

Dioxinbilanz für Hamburg

Ermittlung der Stoffströme und der Humanbelastung

¹Heidelore Fiedler, ²Gerd Rippen, ³Susanne Sievers, ³Peter Friesel, ³Birgit Gras, ¹Christoph Lau, ³Thomas Reich, ³Uwe Schacht, ³Roland Schwörer, ²Hansjörg F. Wesp, ¹Otto Hutzinger, ³Fritz Vahrenholt

¹ Lehrstuhl für Ökologische Chemie und Geochemie, Universität Bayreuth, D-95440 Bayreuth

² Trischler und Partner GmbH, Berliner Allee 6, D-64295 Darmstadt

³ Freie und Hansestadt Hamburg, Umweltbehörde, Marckmannstr. 129b, D-20539 Hamburg

Korrespondenzautor: Dr. Heidelore Fiedler

Zusammenfassung

Die Quellen und Reservoirs der polychlorierten Dibenzo-*p*-dioxine und polychlorierten Dibenzofurane (PCDD/PCDF) in der Hansestadt Hamburg wurden für das Jahr 1992 identifiziert und quantifiziert. Die Stoffströme und Stoffmengen der PCDD/PCDF wurden für die Umweltkompartimente Wasser, Boden und Luft abgeschätzt. Ebenso wurden die Dioxinmissionen berechnet, die durch industrielle, gewerbliche oder private Aktivitäten in Hamburg entstehen. Zusammen mit der Analyse von regionalspezifischen Ernährungsdaten wurde die Humanexposition aus den verschiedenen Aufnahmepfaden berechnet. Es zeigte sich, daß die absolute PCDD/PCDF-Aufnahme der Menschen in Hamburg praktisch dieselbe wie im Bundesdurchschnitt ist. Die großen Stoffströme der PCDD/PCDF aus dem Warenhandel und der Abfallentsorgung haben auf die Belastung der Bewohner Hamburgs keinen Einfluß.

Schlagwörter: Abfallentsorgung; Bilanz; Dioxinbelastung; Emissionen; Hamburg; Humanexposition; Immissionen; PCDD/PCDF; polychlorierte Dibenzo-*p*-dioxine und Dibenzofurane; Stoffströme

Abstract

Dioxin Mass Balance: PCDD/PCDF in Hamburg, Germany - Determination of Substance Fluxes and Human Exposure

The sources and reservoirs of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans (PCDD/PCDF) in the city of Hamburg, Germany, in the year 1992 were identified and quantified combining analytical data of PCDD/PCDF with statistical data on annual fluxes of materials and products. Fluxes and amounts of PCDD/PCDF were estimated for the environmental compartments water, air, and soil. Dioxin emissions originating from industrial, commercial or private activities were also calculated. Together with the analysis of the specific regional nutrition data, the human exposure *via* the various pathways could be determined. It could be shown that the total PCDD/PCDF intake of individuals in Hamburg was about the same as the national average. High annual fluxes of PCDD/PCDF connected with the trade of industrial products and the waste management and disposal system in Hamburg obviously had no influence on the human intake of PCDD/PCDF.

Keywords: Dioxin mass balance; human exposure, polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans (PCDD/PCDF); PCDD/PCDF, human exposure; PCDD/PCDF, fluxes into the environment; PCDD/PCDF, intake with food; flux analysis, of PCDD/PCDF

1 Einleitung

Seit 1983 wurden in Hamburg zahlreiche Analysen zum Gehalt von PCDD/PCDF („Dioxine“) in Wasser, Boden und Luft durchgeführt. Emissionen, Reststoffe und Abfälle aus technischen Prozessen (z.B. Abfallverbrennung, Kompostierung, verschiedene Industriebetriebe), aber auch Deponien und Altstandorte wurden überwacht. Im Rahmen von Untersuchungsprogrammen wurden darüber hinaus pflanzliche Nahrungsmittel, Futtermittel, Fleisch und Kuhmilch analysiert (FHH 1991, FHH/BAGS 1993).

