durch I-TEQ ersetzt worden. In Umweltproben besteht praktisch kein Unterschied zwischen der Berechnung der I-TEQ und der BGA-TEQ. Bei Säugetierproben und Humanproben liegt der BGA-TEQ ca. 50 % unter dem I-TEQ Wert.
I-TEQ	Internationale Toxizitätsäquivalente (engl.: toxicity equivalents) Summenparameter zur Beschreibung der Stoffmenge oder Konzentration aller 2,3,7,8-substituierten PCDD und PCDF
TS	Trockensubstanz = Substanzmasse ohne Wasser

Im Text verwendete Maßeinheiten

BGA-TEQ	Toxizitätsäquivalente durch Berechnung mit Toxizitätsäquivalenzfaktoren nach dem Schema von Bundesgesundheitsamt/Umweltbundesamt (BGA/UBA)		
I-TEQ	Internationale Toxizitätsäquivalente durch Berechnung mit Toxizitätsäquivalenzfaktoren nach NATO/CCMS		
%	Prozent		
s	Sekunde		
h	Stunde		
d	Tag		
a	Jahr (= 8.760 Stunden)		
E	Einwohner		
l	Liter		
m ²	Quadratmeter		
m ³	Kubikmeter		
t	Tonne	1.000.000 g	= 10 ⁶ g
kg	Kilogramm	1.000 g	= 10 ³ g
g	Gramm	1 g	= 10 ⁰ g
mg	Milligramm	0,001 g	= 10 ⁻³ g
µg	Mikrogramm	0,000001 g	= 10 ⁻⁶ g
ng	Nanogramm	0,000000001 g	= 10 ⁻⁹ g
pg	Picogramm	0,000000000001 g	= 10 ⁻¹² g
fg	Femtogramm	0,000000000000001 g	= 10 ⁻¹⁵ g

Zusammenfassung

Der Mensch als Bestandteil seiner Umwelt trägt durch seine vielfältigen Aktivitäten zur Bildung und Verteilung von polychlorierten Dibenzo-*p*-dioxinen und polychlorierten Dibenzofuranen (PCDD/PCDF, "Dioxine") bei. Mit der Dioxin-Bilanz für Hamburg werden die Quellen und Reservoirs (Inventare) der PCDD/PCDF identifiziert und quantifiziert. Die Stoffströme, Inventare und Frachten der PCDD/PCDF werden in der Dioxin-Bilanz erfaßt und abgeschätzt. Im Mittelpunkt der Betrachtungen steht der Mensch, auf den die Stoffströme gerichtet sind.

Die wesentlichen Ergebnisse der Dioxin-Bilanz Hamburg sind nachfolgend zusammengefaßt:

Der Mensch in Hamburg

- 1) Wie alle Bundesbürger nimmt auch ein in Hamburg lebender Mensch PCDD/PCDF zu mehr als 95 % mit den verzehrten Nahrungsmitteln auf. Sie sind überwiegend in tierischen Fetten angereichert.
- 2) Mit täglich 1,69 pg I-TEQ je kg Körpergewicht (KG) für den Erwachsenen im Durchschnitt unterscheidet sich die Dioxinaufnahme der Hamburger Bevölkerung nicht nennenswert vom Bundesdurchschnitt (1,63 pg I-TEQ je kg KG). Individuelle Verzehrsgewohnheiten und soziale Voraussetzungen führen zu erheblich höheren Streubreiten in der Dioxinaufnahme als der Wohnort. Aufgrund von lokalen Ernährungsgewohnheiten ist aber der Beitrag einzelner Nahrungsmittelgruppen (Fisch-, Fleisch-, Milchprodukte) an der Dioxinaufnahme des Durchschnittsbürgers deutlich verschieden: In Hamburg werden im Mittel wesentlich mehr Fisch- und Milchprodukte verzehrt als im Bundesdurchschnitt, dagegen deutlich weniger Fleisch und Fleischprodukte. In Bezug auf die tägliche Dioxinaufnahme kompensieren sich der Mehrverzehr von Fisch und der Minderverzehr von Fleisch.
- 3) Gestillte Säuglinge haben auf ihr Körpergewicht bezogen die höchste relative PCDD/PCDF-Aufnahme. Daraus ist aber nicht abzuleiten, daß auf das Stillen der Säuglinge aus gesundheitlichen Gründen verzichtet werden sollte. Die relative Dioxinaufnahme sinkt bis ungefähr zum 20. Lebensjahr und bleibt dann konstant mit dem für einen Menschen in Hamburg ermittelten Wert von 1,7 pg I-TEQ je kg KG und Tag.
- 4) Einer der wesentlichen Pfade, die von den Quellen der Dioxinmissionen zu den Nahrungsmitteln führen, ist die Verfrachtung über die Luft. Dies geschieht sowohl über die Gasphase als auch mit dem Staub.
- 5) Obwohl nur eine relativ geringe Menge der PCDD/PCDF in der Luft anzutreffen ist (Inventar in Hamburg = 0,04 g I-TEQ), führt ihre Anreicherung aus der Luft in

die Pflanzen und über das Futter in Fleisch und Milch indirekt zur Exposition des Menschen. Mit einer durchschnittlichen Dioxinkonzentration von ca. 50 fg I-TEQ/m³ ist die Hamburger Luft vergleichbar mit anderen Städten in Deutschland. Wegen der generellen Entkoppelung von Produktions- und Verzehrort von Lebensmitteln würden aber selbst lokal höhere Luftkonzentrationen nicht zu höherer Exposition von Bewohnern einer Region über die Nahrungsmittel führen.

- 6) Zu wenig Informationen gibt es zur Dioxinbelastung des Menschen in Innenräumen, sowohl in Hamburg als auch in der Bundesrepublik. Es wird angenommen, daß die Konzentrationen von PCDD/PCDF in Innenräumen im Mittel höher liegen als in der Außenluft (geschätzt 90 statt 50 fg I-TEQ/m³). Für die gesamte Dioxinexposition ist dieser vermutete Unterschied aber nicht relevant.

Der Boden in Hamburg

- 1) Die PCDD/PCDF-Konzentrationen in Hamburger Böden sind ähnlich wie in den Böden anderer Städte Deutschlands. Werte über dem Hamburger Durchschnitt weisen ein stark industriell geprägter Bereich im Hamburger Südosten, Spülflächen aus Elbsedimenten, aber auch frühere natürliche Überschwemmungsflächen (Außendeichflächen) auf. Die Spülflächen beinhalten ein geschätztes Dioxininventar von 1.660 g I-TEQ und die Außendeichflächen ungefähr 960 g I-TEQ. Soweit die Spülflächen nicht durch spätere Auffüllungen, durch Bewuchs oder Versiegelung abgedeckt sind oder feucht gehalten werden, besteht die Möglichkeit von Verwehungen auf benachbarte Flächen sowie von Abtransport des Feinstaubes.
- 2) Der Beitrag der PCDD/PCDF-Belastung des Bodens an der Belastung von pflanzlichen Nahrungsmitteln bzw. Futtermitteln ist wegen der geringen Transferraten Boden → Pflanze sehr klein. Auch durch die Ingestion von Boden mit PCDD/F-Gehalten im üblichen Bereich entsteht keine nennenswerte Belastung des Menschen.

Die Gewässer und Sedimente in Hamburg

- 1) Ursache für die Dioxinbelastung der Sedimentablagerungen ist die Schadstofffracht der Elbe, die Quellen dafür sind aber elbaufwärts zu suchen. Alle Dioxineinträge in die Elbe innerhalb des Stadtgebietes sind im Vergleich zur Fracht der Elbe marginal.
- 2) Zur Aufrechterhaltung der Schiffbarkeit von Elbe und Hafen muß Hamburg jedes Jahr ca. 300.000 t Trockenmasse an Sedimenten ausbaggern. Damit werden jährlich ca. 23 g I-TEQ aus der Elbe und dem Hafen des Stadtgebietes entfernt und auf gesicherten Flächen und Schlickhügeln in der FHH abgelagert.

Ungefähr 47 g I-TEQ werden jährlich mit der Elbe Richtung Nordsee transportiert.

- 3) Die Lagerung von Baggergut der Elbe an Land in Hamburg reduziert die weitere Verteilung der PCDD/PCDF über den Wasserweg erheblich. Damit werden Dioxine an Land deponiert, die nicht aus Hamburg stammen.
- 4) Die Hamburg passierende Dioxinfracht gelangt nach Vermischung und Verdünnung in die Nordsee. Die sehr hohe Akkumulation toxischer Dioxinkongenere in Fischen und anderen Meerestieren bewirkt, daß trotz niedriger Dioxinkonzentrationen im Wasser Fische (insbesondere Heringe) und Fischprodukte mit Dioxinen belastet sind.

Die Luft in Hamburg

- 1) Die Dioxinkonzentrationen in der Hamburger Luft liegen bei ca. 50 fg I-TEQ/m³ und somit im Bereich anderer deutscher Städte. Mit dem Wind werden jedes Jahr ca. 250 g I-TEQ durch Hamburg hindurch transportiert, aber nur ca. 1 % gelangen im Stadtgebiet auf bebaute Flächen, den Boden oder die Vegetation. Die Depositionsrate der PCDD/PCDF beträgt in Hamburg ca. 10 pg I-TEQ je m² und Tag und liegt damit am unteren Rand der für Ballungsgebiete angegebenen Spannbreite.
- 2) Die Dioxinemissionen entstehen bei Aktivitäten der Privathaushalte, von Industrie, Handel und Gewerbe sowie des öffentlichen Sektors in Hamburg. Zusammen mit der bereits vorhandenen Belastung der Güter, Produkte und Abfälle gelangen diese zusätzlich produzierten PCDD/PCDF in alle Umweltkompartimente.
- 3) Die in Hamburg identifizierten Quellen für PCDD/PCDF emittierten im Bezugsjahr 1992 noch ca. 6,5 g I-TEQ. Die berechnete Emissionsfracht von 6,5 g I-TEQ beträgt jedoch nur einen Bruchteil der insgesamt durch Hamburg transportierten Dioxinmengen.
- 4) Die Abfallverbrennung verursachte mit ca. 3,9 g I-TEQ im Jahr 1992 noch die größten Dioxinfrachten in die Luft. Durch die 1995 abgeschlossene Modernisierung der Abfallverbrennungsanlagen in Hamburg wurden diese Emissionen in die Atmosphäre um mehr als 95 % auf unter 0,2 g I-TEQ pro Jahr gesenkt.
- 5) Neben der Abfallverbrennung sind thermische industrielle Prozesse mit 1,4 g I-TEQ (Stand 1992) die größten quantifizierten PCDD/PCDF-Emittenten. Die Dioxinemissionen in die Luft aus der Industrie Hamburgs haben sich von 1992 bis 1995 durch technische Maßnahmen und Umstrukturierung aber ungefähr halbiert.
- 6) Für das Bezugsjahr 1992 ergab sich eine erstaunlich gute Übereinstimmung zwischen der aus bekannten thermischen Emittenten berechneten Dioxin-

menge in die Luft von 6,5 g I-TEQ und der durch atmosphärische Deposition ins Stadtgebiet eingetragenen Stoffmenge von ca. 5,5 g I-TEQ (ca. 2,8 g I-TEQ/a als Staubniederschlag und vermutlich dieselbe Menge durch den gasförmigen Anteil). Durch Dioxinminderungsmaßnahmen an thermischen Anlagen und Umstellung des Kfz-Verkehrs auf bleifreien Kraftstoff bzw. Einbau von Katalysatoren sind die PCDD/PCDF-Emissionen in die Luft Hamburgs im Jahr 1995 mit weniger als 1,5 g I-TEQ/a deutlich geringer als der Eintrag durch Deposition.

Der Warenhandel und die Abfallentsorgung in Hamburg

- 1) Mit den Gütern und Produkten, die der Versorgung Hamburgs dienen und die für die Aktivitäten der Industrie und des Handels erforderlich sind, gelangen größere PCDD/PCDF-Mengen in die Stadt als mit Produkten wieder aus der Stadt exportiert werden. Als Bilanzdifferenz werden 3,4 g I-TEQ geschätzt, die mit den Gütern in Hamburg verbleiben. Dabei sind die Gehalte in Gütern und Produkten niedrig (in der Regel <1 ng I-TEQ/kg); die PCDD/PCDF-Stoffströme im Grammbereich ergeben sich durch die hohen Massenströme.
- 2) Im Hinblick auf das Vorkommen von PCDD/PCDF in Gütern und Produkten kommt der früheren Verwendung von Pentachlorphenol (PCP) herausragende Bedeutung zu. Das in Deutschland bestehende Verbot von Herstellung und Handel wurde in der Europäischen Union zeitweise in Frage gestellt. Das kommerzielle Produkt dieses Fungizids ist herstellungsbedingt mit Dioxinen verunreinigt; eine Vielzahl von Messungen an Holz, Textilien und Lederwaren zeigt eine Korrelation zwischen PCP- und Dioxingehalten. Die PCP-bedingten Frachten sind für die hier durchgeführten Bilanzen entscheidend. Es wird aus einigen Messungen geschlossen, daß die Dioxinkonzentrationen in den genannten Produktgruppen zwischen 1992 und 1994 deutlich abgenommen haben. Wenn das PCP-Verbot nicht aufrecht erhalten werden könnte, dann hätte eine wieder beginnende Verwendung von PCP in importierten Handelsgütern bundesweit und in Hamburg drastische Erhöhungen der Dioxinfracht in einzelnen Gütern, Abfällen und Abwässern zur Folge.
- 3) In den Privathaushalten, im Handel und Gewerbe sowie in der Industrie fallen feste und flüssige Abfälle an. Mehr als 41 % des Hausmülls und der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle werden verbrannt, der Rest auf Deponien abgelagert. Durch die Abfallverbrennung gelangten im Bezugsjahr 1992 noch 3,9 g I-TEQ in die Luft und 29 g I-TEQ wurden durch die Deponierung von Haus- und Geschäftsmüll außerhalb Hamburgs verbracht. Der Anteil der PCDD/PCDF-Frachten in verwertbaren Abfällen des Hausmülls (z.B. Papier, Textilien, Biomüll) ist gering und beträgt weniger als 1 % der gesamten Dioxinfracht aus Haushaltsabfällen.

- 4) Hamburg mußte im Jahr 1992 mit der Deponierung von Abfällen insgesamt auch ungefähr 67 g I-TEQ außerhalb Hamburgs ablagern. Mit Sonderabfällen, die nicht in Hamburg entstehen, aber dort verbrannt werden, und mit PCB-haltigen Abfällen "importiert" Hamburg eine Dioxinfracht von mehr als 10 g I-TEQ. Zusätzlich führt die Ausbaggerung von Elbsedimenten zu einer Ablagerung von 23 g I-TEQ pro Jahr auf Hamburger Flächen. Zwar überwiegt durch die Abfallentsorgung der "Export" von Dioxinen aus Hamburg, jedoch übernimmt die Hansestadt mehr als 34 g I-TEQ aus anderen Regionen. Weitere 3,4 g I-TEQ verbleiben durch den Warenhandel in Hamburg.
- 5) Aus den mit dem Abwasser in die Kläranlagen gelangenden Dioxinen resultiert die PCDD/PCDF-Belastung des Klärschlammes. Das Wäschewaschen in Privathaushalten ist in dieser Hinsicht die größte identifizierte Einzelquelle. Dieser Quelle konnten ca. 30 % (eventuell auch mehr aufgrund der Datenunsicherheit) der Dioxinfracht in das Abwasser und den Klärschlamm zugeordnet werden.
- 6) Die Verbrennung von Klärschlamm, welche in Hamburg derzeit geplant wird, ist nach derzeitiger Kenntnis mit sehr geringen Dioxinmissionen in die Luft verbunden. Bisher gemessene PCDD/PCDF-Gehalte im gereinigten Abgas liegen wesentlich niedriger als die in der 17. BImSchV geforderten 0,1 ng I-TEQ/m³.
- 7) Durch die Verwertung und Kompostierung von organischen Abfällen wurden in Hamburg 1992 insgesamt ca. 700 mg I-TEQ in Umlauf gebracht. Zu ungefähr gleichen Teilen stammte diese Fracht aus Abfällen der Bereiche Industrie/Handel/Gewerbe, den Haushalten und aus dem öffentlichen Sektor. Die organischen Abfälle aus Industrie, Handel und Gewerbe wurden größtenteils außerhalb Hamburgs verwertet; der Rest von 400 mg I-TEQ verblieb in Hamburg. Diese Menge wurde mit dem Kompost zusätzlich in die Böden Hamburgs eingebracht.
- 8) Mit dem Kompost können zwar Dioxine in den Boden eingetragen werden; es bleibt aber festzustellen, daß ein nicht zu vernachlässigender Teil der Dioxine durch gasförmige und staubgebundene Deposition ebenfalls auf den Boden gelangt wäre (ohne den "Umweg" über Pflanzen/Vegetation und Komposterzeugung). Es ist zu erwarten, daß die Kompostbelastungen mit PCDD/PCDF aufgrund abnehmender Emissionen und sinkender Immissionskonzentrationen ebenfalls geringer werden.

Die Altlasten in Hamburg

- 1) In den Altlasten Hamburgs befindet sich mit ca. 378 kg I-TEQ ein sehr großes Dioxininventar. Davon stammen 98 % aus der Produktion von Hexachlorcyclohexan und 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure, aus der Tausende von Tonnen nicht verwertbarer Chemikalienabfälle mit hohen Dioxingehalten auf Deponien und Kippen in Hamburg abgelagert wurden. Die Produktion wurde 1984

eingestellt. Die meisten Altablagerungen sind bereits gesichert, für die verbleibenden - einschließlich des Betriebsgeländes der Fa. Boehringer & Sohn - gibt es Sanierungskonzepte, die zur Zeit umgesetzt werden. Ein Eintrag von PCDD/PCDF in die Umwelt und eine mögliche Exposition des Menschen wird dadurch wirksam unterbunden.

Schlußfolgerungen und Möglichkeiten für Maßnahmen in Hamburg

Dioxinexposition des Menschen

- 1) Die Belastungen der Umweltmedien in Hamburg selbst haben nur einen verschwindend geringen Einfluß auf die Exposition der Bewohner. Mehr als 95 % der Dioxine nimmt der Mensch mit der festen Nahrung auf, die in der Regel nicht am Verzehrort produziert wurde. Dies gilt auch für Hamburg.
- 2) Jede Verringerung des Eintrags von Dioxinen in die Nahrungskette mindert deshalb die mittlere Exposition jedes Menschen. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, daß sowohl die mittlere Belastung der Kuhmilch als auch die Belastung der Muttermilch in Deutschland in den letzten Jahren deutlich gesunken sind. Auch aus Modellrechnungen, die die bekannte Dioxinaufnahme, Daten zur Exkretion und Halbwertszeit sowie Blutfettwerte in Beziehung setzen, läßt sich ableiten, daß die Dioxinbelastung früher wesentlich höher gewesen sein muß als heute.
- 3) Die Dioxinbelastung des Bundesbürgers wird überwiegend durch die PCDD/PCDF-Gehalte in den drei Gruppen:
 - Fisch und Fischprodukte,
 - Milch und Milchprodukte,
 - Fleisch und Fleischprodukteverursacht. Die beiden ersten Gruppen sind in Hamburg von größerer Bedeutung als im Bundesdurchschnitt. Eine Verminderung der Dioxinkonzentrationen in Kuhmilch und in Fischen hat demnach für die Hamburger Bevölkerung die größte Effektivität. Da die in Hamburg verzehrten Lebensmittel nur in Ausnahmefällen auch dort produziert werden, können Einzelmaßnahmen in Hamburg selbst nur ein Baustein innerhalb nationaler und internationaler Anstrengungen sein; z.B. in Bezug auf Luft- und Wasserreinhaltung sowie Nahrungsmittelproduktion.
- 4) Die Möglichkeit einer erhöhten Exposition von Hamburger Selbstversorgern in höher belasteten Gebieten wurde in den letzten Jahren durch Verzehrempfehlungen und Sanierungsmaßnahmen deutlich verringert.
- 5) Die Dioxinfrachten aus Produkten der Landwirtschaft Hamburgs sind gering. Die stichprobenartige Überwachung ausgewählter Lebensmittel auf PCDD/PCDF ist aber aus Gründen des vorsorgenden Gesundheitsschutzes weiterhin

empfehlenswert. PCDD/PCDF-Analysen bei Vorliegen von vermuteten oder bekannten Belastungssituationen sollten auch in Zukunft im Sinne eines Lebensmittelmonitorings weitergeführt werden.

- 6) Zur Dioxinbelastung der Innenraumluft und von Hausstaub sollten orientierende Messungen erfolgen, um Kenntnisse über aktuelle Konzentrationen unter Einbeziehung besonderer Wohnraumsituationen zu erhalten und damit die Relevanz dieses Pfades zum Menschen besser beurteilen zu können.

Luftreinhaltung

- 1) Der Eintrag von Dioxinen in die terrestrische Nahrungskette (durch Deposition und Anreicherung in Futterpflanzen) hängt direkt von den Emissionen in die Atmosphäre und den daraus resultierenden Konzentrationen in der Luft ab. Eine überregionale Verringerung der Emissionen verringert also die Dioxinkonzentrationen im Fleisch ebenso wie in der Kuhmilch.
- 2) In Hamburg sind zwischen 1992 und 1995 bereits die größten bekannten Dioxinemissionsquellen verringert worden. Immissionsmessungen in Hamburg lassen vermuten, daß auch die Dioxinbelastung der Luft zurückgegangen ist. Da der atmosphärische Eintrag von Dioxinen eine wesentliche Quelle der Belastung von Futtermitteln und pflanzlichen Nahrungsmitteln sein kann, sollten die Depositionsmessungen in Hamburg im Sinne eines Referenzprogrammes fortgeführt werden.
- 3) Auf Seiten der Abfallverbrennung sind die Minimierungspotentiale mit den neuen bzw. sanierten Haus- und Sonderabfallverbrennungsanlagen emissionsseitig soweit ausgeschöpft, daß die Abfallverbrennung nicht mehr - wie bis vor wenigen Jahren - der größte Einzelemittent in die Luft ist.
- 4) Die bundesweit zurückgehende Verwendung von bleihaltigen Ottokraftstoffen - der bisherigen Hauptursache für die ermittelten Dioxinemissionen des Kfz-Verkehrs - wird auch für Hamburg zu einer Reduktion der diffusen PCDD/PCDF aus dieser Quelle führen. Minimierungspotentiale gibt es noch bei den industriellen Quellen. Hier sind prozeßbedingt teilweise sehr große Abgasvolumenströme vorhanden, so daß eine Verringerung der Dioxinemissionen technisch allerdings sehr aufwendig ist. Es sollte geprüft werden, ob hier neben den bekannten stationären Quellen auch diffuse Austräge auftreten.
- 5) Schwierigkeiten bezüglich der Quantifizierung der PCDD/PCDF-Emissionen aus dem Hausbrand sind auch durch weitere Abgasmessungen kaum auszuräumen. Für die Dioxinemissionen entscheidende Parameter, wie z.B. Verbrennungsbedingungen, eingesetzte Brennstoffe und die Nutzungsintensität variieren zwischen den Anlagen. Die Untersuchung mehrerer tausend Anlagen ist schon wegen der großen Anzahl nicht möglich.

Bodenschutz

- 1) Die Ausweitung der Kompostierung organischer Abfälle und der Einsatz von Kompost in Hamburg hat bei den derzeitigen Dioxingehalten im Kompost keine Bodenbelastung mit PCDD/PCDF zur Folge, die für Mensch und Umwelt nachteilig sein könnte. Stichprobenartige Dioxinanalysen von Komposten verschiedener Herkunft haben sich bei der Ermittlung von höher belasteten Kompostmieten bewährt und sollten weiterhin durchgeführt werden. Damit kann Bodenbelastungen durch möglicherweise erhöhte Dioxingehalte im Kompost wirksam vorgebeugt werden.
- 2) Dioxine im Boden werden kaum direkt von Pflanzen aufgenommen. Änderungen des Bodendioxingehaltes wirken sich deshalb nicht unmittelbar aus. Unterschiedliche Kongenerenmuster in Boden und Pflanzen zeigen, daß die Anreicherung der flüchtigeren Kongenere aus der Gasphase der Luft von größerer Bedeutung ist. Aus Vorsorgegründen sollte dennoch eine Verwehung von höher belasteten Böden auf geringer belastete Flächen so gering wie möglich gehalten werden, auch im Hinblick auf die mögliche Verteilung belasteten Feinstaubes.

Maßnahmen im Bereich Altlasten, Gewässerschutz und Chemikalienrecht

- 1) Mit der bereits erfolgten bzw. in Vorbereitung befindlichen Sanierung von Altablagerungen mit dioxinhaltigen Abfällen der Hexachlorcyclohexan- und 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäureproduktion werden Einträge in die Umwelt aus diesen Deponien wirksam unterbunden. Das gleiche gilt für die Sanierung des Firmengeländes C.H. Boehringer und Sohn.
- 2) In Hamburg besteht mit den Dioxineinträgen der Elbe eine besondere Situation: Mit dem Feinmaterial, das im Hafensbereich sedimentiert, verbleiben hohe Dioxinfrachten in Hamburg. Die Lagerung des Baggerguts auf gesicherten Flächen an Land verhindert eine weitere Verbreitung der Dioxine und ist daher eine sinnvolle Maßnahme.
- 3) Wegen der großen Dioxinfracht der Elbe von 70 g I-TEQ pro Jahr, d.h mehr als 500fach höher als die jährlichen Emissionen der Hansestadt Hamburg in die Elbe, sollten im Interesse Hamburgs die Dioxinquellen elbaufwärts schnellstmöglich ermittelt und die Emissionen verringert werden.
- 4) Das in Deutschland geltende Verbot für Pentachlorphenol (PCP) sollte in möglichst vielen Gütern überwacht werden, insbesondere in Textilien, Lederwaren und Altholz. Wegen des hohen Gehaltes von PCDD/PCDF im kommerziellen Pentachlorphenol muß davon ausgegangen werden, daß alle hoch mit PCP belasteten Produkte auch relevante Mengen an Dioxinen enthalten können.

Empfehlungen

- 1) Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Exposition des Menschen mit Dioxinen in Lebensmitteln ebenso wie Dioxinkonzentrationen in verschiedenen Umweltmedien und Gütern des täglichen Lebens in Hamburg wie auch in der Bundesrepublik zurückgegangen sind. Potentiale zur Minderung von Emissionen sind in Hamburg weitgehend ausgeschöpft.
- 2) Maßnahmen zur Verringerung der Verfrachtung von Dioxinen aus höher belasteten auf weniger belastete Bereiche werden empfohlen.
- 3) Wesentliche, noch umweltoffene Quellen sind unter den Elbanrainern oberhalb Hamburgs zu suchen und weitmöglichst zu verstopfen.
- 4) Einträge von Dioxinen in die Nordsee sollten erfaßt und verringert werden; tendenziell wird dadurch auch die Dioxinbelastung von Fischen zurückgehen.
- 5) Weiterhin sollten Meßprogramme den Verlauf der Dioxinkonzentrationen in verschiedenen Medien belegen und gegebenenfalls noch bestehende Belastungsschwerpunkte aufzeigen.
- 6) Mit der Dioxin-Bilanz für Hamburg konnte auch der Einfluß von Pentachlorphenol (PCP) auf die Dioxinbelastung verschiedener Produkte und Abfälle dargestellt werden. Umweltpolitisch sollte sich die Hansestadt Hamburg daher für ein umfassendes Verbot von PCP auf europäischer Ebene als ein wirksamer Weg zu Verringerung der Dioxinbelastung einsetzen.

1 EINLEITUNG

1.1 Fragestellung

Zur Problematik der Dioxinbelastung in Hamburg hat die Umweltbehörde Hamburg zahlreiche Untersuchungen durchgeführt und veröffentlicht. Stellvertretend seien hier der Sachstandsbericht "Dioxin- und Furanbelastung der Luft in Hamburg" von 1991 und der Bericht "Untersuchungen zum Transfer von Dioxinen und Furanen" (gemeinsam mit der Behörde für Arbeit, Gesundheit und Soziales) aus dem Jahr 1993 genannt.

Die Umweltbehörde Hamburg beauftragte im Februar 1993 den Lehrstuhl für Ökologische Chemie und Geochemie der Universität Bayreuth und das Ingenieurbüro Trischler und Partner GmbH, Darmstadt, eine Dioxin-Bilanz für die Freie und Hansestadt Hamburg zu erstellen. Die Dioxin-Bilanz für Hamburg sollte wesentlich umfangreicher als die bisherigen Berichte angelegt sein und alle Aspekte zum Stand und den Ursachen der Dioxinbelastung in Hamburg beinhalten. Hierbei sollten nicht nur die verschiedenen Umweltkompartimente betrachtet werden, sondern auch eine Bewertung der Belastung des Hamburger Bürgers mit Dioxinen vorgenommen werden. Nicht zuletzt sollte die Dioxin-Bilanz Hamburg dazu dienen, die Diskussion um Dioxine zu versachlichen.

Mit der nun vorliegenden Studie "Dioxin-Bilanz für Hamburg" wurde eine umfassende Bestandsaufnahme und Bilanzierung der Stoffvorräte und Stoffströme der polychlorierten Dibenzo-*p*-dioxine (PCDD) und Dibenzofurane (PCDF) in Hamburg erstellt. Dies umfaßt sowohl die natürliche Umwelt (Boden, Wasser, Luft, Fauna, Flora) als auch die vom Menschen geschaffene Umwelt mit ihren technischen Prozessen (z.B. Industrie, Abfallentsorgung), den Warenströmen (Handel, Gewerbe) und den Privathaushalten sowie den Menschen selbst.

Die zentralen Fragen, die durch die Dioxin-Bilanz für Hamburg beantwortet werden sollten, sind:

- Wie hoch ist die Belastung der Hamburger Umwelt mit Dioxinen, das heißt die Erfassung der Stoffvorräte (= Inventare) der PCDD/PCDF;
- Welches sind die Quellen der PCDD/PCDF in Hamburg; insbesondere, ob bisher nicht identifizierte Quellen vorhanden sind oder bekannte Quellen bisher unzureichend quantifiziert wurden;
- Welche Mengen (= Frachten) der PCDD/PCDF gelangen aus den einzelnen Quellen und Prozessen in Hamburg jedes Jahr in die Umwelt;
- Wie hoch ist die Belastung der Hamburger Bürger mit Dioxinen und wodurch kommt diese Belastung zustande;

- Unterscheidet sich diese Belastung der Umwelt und des Menschen in Hamburg von anderen Städten oder Regionen in der Bundesrepublik Deutschland und wenn ja, welches sind die Gründe dafür;
- Gibt es Hinweise auf zeitliche Trends oder sind Aussagen über künftige Entwicklungen möglich;
- Welche Maßnahmen sind erforderlich, um die Dioxinbelastung von Mensch und Umwelt in Hamburg zu verringern;
- Besteht auf irgendwelchen Gebieten Erhebungs- oder Handlungsbedarf;
- Können Maßnahmen, falls erforderlich, von Hamburg allein durchgeführt werden oder sind hierzu Initiativen auf nationaler oder europäischer Ebene erforderlich?

1.2 Methodik der Bilanzierung

Das Staatsgebiet der Freien und Hansestadt Hamburg stellte den Bilanzraum für die Untersuchung dar. Mit der Ermittlung der Inventare, der Frachten und der Austauschraten der PCDD/PCDF innerhalb der verschiedenen Kompartimente Hamburgs konnten die Stoffvorräte und Stoffströme der Dioxine, ihre zeitliche Entwicklung und ihr Bezug zu anderen Regionen in Deutschland beschrieben werden.

Die Stoffvorräte in den Umweltkompartimenten wurden - wenn möglich - an Hand von Meßdaten aus Hamburg berechnet. Lagen keine Ergebnisse aus Hamburg vor, so wurden z.B. Konzentrationen aus der Literatur übernommen oder abgeleitet. Wasser und Luft können dabei natürlich nicht als statische Kompartimente betrachtet werden. Mit der Fließrichtung des Wassers bzw. mit dem Wind werden die Dioxine durch Hamburg hindurch transportiert. Dabei muß die Stoffmenge, die nach Hamburg hinein gelangt nicht gleich groß sein, wie diejenige, die Hamburg wieder mit dem Wasser oder der Luft verläßt. In Hamburg werden PCDD/PCDF mit dem Abwasser und den Emissionen in die Luft in die Umwelt eingebracht, gleichzeitig gelangen aber zum Beispiel durch die Ablagerung von Sedimenten oder die atmosphärische Deposition PCDD/PCDF aus anderen Regionen in die Hamburger Umwelt. Es wurden daher sowohl die Inventare als auch die Frachten der PCDD/PCDF bestimmt.

Große Massenströme an Gütern und Produkten zur Befriedigung der industriellen, gewerblichen und privaten Nachfrage gelangen nach Hamburg. Der Warenhandel von Industrie und Gewerbe führt zu einer Ausfuhr von Gütern und Produkten in Regionen außerhalb Hamburgs. Außerdem entstehen bei allen industriellen, gewerblichen und privaten Aktivitäten Abfälle in flüssiger, fester oder gasförmiger Form. Diese Aktivitäten sind kontinuierlich ablaufende Prozesse und wurden durch die Berechnung der PCDD/PCDF-Frachten beschrieben.

Die Dioxin-Bilanz für Hamburg bezieht sich grundsätzlich auf das Jahr 1992, da für spätere Jahre noch nicht alle Daten mit einer vergleichbaren statistischen Vollständigkeit vorlagen. Die Berechnungsmethoden wurden aber so gewählt, daß Aktualisierungen leicht durchgeführt werden können. Dort, wo sich derartige Änderungen bereits ausreichend genau bestimmen ließen, wurden auch Zahlenangaben bis zum Jahr 1995 wiedergegeben.

Die Bilanzierung der Dioxine und Furane innerhalb des komplexen Systems "Mensch und Umwelt in Hamburg" kann niemals vollständig sein. Zu viele Einzelprozesse, nicht ausreichend erforschte Transport- und Transferphänomene der PCDD/PCDF in der Umwelt oder zu geringer Datenumfang erlauben keine lückenlose Darstellung der Dioxinbelastung. Teilweise sind nur grobe Schätzungen möglich. Dennoch ist mit dem vorliegenden Bericht die bisher umfassendste Darstellung der PCDD/PCDF-Inventare und -Frachten einer gesamten Region inklusive der Menschen gelungen. Die Freie und Hansestadt Hamburg verfügt damit über eine Datengrundlage zur Dioxinbelastung ihrer Umwelt und der Menschen in Hamburg, aus der sich konkrete Schlußfolgerungen für künftige Ziele der Umweltpolitik und -planung ableiten lassen.

2 WASSER, SEDIMENTE UND ABWASSER

In der Hansestadt Hamburg sind ca. 8 % der gesamten Fläche entsprechend 61 km² durch Wasserflächen bedeckt. Neben dem Hafen mit ca. 24 km² hat vor allem die Elbe wesentlichen Anteil an den hansestädtischen Wasserflächen.

Die im Wasser enthaltenen PCDD/PCDF sind praktisch ausschließlich an Partikel (Schwebstoffe) gebunden und können mit der Strömung über große Entfernungen transportiert werden. In Bereichen mit geringer Fließgeschwindigkeit, wie z.B. im Hamburger Hafen, werden große Mengen Schwebstoffe sedimentiert.

Für die aquatische Nahrungskette ist die Belastung von Wasser und Sedimenten mit Dioxinen bedeutsam, da die PCDD/PCDF-Belastung von Meerestieren aus der Aufnahme von Sedimentteilchen oder Wasser herrührt.

Die für Hamburg relevanten Eintragspfade der PCDD/PCDF in den Klärschlamm, die Sedimente und das Wasser werden in diesem Abschnitt diskutiert und die Dioxinfrachten berechnet.

2.1 PCDD/PCDF-Einträge in die Elbe

Der Trockenwetterzufluß zu den Kläranlagen in Hamburg beträgt 450.000 bis 500.000 m³/d. Darin sind im Mittel 3,94 mg I-TEQ/d (entspricht 1.438 mg I-TEQ/a) enthalten, von denen mehr als 98 % im Klärschlamm verbleiben. Bei aus der Literatur geschätzten Konzentrationen von 0,12 pg I-TEQ/l liegt die PCDD/PCDF-Fracht aus Schmutzwässern in **Kläranlagen-Ausläufen** Hamburgs in den Vorfluter Elbe somit in der Größenordnung von maximal 22 mg I-TEQ/a.

Der **Niederschlag** gelangt über die abflußwirksamen Flächen in die Kanalisation. Über befestigte und unbefestigte Flächen werden jährlich je 60 mg I-TEQ in die Kanalisation eingetragen. Hiervon verbleiben aus der Mischkanalisation 50 % der Dioxine im Klärschlamm, so daß jährlich 90 mg I-TEQ aus Niederschlägen resultieren.

Die Dioxinfracht, die als **Zufluß mit der Elbe** in das Hamburger Stadtgebiet eingetragen wird, wurde aus der Abflußmenge berechnet und beträgt

70.000 mg I-TEQ/a.

Eine Belastung des Elbwassers durch **Schiffsverkehr** (Direkteinleitung von „häuslichen Abwässern“) verursacht keine nennenswerte zusätzliche Verschmutzung der Elbe.

