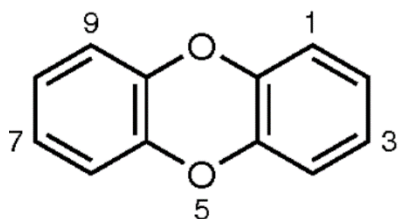


Nansenstrasse 5
CH-8050 Zürich
Tel +41 44 315 10 10
Fax +41 44 315 10 11
www.friedlipartner.ch
info@friedlipartner.ch

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

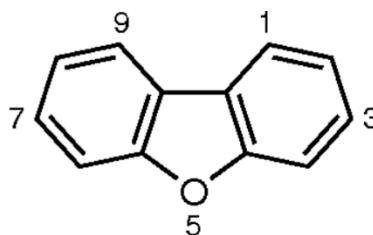
AKTUALISIERUNG HERLEITUNG FESTSTOFF-GRENZWERT GEMÄSS BAFU-VOLLZUGSHILFE FÜR PCDD/F IN VERBRENNUNGSRÜCKSTÄNDEN



Dibenzo[1,4]dioxin

PCDD: mit 1-8

Chlor-Substituenten



Dibenzofurane

PCDF: mit 1-8

Chlor-Substituenten

Bildquelle: RÖMPP online, 4.10.1 | © 2025 Thieme Gruppe

INHALT

1	EINLEITUNG	3
1.1	Ausgangslage	3
1.2	Ausgeführte Arbeiten	3
1.3	Verwendete Unterlagen	3
2	HERLEITUNGSGRUNDSÄTZE	5
3	EIGENSCHAFTEN VON PCDD/F	6
3.1	Physikalische und chemische Eigenschaften	6
3.2	Toxikologie	6
3.3	Tolerierbare Aufnahmemenge	8
4	BERECHNUNGEN	9
4.1	Kongenerenverteilung in Filteraschen	9
4.2	K _{OC}	11
4.3	Konzentrationswert nach Anhang 1 AltIV	11
4.4	Herleitung Grenzwert	12

ANHANG

Anhang 1	Analysenberichte Kebag-Proben
Anhang 2	Berechnungstabellen

IMPRESSUM

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Abfall und Rohstoffe, CH-3003 Bern
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Auftragnehmer: FRIEDLIPARTNER AG, Zürich

Autor: Dr. Bruno Schmid (mit Unterstützung von Dr. Martin Hoffmann und Leonard Zourek)

Begleitung BAFU: Rolf Kettler, André Laube

Hinweis: Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage

Der Grenzwert für polychlorierte Dibenzo[1,4]dioxine (PCDD) und polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) in Rückständen aus der thermischen Behandlung von Abfällen beträgt nach Anhang 5 Ziffern 3.3 und 4.2 der *Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen* (Abfallverordnung, VVEA) **1 µg Toxizitätsequivalente (TEQ)** pro **kg**. Die Berechnung der TEQ erfolgt auf der Basis von *Toxizitätsäquivalenzfaktoren* (TEF) nach dem Stand der Technik¹.

VVEA-Grenzwerte für Deponien C und D

Nach Art. 52b VVEA gilt für die PCDD/F bis zum 31. Dezember 2026 ein Grenzwert von **3 µg TEQ/kg**.

Übergangsbestimmung

Die FRIEDLIPARTNER AG hatte im Herbst 2020 im Auftrag der Abteilung Abfall und Rohstoffe des Bundesamtes für Umwelt BAFU einen risikobasierten Grenzwert für PCDD/F in sauer gewaschenen Filteraschen von Kehrrichtverbrennungsanlagen (KVA) hergeleitet [1].

Früherer Bericht

Im Februar 2025 beauftragte die Abteilung Abfall und Rohstoffe des BAFU FRIEDLIPARTNER mit der Aktualisierung der Herleitung des Grenzwerts für PCDD/F in Verbrennungsrückständen auf der Basis der 2022 von der WHO neu festgelegten TEF [2], experimenteller organischer Kohlenstoff/Wasser-Verteilungskoeffizienten (K_{OC}) anstelle von Literaturwerten [1] und der Kongeneren-Verteilung in Filteraschen aus KVA.

