

BE-140

BERICHTE



**DIOXINIMMISSIONSMESSUNGEN
IN
STRASSENTUNNEL**

DIOXINIMMISSIONSMESSUNGEN
IN
STRASSENTUNNEL

Gerhard Thanner

BE-140

Wien, Dezember 1999

Autoren: Gerhard Thanner
Projektleitung: Gundi Lorbeer, Ruth Baumann
Analytik: Wolfgang Moche, Nora Pasztory, Gerhard Thanner
Probenahme: Andreas Reisenhofer, Michael Reisenhofer
Textsatz u. Layout: Gerhard Thanner

Impressum

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

© Umweltbundesamt, Wien, Dezember 1999
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)
ISBN 3-85457-483-5

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	1
1.1 METHODIK.....	2
1.1.1 <i>Tunnelexperiment</i>	2
1.1.2 <i>Emissionsbilanz</i>	2
1.2 LITERATURÜBERSICHT	3
2. MESSPROGRAMM	7
2.1 MEßSTELLEN.....	7
2.2 PROBENAHME UND ANALYTIK	8
3. AUSWERTUNG DES MESSPROGRAMMES	9
3.1 EINZELERGEBNISSE DER VIER PROBENAHMEPERIODEN	9
3.2 HOMOLOGENPROFILE	12
3.3 ZUSAMMENFASSENDER DISKUSSION	14
4. LITERATUR.....	15
ANHANG Meßprotokolle.....	18

1. EINLEITUNG

Die polychlorierten Dibenzop-dioxine und -furane (PCDD/F), oftmals verkürzend als "Dioxine" angesprochen, stellen eine Stoffgruppe dar, welche weder als Naturstoffe anzusehen sind, noch jemals Ziel einer industriellen Produktion waren und sind. Die PCDD/F entstehen als ein unvermeidliches Nebenprodukt einer Vielzahl von thermischen und industriellen Prozessen. Im Bereich der industriellen Produktion sind das nahezu alle Prozesse der sogenannten Chlorchemie, wie etwa die Herstellung von Chlorphenolen und deren Folgeprodukten (z.B. 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure und Pentachlorphenol, welche als Herbizid bzw. Holzschutzmittel verwendet wurden). Als bekanntestes Beispiel für thermische Prozesse, bei denen PCDD/F entstehen können, gelten sicherlich Müllverbrennungsanlagen.

Nach heutigem Kenntnisstand muß man damit rechnen, daß bei jeder unvollständigen Verbrennung, die im Beisein halogener Verbindungen* stattfindet, polyhalogenierte Dibenzop-dioxine und Dibenzofurane entstehen. Dies bedeutet unter anderem, daß Chlorverbindungen, die in die Verbrennungskammer eines Verbrennungsmotors gelangen PCDD/F-Emissionen verursachen können. Als Eintragspfade für Chlorverbindungen in den Verbrennungsmotor kommen nur die Ansaugluft, das Motoröl und der Kraftstoff in Frage. Während über Ansaugluft und Motoröl nur Spuren von chlorhaltigen Verbindungen in die Verbrennungskammer gelangen, war bis vor wenigen Jahren der Chloreintrag über verbleite Kraftstoffe relativ hoch. Diese Kraftstoffe enthielten sogenannte Scavenger (chlor- und bromhaltige Verbindungen), deren Aufgabe es war, Bleiablagerungen im Verbrennungsraum durch die Einbindung von Bleihalogeniden zu verhindern. Bleihalogenide sind leicht flüchtige Verbindungen und können dadurch leichter mit dem Abgas ausgetragen werden. Die Bleizusätze ihrerseits haben die Aufgabe die sogenannte Klopfestigkeit zu erhöhen, wodurch der Motor geschont und seine Lebenszeit erhöht werden kann. Der Einsatz von halogenhaltigen Scavengern ist in den meisten Staaten der EU, in Österreich seit 1991, verboten.

Zur Erfassung von PCDD/F-Emissionen aus Verbrennungsmotoren stehen grundsätzlich zwei Methoden zur Verfügung. Die erste Methode umfaßt Prüfstand-Versuche auf Motoren- und/oder Rollenprüfständen. Dabei können verschiedene Motorentypen, Kraftstoffe und Motoröle mit unterschiedlichen Betriebsbedingungen beliebig kombiniert werden. Prüfstandversuche sind aber in der Regel, wegen des hohen technischen und materiellen Aufwandes, sehr teuer und geben die Realität nur sehr eingeschränkt wieder. Die zweite, ergänzende Methode besteht in einer indirekten Erfassung der Emissionen des Straßenverkehrs. Dabei werden die Luftschadstoffkonzentrationen in Straßentunnels gemessen. Ausgehend von diesen Meßdaten kann dann auf die KFZ-Emissionen hochgerechnet werden. Allerdings hängt die Güte dieser Hochrechnung entscheidend von der Wahl der Korrekturfaktoren, wie z.B. für die Straßensteigung und der Durchschnittsgeschwindigkeit, ab.

Das Umweltbundesamt hat zwischen 1995 und 1997 insgesamt drei Tunnelversuche mit dem Ziel durchgeführt, die PCDD/F-Emissionen des Straßenverkehrs zu erfassen.

* Chlor ist ein Vertreter der Elementgruppe der Halogene, welcher auch Brom, Fluor, Jod und Astat angehören. Bei den geschilderten Verbrennungsprozessen können bei Anwesenheit dieser Elemente auch gemischt halogenierte Dibenzop-dioxine und Dibenzofurane entstehen. Die stabilsten Verbindungen sind dabei die polychlorierten und polybromierten Vertreter dieser Substanzgruppe.

1.1 Methodik

1.1.1 Tunnelexperiment

Die Berechnung von KFZ-Emissionsfaktoren aus Tunnelexperimenten wurde bereits 1978 von einer Forschergruppe um W.R. Pierson (Ford Motor Company) für eine Reihe konventioneller Luftschadstoffe versucht (PIERSON W.R., et al. 1996). In Europa wurde 1993 im Gubrist-Tunnel in der Schweiz ein Tunnelexperiment zur Bestimmung von VOC-Emissionsfaktoren für KFZ durchgeführt (STAEHELIN J. et al. 1998). Die Bestimmung von PCDD/F-Emissionsfaktoren aus Tunnelexperimenten wurde erstmals in Norwegen von OEHME M., LARSEN S. und BREVIK E.M. (1991) beschrieben. Ein zweiter Versuch wurde in Belgien von WEVERS M., De FRÉ R. und RYMEN T. (1992) durchgeführt.

Die Ableitung von Emissionsfaktoren aus einem Tunnelexperiment beruht im wesentlichen auf der Bestimmung der Differenz der Luftschadstoffkonzentrationen im Tunnel und an einer Referenzmeßstelle außerhalb des Tunnels. Bei Kenntnis der Lüftungsverhältnisse im Tunnel und des Verkehrsaufkommens kann dann ein mittlerer Emissionsfaktor berechnet werden, welcher allerdings noch nicht nach Fahrzeugkategorie unterscheidet. Wird aber das Experiment an Tagen mit deutlich verschiedener Zusammensetzung der Verkehrsflotte durchgeführt, so können aus den Emissionsfaktoren, welche für jedes einzelne Experiment berechnet wurden, die Emissionsanteile für PKW und LKW herausgerechnet werden. Die Rechenmodelle sind u.a. in OEHME M., LARSEN S. und BREVIK E.M. (1991) und STAEHELIN et al. (1997) beschrieben.

1.1.2 Emissionsbilanz

Zur Erstellung europaweit vergleichbarer Emissionsbilanzen wurde 1985 das Programm CORINAIR (**COo**Rdination d'**IN**formation Environmentale) ins Leben gerufen. CORINAIR bietet eine einheitliche Systematik von Luftschadstoffe emittierenden Aktivitäten. Die Aktivitätenliste von CORINAIR enthält ca. 270 einzelne Aktivitäten, die in 36 Untergruppen und 11 Hauptgruppen zusammengefaßt sind. Jede Aktivität wird durch einen sogenannten SNAP-Code (**S**electe**d N**omenclature for **A**ir **P**ollution) gekennzeichnet. Die Tabelle 1 zeigt nach McINNIS G. (1996) einen Auszug der SNAP-Codes für die Hauptgruppe Straßenverkehr.