Bei einem angenommenen Eintrag von jährlich maximal 1.000 t Dieselöl in die Oberflächengewässer Hamburgs kann ein zusätzlicher Eintrag **aus Schiffsdiesel** von

maximal ca. 1-10 mg I-TEQ/a

resultieren. Mögliche weitere Einträge, z.B. durch das Abspritzen von Schiffsdecks, sind vernachlässigbar.

2.2 PCDD/PCDF-Austräge mit der Elbe

Von der jährlich mit der Elbe transportierten Schwebstoffmenge von 907.000 t TS sedimentieren ca. 300.000 t TS/a im Hafen. Zur Erhaltung der Schiffbarkeit werden vor allem im Hamburger Hafen im Mittel die gesamten pro Jahr abgelagerten **Sedimente** ausgebaggert.

Bei einer durchschnittlichen PCDD/PCDF-Konzentration im Baggergut von 75 ng I-TEQ/kg TS ergibt sich derzeit eine jährliche in Hamburg ausgebaggerte und außerhalb der Gewässer abgelagerte Dioxinfracht von

23.000 mg I-TEQ/a.

Die **Dioxinfracht im Abfluß der Elbe** errechnet sich aus der Differenz der Dioxinfracht mit dem Zufluß und der ausgebaggerten Sedimentmenge damit zu

ca. 47.000 mg I-TEQ/a.

2.3 PCDD/PCDF-Inventar in Elbe und im Hafen Hamburg

Das Dioxininventar im Wasser der Elbe und im Hafen ergibt sich aus der Wasserfläche (46 km²), der durchschnittlichen Tiefe (8 m) und einer aus Literaturdaten entnommenen mittleren PCDD/PCDF-Konzentration von 3 pg I-TEQ/l zu

1.100 mg I-TEQ.

2.4 PCDD/PCDF-Inventar in Sedimenten von Elbe und Hafen

Die im Bereich des Hafens und der Elbe verbleibenden Sedimentablagerungen haben eine Dioxinkonzentration von im Mittel 75 ng I-TEQ/kg. Stromabwärts (nach Einmischung mariner Sedimente) werden mittlere Dioxinkonzentrationen von 20 ng I-TEQ/kg angenommen. Das Gesamtinventar der Sedimente der Elbe und des Hafens errechnet sich zu

1.980 g I-TEQ.

2.5 PCDD/PCDF-Einträge in den Klärschlamm

2.5.1 Belastung des Abwassers aus Haushalten in Hamburg

In Hamburg stellt sich die Situation so dar, daß nach der Abwasserreinigung in den beiden großen Klärwerken der Klärschlamm vollständig in die Kläranlage Köhlbrandhöft/Dradenau verbracht und von dort entsorgt wird. Die Bilanzierung der PCDD/PCDF-Frachten im Hamburger Klärschlamm wird im Kapitel 9 ausführlich dargestellt. Dabei wurde bei einem durchschnittlichen PCDD/PCDF-Gehalt des Klärschlammes von 30 ng I-TEQ/kg TS eine jährliche Dioxinmenge von 1.438 mg I-TEQ berechnet.

Häusliche und gewerbliche Abwässer sind aus unterschiedlichen Quellen mit PCDD/PCDF belastet. Über Vorfluter und das Sielsystem gelangt dieses Abwasser in die Kläranlagen und führt zu einer Anreicherung der Dioxine im Klärschlamm. Die Dioxinbelastungen des häuslichen Abwassers (bzw. der darin enthaltenen Feststoffe) haben drei wesentliche Quellen:

- Konsumartikel und Gebrauchsgüter, die PCDD/PCDF als Verunreinigung enthalten und mit dem Gebrauch in die Kanalisation gelangen,
- Haushaltsabwässer aus dem Waschen von Textilien, der Haushaltsreinigung und der Nahrungszubereitung,
- Toilettenabwässer mit Ausscheidungen des Menschen (Fäkalien), Toilettenpapier sowie Bade- und Duschwässer.

Für eine Abschätzung der Dioxinfrachten mit dem häuslichen Abwasser lagen keine Daten aus Hamburg vor. Es wurden daher Literaturdaten verwendet (Tabelle 1).

Tabelle 1: Gemessene PCDD/PCDF-Konzentrationen in Haushaltsabwasser und in Altpapier

PCDD/PCDF-Quelle	Konzentrationsbereich
Waschlaugenabwässer	17-25 pg I-TEQ/l
Duschabwässer	1,8-16 pg I-TEQ/l
Haushaltsabwässer, insgesamt	0,8-13,6 pg I-TEQ/l
Verschiedene Altpapiere	bis 15 ng I-TEQ/kg

Für die Bilanzierung der Hamburger Haushaltsabwässer wurden diese Werte als Grundlage genommen und zusammen mit Verbrauchswerten aus Hamburg und eigenen Schätzungen und Berechnungen ergänzt. Dabei wurde z.B. auch berücksichtigt, daß ein Teil der Wäsche außer Haus in Waschsaloons und Wäschereien gereinigt wird. Es ergaben sich die in Tabelle 2 wiedergegebenen Dioxinfrachten.

Tabelle 2: Wasserverbrauch und Abschätzung der PCDD/PCDF-Frachten je Einwohner und Tag aus Haushaltsabwässern in Hamburg

Abwasserart	Verbrauch in Hamburg l/(E·d)	Fracht pg I-TEQ/(E·d)
Wäsche waschen	25	500
Toilettenspülung	20-50	70
Körperpflege (Duschen, Baden)	20-40	35
Geschirrspülen	4-7	10
Haushaltsreinigung	2-10	5
Toilettenpapier	15 g/(E·d)	75
Abwasser insgesamt	140	695

Aus dieser berechneten mittleren Tagesfracht für einen Hamburger Bürger resultiert für die ganze Stadt mit 1,65 Mio. Einwohnern ein jährlicher PCDD/PCDF-Eintrag in den Klärschlamm von

419 mg I-TEQ.

Der überwiegende Teil der Fracht aus Haushaltsabwässern (>70 %) wird allein durch Waschmaschinenabwässer verursacht; weitere ca. 25 % der Jahresfracht werden durch die Körperpflege und Hygiene in den Klärschlamm eingetragen. Dagegen sind die Beiträge aus anderen Reinigungsabwässern sehr gering (<5 %).

2.5.2 PCDD/PCDF-Eintrag durch Abspülung von Straßen und Hausdächern

Bei einigen Untersuchungen zur Belastung von Klärschlamm mit PCDD/PCDF wurde dem Niederschlagswasser, das zusammen mit dem Schmutz von Dächern und Straßen abfließt, eine unterschiedliche Bedeutung zugemessen. Die Spannweite reicht dabei von unter 4 bis über 20 % der gesamten PCDD/PCDF-Belastung kommunaler Klärschlamme.

In Hamburg fallen pro Jahr ungefähr 700 mm Regen (entspricht 700 l/m²). Ein beträchtlicher Teil des Niederschlags auf die befestigten Flächen gelangt aber nicht bis zur Kläranlage. Durch Verdunstung von Dächern und Straßen und durch Versickerung reduziert sich die sogenannte abflußwirksame Niederschlagsmenge erheblich. Dies wurde in der aus der Literatur entnommenen Berechnungsmethode, die auf Hamburg übertragen wurde, berücksichtigt. Es wurde ebenfalls berücksichtigt, daß nur ein Teil der in der Statistik ausgewiesenen Gebäudeflächen tatsächlich bebaut ist. Da in Hamburg bisher keine Analysen dieses Schmutzwassers durchgeführt wurden, ist eine Übertragung der Daten auf die Verhältnisse in Hamburg natürlich nur beschränkt möglich. Für drei verschiedene Niederschlagsereignisse wurden Berechnungen mit Literaturwerten durchgeführt, auf deren Grundlage die Hochrechnung für ganz Hamburg erfolgte.

Tabelle 3: Niederschlagsbedingte PCDD/PCDF-Frachten von verschiedenen bebauten Flächen je Regenereignis in Abhängigkeit von der Regenintensität

Regenereignisse	Wohnhäuser (48,1 km ²)	Industrie (10,6 km ²)	Straßen (70,2 km ²)	Abfluß- summen
<u>Leichter Regen: 0,3 l/m²</u>				
Konzentration (pg I-TEQ/l)	1,3	1,3	3	
Abgespülte Wassermenge (m ³)	14.430	3.180	21.060	38.670
Fracht pro Regen (µg I-TEQ)	19	4	63	86
<u>Mittlerer Regen: 2 l/m²</u>				
Konzentration (pg I-TEQ/l)	0,8	0,8	2,5	
Abgespülte Wassermenge (m ³)	96.200	21.200	140.400	257.800
Fracht pro Regen (µg I-TEQ)	77	17	351	445
<u>Starker Regen: 4,5 l/m²</u>				
Konzentration (pg I-TEQ/l)	1,7	1,7	7	
Abgespülte Wassermenge (m ³)	216.450	47.700	315.900	580.050
Fracht pro Regen (µg I-TEQ)	368	81	2.211	2.660

Aus der jährlich in den Hamburger Klärschlamm gelangenden Dioxinmenge von 1.438 mg I-TEQ (zur Bilanzierung vgl. Kapitel 9) ergibt sich eine Tagesfracht von 3,94 mg I-TEQ. In der folgenden Tabelle 4 sind die Dioxinfrachten und die Beiträge des Niederschlagswassers an der Tagesfracht in den Klärschlamm an Regentagen dargestellt.

Tabelle 4: Intensitätsverteilung von Niederschlägen, berechnete Dioxinfrachten im Abfluß und Anteile an der täglichen Dioxinfracht in den Klärschlamm

Niederschlagsmenge	0-1 mm	1-2,5 mm	>2,5 mm
Regentage	112	52	9
Relative Häufigkeit der Regentage	65 %	30 %	5 %
Dioxinfracht je Regenereignis	86 µg I-TEQ	445 µg I-TEQ	2.660 µg I-TEQ
Niederschlagsbedingter Anteil an der täglichen Dioxinfracht in den Klärschlamm je Regenereignis	2,2 %	11,3 %	67,5 %

Aus den Angaben dieser Tabelle wurde die jährliche niederschlagsbedingte PCDD/PCDF-Fracht in den Klärschlamm zu

57 mg I-TEQ/a

berechnet und entspricht einem Beitrag von ca. 4 % an der gesamten PCDD/PCDF-Belastung des Hamburger Klärschlammes. Mit der verwendeten Berechnungsmethode ergibt sich, daß das Niederschlagswasser nur von untergeordneter Bedeutung für die Klärschlammbelastung Hamburgs ist.

Eine abschließende Beurteilung ist im Rahmen der Dioxin-Bilanz für Hamburg nicht möglich, da nur experimentelle Untersuchungen weiteren Aufschluß geben können.

2.5.3 Andere Eintragspfade in den Klärschlamm

Als weitere Quellen für die PCDD/PCDF-Belastung des Klärschlammes können Einleiter aus Industrie, Handel und Gewerbe, Krankenhäuser und Landwirtschaft in Betracht kommen. Wie hoch der Beitrag all dieser Quellen zur PCDD/PCDF-Belastung des Klärschlammes tatsächlich ist, kann nicht quantifiziert werden. Es verbleibt nach der Bilanzierung in den vorangegangenen Abschnitten eine Dioxinfracht von

962 mg I-TEQ/a,

die aus anderen als den beschriebenen Quellen stammen könnte. Diese PCDD/PCDF-Jahresfracht der "anderen Quellen" ergibt sich nicht aus einer Hoch-

rechnung, sondern nur aus der Differenz der „fehlenden“ Fracht, die durch das Haushaltsabwasser und Niederschlagswasser nicht erklärt werden kann.

2.6 Zusammenfassung der PCDD/PCDF-Frachten und -Inventare

Die Frachten, die jedes Jahr durch die verschiedenen Hamburger Quellen in die Elbe gelangen, sind in der Tabelle 5 den Frachten gegenübergestellt, die mit der Elbe durch Hamburg hindurchbewegt werden.

Tabelle 5: PCDD/PCDF-Frachten in Oberflächenwasser, Sediment und kommunalem Abwasser in Hamburg.

Eintragspfad	Frachten bzw. Inventare
Ein- und Austräge für Elbe und Hafen	
Zufluß von Elbewasser	70.000 mg I-TEQ/a
Kläranlagenausläufe	22 mg I-TEQ/a
Niederschlagswasser von unbefestigten Flächen	60 mg I-TEQ/a
Direkteinleiter	1-10 mg I-TEQ/a
Abfluß mit Elbewasser	47.000 mg I-TEQ/a
Ausbaggerung von Elbesedimenten	23.000 mg I-TEQ/a
Atmosphärische Deposition *	220 mg I-TEQ/a
Belastung des Klärschlammes	1.438 mg I-TEQ/a
Niederschlagswasser von Dächern und Straßen	57 mg I-TEQ/a
Häusliches Abwasser	419 mg I-TEQ/a
Maximalwert aller anderen Quellen **	962 mg I-TEQ/a
Stationäres Inventar in Elbe und Hafen	1.981.100 mg I-TEQ
Sedimente	1.980.000 mg I-TEQ
Wasser	1.100 mg I-TEQ

* Berechnung siehe Kapitel 6.6; ** durch Differenzbildung berechnet

Die Einleitungen aus Hamburg in die Elbe betragen weniger als 100 mg I-TEQ/a und damit weniger als 0,2 % der Frachten, die mit der Elbe durch Hamburg hindurch transportiert werden. Das stationäre Dioxininventar in den Sedimenten ist auf Grund der hohen Sedimentmassen und der bevorzugten Adsorption der PCDD/PCDF an das Feinmaterial sehr hoch. Der überwiegende Teil dieser Stoffmenge wird mit der Schwebstofffracht nach Hamburg eingetragen, dort sedimentiert und zum Teil ausgebaggert. Durch das Baggergut der Elbe, das auf Hamburger Spülfeldern abgelagert wird, verbleiben große Mengen Dioxine in Hamburg. Die PCDD/PCDF-Entfrachtung der Elbe wird dadurch praktisch vollständig von Hamburg übernommen, während die Quellen dieser Belastung elbaufwärts außerhalb Hamburgs liegen.

Haushaltsabwässer und Schmutzwasser von Straßen und Dächern tragen zusammen zu ca. 33 % der Klärschlammbelastung mit PCDD/PCDF bei. Sowohl bei der Bilanzierung der Haushaltsabwässer als auch beim niederschlagsbedingten Anteil sind erhebliche Unsicherheiten in der Berechnung vorhanden, so daß ihr Anteil am Klärschlammeintrag auch deutlich über 50 % betragen könnte.

3 BODEN

3.1 Einleitung

Für die Fläche Hamburgs wurde eine Bestandsaufnahme der PCDD/PCDF-Gehalte erstellt. Soweit möglich wurden unterschiedliche Flächennutzungen berücksichtigt.

Da flächenhafte PCDD/PCDF-Belastungen von Böden mit Ausnahme lokaler Schwerpunkte auf Depositionen aus der Luft zurückzuführen sind, sind vor allem die unbefestigten Teilflächen relevant. Hier ist auch die Wahrscheinlichkeit am größten, daß Menschen mit erhöhten Dioxinkonzentrationen in Berührung kommen. Ein weiterer wesentlicher PCDD/PCDF-Eintrag erfolgte mit Elbe-bürtigen Dioxinen, vor allem auf den Überschwemmungsflächen (außendeichs) und durch die Sedimentauffüllungen aus früheren Jahren (Spülfelder und Hafenschlickablagerungen). Baggergut wird derzeit unter weitgehender Minimierung von Emissionen in gesicherten und gesicherten Lagerstätten im Stadtgebiet abgelagert. Ein weiteres Inventar ist durch Deponien, Altablagerungen und Altstandorte sowie Unterbaumaterialien von Straßen und Sportplätzen gegeben. In der Regel sind die darin enthaltenen Dioxine jedoch nicht für Mensch oder Umwelt verfügbar. Die Anteile der einzelnen Flächen am Dioxininventar werden im folgenden erläutert.

3.2 Dioxininventare im Boden

Zur Abschätzung der in den verschiedenen Flächen vorhandenen Stoffmengen der PCDD/PCDF wurden die Medianwerte der Analysen aus Hamburg herangezogen. Für einige Flächen (z.B. Waldstandorte) liegen keine Untersuchungen aus Hamburg vor, so daß in diesen Fällen auf Werte aus der Literatur zurückgegriffen wurde.

Die dioxinrelevante Tiefe ergibt sich aus der Nutzung der Böden und erfolgte in Anlehnung an andere Bodenuntersuchungen. Die Tabelle 6 faßt die zur Berechnung der PCDD/PCDF-Inventare erforderlichen Angaben zusammen.

Im Falle der Deponien, Altablagerungen und Altstandorte wurden die Dioxinvorräte aus Bodenuntersuchungen und Analysen der Abfälle abgeleitet. Die sich ergebenden Inventare sind in der Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 6: Tabellarische Zusammenstellung der durchschnittlichen PCDD/PCDF-Konzentrationen in Abhängigkeit von der Bodennutzung in Hamburg

Einheit	PCDD/PCDF-Konzentration (ng I-TEQ/kg)	Relevante Tiefe (m)	Standardrohddichte (kg/m ³)
Unbefestigte Flächen			
Wiesen / Grünland (Innendeich)	10	0,1	1.100
Äcker (Innendeich)	10	0,3	1.400
Kleingärten / Gärten	15	0,2	1.400
Wald, Streu	20	0,05	300
Wald, humoser Oberboden	10	0,1	1.100
Grünanlagen, Stadtparks, Friedhöfe	10	0,1	1.100
Sportplätze / Oberboden	10	0,1	1.100
Sportplätze / Tennenfläche	6	0,1	1.600
Kinderspielplätze	10	0,1	1.100
Naturschutzgebiete	5	0,1	1.100
Industriestandorte, Nahbereich	60	0,1	1.400
Industriestandorte, Restfläche	20	0,1	1.400
Unversiegelte Flächen an Straßen	10	0,1	1.100
Sonstige Flächen	5	0,2	1.400
Sedimentablagerungen			
Wiesen / Grünland (Außendeich)	130	0,5	1.300
Äcker (Außendeich)	130	0,5	1.400
Spülfelder/Sedimentauffüllungen, Sand	5	4,5	1.400
Spülfelder/Sedimentauffüllungen, Schlick	150	0,7	1.400
Bille-Siedlung, Nordwest	900	0,8	1.800
Bille-Siedlung, Mitte	200	0,8	1.800
Bille-Siedlung, Südost	vernachlässigbar wegen Sanierung		
Wege- und Sportplatzunterbauten			
Sportplätze	19	0,3	1.800
Straßenunterbau	5	0,2	1.800
Straßenunterbau, Schlackenanteil	19	0,2	1.800

Tabelle 7: PCDD/PCDF-Inventare in Deponien, Altstandorten und Altablagerungen

Standort	PCDD-PCDF-Inventar (g I-TEQ)
Boehringer-Gelände	6.000
Moorfleeter Brack	1.400
Deponie Georgswerder	270.000
Müggenburger Straße	100.000
Kippe Brümmer	360
Ochsenwerder Landscheideweg	saniert
Deponie Neuhöfer Straße	auf vorliegender Datenbasis nicht beurteilbar

Das zusätzlich in Deponien, Altablagerungen und Altstandorten vorhandene Dioxininventar kann anhand überschlägiger Schätzungen für die meist bereits gesicherten Flächen mit mindestens 378 kg I-TEQ beziffert werden. Diese Mengen stammen fast ausschließlich aus der früheren Produktion von technischem Hexachlorcyclohexan und 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure der Firma Boehringer in Moorfleet.

3.3 Zusammenfassung

Eine Zusammenstellung der ermittelten Daten findet sich in Tabelle 8. Als Summe erhält man für das Dioxininventar Hamburgs in den oberen Bodenschichten ca. 1,4 kg I-TEQ. Zusätzlich sind die Dioxinbelastungen der Außendeichflächen mit ca. 1,0 kg I-TEQ zu berücksichtigen. Ursache dafür ist die langjährige Kontamination der Elbe flussaufwärts aus verschiedenen industriellen und thermischen Prozessen, die zu höher belasteten Ablagerungen bei Überschwemmungen führte. Weitere 1,9 kg I-TEQ sind ebenfalls den Belastungen der Elbschwebstoffe und ihrer Ablagerung zuzuschreiben; sie finden sich in den Spülfeldern und Sedimentauffüllungen.

Tabelle 8: Zusammenstellung der Dioxininventare im Hamburger Boden (ohne Deponien, Altablagerungen und Altstandorte)

Einheit	Fläche (km ²)	Inventar (g I-TEQ)
Gesamtfläche Hamburgs (ohne Wasser)	695	4.340
davon:		
Unbefestigte Flächen	631	1.350
<i>Landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Flächen</i>	200	690
Wiesen / Grünland (Innendeich)	50	60
Äcker (Innendeich)	101	420
Kleingärten / Gärten	49	210
<i>Erholungsflächen inkl. Wald</i>	123	140
Wald	43	60
Grünanlagen, Stadtparks, Friedhöfe	58	65
Sportplätze / Oberboden	4	4
Kinderspielplätze	3	3
Naturschutzgebiete	15	8
<i>Emittentenbeeinflusste Gebiete</i>	69	190
Industriestandorte	60	180
Unversiegelte Flächen an Straßen	9	10
<i>Sonstige Flächen</i>	239	330
Sedimentablagerungen	31	2.830
<i>Außendeichflächen</i>	11	960
Wiesen / Grünland (Außendeich)	9	760
Äcker (Außendeich)	2	200
<i>Spülfelder/Sedimentauffüllungen</i>	20	1.660
<i>Bille-Siedlung</i>	0,3	210
Wege- und Sportplatzunterbauten	33	160
Sportplätze	2	20
Straßen	33	140

4 LUFT

4.1 Einleitung

Die Dioxinbelastung der Umgebungsluft ist das Ergebnis aktueller Emissionen aus thermischen Emittenten sowie Ein- und Austrägen durch Ferntransport. In diesem Abschnitt werden die in Hamburg vorhandenen potentiellen Dioxinquellen aufgeführt und quantifiziert. Dabei wurden sowohl die industriellen als auch die privaten Quellen sowie diejenigen aus der Abfallentsorgung Hamburgs betrachtet.

Die gegenwärtige Abschätzung bezieht sich auf das Jahr 1992 und nimmt - wenn immer möglich - Bezug auf die Hochrechnungen im Sachstandsbericht 1990/91 der Umweltbehörde Hamburg. Trends und Entwicklungen der PCDD/PCDF-Emissionen aus Hamburger Quellen werden am Ende dieses Kapitels aufgezeigt.

4.2 Übersicht über potentielle Dioxinemittenten

In den Bereich der stationären Quellen fallen Emissionen aus Industrie und Gewerbe, wie die **metallurgische Industrie** mit

- Kupferindustrie (Norddeutsche Affinerie, NA),
- Aluminiumindustrie (Hamburger-Aluminium-Werke, HAW),
- Eisen- und Stahlindustrie (Hamburger Stahlwerke, HSW)

die **Petrochemie**,

die **Energieerzeugung** mit

- Kraftwerken auf Basis fossiler Brennstoffe,
- Gewerblichen Holzfeuerungsanlagen,

und die **Abfallverbrennung** mit

- Hausmüllverbrennungsanlagen (MVA I bzw. MVB und MVA II),
- Sonderabfallverbrennungsanlage (AVG).

Weitere Quellen besitzt Hamburg in Form von

- Räuchereien,
- Krematorien.

Zu den **diffusen Quellen** zählen

- Verkehr,
- Hausbrand,
- Verbrennen von Ernterückständen,
- Wohnungsbrände.

4.3 Stationäre Quellen

4.3.1 Industrie

In unsere Berechnungen für die Luftbelastung aus Industrie und Gewerbe der Dioxin-Bilanz Hamburgs geht seitens der **Kupferindustrie (Norddeutsche Affinerie, NA)** für den Gesamtbetrieb der Wert von

1.200 mg I-TEQ/a

aus der Emissionserklärung für 1992 ein. Dieser für 1992 genannte Wert ist sehr gut vergleichbar mit der im Sachstandsbericht 1990/91 genannten Fracht von 1.437 mg BGA-TEQ/a (Auswirkungen emissionsmindernder Maßnahmen, siehe Abschnitt 4.7).

Seitens der **Hamburger-Aluminium-Werke (HAW)** liegen PCDD/PCDF- Meßergebnisse für Prozeßgas und Haubenluft vom November 1991 aus der Gießerei vor. Bei einem Volumenstrom von durchschnittlich 23.000 m³/h und einer Reingaskonzentration von 0,016 ng I-TEQ/m³ im Prozeßgas der Gießerei und insgesamt 8.760 Betriebsstunden/Jahr ergibt sich eine Jahresfracht von 3,2 mg I-TEQ. Hinzu kommt eine Jahresfracht von 0,12 mg I-TEQ aus dem Beitrag der gereinigten Haubenluft (Abgasmessung = 0,0006 ng I-TEQ/m³, bei einem Massenstrom von 0,014 µg I-TEQ/h).

Die Emissionen aus der Anodenfabrik der HAW wurden abgeschätzt mit Meßwerten einer vergleichbaren Anlage aus Nordrhein-Westfalen (0,5 µg I-TEQ/h bei einer PCDD/PCDF-Konzentration von 0,002 ng I-TEQ/m³ Reingas). Mit 8.760 Betriebsstunden/a würden somit weitere 4,4 mg I-TEQ freigesetzt. Die gesamten PCDD/PCDF-Emissionen der HAW belaufen sich somit für das Jahr 1992 auf

ca. 8 mg I-TEQ/a.

Anzumerken ist, daß die HAW keine Sekundärverhüttung von Aluminium betreiben und somit nicht in die Kategorie der Aluminiumhütten fallen, bei denen in Nordrhein-Westfalen Emissionen bis zu 10 ng I-TEQ/m³ gemessen wurden.

Die **Hamburger Stahlwerke (HSW)** betreiben eine Direktreduktionsanlage mit Elektrostahlwerk, Stranggußanlage und Walzwerk. Da keine PCDD/PCDF-Messungen für das Walzwerk und die mit Erdgas betriebene Direktreduktionsanlage aus Hamburg vorliegen, wird für beide eine Abgaskonzentration von 0,01 ng I-TEQ/m³ - wie bei anderen Werken gemessen - angenommen. Bei 30.000 m³ Abgas/h und einer jährlichen Betriebszeit von 6.500 h für das Walzwerk geht eine Jahresfracht von 1,95 mg I-TEQ in die Dioxinbilanz ein. Für die Direktreduktionsanlage (200.000 m³/h und 7.000 Betriebstunden/a) errechnet sich eine Fracht von 14 mg I-TEQ/a. Nach Abschätzungen aus einem gemeinsamen Forschungsprojekt von Umweltbundesamt

und den HSW kommen aus dem Elektrostahlwerk zusätzlich 150 mg I-TEQ/a hinzu. Für die Bilanzierung ergibt sich somit, daß von den Hamburger Stahlwerken eine Menge von (aufgerundet)

166 mg I-TEQ/a

in die Luft abgegeben wird.

Das Dioxinbildungspotential in der **Petrochemie** wird als sehr gering eingeschätzt. In Laborversuchen ist zwar bei der katalytischen Raffinierung von Erdöl eine geringe Wahrscheinlichkeit zur Bildung von PCDD/PCDF gefunden worden, in festen und flüssigen Proben aus unterschiedlichen Prozeßschritten (Destillation, Hydrierung, Entschwefelung, Crackprozeß, Alkylierung und Bitumeneinheit) einer Raffinerie in Karlsruhe konnten jedoch keine PCDD/PCDF nachgewiesen werden. Da der Volumenstrom der in Hamburg betriebenen Anlage vergleichsweise gering ist (100 m³/h), ist die Relevanz für die vorliegende Bilanzierung als gering einzustufen. Eine "worst-case"-Annahme (0,01 ng I-TEQ/m³ im Abgas bei einem Volumenstrom von 870.000 m³/a) führt zu einer maximalen Fracht von

0,009 mg I-TEQ/a.

Keine Erkenntnisse zum Auftreten von PCDD/PCDF-Emissionen liegen für den einen Hamburger Betrieb der **Gummi- und Kunstharzherstellung** vor.

4.3.2 Andere stationäre Quellen

Zu den gewerblichen Emittenten zählen auch die **Räuchereien**. Abgasmessungen, die an den verschiedenen Hamburger Heiß- und Kalträuchereien durchgeführt wurden, ergaben keine nachweisbaren PCDD/PCDF-Konzentrationen. Für die Dioxin-Bilanz Hamburg wurde angenommen, daß die 15 Betriebe jeweils drei Räucheröfen besitzen. Bei Volumenströmen von ca. 2.000 m³/h, maximal 10 pg I-TEQ/m³ und einer Betriebsdauer von 24 Stunden pro Tag errechnet sich eine Gesamtemission von rund

8 mg I-TEQ/a.

In Hamburg gibt es zwei **Krematorien** (Öjendorf, Ohlsdorf), die 1992 ca. 16.000 Einäscherungen vornahmen. Aufgrund der dort durchgeführten Sanierungsmaßnahmen zur Dioxinminderung ist anzunehmen, daß sich die Emissionen bei 0,1-0,5 ng I-TEQ/m³ bewegen. Bei einem Emissionsvolumen von durchschnittlich 2.600 m³ pro Sarg errechnet sich eine Fracht von

4 - 21 mg I-TEQ/a.

Diese Berechnung liegt um den Faktor 10-50 höher als die noch im Sachstandsbericht 1990/91 für Hamburg hochgerechnete Gesamtfracht von nur 0,4 mg I-TEQ/a. Der letztgenannte Wert wurde jedoch aus der Analyse von nur einer Rußprobe abgeschätzt.

4.3.3 Energieerzeugung

Im Bereich der **Kraftwerke** sind nur die mit fossilen Brennstoffen betriebenen Anlagen für die Dioxin-Bilanz Hamburg relevant. Die von den Hamburgischen Elektrizitätswerken (HEW) im Jahr 1990 eingesetzten Energieträger verteilten sich wie in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Brennstoffeinsatz der Hamburgischen Elektrizitätswerke (1990)

Brennstoff	Einsatzmenge	Brennstoff	Einsatzmenge
Steinkohle	415.000 t	Heizöl S	78.000 t
Heizöl EL	8.700 t	Erdgas	81 · 10 ⁶ m ³

Im Rauchgas von Kraftwerken, die fossile Brennstoffe (Steinkohle, Braunkohle, Heizöl S) bei unterschiedlichen Feuerungstechniken einsetzen, sind bisher keine oder nur äußerst geringe Mengen an PCDD/PCDF nachgewiesen worden. Das geringe Dioxinbildungspotential beim Verbrennen fossiler Brennstoffe wird auf ein Schwefel/Chlor-Verhältnis von ca. 5:1 zurückgeführt, das sich sehr von dem im Hausmüll (1:3) unterscheidet.

Für die Dioxin-Bilanz Hamburgs wird in einer "worst-case" Abschätzung von einer mittleren PCDD/PCDF-Konzentration von 0,01 ng I-TEQ/m³ in der Abluft ausgegangen. Mit einem spezifischen Abgasvolumen von 12 m³/kg bei der Verbrennung von Steinkohle und Erdöl und 11 m³ Abgas je m³ eingesetztes Erdgas, errechnet sich eine Gesamtfracht von insgesamt

69 mg I-TEQ.

Marin geprägte Luftmassen, wie sie in Hamburg häufig vorkommen, erhöhen zwar den Chlorgehalt der Verbrennungsluft, reichen aber nicht aus, das Schwefel/Chlor-Verhältnis signifikant zu verschieben. Die geographische Lage Hamburgs hat somit keinen Einfluß auf die PCDD/PCDF-Emissionen aus Kraftwerken oder anderen thermischen Quellen. Hamburg bestreitet einen deutlich über dem Bundesdurchschnitt liegenden Anteil von Primärenergie aus Kernkraftwerken, die Dioxin-emissionen aus den Kernkraftwerken werden mit Null bilanziert.

In Hamburg existieren insgesamt neun genehmigungspflichtige **gewerbliche Holzfeuerungsanlagen** in Gärtnereibetrieben und Furnierwerken. Dort werden überwiegend Holzspäne und Holzstaub verbrannt. Erlaubt ist in allen Anlagen grundsätzlich nur die Verbrennung von unbehandeltem und naturbelassenem Holz. PCDD/PCDF-Messungen von Holzfeuerungsanlagen in Hamburg liegen nicht vor.

Die beiden Hamburger **Funierwerke** verbrennen Restholz, Späne und Holzstaub aus der Produktion. Für die Dioxin-Bilanz Hamburg wird ein mittlerer Emissionswert von $0,5 \text{ ng I-TEQ/m}^3$ angesetzt, der auch mögliche höhere Abluftkonzentrationen durch den Einsatz von PCP-haltigem Altholz berücksichtigt. Nur sieben der sich überwiegend im Südosten des Stadtgebietes befindlichen **Gärtnereibetriebe** sind genehmigungspflichtig im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. In den Furnier- und Gärtnereibetrieben Hamburgs wurde im Jahr 1992 eine Gesamtmenge von ca. 12.500 t Holz verbrannt. Mit einem Jahres-Abgasvolumenstrom von ca. 150 Mio. m^3 ergibt sich bei einer mittleren Abluftkonzentration von $0,5 \text{ ng/m}^3$ eine Fracht von 74 mg I-TEQ.

Die Jahresfracht der **nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen** (< 1 MW) dürfte sich noch einmal in der gleichen Größenordnung bewegen. Damit beläuft sich die Gesamtfracht aus Holzfeuerungsanlagen auf ca.

150 mg I-TEQ/a.

Das im Klärwerk Köhlbrandhöft/Dradenau anfallende **Klär gas** wird weitgehend zur Energieerzeugung für die Klärschlammmentwässerungs- und Trocknungsanlage (KETA) eingesetzt. Bei der Verbrennung im Gasmotor entsteht ein (berechneter) Abgasvolumenstrom von ca. $150 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$. In Anlehnung an Literaturdaten wurde eine Emissionskonzentration von $0,09 \text{ ng I-TEQ/m}^3$ angenommen. Somit ergibt sich eine Fracht von ca.

14 mg I-TEQ/a.

4.3.4 Abfallverbrennung

PCDD/PCDF-Emissionen aus der **Verbrennung von Hausmüll** haben in der Vergangenheit beträchtlich zur Belastung der Luft mit PCDD/PCDF beigetragen. Mit dem Inkrafttreten der 17. BImSchV (17. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz) ist für Abfallverbrennungsanlagen ein verbindlicher Grenzwert von $0,1 \text{ ng I-TEQ/m}^3$ eingeführt worden. Die Hamburger Müllverbrennungsanlagen (MVA I und MVA II) wurden daher bis zum Jahr 1995 grundlegend saniert (MVA II) bzw. durch Neuanlagen ersetzt (MVA I durch MVB). Diese Maßnahmen sind zwischenzeitlich abgeschlossen (Frachtberechnungen für das Jahr 1995 finden sich in Abschnitt 4.7).

Die in den Hamburger Müllverbrennungsanlagen (MVA) behandelten Abfallmengen sowie die Dioxinemissionswerte zwischen 1990 und 1992 sind bekannt und in der Tabelle 10 dargestellt. Tabelle 10 enthält zur Vervollständigung auch die MVA Stapelfeld, die sich zwar außerhalb Hamburgs befindet, aber zu einem Teil auch Hamburger Abfall verbrennt.

Tabelle 10: Müllmengen und mittlere Emissionswerte für Anlagen, in denen im Jahr 1992 Müll aus Hamburg verbrannt wurde

Anlage	Müllmenge	Emissionswert (ng I-TEQ/m ³)	Anzahl der Meßwerte, Jahr
MVA I	157.900 t	1,2	n=4, 1990
MVA II	160.300 t	3,7	n=6, 1992
MVA Stapelfeld **	83.600 t	9,0	n=2, 1989 (?)
Sonstige Anlagen	7.100 t	k.A.	

k.A.: keine Angaben; ** Altanlage, Messungen vor 1990

Mit den Angaben aus Tabelle 10 ergeben sich für 1992 folgende Dioxinfrachten:

MVA I	947 mg I-TEQ/a
MVA II	2.966 mg I-TEQ/a
Hausmüllverbrennung in Hamburg (Summe MVA I + II)	3.913 mg I-TEQ/a
(Hausmüllverbrennung außerhalb Hamburgs in der MVA Stapelfeld, Schleswig-Holstein)	3.762 mg I-TEQ/a

(Auswirkungen der zwischenzeitlich erfolgten emissionsmindernden Maßnahmen, siehe Abschnitt 4.7).

Die vergleichsweise große Dioxinfracht aus der MVA Stapelfeld ist auf die hohe Abgaskonzentration von 9 ng I-TEQ/m³ der Altanlage zurückzuführen. Neuere Messungen zu dieser Anlage lagen zur Zeit der Berichtslegung nicht vor. Die Emissionen der MVA Stapelfeld gehen allerdings nicht in die Dioxin-Bilanz Hamburg ein.

Unter Zugrundelegung der Emissionserklärungen für das Jahr 1992 von MVA I und MVA II betragen die Jahresemissionen für die MVA I 800 mg I-TEQ und 2.700 mg I-TEQ für die MVA II. Die Gesamtfracht der in Hamburg emittierten Dioxinmenge aus der Hausmüllverbrennung läge dann mit insgesamt 3.500 mg I-TEQ geringfügig niedriger (ca. 10 %) als der von uns anhand der Müllmengen und Abgaskonzentrationen berechnete Wert von 3.913 mg I-TEQ/a.