Auftrag

1.2 Ausgeführte Arbeiten

- Literaturrecherche zu tolerierbaren Aufnahmemengen für PCDD/F
- Überprüfung Konzentrationswert für PCDD/F nach Anhang 1 der Altlasten-Verordnung (AltV)
- Berechnung organische Kohlenstoff/Wasser-Verteilungskoeffizienten (K_{OC}) der PCDD/F
- Berechnung Grenzwert
- Verfassen Bericht

1.3 Verwendete Unterlagen

- [1] Herleitung risikobasierter VVEA-Grenzwert C/D. Polychlorierte Dibenzo[1,4]dioxine (PCDD) und Dibenzofurane (PCDF). Bericht FRIEDLIPARTNER AG vom 10. November 2020

¹ Der aktuelle Grenzwert basiert auf den 2005 von der WHO festgelegten TEF

- [2] The 2022 world health organization reevaluation of human and mammalian toxic equivalency factors for polychlorinated dioxins, dibenzofurans and biphenyls. Regulatory Toxicology and Pharmacology, Volume 146, January 2024, 105525
- [3] Herleitung von Konzentrationswerten und Feststoff-Grenzwerten. Vollzugshilfe zur Altlasten-Verordnung und zur Technischen Verordnung über Abfälle. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 2013
- [4] RÖMPP online, 4.10.1, © 2025 Thieme Gruppe
- [5] Kongenere.de.wikipedia.org, besucht am 18. März 2025
- [6] Expositionsbeurteilung und Beurteilung des Transfers von Dioxinen, dioxinähnlichen PCB und PCB. Literaturstudie. Herausgeber: deutsches Umweltbundesamt, September 2011
- [7] Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food. EFSA Journal. Amended: 18 February 2019
- [8] Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain. 5th Working Group Meeting on Dioxins Update. Minutes Agreed on 25 November 2024
- [9] Regional Screening Levels (RSLs) – Generic Tables: Summary Table (TR=1E-06, THQ=1.0). United States Environmental Protection Agency EPA, November 2024
- [10] AW: Revision VVEA - Abschätzung der Gefährdung von Deponiesickerwasser durch PCDD/F. E-Mail vom 15.02.2021 von Dr. Stefan Schlumberger (Kebag AG, Zuchwil) an Dr. Bruno Schmid (FRIEDLIPARTNER AG)
- [11] Rückgewinnung von Metallen aus den Filteraschen von Kehrrichtverbrennungsanlagen. Ein Modul der Vollzugshilfe zur Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA), Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 2020
- [12] Studie zur Verteilung der Dioxin- und Furan-Kongenere in KVA-Filteraschen in der Schweiz. Mirjam Wolfers, Fachstelle Sekundärrohstoffe, Universität Bern, 2021
- [13] 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: 02.09.2024

2 HERLEITUNGSGRUNDSÄTZE

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

Gemäss der BAFU-Vollzugshilfe «Herleitung von Konzentrationswerten und Feststoff-Grenzwerten» [3] handelt es sich bei den K-Werten entweder um schweizerische Grenzwerte für Trinkwasser oder um Werte, die anhand von humantoxikologischen Basisdaten in Verbindung mit dem Expositionsszenario in Tabelle 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 Chemie [4].

3.1 Physikalische und chemische Eigenschaften

"Dioxine" ist die umgangssprachliche Bezeichnung für die Gruppe der polychlorierten Dibenzo[1,4]dioxine (PCDD). Diese Bezeichnung schliesst i.d.R. die chemisch und toxikologisch eng verwandten polychlorierten Dibenzofurane (PCDF) mit ein (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 (TCDD) beispielsweise lösen sich in einem Liter Wasser etwa 100 Nanogramm. Die Löslichkeit des Octachlor-Kongeners 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) und damit hydrophob. K_{ow}

Die aus den obigen log K_{ow}-Werten berechneten log K_{oc} (organischer Kohlenstoff/Wasser-Verteilungskoeffizient) 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}

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-Tetrachlordibenzo[1,4]dioxin (TCDD). Allgemein

Im Tierversuch ist TCDD akut toxisch, carcinogen (Ratte, Maus, Hamster) und teratogen. Tierversuch

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

Für den Menschen ist TCDD nicht mutagen. Es scheint kein *Tumorinitiator*, sondern Mensch eher ein starker *Tumorpromotor* zu sein.