Die Liste der Schadstoffgruppen, die mit der CORINAIR Systematik erfasst werden, wird laufend erweitert. So wurden für die *Österreichische Luftschadstoff Inventur 1994* (KÖNIG G., RADUNSKY K. und RITTER M.; 1997) erstmals auch POPs (**P**ersistent **O**rganic **P**ollutants), zu denen auch die PCDD/F zählen, für ausgewählte CORINAIR-Aktivitäten abgeschätzt. Eine PCDD/F-Emissionsbilanz für den Straßenverkehr ist darin jedoch nicht enthalten.

SNAP-Code	Aktivität
07	Straßenverkehr
07 01	PKW
07 01 01	Autobahn
07 01 02	Landverkehr
07 01 03	Stadtverkehr
07 02	LKW < 3t
07 02 01	Autobahn
07 02 02	Landverkehr
07 02 03	Stadtverkehr
07 03	LKW > 3t und Busse
07 03 01	Autobahn
07 03 02	Landverkehr
07 03 03	Stadtverkehr

Tabelle 1 CORINAIR SNAP-Codes für Straßenverkehr (Auszug)

1.2 Literaturübersicht

In Autoabgasen konnten von HAGLUND (1988), sowohl im Betrieb mit Benzin als auch mit Dieselmotoren, Dioxine und Furane nachgewiesen werden. Während die untersuchten Kraftstoffe selbst jedoch keine nachweisbaren PCDD/F enthielten, konnten MARKLUND et al. (1990) in ungebrauchtem Motoröl bis zu 1,2 ng I-TEQ/L nachweisen. Erste Prüfstandversuche von HAGENMAIER et al. (1990) ergaben Emissionswerte von 50,7 pg I-TEQ/L für unverbleites Benzin ohne Katalysator bzw. 7,2 pg I-TEQ/L mit Katalysator. Für Dieselmotoren wurden 23,6 pg I-TEQ/L ermittelt.

Bislang sind wegen der hohen Kosten nur wenige PCDD/F-Emissionsmessungen an Fahrzeugprüfständen durchgeführt und publiziert worden. Die Ergebnisse sind zum Teil sehr widersprüchlich, da nur wenige Motoren bzw. Fahrzeugtypen untersucht wurden. Die aus diesen Versuchen ermittelten Emissionsfaktoren können daher nur bedingt auf den realen Fahrzeugbetrieb angewendet werden. Zum einen repräsentieren sie kaum die mittleren Emissionen der gesamten in Verwendung stehenden Fahrzeugflotte, zum anderen entsprechen die Testbedingungen nicht notwendigerweise den realen Fahrverhältnissen.

Straßentunnels eröffnen dagegen eine Möglichkeit zu Emissionsfaktoren zu gelangen, die eine durchschnittliche Fahrzeugflotte unter real-world Bedingungen repräsentieren. Ein solches Experiment wurde 1989 von OEHME M., LARSSON S. und BREVIK E.M. (1991) in einem Straßentunnel in Oslo durchgeführt. Die daraus abgeleiteten Emissionsfaktoren zeigt die Tabelle 2. Es wurde dabei bei den Fahrzeugtypen lediglich zwischen PKW/Klein-LKW und Schwer-LKW unterschieden.

Fahrzeuggruppe	ng I-TEQ/km
PKW und LKW <3t	0,038 - 0,52
LKW >3t	0,72 - 9,5

Tabelle 2 PCDD/F-Emissionsfaktoren für Fahrzeuge nach OEHME M., LARSEN S. und BREVIK E.M. (1991)

Die hohen Emissionsfaktoren für PKW in Tabelle 2 sind wahrscheinlich auf einen hohen Anteil von mit verbleitem Benzin betriebenen Fahrzeugen (ca 75 %) zurückzuführen (der Versuch wurde 1989 durchgeführt). Für die sehr hohen Diesel-Emissionswerte (LKW) konnten die Autoren keine ausreichenden Erklärungen angeben. Die Autoren vermuten, daß die hohen PCDD/F-Emissionen aus Dieselmotoren zum Teil auf die Verunreinigung des Kraftstoffes mit verbleitem Benzin zurückgeführt werden könnte. Ein Tunnelexperiment, durchgeführt von WEVERS M., De Fré R. und RYMEN T. (1992) in einem Straßentunnel in Antwerpen konnte die hohen Emissionsfaktoren des norwegischen Versuches jedoch nicht bestätigen.

Bis heute sind nur wenige Studien über PCDD/F-Emissionen aus mit Diesel betriebenen Fahrzeugen, insbesondere Schwerlast-LKWs, bekannt. Die bisher publizierten Daten sind sehr widersprüchlich, wie die Zusammenstellung in Tabelle 3 zeigt.

Untersuchungen von HAGENMAIER H. (1994) lassen allerdings niedrigere Emissionsfaktoren für Dieselmotoren vermuten. Dies erklärt sich vorallem mit dem weitgehenden Verbot des Einsatzes von halogenierten Scavanger (in Österreich seit 1991 verboten) in den Mitgliedsstaaten der EU.

Neueste Prüfstandversuche von GEUEKE K.-J. et al. (1999) mit LKW Motoren ergaben als worst-case Abschätzung einen Emissionsfaktor von 291 pg I-TEQ/Kg_{Treibstoff} bzw. 233 pg I-TEQ/L^{*} für Diesel-LKWs.

Die Tabelle 4 zeigt eine Zusammenfassung der bisher verfügbaren Literaturdaten und deren Übertragung in die CORINAIR-Systematik, wie sie bereits von PARMA Z. et al. (1995) durchgeführt wurde. Die Daten wurden mit den Ergebnissen der Prüfstandversuche von GEUEKE K.-J. et al. (1999) ergänzt bzw. korrigiert.

Die Tabelle 5 zeigt das jährliche Verkehrsaufkommen Österreichs auf Basis der Daten von 1995, erstellt von der TU-Graz im Auftrag des Umweltbundesamtes. Die Daten sind bereits nach der CORINAIR-Systematik in die entsprechenden Aktivitäten aufgeschlüsselt.

Eine Abschätzung der PCDD/F-Emissionen aus dem Verkehr auf Basis der Verkehrszählungsdaten 1995, siehe Tabelle 5, unter Verwendung der Emissionsfaktoren in Tabelle 4 würde für Österreich einen Bereich von 0,34 bis 0,97 g I-TEQ/a ergeben. Das würde nach der jüngsten PCDD/F-Emissionsbilanz für Österreich, siehe KÖNIG G., RADUNSKY K. und RITTER M. (1997), einen Anteil von 1,2% bis 3,4% an der österreichischen PCDD/F-Gesamtemission ergeben.

* Dichte von Diesel = 0,8 kg/L

Fahrzeugtype	Literatur	Emissionsfaktoren	
		ng I-TEQ/km	ng I-TEQ/L
Schwer-LKW	OEHME M., et al. (1991)	5,4	18
	JONES K. (1993)	4,9	27,44
Bus	JONES K. (1993)	0,38	5,9
Klein-LKW	HAGENMAIER H., et al. (1990)	0,005	0,075

Tabelle 3 PCDD/F-Emissionsfaktoren für Diesel-betriebene Fahrzeuge.