Insgesamt lagen mit über 800 Einzelergebnissen mehr Daten vor als für jede andere geographisch eng begrenzte Region der Bundesrepublik Deutschland. Aus den Daten wurde eine Dioxinbilanz für die Freie und Hansestadt Hamburg erstellt. Dies umfaßte sowohl die natürliche Umwelt (Boden, Wasser, Luft, Fauna, Flora) als auch die vom Menschen geschaffene Umwelt mit ihren technischen Prozessen (Industrie, Abfallentsorgung), den Warenströmen (Handel, Gewerbe), den Privathaushalten sowie den Menschen selbst. Mit der Untersuchung in Hamburg sollten folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- 1) Wie hoch ist die aktuelle Belastung der Hamburger Umwelt mit PCDD/PCDF durch die Erfassung der Stoffmengen?
- 2) Welche Quellen der PCDD/PCDF gibt es in Hamburg und existieren bisher nicht identifizierte Quellen oder sind bekannte Quellen unzureichend quantifiziert worden?
- 3) Welche PCDD/PCDF-Stoffströme (= Frachten) gelangen aus den einzelnen Quellen und Prozessen in Hamburg jedes Jahr in die Umwelt?
- 4) Wie hoch ist die Belastung der Menschen in Hamburg mit Dioxinen und wodurch kommt sie zustande?
- 5) Unterscheidet sich die Belastung der Umwelt und des Menschen in Hamburg von anderen Städten oder Regionen in der Bundesrepublik Deutschland?
- 6) Gibt es Hinweise auf zeitliche Trends und sind Aussagen über künftige Entwicklungen der Stoffströme der PCDD/PCDF möglich?
- 7) Welche Maßnahmen sind erforderlich, um die Dioxinbelastung – insbesondere des Menschen – weiter zu senken?

Eine umfassende Bilanzierung der Stoffströme der PCDD/PCDF einer städtischen Region wurde noch nirgends durchgeführt. Bisherige Arbeiten beschränkten sich auf Dioxinbilanzen der Emissionen in die Umgebungsluft für die Bundesrepublik oder die Bundesländer Baden-Württemberg und Berlin (WINTERMEYER und ROTARD 1994, HAGENMAIER und KRAUSS 1993, HUTZINGER und FIEDLER 1993, JAGER et al. 1992).

2 Methodik der Bilanzierung

Ziel der Bilanzierung war es, mittlere Stoffmengen und -ströme der PCDD/PCDF in Hamburg zu erfassen und die durchschnittliche Exposition der Menschen in Hamburg zu bestimmen. Die Erstellung von Massenbilanzen und die Identifizierung der Richtung dieser Massenströme ist der erste Schritt zur Berechnung der Stoffströme der PCDD/PCDF. Im Rahmen der Wirtschafts- und Umweltstatistik werden Massenströme regelmäßig erfaßt. Durch Multiplikation mit charakteristischen PCDD/PCDF-Gehalten in den betrachteten Materialien und Stoffen können die Stoffmengen und Stoffströme der Dioxine in Hamburg berechnet werden. Die Konzentrationen der PCDD/PCDF werden hier grundsätzlich in Internationalen Toxizitätsäquivalenten (I-TEQ) angegeben.

Das Staatsgebiet der Freien und Hansestadt Hamburg mit einer Fläche von 755 km² und einer Einwohnerzahl von 1,65 Mio. (1992) stellte den Bilanzraum für die Untersuchung dar. Als Bezugszeitraum wurde das Jahr 1992 gewählt, da für nachfolgende Jahre noch keine vergleichbare Vollständigkeit der Daten vorlag. Die Berechnung der zeitlichen Veränderung bis zum Jahr 1995 war jedoch für ausgewählte PCDD/PCDF-Stoffströme möglich. Die Menge der nach Hamburg gelangenden Rohstoffe, Güter und Nahrungsmittel ist in der Regel mit hoher Genauigkeit bekannt. Ebenso existieren ausreichend Angaben über die Menge der in Hamburg produzierten Nahrungsmittel, Waren und der zu entsorgenden Abfälle. Die wesentlichen Massen- und Stoffbilanzen konnten damit für Hamburg aufgestellt werden. Trotz der Vielzahl von Dioxinanalysen aus Hamburg standen aber nicht für alle Materialien auch Daten zum PCDD/PCDF-Gehalt zur Verfügung. Für einige große Massenströme, wie z.B. häusliche Abwässer oder Haus- und Gewerbemüll, mußten daher zur Berechnung der Dioxinfrachten Vergleichsdaten aus der Literatur verwendet werden.

Die Berechnungen wurden in Teilbilanzen durchgeführt. Durch Aggregation konnte daraus eine Bilanz aller in Hamburg bekannten Stoffströme und Stoffmengen der PCDD/PCDF, einschließlich ihrer Auswirkung auf die Humanbelastung, erstellt werden.

