

Dioxinmissionen aus Industrieanlagen

G. Bröker, P. Bruckmann, H. Gliwa

Landesumweltamt NRW, 45133 Essen, Wallneyer Str. 6

1. Einleitung

Der Widerstand ökologisch orientierter Gruppierungen in der Bevölkerung gegen die stark zunehmenden Abfallmengen und gegen Einrichtungen zu deren Entsorgung haben u.a. bewirkt, daß die Dioxindiskussion und damit auch die Untersuchungsaktivitäten hinsichtlich der Dioxineinbringung in die Umwelt auch nach Einführung strenger Grenzwerte über viele Jahre auf dem Bereich der Müllverbrennung verharren.

Dies mußte vor allem in der öffentlichen Meinung zu einer falschen Bewertung der Relevanz der verschiedenen Emissionsquellen führen.

Neben der Müllverbrennung wurden als weitere Quellen häufig chemische Produktionsprozesse zur Erzeugung chlororganischer Verbindungen wie PCB, PCP oder Herbizide und Verbrennungsprozesse wie Klinikmüllverbrennung, Hausbrand oder Kraftfahrzeugverkehr angegeben [1].

Die Einschätzung, die sich auf dem 2. internationalen Dioxin-Symposium des Bundesgesundheitsamtes in Berlin herausbildete, daß als Hauptquelle für die heutigen Neueinträge von PCDD/F in die Atmosphäre allgemein thermische Prozesse anzusehen sind erscheint dagegen realistischer [2]. Es stellt sich aber die Frage nach der Relevanz einzelner Quellengruppen.

Wirkungsexperten in der Bundesrepublik vertreten überwiegend die Auffassung, daß unter dem Gesichtspunkt der Vorsorge die duldbare tägliche Aufnahme der Bevölkerung an PCDD/F nicht größer als 1 pg I-TEQ/ (kg · d) sein sollte (I-TEQ: internationale Toxizitätsäquivalente, bezogen auf ein Kilogramm Körpergewicht und Tag). Zur Gefahrenabwehr sollten 10 pg I-TEQ/ (kg · d) nicht überschritten werden. Nach einer Neubewertung insbesondere des kanzerogenen Risikos wird von der amerikanischen EPA in einem Berichtsentwurf [3] für ein angenommenes Zusatzrisiko von 10^{-6} ein Wert für die tägliche Aufnahme von PCDD/F von 0,01 pg I-TEQ/(kg · d) vorgeschlagen. Zur Zeit liegt die durchschnittliche tägliche PCDD/F-Aufnahme erwachsener Personen in der Bevölkerung bei ca. 2 pg I-TEQ/ (kg · d) und damit über dem vorgeschlagenen Vorsorgewert, so daß Maßnahmen zur Verminderung der Dioxineintrags in die Umwelt angezeigt sind.

Eine effiziente Emissionsverminderung von PCDD/F und damit auch eine Verminderung des Eintrages in die Nahrungskette aus dem Gebot der Vorsorge, entsprechend dem Minimierungsgebot nach Ziffer 3.1.7 der TA Luft, ist nur dann möglich, wenn die relevanten Quellen bekannt sind. In NRW wurde aus diesem Grund ein Dioxin-Untersuchungsprogramm durchgeführt; die bisher vorliegenden Ergebnisse des noch nicht abgeschlossenen Programms sollen hier dargestellt werden.

2. Luftbelastung durch chlorierte Dioxine und Furane

Als Hintergrundkonzentration wurde in der Bundesrepublik ein Wert von 37 fg I-TEQ/m³ gefunden [4]. Eine Hintergrund-Deposition kann man mit 11 pg I-TEQ/(m² · d) abschätzen [4]. In einigen Gebieten wurden örtlich auch sehr viel höhere Meßwerte bis 332 fg I-TEQ/m³ (n = 12, 1987/88) ermittelt.

Über Emissionsquellen und insbesondere über die emittierten PCDD/F-Mengen lagen zu Beginn des Untersuchungsprogramms, die Müllverbrennungsanlagen ausgenommen, nur lückenhafte Kenntnisse vor. Es gibt zwar Emissionsmessungen, die bei einzelnen Anlagen durchgeführt werden, es ist aber wenig bekannt, welche Auswirkungen auf das Emissionsverhalten konstruktiv andere Lösungen, andere Betriebsweisen, Änderungen des Einsatzmaterials bei Anlagen einer Emittentengruppe haben. Damit sind Hochrechnungen von einigen wenigen Messungen auf eine ganze Gruppe von Anlagen eines Produktionszweiges mit nicht abschätzbaren Fehlern behaftet. Es hat recht lange gedauert, bis die Dioxinmissionen bei den verfahrenstechnisch relativ einfachen Müllverbrennungsanlagen erklärt werden konnten; bei vielen industriellen Prozessen stehen wir noch am Anfang, obwohl auf Erkenntnisse zurückgegriffen werden kann, die aus Untersuchungen an Müllverbrennungsanlagen gewonnen wurden.