In Hamburg existiert eine Anlage zur Verbrennung von **Sonderabfall** (AVG), die im Jahr 1992 insgesamt 92.600 t Abfall thermisch entsorgte. Ein Teil des Hamburger Sonderabfalls wird aus technischen oder genehmigungsrechtlichen Gründen zur Verbrennung in andere Anlagen außerhalb Hamburgs transportiert. Bei der AVG wurden jedoch auch ca. 50 % Sonderabfälle verbrannt, die nicht aus Hamburg

stammen. Bei einem Massenstrom von $560 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ und einem durchschnittlichen Dioxinemissionswert der Anlage von $1,0 \text{ ng I-TEQ}/\text{m}^3$ ergibt sich eine Fracht von

560 mg I-TEQ/a.

Da nur ungefähr die Hälfte der Sonderabfälle aus Hamburg selbst stammten, beträgt der aus Hamburg stammende Anteil an der Jahresfracht ca. **280 mg I-TEQ** für das Bezugsjahr 1992.

4.4 Diffuse Quellen

4.4.1 Emissionen aus Verkehr

Die Relevanz des **Straßenverkehrs** als wichtige Dioxinquelle wird seit Jahren diskutiert. Neben PCDD/PCDF wurden in Autoabgasen auch bromierte und bromiert/chlorierte Dibenzo-*p*-dioxine und Dibenzofurane (PBDD/PBDF und PXDD/PXDF) nachgewiesen. Für die Dioxinbilanz werden nur die chlorierten Species betrachtet.

Mit Verbrauchsfaktoren und dem Anteil der mit den verschiedenen Kraftstoffen betriebenen Fahrzeuge errechnete die Umweltbehörde Hamburg einen Gesamtkraftstoffverbrauch von 730.000 t/a. Eine Aufstellung der Jahresemissionen aufgeschlüsselt nach Fahrzeugtypen gibt Tabelle 11.

Tabelle 11: Berechnete Verbrauchsmengen für verschiedene Kfz-Typen und resultierende Dioxinfrachten in Hamburg für das Jahr 1992

Kfz-Typ	Kraftstoffverbrauch pro Jahr	Dioxin-Jahresfracht
Pkw, Diesel	$73 \cdot 10^6$ Liter	5,9 mg I-TEQ
Lkw, Diesel	$213 \cdot 10^6$ Liter	17,1 mg I-TEQ
Pkw, verbleites Benzin,	$178 \cdot 10^6$ Liter	192,0 mg I-TEQ
Pkw, bleifreies Benzin	$359 \cdot 10^6$ Liter	32,3 mg I-TEQ
Pkw, bleifreies Benzin und G-Kat.	$121 \cdot 10^6$ Liter	2,4 mg I-TEQ
Gesamter Kfz-Verkehr	$944 \cdot 10^6$ Liter	249,7 mg I-TEQ

Für die Berechnung der Dioxinbilanz werden für das Jahr 1992

250 mg I-TEQ

angenommen. Für die Jahre 1988-1990 wurden von der Umweltbehörde Hamburg noch Dioxinemissionen von mehr als 500 mg I-TEQ/a aus dem Autoverkehr berechnet und bis 1996 ein Rückgang auf ungefähr 50 mg I-TEQ/a prognostiziert. Der hier berechnete Wert für 1992 liegt zwischen diesen beiden Emissionsschätzungen.

Der Beitrag aus dem **Eisenbahn- und Schiffsverkehr** zur Dioxin-Bilanz Hamburgs wird sehr gering eingestuft. Die Emissionen aus Dieselaggregaten sind niedrig. Ebenso ist aus dem **Flugverkehr** keine relevante Dioxinemission zu erwarten, da bei einem Biomonitoring auf einem deutschen Großflughafen keine erhöhte Immissionsbelastung durch den Flugverkehr festgestellt werden konnte.

4.4.2 Hausfeuerungsanlagen

PCDD/PCDF-Emissionen aus Hausfeuerungsanlagen wurden in der Vergangenheit mehrfach aus Rußanalysen abgeleitet. Diese Ergebnisse führten zu der Annahme, daß der Einsatz fossiler Brennstoffe in Privathaushalten eine wesentliche Quelle von PCDD/PCDF in der Umwelt sei und wurden häufig mit den im Winter höheren Dioxinkonzentrationen in der Außenluft in Zusammenhang gebracht.

Aus Hamburg liegen keine Ergebnisse von Emissionsmessungen von Öfen oder Kaminen aus Privathaushalten vor. Die Daten einiger Studien zeigten, daß im Abgas verschiedener Feuerungsanlagen beim Einsatz von Kohle, Holz, Erdöl oder Erdgas und guten Ausbrandbedingungen meistens niedrige Dioxinemissionen gemessen werden. Unter der Annahme einer gleichen relativen Verwendung der Brennstoffe wie im Bundesdurchschnitt erhält man eine grobe Abschätzung in Anlehnung an die Ergebnisse der Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen von

70-340 mg I-TEQ/a.

Auf Basis einer Abschätzung für das Land Baden-Württemberg (9,5 Mio Einwohner) ergäben sich wesentlich höhere Emissionen, nämlich in Höhe von ca. 1.500 mg I-TEQ/a. Unter der Annahme, daß 31.000 Privatwohnungen in Hamburg mit durchschnittlich 10 kg Holz bzw. Kohle pro Tag an 180 Tagen im Jahr geheizt werden und daß die mittlere Dioxinemission bei 1 ng I-TEQ/m³ liegt, erhält man eine Jahresfracht aus dieser Quelle von 560 mg I-TEQ.

Die PCDD/PCDF-Konzentrationen können bei der Verbrennung durch Beimengung von Verpackungsmüll um das Hundertfache ansteigen. Es ist aber davon auszugehen, daß nur in einem geringen Teil der Hausfeuerungen (und auch dort nicht über das ganze Jahr) verunreinigtes Holz oder brennbare Abfälle verbrannt werden. Der Beitrag zu den Gesamtemissionen aus den Hausfeuerungsanlagen ist daher nicht relevant.

4.4.3 Emissionen aus dem Abbrennen von Ernterückständen

Die flächenhafte Verbrennung von Stroh auf Feldern ist in Hamburg nicht Praxis, jedoch dürfte eine Verbrennung pflanzlicher Abfälle aus dem Gemüseanbau auch in Hamburg stattfinden. Sowohl aus der Konzentration von Ascherückständen als auch

aus den anzunehmenden niedrigen PCDD/PCDF-Emissionen in die Luft kann keine Relevanz für die Dioxin-Bilanz Hamburgs abgeleitet werden.

4.4.4 Wohnungsbrände

PCDD/PCDF entstehen auch bei Bränden von Wohnungen oder Betrieben mit Baumaterialien, Möbeln, u.a. aus Holz oder Kunststoffen. Dies wird durch Analysen von Bauschutt belegt. Bei jährlich ca. 400 größeren Wohnungsbränden ergibt sich eine mögliche Dioxinbildung von 800-8.000 mg I-TEQ/a.

Die Dioxine finden sich praktisch ausschließlich im Brandschutt, der als Sonderabfall oder meist als Hausmüll entsorgt wird (siehe auch Kapitel 9).

Die mit dem Brandgas freigesetzten Mengen liegen bei

ca. 8 mg I-TEQ/a.

4.5 Dioxininventar in der Luft

Es wird angenommen, daß die Luft in Hamburg zwischen 0 und 1.000 m Höhe im Jahresmittel gleichmäßig mit 50 fg I-TEQ/m³ belastet ist. Über der Gesamtfläche Hamburgs (755 km²) befindet sich dann stationär ein Dioxininventar von ca.

0,040 g I-TEQ.

Der horizontale Luft-Transport durch einen Querschnitt von 40 · 1 km² (entspricht der Ausdehnung von Rissen im Nordwesten bis Altengamme im Südosten) beträgt bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 4,2 m/s und einer Luftkonzentration von 50 fg I-TEQ/m³

250 g I-TEQ/a.

Die Hochrechnung der über die Atmosphäre durch partikuläre und gasförmige Deposition auf die Erdoberfläche gelangenden PCDD/PCDF-Mengen ist in Abschnitt 6.5 dargestellt.

4.6 Zusammenfassung der Frachten und Inventare

Die PCDD/PCDF-Quellen in die Atmosphäre, die im Rahmen der Dioxin-Bilanz für Hamburg betrachtet wurden, sind in Tabelle 12 summarisch aufgeführt. Als Zwischensummen sind die beiden Quellengruppen aufgeführt.

Tabelle 12: Dioxinemissionen in die Luft durch Quellen in Hamburg im Jahr 1992

Quelle	Jahresfracht (mg I-TEQ/a)
Stationäre Quellen:	
<u>Industrie:</u>	
Kupferindustrie	1.200
Aluminiumindustrie	8
Eisen- und Stahlerzeugung	166
Petrochemische Industrie	0,009
Räuchereien	8
<u>Sonstige Quellen:</u>	
Krematorien	4-21
<u>Energieerzeugung:</u>	
Kraftwerke	69
Gewerbliche Holzfeuerungen	150
Klärgasverbrennung	14
<u>Abfallentsorgung in Hamburg</u>	
Hausmüllverbrennungsanlagen (MVA I und MVA II)	3.913
Sonderabfallverbrennungsanlage	560
Zwischensumme stationäre Anlagen	6.092-6.109
Diffuse Quellen:	
<u>Verkehr:</u>	
Straßenverkehr	250
<u>Haushalte:</u>	
Hausfeuerungsanlagen	70-340
Wohnungsbrände	8
Zwischensumme diffuse Quellen	328-598
Summe aller bilanzierten Quellen:	
Quellen in Hamburg	6.420-6.707

Aus der Tabelle 12 wird deutlich, daß der größte Teil der Emissionsquellen in Hamburg relativ genau quantifiziert werden kann. Es wird aber auch sehr klar, daß der weitaus überwiegende Teil der PCDD/PCDF-Emissionen auf verhältnismäßig wenige stationäre Anlagen verschiedener Branchen zurückzuführen ist. Die diffusen Quellen

- Autofahren, Heizen - tragen ohne Berücksichtigung des gewerblich bedingten Anteils der Kfz-Emissionen nur wenig zur Gesamtemission bei.

Unsicherheiten bestehen allerdings bei der Einschätzung von Emissionsmessungen von Diesel-Lkw und bei der Beurteilung der Emissionen infolge des Verbrennens fossiler Brennstoffen in Privathaushalten: Neben den hier verwendeten Emissionsfaktoren für Dieselmotoren sind in der Literatur bei Messungen an amerikanischen Schwerlastkraftwagen auch wesentlich höhere Emissionen berichtet worden. Diese Messungen wurden aber für nicht auf bundesdeutsche Verhältnisse übertragbar gehalten. Beim Hausbrand sind bei einer Dioxinbilanzierung in Baden-Württemberg deutlich höhere Verbrauchs- und Emissionswerte veranschlagt worden als im Bundesdurchschnitt.

Falls zur Abschätzung dieser beiden Emissionsquellen berichtete Maximalwerte verwendet worden wären, würden die Dioxinmissionen Hamburgs allein aus diesen beiden Quellen bis zu 5,5 g I-TEQ/a betragen.

Unter der Annahme, daß sich die gasförmigen und partikelgebundenen PCDD/PCDF 50:50 (auf I-TEQ bezogen) verteilen, ist die Übereinstimmung zwischen berechneter Deposition (ca. 5,6 g I-TEQ/a) und Emission (ca. 6,5 g I-TEQ/a) auffällig gut. Häufig ergeben die Hochrechnungen aufgrund der Depositionsmessungen wesentlich höhere Werte (bis zu Faktor 10) als aus den bekannten Quellen emittiert wird (zur Deposition siehe Abschnitt 6.5).

4.7 Ausblick

Da insbesondere bei einigen industriellen Quellen ein Dioxinminderungspotential vorhanden ist und sich die Technologie in ständigem Wandel befindet, sind die seit 1992 teilweise bereits umgesetzten oder geplanten Maßnahmen zusammengefaßt. Wie in Tabelle 13 dargestellt, reduzieren sich die Gesamtemissionen allein durch Umrüstung der Abfallverbrennungsanlagen bzw. den Ersatz der MVA I durch die MVB um 4,3 g I-TEQ/a.

Tabelle 13: Gegenüberstellung der Jahresfrachten aus Quellen mit hohem Dioxinminderungspotential

Emittent	Emission 1992 (mg I-TEQ/a)	Emission 1995 (mg I-TEQ/a)	Reduktion (%)
MVA I + MVA II	3.913	-	>95
MVB + MVA II	-	140	
SVA	560	48	>90
Industrie	1.382	<600	>55
alle Emittenten	ca. 6.600	<1.500	>75

Für die Zukunft ist ein Rückgang der PCDD/PCDF-Jahresfrachten der **Norddeutschen Affinerie** um bis zu 60 % zu erwarten, der durch die stufenweise Stilllegung bzw. Umrüstung bestehender Anlagen (v.a. bei der Schachtofenhütte und Raffinierhütte) bedingt ist.

Die Umstellung aller **Pkw mit Ottomotoren** auf bleifreien Kraftstoff und geregelten Katalysator, würde mit den gegenwärtigen Kraftstoffverbrauchszahlen eine Gesamtfracht von nur noch 13 mg I-TEQ/a aus Benzinmotoren in der Zukunft ergeben. Zusammen mit den Emissionen aus Dieselaggregaten betrüge die Kfz-bedingte Dioxinfracht dann 36 mg TEQ/a, also ca. 15 % der Fracht des Jahres 1992.

5 LANDWIRTSCHAFT UND TIERHALTUNG

In einigen Gebieten Hamburgs sind Gartenbau und Landwirtschaft die dominierende Flächennutzung, obwohl in einem Stadtstaat wie Hamburg generell die Bedeutung der Landwirtschaft und der Tierhaltung nicht so groß ist wie in Flächenstaaten.

Für die Dioxin-Bilanz Hamburgs sind die produzierten tierischen und pflanzlichen Lebensmittel vor allem unter dem Gesichtspunkt der Humanbelastung relevant. Daneben werden organische Abfälle, die bei der Landwirtschaft und der Tierhaltung anfallen, üblicherweise auf den Produktionsflächen ausgebracht. Auf diese Weise gelangen auch die in den Exkrementen der Tiere vorhandenen PCDD/PCDF in den Boden.

5.1 Produkte aus der Landwirtschaft und dem Gartenbau

5.1.1 Pflanzliche Nahrungsmittel

Dioxinanalysen von ausgewählten Nahrungsmitteln wurden 1992 im Rahmen eines umfangreichen Untersuchungsprogrammes der Umweltbehörde und der Behörde für Arbeit, Gesundheit und Soziales durchgeführt. Für ausgewählte pflanzliche Nahrungsmittel wurde berechnet, welchen Einfluß in Hamburg produziertes Obst und Gemüse auf die Dioxin-Bilanz der Stadt hat. Da die Dioxinkonzentration in den meisten Feldfrüchten (Salat, Sellerie, Porree, Obst) nicht über 0,2 ng I-TEQ/kg TS liegt, ergab sich für eine Erntemenge von 37.000 t Obst und Gemüse eine PCDD/PCDF-Jahresfracht von ungefähr

0,6 mg I-TEQ/a.

5.1.2 Tierische Nahrungsmittel

5.1.2.1 *Kuhmilch*

Die ungefähr 2.500 Milchkühe in Hamburg produzieren bei einer geschätzten mittleren Milchleistung von 5.000 l/a (4 % Fettgehalt) pro Milchkuh 500.000 kg Milchfett pro Jahr. Mit einer in Hamburg an insgesamt sechs Proben von Hofsammeilmilch ermittelten Konzentration von 1,1 ng I-TEQ/kg Milchfett ergibt sich eine Fracht von

0,55 mg I-TEQ/a.

5.1.2.2 *Fleisch*

Die Zahl der in Hamburg gehaltenen Nutztiere geht seit einigen Jahren zurück. Das in ausgewachsenen Tieren vorhandene Dioxininventar ergibt sich wie in Tabelle 14 dargestellt. Dabei wurde berücksichtigt, daß zu einem gewählten Zeitpunkt nicht alle Tiere ihr Maximalgewicht aufweisen (ein Teil der Tiere befindet sich noch im Wachstum), indem das durchschnittliche Lebendgewicht im Jahresmittel um 40 % reduziert wurde.

Tabelle 14: PCDD/PCDF im Viehbestand in Hamburg (1990)

	Anzahl 1990 (n)	Einzel- gewicht (kg)	Fettanteil geschätzt (%)	Fett- masse (t)	PCDD/PCDF im Fett (µg I-TEQ/t)	PCDD/PCDF- Inventar (µg I-TEQ)
Rinder	11.210	240	15	404	2,7	1.090
Schweine	5.249	66	15	52	0,3	16
Schafe	3.586	48	15	26	1,8	46
Gesamt						1.152

Das Dioxininventar im Viehbestand in Hamburg beträgt also ungefähr

1,2 mg I-TEQ.

5.1.2.3 *Hühnereier*

Der Hauptexpositionspfad für die Aufnahme von PCDD/PCDF durch Hühner sind Bodenpartikel, die beim Picken mit verschluckt werden. In Käfig- oder Bodenhaltung in geschlossenen Räumen scheidet dieser Pfad aus, und das Futter ist der einzige bedeutsame Expositionspfad (Luft und Wasser sind vernachlässigbar). Es wird daher angenommen, daß der PCDD/PCDF-Gehalt in Hühnereiern 1,5 ng I-TEQ/kg Fett

nicht überschreitet. Bei einem Gewicht von 50 g je Ei und einem Fettgehalt von 10,6 % ergibt sich eine Menge von 14.800 kg Eifett (aus maximal 2,8 Mio Eiern, die in Hamburg jährlich produziert werden) und eine Dioxinfracht von

0,02 mg I-TEQ/a.

5.1.3 PCDD/PCDF-Inventare und Frachten von Tieren

Das PCDD/PCDF-Inventar und die PCDD/PCDF-Frachten aus gewerblichen Schlachtungen von nach Hamburg angelieferten Tieren sowie aus der Tierhaltung in Hamburg selbst beträgt 23,4 mg I-TEQ. Für Haustiere (Katzen und Hunde), Pferde sowie Wildtiere wurde ein Dioxininventar im Körperfett von weiteren 2,2 mg I-TEQ berechnet. Insgesamt ergeben sich also etwa

26 mg I-TEQ.

5.2 Abfälle aus der Tierhaltung

Die folgende Tabelle 15 listet die Massenströme und die sich ergebenden Dioxinfrachten aus der Tierhaltung auf.

Tabelle 15: PCDD/PCDF-Fracht der in Hamburg anfallenden Gülle und Exkremente aus der Tierhaltung; geschätzter PCDD/PCDF-Gehalt jeweils 2 ng I-TEQ/kg

Viehbestand	Anzahl (n)	PCDD/PCDF- Fracht (ng I-TEQ/Tier/d)	PCDD/PCDF- Fracht (ng I-TEQ/a)
Pferde	4.500	10,0	16.425.000
Ponys	555	5,0	1.012.875
Rinder	11.210	10,0	40.916.500
Schweine	5.249	2,8	5.364.478
Schafe	3.586	2,0	2.617.780
Hühner	14353	0,1	523.885
Truthühner	1.691	0,3	185.165
Gänse	708	0,4	103.368
Enten	2.581	0,2	188.413
Summe			67.337.464

Dem Wert aus Tabelle 15 (ca. 67 mg I-TEQ/a) werden noch die Ausscheidungen von Hunden und Katzen mit zusammen ca. 3 mg I-TEQ/a hinzugerechnet, so daß sich eine PCDD/PCDF-Gesamtfracht aller Tiere in der Gülle und Exkrementen von

ca. 70 mg I-TEQ/a

berechnet.

Im Tierpark Hagenbeck und in den Hamburger Tierheimen fallen kleinere Mengen (je ca. 100 t TS/a) organischer Abfälle aus der Tierhaltung an, die in der Landwirtschaft verwertet werden. Mit PCDD/PCDF-Konzentrationen von 2 ng I-TEQ/kg TS, wie in anderen Exkrementen, ergibt sich eine im Vergleich zur Gesamtmenge vernachlässigbare Fracht von 0,2 mg I-TEQ/a.

5.3 Verwertung organischer Abfälle in der Landwirtschaft und im Gartenbau

Die im Abschnitt 5.2 berechneten Abfälle aus der Tierhaltung (= Güllemengen) werden zur Düngung und Bodenverbesserung wohl vollständig auf den betriebseigenen Flächen ausgebracht. Der Pferdemit wird für spezielle Anwendungen (Pilzzucht, Baumschulen), aber auch in der Landwirtschaft, eingesetzt.

Daher gelangen auch die darin enthaltenen PCDD/PCDF auf die landwirtschaftlich genutzten Böden. Die Jahresfracht ergibt sich daher aus der Massen- und Stoffbilanz der Nutztierhaltung in Tabelle 15 des vorigen Abschnitts zu maximal

67 mg I-TEQ/a.

Falls diese Menge auf das gesamte in Hamburg vorhandene Grünland (Innendeichflächen ca. 50 km²) ausgebracht wird, ergäbe sich ein flächenhafter Dioxineintrag von 1,3 ng I-TEQ/m² und Jahr. Durch die mittlere atmosphärische Deposition gelangen im selben Zeitraum aber ca. 3,7 ng I-TEQ auf dieselbe Fläche.

5.4 Zusammenfassung der Frachten und Inventare

In der Tabelle 16 sind die Dioxinfrachten aus der Landwirtschaft und aus der Tierhaltung dargestellt.

Tabelle 16: Dioxinfrachten aus Produkten und Reststoffen der Landwirtschaft in Hamburg

Stoffe	PCDD/PCDF-Fracht
Produkte aus Hamburg	2,37 mg I-TEQ/a
Pflanzliche Produkte (Auswahl)	0,6 mg I-TEQ/a
Tierische Produkte aus Hamburg	
Milch	0,55 mg I-TEQ/a
Schlachttiere in Hamburg gehalten	1,2 mg I-TEQ/a
Eier	0,02 mg I-TEQ/a
Inventar in Tieren	25,6 mg I-TEQ
Schlachttiere, in Hamburg angeliefert	23,4 mg I-TEQ
Haus- und Wildtiere in Hamburg	2,2 mg I-TEQ
Abfälle aus Hamburg	70 mg I-TEQ/a
Organische Abfälle aus der Nutztierhaltung	67 mg I-TEQ/a
Organische Abfälle aus der Haustierhaltung	3 mg I-TEQ/a

Es wird deutlich, daß sich in den pflanzlichen und tierischen Produkten aus Hamburg ein wesentlich geringeres Dioxininventar (2,3 mg I-TEQ/a) befindet als in den Abfällen aus der Nutztierhaltung (67 mg I-TEQ/a). Weniger als 4 % der PCDD/PCDF-Fracht aus der Tier- und Pflanzenproduktion gelangen also in Form von Nahrungsmitteln zum Menschen.

Die gesamten Exkrememente aus der Nutz- und Haustierhaltung (70 mg I-TEQ/a) können als zusätzliche „Deposition“ für Hamburg gerechnet werden.

6 TRANSFER- UND TRANSFORMATIONSPROZESSE

Neben der Betrachtung einzelner Umweltkompartimente oder Bilanzräume der Anthroposphäre sollen in der Dioxin-Bilanz Hamburg auch Austauschprozesse, die zwischen den Umweltmedien stattfinden, diskutiert werden. Die zeitliche und räumliche Dynamik dieser Transfer- und Transformationsprozesse ist für eine Abschätzung zukünftiger Entwicklungen der PCDD/PCDF-Potentiale in Hamburg notwendig. Zudem können diese Prozesse eine vorher nicht vorhandene PCDD/PCDF-Exposition begünstigen (z.B. Remobilisierung aus einem Reservoir).

Allerdings sind viele Austausch- und Umwandlungsprozesse, an denen PCDD/PCDF teilnehmen, in einem so großen und komplexen System kaum zu quantifizieren, da die Umweltbedingungen (z.B. Temperatur, Konzentration, UV-Strahlung) nicht über einen längeren Zeitraum als konstant betrachtet werden können. Eine weitere Einschränkung besteht darin, daß bisher praktisch alle Transferprozesse nur modellhaft beschrieben wurden oder im Labormaßstab in einem vereinfachten System gemessen wurden. In diesem Abschnitt werden die dioxinrelevanten Transfer- und Transformationsprozesse beschrieben und soweit möglich auf die Bedingungen in Hamburg übertragen.

6.1 Chemische, physikalische und biologische Voraussetzungen

In verschiedenen Untersuchungen hat sich gezeigt, daß dem Boden für den Transfer in Pflanzenteile nicht die Bedeutung zukommt, wie sie ursprünglich angenommen wurde. Der Transfer von PCDD/PCDF vom Boden in unterirdische verzehrbare Pflanzenteile wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen untersucht; atmosphärische Deposition von PCDD/PCDF aus der Gasphase und von Partikeln sind aber die Hauptkontaminationspfade für oberirdische Pflanzenteile.

6.1.1 Eintragswege in die Nahrungskette Kuh → Milch → Mensch

Im Gegensatz zur früheren Lehrmeinung, die den aquatischen Expositionspfad in den Mittelpunkt der wissenschaftlichen Untersuchungen stellte, kommt der terrestrischen Nahrungskette eine größere Bedeutung zu. Die herausragende Stellung der Aufnahme von Dioxinen durch Kühe ist in zweifacher Hinsicht begründet: a) Kuhmilch, Rind- und Kalbfleisch sind wichtige Nahrungsmittel des Menschen und b) Kuhmilch ist ein hervorragender Monitor zur Beschreibung der Umweltqualität. Daher wurden Kühe und insbesondere Kuhmilch recht intensiv studiert.

Ähnlich wie beim Menschen erfolgt die Aufnahme von PCDD/PCDF - wie auch für andere lipophile chlororganische Verbindungen (z.B. PCB) - bei Kühen praktisch vollständig mit der Nahrung, während die Beiträge von Atemluft und Tränkewasser gering sind. Dies ergaben sowohl Modellrechnungen als auch Untersuchungen an lebenden Kühen.

Für die Futterkontamination kommen als Quellen der atmosphärische Eintrag auf die Futterpflanzen, lokale Schadstoffquellen bei der Futtermittellagerung und kontaminierter Boden in Frage. So kann z.B. Silage bis zu 10 % mit Boden verunreinigt sein. Der Transfer Boden → Tier ist von einer Vielzahl von Einflußgrößen abhängig. Die Bodeningestion beim Weidegang kann bei Milchkühen ca. 1 bis 10 % (bezogen auf Futtermittel-Trockenmasse) betragen.

6.1.2 Verhalten von PCDD/PCDF in der Milchkuh

Beim Übergang von PCDD/PCDF aus dem Futter, das prinzipiell alle 210 möglichen Kongenere enthalten kann, in die Milch findet ein Selektionsprozeß statt: in der Kuhmilch werden nur 2,3,7,8-substituierte Kongenere gefunden (meistens sind jedoch 2,3,7,8-Cl₄DF, 1,2,3,7,8-Cl₅DF und Cl₈DF unterhalb der Nachweisgrenze). Grundsätzlich unterscheiden sich also qualitativ die Homologen- und Kongenere-muster von Edukt (= Futtermittel) und Produkt (= Milch). Resorption und Metabolisierung führen dazu, daß auch ein quantitativer Unterschied auftritt. Zur Beschreibung der Schadstoffaufnahme der Kuh mit dem Futter wird in der Literatur häufig der Begriff "Carry over" verwendet.

Der Schadstoffübergang in die Milch läßt sich mittels der Carry over-Rate wie folgt quantitativ beschreiben:

- 2,3,7,8-Cl₄DD, 1,2,3,7,8-Cl₅DD und 2,3,4,7,8-Cl₅DF mit einer Carry over-Rate von etwa 35 %
- Cl₆DD/DF mit einer Rate von etwa 15 %
- alle anderen mit einer Rate kleiner 10 %.

Insgesamt gelangen nur etwa 20 % der mit dem Futter aufgenommenen Toxizitätsäquivalente in die Milch. An der resultierenden Milchbelastung haben die Kongenere 2,3,7,8-Cl₄DD, 1,2,3,7,8-Cl₅DD und 2,3,4,7,8-Cl₅DF einen Anteil von ca. 80 % der Toxizitätsäquivalente.

Weitere ca. 20 % der Dioxine (als TEQ) werden gespeichert bzw. durch Stoffwechselprozesse im Körper der Kuh abgebaut; mit den Exkrementen werden somit etwa 60 % der aufgenommenen PCDD/PCDF wieder ausgeschieden.

Auf eine pauschale Berechnung der Carry-over Rate für die in Hamburg gehaltenen Milchkuhe wurde verzichtet.

6.2 Transferprozesse von PCDD/PCDF zwischen Wasseroberflächen und der Umgebungsluft

Eine Besonderheit der Hansestadt Hamburg sind die im Vergleich zur gesamten Fläche sehr großen Wasserflächen. Gewässer haben mit ca. 61 km² einen Anteil von fast 8 % an der Fläche Hamburgs (755 km²).

Für die Dioxin-Bilanz Hamburg kann der Transfer von PCDD/PCDF zwischen der Umgebungsluft und den Wasserflächen durchaus relevant sein, da trotz geringer Konzentrationen in der Luft und im Wasser aufgrund der großen Volumina sehr große Stoffmengen an PCDD/PCDF vorhanden sind.

Abschätzungen zum Transfer Wasser \leftrightarrow Luft können durch verschiedene Modelle erfolgen. Die Modellberechnungen ergeben, daß ein Stoffaustausch zwischen dem Wasser und der Luft stattfinden kann. So können die berechneten Transferraten für Cl₄DD und Cl₄DF in der Größenordnung der atmosphärischen Deposition liegen; Ölfilme auf dem Wasser können kleinräumig den PCDD/PCDF-Transfer verringern, spielen aber wegen ihres geringen Anteils an der gesamten Wasserfläche keine Rolle. Es war aber nicht möglich, aus diesen Modellrechnungen generelle Aussagen für Hamburg zu machen.

6.3 Ausgasung von PCDD/PCDF aus dem Boden in die Luft

PCDD/PCDF können prinzipiell auf zwei Wegen aus dem Boden an die Oberfläche und dann in die Luft gelangen:

- Bioturbation und
- Diffusion in der Bodenluft.

Die Bioturbation (Bodendurchmischung durch Regenwürmer und andere Tiere) läßt sich derzeit nicht quantifizieren.

Voraussetzung für die (schnellere) Diffusion in der Bodenluft ist das Vorhandensein eines ausreichenden luftgefüllten Porenraumes. Die Diffusion von Dioxinen aus dem Boden in die Luft wurde exemplarisch für 2,3,7,8-Cl₄DD und Cl₈DD betrachtet. Wegen großer Unsicherheiten sowohl bei den physikalisch-chemischen Daten als auch bezüglich der typischen standortgegebenen Eigenschaften (Klima, Boden, Wassersättigung) kann es sich dabei nur um eine größenordnungsmäßige Schätzung handeln. Auf die Berechnung soll an dieser Stelle aber nicht näher eingegangen werden.

In der Tabelle 17 sind die berechneten Massenflüsse den mittleren Dioxindepositionsraten aus der Luft gegenübergestellt. Der Vergleich zeigt, daß die Ausgasungsrate von Cl₄DD und Cl₈DD aus belasteten Böden unter den gewählten Annahmen im

Bereich von 0,5 % der Depositionsraten Luft → Boden für alle PCDD/PCDF-Kongenerere als I-TEQ liegt. Für die Summe aller toxischen Dioxine als I-TEQ ergibt die Schätzung der Ausgasungsraten die gleiche Größenordnung wie die übliche Deposition aus der Luft. Bisher wurden noch keine Feldversuche zur Akkumulation von Dioxinen in Böden bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Ausgasung durchgeführt.

Tabelle 17: Vergleich der Ausgasungsraten für 2,3,7,8-Cl₄DD und Cl₈DD (auch umgerechnet in I-TEQ) mit mittleren Depositionsraten aller PCDD/PCDF-Kongenerere als I-TEQ (in pg·m⁻²·d⁻¹)

Massenfluß	2,3,7,8-Cl ₄ DD	Cl ₈ DD	I-TEQ
Belasteter Boden → Luft	0,007		0,007 (nur Cl ₄ DD)
		16	0,016 (nur Cl ₈ DD)
Luft → Boden (Deposition)			10 (alle Kongenerere)

Die Rahmenbedingungen sind allerdings so variabel, daß keine generellen Aussagen für Hamburg getroffen werden können.

6.4 Verfrachtung von PCDD/PCDF durch Winderosion

Zum Einfluß der Winderosion auf die Verfrachtung von kontaminierten Bodenpartikeln liegen einige Untersuchungen vor, die allerdings kein einheitliches Bild ergeben, wie dieser Prozeß quantitativ einzuschätzen ist. Besonders schwierig zu beurteilen ist, wie weit Bodenpartikel von einer kontaminierten Fläche wegtransportiert werden können, bevor sie an anderer Stelle wieder deponiert werden.

Eine Staub-Verwehungsrate von offenen Flächen in der Höhe von 100 g·m⁻²·a⁻¹ erscheint auch bei einem Vergleich mit Staubdepositionsraten plausibel (Staubverwehungen als eine der wesentlichen Quellen für Staubdeposition):

Die höchsten flächenhaft gemessenen PCDD/PCDF-Konzentrationen unversiegelter Böden in Hamburg sind in Tabelle 18 zusammengestellt. Die Konzentrationen dieser Flächen (insgesamt geschätzt ca. 21 km², davon maximal 12 km² mit offener Oberfläche) liegen im Bereich von 60-150 ng I-TEQ/kg. Im flächengewichteten Mittel beträgt die Dioxinkonzentration ca. 130 ng I-TEQ/kg.

Wegen des minimalen Dioxintransfers Boden → Pflanze sind Änderungen der aktuellen Bodennutzung auf den außendeichs gelegenen Wiesen und Ackerflächen nicht erforderlich.

Tabelle 18: Flächen mit erhöhten PCDD/PCDF-Konzentrationen

Art der Fläche	Fläche km ²	Konzentration ng I-TEQ/kg
Wiesen/Grünland Außendeich	(9)*	130
Acker Außendeich	2,2	130
unmittelbare Nachbarschaft von Industriestandorten	1,5	60
Moorfleeter Wanne	1,2	60
Schlickaufspülungen (alt)	3,5	
Schlickaufspülungen (in Betrieb)	(3,5)*	150

* keine offene Oberfläche bzw. im Betrieb feucht, deshalb für Verwehung wenig relevant

Bei einem Abtrag von 100 g Boden je m² und Jahr von diesen Flächen liegt die Dioxinfracht bei insgesamt

ca. 110 mg I-TEQ/a.

Der spezifische Dioxinabtrag liegt bei ca. 13 ng I-TEQ je m² und Jahr. Falls diese Menge auf der 5fachen Fläche des Abtrags wieder abgelagert werden würde, würde dies zu einer mittleren Depositionsrate von 3 ng I-TEQ m⁻² a⁻¹ führen. Diese liegt in der gleichen Größenordnung wie die für Hamburg geschätzte mittlere Depositionsrate von 3,7 ng I-TEQ m⁻² a⁻¹.

Diese Berechnungen zeigen, daß erhöhte PCDD/PCDF-Konzentrationen in lockeren Böden ohne Abdeckung zu einer nennenswerten Erhöhung der Depositionsbelastung auf benachbarten Flächen führen können. Es ist zu beachten, daß nicht nur die benachbarten Böden, sondern auch oberirdische Pflanzenteile, d. h. pflanzliche Nahrungs- und Futtermittel, von der erhöhten Deposition aus Verwehungen betroffen sind. Als Konsequenz sollte die Bodenerosion von offenen Flächen mit erhöhten Dioxingehalten möglichst verringert bzw. vermieden werden. Da die allgemeine Dioxindepotion aus der Luft in den letzten Jahren abgenommen hat, kommt der Möglichkeit einer Pflanzenbelastung durch Windverfrachtung steigende Bedeutung zu.

6.5 Atmosphärische Deposition in Hamburg

Abgesehen von lokalen Bodenbelastungen gilt der Luftpfad als der wichtigste Eintragungsweg von PCDD/PCDF in Böden. In Hamburg wurden an ausgewählten Standorten die Depositionsraten staubförmiger PCDD/PCDF gemessen. Ziel der Untersuchungen war es, den Eintrag von Dioxinen auf bzw. in Nutzpflanzen zu prüfen. Die Beprobungsorte für die Depositionsmessungen wurden so gewählt, daß sie einerseits eine Aussage über den Anteil des Luftpfades an der Belastung auf einer

Gemüseanbaufläche erlaubten, andererseits die Belastungssituation in unterschiedlichem Abstand vom Industriegebiet Billbrook widerspiegeln. Die Ergebnisse der Messungen von Oktober 1990 bis Oktober 1991 sind in der Tabelle 19 dargestellt. Darin sind auch Meßwerte, die im Rahmen der Umweltverträglichkeitsuntersuchung zur Müllverbrennungsanlage Borsigstraße ermittelt wurden, berücksichtigt.

Aus der Tabelle 19 ist ersichtlich, daß die Depositionsraten mit zunehmender Entfernung vom Industriegebiet Billbrook deutlich abnehmen, insbesondere bei Betrachtung der Medianwerte. Werte zwischen 3 und 5 pg I-TEQ·m⁻²·d⁻¹ sind offensichtlich als Hintergrundbelastung für Hamburg anzusehen.