3 Ergebnisse

3.1 PCDD/PCDF in Böden

Die PCDD/PCDF-Konzentrationen in Hamburger Böden sind ähnlich wie in den Böden anderer Städte Deutschlands. Überdurchschnittlich hohe Werte weisen ein stark industriell geprägter Bereich im Hamburger Südosten, Spülfelder aus Elbsedimenten, aber auch frühere natürliche Überschwemmungsflächen (Außendeichflächen) auf. Die Spülfelder beinhalten ein geschätztes Dioxininventar von 1.660 g I-TEQ und die Außendeichflächen von ungefähr 960 g I-TEQ. Für die gesamte Bodenfläche Hamburgs wurde aus den dioxinrelevanten Nutzungstiefen und mittleren Bodengehalten eine Gesamtmenge der PCDD/PCDF von ca. 4.300 g I-TEQ abgeschätzt. Dieses Inventar in den Böden Hamburgs beinhaltet die Spülfelder, aber nicht die Altstandorte, die gesondert betrachtet werden (siehe Abschnitt 3.6).

3.2 PCDD/PCDF in Gewässern und Sedimenten

Aus dem mittleren Abfluß der Elbe, der Schwebstofffracht und PCDD/PCDF-Analysen der Schwebstoffe wurde eine Dioxinfracht der Elbe von ca. 70 g I-TEQ, die pro Jahr nach Hamburg hinein transportiert wird, ermittelt.

Zur Aufrechterhaltung der Schifffbarkeit von Elbe und Hafen muß Hamburg jedes Jahr ca. 300.000 t Trockenmasse an Sedimenten ausbaggern. Mit diesen Sedimenten werden jährlich ca. 23 g I-TEQ aus der Elbe und dem Hafen innerhalb des Stadtgebietes entfernt und auf gesicherten Spülflächen in Hamburg abgelagert. Die Lagerung von Baggergut der Elbe an Land in Hamburg reduziert den Eintrag von PCDD/PCDF in die Nordsee erheblich (siehe auch Abschnitt 3.4). Ungefähr 47 g I-TEQ werden jährlich durch Hamburg hindurch mit der Elbe Richtung Nordsee transportiert. Die Hamburg passierende Dioxinfracht gelangt nach Vermischung und Verdünnung in die Nordsee.

3.3 PCDD/PCDF in der Luft

Dioxinemissionen in Hamburg entstehen vor allem bei Aktivitäten von Industrie, Handel und Gewerbe (z.B. Produktions- und Veredelungsprozesse), der Privathaushalte (z.B. Hausbrand), bei der Abfallverbrennung sowie dem Kfz-Verkehr. Alle in Hamburg identifizierten Quellen für PCDD/PCDF emittierten im Bezugsjahr 1992 zusammen ca. 6,5 g I-TEQ.

In **Abbildung 1** sind die PCDD/PCDF-Emissionen in die Hamburger Luft in vier Emittentengruppen – Industrie/Gewerbe, Haushalte, Energieerzeugung und Verkehr – zusammengefaßt. Dabei wurden die Emissionen aus der Verbrennung von Haus-, Sperr- und Geschäftsmüll sowie dem hausmüllähnlichen Gewerbemüll und den Marktabfällen entsprechend den anfallenden Mengen in die beiden Kategorien Haushalt und Industrie/Gewerbe aufgeteilt. Für die Prognose des Jahres 1995 wurde angenommen, daß sich das prozentuale Verhältnis nicht geändert hat.

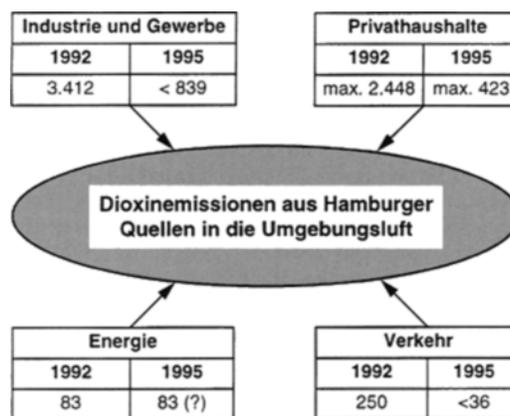


Abb. 1: Vergleich der PCDD/PCDF-Emissionen in die Umgebungsluft (mg I-TEQ/a) aus Hamburg einschließlich anteiliger Abfallverbrennung für die Jahre 1992 und 1995