Da unbestritten ist, daß der Dioxineintrag in die Umwelt in jedem Fall zu vermindern ist, erfordert dies aber die Kenntnis der relevanten Emittenten; eine Grundvoraussetzung für die Konzeption von Maßnahmen zur effektiven Verminderung der Emissionen von PCDD/F. Ziel des Untersuchungsprogramms ist es, relevante industrielle Quellen für PCDD/F in NRW zu erfassen. Relevant sind in diesem Kontext zwei Gruppen von Emittenten:

- Anlagen, die bei hohen PCDD/F-Konzentrationen (> 1 ng I-TEQ/m³) und schlechten Ableitbedingungen (z.B. über Dachlüfter) den Nahbereich nachteilig beeinflussen können.
- Anlagen mit hohen PCDD/F-Emissionen, die zwar gute Ableitbedingungen haben (Schutz des Nahbereichs), aber über hohe Massenströme erheblich zum PCDD/F Eintrag in die Nahrungskette beitragen.

Um die vorhandenen Kenntnislücken zu schließen und um die Voraussetzungen zu einer effektiven Verminderungsstrategie zu schaffen, hat das Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW das Landesumweltamt (damals LIS) 1992 mit einem Programm zur systematischen Erfassung industrieller Dioxin- und Furanemittenten beauftragt. Parallel dazu hat das Landesumweltamt (ehemals LIS) den ungeklärten Beitrag des Hausbrandes durch Messungen an einem Ofenprüfstand unter Verwendung verschiedener Brennstoffe und Ofentypen besser quantifizieren können. Der Beitrag der alten Bundesländer beim Hausbrand ist danach mit jährlichen Emissionen von weniger als 20 g I-TEQ/a insgesamt eher gering, auch wenn er an bestimmten Orten (z.B. Siedlungen mit Einzelöfen) einen relevanten Immissionsbeitrag liefern kann. [5].

Der Kenntnisstand der Emissionssituation vor Durchführung des Untersuchungsprogramms zeigte, daß in den alten Bundesländern insgesamt knapp 1 kg/a PCDD/F (I-TEQ) emittiert wurde, wobei die Müllverbrennung mit einem Beitrag von 400 g/a PCDD/F angenommen wurde, der sich aber infolge der 17. BImSchV auf etwa 4 g/a vermindern wird; für "industrielle Prozesse" wurden ebenfalls 400 g/a abgeschätzt. [6 - 8]

3. Ergebnisse aus dem Dioxinmeßprogramm NRW

Gemeinsam wurden mit dem NRW-Umweltministerium eine Vielzahl der von den Staatlichen Umweltämtern (damals Staatliche Gewerbeaufsichtsämter) ausgewählten Anlagen bewertet und abhängig von den Vorinformationen zu den einzelnen Anlagen und unter Berücksichtigung der Hypothesen zu den PCDD/F-Bildungsmechanismen in drei Kategorien unterschiedlicher Priorität sortiert. Neben den Aspekten der Relevanz wurde bei der Eingruppierung auch berücksichtigt, inwieweit bei gleichartigen Technologien und Einsatzstoffen Meßergebnisse übertragbar sind, so daß nur an ein oder zwei typischen Anlagen vergleichbarer Art Messungen erforderlich waren.

Eine so ermittelte Anlagenliste bildete Ende 1991 den Ausgangspunkt des Meßprogramms, allerdings nicht in statischer Aufarbeitung, sondern in dynamischer Fortentwicklung unter Einbeziehung der bereits vorliegenden Teilergebnisse durch eine das Gesamtprogramm steuernde Projektgruppe des Landesumweltamtes, unter Beteiligung des Umweltministeriums.

Parallel zur ersten Anlagenvorauswahl wurden die bei den Behörden in Nordrhein-Westfalen bereits vorliegenden Emissionsberichte zentral zusammengefaßt und ausgewertet.

