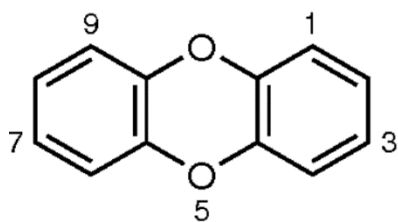


Nansenstrasse 5
CH-8050 Zürich
Tel +41 44 315 10 10
Fax +41 44 315 10 11
www.friedlipartner.ch
info@friedlipartner.ch

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Abfall und Rohstoffe

HERLEITUNG RISIKOBASIERTER VVEA-GRENZWERT C/D

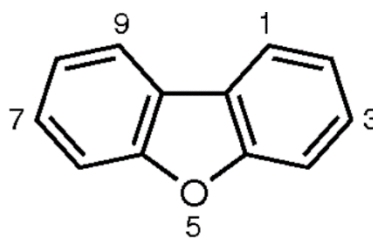
Polychlorierte Dibenzo[1,4]dioxine (PCDD) und Dibenzofurane (PCDF)



Dibenzo[1,4]dioxin

PCDD: mit 1-8

Chlor-Substituenten



Dibenzofurane

PCDF: mit 1-8

Chlor-Substituenten

RÖMPP online, v2.70.1, © 2020 Thieme Gruppe

Projektleitung und Sachbearbeitung: Dr. Bruno Schmid

Korreferat: Daniel Bürgi

Projekt-Nr.: 19.248.2

Disclaimer

Dieser Bericht wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Zürich, 10. November 2020

INHALT

1	EINLEITUNG	3
1.1	Ausgangslage	3
1.2	Ausgeführte Arbeiten	3
1.3	Verwendete Unterlagen	4
2	HERLEITUNGSGRUNDSÄTZE	5
3	EIGENSCHAFTEN VON PCDD/F	6
3.1	Physikalische und chemische Eigenschaften	6
3.2	Toxikologie	7
3.3	Tolerierbare Aufnahmemenge	7
4	K-WERT VON PCDD/F	8
4.1	Aktueller K-Wert	8
4.2	Neuer K-Wert	8
5	VVEA-GRENZWERTE FÜR PCDD/F	9
5.1	Grenzwert B	9
5.2	Grenzwert C und D	9

ANHANG

Anhang 1	Physikalische Eigenschaften WHO-PCDD/F
Anhang 2	Berechnungstabellen

VERTEILER

Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Abfall und Rohstoffe

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage

Sauer gewaschene Filteraschen aus Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA) dürfen auf Deponien oder Kompartimenten des Typs C oder D abgelagert werden, wenn der Gesamtgehalt an polychlorierten Dibenzo[1,4]dioxinen (PCDD) und Dibenzo-furanen (PCDF) nach Anhang 5 Ziffern 3.3 und 4.2 der *Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen* (Abfallverordnung, VVEA) **1 µg Toxizitätsäquivalente (TEQ) pro kg** nicht überschreitet. Die Berechnung der TEQ erfolgt aufgrund von *Toxizitätsäquivalenzfaktoren* (TEF) nach dem Stand der Technik¹.

VVEA-Grenzwert für Deponien C und D

Der obige Grenzwert war bei der Totalrevision der *Technischen Verordnung über Abfälle* von der EU übernommen worden (vergleiche Erläuterungen [1]). In der EU-Gesetzgebung ist aber kein entsprechender Grenzwert enthalten bzw. sollte er in einem Anhörungsentwurf vorgeschlagen worden sein, dann ist er nie in Kraft getreten. Der aktuelle Grenzwert der EU-Vorschrift für *Persistent Organic Pollutants* [2] für PCDD/F-haltige Abfälle liegt bei **15 µg pro kg**.