SNAP Code	Aktivität	Emissionsfaktoren		
		Benzin ohne Kat ng TEQ/L	Benzin mit Kat ng TEQ/L	Diesel ng TEQ/L
07 01	PKW	0.09	0.02 - 0.09	0.075
07 02	LKW < 3t	0.09	0.09	0.075
07 03	LKW > 3t und Busse			0.075 - 0,364

Tabelle 4 PCDD/F-Emissionsfaktoren für die CORINAIR-Aktivität Straßenverkehr (SNAP-Code 07)

07 Straßenverkehr		Fahrleistung in Mio. km/a	Treibstoffverbrauch in 1000 t/a		
			Benzin		Diesel
			ohne kat	mit Kat	
07 01	PKW	44089.8	563.8	1595.0	743.9
07 02	LKW < 3t	5164.8	99.8	54.6	291.5
07 03	LKW > 3t und Busse	7108.3	52.1	0.0	1326.5
07 04	Mopeds und Motorräder < 50 ccm	618.3	7.3	2.4	
	Summe	57738.8	743.2	1652.0	2362.0

Tabelle 5 Verkehrsaufkommen in Österreich auf Basis 1995, erstellt von der TU-Graz im Auftrag des Umweltbundesamtes

2. MESSPROGRAMM

Zwischen 1995 und 1997 wurden insgesamt drei Immissionsprobenahmen in Straßentunnels durchgeführt. Es wurde dabei jeweils eine Meßstelle im Tunnel und eine Referenzmeßstelle am Tunnelausgang eingerichtet. Die Daten über das Verkehrsaufkommen während der Probenahmen stammen von den automatischen Verkehrszählungseinrichtungen in den Tunnels. Die Daten wurden von den Tunnelbetreibern zur Verfügung gestellt. Während der PCDD/F-Immissionsprobenahmen wurden auch eine Reihe klassischer Luftschadstoffe im Tunnel miterfasst.

2.1 Meßstellen

Golling

Der Autobahntunnel mit einer Länge von ca. 1,2 km befindet sich im Zuge der Tauernautobahn A10 bei Golling (Salzburg). Die Probenahmestelle befand sich in der Tunnelröhre für die zweispurige Richtungsfahrbahn Süd. Während der PCDD/F-Probenahmen wurden gleichzeitig die Immissionskonzentrationen von NO, NO₂ und Staub im Tunnel erfasst. Die Referenzmeßstelle befand sich am Gelände der Straßenmeisterei in der Nähe des Tunnelportals.

Die Probenahme fand vom 25. bis 28. August 1995 (Freitag 14⁰⁰ bis Montag 14⁰⁰) statt.

Plabutsch

Der Plabutschunnel, mit einer Länge von 9,8 km, befindet sich im Zuge der Pyhrn-Autobahn A9 und stellt die Westumfahrung von Graz dar. Es handelt sich dabei um einen zweispurigen Straßentunnel mit Gegenverkehr. Die Meßstellen wurden in einer Ausweichnische in Tunnelmitte und bei der Tunnelwarte am Südportal eingerichtet. Zusätzlich wurde eine Referenzmeßstelle im Osten von Graz (Eisteichgasse) errichtet. Während der Probenahme wurden die Immissionskonzentrationen von NO, NO₂, Staub, CO und BTEX im Tunnel erfasst.

Die Probenahme erfolgte am Pfingstwochenende 1996 im Plabutschunnel in Graz (24. bis 27. Mai 1996, Freitag 14⁰⁰ bis Montag 14⁰⁰).

Tauerntunnel

Der Tauerntunnel mit einer Länge von 6,4 km befindet sich im Zuge der Tauernautobahn A 10 zwischen Kilometer 80 und 87 auf einer Seehöhe von ca. 1300m. Der Tauerntunnel ist ein zweispuriger Straßentunnel mit Gegenverkehr. Die Probenahmestelle im Tauerntunnel wurde in der Ausweichnische bei Kilometer 83,05 in Fahrtrichtung Süden und die Referenzmeßstelle über dem Südportal des Tunnels eingerichtet. Während der Probenahmen wurden die Immissionskonzentrationen von CO und BTEX im Tunnel erfasst.

Die erste Probenahme fand vom 29. September bis 2. Oktober 1997 (Montag 14⁰⁰ bis Donnerstag 14⁰⁰) und die zweite gleich daran anschließend bis Sonntag den 5. Oktober 1997 (Donnerstag 14⁰⁰ bis Sonntag 14⁰⁰) statt.

2.2 Probenahme und Analytik

PCDD/F

Die Probenahme erfolgte mit High-Volume-Samplern, wobei während einer Dauer von 72 Stunden ca. 1000 m³ Umgebungsluft angesaugt werden. Die partikelgebundenen PCDD/F werden dabei an einem Glasfaserfilter adsorbiert, wohingegen die gasförmig vorliegenden PCDD/F von einem Polyurethanschaumpfropfen zurückgehalten werden.

Die Analyse der Proben erfolgte im Labor des Umweltbundesamtes. In UMWELTBUNDESAMT (1994) sind die Probenahme und die Analysenmethoden detailliert beschrieben. Dabei werden die Teilproben (Glasfaserfilter und Polyurethanschaumpfropfen s.o.) nach einem Extraktionsschritt und einem mehrstufigen Aufreinigungsschritt mittels HRGC/HRMS^(*) vermessen und ausgewertet.

CO, NO, NO₂ und Staub

Die Messungen wurden mit kontinuierlich registrierenden Immissionsmeßgeräten durchgeführt.

BTEX

Die Probenahme erfolgte durch Adsorption an Aktivkohleröhrchen. Die Analyse erfolgte durch Elution mit Schwefelkohlenstoff und anschließender gaschromatographischer Bestimmung. Das Analyseverfahren ist in HANUS-ILLNAR (1995) detailliert beschrieben.

^(*) High Resolution Gaschromatography/ High Resolution Massspectrometry

3. AUSWERTUNG DES MESSPROGRAMMES

3.1 Einzelergebnisse der vier Probenahmeperioden

Die Ergebnisse der PCDD/F-Probenahmen sind in der Tabelle 7 zusammengefasst. Die Daten über das Verkehrsaufkommen, sowie die Ergebnisse der Begleitmessungen während der PCDD/F-Probenahmen sind in den Tabellen 6, 8 und 9 angegeben.

Die PCDD/F-Immissionskonzentrationen im Tunnel waren bei allen drei Tunnelexperimenten höher als an der jeweiligen Referenzmeßstelle. Die Höhe der im Tunnel gemessenen PCDD/F-Immissionskonzentrationen scheint jedoch nicht mit dem Verkehrsaufkommen zu korrelieren. So wurde im Autobahntunnel bei Golling bei einem Verkehrsaufkommen von ca. 100000 Fahrzeugen lediglich eine Zunahme von 67% der PCDD/F-Konzentration in der Tunnelluft gegenüber der Referenzmeßstelle ermittelt.

Die höchste Zunahme wurde im Tauertunnel bei einem weit geringeren Verkehrsaufkommen gemessen. Dies läßt sich zum einen durch die unterschiedlichen baulichen Gegebenheiten der Tunnel erklären. So ist der Tunnel bei Golling mit einer Länge von ca. 1,2 km für ein Tunnelexperiment wahrscheinlich zu kurz, da die Längslüftung im Vergleich mit der Verweilzeit der Fahrzeuge im Tunnel zu stark ist und damit eine nennenswerte Aufkonzentrierung der PCDD/F in der Tunnelluft verhindert wird.

Ein weiterer Unterschied zwischen den Tunnelexperimenten besteht in der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte. Während die beiden ersten Tunnelexperimente während des Wochenendes durchgeführt wurden und der PKW-Anteil aufgrund des Wochenendfahrverbotes für LKW ca. 90% betrug, war der LKW-Anteil bei der ersten Probenahmeperiode im Tauerntunnel (Mo - Do) 30.6%. Der Einfluß unterschiedlicher Flottenzusammensetzungen ist besonders deutlich anhand der BTEX-Emissionen, welche vorallem den Benzinmotoren zugerechnet werden, zu erkennen. So waren z.B. die BTEX-Konzentrationen im Tauerntunnel am Wochenende deutlich höher als wochentags.

Aufgrund von Literaturdaten, siehe dazu Kapitel 2.2, wird für die PCDD/F von höheren Emissionsfaktoren für Fahrzeuge mit Dieselmotoren im Vergleich zu jenen mit Benzinmotoren ausgegangen. Der zu erwartende Unterschied zwischen den beiden Probenahmeperioden im Tauerntunnel konnte bei der Auswertung der Meßergebnisse nicht festgestellt werden. Obwohl der Anteil der LKW an der Fahrzeugflotte während der ersten Probenahmeperiode deutlich höher war, wurden fast gleich hohe PCDD/F-Konzentrationen in der Tunnelluft gemessen.