Die Verbrennung von Haus-, Gewerbe- und Sondermüll verursachte mit ca. 3,9 g I-TEQ im Jahr 1992 noch die größten Dioxinfrachten in die Luft. Durch die 1995 abge-

schlossene 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. An zweiter Stelle der Dioxinemittenten standen 1992 mit 1,4 g I-TEQ thermische industrielle Prozesse und hier vor allem die Kupferindustrie sowie in geringerem Maß die Eisen- und Stahlerzeugung, die Aluminiumindustrie und Räumereien. Die Dioxinemissionen in die Luft aus industriellen Produktionsprozessen haben sich in Hamburg von 1992 bis 1995 durch technische Maßnahmen und Umstrukturierung ungefähr halbiert. Der PCDD/PCDF-Beitrag aus der Energieerzeugung in Kraftwerken mit fossilen Brennstoffen und der Klärgasnutzung ist vergleichsweise gering. Relativ große Unsicherheiten bestehen für den Hausbrand, wo Emissionen zwischen 0,07 und 0,34 g I-TEQ/Jahr geschätzt wurden.

Auf seiten der Abfallverbrennung sind die Minimierungspotentiale mit den neuen bzw. sanierten Haus- und Sonderabfallverbrennungsanlagen emissionsseitig ausgeschöpft und die Abfallverbrennung ist nicht mehr – wie bis 1992 – der größte Einzelemittent.

Die bundesweit zurückgehende Verwendung von bleihaltigen Ottokraftstoffen – die bisherige Hauptursache für die Dioxinemissionen des Kfz-Verkehrs – wird auch für Hamburg zu einer noch weitergehenden Reduktion der PCDD/PCDF aus dieser Quelle führen. Minimierungspotentiale gibt es noch bei den industriellen Quellen. Hier sind aber prozeßbedingt teilweise sehr große Abgasvolumenströme vorhanden, so daß eine Verringerung der Dioxinemissionen technisch sehr aufwendig ist. Schwierigkeiten bei der Quantifizierung der PCDD/PCDF-Emissionen aus dem Hausbrand sind auch durch weitere Abgasmessungen kaum auszuräumen. Die Untersuchung mehrerer tausend Kleinanlagen ist schon wegen der großen Anzahl nicht möglich.

Die Dioxinkonzentrationen in der Hamburger Luft liegen im Jahresmittel bei ca. 50 fg I-TEQ/m³ und somit im Bereich anderer deutscher Städte. Das über Hamburg bis zu einer mittleren Durchmischungshöhe von 1.000 m vorhandene Luftvolumen enthält dann eine Stoffmenge von 0,04 g I-TEQ. Das aus der mittleren Windgeschwindigkeit abgeschätzte Luftvolumen, das innerhalb eines Jahres über Hamburg hinweg bewegt wird, führt eine Fracht von 250 g I-TEQ pro Jahr mit sich.

Bei einer mittleren Depositionsrate der PCDD/PCDF in Hamburg von ca. 10 pg I-TEQ je m² und Tag werden nur ca. 2–3 % dieser durch Hamburg hindurch transportierten Dioxinmenge im Stadtgebiet aus der Atmosphäre eliminiert (neben der partikulären Deposition wird angenommen, daß sich dieselbe Menge an PCDD/PCDF – als I-TEQ berechnet – in der Gasphase befindet).

Aus Depositionsmessungen in Hamburg wurde ein Eintrag von 2,8 g I-TEQ/a mit dem Staubniederschlag berechnet. Neuere Ergebnisse von WÄLLENHORST et al. (1995) lassen den Schluß zu, daß, bezogen auf Toxizitätsäquivalente, ungefähr dieselbe Menge auf den gasförmigen Anteil entfällt. Für das Bezugsjahr 1992 ergab sich somit eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der aus bekannten thermischen

Emittenten berechneten Dioxinmenge 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.

Die PCDD/PCDF-Emissionen in die Luft Hamburgs im Jahr 1995 sind mit weniger als 1,5 g I-TEQ/a vermutlich deutlich geringer als der aktuelle Eintrag in die Stadt durch Deposition.