Die Abteilung Abfall und Rohstoffe des Bundesamtes für Umwelt BAFU hat die FRIEDLIPARTNER AG Anfang Oktober 2020 beauftragt, einen risikobasierten PCDD/F-Grenzwert für die Deponietypen C und D gemäss der BAFU-Vollzugshilfe "Herleitung von Konzentrationswerten und Feststoffgrenzwerten" [3] herzuleiten.

Auftrag

1.2 Ausgeführte Arbeiten

- Literaturrecherche zu Eigenschaften der PCDD/F und tolerierbaren Aufnahmemengen
- Besprechung der toxikologischen Basisdaten des aktuellen Konzentrationswerts von PCDD/F und der anzuwendenden TEF mit Dr. Rolf Kettler von der Sektion Altlasten des BAFU
- Berechnung PCDD/F-Konzentrationswert nach Anhang 1 der Altlasten-Verordnung
- Literaturrecherche zu Octan-1-ol/Wasser-Verteilungskoeffizienten (K_{ow}) und organischer Kohlenstoff/Wasser-Verteilungskoeffizienten (K_{oc}) von PCDD/F
- Berechnung PCDD/F-Grenzwert
- Verfassen Bericht

¹ Gemäss der Sektion Altlasten des BAFU sind bis auf weiteres die TEF 2005 der 17 WHO-PCDD/F zu verwenden

1.3 Verwendete Unterlagen

- [1] Erläuterungen zur Totalrevision der Technischen Verordnung über Abfälle vom 10.07.2014, Bundesamt für Umwelt BAFU
- [2] Commission Regulation (EU) No 1342/2014 of 17 December 2014, amending Regulation (EC) No. 850/2004 of the European Parliament and of the Council on persistent organic pollutants as regards Annexes IV and V (Text with EEA relevance)
- [3] Herleitung von Konzentrationswerten und Feststoff-Grenzwerten, Vollzugshilfe zur Altlasten-Verordnung und zur Technischen Verordnung über Abfälle, Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern 2013.
- [4] RÖMPP online, v2.70.1, © 2020 Thieme Gruppe
- [5] Wikipedia, besucht am 19. Oktober 2020
- [6] Expositionsbeurteilung und Beurteilung des Transfers von Dioxinen, dioxinähnlichen PCB und PCB, Literaturstudie, Herausgeber: deutsches Umweltbundesamt, September 2011
- [7] Dioxine und verwandte PCB: tolerierbare Aufnahmemenge aktualisiert, Nachricht der European Food Safety Authority vom 20. November 2018
- [8] United States Environmental Protection Agency, Regional Screening Levels (RSLs), Summary Table, XLS (TR=1E-06, THQ=1.0), May 2020
- [9] Risk Assessment Risk-Based Screening Table - Contact Us form - 1750144208, E-Mail vom 21. Oktober 2020 von Fred Dolislager, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge TN 37831, an Dr. Bruno Schmid von FRIEDLIPARTNER
- [10] Konzentrationswerte für Stoffe, die nicht in Anhang 1 oder 3 AltIV enthalten sind, Tabelle der Abteilung Boden und Biotechnologie des Bundesamtes für Umwelt BAFU, Stand: 19.11.2019

2 HERLEITUNGSGRUNDSÄTZE

Die Altlasten-Verordnung (AltIV) enthält in Anhang 1 *Konzentrationswerte* (in der vorliegenden Expertise als K-Werte bezeichnet) für die Beurteilung der Einwirkungen von belasteten Standorten auf die Gewässer.

Gemäss der BAFU-Vollzugshilfe [3] handelt es sich bei den K-Werten entweder um Grenzwerte für Trinkwasser oder um Werte, die anhand von humantoxikologischen Basisdaten in Verbindung mit dem Expositionsszenario in Tab. 1 der Vollzugshilfe hergeleitet worden sind bzw. werden.

Die VVEA-Grenzwerte ihrerseits basieren auf dem K-Wert des Schadstoffs und seiner Mobilität in der Abfall-Matrix. VVEA-Grenzwerte

3 EIGENSCHAFTEN VON PCDD/F

Das nachfolgende Kapitel ist eine Zusammenfassung des Eintrags "Dioxine" im RÖMPP-Lexikon [4].