Tabelle 19: Depositionsraten (in pg I-TEQ·m⁻²·d⁻¹) von PCDD/PCDF in Hamburg (Jahre 1990-1991)

Meßort	Bereich	Jahresmittelwert	Median
Billerhuder Insel *	9,9-47	21	16
Berzeliusstraße *	7,6-67	30	17
Kleingartenverein 605	6,4-26	12,9	12,1
Sandwisch	6,7-66	20,1	11,5
Tatenberger Deich	2,8-108 **	23,3	6,3
Allermöher Deich	2,7-18	6,8	5,3
Kraueler Hauptdeich	2,1-3,7	2,8	2,7

* Angaben in BGA-TEQ

** Maximalwert vermutlich durch Eintrag von Bodenmaterial verursacht

In Hamburg beruhten hohe 2,3,7,8-Cl₄DD-Depositionen, die an einem Standort gemessen wurden, auf Verwehungen des Boehringer-Geländes in Hamburg-Moorfleet, an einem anderen Standort auf Aufwirbelungen von Staub mit hoher PCDF-Belastung in Außendeichflächen. Für das gesamte Hamburger Stadtgebiet wird deshalb eine mittlere Depositionsrate von 10 pg I-TEQ·m⁻²·d⁻¹ geschätzt, was sich auch durch neuere Meßdaten bestätigt. Dieser Wert ist praktisch identisch mit einem angenommenen mittleren Wert von 3,8 ng I-TEQ·m⁻²·a⁻¹ für die Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer). Unterschiede in den Depositionsraten zwischen Hamburg und anderen Gebieten sind aus den zitierten Ergebnissen nicht abzuleiten.

Für das gesamte Stadtgebiet mit 694 km² Fläche, zuzüglich 61 km² Wasserfläche, ergibt sich eine jährliche Depositionsrate der PCDD/PCDF von

2.800 mg I-TEQ/a.

Falls die Wasserflächen nicht berücksichtigt werden, berechnet sich die über die atmosphärische Deposition eingetragene PCDD/PCDF-Menge zu

2.500 mg I-TEQ/a.

Die vertikale gasförmige Deposition kann aufgrund der hohen Anteile von tetra- und pentachlorierten Dibenzofuranen in der Gasphase auf den TEQ bezogen ebenso groß sein wie die partikelförmige Deposition. Zwar dominiert bei der Analyse von Immissionsproben (Gas- und Partikelphase) konzentrationsmäßig das Octachlor-dibenzodioxin, doch sind aufgrund des Dampfdruckes die niedrigchlorierten Kongenere mit höherer Toxizität bevorzugt in der Gasphase vorhanden. Als Maximalwert werden daher nochmals

2,8 g I-TEQ/a

angenommen.

6.6 Transferprozesse zwischen der Umgebungsluft und der Vegetation

Bei landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Flächen wird die in der Vegetation enthaltene Schadstofffracht durch die Ernte teilweise entzogen. Auf Waldstandorten und nicht genutzten Grünflächen führt dagegen die absterbende oberirdische Biomasse mit den über die Vegetationsperiode akkumulierten Schadstoffen zu einem Eintrag von Dioxinen in den Boden.

Um das in der Vegetation befindliche Dioxininventar für Hamburg zu berechnen, wurden der mittlere Zuwachs an Biomasse und aus Hamburg vorliegende PCDD/PCDF-Analysen von Grasproben verwendet. Nur in potentiell immissionsbelasteten Gebieten Hamburgs wurden mittlere PCDD/PCDF-Gehalte von über 1 ng I-TEQ/kg TS gefunden. Dioxinuntersuchungen von Laub oder Nadeln von Bäumen wurden in Hamburg nicht durchgeführt. Geschätzte Biomassenerträge wurden auf Trockenmasse umgerechnet und unter Annahme mittlerer PCDD/PCDF-Gehalte die jährliche Dioxinfracht berechnet.

Tabelle 20: Flächennutzung, Biomassezuwachs und Jahresfracht der PCDD/PCDF in der Vegetation in Hamburg

Nutzungstyp	Fläche (km ²)	Biomassezuwachs (kg TS · m ⁻² · a ⁻¹)	PCDD/PCDF (ng I-TEQ/kg TS)	Fracht (mg I-TEQ/a)
Grünanlagen *	26,0	1,2	1	31,2
Grünland	58,6	1,2	1	70,3
Gartenland	49,3	2,5	1	123,3
Ackerland	102,7	2,5	0,2	51,4
Wald **	33,9	0,2	0,5	3,4
Summe				279,6

* Gesamtfläche der Hamburger Grünanlagen: 51.930.000 m²; es wurde angenommen, daß nur ca. 50 % dieser Fläche von Vegetation bedeckt sind, der Rest seien Verkehrs- und Nutzflächen

** gemessen als Laubfall (nur Blätter und Nadeln, ohne Zweige, u.ä.)

Dies ergibt ein Dioxininventar für die gesamte Vegetation Hamburgs von

280 mg I-TEQ/a.

Das berechnete Dioxininventar der Vegetation kann mit dem Eintrag aufgrund mittlerer Depositionsraten verglichen werden. Die mittlere Depositionsrate für Hamburg wurde auf 10 pg I-TEQ/m² · d veranschlagt; auch für mit Vegetation bestandene Flächen wurde dieser Wert verwendet. Für dieselben Flächen, wie in Tabelle 20 aufgeführt, ergibt sich ein Eintrag über die atmosphärische Deposition von etwa

990 mg I-TEQ/a.

Somit ergeben sich Differenzen bei der Einschätzung des Dioxininventars der Vegetation Hamburgs. Knapp 30 % der berechneten über die Atmosphäre eingetragenen Stoffmenge können also in der Biomasse der Pflanzen wiedergefunden werden.

Nebel als Eintragspfad für PCDD/PCDF auf Pflanzenoberflächen

Da auch Nebeltröpfchen, die sich auf Pflanzenoberflächen niederschlagen, zu einer Dioxinbelastung der Vegetation führen können, wurde der Beitrag dieses Eintragspfades für die Situation in Hamburg abgeschätzt. Er liegt in der Größenordnung von **0,2 ng I-TEQ pro m² und Jahr**; bei mittleren Raten für die atmosphärische Deposition in Hamburg von 10 pg I-TEQ m⁻² · d⁻¹ ergibt sich zum Vergleich ein jährlicher Eintrag von 3,7 ng I-TEQ auf einer Fläche von 1 m².

Der Eintrag durch Nebelereignisse ist im Jahresmittel also beinahe um einen Faktor 20 geringer als durch die Deposition. Nur an einzelnen Tagen kann durch Nebel eine Belastung erreicht werden, die im Bereich der „normalen“ Depositionsrate liegt. Somit ist Nebel für die Dioxin-Bilanz für Hamburg von insgesamt untergeordneter Bedeutung.

6.7 Photochemische Transformation

Durch photochemische **Transformationen in der Atmosphäre** resultiert bei Abbau der niederchlorierten PCDD/PCDF in der Gasphase und Stabilität der höherchlorierten, partikelgebundenen Species eine relative Akkumulation der höherchlorierten PCDD/PCDF in der Umwelt.

In **Wasser** verläuft die Photolyse von Cl₄DD und Cl₈DD mit Halbwertszeiten zwischen drei Wochen und vielen Jahren, je nach der Lichtintensität, bedingt durch Jahreszeit und Schwebstoffgehalte.

Im **Boden** ist die Photolyse auf eine dünne Oberflächenschicht beschränkt (0,1-1 mm Tiefe). Dabei entstehen aus Cl₈DD die toxischeren geringer chlorierten Kongenere mit lateralen Chlorpositionen in der Praxis vermutlich nur, wenn die oberste Bodenschicht durch Staubtransport umgelagert wird. Cl₈DF wird dagegen in weniger toxische Kongenere (ohne 2,3,7,8-Substitutionsmuster) umgewandelt.

Eine Transformation an **Blattoberflächen** wurde als wichtiger Mechanismus des 2,3,7,8-Cl₄DD-Verlusts im Blatt postuliert.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß eine Dioxinbilanz nach derzeitiger Kenntnis vom Photoabbau nicht wesentlich beeinflusst wird.

6.8 Zusammenfassung der Frachten und Potentiale

In der folgenden Tabelle 21 werden die PCDD/PCDF-Mengen, die in Hamburg zwischen einzelnen Kompartimenten ausgetauscht werden, im Überblick dargestellt. Dabei wurden Transferprozesse, die durch thermodynamische Beziehungen berechnet wurden, nicht berücksichtigt. Hochrechnungen auf die gesamte Fläche Hamburgs oder über einen Zeitraum von einem Jahr sind aufgrund der Variabilität der Berechnungsgrundlagen nicht sinnvoll.

Tabelle 21: Transferprozesse und Stoffflüsse von PCDD/PCDF in Hamburg im Überblick

Prozeß	Stoffmenge
Stoffflüsse:	
partikelförmige Deposition, gesamte Fläche	2.800 mg I-TEQ/a
partikelförmige Deposition, ohne Wasserflächen	2.500 mg I-TEQ/a
gasförmige Deposition, gesamte Fläche	2.800 mg I-TEQ
atmosphärische Deposition auf Vegetationsflächen	990 mg I-TEQ/a
Abtrag von Böden durch Winderosion	110 mg I-TEQ/a
Transferraten:	
Winderosion: höher belasteter Boden → Luft	13 ng I-TEQ/(m ² ·a)
Depositionsrate: Luft → Boden und Vegetation	3,7 ng I-TEQ/(m ² ·a)
Nebeleintrag: Luft → Boden und Luft → Pflanzen	0,2 ng I-TEQ/(m ² ·a)

Transferprozesse zwischen der Atmosphäre und dem Boden sind mengenmäßig am bedeutsamsten. Die Belastung der Vegetation kann durch die Pfade Deposition gas- und partikelförmiger PCDD/PCDF, Winderosion von belasteten Partikeln und durch Nebeltröpfchen geschehen.

7 BELASTUNG DES MENSCHEN

7.1 Zusammenfassung der Humanexposition

Die Dioxinaufnahme des Menschen erfolgt zum weit überwiegenden Teil mit der Nahrung. Die durchschnittliche Exposition je kg Körpergewicht (KG) und Tag des 70,7 kg schweren, erwachsenen, nicht rauchenden deutschen Durchschnittsmenschen wurde mit rd. 115 pg I-TEQ/d (1,64 pg I-TEQ/(kg KG d)) berechnet. Entscheidend ist der Verzehr tierischer Fette. Aus Umgebungsluft und Boden kommen täglich 1,6 pg I-TEQ hinzu, so daß eine tägliche Exposition von rd. 117 pg I-TEQ resultiert.

Die optionale Zusatzexposition durch Rauchen beträgt ca. 2 % im Vergleich zum Mittelwert der Nichtraucher. Der Einfluß des Kontaktes von Lebensmitteln mit Papierprodukten ist heute nicht mehr relevant.

Besondere Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung **in Hamburg** bedingen, daß aus Lebensmitteln im Mittel 119 pg I-TEQ/d, also rd. 3 % mehr als im Bundesdurchschnitt aufgenommen werden. Der Verzehr von Hamburger Grünkohl kann die Aufnahme um weitere 2 % erhöhen. Die PCDD/PCDF-Aufnahme erfolgt in Hamburg und anderenorts vor allem durch Milch und Milchprodukte. An zweiter Stelle steht in Hamburg im Unterschied zu anderen Regionen der Fischverzehr anstelle des Fleischverzehrs.

Erwachsene Menschen aus Hamburg nehmen zwar durch ihre Verzehrsgewohnheiten mehr PCDD/PCDF aus Fisch, Milch und deren Produkten auf als die Bundesbürger im Durchschnitt. Diese Mehraufnahme wird aber durch den geringeren Verzehr an Fleisch und insbesondere Fleischprodukten größtenteils kompensiert. Es ist für die Zukunft zu erwarten, daß der seit einigen Jahren steigende Fisch- und Milchverbrauch im Bundesgebiet den spezifisch hohen Fisch- und Milchverzehr in Hamburg relativieren wird. Hamburger Bürger und Bürgerinnen haben im Vergleich zu anderen Gebieten, z.B. mit geringer Bevölkerungsdichte und niedrigem Fischverzehr, praktisch keine höhere PCDD/PCDF-Aufnahme. Sollten sich die Dioxinkonzentrationen in der Kuhmilch auch in Hamburg und dessen Zuliefergebieten verringert haben, wie es 1993 und 1994 in Hessen und Nordrhein-Westfalen beobachtet wurde, so würde sich die tendenziell höhere Dioxinaufnahme in Hamburg weiter reduzieren. Maßnahmen zur Elbreinhaltung tragen zur Verringerung der Belastung von Fischen aus der Nordsee bei, haben jedoch vermutlich nur im Rahmen internationaler Bemühungen um die Gewässergüte einen deutlichen Einfluß.

Ein Vergleich aktueller Außenluftkonzentrationen mit älteren Hamburger Messungen sowie Messungen in anderen vergleichbaren Regionen zeigt, daß eine überdurchschnittliche allgemeine Exposition der Hamburger Bevölkerung durch die Umgebungsluft nicht anzunehmen ist.

Die PCDD/PCDF-Exposition aus den Umweltmedien Luft und Boden liegt nur unbedeutend über anderen vergleichbaren Lebensumgebungen. Die tägliche mittlere Gesamtexposition beträgt für die erwachsenen Hamburger im Mittel somit rd. 121 pg I-TEQ/d.

Im Erwachsenen wird nur ein recht geringer Teil der mit Nahrungsmitteln inkorporierten PCDD/PCDF tatsächlich resorbiert. Im Sinne der Bilanzierung wird der "netto" resorbierte Anteil 40 % der mit der Nahrung aufgenommenen PCDD/PCDF nicht überschreiten. Der nicht resorbierte PCDD/PCDF-Gehalt der Nahrung führt nur zu einem geringfügigen Einfluß menschlicher Fäkalien (ca. 70 pg I-TEQ je Tag und Einwohner) auf die Klärschlammbelastung mit PCDD/PCDF. Der Anteil der mit Küchenabfällen in das Abwasser eingetragenen PCDD/PCDF-Fracht beträgt mit rd. 8 pg I-TEQ je Tag und Einwohner nur ca. 1 % der in die Kläranlagen eingeleiteten Dioxinfracht des Haushaltsabwassers.

7.2 Einführung

Die Aufgabenstellung der Bilanzierung ist es vor allem, eine im Vergleich zum "worst case" realistischere Einschätzung der relevanten Pfade zum Menschen abzugeben. Die Berechnung von "worst case"-Szenarien ist für diesen Zweck von untergeordneter Bedeutung. Es ist nicht Ziel der Bilanzierung, Bevölkerungsgruppen hinsichtlich ihres Risikos zu beschreiben oder besonders exponierte Bevölkerungsgruppen herauszuarbeiten. Wegen der individuellen Variabilität der Verzehrsgewohnheiten kann nicht die Exposition von Einzelpersonen erfaßt werden, sondern lediglich die eines größeren durchschnittlichen und fiktiven Kollektivs.

Über seine Stoffwechselprozesse steht der Mensch im ständigen Austausch mit Teilen der Umweltkompartimente Boden, Wasser und Luft. Die Exposition eines durchschnittlichen Menschen in der Bundesrepublik Deutschland gegenüber diesen abiotischen Medien wird berechnet und einer Vergleichspopulation in Hamburg gegenübergestellt.

Die folgenden Ausführungen beinhalten eine Ableitung der Aufnahmeraten von PCDD/PCDF aus Umweltkompartimenten und Nahrung. Diese Daten werden in der Regel bezogen auf die tägliche Aufnahme des "Trägermediums", z. B. von Fett mit der Nahrung. Daraus werden dann tägliche PCDD/PCDF-Teil- und Gesamtaufnahmemengen abgeleitet.

Als Expositionspfade werden diejenigen Pfade behandelt, die sowohl im Bundesmittel als auch in Hamburg nach derzeitigem Kenntnisstand mehr als 0,2 % zur Gesamtexposition beitragen. Fragen der Akkumulationsmechanismen, der Toxikodynamik und der Metabolismen der PCDD/PCDF im Menschen werden nicht behandelt.

7.3 Ernährung allgemein

Mit dem Lebensalter nimmt die PCDD/PCDF-Belastung menschlicher Organe und Gewebe zu. Die Akkumulationsrate wird durch eine Vielzahl teilweise voneinander abhängiger Faktoren bestimmt, von denen das Lebensalter nur einer ist. Eine ganze Reihe von Einflußgrößen, vor allem jene, die durch die individuell variierenden, nicht quantifizierbaren Stoffwechselwege im Menschen und sein variables Verhalten gegeben sind, können derzeit nicht erfaßt werden.

Es ist anzunehmen, daß Ernährungsgewohnheiten des einzelnen letztendlich für seine PCDD/PCDF-Exposition ausschlaggebend sind. Die PCDD/ PCDF-Exposition wird im Normalfall durch Arbeit, Freizeitbeschäftigungen oder Wohnort nicht wesentlich beeinflußt.

Beschaffenheit, Zusammensetzung und Menge der aufgenommenen Nahrungsmittel als entscheidende Parameter sind einerseits durch das Konsumverhalten des Verbrauchers, andererseits durch die Herkunft, Verarbeitung, Verpackung und Aufbewahrung der Nahrungsmittel bestimmt.

Die **Art und Zusammensetzung** der aufgenommenen Nahrung sind insbesondere abhängig von den persönlichen Gewohnheiten des Menschen wie Geschmack, Aversionen, Unverträglichkeiten, der Schwere der Arbeit, dem Alter und allgemeinen Ernährungstrends. Die **Auswahl von Nahrungsmitteln** ist auch durch den sozialen Status bestimmt, der seinerseits u.a. durch Erziehung, Schulbildung, Arbeit und Einkommen geprägt ist.

Neben der interindividuellen Variabilität der Verzehrsgewohnheiten lassen sich aber auch übergeordnete regionale Gemeinsamkeiten finden. Dieser „**kollektive Geschmack**“ kann unabhängig vom Individuum beschrieben und auch für die Freie und Hansestadt Hamburg herausgearbeitet werden.

Ein weiterer wesentlicher nicht-individueller Faktor ist die **Verfügbarkeit** und Auswahl von Nahrungsmitteln. Diese ist regional unterschiedlich durch die Transportwege und Nachfrage bestimmt.

Eine Ermittlung der Mengen **verbraucher** Lebensmittel ist allerdings eher ein Maß für die Exposition als die Versorgung. **Verluste** - etwa durch Verderb und Zubereitung - werden im vorliegenden Gutachten durch die Multiplikation mit einem „Faktor“ ausgeglichen. Wegen solcher Verluste gelangt ein erheblicher Anteil originär in Lebensmitteln enthaltener PCDD/PCDF nicht zum Menschen, sondern verbleibt primär in der Umwelt/Technosphäre. Die "Verluste" durch industrielle Verarbeitung sind mit 20 % etwa doppelt so groß wie die durch häusliche Zubereitung und Verzehrsgewohnheiten berechneten. Lediglich 70 % der in allen produzierten Lebensmitteln enthaltenen PCDD/PCDF tragen zur Exposition des Menschen als **Verzehr** bei.

Durch die **industrielle Haltbarmachung** von Lebensmitteln wie Räuchern oder Pökeln oder die für die Verarbeitung von Milch und Milchprodukten durch Erhitzung zugelassenen Verarbeitungsverfahren werden die PCDD/PCDF-Gehalte der Nahrungsmittel nicht wesentlich beeinflusst.

Beim **Kontakt mit Papierprodukten** kann eine Kontamination von Lebensmitteln erfolgen. Der Beitrag zur Gesamtbelastung kann 2 % betragen, ist aber möglicherweise nicht mehr relevant, da die Dioxingehalte in Lebensmittelverpackungen heute unter 1 ng I-TEQ/kg liegen.

7.4 Exposition durch Umweltkompartimente

Der Anteil des **Trinkwassers** an der täglichen Exposition des Menschen ist wegen sehr geringer Dioxinkonzentrationen vernachlässigbar. Untersuchungsergebnisse der jüngeren Vergangenheit weisen aus, daß die Dioxinkonzentrationen in der **städtischen Umgebungsluft** zur Zeit im Jahresmittel bei 50 fg I-TEQ/m³ liegen. Diese Annahme ist auch für Hamburg gültig. Bei der Berechnung der Exposition gegenüber PCDD/PCDF aus der Atemluft muß berücksichtigt werden, daß Innenraumluft mit geschätzt 90 fg I-TEQ/m³ im Mittel gegenüber der Außenluft höher belastet ist. Dies führt im Erwachsenen zu einer PCDD/PCDF-Exposition von rd. 1,54 pg I-TEQ/d, ca. 1,3 % der täglichen Gesamtaufnahme.

Die berufliche Tätigkeit unter stark erhöhten PCDD/PCDF-Luftkonzentrationen kann für einzelne Menschen eine erhebliche Bedeutung haben und zu einer Exposition führen, die im Bereich der Aufnahme durch die Nahrung oder höher liegt. Besonders PCDD/PCDF-trächtige Produktionsprozesse bei der Fa. Boehringer & Sohn führten bei einer Anzahl von Arbeitnehmern in Hamburg zu einer beruflichen Dioxinexposition. Bei der Betrachtung eines (aus 1,65 Mio Einwohnern statistisch berechneten) Hamburger Durchschnittsbürgers ist die berufliche Exposition allerdings nicht relevant.

Mit einer im Stadtbereich Hamburgs anzunehmenden mittleren PCDD/PCDF-Belastung des **Bodens** von ca. 10 ng I-TEQ/kg Boden ergibt sich als spezifische Zusatzexposition für das Kleinkind eine PCDD/PCDF-Mehraufnahme von 0,1 pg I-TEQ/d durch das Verschlucken von Bodenpartikeln. Dies ist für das Kleinkind etwa eine Mehraufnahme von 0,2 %. Für den Erwachsenen wird eine vernachlässigbare PCDD/PCDF-Mehraufnahme von 0,01 % berechnet. Die zusätzliche spezifische Exposition durch höhere PCDD/PCDF-Bodenkonzentrationen in Hamburg (wie auch teilweise in anderen Großstädten) besteht nur theoretisch; sie wird sich im Menschen nicht meßbar niederschlagen.

Eine direkte Abhängigkeit zwischen PCDD/PCDF-Konzentrationen in Textilien und Haut kann nachgewiesen werden. Der Anteil der für den Menschen nach **dermalen**

Resorption durch die intakte Haut verfügbaren PCDD/PCDF ist nicht abschließend geklärt und nach derzeitigem Wissen zu vernachlässigen.

7.5 Ernährung im Bundesdurchschnitt

Die wichtigsten Aufnahmepfade für PCDD/PCDF sind die Nahrungsmittelgruppen Milch und Milchprodukte, Fleisch und Fleischwaren sowie Fisch und Fischprodukte. Mit diesen Lebensmittelgruppen allein werden täglich vom erwachsenen Menschen über 100 pg I-TEQ aufgenommen.

7.5.1 Milch und Milchprodukte

Die Aufnahme von PCDD/PCDF mit Milch und Milchprodukten beträgt täglich rd. 42 pg I-TEQ und erfolgt zu drei Vierteln allein durch den Verzehr von Butter, Käse und Trinkmilch (siehe Abbildung 1).

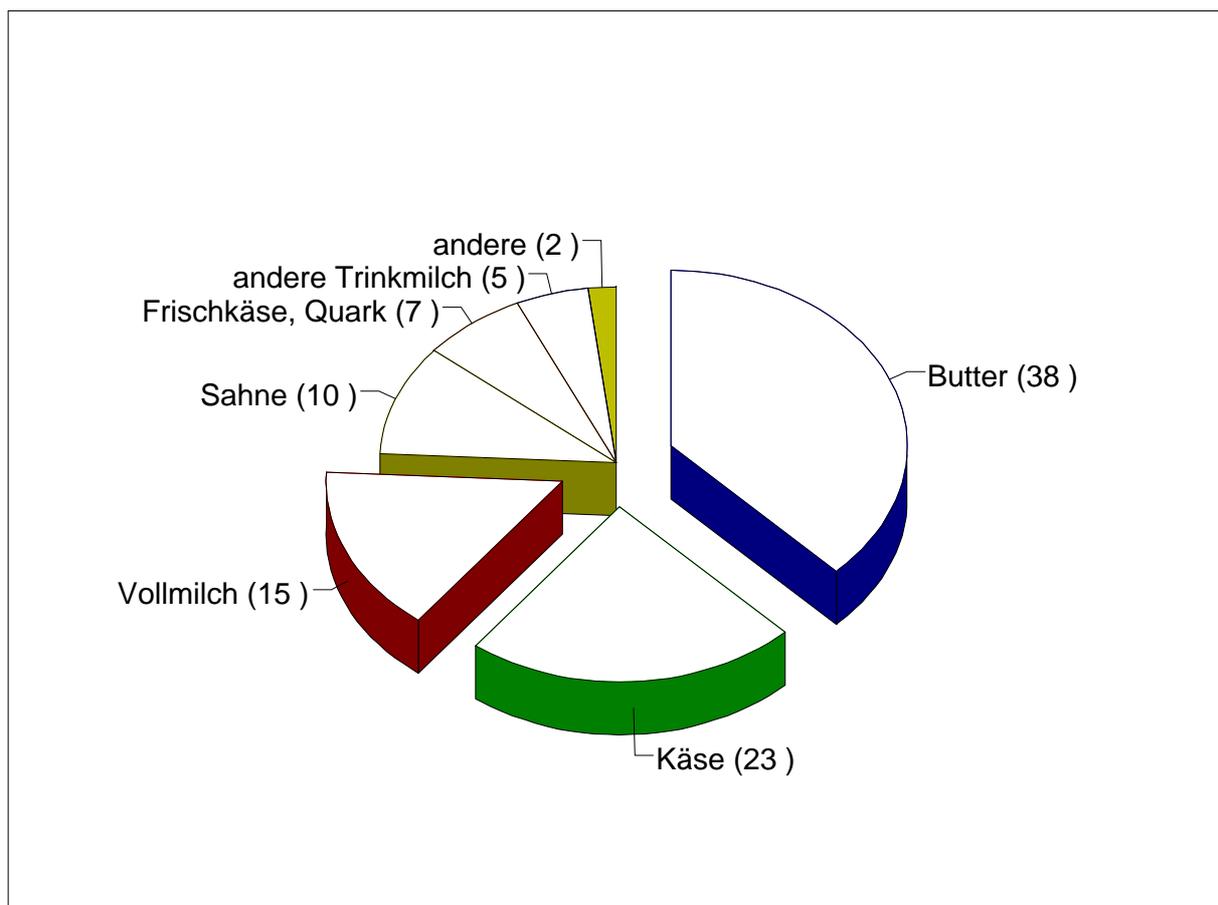


Abbildung 1: Prozentualer Anteil verschiedener Milchprodukte an der PCDD/PCDF-Gesamtaufnahmerate mit dieser Gruppe (42 pg I-TEQ/d)

7.5.2 Fleisch und Fleischprodukte

Die Aufnahme von PCDD/PCDF mit Fleisch und Fleischwaren beträgt täglich rd. 35 pg I-TEQ und erfolgt zu zwei Dritteln allein durch den Verzehr von Brüh- und Kochwurst, Rindfleisch und Rohwurst (siehe Abbildung 2).

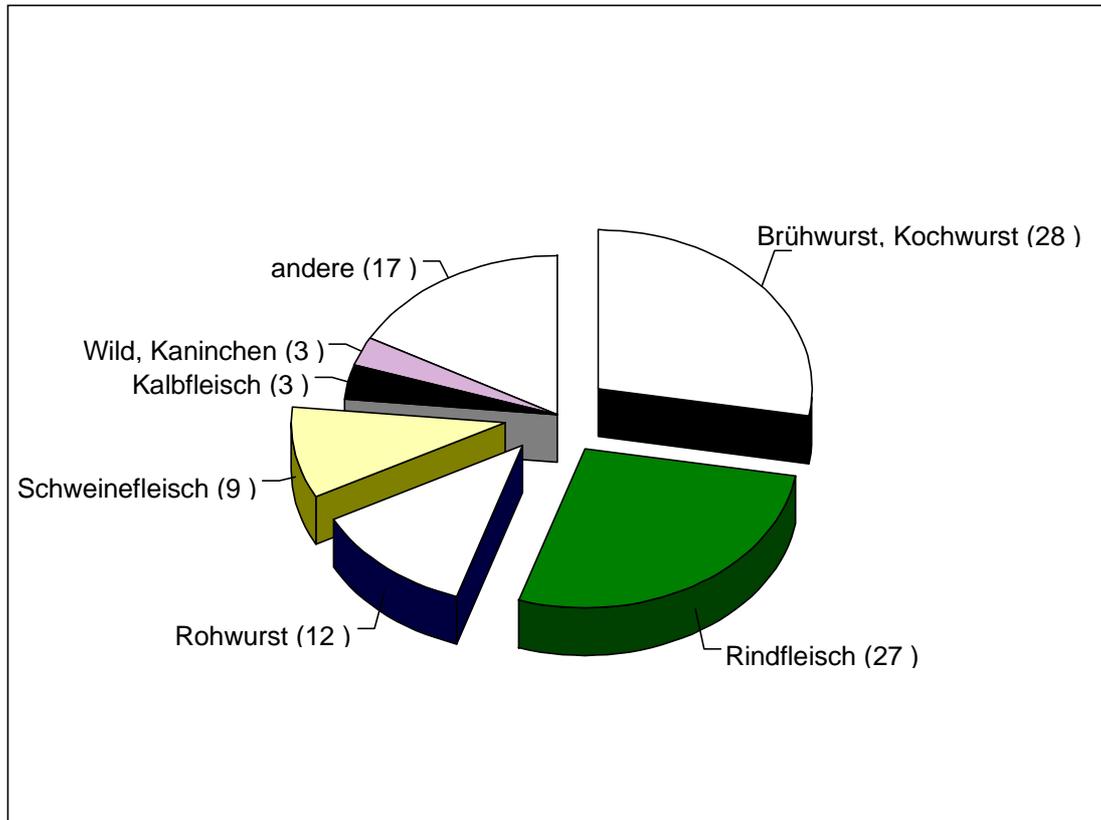


Abbildung 2: Prozentualer Anteil verschiedener Fleischprodukte an der PCDD/PCDF-Gesamtaufnahmerate mit dieser Gruppe (35 pg I-TEQ/d).

7.5.3 Fisch und Fischprodukte

Die wesentliche Quelle von PCDD/PCDF beim Verzehr von Fischprodukten (insgesamt 25 pg I-TEQ/d) ist der Verzehr von Heringen; dies ist sowohl durch den großen Marktanteil als auch durch die relativ hohen PCDD/PCDF-Konzentrationen in Heringen bedingt (siehe Abbildung 3).

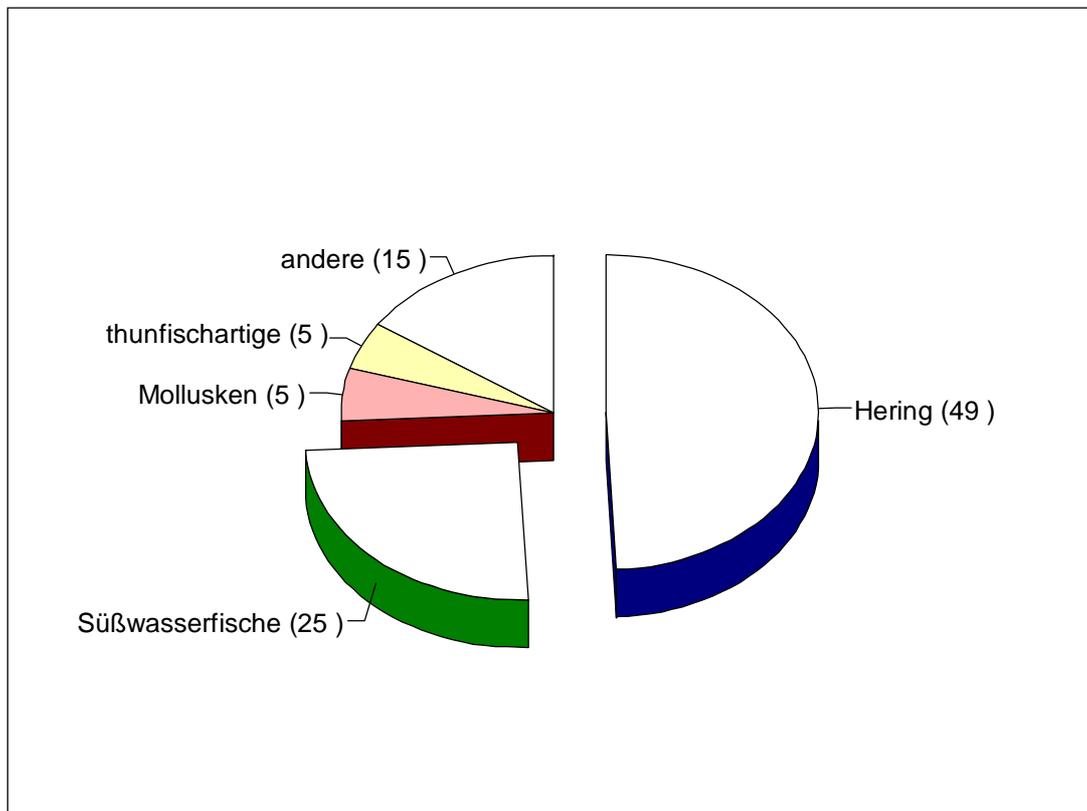


Abbildung 3: Prozentualer Anteil verschiedener Meeres- und Süßwasserfische inkl. Fischprodukten an der PCDD/PCDF-Gesamtaufnahmerate mit dieser Gruppe (25 pg I-TEQ/d).

7.5.4 Andere Nahrungsmittel

Die mittlere Aufnahme von PCDD/PCDF aus **Eiern** beträgt für einen durchschnittlichen Menschen täglich ca. 6,2 pg I-TEQ, aus **Speisefetten** 0,8 pg I-TEQ. Aus **Gemüsen und Salaten** werden 2,7 pg I-TEQ/d aufgenommen; aus **Früchten und Südfrüchten** 1,8 pg I-TEQ/d und aus **Getreideprodukten und Grundnahrungsmitteln** 2,4 pg I-TEQ/d.

Zusammen mit den aus den Umweltmedien Wasser, Luft und Boden stammenden Frachten ergeben sich die relativen Anteile aller Pfade an der PCDD/PCDF-Exposition entsprechend Abbildung 4.

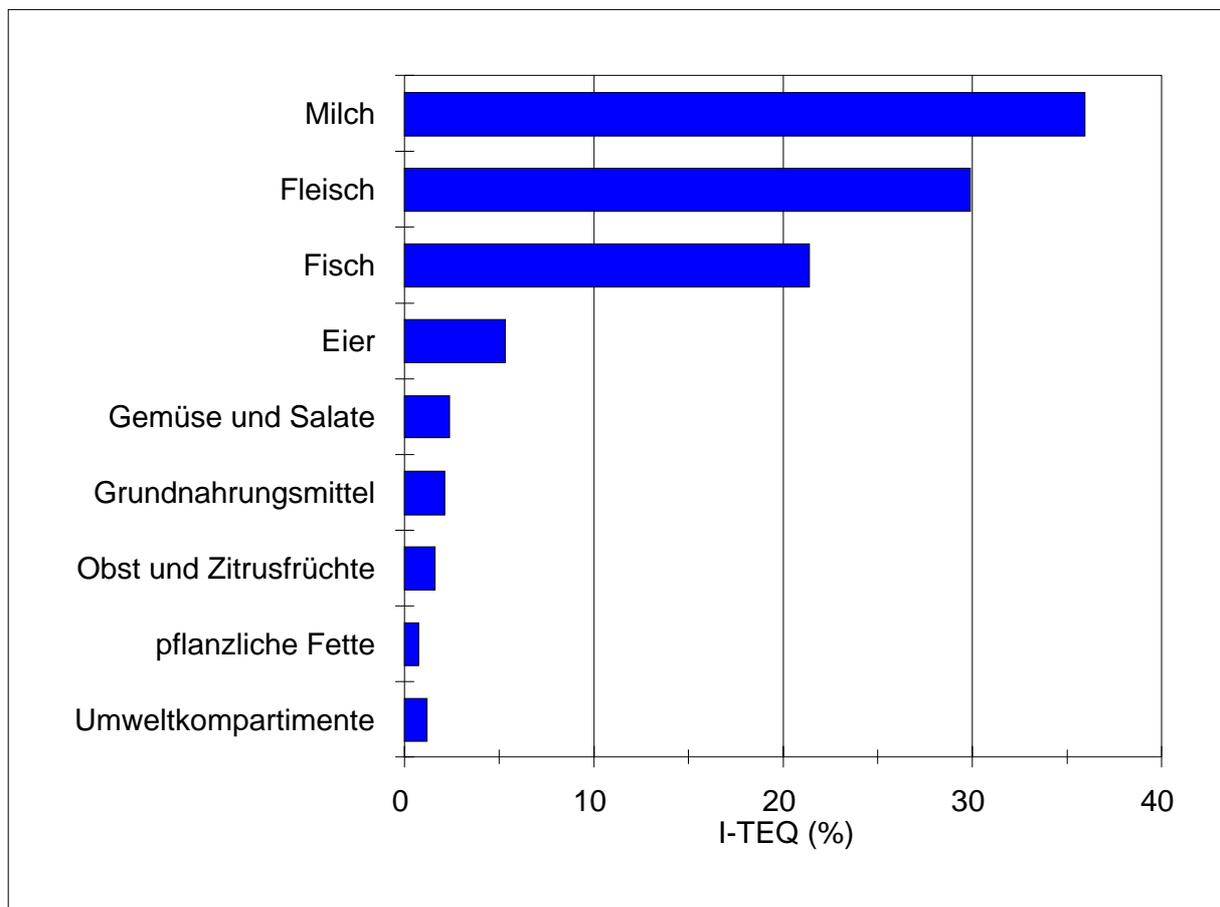


Abbildung 4: Prozentualer Anteil wesentlicher Pfade an der Aufnahme von PCDD/PCDF im Bundesdurchschnitt.