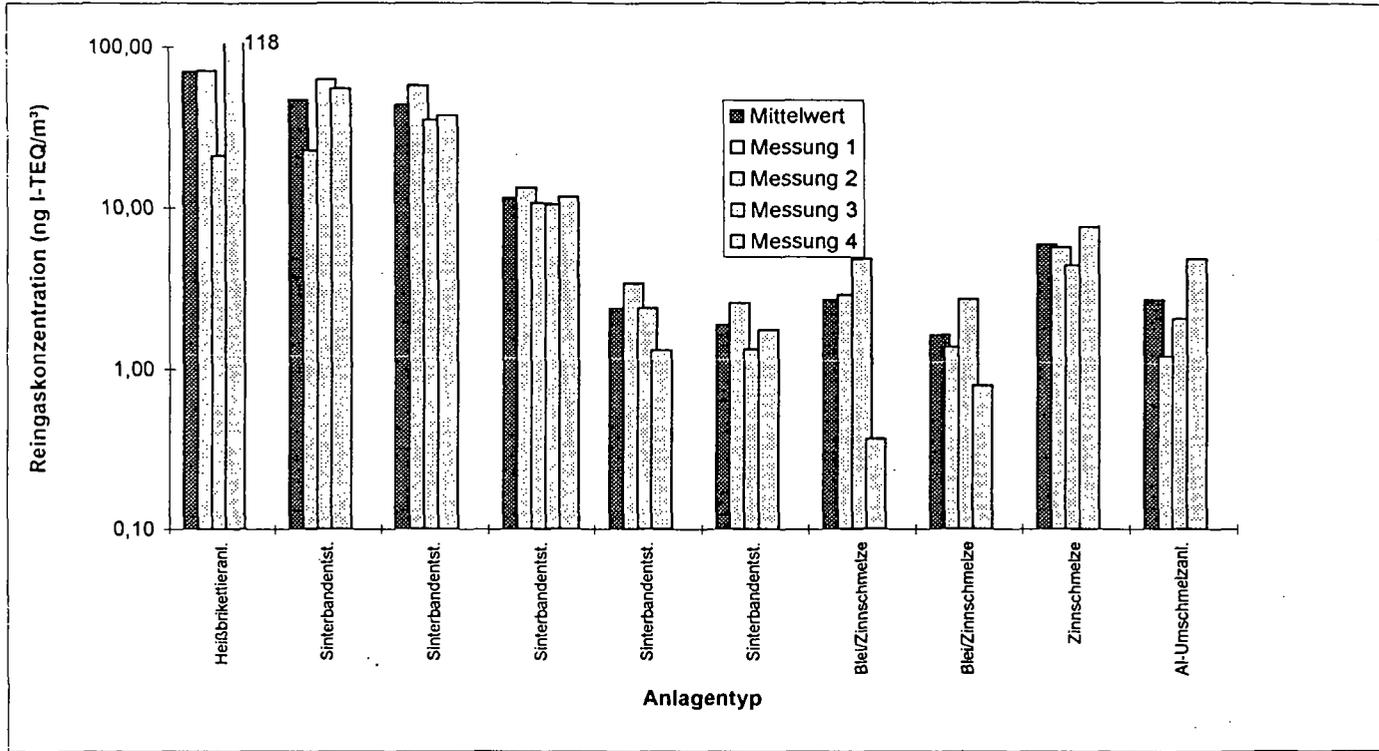


Bild 1: Anlagen mit mittleren Emissionskonzentrationen ≥ 