3.1 Physikalische und chemische Eigenschaften

"Dioxine" ist die umgangssprachliche Bezeichnung für die Gruppe der polychlorierten Dibenzo[1,4]dioxine (PCDD), zu denen auch die chemisch und toxikologisch eng verwandten polychlorierten Dibenzofurane (PCDF) gerechnet werden (Strukturformeln siehe Titelblatt). Bezeichnung

Die Gruppe der PCDD umfasst 75, die der PCDF 135 denkbare Verbindungen bzw. Kongenere². Anzahl Kongenere

PCDD/F sind sowohl unter oxidativen als auch unter reduktiven Reaktionsbedingungen chemisch stabil. Reaktivität

Je höher der Chlorierungsgrad der PCDD/F, desto geringer ist ihre Wasserlöslichkeit. Vom 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo[1,4]dioxin (2,3,7,8-TCDD) beispielsweise lösen sich in einem Liter Wasser etwa 100 Nanogramm. Die Löslichkeit des Octachlor-Kongenens beträgt dagegen nur noch etwa 0.3 ng/L. Wasserlöslichkeit

Die experimentell ermittelten log K_{ow} (Octan-1-ol/Wasserverteilungs-Koeffizienten) der PCDD/F liegen gemäss einer Literaturstudie des deutschen Umweltbundesamts [6] zwischen 4.34 (3-Monochlordibenzofuran) und 8.75 (Octachlordibenzo[1,4]dioxin), d.h. die PCDD/F sind sehr *lipophil* (fettliebend). K_{ow}

Die aus den log K_{ow} -Werten berechneten log K_{oc} (organischer Kohlenstoff/Wasserverteilungskoeffizient) betragen 4.0 bis 8.8 L/kg (Mittelwerte von lower and upper limit aus [6]), d.h. die PCDD/F adsorbieren sehr stark an organischen Kohlenstoff und sind damit im Untergrund quasi immobil. K_{oc}

Die log K_{oc} der 17 WHO-PCDD/F (siehe Anhang 1) liegen zwischen 6.31 und 8.77 L/kg (siehe Seite 1 der Berechnungstabellen in Anhang 2). Das arithmetische Mittel der K_{oc} -Mittelwerte der 15 **relevanten** WHO-PCDD/F³ ist **62'087'139** (= log 7.79). K_{oc} WHO-PCDD/F

² Chemische Verbindungen, die die gleiche Grundstruktur aufweisen [5]. Kongenere sind nicht zwangsläufig Isomere, d.h. sie müssen nicht die gleiche Summenformel haben.

³ Alle PCDD/F mit einem WHO-Toxizitätsäquivalenzfaktor (TEF) über 0.01

3.2 Toxikologie

Die PCDD/F haben alle das gleiche toxikologische Profil, weisen aber erhebliche Unterschiede in der Wirkstärke auf. Die Verbindung mit der höchsten Toxizität ist das 2,3,7,8-TCDD (Seveso-Gift). Allgemein

Im Tierversuch ist 2,3,7,8-TCDD akut toxisch, carcinogen (Ratte, Maus, Hamster) und teratogen. Tierversuch

Für den Menschen ist 2,3,7,8-TCDD nicht mutagen. Das 2,3,7,8-TCDD scheint kein *Tumorinitiator*, sondern eher ein starker *Tumorpromotor* zu sein. Mensch

Die International Agency for Research on Cancer (IARC) hat 2,3,7,8-TCDD im Jahr 1997 als *Carcinogenic to humans* (Gruppe 1) eingestuft, d.h. in die gleiche Gruppe wie bspw. Benzol, Benzidin oder Vinylchlorid. Karzinogenität