7.6 Massen- und Dioxinbilanz des Menschen

Die absolute und relative Dioxinexposition des Menschen ist als Funktion des Lebensalters (zusammen mit dem Körpergewicht) in der Abbildung 5 dargestellt.

Die höchste absolute Fettaufnahme und damit auch PCDD/PCDF-Exposition weisen Jugendliche auf; hier verzehren die 13- bis 14jährigen Mädchen täglich 96, die 15- bis 18jährigen Jungen 124 g Fett. Die relative tägliche Dioxinexposition der Jugendlichen liegt bei 2-3 pg I-TEQ/(kg KG-d). Vom 4.-10. Lebensjahr werden 3-5 pg I-TEQ/(kg KG-d) aufgenommen. Als Sonderfall muß der brustmilchernährte **Säugling** angesehen werden. Für ihn errechnet sich eine mittlere Exposition je nach Stilldauer von 131-166 pg I-TEQ/(kg KG-d).

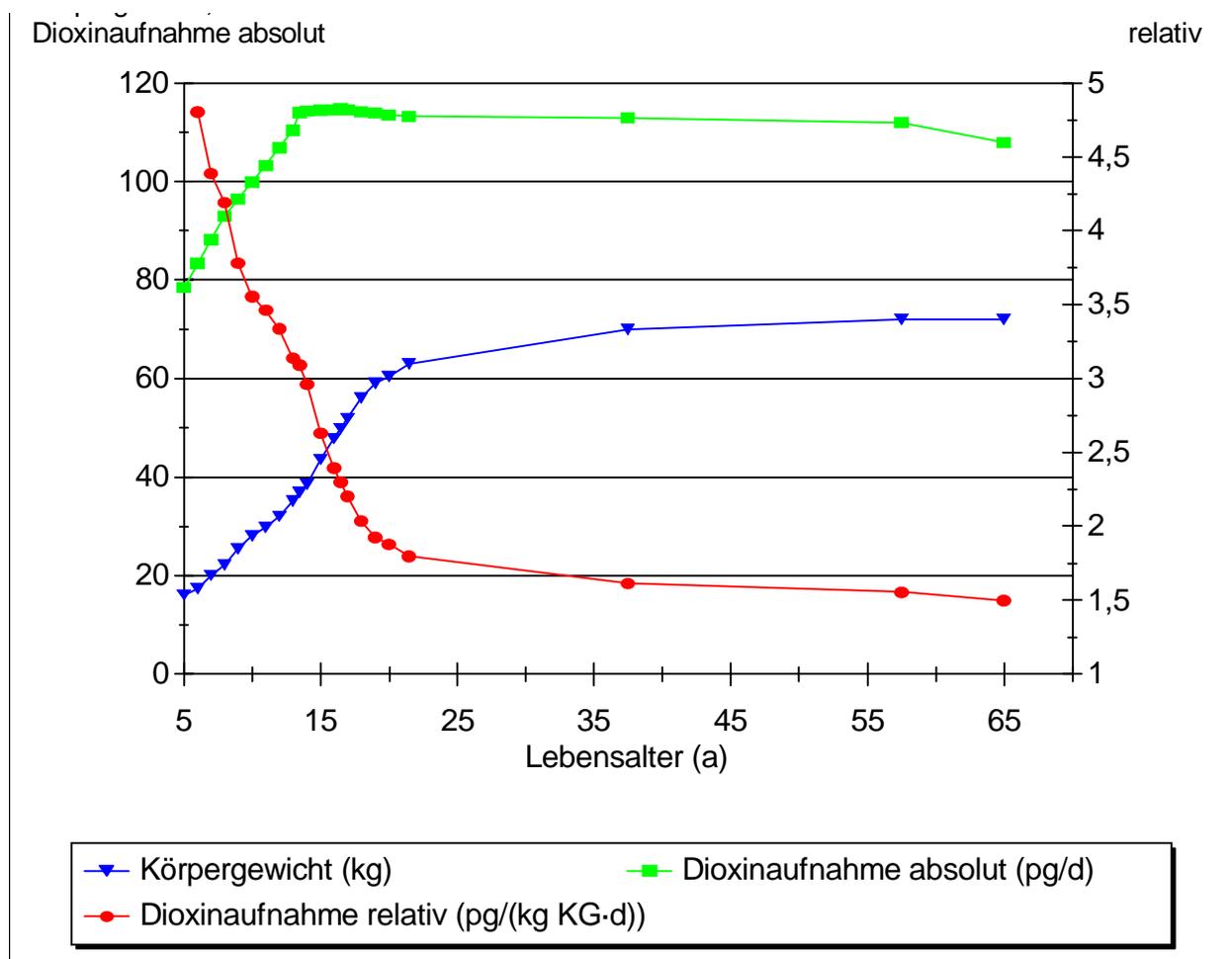


Abbildung 5: Entwicklung des Körpergewichts mit dem Alter sowie absolute und relative Dioxinaufnahme mit der Nahrung (alle Angaben in I-TEQ)

Die PCDD/PCDF-Nettoaufnahme der durchschnittlichen erwachsenen Bevölkerung beträgt ca. 40 % der Gesamtaufnahme, also rd. 45-50 pg I-TEQ/d. Bei einem mittleren Körpergewicht von 70,7 kg für Erwachsene wurde eine Akkumulation von 0,8-0,9 ng I-TEQ/kg Körperfett und Jahr empirisch abgeleitet, ein Wert, der im Bereich anderer Untersuchungen liegt. Der **Eintrag** von PCDD/PCDF **in die Haushaltsabwässer** aus Faeces liegt etwa bei 70 pg I-TEQ je Tag und erwachsenem Einwohner. Für eine Bilanzierung ist die Ausscheidung mit Urin vernachlässigbar.

Mit der **Muttermilch** wird während der Stillperiode täglich eine Fracht von 10 pg I-TEQ/kg KG ausgeschieden; nur ein Bruchteil dessen wird über Nahrung und Umwelt durch die Mutter wieder aufgenommen, so daß die Gesamtbilanz der Mutter für Jahre negativ bleibt.

Die mit Hauptwohnsitz in Hamburg gemeldeten **Menschen** (1,65 Mio.) enthalten unter Berücksichtigung des Lebensalters ein Dioxininventar von rund 600 mg I-TEQ. Es resultiert durch Bestattungen ein Eintrag von rd. 880 ng I-TEQ je bestattetem Mensch (in der Regel ältere Menschen mit höheren PCDD/PCDF-Gehalten) in den Boden und ein Eintrag von jährlich rd. 5 mg I-TEQ in Friedhofsböden. Durch Einäscherungen entstehen je 260-1.300 ng I-TEQ (gesamt 4,2-21 mg I-TEQ/a).

Die aus dem Verderb von Lebensmitteln und der häuslichen Zubereitung resultierenden **Lebensmittelabfälle** sowie **Speisereste** sind eine eher geringere Dioxinsekundärquelle im Haushalt. Es fallen ca. 23 pg I-TEQ pro Einwohner und Tag an. Hier von werden beim Geschirrspülen und Verwerfen von flüssigen Lebensmitteln rd. 8 pg I-TEQ/d in das Haushaltsabwasser eingetragen. Auf den Hausmüll und die Kompostierung entfallen 10 bzw. 2 pg I-TEQ/d und Einwohner. Ein Rest von 3 pg I-TEQ/d je Einwohner wird an Hunde und Katzen verfüttert.

Eine weitere Quelle der Dioxinbelastung von Haushaltsabwässern resultiert aus **Haut und Hautanhangsgebilden**, die beim Duschen oder Baden in das Abwasser eingebracht werden. Die in das Waschwasser eingetragenen Dioxinfrachten, die aus anderen Quellen als der Nahrung - z.B. Textilien - stammen, betragen etwa 40 pg I-TEQ pro Person und Tag.

Aus verschiedenen Modellszenarien zur Dioxinaufnahme mit der Nahrung und der Anreicherung der PCDD/PCDF im Körperfett geht hervor, daß bei einer über viele Jahre stattfindenden Dioxinaufnahme von ca. 120 pg I-TEQ pro Mensch und Tag die Konzentrationen des Menschen nicht in Übereinstimmung mit in der Literatur berichteten PCDD/PCDF-Gehalten liegen würden. Die heutzutage tatsächlich gemessenen Dioxinkonzentrationen im Blut und in der Muttermilch können nur durch zwei unterschiedliche Annahmen erklärt werden:

- 1) Die Halbwertszeiten der Dioxine im Körper sind wesentlich länger (> 50 Jahre) als bisher in der Literatur berichtet. Konzentrationsveränderungen im Körper wären bei der Vermutung sehr langer Halbwertszeiten und bei konstanten Aufnahme-

und Ausscheidungsraten nicht innerhalb weniger Jahre feststellbar. Dies widerspricht ganz klar dem in den letzten Jahren in Deutschland verzeichneten Rückgang von PCDD/PCDF in Blutfett und Muttermilch.

- 2) Die Aufnahme von PCDD/PCDF mit der Nahrung war in früheren Jahren wesentlich höher. Ausscheidungs- und Abbauraten im Körper sind dagegen nicht von heute abgeleiteten Eliminierungsraten verschieden. Aktuelle Körperfettkonzentrationen können bei den bekannten Halbwertszeiten somit nur durch eine **Netto**-aufnahme von mindestens 160 pg I-TEQ pro Mensch und Tag erklärt werden, also etwa 3 - 4 mal höher als heute.

Die Annahme 1) kann beim derzeitigen Kenntnisstand wissenschaftlich nicht begründet werden. Aus der Annahme 2) ergibt sich, daß in der Vergangenheit eine Gesamtaufnahme mit der Nahrung von bis zu ungefähr 400 pg pro Tag stattgefunden haben muß. Dies deckt sich mit anderen Hinweisen, daß die Dioxinbelastung über die Nahrung in den 60er und 70er Jahren wesentlich höher als heute war. Dies gilt sowohl für die Bevölkerung Hamburgs wie auch für andere Regionen der Bundesrepublik Deutschland.

7.7 PCDD/PCDF-Exposition des Hamburger Erwachsenen im Vergleich

7.7.1 Nahrungsaufnahme

Im Vergleich dreier Großstädte (Hamburg, Düsseldorf und München) fällt für Hamburg auf (vgl. Abbildung 6):

- ein deutlich geringerer Verzehr an Fleisch- und Wurstwaren,
- ein geringerer Verzehr an Eiern,
- ein erheblich höherer Verzehr an Fisch- und Fischwaren,
- ein höherer Verzehr von Milch- und Milchprodukten inkl. Butter,
- ein höherer Verzehr von Südfrüchten.

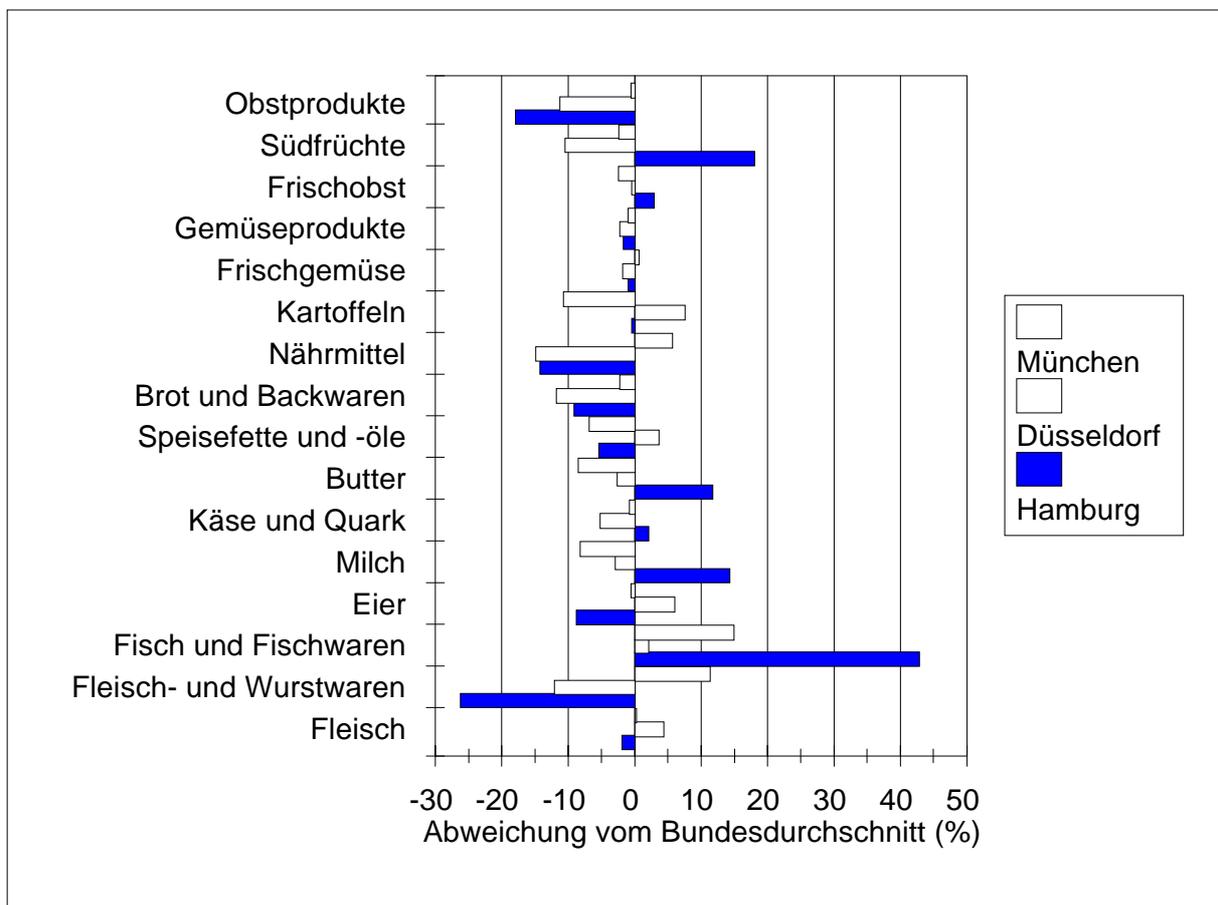


Abbildung 6: Verzehrmengen verschiedener Lebensmittel (g Trockenmasse bzw. Frischgewicht) in Hamburg, Düsseldorf und München als Abweichung vom Bundesdurchschnitt (%).

Diese Differenzen (siehe Abbildung 7) lassen sich nach Kenntnis der PCDD/PCDF-Konzentrationen in der Frischmasse bzw. in den einzelnen Nahrungsmittelfetten weiter zu den Differenzen in der Gesamt-PCDD/PCDF-Aufnahme verrechnen (siehe Abbildung 8).

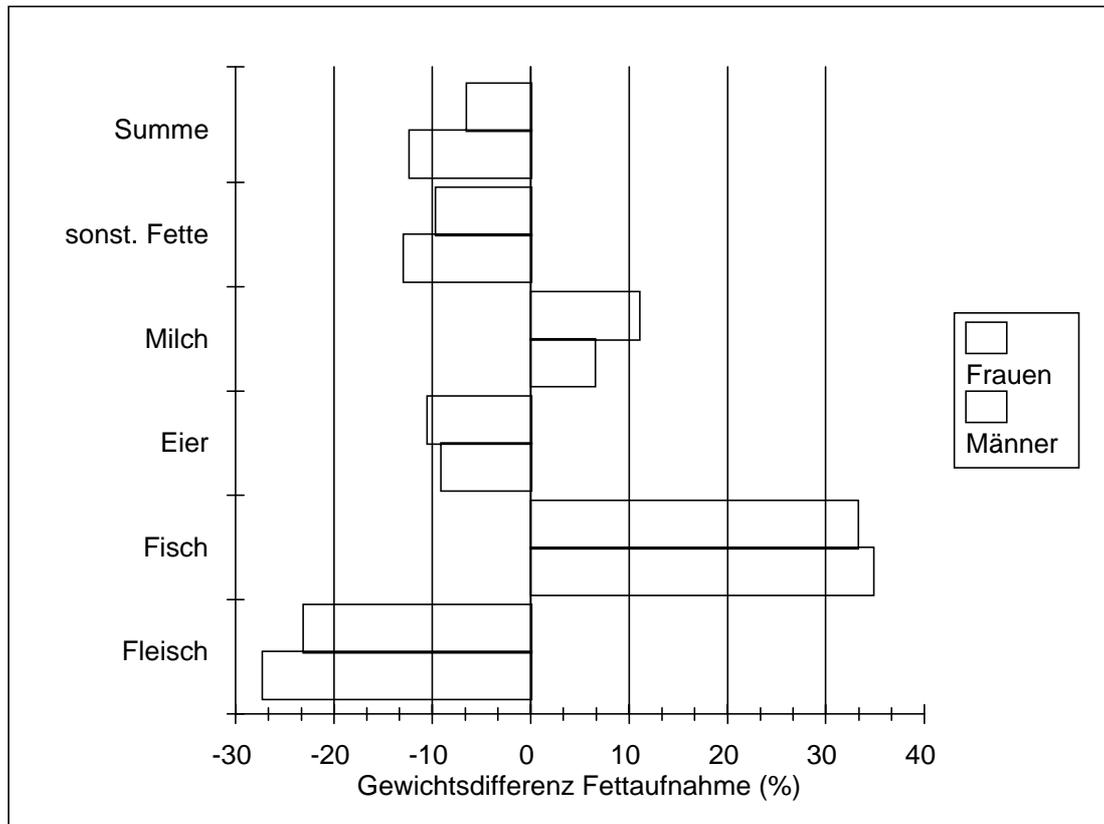


Abbildung 7: Differenz der verzehrten Fette für Hamburger Frauen und Männer als Abweichung vom Bundesdurchschnitt (%).

Der tägliche Fettverzehr liegt im Bundesdurchschnitt für die erwachsene Frau bei ca. 90 g, für erwachsene Männer bei 115-120 g. In Hamburg werden im Mittel rd. 10 % Fette weniger aufgenommen als im Bundesdurchschnitt, wobei die relative Mehraufnahme von Fetten aus Fisch und Milch entscheidend für eine mögliche andere PCDD/PCDF-Aufnahme sein kann, da die Lebensmittel sehr unterschiedlich belastet sind. Fleisch und Fleischwaren weisen mittlere Dioxinkonzentrationen von 0,8 ng I-TEQ/kg Fett auf; Rind- und Kalbfleisch sowie Innereien sind überdurchschnittlich belastet (2,7-7,4 ng I-TEQ/kg Fett). Milchprodukte enthalten gleichmäßige Belastungen von rd. 1,5 ng I-TEQ/kg Fett. Die höchsten Dioxingehalte finden sich mit ca. 20 ng I-TEQ/kg im Fischfett.

Die Aufnahme von PCDD/PCDF aus **Milch und Milchprodukten** liegt in Hamburg um 7,8 % über dem Bundesdurchschnitt. Auch im Vergleich mit den beiden anderen

Großstädten liegt der Verzehr der genannten Produkte und damit die relative Dioxin-aufnahme höher. Die Unterschiede sind vergleichsweise gering und nicht durch die PCDD/PCDF-Belastung der Nahrungsmittelgruppe, sondern durch die Verzehrsgewohnheiten bedingt.

Der **Fleischverzehr** liegt für Hamburg zwischen 15 und 40 % unter dem des Bundesdurchschnitts, was teilweise durch einen etwas höheren Hackfleischverzehr (+7 %) kompensiert wird. Auch der Verzehr von Fleisch- und Wurstwaren ist um 30 % geringer als im Bundesdurchschnitt. Mehr als im Bundesdurchschnitt (+16 %) wird Geflügelfleisch verzehrt. Die Gesamtfettaufnahme mit Fleisch ist um 25 % und die hiermit vermittelte PCDD/PCDF-Aufnahme um 22 % geringer als im Bundesdurchschnitt.

Die Dioxinexposition aus **Eiern** in Hamburg liegt um 10 % unter dem Bundesdurchschnitt. Unterschiede in der PCDD/PCDF-Aufnahme mit **Speisefetten** (- 8,5 %) können vernachlässigt werden.

Vor allem der Fettverzehr mit **Schalen- und Krustentieren** (+160 %) und **Fisch** (+50 %) liegt für den Hamburger deutlich über dem Bundesdurchschnitt. Der Fettverzehr und die hieraus abgeleitete PCDD/PCDF-Aufnahme liegt für den erwachsenen Hamburger um 37 % über dem Bundesdurchschnitt. Der Verzehr von Fisch und Fischprodukten erweist sich somit für den Hamburger hinsichtlich der PCDD/PCDF-Aufnahme als herausragende Größe.

Der Einfluß der PCDD/PCDF-Konzentrationen in **Gemüsen** auf die PCDD/PCDF-Aufnahme ist sehr gering. Er wird hier nicht weiter betrachtet. Schätzungen zeigen eine wahrscheinliche hamburgspezifische tägliche PCDD/PCDF-Mehrexposition durch den Verzehr von **Grünkohl** in Höhe von rd. 2 % gegenüber dem Bundesdurchschnitt.

Es werden in Hamburg im Vergleich zum Bundesdurchschnitt erheblich weniger **Obstprodukte** (- 18 %) verzehrt. Der Verzehr an **Südfrüchten** liegt dagegen um 18 % über dem Bundesdurchschnitt; insbesondere im Vergleich mit den Städten Düsseldorf und München (-10 % bzw. -2 %) darf dies als ein Spezifikum von Hamburg angesehen werden. Für die PCDD/PCDF-Aufnahme ergibt sich eine Mehraufnahme von 6 % innerhalb der Kategorie Obst und Gemüse gegenüber dem Bundesdurchschnitt, was absolut betrachtet unerheblich ist. Getreideprodukte und Grundnahrungsmittel können ebenso vernachlässigt werden.

Aus den Differenzen im Fettverzehr der "stärker fetthaltigen" bzw. den Frischmassen der "weniger fetthaltigen" Lebensmittel läßt sich die PCDD/PCDF-Aufnahme durchschnittlicher Hamburger Erwachsener ableiten. Das Ergebnis dieses Vergleichs ist in Tabelle 22 und in Abbildung 8 dargestellt.

Tabelle 22: Dioxinaufnahme eines erwachsenen Hamburger Menschen (25- bis 50jährig, 70,7 kg KG) aus Nahrungsmitteln im Vergleich zum Bundesdurchschnitt; die in Spalte 5 angegebenen Zahlen beziehen sich auf gerundete Zahlen in den Spalten 2-4.

	Bund (pg I-TEQ/d)	Hamburg (pg I-TEQ/d)	Differenz der PCDD/PCDF-Exposition	
			absolut (pg I-TEQ/d)	im Verzehr (%)
aus Fleisch, Fleisch- und Wurstwaren	34,6	26,9	-7,7	-22,2
aus Fisch	24,6	33,6	9,0	36,6
aus Eiern	6,2	5,6	-0,6	-9,7
aus Milch	42,2	45,5	3,3	7,8
aus sonstigen Fetten	0,8	0,8	0,0	0,0
aus Brot, Teigwaren, Nährmitteln	2,4	2,2	-0,2	-8,3
aus Gemüse	2,7	2,7	0,0	0,0
aus Obst	1,7	1,9	0,2	11,8
Summe aus fetthaltigen Lebensmitteln	108,4	112,4	4,0	3,7
Gesamt	115,2	119,2	4,0	3,5
pro kg KG	1,63	1,69		

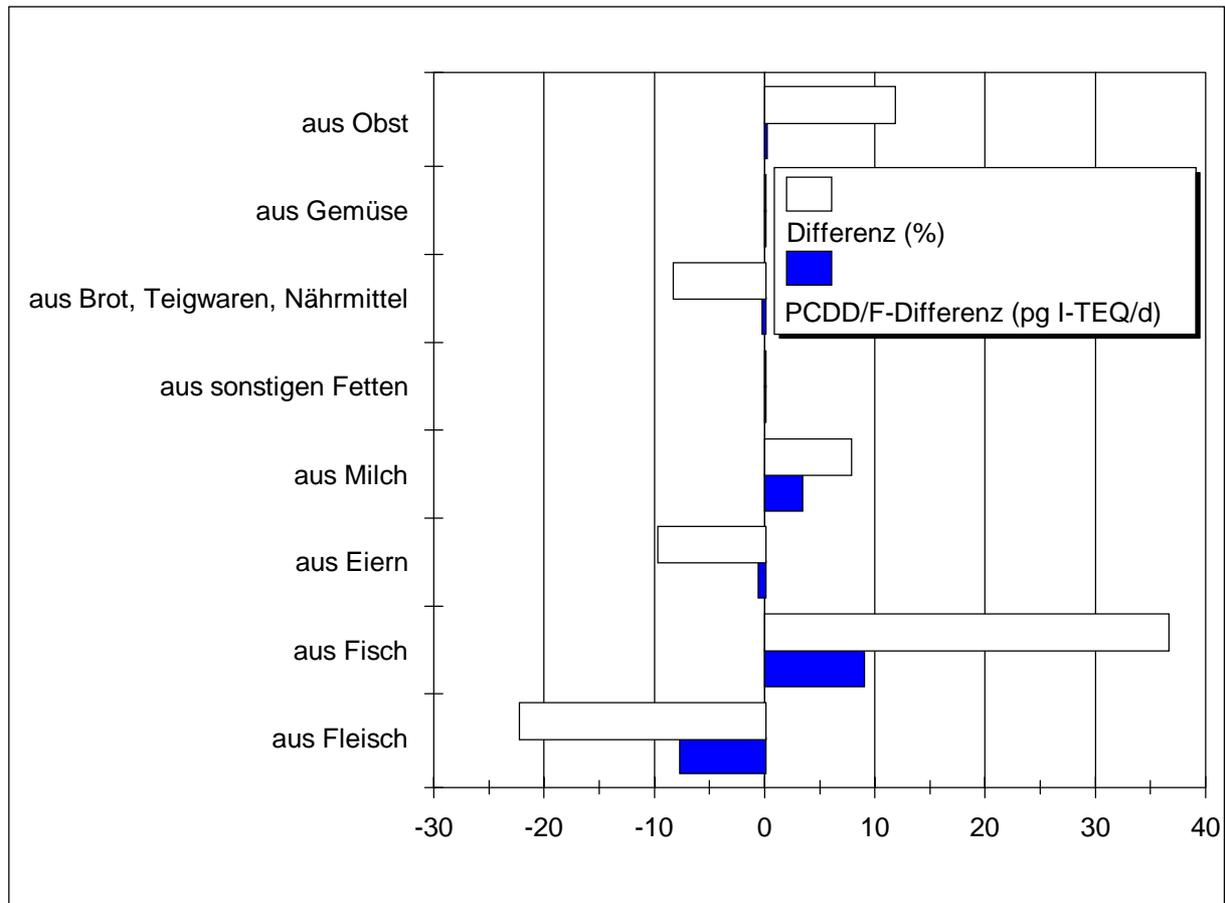


Abbildung 8: Relative (%) und absolute (pg I-TEQ/d) Differenz der Aufnahme von PCDD/PCDF aus einzelnen Lebensmittelgruppen durch einen erwachsenen Hamburger Menschen nach Tabelle 22.

Hinsichtlich der **Genußmittel und Süßwaren** wird von einer täglichen Aufnahme von 0,5 pg I-TEQ/d aus Papier für den Kaffeetrinker ausgegangen. Die Fettaufnahme aus Süßwaren liegt in Hamburg wie im Bundesmittel bei 4,6 g/d, darunter fallen jedoch nicht nur schokoladehaltige Süßwaren. Im Mittel werden täglich rd. 1 pg I-TEQ aus Süßwaren aufgenommen.

7.7.2 Weitere Einflußgrößen

Unterschiede im Ernährungsverhalten in **Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte** wurden ebenfalls untersucht. Eine Gegenüberstellung der Fettaufnahme von Hamburgerinnen/Hamburgern mit Personen aus Gebieten geringerer Bevölkerungsdichte zeigt für die Hamburger eine um 8-16 % geringere Fettaufnahme. Eine überschlägige Berechnung ergab eine um mehr als 10 % geringere PCDD/PCDF-Aufnahme in Hamburg.

Ein Zusammenhang zwischen **Schulbildung und Fettaufnahme** kann angenommen werden. Hochschulabsolventen nehmen zwischen 8 und 10 % weniger Fette auf als Hauptschulabsolventen. Die Hauptaufnahmepfade für PCDD/PCDF verschieben sich mit steigendem Bildungsniveau von Fleisch und Wurstwaren zu den Milchprodukten (siehe Abbildung 9). Hieraus wird abgeleitet, daß neben einer soziokulturellen und einer regionalen Beeinflussung des Ernährungsverhaltens auch die Schulbildung ein wichtiger Prädiktor für die durchschnittliche PCDD/PCDF-Aufnahme mit Lebensmitteln sein kann.

Für den durchschnittlichen **Raucher** ergibt sich eine durchschnittliche über die Gesamtexposition hinausgehende Zusatzexposition von 2,2 pg I-TEQ/d (1,9 %). Unter Modellbedingungen mit drei Zigaretten/h ergibt das Rauchen um rd. 15 % höhere PCDD/PCDF-Raumluftkonzentrationen. Der mehrstündige Aufenthalt in verrauchten Räumen ist daher als Expositionspfad zu betrachten, tritt aber gegenüber anderen Quellen deutlich in den Hintergrund. Am Arbeitsplatz sind derzeit noch rd. 30 % der Beschäftigten Passivraucher.

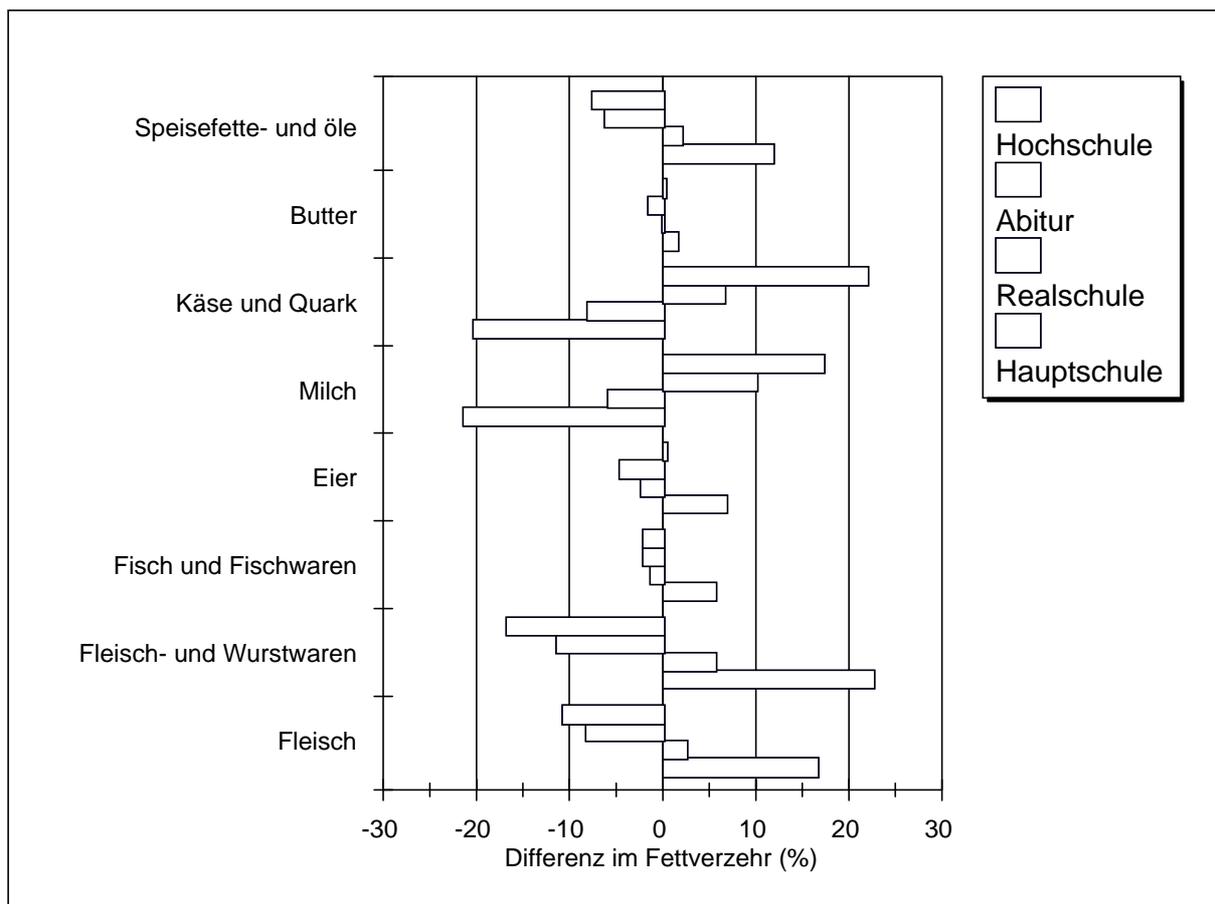


Abbildung 9: Unterschiede im Fettverzehr nach Schulabschluß und ausgewählten Lebensmittelgruppen, relativ zum durchschnittlichen Verzehr (%).

8 HANDELSGÜTER UND PRODUKTE

In diesem Abschnitt soll abgeschätzt werden, inwieweit der Verkehr mit Handelsgütern in Hamburg zur Dioxinbilanz des Bundeslandes beiträgt. Da für einige Güter und Produkte die Massenbilanz negativ ist (höhere Ausfuhr- als Einfuhrmengen nach Hamburg) ergeben sich auch in der Dioxinbilanz teilweise negative Werte.

Für die Summe aller im Handel befindlichen **Hölzer** sowie bei **Kork** muß - insbesondere wegen der derzeitigen Unkontrollierbarkeit der vorausgegangenen Behandlung mit Holzschutzmitteln wie Pentachlorphenol - mit gelegentlich stark belasteten Chargen gerechnet werden. Da andererseits ein nicht unbeträchtlicher Anteil aus frischen unbelasteten Hölzern besteht und die Pentachlorphenol-Konzentrationen in Abfallhölzern 1994 bereits relativ niedrig lagen, wurde hier für alle Hölzer und Kork ein Gehalt von 10 ng I-TEQ/kg angenommen. Daraus errechnet sich ein jährlicher Import von

520 mg I-TEQ.

Die PCDD/PCDF-Konzentrationen in **Papier, Zellstoff, Pappen und Verpackungspapieren** sind sehr unterschiedlich. Während für Papiere und Pappen ca. 1 ng I-TEQ/kg angenommen werden kann, liegen Zellstoffkonzentrationen niedriger (0,3-1 ng I-TEQ/kg) und die von Altpapier (5-10 ng I-TEQ/kg) deutlich darüber. Unter Berücksichtigung aller Fraktionen ergibt sich eine negative Bilanz (d.h. ein Dioxinexport) von

- 130 mg I-TEQ/a.

Belastungen **mineralischer Baustoffe** liegen nicht über dem Niveau gering belasteten Bodens. Ein mittlerer Dioxingehalt von ca. 1 ng TEQ/kg wird für unbelastete mineralische Baustoffe als repräsentativ angesehen. Eine Abhängigkeit der Dioxingehalte von der Art der Baustoffe ist nicht zu erkennen.

Eine Dioxinbelastung mineralischer Baustoffe erfolgt in der Regel erst durch den Gebrauch des Bauwerks, z.B. auf Innenflächen von Kaminen oder Hausfassaden. Nennenswerte Konzentrationen von PCDD/PCDF können daher bei Abrißarbeiten von Gebäuden besonderer Nutzung auftreten.

Durch den Handel mit mineralischen Baustoffen ergibt sich ein Nettoimport von

1.090 mg I-TEQ/a.

Der Umschlag von **Mineralölen** und die Erzeugung von **Mineralölprodukten** hat für Hamburg eine große Bedeutung. Mehr als die Hälfte der deutschen Schmierölproduktion erfolgt in der Hansestadt.

PCDD/PCDF-Konzentrationen liegen meist unterhalb der Nachweisgrenzen, bei Dieselmotorkraftstoff < 0,3 ng I-TEQ/kg, bei Ottomotorkraftstoff < 0,002 ng I-TEQ/kg. Für Motoröl wurde eine Dioxinkonzentration von 1,4 ng I-TEQ/kg gemessen.

Allgemein kann davon ausgegangen werden, daß Rohöle und ungebrauchte Mineralölprodukte - wenn überhaupt - nur geringe PCDD/PCDF-Konzentrationen aufweisen. Für die Massenbilanz wird mit einer mittleren Konzentration von 0,1 ng I-TEQ/kg für alle Mineralöle und Mineralölerzeugnisse gerechnet.