1 ng I-TEQ/m³

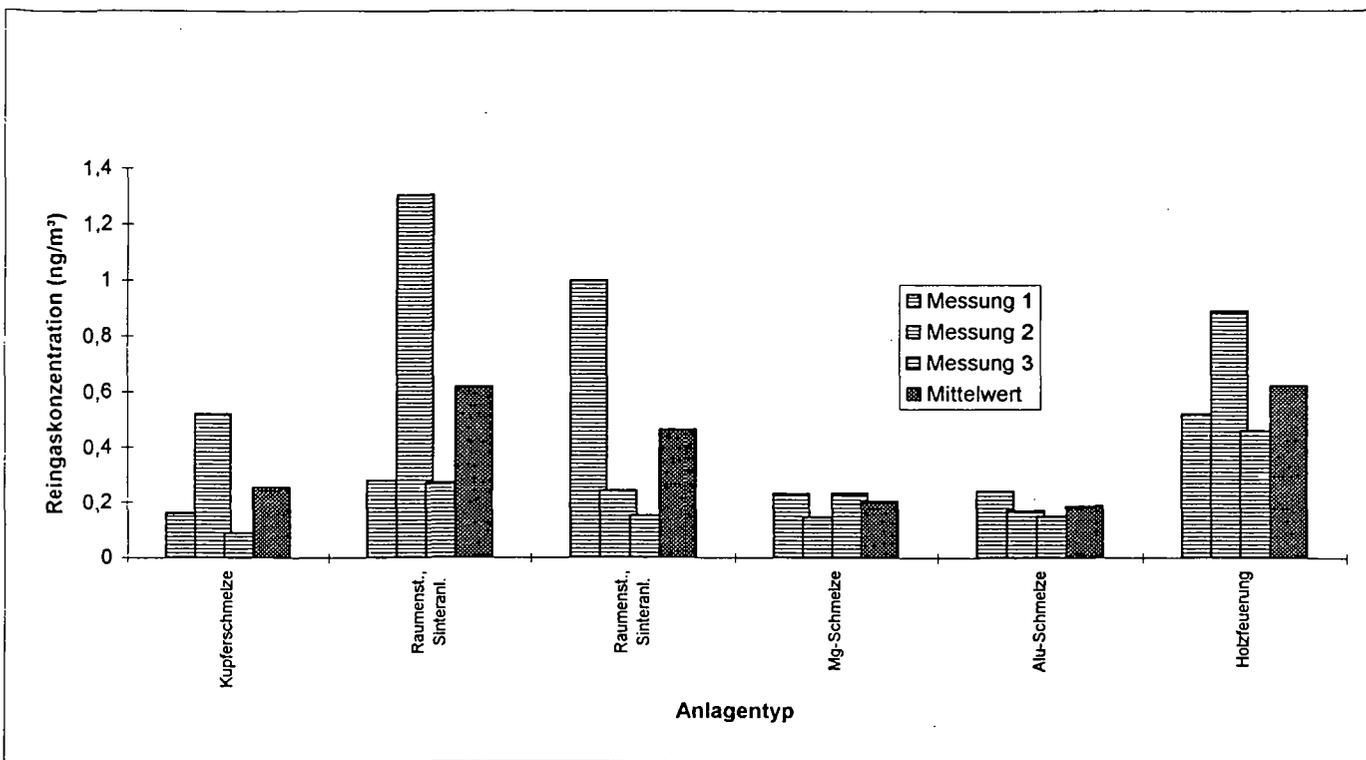
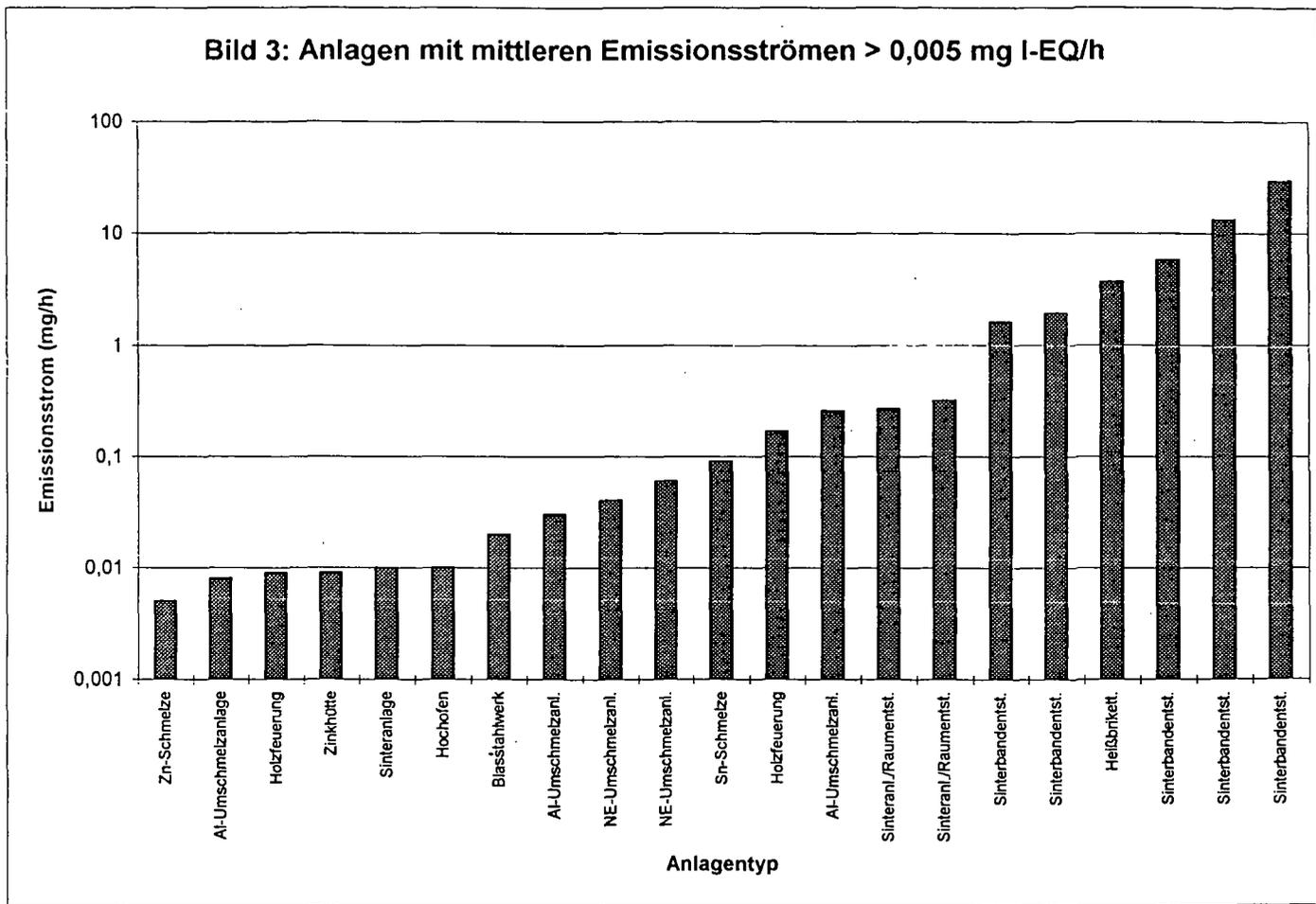