3.3 Tolerierbare Aufnahmemenge

Die WHO hatte im Jahr 1998 eine *Tolerable Daily Intake* (TDI) von **1 bis 4 Pico-gramm** TEQ pro **kg** Körpergewicht und **Tag** abgeleitet (1 Picogramm = 10^{-12} Gramm). Die TDI gibt gemäss RÖMPP-Lexikon [4] die Menge eines Stoffes an, die ein Mensch täglich ein Leben lang ohne erkennbares Gesundheitsrisiko aufnehmen kann. TDI WHO 1998

Der ehemalige Wissenschaftliche Lebensmittelausschuss der europäischen Kommission hatte 2001 für Dioxine und dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (PCB) eine *Tolerable Weekly Intake* (TWI) von **14 pg WHO-TEQ** pro **kg** Körpergewicht und **Woche** festgelegt [7]. TWI 2001

Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) senkte den TWI-Wert im November 2018 um einen Faktor 7 auf noch **2 pg WHO-TEQ** pro **kg** Körpergewicht und **Woche** [7]. TWI EFSA 2018

Die US-amerikanischen Umweltbehörde (United States Environmental Protection Agency, US EPA) listet in der Tabelle der Regional Screening Levels (RSLs) vom Mai 2020 [8] für 2,3,7,8-TCDD folgende Werte auf: SF₀ und RfD₀ Mai 2020

- Reference Dose oral (RfD₀): 7.0×10^{-10} mg/kg x **Tag**
- Slope Factor Oral (SF₀): 1.3×10^5 (mg/kg x **Tag**)⁻¹

Die RfD₀ ist die tolerierbare **tägliche** orale Aufnahmemenge von 2,3,7,8-TCDD für die nicht-carcinogene Toxizität. Der SF₀ gibt die Menge an, bei der das **zusätzliche** Krebsrisiko über die ganze Lebenszeit nicht grösser ist als 1:1'000'000 (ein zusätzlicher Krebsfall pro eine Million Menschen). Herleitungsgrundlagen

Die US EPA hat auf Nachfrage bestätigt [9], dass die Toxizitätswerte für 2,3,7,8-TCDD in der RSLs-Tabelle vom November 2020 gleich bleiben werden. SF₀ und RfD₀ Nov 2020

4 K-WERT VON PCDD/F

4.1 Aktueller K-Wert

Anhang 1 der Altlasten-Verordnung (AltIV) enthält keinen K-Wert für PCDD/F. In den Kantonen Wallis, Thurgau und Basel-Landschaft wurde jedoch zwischen Mai 2011 und Dezember 2017 ein **K-Wert** von **0.07 ng/L** hergeleitet und nach Anhang 1 Absatz 1 AltIV mit Zustimmung des BAFU festgelegt [10]. Hergeleiteter K-Wert

Gemäss der Sektion Altlasten des BAFU basiert dieser K-Wert auf der **TWI** von **14 pg WHO-TEQ pro kg** Körpergewicht und **Woche** (vergleiche zweiten Abschnitt in Kapitel 3.3), d.h. nicht auf der RfD₀ oder dem SF₀ der US EPA. Berechnungsbasis

Der über den SF₀ mit Gleichung 2 der BAFU-Vollzugshilfe [3] hergeleitete K-Wert beträgt 0.0027 ng/L und liegt damit um rund einen Faktor 25 unter dem in den oben erwähnten Kantonen angewendeten Wert. Die Sektion Altlasten des BAFU hatte 2017 entschieden, den **TWI** von 14 pg WHO-TEQ pro kg und Woche als Basis für den K-Wert zu verwenden, da sie den SF₀ der US EPA als zu streng beurteilte. Alternativer K-Wert

4.2 Neuer K-Wert

Da die **TWI** von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) im November 2018 auf **2 pg WHO-TEQ pro kg** Körpergewicht und **Woche** gesenkt wurde (vergleiche dritten Abschnitt in Kapitel 3.3), wird der K-Wert für PCDD/F nachfolgend gemäss Gleichung 1 der BAFU-Vollzugshilfe [3] neu berechnet: Berechnung

$$\text{K-Wert (mg/L)} = \text{TDI} \times 70 / 2$$

- TWI: 2 pg WHO-TEQ/kg x Woche = 2×10^{-9} mg WHO-TEQ/kg x Woche
- TDI (Tolerable Daily Intake): TWI/7