3.4 Stoffmengen der PCDD/PCDF in Hamburg

Tabelle 1 zeigt zusammenfassend die Stoffmengen der Dioxine in Hamburg (ohne Altlasten und Deponien). Die Kompartimente Luft und Vegetation beeinflussen durch ihre Relevanz für die Nahrungskette direkt die Dioxinexposition des Menschen. Sie enthalten zusammen aber weit weniger als 1 % der in Hamburg vorhandenen PCDD/PCDF. Dies bedeutet im Falle Hamburgs, daß vermutlich 99 % der vorhandenen Dioxinmenge für die Exposition des Menschen keine oder nur eine vernachlässigbare Rolle spielen.

Tabelle 1: Stoffmengen der PCDD/PCDF in den Umweltkompartimenten in Hamburg (Stand 1992)

Umweltkompartiment	Stoffmenge (g I-TEQ)	Relativer Anteil (%)
Sedimente (Elbe und Hafen)	1980	31,3
Wasser (Elbe und Hafen)	1,1	< 0,02
Luft (0–1000 m Höhe)	0,04	<< 0,01
Boden (ohne Deponien u. Altlasten)	4340	68,7
Vegetation	1	< 0,02
Gesamte Umwelt	6322,14	100

3.5 Stoffströme der PCDD/PCDF durch Warenhandel und Abfallentsorgung

Mit einer Menge von ca. 45 Mio. t an Gütern und Produkten pro Jahr, die der Versorgung von Handel, Gewerbe, Industrie und Haushalten in Hamburg dienen, gelangen mehr Dioxine nach Hamburg hinein, als mit Produkten wieder aus der Stadt heraus gehen. Einschließlich der Verpackungsmaterialien verblieben im Jahr 1992 netto ca. 3,4 g I-TEQ in Hamburg. 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 (teilweise im 10⁶ t-Bereich) im Warenhandel. Der früheren Verwendung von Pentachlorphenol (PCP) in Gütern und Produkten kommt dabei offensichtlich besondere Bedeutung zu. Das Fungizid ist herstellungsbedingt mit Dioxinen verunreinigt; eine Vielzahl von Messungen an Holz, Textilien und Lederwaren zeigt einen Zusammenhang zwischen PCP- und Dioxingehalten.

In Privathaushalten, Handel, Gewerbe und der Industrie fallen feste Abfälle (Haus-, Geschäfts- und Sondermüll) sowie Klärschlämme aus der Abwasserreinigung an, die Hamburg entsorgen muß.

Mehr als 41 % des Hausmülls und der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle werden verbrannt, der Rest auf Deponien

abgelagert. Hamburg mußte im Jahr 1992 mit der Entsorgung von Abfällen und Reststoffen aus der Haus- und Sondermüllverbrennung sowie aus der Abwasserreinigung insgesamt ungefähr 67 g I-TEQ außerhalb der Landesgrenzen Hamburgs ablagern bzw. verbrennen. Davon wurden 33 g I-TEQ mit dem Haus-, Geschäfts- und Sondermüll sowie 1,4 g I-TEQ mit dem Klärschlamm auf gesicherten Deponien abgelagert. Mit der Entsorgung von Reststoffen aus der Müllverbrennung ist eine Fracht von 32,4 g I-TEQ/a verbunden, die ausschließlich auf Sonderabfalldeponien verbracht wurde. Die PCDD/PCDF-Frachten mit verwertbaren Reststoffen (z.B. Schlacke, Papier, Biomüll) sind mit 4,1 g I-TEQ im Jahr 1992 vergleichsweise gering. Davon verblieben 2,7 g I-TEQ in Hamburg, und zwar 2,3 g I-TEQ/Jahr in Schlacke aus Verbrennungsanlagen. Der Eintrag von PCDD/PCDF mit kompostierten organischen Abfällen in Hamburger Böden ist mit 0,4 g I-TEQ gering. Die Ausweitung der Kompostierung organischer Abfälle und der verstärkte 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. Außerhalb Hamburgs wurden Reststoffe verwertet, die insgesamt 1,4 g I-TEQ enthielten.

Hamburg „importiert“ jedes Jahr mit Abfällen aus anderen Regionen auch beträchtliche PCDD/PCDF-Mengen. Mit Sonderabfällen, die nicht aus Hamburg stammen, aber dort verbrannt oder aufbereitet werden, gelangt eine Dioxinfracht von mehr als 4,6 g I-TEQ in die Stadt. Zusätzlich führt die Auslagerung 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 damit jedes Jahr ungefähr 27,6 g I-TEQ aus anderen Regionen.