Bild 2: Anlagen mit mittleren Emissionskonzentrationen < 1 und > 0,1 ng I-TEQ/m³



Abstimmungen des Meßprogramms zur Vermeidung von Doppelarbeit und zur Erweiterung der gegenseitigen Erkenntnisse fanden mit dem Umweltbundesamt und dem Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh) als Projektträger für den Bereich der Eisen- und Stahlindustrie sowie mit dem Land Baden-Württemberg statt. So konnte z.B. auf Messungen an der Sinteranlage eines Hüttenwerkes im westlichen Ruhrgebiet verzichtet werden, da diese Anlage in dem vom UBA geförderten Projekt des VdEh enthalten ist.

Der meßtechnische und analytische Teil des Programmes wurde 1994 abgeschlossen. Insgesamt wurden Messungen an über 50 verschiedenen Anlagen durchgeführt. Dabei mußten bis zu 11 Einzelquellen pro Anlage berücksichtigt werden; überwiegend wurde jede Probenahme zweimal wiederholt. Außerdem wurden zahlreiche Parallelanalysen zur Qualitätsabsicherung und Analysen von Betriebsproben durchgeführt. In der Summe wurden von dem LUA und den beteiligten Instituten über 400 Proben analysiert.

Bereits erfolgte Auswertungen zeigen, daß der größte Teil der gemessenen Quellen Emissionskonzentrationen von weniger als 1 ng I-TEQ/m³ aufweist. In den Bildern 1 und 2 sind diejenigen Anlagentypen aufgeführt, die Emissionskonzentrationen von mehr als 1 ng I-TEQ/m³ (Bild 1) beziehungsweise von mehr als 0,1 ng I-TEQ/m³ (Bild 2) aufweisen.

Die Zahlenwerte lassen erkennen, daß die bisherigen Kenntnisse über die Relevanz von Dioxin- und Furanemittenten erheblich erweitert wurden. Bedeutende Emittenten sind offenbar bisher nicht bekannt gewesen bzw. unterschätzt worden. Dies trifft vor allem auf den Bereich der Hüttenanlagen (Sinteranlagen) zu. Wird als Relevanzkriterium für den Massenstrom eine Schwelle von 0,005 mg I-TEQ/h (Stand der Abfallverbrennungstechnologie für einen mittleren Kessel mit einer Kapazität von 16 t Abfall/h; ca. 100.000 m³/h x 0,05 ng I-TEQ/m³) eingesetzt, liegen 21 Quellen aus unterschiedlichen Anlagenbereichen über diesem Wert (Bild 3). Insgesamt konnte im Rahmen des Dioxinmeßprogrammes für alle untersuchten Anlagen ein PCDD/F-Massenstrom von fast 60 mg I-TEQ/h ermittelt werden.