Der Dioxingehalt in der Mineralölverarbeitung anfallenden Prozeßgasen (Raffineriegas) wird mit 0,01 ng I-TEQ/kg angesetzt. Die Bilanz der Warengruppe Mineralöl und Mineralölprodukte beträgt

580 mg I-TEQ/a.

Zu Konzentrationen von PCDD/PCDF in **Brennstoffen für den Hausbrand** liegen keine Untersuchungen vor. Sie wurden mit 1 ng I-TEQ/kg angenommen, so daß sich eine Bilanz ergibt von

80 mg I-TEQ/a.

Für die Bilanzierung der Stoffströme der PCDD/PCDF mit **Chemikalien** und **Kunststoffen** als Handelsgüter wird ebenfalls eine mittlere Dioxinkonzentration von 1 ng I-TEQ/kg in diesen Materialien angenommen. Die negative Bilanz beträgt

- 990 mg I-TEQ/a.

Im Rahmen des Verarbeitungsprozesses von **Erzen** (geschätzter Dioxingehalt 0,1 ng I-TEQ/kg) entstehen hohe Temperaturen, so daß für **Stahl** und **Gießereierzeugnisse** lediglich 0,01 ng I-TEQ/kg angenommen werden. In handelsüblichen Eisen- und Nichteisenprodukten, Metallabfällen und Schrotten sind neben dem Metallanteil vor allem auch Lacke, Kondensatoren auf Leiterplatten, Kabelummantelungen und Kunststoffanteile vorhanden, so daß hierfür ein PCDD/PCDF-Gehalt von im Mittel 1 ng I-TEQ/kg angenommen wird. Bei der Verbrennung oder Aufarbeitung bergen diese Abfälle ein erhebliches PCDD/PCDF-Bildungspotential, was jedoch im Sinne des Warenhandels nicht berücksichtigt wird. Es wurde ein Inventar von

740 mg I-TEQ/a

errechnet.

Zur Bilanzierung von **Textilien** wurde für textile Rohware eine PCDD/PCDF-Konzentration von 0,2 ng I-TEQ/kg, für handelsfertige Textilien von 1 ng I-TEQ/kg angesetzt.

Bei Lederwaren setzt sich nicht mit PCP behandelte Ware zunehmend durch, so daß für Leder ebenfalls mit 1 ng I-TEQ/kg gerechnet werden kann. (Nur ältere Lederwaren werden mit 10 ng I-TEQ/kg bewertet, siehe Kapitel 9). Die Bilanz beträgt

420 mg I-TEQ/a.

Fahrzeuge und Maschinen wurden entsprechend den etwaigen Einsatzstoffen und deren spezifischen PCDD/PCDF-Gehalten bewertet; es ergibt sich eine Bilanz von

- 290 mg I-TEQ/a.

Für die Dioxinbilanz von **Futtermitteln, Lebensmitteln und Genußmitteln** werden in tierischen Lebensmitteln für den menschlichen Verzehr im Mittel 3 ng I-TEQ/kg Fett und 11,5 % Fettgehalt angenommen. Für pflanzliche Nahrungsmittel wird von 0,02 ng I-TEQ/kg und für Genußmittel von 1 ng I-TEQ/kg ausgegangen. Die Bilanz beträgt

510 mg I-TEQ/a.

Zusätzlich sind Dioxinfrachten mit der **Verpackung** gegeben. Es zeigt sich, daß die PCDD/PCDF-Frachten vor allem durch den Holzanteil bzw. durch den Papieranteil der Verpackung verursacht sind. Metalle, Textilien und Kunststoffe spielen eine untergeordnete Rolle. Das Inventar für Verpackungen beträgt

870 mg I-TEQ/a.

Die PCDD/PCDF-Bilanz für Handelsgüter und Verpackungen weist einen **Nettoimport** von

3.400 mg/a

aus.

Die Gesamtbilanz der Handelsgüter ist in der Tabelle 23 zusammengefaßt.

Tabelle 23: Dioxin-Bilanz für den Transport von Handelsgütern nach Hamburg und aus Hamburg heraus (negative Zahlen aufgrund negativer Handelsbilanz)

Warenkategorie	PCDD/PCDF (mg I-TEQ/a)
Holz und Kork	520
Papier, Zellstoff und Pappe	-130
mineralische Baustoffe	1.090
Mineralöl und Mineralölerzeugnisse	580
Brennstoffe für den Hausbrand	80
Chemikalien und Kunststoffe	-990
Metalle	740
Textilien und Leder	420
Fahrzeuge und Maschinen	-290
Futter-, Lebens-, Genußmittel	510
Verpackungen	870
PCDD/PCDF-Handelsgüterbilanz	3.400

9 VERWERTUNG UND ENTSORGUNG VON ABFÄLLEN

Bei Aktivitäten der Industrie, des Handels, der Haushalte und des öffentlichen Sektors entstehen feste und flüssige Abfälle sowie Emissionen in die Luft. Die PCDD/PCDF-Emissionen in die Umgebungsluft wurden im Kapitel 4 behandelt. In diesem Kapitel werden die festen und flüssigen Abfälle bezüglich ihrer Relevanz für die Dioxin-Bilanz für Hamburg dargestellt.

Dabei werden sowohl die bereits rein mengenmäßig bedeutsamen Massenströme der Haus- und Sonderabfälle behandelt als auch kleinere Stoffströme, wie z.B. organische Abfälle, die durch Kompostierung wieder in eine nutzbare Form verwandelt werden.

Der ganz überwiegende Teil der Abfälle wird durch Verbrennung oder Deponierung dem Stoff- und Wirtschaftskreislauf entzogen. Unter dem Gesichtspunkt der Exposition gegenüber Mensch und Umwelt ist ihre Relevanz eher gering. Bedeutsam sind diese Stoffströme aber, wenn eine allgemeine Entfrachtung dieser Abfälle von PCDD/PCDF angestrebt wird. Die kleinen Stoffströme, die der Technosphäre nicht entzogen werden, sind unter dem Aspekt einer potentiellen Belastung des Bodens (z.B. organische Abfälle), von Produkten (z.B. Papier, Textilien) oder nachgeschalteten Produktionsprozessen (z.B. industrielle Stäube) zu diskutieren.

9.1 Haus- und Sperrmüll und hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

In den letzten Jahren ist in Hamburg eine Abnahme der zu entsorgenden Abfälle zu verzeichnen. Die spezifische Müllmenge pro Einwohner sank von 306 kg im Jahr 1989 auf 287 kg im Jahr 1992 und auf 276 kg im Jahr 1993; die insgesamt zu entsorgende Menge blieb aber nahezu konstant, da zum einen die Einwohnerzahl Hamburgs in diesem Zeitraum stieg und zum anderen die Menge der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle zunahm.

Die Mengen des 1992 angefallenen Mülls sind in der Tabelle 24 gezeigt. Von den insgesamt 983.800 t Müll aus Hamburg wurden 58,4 % deponiert und 41,6 % verbrannt. Unter der Annahme, daß dieses Verhältnis unabhängig von der Müllart konstant ist, ergeben sich die in Tabelle 24 aufgeführten Mengenverhältnisse.

Tabelle 24: Zu behandelnde Abfälle in Hamburg nach stofflicher Verwertung im Jahr 1992

Müllart	Gesamt	Deponie	Verbrennung
Hausmüll	481.500 t	281.200 t	200.300 t
Sperrmüll	47.400 t	27.700 t	19.700 t
Geschäftsmüll	130.000 t	75.900 t	54.100 t
hausmüllähnlicher Gewerbemüll	269.500 t	157.400 t	112.100 t
Straßenreinigung und Marktabfälle	55.400 t	32.400 t	23.000 t
Summe	983.800 t	574.600 t	409.200 t

In Hamburg selbst wurden 318.200 t (77,8 % der insgesamt verbrannten Müllmenge) verbrannt, der Rest gelangte in Anlagen außerhalb Hamburgs. Da in Hamburg keine Hausmülldeponie mehr betrieben wird, wurde die gesamte verbleibende Abfallmenge exportiert.

9.1.1 Berechnung von PCDD/PCDF-Frachten im Hausmüll aus der Müllzusammensetzung

Aus der Zusammensetzung des Hamburger Hausmülls kann versucht werden, eine Abschätzung zum PCDD/PCDF-Gehalt einzelner Müllfraktionen wie auch der Gesamtfraktion zu machen. Da bundesweit überhaupt nur für wenige Hausmüllfraktionen PCDD/PCDF-Analysen durchgeführt wurden und aus Hamburg keine Untersuchungen vorliegen, mußte auf abgeleitete Gehalte der ursprünglichen Produkte zurückgegriffen werden. Dabei wurden für die verschiedenen Müllfraktionen (z.B. Papier, Holz, Vegetabilien) die Werte aus dem vorliegenden Bericht verwendet oder aus Literaturangaben geschätzt.

Zur stofflichen Zusammensetzung der Fraktion "Feinmüll" liegen nur wenig Angaben vor. Neben kleinen (Bruch-)Stücken der anderen Müllfraktionen sind Staub aus der Haushaltsreinigung, Ruß aus dem Hausbrand, Zigarettenreste, u.ä. in dieser Fraktion vorhanden. Auch belasteter Brandschutt aus Wohnungsbränden (vgl. Kapitel 4.4.4) kann in dieser Fraktion mit enthalten sein. Um den Dioxingehalt dieser Fraktion abzuschätzen, wurden die bei der Untersuchung von Hausstaub und Kaminruß gefundenen PCDD/PCDF-Konzentrationen verwendet. Die Mengen dieser Abfälle von zusammen maximal 2,6 kg pro Jahr und Einwohner stellten allerdings nur einen Bruchteil der Menge des jährlich anfallenden Feinmülls von 17,8 kg pro Einwohner dar.

Tabelle 25: Zusammensetzung des Hamburger Hausmülls und abgeleitete PCDD/PCDF-Gehalte in einzelnen Müllfraktionen

Fraktion	Menge (kg/kg)	Gehalt (ng I-TEQ/kg)	Fracht (ng I-TEQ)
Vegetabilien	0,331	2	0,66
Windeln	0,026	3	0,08
Papier und Pappe	0,230	3	0,69
Textilien, Leder *	0,021	10	0,2
Holz	0,009	10	0,09
Kunststoffe	0,057	1	0,06
Verbundstoffe	0,040	2	0,08
Problemstoffe	0,007	10	0,07
Inertstoffe (Glas, Metall, etc.)	0,223	0,1	0,02
Feinmüll (Staub, Ruß)	0,062	700	43,40
Summe	1,000		45,35

* früher höher belastet als heutige Produkte

Im Vergleich zum Literaturwert von 50 ng I-TEQ/kg Hausmüll ergibt die obige Berechnung eine relativ gute Übereinstimmung mit diesem Wert. Der Feinmüll ist ganz offensichtlich für den PCDD/PCDF-Gehalt im Hausmüll die dominierende Größe.

9.1.2 PCDD/PCDF im Feinmüll

Aufgrund der im vorigen Abschnitt geschilderten Bedeutung der Feinmüllfraktion für die Dioxinfracht des gesamten Hausmülls wurden zwei bekannte Bestandteile dieser Fraktion - Ruß und Hausstaub - getrennt bilanziert.

Aus Untersuchungen, die 1994 in Bayern an verschiedenen Ofentypen von Wohnungsheizungen (z.B. Kachelofen, Einzelofen) durchgeführt wurden, ergab sich eine

mittlere Dioxinkonzentration im Ruß von 2.900 ng I-TEQ/kg. Aus der Anzahl der mit Holz- oder Kohleheizungen ausgerüsteten Wohnungen in Hamburg ergibt sich eine maximale Menge von 930 t Ruß (knapp 0,6 kg pro Einwohner und Jahr). Bei einem Gehalt von 2.900 ng I-TEQ/kg entsteht so eine Fracht von ca.

2.700 mg I-TEQ/a.

Jeder der 1.650.000 Einwohner Hamburgs produziert - statistisch betrachtet - 2 kg Hausstaub pro Jahr. Der Inhalt der Staubsaugerbeutel wird mit dem Hausmüll entsorgt. Die PCDD/PCDF-Belastung einer einzelnen Hausstaubprobe aus Hamburg lag bei 155 ng I-TEQ/kg. Aus der Literatur ist bekannt, daß in einem durchschnittlichen Haushalt pro Einwohner ca. 2 kg Hausstaub entstehen. Es errechnen sich für Hamburg 3.300 t Hausstaub und als Teil der Hausmüllfracht eine Dioxinfracht von

510 mg I-TEQ/a.

Diese beiden Abfälle werden mit dem Hausmüll entsorgt und können möglicherweise mit ein Grund für die hohe Belastung der Feinmüllfraktion sein.

9.1.3 Dioxinfrachten aus der Hausmüllentsorgung

Bei der Berechnung der Dioxinfrachten im Haus-, Gewerbe- und Geschäftsmüll wurde einheitlich eine Konzentration von 50 ng I-TEQ/kg angenommen. Dieser Wert wird sowohl durch Literaturdaten als auch durch die vorangegangene Abschätzung als plausibel angesehen. Analog zu den Massenströmen der Tabelle 24 ergaben sich daher im Jahr 1992 für die Stoffströme der PCDD/PCDF aus der Müllentsorgung Hamburgs die in der folgenden Tabelle dargestellten Dioxinfrachten.

Tabelle 26: Dioxinfrachten (mg I-TEQ/a) aus der Müllentsorgung Hamburgs im Jahr 1992 (Zahlen gerundet)

Müllart	Gesamt	Deponie	Verbrennung
Hausmüll	24.070	14.060	10.010
Sperrmüll	2.370	1.390	980
Geschäftsmüll	6.500	3.790	2.710
hausmüllähnlicher Gewerbemüll	13.470	7.860	5.610
Straßenreinigung und Marktabfälle	2.770	1.620	1.150
Summe	49.180	28.720	20.460

Die Deponierung des Haus- und Sperrmülls, der hausmüllähnlichen Abfälle, des Geschäftsmülls und der Abfälle der Straßenreinigung erfolgt vollständig außerhalb von Hamburg. In den zwei Hamburger Hausmüllverbrennungsanlagen und in der Anlage in Schleswig-Holstein findet die Verbrennung statt. Für die weitere Betrachtung

wurde vereinfachend die Haus- und Sperrmüllmenge den Privathaushalten und der hausmüllähnliche Gewerbe- sowie der Geschäftsmüll dem Bereich Handel, Gewerbe und Industrie zugerechnet.

9.1.4 Verbrennung von Haus- und Sperrmüll sowie hausmüllähnlichen Abfällen

Mit der Müllmenge von 318.200 t, die 1992 als Eingangsmaterial in die Hamburger Müllverbrennungsanlagen verbracht wurden, gelangte eine Dioxinfracht von 15.910 mg I-TEQ/a in diese Anlagen. In Anlagen außerhalb Hamburgs wurden mit den ca. 91.000 t Müll (davon 83.600 t nach Stapelfeld und 7.100 t in sonstige Anlagen) auch 4.550 mg I-TEQ an Dioxinen verbracht.

Neben den Emissionen in die Luft (vgl. Kapitel 4) entstehen bei der Verbrennung Schlacke und Filterstäube. Da die gesamte Müllverbrennungsschlacke in Hamburg verwertet wird, wurde bei der Bilanzierung auch diejenige Schlackenmenge berücksichtigt, die in der Anlage in Schleswig-Holstein bei der Verbrennung von Müll aus Hamburg anfällt. Bei den Dioxinfrachten der Filterstäube wurden im Sinne einer Bilanzierung der Stoffströme aus Hamburg heraus nur die in Hamburger Anlagen anfallenden Mengen berücksichtigt.

9.1.4.1 *Schlacke aus der Müllverbrennung*

Für die Müllverbrennung in Hamburg (MVA I und II) wurde für 1992 ein Schlackeaufkommen von 95.500 t errechnet. Weitere 25.100 t Schlacke kamen aus der Verbrennung von Hamburger Hausmüll in der MVA Stapelfeld (Schleswig-Holstein). Insgesamt ergab sich für das Jahr 1992 eine Schlackenmenge von ca. 120.000 t/a. Die Schlacke wird in Schleswig-Holstein aufgearbeitet, nach Hamburg zurückgebracht und dort als Baumaterial eingesetzt. Der Einbau der Schlacke geschieht prinzipiell nur in abgedeckter Form, d.h. ohne Kontakt zur Erdoberfläche z.B. in ungebundenen Tragschichten, als Unterbau für Beläge aus Betonpflastersteinen oder im Tiefbau.

PCDD/PCDF-Analysen von MVA-Schlacken verschiedener Anlagen ergaben Gehalte in einem Bereich von 10-100 ng I-TEQ/kg. Schlacke aus Hamburg weist mit 19 ng I-TEQ/kg Gehalte im unteren Wertebereich auf: Somit entstand mit der Hausmüllverbrennung in Hamburg im Jahr 1992 mit 95.500 t Schlacke eine Dioxinfracht von

1.815 mg I-TEQ/a.

Im selben Zeitraum entstand mit der Schlacke aus der Verbrennung von Hamburger Hausmüll in Schleswig-Holstein (25.100 t Schlacke aus der MVA Stapelfeld) eine Jahresfracht von **477 mg I-TEQ/a**.

Innerhalb Hamburgs wurden im Jahr 1992 durch die stoffliche Verwertung von MVA-Schlacke aus Hamburger Hausmüll somit **ca. 2.300 mg I-TEQ/a** in den Untergrund eingebracht.

9.1.4.2 Filterstäube aus der Müllverbrennung

Bei der Verbrennung von Hausmüll in den beiden Hamburger Hausmüllverbrennungsanlagen fielen 14.200 t Reststoffe aus der Rauchgasreinigung an. Aus den Analysenwerten wurde ein Mittelwert von knapp 1.150 ng I-TEQ/kg TS berechnet und für die Hochrechnung der Jahresfracht benutzt. Sie beträgt demnach

16.300 mg I-TEQ.

Diese Stoffmenge wird außerhalb Hamburgs in Sonderabfalldeponien abgelagert.

9.2 Entsorgung von Sonderabfällen

9.2.1 Behandlung, Deponierung und Verbrennung

Die Sonderabfallmengen von Hamburger Erzeugern beliefen sich 1992 auf ca. 364.500 t. Zusätzlich fielen ungefähr 68.800 t Filterstäube und Schlacke aus der Sonderabfallverbrennung der AVG und Filterstäube aus der Hausmüllverbrennung an. Da der größte Teil der Sonderabfälle vor der endgültigen Entsorgung in verschiedenen Anlagen aufbereitet wird (z.B. chemisch-physikalische Behandlung, Rückgewinnung von Ölen), verbleibt letztlich eine wesentlich geringere Abfallmenge, die deponiert oder verbrannt werden muß.

So wurden nur die 68.800 t Filterstäube und Schlacken aus der Müllverbrennung und 82.800 t andere Sonderabfälle auf Deponien außerhalb Hamburgs abgelagert; ungefähr 50.000 t Hamburger Sonderabfälle wurden 1992 in der Sonderabfallverbrennungsanlage der AVG verbrannt. Außerdem wurden nochmals ca. 50.000 t Sonderabfälle von außerhalb Hamburgs zur Verbrennung angeliefert.

Für die Bilanzierung der Dioxine wurden daher nur die letztlich verbrannten beziehungsweise deponierten Müllmengen berücksichtigt. Dabei wurden die Rückstände aus der Müllverbrennung jeweils gesondert betrachtet.

Eine Abschätzung der PCDD/PCDF-Frachten von Sonderabfall ist aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung kaum möglich. Bei einem hypothetischen, dem Hausmüll vergleichbaren Gehalt von 50 ng I-TEQ/kg auch im Sonderabfall, resultierte aus den 82.800 t deponierten Sonderabfällen aus Hamburg (ohne Filterstäube und Schlacke aus der Müllverbrennung) eine Dioxinfracht von

4.140 mg I-TEQ/a.

In die Verbrennungsanlage gelangten im Jahr 1992 rund 100.000 t Abfälle, je zur Hälfte aus Hamburg und aus anderen Regionen. Dies ergab bei gleicher angenommener PCDD/PCDF-Konzentration eine Jahresfracht von

5.000 mg I-TEQ/a.

Davon entfallen ca. 2.500 mg I-TEQ auf Abfälle von Hamburger Erzeugern.

Der Wert für die PCDD/PCDF-Konzentration im Sondermüll stellt nur eine grobe Schätzung dar, eine Bilanzierung der Sonderabfallverbrennung insgesamt (Eingangsmaterial, Emissionen, Reststoffe) ist daher mit großen Unsicherheiten verbunden.

9.2.2 Schlacken und Filterstäube aus der Sonderabfallverbrennung

Schlacke und Filterstäube aus der Sonderabfallverbrennung werden außerhalb von Hamburg deponiert. Im Jahr 1992 blieben aus der Verbrennung von insgesamt rund 100.000 t Sonderabfällen 39.300 t Schlacke und 15.300 t Filterstäube zurück.

Da von diesen Reststoffen keine Daten zur Analyse auf PCDD/PCDF vorlagen, wurde als Orientierungswert für die Filterstäube eine Konzentration von 1.000 ng I-TEQ/kg angenommen. Es ergab sich somit 1992 eine Jahresfracht von

15.300 mg I-TEQ

und für die Schlacke bei angenommenen 20 ng I-TEQ/kg eine Jahresfracht von

790 mg I-TEQ.

9.2.3 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Polychlorierte Biphenyle können produktionsbedingt in erheblichem Umfang mit polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF) verunreinigt sein. Zwar ist die Verwendung von PCB in Deutschland seit Juli 1989 verboten, doch stehen noch immer große Mengen PCB aus den ehemals vielfältigen Nutzungen zur Entsorgung an.

In Hamburg werden auch sehr viele PCB-haltige Abfälle aus anderen Bundesländern zur Entsorgung aufgearbeitet. Die Abfälle werden zum Teil verbrannt, ein anderer Teil wird in einer Untertagedeponie eingelagert. Beide Entsorgungswege befinden sich nicht in Hamburg. Voraussichtlich ab 1997 können PCB-haltige Abfälle in der Hamburger Sonderabfallverbrennungsanlage der AVG verbrannt werden.

Die zu entsorgenden Mengen können von Jahr zu Jahr erheblich schwanken; die hier vorgenommene Berechnung für das Jahr 1992 kann daher nur als Orientierung dienen. Wegen der relativ geringen Menge wurden diese Abfälle bei der Massenbilanz der Sonderabfälle (vgl. Abschnitt 9.2.1) nicht berücksichtigt, aufgrund der hohen Dioxingehalte in PCB-haltigen Abfällen aber eine getrennte Bilanzierung vorgenommen.

Für die Abschätzung wurden die PCB-haltigen Öle und Betriebsmittel und die PCB-Abfälle getrennt betrachtet, da ihr PCB-Gehalt sehr unterschiedlich ist: PCB-Abfälle enthalten laut Deklaration mehr als 10.000 mg/kg PCB, für Öle und Betriebsmittel, die mit PCB verunreinigt sind, wurde der Mittelwert von 1.580 mg PCB/kg aus einer umfangreichen Untersuchung gebrauchter Transformatoröle verwendet.

Tabelle 27: Art und Menge der 1992 in Hamburg entsorgten PCB-Abfälle

Abfall-schlüssel	Abfallart	Abfallmenge (t)	PCB-Gehalt (mg/kg)	PCB-Menge (kg)
54107	PCB-haltige Öle	368	1.580	600
54110	PCB-haltige Betriebsmittel	1.290	1.580	2.000
59901	PCB (Askarel, Clophen)	348	10.000	3.500
	Summe	2.006		6.100

Die PCDD/PCDF-Verunreinigung der PCB beträgt, wie aus anderen Untersuchungen bekannt ist, im Mittel ca. 680 µg I-TEQ/kg PCB. In den 6.100 kg PCB befindet sich somit eine Dioxinfracht von ca.

4.150 mg I-TEQ.

Die Dioxinfracht aus 2.000 t PCB-haltigen Abfällen ist damit ungefähr so groß wie die Fracht in den 82.800 t deponierten Sonderabfällen (vgl. Abschnitt 9.2.1).

9.3 Abfälle aus industriellen Prozessen

Die Filterstäube und andere Abfälle aus der Eisen- und Nichteisenmetallherstellung in Hamburg können derzeit zu ungefähr 50 % verwertet werden. Der Rest wird auf geeigneten Deponien abgelagert. Tabelle 28 zeigt die 1992 angefallene Menge und die Dioxinfrachten dieser Abfälle.

Tabelle 28: Abfallmengen und resultierende Dioxinfrachten aus Abfällen der Metallherstellung (Zahlen gerundet)

Abfall	Menge (t)	PCDD/PCDF (ng I-TEQ/kg)	PCDD/PCDF-Fracht (mg I-TEQ/a)
Staubpellets	15.000	53	800
Filterstaub	210	210	44
Steinkohlenteerpechkondensat	204	72	15
Summe	15.414		859

Von den ungefähr 860 mg I-TEQ werden ca. 460 mg I-TEQ als verwertbare Reststoffe und 400 mg I-TEQ als Abfall aus Hamburg heraustransportiert.

9.4 Reststoffe aus der Abwasserreinigung

Im zentralen Klärwerk Köhlbrandhöft der Freien und Hansestadt Hamburg fielen im Jahr 1992 ungefähr 47.900 t Klärschlamm als Trockensubstanz an. Der Klärschlamm wird nur zu einem sehr geringen Teil in einem Kompostwerk verwertet, dagegen werden ca. 97 % deponiert. Verwertung und Deponierung geschehen außerhalb Hamburgs.

Analysen von Klärschlamm auf PCDD/PCDF wurden in Hamburg bereits vor Inkrafttreten der novellierten Klärschlammverordnung durchgeführt. Der bundesweit zu beobachtende Trend deutlich zurückgehender Dioxingehalte im Klärschlamm spiegelt sich auch in den Analysenbefunden aus Hamburg wider: Während 1990 noch ein Maximalwert von 140 ng I-TEQ/kg TS gefunden wurde, verringerte sich dieser Wert auf nunmehr 28 ng I-TEQ/kg TS bei den zwei Untersuchungen im Januar und Juli 1993. Für die folgende Hochrechnung der PCDD/PCDF-Frachten wird ein Wert von 30 ng I-TEQ/kg TS angesetzt. Es ergibt sich 1992 eine Dioxinfracht von

1.438 mg I-TEQ/a,

wovon nur 45 mg I-TEQ mit dem Klärschlamm in ein Kompostwerk außerhalb Hamburgs gelangten. Die weitaus überwiegende Dioxinfracht von 1.393 mg I-TEQ wird auf eine Deponie verbracht.

9.5 Wertstoffe

9.5.1 Altreifen von Kfz

In einigen Zusätzen von Autoreifen (sog. Mastiziermittel zur Erhöhung der Plastizität) wurde PCDD/PCDF nachgewiesen. Eine Bilanzierung der geschätzt ungefähr 6.800 t Altreifen, die in Hamburg pro Jahr anfallen, ergab, daß darin höchstens

0,2 mg I-TEQ/a

Dioxine vorhanden sind. Ihre Bedeutung für die Dioxin-Bilanz für Hamburg ist somit vernachlässigbar.

9.5.2 Holz und Altholz

Für die Verarbeitung und den Einsatz von Holz werden verschiedene Klassen von anorganischen und organischen Chemikalien eingesetzt. Eine Dioxinrelevanz kann insbesondere für die chlorierten Holzschutzmittel vermutet werden. PCDD/PCDF können als Verunreinigung dieser Stoffe im Holz vorhanden sein (v.a. bei Chlorphenolen) oder bei der Verbrennung entstehen.

Aus der Abfallstatistik der Umweltbehörde Hamburg geht hervor, daß im Jahr 1992 25.500 t Altholz aus dem Gewerbebereich separat erfaßt wurden. Für Holz wird ein mittlerer Gehalt von 10 ng I-TEQ/kg angesetzt. Die Fracht ergibt sich zu

255 mg I-TEQ/a.

9.5.3 Papier und Altpapier

Die Hamburger Wertstoffeffassung 1992 ergab 61.000 t Papier aus Privathaushalten und 307.000 t aus Handel und Gewerbe. Das gesammelte Papier wird außerhalb von Hamburg verwertet. Das Papier aus der Wertstoffeffassung stellt eine Mischung unterschiedlichster Papierqualitäten dar. Als mittlerer PCDD/PCDF-Gehalt wurden 1 ng I-TEQ/kg veranschlagt. Daraus ergibt sich:

Handel und Gewerbe: 307 mg I-TEQ/a

Haushalte: 61 mg I-TEQ/a.

9.5.4 Textilien aus der Wertstoffsammlung

Im Jahr 1992 wurden über die Wertstoffsammlung der Privathaushalte 3.600 t Textilien erfaßt, aus dem Bereich Gewerbe wurden 0,5 t gesammelt.

Textilien können aus unterschiedlichen Gründen mit PCDD/PCDF belastet sein, wie z.B. aus der Verwendung dioxinhaltiger Fungizide und Herbizide beim Anbau und Lagerung der Baumwolle. Auch bestimmte Textilfarbstoffe können mit PCDD/PCDF verunreinigt sein. Im Durchschnitt wird für alle Textilien, die als Kleidungsstücke auf den Markt kommen, eine Konzentration von 1 ng I-TEQ/kg angesetzt. Die Getrenntsammlung von Textilien ergibt somit eine Jahresfracht von

3,6 mg I-TEQ/a.

9.6 **Verwertung und Kompostierung von organischen Abfällen**

In Hamburg entstehen im privaten, gewerblichen und im öffentlichen Sektor organische Abfälle unterschiedlicher Zusammensetzung und Verwertungsmöglichkeit. Eine ausführliche Bestandsaufnahme der Mengen und der Nutzungspotentiale wurde im Rahmen der abfallwirtschaftlichen Planung Hamburgs erstellt.

Die mikrobiologische Neubildung von Dioxinen während des Kompostierungsprozesses wurde in den vergangenen Jahren intensiv diskutiert. Verschiedene Arbeitsgruppen haben Kompostierungsversuche unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt, um die Bildungsrate einzelner PCDD/PCDF zu quantifizieren. Auch die Umweltbehörde Hamburg führte im Kompostwerk Bergedorf ein Experiment durch. Eine Neubildung einiger Dioxine, die den ursprünglichen Gehalt des Kompostes um ca. 10 % der derzeitigen Gehalte (1-2 ng I-TEQ/kg) erhöhte, konnte experimentell festgestellt werden. Ursache und Mechanismus der Neubildung sind bisher nicht aufgeklärt.

9.6.1 Organische Abfälle aus Privathaushalten

In Privathaushalten anfallende organische Abfälle werden zum einem bei Kompostwerken der Bezirke angeliefert, zum anderen durch Eigenkompostierung verwertet.

Ungefähr 4.350 t organischer Abfälle aus Privathaushalten (Abfälle der „Biotonne“) wurden in den Kompostwerken Bergedorf und Harburg kompostiert. Zusätzlich werden ca. 4.500 t Laub- und Grünreste aus Privathaushalten im Recycling-Hof Sasel kompostiert. Zusammen ergibt dies bei ungefähr 50 % Rotteverlust und 30 % Wassergehalt ca. 3.100 t Komposttrockensubstanz. Der Kompost wird in Hamburg verwendet.

Mehrere PCDD/PCDF-Analysen von Biotonnenkomposten wurden durchgeführt. Die Dioxingehalte in diesen Komposten lagen im Bereich vergleichbarer Untersuchungen. Der Berechnung der Jahresfracht für 1992 wurde eine PCDD/PCDF-Konzentration von 8 ng I-TEQ/kg TS zugrunde gelegt. Neuere Messungen aus den Jahren 1993 und 1994 ergaben bei den untersuchten Kompostplätzen allerdings mit 14 ng I-TEQ/kg höhere PCDD/PCDF-Gehalte als 1992.

Es ergeben sich

25 mg I-TEQ/a.

Die Menge der Eigenkompostierung in Privathaushalten (Grünabfälle aus dem Garten, Küchenabfälle) wird von der Umweltbehörde Hamburg auf 80.000 t/a geschätzt. PCDD/PCDF-Analysen aus der Eigenkompostierung liegen nicht vor, es wird aber ein niedrigerer Wert als für Kompost aus der Biotonne angenommen. Die Menge von geschätzten 28.000 t Komposttrockensubstanz mit einem Dioxingehalt von 5 ng I-TEQ/kg TS ergibt dann eine Jahresfracht von

140 mg I-TEQ/a,

die vollständig wieder in den privaten Hausgärten ausgebracht wird.

Insgesamt (Kompostwerke und Eigenkompostierung) wird über die organischen Abfälle aus Privathaushalten mit dem Kompost also eine Stoffmenge von

165 mg I-TEQ/a

in die Böden Hamburgs eingebracht.

Die Fehlsortierung von Biomüll ist insbesondere aus Gründen der Kompostqualität ein Problem. Auch unter dem Aspekt der Dioxinbelastung kann eine falsche Müllsortierung problematisch sein: Falls z.B. ein Teil des Kaminrußes mit der Biotonne entsorgt wird, könnte dies zu einer erheblichen Dioxinbelastung des Eingangsmaterials führen. Bereits 1 kg Kaminruß in einer Biotonne kann zu einer Dioxinkontamination im Bioabfall führen, die 40mal höher als ursprünglich ist.

9.6.2 Organische Abfälle aus Handel, Gewerbe und Industrie

Die Erfassung der organischen Reststoffe aus Handel, Gewerbe und Industrie ergab für Hamburg folgende Mengen und Verwertungswege:

Tabelle 29: Anfallende Mengen und Verwertungswege organischer Reststoffe in Hamburg für das Jahr 1992 (t/a).

Herkunft	Hausmüllähnl. Gewerbeabfall	Verwertung durch Dritte	Eigenkompostierung
Produzierendes Gewerbe	5.000	139.000	0
Import/Export, Umschlag	1.500	20.000	0
Handel	19.170	7.280	680
Speisereste (Drank)	9.072	13.195	0
Abfälle aus Tierhaltung	0	26.315	0
Grünabfälle	1.000	21.040	20.640
Abwasserreinigung	86.250	750	0
Gesamtmenge	121.992	227.580	21.320

Einige dieser Abfälle wurden nachfolgend bezüglich ihrer Dioxinfrachten bilanziert. So fallen zum Beispiel 20.000 t Jutesäcke aus dem Import/Export der Kaffee-, Nuß- und Kakaoindustrie an. Eine Einzelanalyse der Umweltbehörde Hamburg ergab 1994 für eine Mischprobe von geshredderten Jutesäcken verschiedener Herkunft einen Wert von 0,3 ng I-TEQ/kg. Die Verwendung der 20.000 t Jutesäcke führt zu einer Dioxinfracht von

6 mg I-TEQ/a.

Die in Hamburg geplante Kompostierung dieses Materials wäre unter dem Aspekt der PCDD/PCDF-Belastung des entstehenden Komposts also unproblematisch.

Größere Mengen von organischen Abfällen fallen v.a. bei Brauereien, Kaffeeröstereien, Öl- und Getreidemühlen und Großbäckereien an. Nach Aufbereitung (Trocknung, Hygienisierung) werden diese Reststoffe überwiegend als Viehfutter verwendet. Insgesamt wurden 74.670 t, davon 66.150 t Malztreber, an weiterverarbeitende Betriebe abgegeben. Als mittlerer Dioxingehalt wurde eine Konzentration von 0,015 ng I-TEQ/kg Frischgewicht angenommen. Die Jahresfracht ergibt sich dann zu

1,1 mg I-TEQ/a.

Fetthaltige organische Abfälle stammen hauptsächlich aus der Sojaölherstellung. 1992 wurden 284 t als Viehfutter und in der Seifenindustrie verwertet. Ihr Dioxingehalt berechnet sich mit einem mittleren Gehalt von 0,02 ng I-TEQ/kg zu 0,006 mg I-TEQ/a und ist in der Abfallbilanz vernachlässigbar.

Abfälle aus der Zubereitung von Speisen in Kantinen, Mensen, Großküchen, Gaststätten, usw., werden als Drank bezeichnet. Die Ermittlung dieser Abfälle ergab 1992 eine Menge von ca. 22.300 t. Davon wurden 13.200 t als Tierfutter verwertet und 9.100 t als Abfall über den Hausmüll entsorgt. Die Abnehmer des Dranks befin-

den sich nicht in Hamburg. Bei einer geschätzten Konzentration von 1,8 ng I-TEQ/kg TS und einem Wassergehalt von 90 % ergibt sich eine Dioxinfracht von

2,4 mg I-TEQ/a.

Aus dem produzierenden Gewerbe werden zudem ungefähr 29.000 t Reststoffe über den Altstoffhandel verwertet. Der Anteil an Holz, Holzresten sowie Papierabfällen liegt bei 90 %. Hierfür wurde pauschal ein PCDD/PCDF-Gehalt von 10 ng I-TEQ/kg angesetzt. Die Jahresfracht beträgt dann

290 mg I-TEQ/a.

Für alle organischen Abfälle aus Industrie und Gewerbe zusammen ergibt sich somit eine Jahresfracht von 6 mg I-TEQ/a (Jutesäcke), 1,1 mg I-TEQ/a aus der Nahrungs- und Genußmittelproduktion, 2,4 mg I-TEQ/a aus Speiseresten und 290 mg I-TEQ/a aus anderen Abfällen (hauptsächlich aus Holz und Papier). Die Summe ergibt

300 mg I-TEQ/a.