Aus den mit dem Abwasser in die Kläranlagen gelangenden Dioxinen resultiert die PCDD/PCDF-Belastung des Klärschlammes mit einer Jahresfracht von 1,4 g I-TEQ. Die Übertragung von Literaturdaten (HORSTMANN 1994) auf die Verhältnisse in Hamburg ergibt, daß das Wäschewaschen in Privathaushalten die größte identifizierte Einzelquelle ist. Dieser Quelle konnten ca. 25 % der Dioxinfracht (0,4 g I-TEQ/a) in den Klärschlamm zugeordnet werden. Regenwasser, das von Straßen und Hausdächern abfließt und in die Kanalisation gelangt, führt zu einem jährlichen Eintrag von ungefähr 0,06 g I-TEQ. Die verbleibende Fracht von knapp 1 g I-TEQ pro Jahr wurde der Industrie und dem Gewerbe zugeordnet.

3.6 PCDD/PCDF in Altlasten

Einen Sonderfall stellen die Altstandorte und Altlasten in Hamburg dar. In ihnen befindet sich eine PCDD/PCDF-Stoffmenge von ca. 378 kg I-TEQ. Diese Menge stammt nahezu vollständig aus der Ablagerung von Abfällen aus der Produktion von Hexachlorcyclohexan und 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure (2,4,5-T) auf Deponien und Kippen. Die Produktion von 2,4,5-T wurde 1984 eingestellt. Die meisten Altlasten sind bereits gesichert, für die verbleibenden 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.

3.7 PCDD/PCDF-Exposition des Menschen in Hamburg

Aus regionalisierten Daten (NVS 1992) konnten detaillierte Angaben für Hamburg zum tatsächlichen mittleren Verzehr der Hauptnahrungsmittel ermittelt werden. Demnach unterscheiden sich die durchschnittlichen Verzehrsmengen einiger „dioxinrelevanter“ Nahrungsmittel, wie Fisch, Butter und Fleisch, erheblich vom Bundesdurchschnitt. Zur Berechnung der Dioxinmengen, die ein Bewohner Hamburgs durchschnittlich mit der Nahrung aufnimmt, sind aufgrund der Entkopplung von Produktions- und Verzehrsort mittlere Dioxingehalte für die Bundesrepublik geeigneter als Lebensmittelanalysen aus Hamburg selbst. In einer separaten Betrachtung wurde berücksichtigt, daß einige Bevölkerungsgruppen größere Mengen von in Hamburg produzierten Lebensmitteln zu sich nehmen als der Hamburger Durchschnitt. Die nicht nahrungsmittelabhängige Exposition bestimmter Bevölkerungsgruppen (z.B. Chemiewerker) war jedoch nicht Gegenstand der Studie.

Auch ein in Hamburg lebender Bundesbürger nimmt CDD/PCDF zu mehr als 95 % mit den verzehrten Nahrungsmitteln auf. PCDD/PCDF sind überwiegend in tierischen Fetten angereichert. Mit im Durchschnitt täglich 1,69 pg I-TEQ je kg Körpergewicht (KG) für den Erwachsenen unterscheidet sich die Dioxinaufnahme der Hamburger Bevölkerung nicht signifikant vom Bundesdurchschnitt, für den 1,63 pg I-TEQ/kg KG berechnet wurden.

Individuelle Verzehrsgewohnheiten und soziale Faktoren führen zu erheblich höheren Streubreiten in der Dioxinaufnahme als der Faktor Wohnort. Die Verzehrsmengen verschiedener Nahrungsmittel schwanken z.B. je nach Schulbildung um mehr als ± 20 % vom Bundesdurchschnitt, und die gesamte Verzehrmenge tierischer Fette kann um bis zu ± 10 % variieren. Aufgrund von lokalen Ernährungsgewohnheiten in Hamburg ist aber der Beitrag einzelner Nahrungsmittelgruppen (Fisch-, Fleisch-, Milchprodukte) an der Dioxinaufnahme deutlich verschieden vom Bundesdurchschnitt: In Hamburg werden im Mittel wesentlich mehr Fisch- und Milchprodukte, dagegen deutlich weniger Fleisch und Fleischprodukte als im Bundesdurchschnitt verzehrt. In bezug auf die tägliche Dioxinaufnahme kompensieren sich jedoch der Mehrverzehr von Fisch und der Minderverzehr von Fleisch. Die Gesamtaufnahme des Bundesbürgers mit der Nahrung beträgt 115 pg I-TEQ/d, die eines Hamburger Bürgers 119 pg I-TEQ pro Tag; signifikante Unterschiede bestehen somit nicht (\rightarrow Abb. 2).