Die Tabele 9 zeigt die Ergebnisse der BTEX-Immissionskonzentrationen während der PCDD/F-Probenahmen im Plabutsch- und Tauerntunnel.

Bei beiden Probenahmen im Tauerntunnel waren die BTEX-Konzentrationen in der Außenluft im Vergleich zur Tunnelluft sehr gering. Die Konzentrationen aller BTEX-Komponenten waren bei der zweiten Probenahme (Donnerstag bis Sonntag) gegenüber der ersten Probenahme (Montag bis Donnerstag) deutlich erhöht. Dies ist auf den dominanten Einfluß des PKW-Verkehrs zurückzuführen.

Während der Probenahme im Plabutsch wurden nur die BTEX-Konzentrationen im Tunnel gemessen. Die Konzentrationen aller BTEX-Komponenten lagen um ca. 20% höher als jene Konzentrationen, welche im Tauerntunnel während der zweiten Probenahme (Donnerstag bis Sonntag) gemessen wurden. Dies läßt sich durch das um ca. 35% höhere PKW-Verkehrsaufkommen im Plabutsch gegenüber dem Tauerntunnel erklären.

Meßstelle	PKW		LKW	
	Fahrzeuge	%	Fahrzeuge	%
Golling 25.8. - 28.8. 1995	93105	91.9	8192	8.1
Plabutsch 24.5. - 27.5 1996	56650	88.9	7057	11.1
Tauerntunnel 29.9. - 2.10. 1997	23559	69.4	10377	30.6
2.10. - 5.10. 1997	36665	83.3	7373	16.7

Tabelle 6 Verkehrsaufkommen während der PCDD/F-Immissionsprobenahmen

	Tunnel-Meßstelle	Referenz-Meßstelle
Golling 25.8. - 28.8. 1995	14.2	8.5
Plabutsch 24.5. - 27.5 1996	34.0	20.0 (Tunnelwarte) 13.3 (Eisteichgasse)
Tauerntunnel 29.9. - 2.10. 1997	50.6	0.6
2.10. - 5.10. 1997	55.1	10.7

Tabelle 7 PCDD/F-Immissionskonzentrationen in fg I-TEQ/Nm³

	CO mg/m ³	NO mg/m ³	NO ₂ mg/m ³	Staub mg/m ³
Golling 25.8. - 28.8. 1995		0.432	0.101	0.042
Plabutsch 24.5. - 27.5 1996	11.29	3.111	0.280	0.103
Tauerntunnel 29.9. - 2.10. 1997 2.10. - 5.10. 1997	14.29			

Tabelle 8 Immissionskonzentrationen ausgewählter Luftschadstoffe im Tunnel während der PCDD/F-Probenahme

	Benzol µg/m ³	Toluol µg/m ³	Ethylbenzol µg/m ³	m,p-Xylol µg/m ³	o-Xylol µg/m ³
Plabutsch					
Tunnel-Meßstelle 24.5. - 27.5 1996	46,7	95,7	18,8	63,1	23,8
Tauerntunnel					
Tunnel-Meßstelle 29.9. - 2.10. 1997 2.10. - 5.10. 1997	21,4 36,2	44,2 77,1	9,9 16,4	33,0 55,2	10,5 18,6
Referenz-Meßstelle 29.9. - 2.10. 1997 2.10. - 5.10. 1997	0,4 0,4	0,8 1,0	0,2 0,2	0,4 0,5	0,2 0,2

Tabelle 9 BTEX-Immissionskonzentrationen während der PCDD/F-Probenahme

3.2 Homologenprofile

Das Homologenprofil der PCDD/F-Immissionskonzentrationen im Straßentunnel bei Golling, siehe dazu Abbildung 1, zeigt nur eine geringe Zunahme des Anteils der niederchlorierten Dibenzofurane im Vergleich zur Referenzmeßstelle. Dies dürfte auf die starke Längslüftung des, mit ca. 1,2 km relativ kurzen, Tunnels zurückzuführen sein.

Die Homologenprofile der PCDD/F-Immissionskonzentrationen im Plabutschtunnel und Tauerntunnel zeigen, wie aus den Abbildungen 2 bis 4 zu ersehen ist, sehr charakteristische Verteilungen. So dominieren in der Tunnelluft die TCDF mit einem Anteil von 30 bis 40% die Homologenverteilungen. An den Referenzmeßstellen sind hingegen von TCDF zu OCDF abnehmende und von TCDD zu OCDD zunehmende Homologenkonzentrationen zu beobachten, was ein typisches Immissionsmuster darstellt (siehe dazu THANNER G., MOCHE W. 1996).

Die Homologenprofile der Probenahmen im Tauerntunnel zeigen keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Probenahmeperioden. Lediglich das Homologenprofil der Referenzmeßstelle während der zweiten Probenahme weicht deutlich vom typischen Immissionsmuster ab. Die erhöhten Anteile an OCDF, HpCDF und OCDD lassen ein Verbrennungsgeschehen als Ursache vermuten, wofür aber keine Beobachtungen während der Probenahme vorliegen.