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

Im Vergleich zu TCDD nimmt die Toxizität der übrigen PCDD/F mit steigender oder TEF fallender Anzahl Chlor-Atome ab. Für die toxikologisch relevanten PCDD/F (17 Kongenere) waren deshalb sogenannte *Toxizitätsequivalenzfaktoren* (TEF) eingeführt worden, welche die Stärke der toxischen Wirkung relativ zu TCDD angeben.

In Tabelle 1 werden die 2022 [2] von der WHO festgelegten TEF mit denjenigen von 2005 verglichen. 2022 TEF vs 2005 TEF

Tabelle 1: Toxizitätsequivalenzfaktoren (TEF) der toxikologisch relevanten PCDD/F

Kongener	2005 WHO-TEF	2022 WHO-TEF	Veränderung
TCDD	1	1	keine
1,2,3,7,8-Penta-CDD	1	0.4	Faktor 2.5 tiefer
1,2,3,4,7,8-Hexa-CDD	0.1	0.09	10 % tiefer
1,2,3,6,7,8-Hexa-CDD	0.1	0.07	30 % tiefer
1,2,3,7,8,9-Hexa-CDD	0.1	0.05	Faktor 2 tiefer
1,2,3,4,6,7,8-Hepta-CDD	0.01	0.05	Faktor 5 höher
1,2,3,4,6,7,8,9-Octa-CDD	0.0003	0.001	Faktor 3.3 höher
2,3,7,8-Tetra-CDF	0.1	0.07	30 % tiefer
1,2,3,7,8-Penta-CDF	0.03	0.01	Faktor 3 tiefer
2,3,4,7,8-Penta-CDF	0.3	0.1	Faktor 3 tiefer
1,2,3,4,7,8-Hexa-CDF	0.1	0.3	Faktor 3 höher
1,2,3,6,7,8-Hexa-CDF	0.1	0.09	10 % tiefer
1,2,3,7,8,9-Hexa-CDF	0.1	0.2	Faktor 2 höher
2,3,4,6,7,8-Hexa-CDF	0.1	0.1	keine
1,2,3,4,6,7,8-Hepta-CDF	0.01	0.02	Faktor 2 höher
1,2,3,4,7,8,9-Hepta-CDF	0.01	0.1	Faktor 10 höher
1,2,3,4,6,7,8,9-Octa-CDF	0.0003	0.002	Faktor 6.7 höher

TEF: Toxizitätsequivalenzfaktor

Die Tabelle zeigt, dass die Kongenere 1,2,3,4,6,7,8-Hepta-CDD, 1,2,3,4,7,8,9-Hepta-CDF und 1,2,3,4,6,7,8,9-Octa-CDF (grau schattiert) von der WHO 2022 deutlich toxischer eingestuft wurden als 2005.

3.3 Tolerierbare Aufnahmemenge

Die von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) festgelegte **Tolerable Weekly Intake** (TWI, tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge) für PCDD/F und dioxin-ähnliche polychlorierte Biphenyle (dl-PCB) beträgt aktuell 2 pg 2005 WHO-TEQ pro kg Körpergewicht und **Woche** [7]. TWI EFSA

Das Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) bzw. eine Untergruppe davon arbeitet an einer Neuevaluation [8] des TWI aufgrund der 2022 von der WHO festgelegten TEF. Die Ergebnisse sind noch nicht publiziert. Ob die EFSA den TWI ändern wird, ist ungewiss.