Gestillte Säuglinge haben sowohl bundesweit wie auch in Hamburg auf ihr Körpergewicht bezogen die höchste relative PCDD/PCDF-Aufnahme. Die relative Dioxinaufnahme sinkt von über 130 pg I-TEQ je kg KG und Tag bei gestillten, neugeborenen Säuglingen auf ungefähr 5 pg I-TEQ je kg KG und Tag bei einem fünfjährigen Kind. Ab dem 25. Lebensjahr bleibt die tägliche Aufnahme praktisch konstant bei dem für Hamburg ermittelten Wert von 1,69 pg I-TEQ je kg KG und Tag. Der Wohnort Hamburg hat hierbei keinerlei Einfluß auf die Veränderung der aufgenommenen relativen Dioxindosis mit dem Lebensalter.

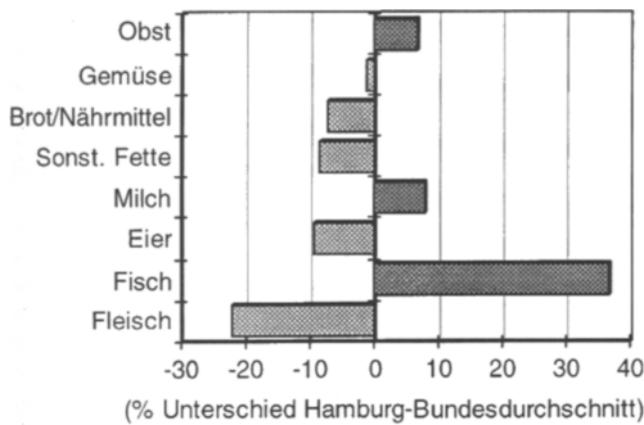


Abb. 2: Prozentuale Abweichung der Dioxinaufnahme eines erwachsenen Menschen in Hamburg (119 pg I-TEQ/d) im Vergleich zum Bundesdurchschnitt (115 pg I-TEQ/d) für die wichtigsten Nahrungsmittelgruppen

Der verstärkte Verzehr von Grünkohl – einer regionalen Spezialität – hat einen nur geringen Einfluß auf die tägliche Dioxinaufnahme: Die berechnete Zusatzexposition gegenüber dem Bundesdurchschnitt beträgt ungefähr 2 % bei häufigem Verzehr von mäßig belastetem Kohl und würde nur unter extrem ungünstigen Bedingungen (sehr häufiger Verzehr von ausschließlich hoch belastetem Grünkohl) auf über 10 % ansteigen.

Einer der wesentlichen Pfade, die von den Quellen der Dioxine zu den Nahrungsmitteln führen, ist die Verteilung über die Luft. Dies geschieht sowohl über die Gasphase als auch mit dem Staub. Mit einer durchschnittlichen Dioxinkonzentration von ca. 50 fg I-TEQ/m³ ist die Hamburger Luft vergleichbar mit anderen Städten in Deutschland. Obwohl die Luft somit nur sehr geringe Konzentrationen an PCDD/PCDF enthält, führt die Anreicherung von Dioxinen aus der Luft in die Pflanzen und damit über das Tierfutter in Fleisch und Milch indirekt zu einer Exposition des Menschen. Selbst lokal höhere PCDD/PCDF-Konzentrationen in der Luft würden nicht zu einer höheren Exposition der Bewohner Hamburgs führen, da die verzehrten Nahrungsmittel nur selten aus Hamburg stammen.

Zur Dioxinbelastung des Menschen aus der Luft von Innenräumen gibt es sowohl in Hamburg als auch in der Bundesrepublik nur wenige Daten. Es wurde angenommen, daß die PCDD/PCDF-Konzentration in der Luft von Innenräumen im Mittel höher liegt als in der Außenluft (geschätzt 90 statt 50 fg I-TEQ/m³). Für die gesamte Dioxinexposition ist dieser Unterschied aber nicht relevant, da von einem Erwachsenen nur 1,5 pg I-TEQ pro Tag über die Luft aufgenommen werden. Die Belastung der Umweltmedien – Wasser, Boden, Luft – selbst hat im Vergleich zur Nahrungsaufnahme nur einen sehr geringen Einfluß auf die PCDD/PCDF-Exposition der Bewohner in Hamburg.