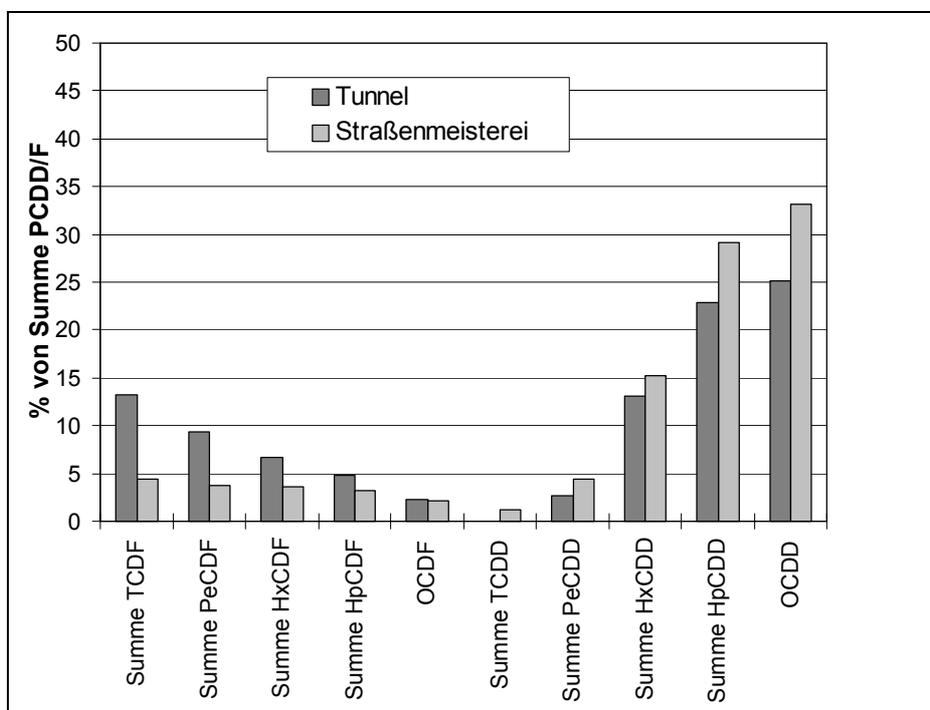


Abbildung 1 Homologenprofil, Golling 25.8. - 28.8. 1995

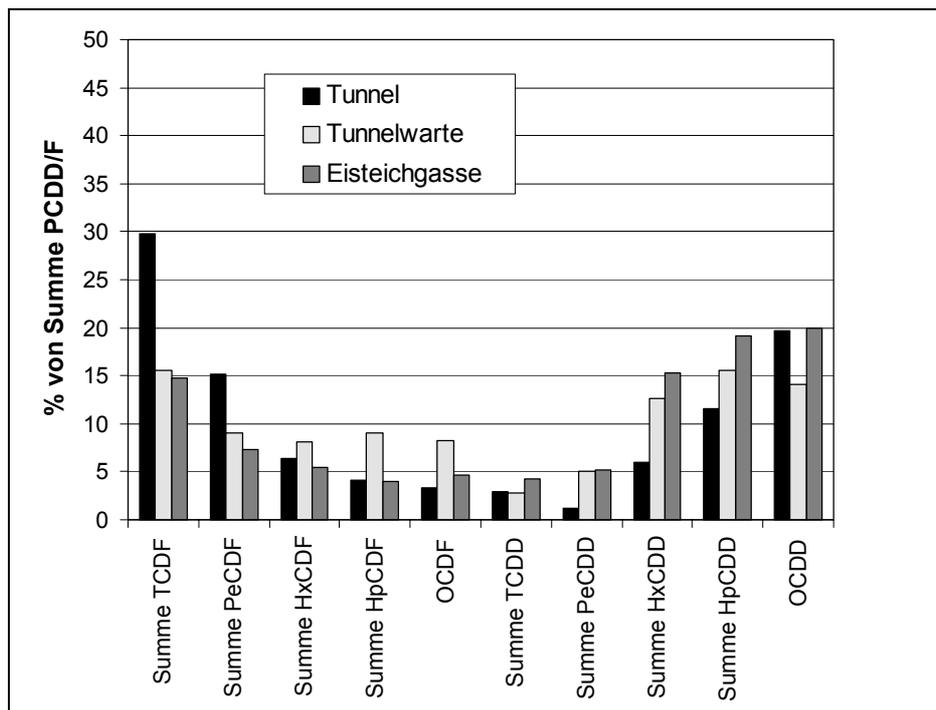


Abbildung 2 Homologenprofil, Plabutsch 24.5. -27.5. 1996

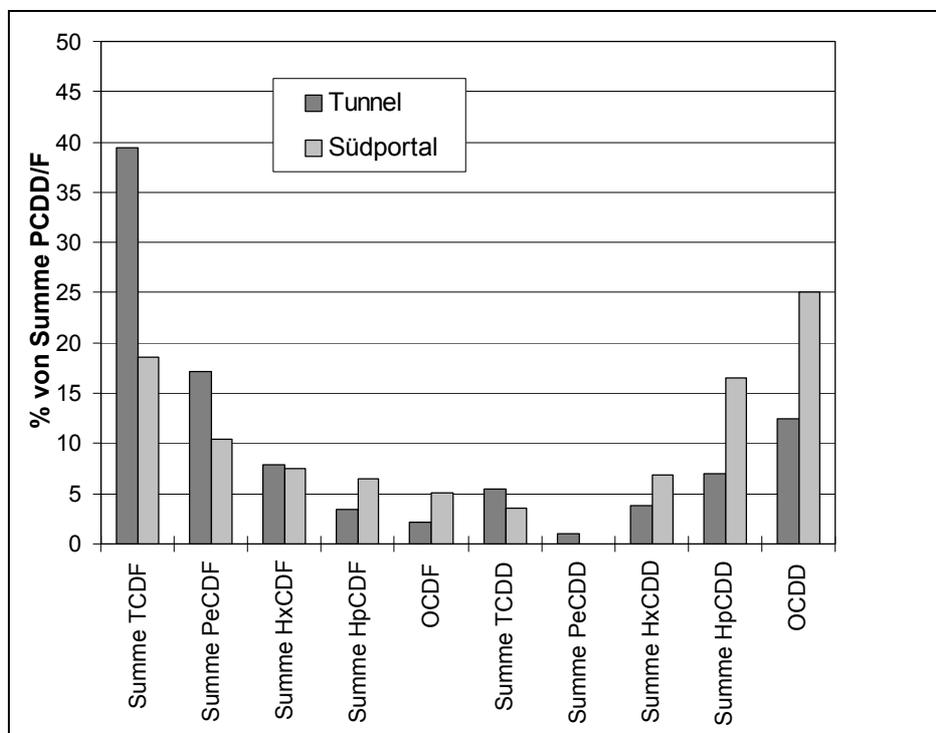


Abbildung 3 Homologenprofil, Tauerntunnel 29.9. -2.10. 1997

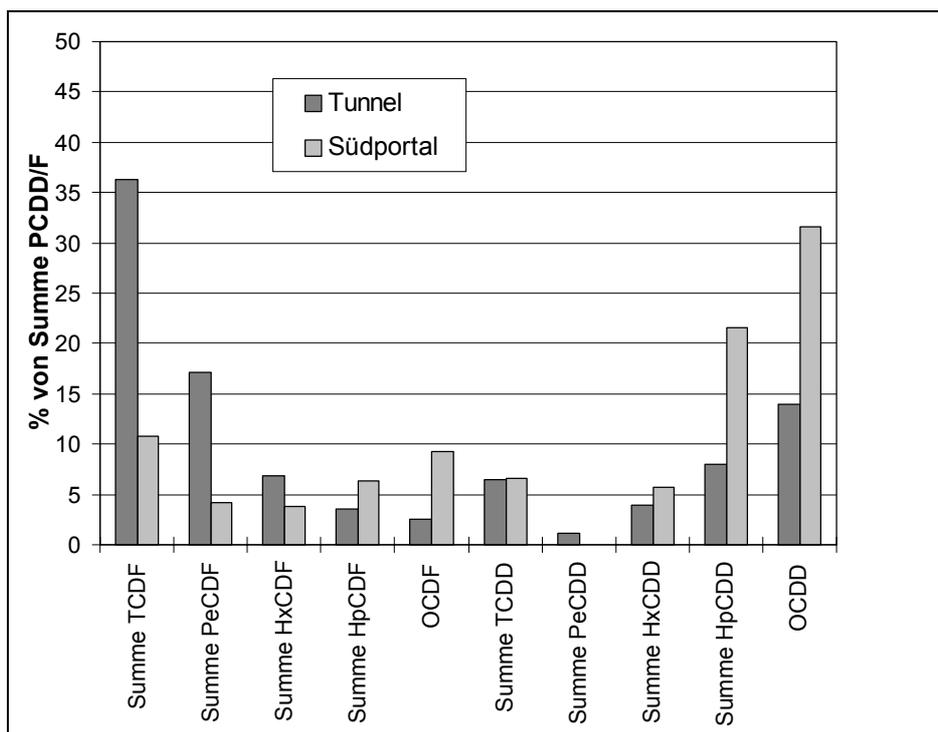


Abbildung 4 Homologenprofil, Tauerntunnel 2.10. - 5.10. 1997

3.3 Zusammenfassende Diskussion

Die drei vom Umweltbundesamt durchgeführten Tunnelexperimente belegen eindeutig einen meßbaren Beitrag des Straßenverkehrs zur österreichischen Gesamtbilanz der PCDD/F-Emissionen. Eine Berechnung von PCDD/F-Emissionsfaktoren aus den vorliegenden Ergebnissen wurde nicht durchgeführt, da die Lüftungsverhältnisse während der Probenahme nicht erhoben werden konnten. Darüberhinaus hat sich die erstgewählte Meßstelle, der Straßentunnel bei Golling, für dieses Experiment als nicht geeignet erwiesen.

Die Höhe der PCDD/F-Konzentrationen, die im Plabutsch- und Tauerntunnel gemessen wurden, lassen aber den Schluß zu, daß die aus der Literatur bekannten Emissionsfaktoren, siehe dazu Kapitel 2.2 - Tabelle 4, auch für die österreichische Situation angewendet werden können. Damit ergäben sich jährliche PCDD/F-Emissionen aus dem Straßenverkehr in einem Bereich von 0.34 bis 0.97g I-TEQ. Dies würde einen Anteil von 1.2 bis 3.4 % an der österreichweiten Gesamtemission an PCDD/F betragen.

Abschließend kann gesagt werden, daß nach den derzeit vorliegenden Meßergebnissen ein zwar meßbarer, aber mengenmäßig geringer Eintrag von PCDD/F durch den Straßenverkehr in die Umwelt zu erwarten ist.