9.6.3 Organische Abfälle von Gebietskörperschaften

Die organischen Abfälle, die nicht von Handel, Gewerbe, Industrie oder Privathaushalten kompostiert werden, sind nachfolgend getrennt dargestellt. Zur gesamten Dioxinfracht von rund

244 mg I-TEQ/a

tragen die Kompostplätze der Bezirke den größten Teil bei.

9.6.3.1 *Grünabfälle aus der Wasserwirtschaft und dem Hochwasserschutz*

Grünabfälle wie Gras, Buschholz und Abfischgut fallen im Rahmen der Gewässerunterhaltung an. Die Grünabfälle werden auf verschiedene Art und Weise genutzt (Landwirtschaft, Pferdehaltung, Eigen- und Fremdkompostierung), im einzelnen sind die Massenströme aber nicht nachvollziehbar. Von einer Bilanzierung wurde daher abgesehen.

Mengenmäßig nicht sehr bedeutsam sind die Grünabfälle aus dem Hochwasserschutz. Hierbei handelt es sich um ca. 3.500 t Mahd aus der Deichpflege und 700 t Treibsel, das als Schwemmgut nach Hochwasserereignissen an der Uferlinie zurückbleibt. Da Dioxinanalysen nicht durchgeführt wurden, wurde angenommen, daß die PCDD/PCDF-Gehalte des Mähgutes bei ca. 1 ng I-TEQ/kg TS im Bereich der

sonst in Hamburg gefundenen Werte für Gras liegen. Bei 10 % Trockensubstanz errechnet sich ein Massenstrom von insgesamt 420 t, die eine Jahresfracht von

0,4 mg I-TEQ

ergeben.

9.6.3.2 Grünabfälle der Garten- und Friedhofsämter der Bezirke

Die städtischen Friedhöfe werden überwiegend von den Bezirksämtern der Hansestadt Hamburg verwaltet. Hier wurden 1992 ca. 20.000 t/a Grün- und Bioabfälle in Eigenregie kompostiert. Dies ergab eine Kompostmenge von 10.000 t mit 70 % Trockensubstanz.

Der Median der PCDD/PCDF-Gehalte aller untersuchten Kompostplätze (Messungen 1990-1994) betrug 18 ng I-TEQ/kg. Dabei wurde der Kompostplatz Finkenriek, wo die Kompostgehalte überdurchschnittlich hoch waren, nicht berücksichtigt. Die Ursache dieser Kontamination wurde von der Umweltbehörde Hamburg nach eingehenden Untersuchungen erkannt und behoben.

Die Jahresfrachten 1992 der anderen Kompostplätze (ca. 6.300 t Kompost mit 18 ng I-TEQ/kg) und getrennt für den Friedhof Finkenriek (ca. 700 t mit 150 ng I-TEQ/kg) belaufen sich auf

Friedhof Finkenriek	105 mg I-TEQ/a
Alle anderen Kompostplätze	115 mg I-TEQ/a
Summe	220 mg I-TEQ/a.

9.6.3.3 Grünabfälle von Friedhöfen

Die beiden städtischen Friedhöfe (Ohlsdorf und Öjendorf) werden nicht von den Bezirksämtern unterhalten und daher getrennt betrachtet. Dort wurden 1992 ca. 3.700 t Material kompostiert, die 1.300 t Komposttrockensubstanz ergaben.

In den 48 kirchlichen Friedhöfen fielen insgesamt nur 1.700 t Grünabfälle an. Die Kompostmenge (als Trockensubstanz) dürfte damit bei ca. 600 t/a liegen. PCDD/PCDF-Analysen von einem dieser Kompostplätze liegen vor. Der Mittelwert lag bei diesem Kompostplatz mit 8 ng I-TEQ/kg TS im Bereich von Biomüllkompost aus Hamburg. Mit diesem Wert ergeben sich die folgenden Jahresfrachten:

Landesbetrieb:	10 mg I-TEQ/a
Kirchen:	5 mg I-TEQ/a
Summe	15 mg I-TEQ/a.

9.6.3.4 Grünabfälle aus der Stadtreinigung

Im Jahr 1992 wurden vom Landesbetrieb Hamburger Stadtreinigung 9.300 t Straßensfalllaub und Grünabfälle von Haupt- und Nebenstraßen zur Kompostierung gesammelt und außerhalb Hamburgs aufbereitet. Bei einem Wassergehalt von 80 % und 50 % Rotteverlust verbleiben 930 t Kompostrockensubstanz, von denen ungefähr 250 t in Hamburg eingesetzt wurden. Bei einer Einzelmessung auf PCDD/PCDF wurden in den Laubpellets knapp 9 ng I-TEQ/kg TS gefunden. Die Jahresfracht der in Hamburg gesammelten Grünabfälle betrug somit

8,4 mg I-TEQ/a.

9.7 Abfallwirtschaftliche Planungen mit Einfluß auf die Dioxin-Bilanz

In diesem Abschnitt werden die Auswirkungen unterschiedlicher zukünftiger abfallwirtschaftlicher Maßnahmen auf die Dioxinbilanz der Stadt Hamburg untersucht und beurteilt. Die Bilanzierung soll damit über die Feststellung des Ist-Zustandes für das Jahr 1992 hinausgehen.

9.7.1 Sanierung der AVG-Anlage

Mit der Sanierung der Sonderabfallverbrennungsanlage der AVG wurde durch Primärmaßnahmen (Drehrohrofen mit Nachbrenner) wie auch durch Sekundärmaßnahmen (Rauchgasreinigung mit Aktivkoks) die Menge der verbleibenden PCDD/PCDF verringert:

- Im Vergleich zur Altanlage werden die Emissionen in die Luft drastisch reduziert (beantragter Emissionswert 0,05 ng I-TEQ/m³ im Jahresmittel)
- Beladener Aktivkoks aus der Rauchgasreinigung wird in den Verbrennungsofen zurückgeführt, so daß keine zusätzlichen Dioxinfrachten erzeugt werden, sondern sogar eine PCDD/PCDF-Zerstörung gewährleistet ist.
- Durch die beabsichtigte Einschmelzung der Flugasche wird als Rückstand aus der Verbrennung nur Schlacke übrig bleiben.

Die Dioxinfracht der neuen AVG-Anlage beträgt

< 48 mg I-TEQ/a.

Dies stellt eine Verringerung der PCDD/PCDF-Emissionen in die Luft um mehr als 90 % gegenüber dem Wert von 1992 dar.

9.7.2 Sanierung der Hausmüllverbrennungsanlagen (MVA)

Die beiden in Hamburg betriebenen Hausmüllverbrennungsanlagen (MVA I und II) wurden saniert (MVA II) bzw. durch eine Neuanlage (MVA I durch MVB) ersetzt. Die MVB hat im März 1994 den Betrieb aufgenommen, die Inbetriebnahme der Abgasnachreinigung in der MVA II erfolgte 1995.

Die Dioxinfracht der Hamburger Hausmüllverbrennung beträgt nun

< 140 mg I-TEQ/a.

Die Dioxinmissionen wurden somit auf unter 95 % des für 1992 abgeschätzten Wertes gesenkt.

9.7.3 Klärschlammverbrennung

Der in Hamburg anfallende Klärschlamm aus dem Zentralklärwerk Köhlbrandhöft wird zur Zeit praktisch vollständig außerhalb von Hamburg deponiert. Die Freie und Hansestadt Hamburg plant eine Klärschlamm-Monoverbrennungsanlage nach dem Wirbelschichtprinzip, in welcher der Klärschlamm thermisch entsorgt werden soll.

Einige Anlagen zur Monoverbrennung von Klärschlamm werden in der Bundesrepublik bereits betrieben. Ein Emissionswert von 0,05 ng I-TEQ/m³ kann für eine moderne Anlage erreicht werden. Falls der gesamte Hamburger Klärschlamm (ca. 47.900 t) verbrannt werden würde, ergäbe sich ein Abgasvolumen von 282 Mio. m³ und beim obigen Emissionswert für die PCDD/PCDF eine Dioxinfracht von

14 mg I-TEQ/a.

Dies wären ungefähr 1 % der bisher auf Deponien abgelagerten Menge.

9.7.4 Ausweitung der Kompostierung organischer Abfälle

Die flächendeckende Einführung der Biotonne ist in Hamburg noch für 1995 vorgesehen. Der Abfallwirtschaftsplan für Hamburg nennt als anzustrebendes Ziel die Erfassung von ca. 50 % der organischen Abfälle aus dem Hausmüll. Schätzungsweise 70.000-90.000 t/a an organischen Abfällen (einschließlich ca. 4.000 t/a Großmarkt-abfälle und ca. 10.000 t/a aus Handel und Gewerbe) sollen kompostiert werden. Mit einer zusätzlichen Kompostmenge von ca. 25.000 t Trockenmasse ist durch die Umsetzung dieser Maßnahmen zu rechnen. Bei einem PCDD/PCDF-Gehalt von 8 ng I-TEQ/kg TS ergibt sich eine Dioxinfracht von

200 mg I-TEQ/a.

9.7.5 Einfluß der Wertstoffsammlung

Im Zuge einer optimierten Wertstoffsammlung (z.B. durch das Duale System) beim Hausmüll können auch höhere Mengen von Textilien und Kunststoffen anfallen. Eine aktuelle Erhebung der Reststofffraktionen der DSD-Sammlung ergab eine zusätzliche gesammelte Menge von ca. 15 kg Papier und 5 kg Kunststoffabfälle pro Jahr und Einwohner. Inwieweit sich die verstärkte Getrenntsammlung auf den Dioxingehalt des Hausmülls und auf die Dioxin-Bilanz für Hamburg auswirkt, kann derzeit noch nicht beurteilt werden.

9.8 Zusammenfassung der Frachten und Potentiale

In der nachfolgenden Tabelle 30 werden die PCDD/PCDF-Frachten, die sich aus den in Hamburg anfallenden Abfällen ergeben, im Überblick dargestellt. Bei den Sonderabfällen aus Hamburg wurden nur die zur Deponie oder Verbrennungsanlage gelangten Dioxinfrachten berücksichtigt. Filterstäube und Schlacken wurden getrennt bei den Abfällen aus Entsorgungsprozessen aufgeführt.

Aus Abfällen, die im Jahr 1992 in Hamburg zur Entsorgung oder Verwertung anstanden, ergab sich also eine Dioxinfracht von insgesamt

62 g I-TEQ/a.

Diese Dioxinfracht ist in Abfällen sehr unterschiedlicher stofflicher Zusammensetzung enthalten. Durch die Verwertung von Abfällen, z.B. durch Kompostierung werden von dieser Menge nur 1,8 g I-TEQ/a in Form von Produkten (Kompost, Papier, etc.) wieder in Umlauf gebracht.

Für die Entsorgungsprozesse (Abwasserreinigung, Verbrennung von Haus- und Sondermüll), denen ein Teil der Abfälle unterzogen wird, ergab sich 1992 eine Dioxinfracht von ca.

36 g I-TEQ/a.

Mit den Entsorgungsprozessen einer Großstadt wie Hamburg muß auch eine beträchtliche Menge an Dioxinen - in Hamburg pro Jahr fast 100 g I-TEQ - umgesetzt werden. Von dieser Stoffmenge werden allerdings nur die mit dem Hausmüll und den industriellen Filterstäuben deponierten 33 g I-TEQ ohne weitere Behandlung aus Hamburg heraustransportiert.

Durch den Entsorgungsprozeß der Müllverbrennung werden dagegen die ursprünglich heterogenen Abfälle in eine überwiegend mineralische Matrix umgewandelt und die Dioxinfrachten vor allem in Filterstäuben aufkonzentriert. Eine vergleichsweise

geringe Dioxinmenge von 2,3 g I-TEQ wurden mit der Schlacke aus der Hausmüllverbrennung wiederverwertet.

Tabelle 30: PCDD/PCDF-Frachten (mg I-TEQ/a) aus Abfällen in Hamburg für das Jahr 1992

Reststoff	Verbrennung	Deponie	Verwertung	Summe
Abfälle zur Entsorgung oder Verwertung				
Haus- und Sperrmüll	10.990	15.450	--	26.440
Geschäfts- und Gewerbemüll	8.320	11.650	--	19.970
Straßenreinigung und Marktabfälle	1.150	1.620	--	2.770
Sonderabfälle aus Hamburg	2.500	4.140	--	6.640
PCB-haltige Abfälle	4.150	--	--	4.150
Filterstäube der Industrie	--	400	460	860
Organische Abfälle, Haushalte	--	--	165	165
Organische Abfälle, Industrie/Gewerbe	--	--	300	300
Organische Abfälle, Körperschaften	--	--	244	244
Altpapier aus Gewerbe	--	--	307	307
Altpapier aus Haushalten	--	--	61	61
Textilien aus Haushalten	--	--	4	4
Altholz an Altstoffhandel	--	--	255	255
Summe	27.110	33.260	1.796	62.166
Abfälle aus Entsorgungsprozessen				
Klärschlamm aus Abwasserreinigung	--	1.393	45	1.438
Filterstäube aus Hausmüllverbrennung	--	16.300	--	16.300
Schlacke aus Hausmüllverbrennung	--	--	2.300	2.300
Filterstäube aus Sondermüllverbrennung	--	15.300	--	15.300
Schlacke aus Sondermüllverbrennung	--	790	--	790
Summe		33.783	2.345	36.128
Summe aller Abfälle	27.110	67.043	4.141	98.294

In der gesamten Dioxinfracht der Tabelle 30 sind auch Abfälle enthalten, die nicht aus der Entsorgung Hamburgs entstehen, sondern von außerhalb angeliefert wurden. Dies betrifft die Verbrennung von Sonderabfällen in Hamburg (daraus verbleiben ca. 8 g I-TEQ in Filterstäuben) und die Entsorgung PCB-haltiger Abfälle (vermutlich mehr als 3 g I-TEQ nicht aus Hamburg).

10 BILANZIERUNG DER PCDD/PCDF-STOFFSTRÖME IN HAMBURG

Aus den PCDD/PCDF-Frachten und Inventaren, die in den vorangegangenen Kapiteln zusammengestellt wurden, können nun für verschiedene Bilanzräume die PCDD/PCDF-Stoffströme abgebildet werden.

Beispielhaft sollen hier einige Bilanzen für Hamburg vorgestellt werden. Alle hierbei verwendeten Daten wurden den vorangegangenen Kapiteln entnommen. Sie spiegeln den Stand 1992 wider und berücksichtigen nicht zwischenzeitlich durchgeführte Sanierungsmaßnahmen, die insbesondere die Luftemissionen deutlich reduzieren.

10.1 PCDD/PCDF-Inventare in der Umwelt

Die Bestandsaufnahme der PCDD/PCDF-Inventare in den Umweltkompartimenten Wasser, Boden und Luft in Hamburg in den Kapiteln 2-6 kann graphisch dargestellt werden. In der folgenden Abbildung 10 werden diese Stoffmengen wiedergegeben. Unter dem stationären Inventar wird dabei diejenige Menge an PCDD/PCDF verstanden, die ohne Berücksichtigung von Anreicherungs-, Austausch- oder Transformationsprozessen in Hamburg vorhanden ist.

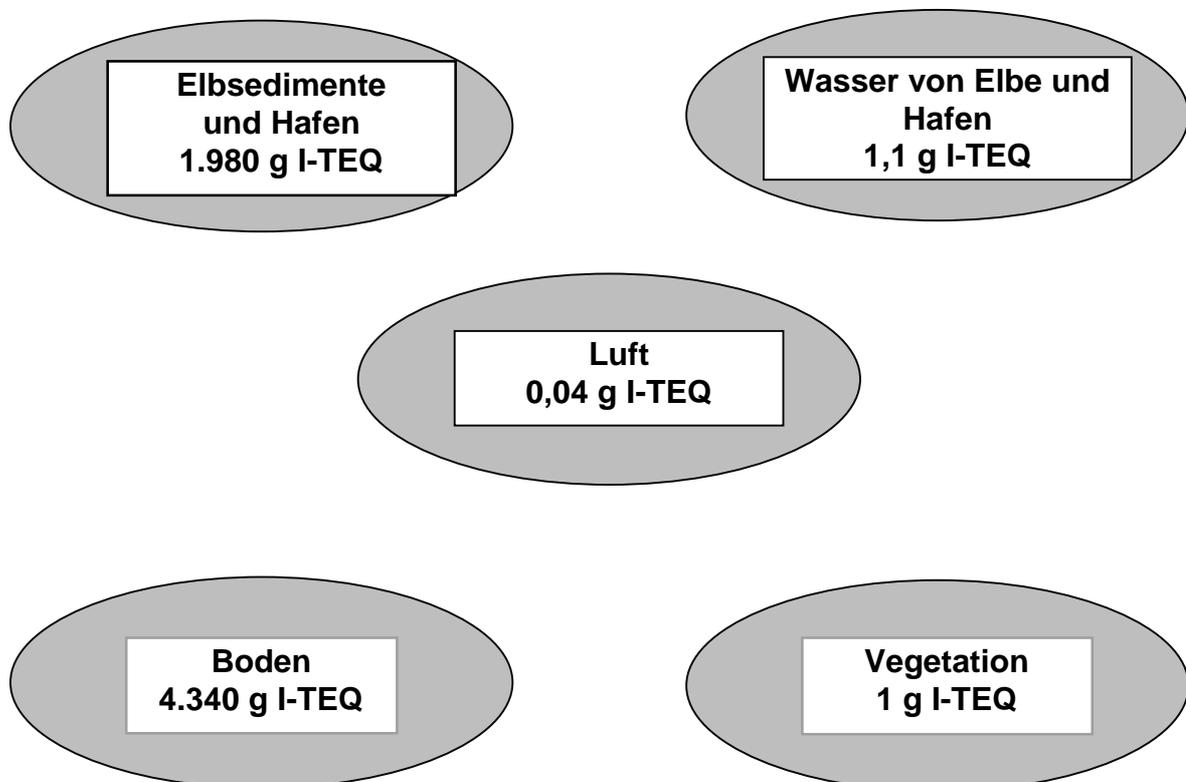


Abbildung 10: Stationäre PCDD/PCDF-Inventare in der Umwelt in Hamburg (ohne Altstandorte, Altablagerungen und Deponien)

Aus der obigen Abbildung wird deutlich, daß mehr als 99,9 % der PCDD/PCDF-Inventare in Hamburg im Boden und Sediment zu finden sind. Diese Kompartimente stellen somit auch für Hamburg eine Senke für die Dioxine dar.

In Luft und Vegetation sind die geringsten PCDD/PCDF-Inventare vorhanden, jedoch sind diese beiden Kompartimente bezüglich ihrer Relevanz für die Belastung des Bodens (Deposition, Winderosion) und der Nahrungsmittel für den Menschen sehr hoch zu bewerten. Gerade durch diese kleinen Stoffströme wird die Humanexposition zu einem wesentlichen Teil beeinflusst.

10.2 Bilanzräume der Anthroposphäre

Durch die Aktivitäten des Menschen entstehen neue Bilanzräume, in denen vergleichbar zu den Umweltkompartimenten eine Vielzahl von Prozessen ablaufen, bei denen Dioxine entstehen, vernichtet oder zwischen einzelnen Kompartimenten ausgetauscht werden. Neben den natürlichen Kompartimenten wie Wasser, Boden und Luft können also auch anthropogene Bilanzräume betrachtet werden.

10.2.1 Dioxinbilanz der industriellen und gewerblichen Aktivitäten in Hamburg

Die Tabelle 31 zeigt die Massenströme und die resultierenden PCDD/PCDF-Frachten. Soweit verfügbar wurden bei den Massenströmen die Mengen der in die Anlagen eingebrachten Stoffe betrachtet (z.B. Holz als Brenngut für Feuerungsanlagen). Die Dioxinfrachten wurden aus den in den vorhergehenden Kapiteln abgeleiteten Werten berechnet.

Für die zu entsorgenden und die verwertbaren Abfälle ergibt sich die Massenbilanz aus den ermittelten Abfallmengen. Da ca. 41 % des in den Hausmüllverbrennungsanlagen (MVA I, MVA II, Stapelfeld) entsorgten Mülls aus dem Gewerbe- und Geschäftsbereich stammt (vgl. Kapitel 9.1), wurde der anteilige Beitrag dieser Müllmengen an den Emissionen und den Reststoffen nach der Verbrennung berechnet. Für die Bilanzierung der verwertbaren Abfälle wurden daher auch 41 % der Schlackemengen (49.200 t von insgesamt 120.000 t/a) und der Filterstäube der MVA (5.800 t von insgesamt 14.200 t) dem Bereich Industrie und Gewerbe zugeordnet.

Ebenso wurde bei der Sonderabfallverbrennung nur der Anteil der in Hamburg selbst angefallenen Abfälle berücksichtigt. Dies waren im Jahr 1992 ca. 50 % der Gesamtmenge von 100.000 t Sonderabfall. Entsprechend wurden auch nur 50 % der verbleibenden Reststoffe (Schlacke, Filterstaub) und der Emissionen für Bereich Handel, Gewerbe und Industrie veranschlagt. Die deponierten Hamburger Sonder-

abfälle - 82.800 t, ohne Schlacke und Filterstaub aus Müllverbrennung wurden vollständig dem Bereich Handel, Gewerbe und Industrie zugerechnet. Für die PCB-haltigen Abfälle wurde angenommen, daß maximal 50 % aus Hamburg selbst stammen; die tatsächliche Menge dürfte sogar noch geringer sein.

Bei der Dioxinfracht des Klärschlammes aus Industrie, Handel und Gewerbe ist eine Überschätzung möglich, da die Bilanzierung hier keine genaueren Angaben liefern konnte. Zur Diskussion dieses Punktes siehe auch Abschnitte 2.5.3 und 2.6.

Tabelle 31: Massenströme (Zahlen gerundet) und PCDD/PCDF-Frachten aus den Aktivitäten der Industrie und des Gewerbes in Hamburg für das Bezugsjahr 1992 (ohne Berücksichtigung von dioxinmindernden Maßnahmen, die nach 1992 durchgeführt wurden)

Prozeß	Massenstrom (t/a)	Fracht (mg I-TEQ/a)
Luft		3.412
Prozeßabluft der metallurgischen Industrie		1.374
Räuchereien		8
Gewerbliche Holzfeuerungen	12.500	150
Verbrennung von Hamburger Sonderabfall	ca. 50.000	280
Verbrennung von Gewerbe- und Geschäftsmüll in Hamburger Anlagen	ca. 130.000	1.600
Wasser		962
Klärschlamm aus Abwasserreinigung		962
Feste Abfälle		33.015
Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall und Geschäftsmüll zur Deponierung	233.300	11.650
Sonderabfälle zur Deponierung	82.800	4.140
PCB-haltige Abfälle	< 1.000	< 2.100
Filterstäube aus industr. Prozessen	< 8.000	400
Schlacke aus Sonderabfallverbrennung	19.650	395
Filterstäube aus Sonderabfallverbrennung	7.650	7.650
Filterstäube aus Gewerbemüllverbrennung	5.800	6.680
Verwertbare Abfälle		2.262
Organische Abfälle	227.600	300
Altholz	25.500	255
Papier	307.000	307
Filterstäube u.ä. aus industr. Prozessen	ca. 8.000	460
Schlacke aus der Gewerbe- und Geschäftsmüllverbrennung aller Anlagen	49.200	940

Die folgende Abbildung 11 zeigt die PCDD/PCDF-Stoffströme, die sich durch die Aktivitäten der Industrie, des Gewerbes und des Handels ergeben.

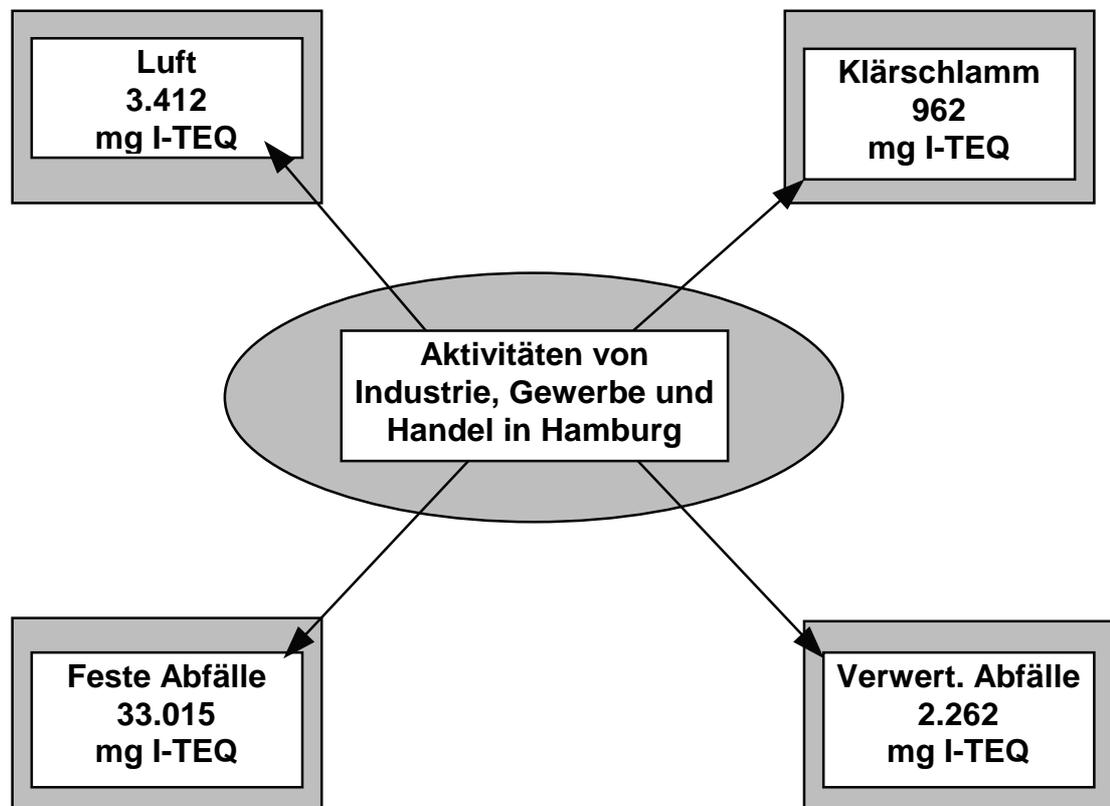


Abbildung 11: PCDD/PCDF-Frachten für das Jahr 1992 aus den Aktivitäten von Industrie und Gewerbe in Hamburg.
Prognosen für Frachten in die Luft im Jahr 1995, siehe Abschnitt 10.4

10.2.2 Bilanz der Privathaushalte

Neben Industrie und Gewerbe sind die Aktivitäten der Privathaushalte in Hamburg ein wesentlicher Verursacher von Dioxinfrachten. Die Ent- und Versorgung der Haushalte verursacht die größten Stoffströme (z.B. Deponierung und Verbrennung von Abfällen, Verwertung von MVA-Schlacke), während die Bereitstellung von Energie nur einen vergleichsweise geringen Teil der Emissionen in die Luft ausmacht. Die Tabelle 32 zeigt die Massenströme und die resultierenden Dioxinfrachten für die Haushalte. Bezüglich der Massenbilanz gilt das im vorigen Abschnitt gesagte.

Da ca. 54 % des gesamten zur Verbrennung gelangenden Mülls aus Haus- und Sperrmüll besteht, wurden aus den Massenströmen und den zugehörigen Konzentrationen die anteiligen Dioxinmissionen der Haushalte aus den Hamburger Ver-

brennungsanlagen berechnet. Ebenso wurde für die 54 % der Schlacke aus der Verbrennung dieser Abfälle verfahren.

Tabelle 32: Massenströme und PCDD/PCDF-Frachten aus den Aktivitäten der Haushalte für das Bezugsjahr 1992 (gerundet auf ganze Zahlen) (ohne Berücksichtigung von dioxinmindernden Maßnahmen, die nach 1992 durchgeführt wurden)

Prozeß	Massenstrom (t/a)	Fracht (mg I-TEQ/a)
Luft		2.448
Haus- und Sperrmüllverbrennung	171.000	2.100
Hausbrand (Maximalwert)		340
Wohnungsbrände		8
Wasser		419
Häusliches Abwasser/Klärschlamm		419
Feste Abfälle		24.250
Haus- und Sperrmüll zur Deponie	308.900	15.450
Filterstäube aus MVA	7.700	8.800
Verwertbare Abfälle		1.460
Organische Abfälle	88.850	165
Textilien	3.600	4
Papier	61.000	61
Schlacke aus der Haus- und Sperrmüllverbrennung aller Anlagen	64.800	1.230

In Abbildung 12 sind die Stoffströme der PCDD/PCDF aus Haushalten in Hamburg für das Jahr 1992 zusammenfassend dargestellt.

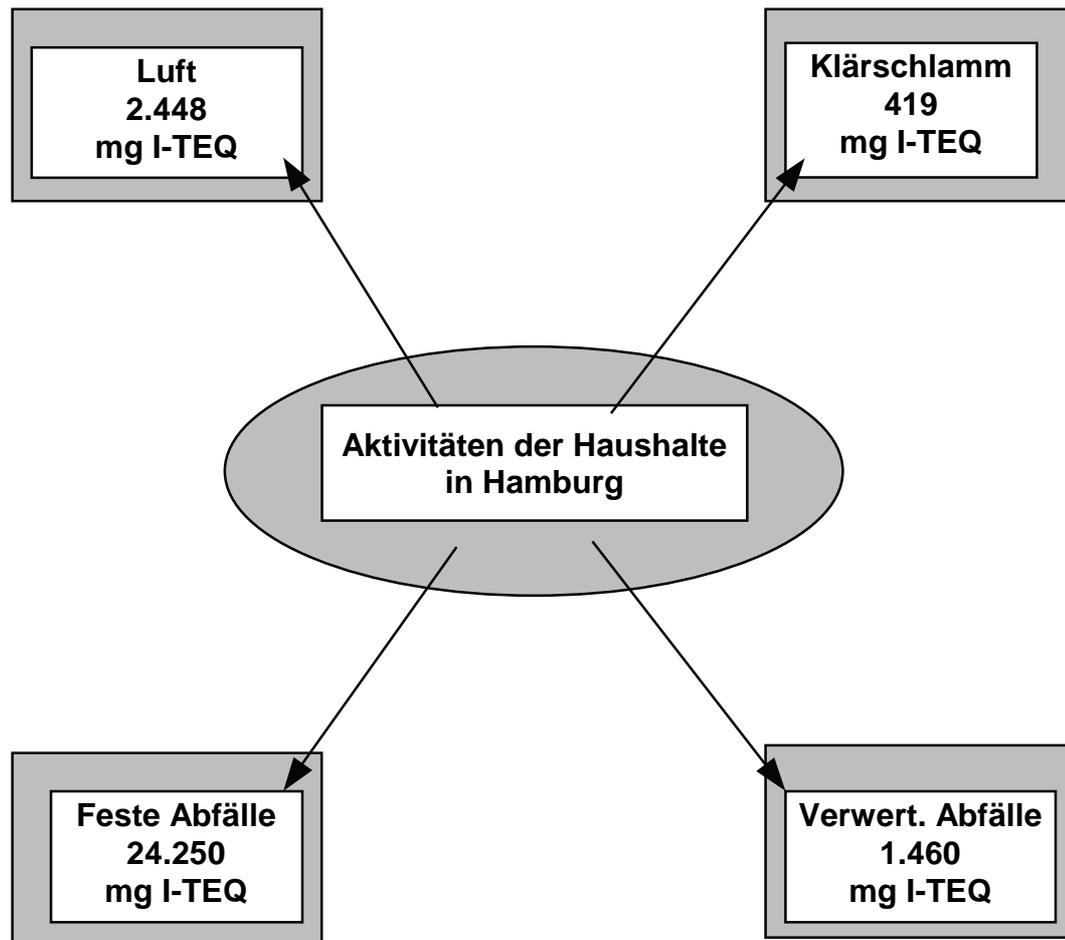


Abbildung 12: PCDD/PCDF-Frachten für das Jahr 1992 aus den Aktivitäten der Haushalte in Hamburg.

Prognosen für Frachten in die Luft im Jahr 1995, siehe Abschnitt 10.4

10.2.3 Bilanzierung der Abfallentsorgung in Hamburg

Die Entsorgung aller bei Entsorgungsträgern registrierten Abfälle der Hansestadt Hamburg stellt sich unter dem Aspekt der Dioxinbilanz wie in Tabelle 33 gezeigt dar. Die Eigenkompostierung der Haushalte ist daher nicht in der Tabelle enthalten.

Es wurden nur die Emissionen berücksichtigt, die in Hamburg selbst entstehen und Abfälle, die außerhalb Hamburgs verbrannt wurden unter "feste Abfälle" eingeordnet. Sonderabfälle, die auf Deponien abgelagert wurden, sind ebenfalls dort aufgeführt und wurden bei der Berechnung der Dioxinfracht mit 50 ng I-TEQ/kg berücksichtigt.

Die Tabelle kann somit auch als eine "Import-Export-Bilanz" für die Dioxinfrachten aus der Entsorgung der Stadt Hamburg betrachtet werden: Dioxinmissionen in Höhe von 4,5 g I-TEQ wurden 1992 in Hamburg freigesetzt, die festen Abfälle und der Klärschlamm/Kläranlagenauslauf - zusammen ca. 75 g I-TEQ - werden nach außerhalb Hamburgs verbracht. Von den verwertbaren Abfällen verbleiben durch Müllverbrennungsschlacke und Kompost ca. 2,6 g I-TEQ in Hamburg.

Tabelle 33: Dioxinbilanz der Abfallentsorgung Hamburgs für das Bezugsjahr 1992 (Massenströme gerundet) (ohne Berücksichtigung von dioxinmindernden Maßnahmen, die nach 1992 durchgeführt wurden).

	Massenstrom (t)	Fracht (mg I-TEQ/a)
Emissionen in die Luft		4.487
Hausmüllverbrennung in Hamburg	318.200	3.913
Sonderabfallverbrennung, einschließlich Abfälle von außerhalb Hamburgs	93.000	560
Klärgasverbrennung	150 Mio. m ³	14
Abwasser/Klärschlamm	47.900	1.460
Klärschlamm aus der Abwasserreinigung	47.900	1.438
Kläranlagenausläufe		22
Feste Abfälle	811.300	73.580
Haus-, Gewerbe- und Geschäftsmüll, einschl. Straßenreinigung/Marktabfälle zur Deponie	574.600	28.720
Haus-, Gewerbe- und Geschäftsmüll, einschl. Straßenreinigung/Marktabfälle zur Verbrennung in Schleswig-Holstein	83.600	4.180
Filterstäube aus der Hausmüllverbrennung	14.200	16.300
Sondermüll zur Deponierung, ohne Rückstände aus der Müllverbrennung	82.800	4.140
PCB-haltige Abfälle	2.000	4.150
Filterstäube aus der Sonderabfallverbrennung	15.300	15.300
Schlacke aus der Sonderabfallverbrennung	39.300	790
Verwertbare Abfälle	786.550	3.496
Schlacke aus der Hausmüllverbrennung	120.000	2.300
Organische Abfälle Haushalte (nur Biotonne)	8.850	25
Organische Abfälle der Körperschaften	38.200	244
Organische Abfälle aus Handel und Gewerbe	228.000	300
Altpapier aus Haushalten, Handel und Gewerbe	368.000	368
Alttextilien aus Haushalten	3.600	4
Altholz des Gewerbes an Altstoffhandel	25.500	255

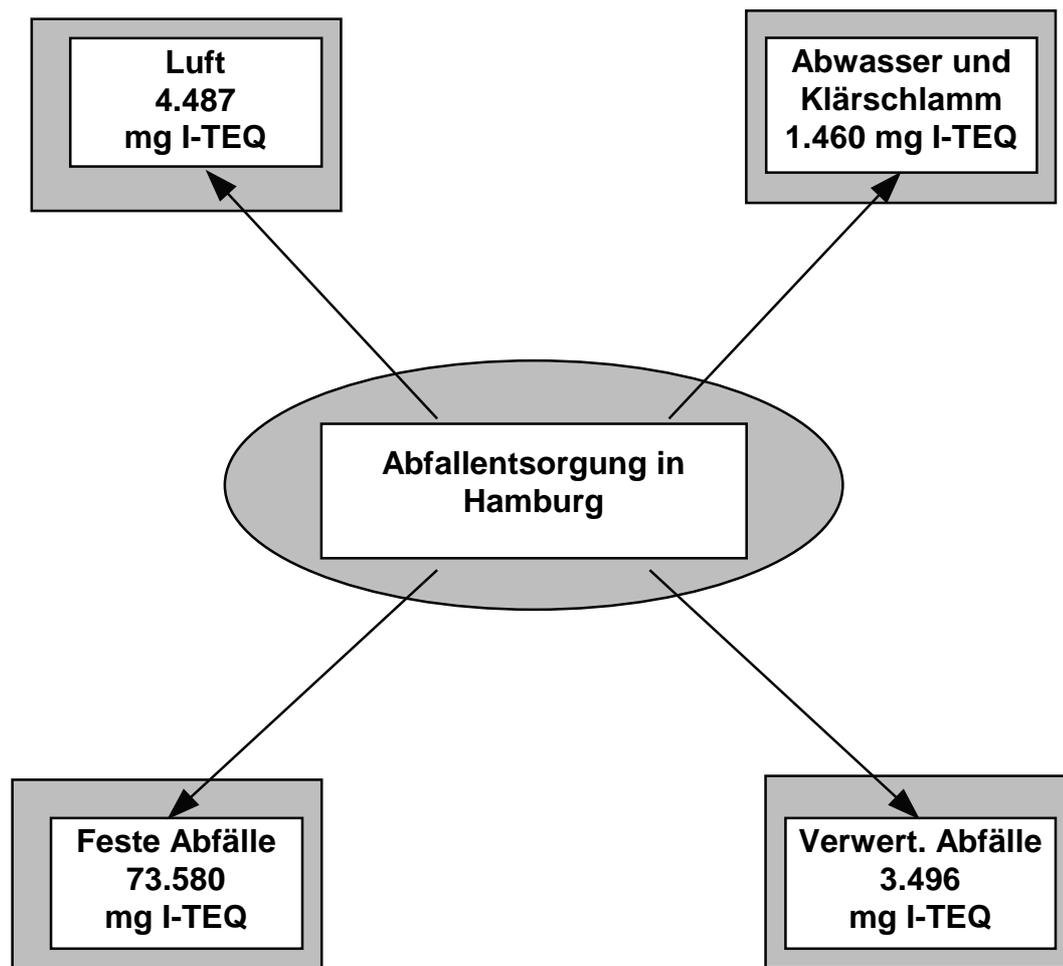


Abbildung 13: PCDD/PCDF-Frachten für das Jahr 1992 aus den Aktivitäten der Abfallentsorgung in Hamburg.
Prognosen für Frachten in die Luft im Jahr 1995, siehe Abschnitt 10.4

10.2.4 Bilanzierung einer Hamburger Hausmüllverbrennungsanlage

Die Beantwortung der Frage, ob die Müllverbrennung eine Senke oder Quelle bezüglich der absoluten Menge der PCDD/PCDF darstellt, hängt entscheidend von der Datenqualität ab. Während die festen Reststoffe (Schlacke, Filterstäube) und die Emissionen (Abgas) mit relativ großer Genauigkeit zu quantifizieren sind und in ihrem PCDD/PCDF-Gehalt nur geringen zeitlichen Schwankungen unterliegen, ist das extrem inhomogene Eingangsmaterial "Hausmüll" ungleich schwieriger in einer Gesamtbetrachtung zu fassen. Der verwendete Gehalt von 50 ng I-TEQ/kg kann nur als operationaler Wert verstanden werden.