Damit resultiert für die polychlorierten Dibenzo[1,4]dioxine (PCDD) und Dibenzo-furane (PCDF) ein **K-Wert** von 10×10^{-9} mg/L = 10 pg/L = **0.01 ng/L** (siehe auch Seite 2 der Berechnungstabellen in Anhang 2). Ergebnis

5 VVEA-GRENZWERTE FÜR PCDD/F

5.1 Grenzwert B

Gemäss Kapitel 3.2.5 der BAFU-Vollzugshilfe [3] muss als erstes der Grenzwert B berechnet werden. Dafür wird folgende Gleichung verwendet:

$$\text{Grenzwert B (mg/kg)} = \text{K-Wert} \times (\text{K}_{\text{oc}} \times f_{\text{oc}} + \text{W/F} \times 1/\rho_w)$$

- K-Wert: 0.01 ng/L = **10 x 10⁻⁹ mg/L** (vergleiche Kapitel 4.2)
- K_{oc} : 10^{7.79} L/kg (arithmetisches Mittel der 15 relevanten WHO-PCDD/F, vergleiche Kapitel 3.1)
- f_{oc} (Anteil organischer Kohlenstoff in der Abfall-Matrix): 0.01 [3]
- W/F (Wasser/Feststoff-Verhältnis für schwerlösliche Verbindungen): 3 [3]
- ρ_w (Dichte des Porenwassers): 1 kg/L

Damit resultiert für die polychlorierten Dibenzo[1,4]dioxine (PCDD) und Dibenzo-furane (PCDF) ein Grenzwert B von 6.2×10^{-3} mg pro kg Trockensubstanz (TS), gerundet **5 µg/kg TS** (siehe Seite 2 der Berechnungstabellen in Anhang 2). Die Berechnung der Toxizitätsäquivalente (TEQ) erfolgt wie beim bestehenden Grenzwert C aufgrund von *Toxizitätsäquivalenzfaktoren* (TEF) nach dem Stand der Technik (vergleiche Kapitel 1.1).

5.2 Grenzwert C und D

Gemäss Systematik der VVEA entsprechen die Grenzwerte B bei den organischen Schadstoffen den Grenzwerten C und D.

Der **Grenzwert C** und **D** für den Gesamtgehalt an polychlorierten Dibenzo[1,4]-dioxinen (PCDD) und Dibenzofuranen (PCDF) beträgt somit **5 µg/kg TS**.

Geltungsbereich

Alle Arbeiten der FRIEDLIPARTNER AG wurden unter Einhaltung der Sorgfaltpflicht ausgeführt. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen im vorliegenden Bericht beruhen auf dem derzeitigen Kenntnisstand. Die FRIEDLIPARTNER AG übernimmt keine Haftung für die Folgen aus unbekannten oder verschwiegenen Tatsachen. Die Ergebnisse gelten nur für das untersuchte Objekt und können nicht unüberprüft auf andere Objekte oder andere Verhältnisse übertragen werden.

Der vorliegende Bericht ist für den Auftraggeber und zu dessen ausschliesslicher Nutzung bestimmt. Er ist vertraulich und darf ohne Zustimmung des Auftraggebers weder kopiert noch an Dritte weitergegeben werden. Eine allfällige Haftung gegenüber Dritten, welche sich auf den vorliegenden Bericht berufen, wird ausdrücklich abgelehnt.

Zürich, 10. November 2020



Bruno Schmid
Dipl. Chemiker ETH, Dr. sc. nat.