4. LITERATUR

GEUEKE K.-J., GESSNER A., QUASS U., BRÖKER G., HIESTER E. (1999)

PCDD/F Emissions from Heavy Duty Vehicle Diesel Engines

Chemosphere, Vol. 38, 2791-2806, 1999.

HAGLUND P., EGEBÄCK K. E., JANSSON B. (1988)

Analysis of Polybrominated Dioxins and Furans in Vehicle Exhaust

Chemosphere, Vol 17, 2129-2140, 1988.

HAGENMAIER H., DAWIDOWSKY N., WEBERUSS U., HUTZINGER O., SCHWIND K.H., THOMA H., ESSERS U., BÜHLER U. und GREINER R. (1990)

Emissions of Polyhalogenated Dibenzodioxins and Dibenzofurans from Combustion Engines

Organohalogen Compounds, Vol. 2, 329-334, 1990.

HAGENMAIER H. (1994)

Contributions of Diesel-Powered Vehicles and Wood Burning to overall PCDD/PCDF Emissions

Organohalogen Compounds, Vol. 20, 267-270, 1994.

HANUS-ILLNAR A. (1995)

Immissionen von aromatischen Kohlenwasserstoffen im Stadtbereich von Wien

Report UBA-95-098

Umweltbundesamt Wien, 1995

JONES K. (1993)

Diesel Truck Emissions, an Unrecognised Source of PCDD/PCDF Exposure in the United States

Risk Analysis, 13, 245-252, 1993.

KÖNIG G., RADUNSKY K. und RITTER M. (1997)

Österreichische Luftschadstoffinventur 1994

Report R-139, Umweltbundesamt Wien, 1997.

MARKLUND S. , ANDERSSON R., TYSKLIND M., RAPPE C., EGEBÄCK K. E., BJÖRKMAN und GRIGORIADES V. (1990a)

Emissions of PCDDs and PCDFs in Gasoline and Diesel Fueled Cars

Chemosphere, Vol 20, 553-562, 1990.

McINNES G. (1996)

Atmospheric Emission Inventory Guidebook

Hrsg. McInnes

European Environment Agency, First Edition, Copenhagen 1996.

OEHME M., LARSEN S. und BREVIK E.M. (1991)

Emission Factors of PCDD and PCDF for Road Vehicles obtained by Tunnel Experiment

Chemosphere, Vol. 23, Nr. 11-12, 1699-1708, 1991.

PIERSON W. R., GERTLER A. W., ROBINSON N. F., SAGEBBIEL J. C., ZIELINSKA B., BISHOP G. A., STEDMAN D. H., ZWEIDINGER R. B. and RAY W. D. (1996)

Real-world Automotive Emission - Summary of Studies in the Fort Mc. Henry and Tuscarora Mountain Tunnel

Atmospheric Environment, Vol. 30, 2233-2256, 1996.

PARMA Z., VOSTA J., HOREJS J., PACYNA J.M., THOMAS D. (1995)

Atmospheric Emission Inventory Guidelines for Persistent Organic Pollutants; A Report Prepared for External Affairs Canada

Prag, Juli 1995.

STAEHELIN J., KELLER C., STAHEL W., SCHLÄPFER K., STEINEMANN U., BÜRGIN T. and SCHNEIDER S. (1997)

Modelling emission factors of road traffic from a tunnel study

Environmetrics, Vol. 8, 219-239, 1997.

STAEHELIN J., KELLER C., STAHEL W., SCHLÄPFER K. and WUNDERLI S. (1998)

Emission Factors from Road Traffic from a Tunnel Study (Gubrist Tunnel, Switzerland). Part III: Results of Organic Exhaust Emission

Atmospheric Environment, Vol. 32, 999-1009, 1998.

WEVERS M., De FRÉ R., RYMEN T. (1992)
Dioxins and Dibenzofurans in Tunnel Air
Organohalogen Compounds, Vol. 9, 321- 324, 1992.

THANNER G., MOCHE W. 1994 und 1996
Dioxine in der Luft von Ballungsräumen
Meßergebnisse aus Graz, Linz, Steyregg und Wien, Teil 2
Monographie Bd. 76
Umweltbundesamt Wien, 1996.

ANHANG**Meßprotokolle**

Die Meßwerte wurden in ein Tabellenkalkulationsprogramm eingelesen und dort weiterbearbeitet. Die Berechnung der Teilergebnisse (GF und PU) erfolgte mit der maximalen Genauigkeit des Tabellenkalkulationsprogrammes. Die Rundung auf eine Nachkommastelle erfolgte erst im Gesamtergebnis.

Die Angaben in den Ergebnisprotokollen setzen sich wie folgt zusammen:

- Bezeichnung der Meßstelle.
- Interner Laborcode.
- Datum der Probenahme.
- Probenvolumen, angegeben in Nm³, bezogen auf Luft im Normalzustand (1013.25 hPa, 273.15 °K).
- Labornummer.
- Konzentrationen aller 2,3,7,8-Isomeren und der Homologensummen der Tetra- bis Heptachlor-dibenzo-p-dioxine und -dibenzofurane. Angegeben sind der Glasfaser- und PU-Schaumanteil sowie das Gesamtergebnis.
- Nachweisgrenzen aller 2,3,7,8-Isomeren bezogen auf das Gesamtergebnis
- Summe der PCDD bzw. PCDF, Summe der 2,3,7,8-Isomeren, Toxizitätsäquivalent nach I-TEF.

Golling

Meßstelle : Straßenmeisterei
 Probenahme von: 25. August bis 28. August 1995

Labornummer: L 95 08 1856
 Probenahmenvolumen: 1014.42 Nm³

	GF	PU	Gesamt	NWG
	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³
2378-Isomere				
2378-TCDD	n.n.	n.n.	n.n.	1.3
12378-PeCDD	n.n.	3.4	3.4	1.0
123478-HxCDD	n.n.	n.n.	n.n.	1.6
123678-HxCDD	8.0	n.n.	8.0	1.3
123789-HxCDD	11.2	n.n.	11.2	1.4
1234678-HpCDD	122.7	8.7	131.4	1.2
OCDD	261.5	9.1	270.6	0.6
Summe TCDD	n.n.	9.7	9.7	
Summe PeCDD	5.7	29.8	35.5	
Summe HxCDD	82.0	42.2	124.2	
Summe HpCDD	220.8	17.0	237.8	
2378-TCDF	15.1	1.6	16.7	1.1
12378-PeCDF	n.n.	n.n.	n.n.	0.9
23478-PeCDF	1.6	n.n.	1.6	0.8
123478-HxCDF	n.n.	n.n.	n.n.	1.0
123678-HxCDF	2.4	n.n.	2.4	0.9
234678-HxCDF	4.1	n.n.	4.1	0.9
123789-HxCDF	n.n.	n.n.	n.n.	1.1
1234678-HpCDF	19.7	n.n.	19.7	1.1
1234789-HpCDF	n.n.	n.n.	n.n.	0.8
OCDF	17.0	n.n.	17.0	0.8
Summe TCDF	25.2	10.8	36.0	
Summe PeCDF	2.6	28.2	30.8	
Summe HxCDF	13.0	16.0	29.0	
Summe HpCDF	26.4	n.n.	26.4	
Summe PCDD	570.1	107.6	677.8	
Summe PCDF	84.2	55.0	139.2	
Summe PCDD/PCDF	654.3	162.7	817.0	
Summe 2378-Isomere	463.3	22.7	486.1	
TEQ (ITEF)	6.6	1.9	8.5	