4 Schlußfolgerungen

Die Bilanzierung der Stoffströme und Stoffvorräte an PCDD/PCDF in Hamburg kann wegen der Komplexität

des Systems und nicht ausreichender Daten niemals vollständig sein. Dennoch ist mit dieser Studie die bisher umfassendste Darstellung der Stoffströme und Stoffmengen der PCDD/PCDF einer gesamten Region gelungen. Der Einfluß der in Hamburg bereits vorhandenen oder noch emittierten Dioxine auf Mensch und Umwelt kann mit der angewandten Methodik der aggregierten Einzelbilanzen sehr gut erfaßt werden.

Stellt man die Stoffströme der PCDD/PCDF, die nach Hamburg hinein gelangen denen gegenüber, die aus dem Stadtgebiet heraus transportiert werden, so ergibt sich folgendes Bild: Mit Gütern, Abfällen zur Behandlung in Hamburg und durch die Ablagerung von Baggergut auf städtischen Spülflächen gelangten im Jahr 1992 ca. 49,9 g I-TEQ nach Hamburg. Im gleichen Zeitraum ergab sich ein Stoffstrom von 95,8 g I-TEQ aus Hamburg heraus, der durch den Export von Gütern, wiederverwertbaren Reststoffen und die Abfallentsorgung bedingt war. Der Nettoexport von PCDD/PCDF betrug für Hamburg also 45,9 g I-TEQ.

Alle Nahrungsmittel, die für die Versorgung der Bewohner Hamburgs im Laufe eines Jahres erforderlich sind, enthalten zusammen eine Stoffmenge von 0,08 g I-TEQ. Diese mengenmäßig sehr geringe Fracht steuert aber zu weit mehr als 95 % die Dioxinbelastung der Menschen in Hamburg, während der größte Teil der PCDD/PCDF-Stoffströme – ohne eine Exposition zu bewirken – am Menschen vorbeigehen.

5 Literatur

- FHH (1995): Dioxin-Bilanz für Hamburg. Hamburger Umweltberichte 51/95. Freie und Hansestadt Hamburg, Umweltbehörde (Hrsg.). Hamburg, September 1995, Hamburg
- FHH (1993): Untersuchungen zum Transfer von Dioxinen und Furanen, Ergebnisse von Parallelbestimmungen im Boden, Staubniederschlag, Gras sowie in Lebensmitteln tierischer und pflanzlicher Herkunft im Hamburger Südosten. Behörde für Arbeit, Gesundheit und Soziales und Umweltbehörde Hamburg (Hrsg.), August 1993
- FHH (1991): Dioxin- und Furanbelastung der Luft in Hamburg – Sachstandsbericht 1990/91 Umweltbehörde Hamburg (Hrsg.)
- HAGENMAIER, H., und P. KRAUSS (1993): Attempts to Balance Transport and Fate of PCDD/PCDF for Baden-Württemberg. *Organohalogen Compd.* 12, 81–84
- HORSTMANN, M. (1994): Untersuchungen zu nicht-industriellen Quellen von polychlorierten Dibenzop-dioxinen (PCDD) und Dibenzofuranen (PCDF) in einem kommunalen Entwässerungssystem. Dissertation Universität Bayreuth, Shaker Verlag, Aachen
- HUTZINGER, O., und H. FIEDLER (1993): From Source to Exposure: Some Open Questions. *Chemosphere* 27, 121–129
- JÄGER, J., M. WILKEN und B. ZESCHMAR-LAHL (1992): Dioxin- und Furan-Emissionen in Berlin – eine Hochrechnung. *Staub – Reinhalt. Luft* 52, 99–106
- NVS (1992): Die Nationale Verzehrstudie – Ergebnisse der Basisauswertung, Band 18. Projektträger im Dienste der Gesundheit (Hrsg.), Bonn
- WALLENHORST, T., P. KRAUSS und H. HAGENMAIER (1995): PCDD/F in Ambient Air and Deposition in Baden-Württemberg, Germany. *Organohalogen Compd.* 24, 157–161
- WINTERMEYER, D., und W. ROTARD (1994): Dioxin-Emission und -Deposition in der Bundesrepublik Deutschland – Versuch einer Bilanzierung. *Staub – Reinhalt. Luft* 54, 81–86