Senior Experte Altlasten/Entsorgung



Daniel Bürgi
Dipl. Natw. ETH / NDS BWI ETH

Geschäftsleiter

P:\2019\19.248 Bern BAFU Behördenberatung\12 Berichte FPI\Herleitung VVEA-Grenzwerte PCDD\19.248 Text 2020-11-10.docx

ANHANG

Anhang 1	Physikalische Eigenschaften WHO-PCDD/F
Anhang 2	Berechnungstabellen

ANHANG 1

Physikalische Eigenschaften WHO-PCDD/F

Tabelle A9: Zusammenfassende Darstellung wichtiger Eigenschaften der WHO-PCDD/F.

	WHO-TEF 2005	Summenformel	CAS-Nr.	Molekulargewicht [g/mol] ^{c, d}	Schmelzpunkt ^{c, d}	Wasserlöslichkeit [-logS, mol/L] ^a	Log K _{OW} ^a	Log K _{OC} ^f	Log K _{OA} ^b	Dampfdruck [-logP, Pa] ^a	Henry-Konstante [kPa*m ³ /mol] ^a
2,3,7,8-Tetra-CDD	1	C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O ₂	1746-01-6	322	305-306	7,47	6,96	6,08-7,11	9,894	4,24	2,79
1,2,3,7,8-Penta-CDD	1	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O ₂	40321-76-4	356,4	240-241	8,11	7,5	6,62-7,69	10,51	4,92	2,83
1,2,3,4,7,8-Hexa-CDD	0,1	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O ₂	39227-28-6	390	273	8,59	7,94	7,05-8,17	11,07	5,41	2,84
1,2,3,6,7,8-Hexa-CDD	0,1	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O ₂	57653-85-7	390,9	285-286	8,65	7,98	7,09-8,21	11,126	5,48	2,84
1,2,3,7,8,9-Hexa-CDD	0,1	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O ₂	19408-74-3	390,9	243-244	no data	no data	no data	11,036	no data	no data
1,2,3,4,6,7,8-Hepta-CDD	0,01	C ₁₂ HCl ₇ O ₂	35822-46-9	425,3	265	9,17	8,4	7,51-8,66	11,51	6,23	3,08
1,2,3,4,6,7,8,9-Octa-CDD	0,0003	C ₁₂ Cl ₈ O ₂	3268-87-9	459,8	330-332	9,6	8,75	7,85-9,04	no data	6,87	3,29
2,3,7,8-Tetra-CDF	0,1	C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O	51207-31-9	305,96	219-221	6,87	6,46	5,58-6,57	9,44	3,34	2,57
1,2,3,7,8-Penta-CDF	0,03	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O	57117-41-6	340,42	225-227	7,5	6,99	6,11-7,14	no data	4,21	2,72
2,3,4,7,8-Penta-CDF	0,3	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O	57117-31-4	340,42	196-196,5	7,68	7,11	6,23-7,27	10,09 ^e	4,26	2,59
1,2,3,4,7,8-Hexa-CDF	0,1	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	70648-26-9	374,87	225,5-226,5	8,15	7,53	6,64-7,72	10,64 ^e	4,86	2,72
1,2,3,6,7,8-Hexa-CDF	0,1	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	57117-44-9	374,87	232-234	8,22	7,57	6,68-7,77	10,68 ^e	4,92	2,72
1,2,3,7,8,9-Hexa-CDF	0,1	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	72918-21-9	374,87	no data	8,64	7,76	6,87-7,97	no data	5,65	3,02
2,3,4,6,7,8-Hexa-CDF	0,1	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	60851-34-5	374,87	239-240	8,38	7,65	6,76-7,85	no data	5,12	2,75
1,2,3,4,6,7,8-Hepta-CDF	0,01	C ₁₂ HCl ₇ O	67562-39-4	409,31	236-237	8,76	8,01	7,12-8,24	no data	5,6	2,85
1,2,3,4,7,8,9-Hepta-CDF	0,01	C ₁₂ HCl ₇ O	55673-89-7	409,31	212-223	9,2	8,23	7,34-8,48	no data	6,18	3
1,2,3,4,6,7,8,9-Octa-CDF	0,0003	C ₁₂ Cl ₈ O	39001-02-0	443,76	259	9,64	8,6	7,7-8,88	no data	6,74	3,11