4. Minderungsmaßnahmen

Von der im Rahmen des Dioxinmeßprogrammes ermittelten Emission von 60 mg I-TEQ/h gehen annähernd 100 % zu Lasten der in Bild 3 dargestellten 21 Anlagen, wobei die verschiedenen Quellen eines Sinteranlagenbetreibers einen Anteil von 60 % an der Gesamtemission haben. Nachdem diese hohen Werte bekannt wurden, konnte durch Änderung der Betriebsweise der Anlage und dadurch, daß verschiedene Einsatzstoffe ausgeschlossen wurden, erreicht werden, daß in einem ersten Schritt die hohen PCDD/F-Konzentrationen im Abgas der Sinterbandanlage um 90 % vermindert

wurden. Durch weitere Primärmaßnahmen konnte das Emissionsniveau noch weiter abgesenkt werden. Auch bei anderen Anlagen wurden schon während der Laufzeit des Programmes auf der Basis der ermittelten Werte emissionsvermindernde Maßnahmen von den Aufsichtsbehörden eingeleitet. Der oben genannte Wert von 60 mg I-TEQ/h entspricht somit nicht mehr der aktuellen Situation.

Da im Bereich der dioxinemittierenden Betriebe sehr unterschiedliche Abgasreinigungssysteme zum Einsatz kommen, wurden bei einigen Anlagen zur Feststellung des Rückhaltevermögens der Abscheider auch Rohgasmessungen durchgeführt. Außerdem wurden einige Versuchsfilter untersucht. Bei Anlagen, die im Normalbetrieb als Additiv Kalkhydrat einsetzen, wurde diesem versuchsweise zusätzlich 5 - 10 % Aktivkoks (HOK) beigemischt, um die Abscheideleistung zu verbessern. Eine zusammenfassende Darstellung der gemessenen Abscheidegrade ist Tabelle 1 zu entnehmen. Dort sind mittlere Abscheidegrade sowie die Meßwerte der roh- und reingasseitigen Messungen aufgelistet. Mit einer Ausnahme sind alle in der Tabelle 1 enthaltenen Anlagen mit filternden Entstaubern ausgerüstet. Die Ergebnisse zeigen, daß prinzipiell hohe Abscheidegrade erreichbar sind; aus den Ergebnissen läßt sich jedoch auch ein erheblicher Untersuchungsbedarf ableiten.

Inwieweit Biofilter in größerem Umfang zur Abscheidung von Dioxinen geeignet sind, bedarf insbesondere im Hinblick auf die Reststoffproblematik einer besonderen Betrachtung.

Tabelle 1: Abscheidegrade bei verschiedenen Anlagentypen und unterschiedlichen Filtersystemen

M1: Messung 1; M2: Messung 2; M3: Messung 3; (Angaben in ng I-TEQ/m³)

Anlagenart/Filtersystem	Rohgas M1	Reingas M1	Rohgas M2	Reingas M2	Rohgas M3	Reingas M3	Abscheidegrad (%)
NE-Schmelze/VersuchsfILTER	-	0,16	0,27	0,25	0,11	0,09	12,28
Holzfeuer/Gewebefilter	12,00	6,25	6,67	7,28	7,69	3,79	34,29
Sinteranlage/VersuchsfILTER	8,21	4,64	11,12	5,37	5,8	3,12	47,75
Sinteranlage/VersuchsfILTER	27,85	14,1	21,04	13,64	19,15	5,22	51,56
NE-Schmelze/Gewebefilter	-	0,04	0,27	0,05	0,11	0,06	73,68
Holzfeuer/Gewebefilter und HOK	1,06	0,59	5,61	0,89	2,5	0,46	78,84
Krematorium/Biofilter	0,35	0,003	0,33	0,004	0,47	0,006	98,87
Al-Umschm./Gewebefilter und HOK	6,37	0,0052	3,46	0,0044	3,64	0,0069	99,88

5. Qualitätskontrolle

An den Messungen waren neben der Emissionsmeßgruppe des LUA drei weitere private Meßinstitute beteiligt.

Um bei der Vergabe von Messungen an private Auftragnehmer zu belastbaren Meßergebnissen zu kommen, wurden diese Aufträge nur an Meßstellen vergeben, die eine Bekanntgabe nach §§ 26, 28 BImSchG für die Ermittlung der Emissionen an PCDD/F nachweisen konnten. Die Bekanntgabe erstreckte sich bei diesen Institutionen sowohl auf die Probenahme als auch auf die Analyse der Proben im eigenen Hause.

Zur Probenahme durften nur solche Methoden verwandt werden, die in der VDI Richtlinienreihe 3499 beschrieben sind:

- Filter/Kühlermethode (Kondensationsmethode) nach VDI 3499, Bl. 2 (Vorentwurf) zum Teil: vereinfachte Kondensationsmethode (LIS-Bericht Nr. 109),
- Kondensationsmethode mit gekühltem Absaugrohr nach VDI 3499, Bl. 3 (Vorentwurf),
- Verdünnungsmethode nach VDI 3499, Bl. 1 (E).