Golling

Meßstelle : Tunnel
 Probenahme von: 25. August bis 28. August 1995

Labornummer: L 95 08 1857
 Probenahmevervolumen: 823.91 Nm³

	GF	PU	Gesamt	NWG
	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³
2378-Isomere				
2378-TCDD	n.n.	n.n.	n.n.	1.1
12378-PeCDD	3.6	n.n.	3.6	0.9
123478-HxCDD	5.5	n.n.	5.5	1.1
123678-HxCDD	8.6	n.n.	8.6	1.1
123789-HxCDD	12.6	n.n.	12.6	1.1
1234678-HpCDD	94.9	n.n.	94.9	1.1
OCDD	176.1	19.1	195.2	0.7
Summe TCDD	n.n.	n.n.	n.n.	
Summe PeCDD	21.1	n.n.	21.1	
Summe HxCDD	101.5	n.n.	101.5	
Summe HpCDD	177.0	n.n.	177.0	
2378-TCDF	25.7	4.6	30.3	1.2
12378-PeCDF	5.3	n.n.	5.3	0.8
23478-PeCDF	6.4	n.n.	6.4	0.6
123478-HxCDF	5.6	n.n.	5.6	0.8
123678-HxCDF	n.n.	n.n.	n.n.	0.8
234678-HxCDF	8.5	4.4	12.9	0.8
123789-HxCDF	n.n.	n.n.	n.n.	0.9
1234678-HpCDF	23.2	n.n.	23.2	1.0
1234789-HpCDF	n.n.	n.n.	n.n.	0.9
OCDF	17.7	n.n.	17.7	1.0
Summe TCDF	70.9	31.6	102.5	
Summe PeCDF	65.5	6.8	72.3	
Summe HxCDF	46.8	4.6	51.4	
Summe HpCDF	37.6	n.n.	37.6	
Summe PCDD	475.7	19.1	494.8	
Summe PCDF	238.6	43.0	281.5	
Summe PCDD/PCDF	714.3	62.0	776.3	
Summe 2378-Isomere	393.9	28.0	421.8	
TEQ (ITEF)	13.3	0.9	14.2	

Plabutsch

Meßstelle : Eisteichgasse
Probenahme von: 24. Mai bis 27. Mai 1996

Labornummer: L 96 05 1226
Probenahmevervolumen: 962.15 Nm³

	GF	PU	Gesamt	NWG
	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³
2378-Isomere				
2378-TCDD	n.n.	n.n.	n.n.	0.9
12378-PeCDD	n.n.	n.n.	n.n.	0.9
123478-HxCDD	2.5	n.n.	2.5	1.2
123678-HxCDD	6.2	4.4	10.6	1.1
123789-HxCDD	6.0	3.3	9.3	1.1
1234678-HpCDD	82.8	14.8	97.6	1.7
OCDD	189.8	25.9	215.7	1.9
Summe TCDD	12.5	34.1	46.6	
Summe PeCDD	21.6	34.9	56.5	
Summe HxCDD	110.4	54.3	164.7	
Summe HpCDD	175.4	31.0	206.4	
2378-TCDF	7.7	5.8	13.5	0.5
12378-PeCDF	2.0	2.1	4.1	0.4
23478-PeCDF	5.0	5.6	10.6	0.5
123478-HxCDF	4.6	3.4	8.0	0.7
123678-HxCDF	3.6	3.0	6.6	0.8
234678-HxCDF	6.7	4.4	11.1	0.9
123789-HxCDF	n.n.	n.n.	n.n.	0.9
1234678-HpCDF	23.3	8.6	31.9	0.9
1234789-HpCDF	5.7	n.n.	5.7	1.2
OCDF	26.5	23.6	50.1	1.4
Summe TCDF	27.2	131.8	159.0	
Summe PeCDF	30.8	48.6	79.4	
Summe HxCDF	35.8	22.7	58.5	
Summe HpCDF	36.2	6.9	43.1	
Summe PCDD	509.7	180.1	689.9	
Summe PCDF	156.4	233.5	390.1	
Summe PCDD/PCDF	666.1	413.7	1080.0	
Summe 2378-Isomere	372.4	104.9	477.3	
TEQ (ITEF)	7.7	5.6	13.3	

Plabutsch

Meßstelle : Tunnelwarte
 Probenahme von: 24. Mai bis 27. Mai 1996

Labornummer: L 96 05 1227
 Probenahmevervolumen: 954.94 Nm³

	GF	PU	Gesamt	NWG
	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³
2378-Isomere				
2378-TCDD	n.n.	n.n.	n.n.	1.3
12378-PeCDD	n.n.	n.n.	n.n.	1.0
123478-HxCDD	4.4	n.n.	4.4	1.1
123678-HxCDD	10.2	3.8	14.0	1.3
123789-HxCDD	10.1	n.n.	10.1	1.2
1234678-HpCDD	93.2	9.4	102.6	1.7
OCDD	158.6	27.4	186.0	1.7
Summe TCDD	11.3	24.7	36.0	
Summe PeCDD	33.9	33.3	67.2	
Summe HxCDD	139.9	25.6	165.5	
Summe HpCDD	192.1	12.6	204.7	
2378-TCDF	8.2	11.7	19.9	0.9
12378-PeCDF	4.6	5.0	9.6	0.6
23478-PeCDF	8.2	7.3	15.5	0.6
123478-HxCDF	13.0	6.7	19.7	1.0
123678-HxCDF	9.1	3.6	12.7	0.9
234678-HxCDF	12.0	2.3	14.3	0.8
123789-HxCDF	n.n.	n.n.	n.n.	1.0
1234678-HpCDF	64.2	8.0	72.2	1.2
1234789-HpCDF	18.6	n.n.	18.6	1.2
OCDF	103.3	4.6	107.9	1.7
Summe TCDF	16.5	187.2	203.7	
Summe PeCDF	45.7	72.9	118.6	
Summe HxCDF	74.1	31.8	105.9	
Summe HpCDF	110.8	7.1	117.9	
Summe PCDD	535.8	123.6	659.4	
Summe PCDF	350.4	303.7	654.0	
Summe PCDD/PCDF	886.2	427.3	1313.4	
Summe 2378-Isomere	517.6	89.8	607.5	
TEQ (ITEF)	13.0	6.9	20.0	

Plabutsch

Meßstelle : Tunnel
 Probenahme von: 24. Mai bis 27. Mai 1996

Labornummer: L 96 05 1228
 Probenahmevervolumen: 707.11 Nm³

	GF	PU	Gesamt	NWG
	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³
2378-Isomere				
2378-TCDD	4.2	n.n.	4.2	1.3
12378-PeCDD	3.1	n.n.	3.1	1.0
123478-HxCDD	n.n.	n.n.	n.n.	1.5
123678-HxCDD	5.4	n.n.	5.4	1.7
123789-HxCDD	6.5	n.n.	6.5	1.1
1234678-HpCDD	64.5	30.4	94.9	2.3
OCDD	190.5	140.1	330.6	3.0
Summe TCDD	26.0	23.5	49.5	
Summe PeCDD	19.2	n.n.	19.2	
Summe HxCDD	83.2	16.1	99.3	
Summe HpCDD	128.7	64.5	193.2	
2378-TCDF	25.7	12.2	37.9	1.1
12378-PeCDF	11.3	4.0	15.3	1.4
23478-PeCDF	21.8	10.2	32.0	0.8
123478-HxCDF	10.6	5.5	16.1	1.1
123678-HxCDF	10.7	4.0	14.7	1.3
234678-HxCDF	12.6	3.1	15.7	1.0
123789-HxCDF	n.n.	n.n.	n.n.	1.0
1234678-HpCDF	33.1	13.9	47.0	1.4
1234789-HpCDF	6.2	n.n.	6.2	1.7
OCDF	39.9	15.8	55.7	2.1
Summe TCDF	314.5	186.4	500.9	
Summe PeCDF	183.3	70.7	254.0	
Summe HxCDF	78.9	28.0	106.9	
Summe HpCDF	49.2	19.5	68.7	
Summe PCDD	447.6	244.2	691.8	
Summe PCDF	665.8	320.5	986.2	
Summe PCDD/PCDF	1113.4	564.7	1678.0	
Summe 2378-Isomere	446.2	239.1	685.3	
TEQ (ITEF)	25.7	8.4	34.0	