^a Govers und Krop (1998)

^b wenn nicht anders angegeben: Chen et al. (2002)

^c Toxicological profile for chlorodibenzofurans (HHS 1994)

^d Toxicological profile for chlorinated dibenzo-p-dioxines (HHS 1998)

^e Kaupp und McLachlan (1999)

^f berechnet nach Seth et al. (1999)

ANHANG 2

Berechnungstabellen

Koc und TEF der WHO-PCDD/F

Kongener	log Koc	Koc	log Koc	Koc	Koc	log Koc	TEF WHO 2005
	lower limit	lower limit	upper limit	upper limit	Mittelwert lower/upper	Mittelwert lower/upper	
1 2,3,7,8-Tetra-CDD	6.08	1'202'264	7.11	12'882'496	7'042'380	6.85	1
2 1,2,3,7,8-Penta-CDD	6.62	4'168'694	7.69	48'977'882	26'573'288	7.42	1
3 1,2,3,4,7,8-Hexa-CDD	7.05	11'220'185	8.17	147'910'839	79'565'512	7.90	0.1
4 1,2,3,6,7,8-Hexa-CDD	7.09	12'302'688	8.21	162'181'010	87'241'849	7.94	0.1
5 1,2,3,7,8,9-Hexa-CDD							0.1
6 1,2,3,4,6,7,8-Hepta-CDD	7.51	32'359'366	8.66	457'088'190	244'723'778	8.39	0.01
7 1,2,3,4,6,7,8,9-Octa-CDD	7.85	70'794'578	9.04	1'096'478'196	583'636'387	8.77	0.0003
8 2,3,7,8-Tetra-CDF	5.58	380'189	6.57	3'715'352	2'047'771	6.31	0.1
9 1,2,3,7,8-Penta-CDF	6.11	1'288'250	7.14	13'803'843	7'546'046	6.88	0.03
10 2,3,4,7,8-Penta-CDF	6.23	1'698'244	7.27	18'620'871	10'159'558	7.01	0.3
11 1,2,3,4,7,8-Hexa-CDF	6.64	4'365'158	7.72	52'480'746	28'422'952	7.45	0.1
12 1,2,3,6,7,8-Hexa-CDF	6.68	4'786'301	7.77	58'884'366	31'835'333	7.50	0.1
13 1,2,3,7,8,9-Hexa-CDF	6.87	7'413'102	7.97	93'325'430	50'369'266	7.70	0.1
14 2,3,4,6,7,8-Hexa-CDF	6.76	5'754'399	7.85	70'794'578	38'274'489	7.58	0.1
15 1,2,3,4,6,7,8-Hepta-CDF	7.12	13'182'567	8.24	173'780'083	93'481'325	7.97	0.01
16 1,2,3,4,7,8,9-Hepta-CDF	7.34	21'877'616	8.48	301'995'172	161'936'394	8.21	0.01
17 1,2,3,4,6,7,8,9-Octa-CDF	7.70	50'118'723	8.88	758'577'575	404'348'149	8.61	0.0003
Arithmetisches Mittel (ohne 7 und 17)					62'087'139	7.79	

Berechnungen					
K-Wert = TDI x Körpergewicht / Trinkwasser-Konsum:				1.0E-08	mg/L
TDI	2.0E-09	mg/kg x w			
TDI	2.9E-10	mg/kg x d			
Körpergewicht	70	kg			
Trinkwasser-Konsum	2	L/d			
Grenzwert B = K-Wert x (Koc x 0.01 + W/F x 1/ ρ_w):				6.2E-03	mg/kg
K-Wert	1.0E-08	mg/L			
Koc	62'087'139	L/kg			
foc	0.01	[-]			
W/F	3	[-]			
ρ_w	1.0	kg/L			