Auf der Basis der Dioxinkonzentrationen im Eingangs- und Ausgangsmaterial kann zusammen mit den Massenströmen eine Müllverbrennungsanlage überschlagsmäßig bilanziert werden. Dies wird im folgenden am Beispiel der alten MVA I und an der MVB, die die Altanlage ersetzt, dargestellt.

Für die Altanlage wurden für das spezifische Emissionsvolumen, den Schlacke- und Filterstaubanfall mittlere Werte, die auch in der Literatur über Hausmüllverbrennung zu finden sind, angesetzt. Kleinere Variationen sind je nach Anlagentyp und Müllzusammensetzung möglich, dies hat auf die Abschätzung aber nur geringen Einfluß.

Alte Anlage der MVA I (Werte von 1992):

Eingangsmaterial

Hausmüll:	157.900 t · 50 µg I-TEQ/t	7.895 mg I-TEQ/a
Summe		7.895 mg I-TEQ/a

Ausgangsmaterial

Emissionen:	157.900 t · 5000 m ³ /t · 1,2 ng I-TEQ/m ³	947 mg I-TEQ/a
Schlacke:	157.900 t · 0,3 t/t · 19 µg I-TEQ/t	900 mg I-TEQ/a
Filterstaub:	157.900 t · 0,05 t/t · 1.100 µg I-TEQ/t	8.685 mg I-TEQ/a
Summe		10.532 mg I-TEQ/a

Bei der Erstellung der Dioxinbilanz für die neue Verbrennungsanlage wurde bei Hausmüll die gleiche Konzentration angenommen, aber für Luftemissionen, Schlacke und Filterstäube wurden die Massenströme und Konzentrationen der Genehmigung bzw. des bisherigen Betriebes eingesetzt.

Neue Anlage der MVB als Ersatz für MVA I:

Eingangsmaterial

Hausmüll:	157.900 t · 50 µg I-TEQ/t	7.895 mg I-TEQ/a
Summe		7.895 mg I-TEQ/a

Ausgangsmaterial

Emissionen:	157.900 t · 4000 m ³ /t · 0,05 ng I-TEQ/m ³	32 mg I-TEQ/a
Schlacke:	157.900 t · 0,3 t/t · 10 µg I-TEQ/t	474 mg I-TEQ/a
Filterstaub:	157.900 t · 0,023 t/t · 1.100 µg I-TEQ/t	3.995 mg I-TEQ/a
Summe		4.501 mg I-TEQ/a

Die thermische Behandlung von Hausmüll in der MVB führt bei Einhaltung der Abgasgrenzwerte der 17. BImSchV zu einem Dioxinaustrag in die Luft, der weniger als 1 % der Dioxinfracht beträgt.

Der Massenstrom in die Verbrennungsanlage verringert sich vom Eingangs- (Hausmüll) zum Ausgangsmaterial (Schlacke und Filterstäube) um ungefähr zwei Drittel. Mehr als 99 % der nach der Verbrennung verbleibenden PCDD/PCDF-Fracht

der Anlage werden in einer vorwiegend mineralischen Matrix aufkonzentriert. Fast 90 % der Dioxine befinden sich im Filterstaub, der nur ca. 7 Gew.-% der verbleibenden Reststoffe darstellt. Durch die Müllverbrennung wird die im Hausmüll enthaltene Dioxinfracht also einerseits um mehr als 40 % verringert, andererseits in einem kleinen Massenstrom aufkonzentriert und mit dem Reststoff (= Filterstaub) entsteht ein vergleichsweise homogenes und inertes Produkt. Wichtiger als der Vergleich der absoluten Zahlen (Dioxinfracht im Eingangs- und Ausgangsmaterial) ist eine differenzierte Betrachtung, die die Bindungsform - und damit die Verfügbarkeit und Mobilität der PCDD/PCDF - berücksichtigt.

10.3 Dioxinbilanz eines Hamburger Haushalts

Die nachfolgende Tabelle 34 zeigt die Massenströme und die Dioxinfrachten aus der Ver- und Entsorgung eines Privathaushaltes in Hamburg. Die in den vorangegangenen Kapiteln ermittelten Massenströme einschließlich der zum Verzehr kommenden Lebensmittel wurden dazu auf einen Einwohner und einen Tag bezogen.

Bei den Abfällen wurde der Haus- und Sperrmüll vollständig den Privathaushalten zugerechnet und bei den organischen Abfällen nur die Anlieferung an öffentliche Kompostplätze berücksichtigt. Die Eigenkompostierung schließt sehr häufig die Kompostierung von Gartenabfällen und Baumschnitt mit ein, die ja nicht über die Güterströme in den Haushalt gelangen.

Für das Abwasser wurde vereinfachend angenommen, daß es der Menge des Brauch- und Trinkwassers entspricht. Mögliche Verluste bei Aktivitäten im Haushalt (z.B. Putzen, Blumen gießen) sind eher gering und somit in der Dioxinbilanz des Wassers vernachlässigbar.

Die Massenbilanz eines Privathaushalts verdeutlicht, daß die in einem Haushalt vorhandenen Gütermengen ständig zunehmen. Es muß aber an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß sowohl bei der Massen- wie bei der Stoffbilanzierung der Eingänge in den Haushalt erhebliche Unsicherheiten im Datenmaterial bestehen. Nahrungsmittel, Güter und Produkte können auf verschiedene Weise in den Haushalt gelangen, so daß die vollständige Erfassung der Massenströme kaum möglich ist. Demgegenüber sind die Abgänge in Form von Abfall oder Abwasser wesentlich leichter erfaßbar und werden auch im Rahmen der abfallwirtschaftlichen Planungen regelmäßig ermittelt. Trotzdem kann eine derartige Bilanzierung Anhaltspunkte liefern, welchen Massen- und Stoffströmen unter dem Aspekt der PCDD/PCDF besondere Aufmerksamkeit zukommen sollte.

So ist z.B. bemerkenswert, daß von den Eingangsgütern die Menge der festen Nahrungsmittel weniger als 1 % der Gesamtmenge beträgt und auch ihr Anteil an der gesamten Dioxinfracht des Haushalts gering erscheint. Die PCDD/PCDF-Belastung

eines Menschen entsteht aber praktisch ausschließlich durch diesen kleinen Massen- und Stoffstrom. Die Situation in Hamburg unterscheidet sich in dieser Hinsicht jedoch nicht von der im Bundesdurchschnitt.

Tabelle 34: Tägliche Massen

ströme und Dioxinfrachten für einen Menschen in einem Hamburger Privathaushalt (ohne Energieerzeugung)

Stoffflüsse	Massenstrom (kg/d)	PCDD/PCDF- Konzentration (ng I-TEQ/kg)	PCDD/PCDF- Fracht (ng I-TEQ/d)
Eingang in den Haushalt:	143,7		2,5-20,5
Güter und Produkte	2*	1-10 (?)	2-20 (?)
Feste Nahrungsmittel zum Verzehr	1,05	0,11**	0,119
Nahrungsmittel, die nicht ver- zehrt werden (Verluste, Verderb)	0,1	0,11**	0,01
Trinkwasser	1,5	<0,003	<0,005
Brauchwasser	138,5	<0,003	<0,42
Dioxinrelevante Prozesse im Haushalt	0,01	?	?
z.B. Anreicherung von Haus- staub, Ruß aus Hausbrand, etc.	<0,01*	100-3.000 (?)	1-30 (?)
Abgang aus dem Haushalt:	142		44,8
Haus- und Sperrmüll	0,88	50*	44
Organische Abfälle, Biotonne	0,016	2,7**	0,04
Altpapier	0,10	1	0,1
Alttextilien	0,006	1	0,006
Abwasser und Fäkalien	141	0,005**	0,7

* Literaturwert, nicht spezifisch für Hamburg

** Berechnet aus Spalten 2 und 4 (gerundet)

Der bedeutendste Massenfluß bei der Ver- und Entsorgung des Haushalts ist das Wasser. Die Dioxinfracht, die damit aus dem Haushalt heraus transportiert wird, ist im Vergleich zu den festen Abfällen gering. Die Dioxinbelastung des Wassers nimmt mit dem Fluß durch den Haushalt bei gleichem Massenstrom aber zu (von <0,42 auf 0,7 ng I-TEQ/d).

Güter und Produkte sind generell das größte PCDD/PCDF-Reservoir in einem Haushalt; ihr Beitrag an der Belastung des Menschen ist aber praktisch vernachlässigbar. Da statistisch betrachtet im Verlauf eines Jahres mehr Güter in den Haushalt gelangen als wieder heraus, könnte daraus auch eine gewisse Akkumulation von PCDD/PCDF in den Haushalten abgeleitet werden. Die PCDD/PCDF-Stoffmenge in den ca. 2 kg Gütern und Produkten, die pro Tag in den Haushalt gelangen, dürfte im Bereich von 2-20 Nanogramm I-TEQ liegen (vgl. Kapitel 8).

Über die mit dem Hausmüll entsorgten Güter und Produkte entsteht die größte Dioxinfracht aus den Privathaushalten. Es ist jedoch bisher nicht möglich, diese Dioxinmengen mit bestimmten Gütern in Verbindung zu bringen, da innerhalb der festen Abfälle die nicht differenzierbare Feinmüllfraktion für diese Fracht verantwortlich ist. Möglicherweise findet im Haushalt - vergleichbar dem Brauchwasser - eine Erhöhung der Dioxinkonzentrationen mit dem Gebrauch oder Kontakt mit anderen Gütern statt: So kann z.B. Staub, der diffus in den Haushalt gelangt und zusammen mit den gebrauchten Gütern entsorgt wird, einen Teil der Dioxinfracht des Abfalls erklären. Ebenso kann Ruß aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe in Hausfeuerungsanlagen eine wesentliche Ursache der Dioxinbelastung des Hausmülls sein. Angesichts dieser Unsicherheiten kann die Dioxinbilanz eines Haushaltes beim derzeitigen Kenntnisstand nicht vervollständigt werden.

Von den ca. 0,12 ng I-TEQ, die von einem Menschen in Hamburg über die Nahrung täglich aufgenommen werden, werden 0,06-0,08 ng I-TEQ über Faeces wieder ausgeschieden (vgl. Abschnitt 7.6). Es verbleiben ungefähr 0,05 ng I-TEQ/d im Körper.

10.4 Abschätzung der aktuellen Dioxinmissionen Hamburgs für das Jahr 1995

In den Kapiteln 4 und 9 wurde bereits auf die umfangreichen Luftreinhaltemaßnahmen in Hamburg im Zusammenhang mit thermischen Prozessen in der Industrie und bei der Abfallverbrennung hingewiesen. Ebenso wurden die Dioxinmissionen aus dem Kraftfahrzeugverkehr für das Jahr 1995 abgeschätzt.

Es ist daher möglich, auf dieser Datengrundlage die aktuellen Dioxinmissionen der Hansestadt Hamburg zu beurteilen und insbesondere Veränderungen in der Emittentenstruktur im Vergleich zum Bezugsjahr dieses Berichtes - 1992 - zu erkennen. In der Abbildung 14 sind die Hamburger Emittenten in die Bereiche Industrie/Gewerbe, Privathaushalte, Verkehr und Energie aufgeteilt und ihre Dioxinmissionen in die Luft für das Jahr 1992 und für 1995 getrennt dargestellt.

Emissionsmindernde Maßnahmen bei der metallurgischen Industrie (vgl. Abschnitte 4.3.1 und 4.7) und die Verbrennung von Gewerbe- und Geschäftsmüll in der sanierten bzw. neu errichteten Verbrennungsanlage (MVA II und MVB) waren die Grund-

lage für die Quantifizierung der PCDD/PCDF-Emissionen im Jahr 1995 (vgl. Abschnitte 4.3.4 und 4.7). Es wurde vereinfachend angenommen, daß die Menge von Gewerbe- und Geschäftsmüll und der Anteil der verbrannt wird, seit 1992 konstant blieben (41 % aus der aktuellen Dioxinfracht von 140 mg I-TEQ aus MVA II und MVB). Eventuelle Änderungen dieser Werte hätten auf die Emissionsprognose 1995 nur einen marginalen Einfluß. Bei der sanierten Sonderabfallverbrennungsanlage in Hamburg wurde angenommen, daß ungefähr 50 % des Mülls (wie 1992) von Hamburger Betrieben und die anderen 50 % von außerhalb Hamburgs stammen.

Für den Bereich Energieerzeugung aus Kraftwerken (vgl. Abschnitt 4.3.3) war es nicht möglich, mit dem vorhandenen Datenmaterial eine aktualisierte Emissionsabschätzung durchzuführen. Es wurden daher die Werte aus dem Jahr 1992 beibehalten.

Bei den durch Aktivitäten der Privathaushalte verursachten Dioxinmissionen wurden nur die Emissionen aus der Haus- und Sperrmüllverbrennung verändert. Wie bei der Verbrennung von Gewerbe- und Geschäftsmüll wurde näherungsweise von gleichen verbrannten Müllmengen wie 1992 ausgegangen (54 % der Emissionsfracht von 140 mg I-TEQ/a aus MVA II und MVB).

Unter der Annahme eines ungefähr gleichbleibenden Kraftstoffverbrauchs aber vollständigem Ersatz verbleiter Kraftstoffe ergab sich die Emissionsschätzung des Verkehrs für das Jahr 1995 (vgl. Abschnitt 4.4.1).

In der folgenden Tabelle 35 sind die aktualisierten Emissionsfrachten Hamburgs zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 35: Prognose der PCDD/PCDF-Emissionen aus Hamburger Quellen in die Umgebungsluft für das Jahr 1995

Quelle	Dioxinfracht (mg I-TEQ/a)
Industrie und Gewerbe	< 839
Prozeßabluft der metallurgischen Industrie (Eisen, Aluminium, Kupfer)	< 600
Räuchereien	8
Verbrennung von Gewerbe- und Geschäftsmüll	57
Verbrennung von Sonderabfall von Hamburger Erzeugern	24
Gewerbliche Holzfeuerungen	150
Privathaushalte	84 + (70 bis 340)
Verbrennung von Haus- und Sperrmüll	76
Hausbrand	70-340
Wohnungsbrände	8
Verkehr	36
Gesamter Kfz-Verkehr	36
Energie	83
Kraftwerke auf Basis fossiler Brennstoffe	69
Verbrennung von Klärgas	14
Sonstige Quellen	31 + (4 bis 21)
Verbrennung von Straßenreinigungs- und Marktabfällen	7
Krematorien	4-21
Verbrennung von Sondermüll, der nicht in Hamburg anfiel	24
Summe aller Hamburger Emissionen im Jahr 1995 (Maximalwert)	1.434
Summe aller Hamburger Emissionen im Jahr 1995 (Minimalwert)	1.147

In der Abbildung 14 sind die vier wichtigsten Emittentengruppen und ihre Beiträge zu den PCDD/PCDF-Emissionen in die Hamburger Luft für die Jahre 1992 und 1995 graphisch dargestellt.

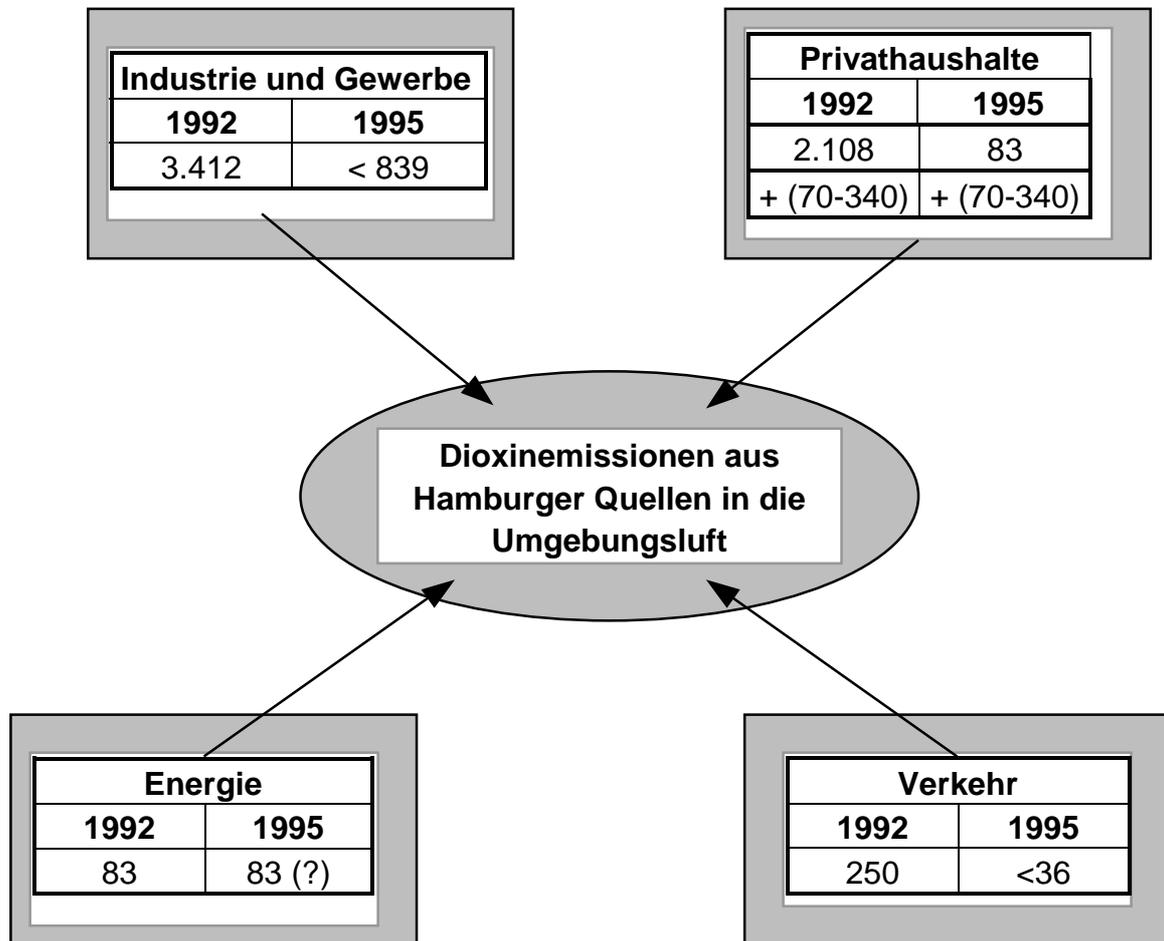


Abbildung 14: Vergleich der PCDD/PCDF-Emissionen aus Hamburg in die Umgebungsluft für die Jahre 1992 und 1995 (alle Angaben in mg I-TEQ/a)

Deutliche Veränderungen ergaben sich vor allem bei der Emissionseinschätzung der Industrie und der Privathaushalte. Während diese beiden Bereiche 1992 noch ganz deutlich die Hauptemittenten waren - insbesondere auf Grund der Müllverbrennung - sind nun ihre Dioxinmissionen erheblich reduziert worden.

- Die PCDD/PCDF-Emissionen aus den Aktivitäten von Industrie und Gewerbe wurden innerhalb von vier Jahren um einen Faktor 4 gesenkt. Die Müllverbrennung ist nicht mehr die größte Dioxinquelle innerhalb dieser Emittentengruppe.
- Die PCDD/PCDF-Emissionen aus den Aktivitäten der Privathaushalten (ohne Hausbrand) reduzierten sich im Zeitraum 1992-1995 um einen Faktor 25. Der

Hausbrand ist nun innerhalb dieser Emittentengruppe die möglicherweise größte, aber auf jeden Fall eine nicht mehr vernachlässigbare Dioxinquelle.

- Die PCDD/PCDF-Emissionen aus dem Bereich Verkehr wurden zwischen 1992 und 1995 um einen Faktor 7 verringert.
- Die PCDD/PCDF-Emissionen aller identifizierten Hamburger Quellen wurde von 1992 bis 1995 von maximal 6.707 mg I-TEQ/a auf maximal 1.434 mg I-TEQ/a vermindert; dies ist eine Reduktion der Dioxinmissionsbelastung um ungefähr einen Faktor 5.

Aus dieser Darstellung wird deutlich, daß innerhalb der kurzen Zeitspanne von 1992 bis 1995 die Maßnahmen der Hansestadt Hamburg zur Minderung der PCDD/PCDF-Emissionen sehr wirkungsvoll waren. Beim heutigen Stand der Technik sind nur noch begrenzte weitere Minimierungsmaßnahmen in Hamburg möglich.

Ein Hauptaugenmerk zukünftiger Umweltplanung Hamburgs sollte - neben den in der Zusammenfassung (siehe Seiten 1-9 dieses Berichtes) genannten Maßnahmen - eine Reduzierung der PCDD/PCDF-Belastungen auch in anderen Regionen der Bundesrepublik und Europas sein. Emissionsreduzierende Maßnahmen, wie die in Hamburg durchgeführten, können nur im nationalen und internationalen Verbund zu einer wirksamen Entlastung der Umwelt und des Menschen von der Stoffklasse der polychlorierten Dibenzo-*p*-dioxine und Dibenzofurane führen.

10.5 Zusammenfassung aller PCDD/PCDF-Frachten und Inventare

Die Datensicherheit wird in zweifacher Hinsicht bewertet: zum einen die Angaben zu den Massenströmen bzw. vorhandenen Massen im betrachteten Kompartiment und zum anderen die Qualität der PCDD/PCDF-Konzentrationsangaben, mit denen die Stoffströme bzw. die Potentiale berechnet wurden.

Datensicherheit: H = Hoch (Meßdaten aus Hamburg vorhanden)

(Spalten 4 und 5) M = Mittel (Meßdaten aus der Literatur entnommen, für Hamburg angepaßt)

G = Gering (Keine Meßdaten vorhanden; Wert wurde abgeleitet/geschätzt)

Tabelle 36: Zusammenfassung der ermittelten Dioxinfrachten und -inventare in der Freien und Hansestadt Hamburg. Die Einteilung folgt der Reihenfolge des Gesamtberichtes

Quelle/Matrix	Fracht/Inventar (mg I-TEQ/a)	Datensicherheit		Relevanz für Mensch und Umwelt
		Massenströme oder Inventar	PCDD/PCDF- Konzentration	
Abwasser, Wasser und Sedimente				
Häusliches Abwasser, Durchschnitt	419	H	M	Klärschlamm; Reservoir
Abspülungen von Straßen, Hausdächern	57	M	G	Klärschlamm; Reservoir
Quellen außerhalb der Haushalte	962	G	G	Klärschlamm, Reservoir
Einträge				
Kläranlagenabläufe	22	H	G	Elbe, Nordsee, Nahrungskette (Fische)
Niederschlag	60	M	G	Elbe, Nordsee, Nahrungskette (Fische)
Zufluß mit der Elbe	70.000	H	G	Elbe, Nordsee, Nahrungskette (Fische)
Direkteinleiter (Schiffe, Industrie)	1-10	G	G	Elbe, Nordsee, Nahrungskette (Fische)
Antisonaranstriche	8-80	G	G	Historischer Eintrag nur 1939-1945
Austräge				
Abfluß mit der Elbe	47.000	M	H	Elbe, Nordsee, Nahrungskette (Fische)
Ablagerung von Sedimenten	23.000	M	M	Bodenbelastung
PCDD/PCDF-Inventar im Elbewasser	1.100	H	H	Reservoir
PCDD/PCDF-Inventar in Sedimenten	1.980.000	M	H	Reservoir
Atmosph. Deposition auf Wasserflächen	220	M	M	Elbe, Nordsee, Nahrungskette (Fische)

Quelle/Matrix	Fracht/Inventar (mg I-TEQ/a)	Datensicherheit		Relevanz für Mensch und Umwelt
		Massenströme oder Inventar	PCDD/PCDF- Konzentration	
Boden				
Flächen mit landwirtsch. und gärtner. Nutzung	690.000	H	H	Nahrungskette
Erholungsflächen, Grünflächen, Friedhöfe	140.000	H	H	Bodenaufnahme durch Menschen
Emittentenbeeinflusste Gebiete	190.000	H	H	Reservoir, Nahrungskette
Sedimentablagerungen	2.830.000	H	H	Reservoir
Deponien, Altablagerungen und Altstandorte	>378.000.000	H	M	Reservoir
Wege- und Sportplatzunterbauten	160.000	H	H	Reservoir
Sonstige Flächen	335.000	H	H	Reservoir
Luft				
Metallurgische Industrie	1.374	H	M	Luft; Deposition, Nahrungskette
Petrochemie	0,009	H	G	Luft; Deposition, Nahrungskette
Räuchereien	8	M	H	Luft; Deposition, Nahrungskette
Gummi- und Kunstharzherstellung	n.b.	H	G	Luft; Deposition, Nahrungskette
Hausmüllverbrennung	3.913	H	H	Luft; Deposition, Nahrungskette
Sondermüllverbrennung	560	H	H	Luft; Deposition, Nahrungskette
Krematorien	21	H	M	Luft; Deposition, Nahrungskette
Straßenverkehr	250	M	M	Luft; Deposition, Nahrungskette
Schiffs-, Schienen- und Flugverkehr	n.b.	G	G	Luft; Deposition, Nahrungskette
Kraftwerke mit fossilen Brennstoffen	69	H	M	Luft; Deposition, Nahrungskette
Gärtnereibetriebe und Furnierwerke	150	M	M	Luft; Deposition, Nahrungskette
Verbrennung von Klärgas	14	H	M	Luft; Deposition, Nahrungskette
Hausfeuerungen	70-340	M	M	Luft; Deposition, Nahrungskette
Wohnungsbrände	8	M	G	Luft; Deposition, Nahrungskette
Abbrennen von Ernterückständen	n.b.	G	G	Luft; Deposition, Nahrungskette

Quelle/Matrix	Fracht/Inventar (mg I-TEQ/a)	Datensicherheit		Relevanz für Mensch und Umwelt
		Massenströme oder Inventar	PCDD/PCDF- Konzentration	
Landwirtschaft und Tierhaltung				
Pflanzliche Nahrungsmittel	0,56	M	M	Humanbelastung, Nahrungskette
Kuhmilch aus Hamburg	0,55	M	M	Humanbelastung, Nahrungskette
Hühnereier aus Hamburg	0,02	G	M	Humanbelastung, Nahrungskette
Nutztiere aus Hamburg	1,2	G	M	Humanbelastung, Nahrungskette
Schlachttiere in Hamburg angeliefert	23,4	H	M	Humanbelastung
Haus- und Wildtiere in Hamburg	2,2	M	M	Nahrungskette
Organische Abfälle Nutztierhaltung	67	M	G	Bodenbelastung
Organische Abfälle Haustierhaltung	3	M	G	Bodenbelastung
Klärschlamm und Kompostausbringung	67 ?	G	G	Bodenbelastung
Transfer- und Transformationsreaktionen				
Ausgasung aus dem Wasser in die Luft	n.b.	G	G	Luft
Ausgasung aus dem Boden in die Luft	n.b.	G	G	Luft
Verfrachtung mit Erosion	110	M	M	Boden, Vegetation, Nahrungskette
Atmosphärische Deposition auf Hamburg davon auf Landoberfläche	2.800 2.500	M	H	Boden, Vegetation, Nahrungskette
Inventar der Vegetation	280	M	H	Vegetation, Nahrungskette
Atmosphärische Deposition auf Vegetation	990	M	H	Vegetation, Nahrungskette
Eintrag durch Nebel	n.b.	G	G	Vegetation, Nahrungskette

Quelle/Matrix	Fracht/Inventar (pg I-TEQ/d)	Datensicherheit		Relevanz für Mensch und Umwelt
		Massenströme oder Inventar	PCDD/PCDF- Konzentration	
MENSCH (70,7 kg KG)	119			Direkte Humanbelastung
Luft	1,5	H	H	Direkte Humanbelastung
Bodenkontakt	0,06	M	H	Direkte Humanbelastung
Wasser	0,005	H	M	Direkte Humanbelastung
Nahrung insgesamt	119,5	H	H	Direkte Humanbelastung
Fisch	33,6	H	H	Direkte Humanbelastung
Fleisch/Fleischprodukte	26,9	H	H	Direkte Humanbelastung
Milch/Milchprodukte	45,5	H	H	Direkte Humanbelastung
Eier	5,6	H	H	Direkte Humanbelastung
sonstige Fette	0,8	H	H	Direkte Humanbelastung
Brot Teigwaren, Nahrungsmittel	2,2	H	H	Direkte Humanbelastung
Gemüse	2,7	H	H	Direkte Humanbelastung
Obst	1,9	H	H	Direkte Humanbelastung
Zusatzbelastung durch Rauchen	0,1-4,5	M	M	Direkte Humanbelastung

Quelle/Matrix	Fracht/Inventar (mg I-TEQ/a)	Datensicherheit		Relevanz für Mensch und Umwelt
		Massenströme oder Inventar	PCDD/PCDF- Konzentration	
Güter und Produkte	3.400			
Holz	520	H	G	Wirtschaftskreislauf, Abfall
Papier, Zellstoff, Pappe	-130	H	M	Wirtschaftskreislauf, Abfall
Mineralische Baustoffe	1.090	H	M	Wirtschaftskreislauf, Abfall
Mineralöle, Mineralölerzeugnisse	580	H	M	Wirtschaftskreislauf, Abfall
Brennstoffe für Hausbrand	80	H	G	Wirtschaftskreislauf, Abfall
Chemikalien und Kunststoffe	-990	H	G	Wirtschaftskreislauf, Abfall
Metalle	740	H	G	Wirtschaftskreislauf, Abfall
Textilien, Leder	420	H	M	Wirtschaftskreislauf, Abfall
Fahrzeuge, Maschinen	-290	H	G	Wirtschaftskreislauf, Abfall
Futter-, Lebens- und Genußmittel	510	H	G	Wirtschaftskreislauf, Abfall
Verpackungen	870	M	G	Wirtschaftskreislauf, Abfall

Quelle/Matrix	Fracht/Inventar (mg I-TEQ/a)	Datensicherheit		Relevanz für Mensch und Umwelt
		Massenströme oder Inventar	PCDD/PCDF- Konzentration	
Abfälle				
Kaminruß im Hausmüll	2.700	M	G	Belastung des Hausmülls
Hausstaub im Hausmüll	510	M	M	Belastung des Hausmülls
Haus-/Gewerbemüll/Straßenreinig. zur Deponie	28.720	H	M	Technosphäre
Haus-/ Gewerbemüll/Straßenreinigung zur Verbrennung	20.460	H	M	Technosphäre
Schlacke aus Hausmüllverbrennung in Hamburg	1.815	H	H	Technosphäre, Boden
Schlacke aus Hausmüllverbrennung in S.-Holst.	477	H	H	Technosphäre, Boden
Filterstäube aus Hausmüllverbrennung	16.300	H	H	Technosphäre; Biosphäre entzogen
Sonderabfälle zur Deponierung (ohne Verbrennungsrückstände)	4.140	H	G	Technosphäre
Filterstäube aus Sonderabfallverbrennung	15.300	H	H	Technosphäre; Biosphäre entzogen
Schlacke aus der Sonderabfallverbrennung	790	H	M	Technosphäre, Boden
Filterstäube aus industriellen Prozessen	860	H	H	Technosphäre und Verwertung
PCB-haltige Abfälle	4.150	H	M	Technosphäre, Verbrennung
Brandschutt	800-8.000	M	G	Technosphäre, Deponie
Klärschlamm	1.438	H	H	Technosphäre, Deponie
Altreifen	0,2	G	G	in Sekundärprodukt
Altholz	255	H	G	in Sekundärprodukt
Altpapier	368	H	M	in Sekundärprodukt
Textilien aus Wertstoffsammlung	4	H	M	in Sekundärprodukt
Organische Abfälle aus Privathaushalten (Biotonne und Eigenkompostierung)	165	H	H	Boden von Klein- und Hausgärten
Organische Abfälle aus Handel, Gewerbe, Industrie	300	H	G	Verwertung außerhalb von Hamburg
Organische Abfälle von Körperschaften	244	H	H	Boden

Quelle/Matrix	Fracht/Inventar (mg I-TEQ/a)	Datensicherheit		Relevanz für Mensch und Umwelt
		Massenströme oder Inventar	PCDD/PCDF- Konzentration	
Abfallwirtschaftliche Planungen				
Luftemission nach Sanierung SVA	48	H	M	Maßnahme 1995 abgeschlossen
Luftemission nach Sanierung/Neubau MVA	140	H	M	Maßnahme 1995 abgeschlossen
Luftemission bei Errichtung einer Klärschlamm- verbrennung	14	M	G	Planungsstadium
Ausweitung der Kompostierung	200	M	M	Planungsstadium
Verstärkte Wertstoffsammlung	n.b.	G	G	Planungsstadium

11 WEITERFÜHRENDE LITERATUR

AID, Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.) (1991): Käse, Fleisch und Fleischerzeugnisse, Milch und Milch-erzeugnisse, Eier, Geflügelfleisch, Fisch, Gemüse

Baccini, P., H. Daxbeck, E. Glenck und G. Henseler (1993): METAPOLIS - Güterumsatz und Stoffwechselprozesse in den Privathaushalten einer Stadt. Nationales Forschungsprogramm „Stadt und Verkehr“, Band 34 A und 34 B, Zürich; Schweiz

BAGS und Umweltbehörde Hamburg (Hrsg.) (1993): Untersuchungen zum Transfer von Dioxinen und Furanen, Ergebnisse von Parallelbestimmungen im Boden, Staubbiederschlag, Gras sowie in Lebensmitteln tierischer und pflanzlicher Herkunft im Hamburger Südosten. August 1993

BGA/UBA (1993): Dioxine und Furane - Ihr Einfluß auf Umwelt und Gesundheit. Erste Auswertung des 2. Internationalen Dioxin-Symposiums und der fachöffent-lichen Anhörung des Bundesgesundheitsamtes in Berlin vom 9.-13.11.1992. Bun-desgesundheitsbl. Sonderheft/93, Mai 1993

BLAG, Bund/Länderarbeitsgruppe DIOXINE (1992): Umweltpolitik: Bericht der Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE. Rechtsnormen, Richtwerte, Handlungsemp-fehlungen, Meßprogramme, Meßwerte und Forschungsprogramme. Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), Bonn, Januar 1992.

BLAG, Bund/Länderarbeitsgruppe DIOXINE (1993): Umweltpolitik: 2. Bericht der Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE. November 1993, Bonn

DGE, Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V., Frankfurt (Hrsg.) (1992): Ernäh-rungsbericht 1992; Frankfurt 1992

Hamburger Abfallwirtschaftsplan, Freie und Hansestadt Hamburg, Baubehörde, Amt für Entsorgungsplanung, Hamburger Stadtreinigung (1989): Vermeiden - Entgiften - Verwerten - Entsorgen, aktualisierte Kurzfassung, Stand Dezember 1990

Horstmann, M. und M.S. McLachlan (1994): Textiles as a Source of Polychlorinated Dibenzo-*p*-dioxins and Dibenzofurans (PCDD/F) in Human Skin and Sewage Sludge. Environ. Sci. Pollut. Res. **1**, 15-20

McLachlan, M.S. (1992): Das Verhalten hydrophober chlororganischer Verbindun-gen in laktierenden Rindern. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften der Universität Bayreuth

Statistisches Landesamt Hamburg (Hrsg.): Statistisches Taschenbuch 1992

Umweltbehörde Hamburg (Hrsg.) (1991): Dioxin- und Furanbelastung der Luft in Hamburg - Sachstandsbericht 1990/91