Beim Abschluß des Werkvertrages wurde diesem ein Anhang beigelegt, nach dem das beauftragte Meßinstitut folgende Angaben mit dem Meßbericht zu liefern hatte:

- Angabe aller verwendeten Standards (Kennzeichnung als Probenahmestandard, interner Standard, Wiederfindungsstandard),
- Angabe der verwendeten Standardkonzentration,
- Angabe des Gesamtblindwertes (Probenahme und Analyse),
- Angabe der Wiederfindungsrate des Probenahmestandards,
- Angabe der Wiederfindungsrate aller internen Standards,
- Auf Verlangen des Auftraggebers waren die Chromatogramme vorzulegen.

Außerdem war vertraglich vereinbart, daß Kongenere, die mit Konzentrationen < 10 pg/m^3 auftreten, mittels hochauflösender Massenspektrometrie analysiert wurden.

Zur Kontrolle der im Fremdauftrag vergebenen Analysen wurden vom LUA ausgewählte Probenteilextrakte zur Parallelanalyse angefordert. Diese Vorgehensweise wurde ebenfalls schon im Vertrag festgelegt.

Zusätzlich zu den Teilextrakten sollten folgende Angaben mitgeliefert werden:

- abgesaugtes Probevolumen,
- verwendeter Probenahmestandard,
- angewandte Lösemittel.

Des weiteren wurden folgende qualitätssichernde Maßnahmen vereinbart:

- stichprobenartige Ortsbesichtigungen durch Mitarbeiter des LUA,
- stichprobenartige Parallelmessungen mit dem LUA.

Bei den stichprobenartig durchgeführten Ortsbesichtigungen während der Messungen durch Mitarbeiter des LUA war festzustellen, daß die im Vertrag vereinbarten Vorgaben erfüllt und die Messungen fachgerecht durchgeführt wurden. Zu Beanstandungen kam es hier nicht.

Bei den Parallelanalysen von Probenextrakten ergaben sich größtenteils befriedigende Übereinstimmungen zwischen den Ergebnissen der Meßinstitute und denen des LUA. Allerdings traten in einzelnen Fällen auch Diskrepanzen auf, deren Ursache u.a. die

Verwechslung von Proben oder falsche Angaben über die Art und Konzentration der zugesetzten Standards war.

Parallelmessungen führten überwiegend zu einer befriedigenden Übereinstimmung der Ergebnisse (Tabelle 2). Von den überprüften Messungen führten insgesamt ca. 25 % zu Beanstandungen, die erst nach weiteren Untersuchungen ausgeräumt werden konnten.

Die Erfahrungen des Dioxinmeßprogrammes zeigen, wie wichtig die Vorgabe qualitätssichernder Maßnahmen für die Bewertung von Meßergebnissen bei Dioxinemissionsmessungen ist. Bei dem Umfang, in dem Dioxinmessungen mittlerweile vorgenommen werden, ist eine Qualitätskontrolle der Messungen unabdingbar. Dies kann erfolgen über Ortsbesichtigungen (Kontrolle des Einsatzes der Meßverfahren vor Ort), Parallelanalysen und Parallelmessungen.

6. Zusammenfassung

Die mittlere tägliche Aufnahme des Menschen an polychlorierten Dibenzo-p-dioxinen und Furanen (PCDD/F) liegt zur Zeit über der vom vormaligen Bundesgesundheitsamt als ungefährlich eingestuft Menge. Diese Situation erfordert es, den Eintrag in die Umwelt zu vermindern. Um die Basis für eine effiziente Verminderungsstrategie zu schaffen, wurden systematisch die in NRW in Frage kommenden Anlagen geprüft und bei 50 Anlagen, zu denen keine oder nicht ausreichende Erkenntnisse vorlagen, Emissionsmessungen durchgeführt. Diese wurden von einem, wie sich herausstellte, unbedingt notwendigen Qualitätssicherungsprogramm begleitet.

Die im Meßprogramm gewonnenen Ergebnisse haben die bisherigen Kenntnisse über die Relevanz von Dioxin- und Furanemittenten erheblich erweitern können. Insbesondere ist deutlich geworden, daß bedeutende Emittenten bisher nicht bekannt gewesen bzw. unterschätzt worden sind.

Bereits jetzt kann festgestellt werden, daß die jährlichen Frachten in den alten Bundesländern der Bundesrepublik zu niedrig abgeschätzt worden sind. Die im Rahmen dieses Programmes gemessenen industriellen Quellen ergeben bereits insgesamt eine Jahresfracht von über 500 g I-TE pro Jahr und damit bereits mehr als die Hälfte dessen, was bisher an Gesamtemissionen für die alten Bundesländer angegeben worden ist.