Tauerntunnel

Meßstelle : Südportal
 Probenahme von: 29. September bis 02. Oktober 1997

Labornummer: L 97 10 3065
 Probenahmevervolumen: 730.70 Nm³

	GF	PU	Gesamt	NWG
	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³
2378-Isomere				
2378-TCDD	n.n.	n.n.	n.n.	1.3
12378-PeCDD	n.n.	n.n.	n.n.	1.1
123478-HxCDD	n.n.	n.n.	n.n.	2.0
123678-HxCDD	n.n.	n.n.	n.n.	1.9
123789-HxCDD	n.n.	n.n.	n.n.	1.7
1234678-HpCDD	16.4	5.5	21.9	2.0
OCDD	40.5	18.1	58.6	1.7
Summe TCDD	12.3	n.n.	12.3	
Summe PeCDD	n.n.	n.n.	n.n.	
Summe HxCDD	10.7	n.n.	10.7	
Summe HpCDD	31.2	8.8	40.0	
2378-TCDF	2.2	n.n.	2.2	1.0
12378-PeCDF	n.n.	n.n.	n.n.	0.9
23478-PeCDF	n.n.	n.n.	n.n.	0.7
123478-HxCDF	n.n.	n.n.	n.n.	1.3
123678-HxCDF	n.n.	n.n.	n.n.	1.0
234678-HxCDF	n.n.	n.n.	n.n.	1.0
123789-HxCDF	n.n.	n.n.	n.n.	1.2
1234678-HpCDF	6.6	n.n.	6.6	1.4
1234789-HpCDF	n.n.	n.n.	n.n.	1.3
OCDF	9.9	7.4	17.3	1.7
Summe TCDF	5.7	14.2	19.9	
Summe PeCDF	3.8	3.8	7.6	
Summe HxCDF	7.1	n.n.	7.1	
Summe HpCDF	7.9	3.8	11.7	
Summe PCDD	94.7	26.8	121.6	
Summe PCDF	34.5	29.3	63.6	
Summe PCDD/PCDF	129.2	56.1	185.2	
Summe 2378-Isomere	75.5	30.9	106.6	
TEQ (ITEF)	0.5	0.1	0.6	

Tauerntunnel

Meßstelle : Südportal
 Probenahme von: 02. Oktober bis 05. Oktober 1997

Labornummer: L 97 10 3066
 Probenahmevervolumen: 732.60 Nm³

	GF	PU	Gesamt	NWG
	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³
2378-Isomere				
2378-TCDD	6.3	n.n.	6.3	1.8
12378-PeCDD	n.n.	n.n.	n.n.	1.5
123478-HxCDD	n.n.	n.n.	n.n.	1.6
123678-HxCDD	n.n.	n.n.	n.n.	1.7
123789-HxCDD	n.n.	n.n.	n.n.	1.7
1234678-HpCDD	33.3	6.4	39.7	2.0
OCDD	77.9	15.7	93.6	2.2
Summe TCDD	6.0	7.4	13.4	
Summe PeCDD	n.n.	n.n.	n.n.	
Summe HxCDD	25.7	n.n.	25.7	
Summe HpCDD	51.6	10.1	61.7	
2378-TCDF	3.8	3.0	6.8	0.8
12378-PeCDF	2.5	1.9	4.4	0.9
23478-PeCDF	3.1	1.4	4.5	0.8
123478-HxCDF	n.n.	n.n.	n.n.	0.9
123678-HxCDF	2.2	n.n.	2.2	0.9
234678-HxCDF	3.3	n.n.	3.3	1.1
123789-HxCDF	n.n.	n.n.	n.n.	1.2
1234678-HpCDF	11.5	4.9	16.4	1.3
1234789-HpCDF	n.n.	n.n.	n.n.	1.8
OCDF	12.3	6.8	19.1	1.6
Summe TCDF	19.7	49.7	69.4	
Summe PeCDF	21.6	17.2	38.8	
Summe HxCDF	19.7	8.2	27.9	
Summe HpCDF	18.8	5.5	24.3	
Summe PCDD	161.2	33.2	194.4	
Summe PCDF	92.0	87.4	179.5	
Summe PCDD/PCDF	253.2	120.5	373.9	
Summe 2378-Isomere	156.2	40.1	196.3	
TEQ (ITEF)	9.4	1.2	10.7	

Tauerntunnel

Meßstelle : Tunnel
 Probenahme von: 29. September bis 02. Oktober 1997

Labornummer: L 97 10 3067
 Probenahmevervolumen: 421.70 Nm³

	GF	PU	Gesamt	NWG
	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³
2378-Isomere				
2378-TCDD	10.0	n.n.	10.0	2.6
12378-PeCDD	n.n.	n.n.	n.n.	2.4
123478-HxCDD	7.1	n.n.	7.1	3.8
123678-HxCDD	8.5	n.n.	8.5	3.3
123789-HxCDD	6.6	n.n.	6.6	2.7
1234678-HpCDD	78.5	41.7	120.2	4.3
OCDD	281.2	120.5	401.7	4.6
Summe TCDD	122.8	63.1	185.9	
Summe PeCDD	31.3	n.n.	31.3	
Summe HxCDD	74.5	39.8	114.3	
Summe HpCDD	161.7	67.8	229.5	
2378-TCDF	33.2	18.5	51.7	2.4
12378-PeCDF	20.9	10.4	31.3	2.7
23478-PeCDF	29.6	14.2	43.8	1.7
123478-HxCDF	17.1	12.3	29.4	2.7
123678-HxCDF	12.8	8.1	20.9	2.9
234678-HxCDF	14.9	7.1	22.0	2.4
123789-HxCDF	n.n.	n.n.	n.n.	2.4
1234678-HpCDF	41.7	28.0	69.7	2.9
1234789-HpCDF	6.6	4.7	11.3	2.5
OCDF	37.9	36.5	74.4	3.5
Summe TCDF	657.8	386.5	1044.3	
Summe PeCDF	340.1	154.6	494.7	
Summe HxCDF	126.6	71.6	198.2	
Summe HpCDF	66.9	36.0	102.9	
Summe PCDD	671.6	291.2	962.7	
Summe PCDF	1229.3	685.3	1914.5	
Summe PCDD/PCDF	1900.9	976.5	2877.2	
Summe 2378-Isomere	606.8	302.1	908.6	
TEQ (ITEF)	37.4	13.1	50.6	

Tauerntunnel

Meßstelle : Tunnel
 Probenahme von: 02. Oktober bis 05. Oktober 1997

Labornummer: L 97 10 3068
 Probenahmevervolumen: 443.51 Nm³

	GF	PU	Gesamt	NWG
	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³	fg/Nm ³
2378-Isomere				
2378-TCDD	n.n.	12.6	12.6	3.8
12378-PeCDD	13.5	n.n.	13.5	3.5
123478-HxCDD	n.n.	n.n.	n.n.	4.8
123678-HxCDD	14.4	n.n.	14.4	4.1
123789-HxCDD	n.n.	n.n.	n.n.	4.0
1234678-HpCDD	77.1	46.9	124.0	5.0
OCDD	207.2	146.3	353.5	4.9
Summe TCDD	104.6	51.4	156.0	
Summe PeCDD	18.5	12.2	30.7	
Summe HxCDD	71.2	37.0	108.2	
Summe HpCDD	122.7	77.1	199.8	
2378-TCDF	30.7	14.9	45.6	2.1
12378-PeCDF	17.1	10.4	27.5	2.8
23478-PeCDF	26.4	9.5	35.9	2.0
123478-HxCDF	19.4	8.6	28.0	3.1
123678-HxCDF	14.4	7.2	21.6	3.4
234678-HxCDF	19.6	9.7	29.3	2.7
123789-HxCDF	n.n.	n.n.	n.n.	2.8
1234678-HpCDF	53.2	33.4	86.6	3.7
1234789-HpCDF	5.4	n.n.	5.4	3.2
OCDF	37.9	24.4	62.3	3.8
Summe TCDF	734.1	384.7	1118.8	
Summe PeCDF	343.6	142.5	486.1	
Summe HxCDF	155.1	68.1	223.2	
Summe HpCDF	64.5	32.9	97.4	
Summe PCDD	524.2	324.0	848.2	
Summe PCDF	1335.3	652.5	1987.8	
Summe PCDD/PCDF	1859.5	976.5	2836.0	
Summe 2378-Isomere	536.4	323.8	860.2	
TEQ (ITEF)	32.3	22.9	55.1	