Die Schätzungen für den industriellen Bereich müssen deshalb nach oben korrigiert werden. Es ist davon auszugehen, daß die Dioxinemissionen aus thermischen Quellen in den alten Bundesländern zu Beginn der 90iger Jahre eine Jahresfracht von 1 kg pro Jahr deutlich überstiegen haben.

Es konnten vor allem im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie Emissionsquellen von erheblicher Stärke ermittelt werden; insgesamt wurde so ein PCDD/F-Massenstrom von ca. 60 mg I-TEQ/h ermittelt. Dieser Massenstrom konnte durch inzwischen eingeleitete technische Maßnahmen an den Anlagen deutlich vermindert werden. Mit dieser Verminderung des Dioxin-Eintrags in die Umwelt in NRW bewirkte das noch nicht abgeschlossene Dioxin-Untersuchungsprogramm bereits einen Erfolg zur Verbesserung der Umweltqualität.

Tabelle 2: Ergebnisse einer Parallelmessung (Angaben in ng I-TEQ/m³)

Kongenerer/Homologen	LUA	Meßinstitut
Summe TCDD	2,0	2,8
Summe PeCDD	1,8	2,5
Summe HxCDD	2,4	2,8
Summe HpCDD	1,6	1,3
OCDD	0,4	0,5
PCDD	8,1	9,9
2,3,7,8-TCDD	0,06	0,09
1,2,3,7,8-PeCDD	0,19	0,40
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,09	0,19
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,21	0,26
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,10	0,18
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,70	0,66
Summe TCDF	61	58,7
Summe PeCDF	34,0	32,5
Summe HxCDF	18,0	13,5
Summe HpCDF	2,0	2,20
OCDF	nn	0,40
PCDF	116	107,3
2,3,7,8-TCDF	2,7	1,9
1,2,3,7,8/1,2,3,4,8-PeCDF	2,80	2,72
2,3,4,7,8-PeCDF	3,00	2,4
1,2,3,4,7,8/1,2,3,4,7,9-HxCDF	1,40	1,69
1,2,3,6,7,8-HxCDF	2,50	1,62
1,2,3,7,8,9-HxCDF	< 0,01	0,12
2,3,4,6,7,8-HxCDF	1,40	1,33
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	2,00	1,94
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	< 1,20	< 0,04
PCDD + PCDF	124	117
TE BGA excl. NWG	2,60	2,40
TE NATO/CCMS excl. NWG	2,60	2,40

7. Literatur

- [1] Fletcher, C.L.; W.A. McKay:
Polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDD's) and dibenzofurans (PCDF's) in the aquatic environment - a literature review.
Chemosphere, Vol. 26 (1993), No. 6,
pp 1041-1069.
- [2] Dioxine und Furane - ihr Einfluß auf Umwelt und Gesundheit.
Erste Auswertung des 2. Internationalen Dioxin-Symposiums und der fachöffentlichen Anhörung des Bundesgesundheitsamtes und des Umweltbundesamtes in Berlin vom 09. bis 13.11.1992.
Bundesgesundheitsblatt, Sonderheft 36, Jahrgang (Mai 1993); herausgegeben vom Bundesgesundheitsamt, Berlin 1993.
- [3] Health Assessment Document for 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin (TCDD) and related Compounds.
Externed Review Draft, August 1994, EPA/600/BP-92/001C.
Office of Health and Environmental Assessment, Office of Research and Development.
U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C. 1994.
- [4] Ableitung von Immissionswerten für Luftschadstoffe PCDD und PCDF
Bericht des Untersuchungsausschusses "Wirkungsfragen" des Länderausschusses für Immissionsschutz.
- [5] Bröker, G.; K.-J. Geuke; E. Hiester; H. Niesenhaus:
Emission polychlorierter Dibenzo-p-dione und -furane aus Hausbrand-Feuerungen.
LIS-Berichte Nr. 103, hrsg. von der Landesanstalt Nordrhein-Westfalen, Essen 1993, 69 S.
- [6] Link, B.: Quellen und Wege der Belastung der Menschen mit halogenierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen. Z. für angewandte Umweltforschung, Jg. 2 (1989), H. 3, S. 229-244.
- [7] Fiedler, H.; Schramm, K.-W.; Hutzinger, O.: Dioxin emission to the air: Mass balance for Germany today and in the year 2000. Dioxin '90, Bayreuth, 10 - 14, September 1990
- [8] Hagemaiier, H.; Brunner, H.: Belastung der Umwelt mit Dioxinen.
VGB Kraftwerkstechnik, 71 (1991), Heft 9, S. 860-864.