Die amerikanische Umweltbehörde (United States Environmental Protection Agency, US EPA) listet in der Tabelle der Regional Screening Levels (RSLs) vom November 2024 [9] für TCDD folgende Werte auf: SF_o und RfD_o EPA

- Reference Dose oral (RfD_o): $7.0 \times 10^{-10} \text{ mg}/(\text{kg} \times \text{Tag})$
- Slope Factor Oral (SF_o): $1.3 \times 10^5 \text{ (mg}/(\text{kg} \times \text{Tag}))^{-1}$

Die RfD_o ist die Menge eines Schadstoffs, die ein Mensch ein Leben lang täglich oral aufnehmen kann, ohne dass er dadurch nachteilige Wirkungen auf seine Gesundheit zu erwarten hat [3]. Je kleiner der RfD_o-Wert einer Verbindung, desto toxischer ist sie. Definitionen

Die mittlere tägliche Dosis eines Schadstoffs multipliziert mit dem SF_o-Wert entspricht einem zusätzliche Krebsrisiko über die ganze Lebenszeit von 1:1'000'000 (ein zusätzlicher Krebsfall pro eine Million Menschen). Je grösser der SF_o-Wert, desto grösser ist das Risiko bei der gleichen Schadstoffmenge.

4 BERECHNUNGEN

4.1 Kongenerenverteilung in Filteraschen

Die Kebab AG (Zuchwil, heute kenova ag) hatte 2020 in sechs Filterasche-Proben ihrer KVA die PCDD/F-Gehalte (siehe Analysenberichte in Anhang 1.1) und nach der sauren Wäsche (= Extraktion mit verdünnter Salzsäure = FLUWA-Verfahren [11]) in den Extrakten die PCDD/F-Konzentrationen untersuchen lassen (siehe Analysenberichte in Anhang 1.2). Letztere hatten in allen sechs Proben unter den jeweiligen Bestimmungsgrenzen (BG) der Analysenmethode gelegen.

Die durchschnittlichen prozentualen Anteile der 17 toxikologisch relevanten Kongenere (vergleiche Tabelle 1) an der Summe der PCDD/F sind aus Abbildung 1 ersichtlich (siehe auch Seite 1 der Berechnungstabelle in Anhang 2).

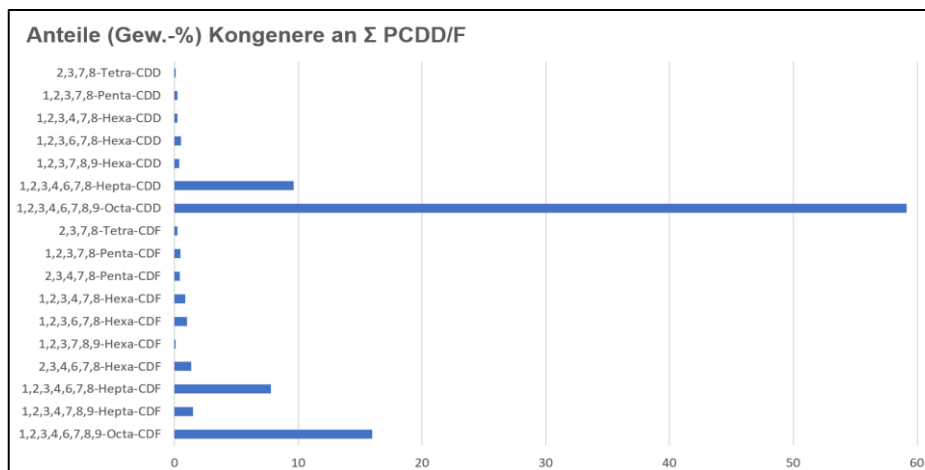


Abb. 1: Massenanteile der Kongenere mit TEF an der Summe PCDD/F

Abbildung 1 zeigt, dass die beiden perchlorierten Verbindungen in den Kebab-Proben zusammen fast 75 % der Masse des PCDD/F-Gesamtgehalts ausmachen. Messungen [12] des *Verbands der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen* (VBSA) von Filterasche-Proben aus mehreren KVA der Schweiz wiesen eine vergleichbare Kongeneren-Verteilung auf.

Die durchschnittlichen prozentualen Anteile an der Summe der Toxizitätsequivalente (TEQ) sind aus Abbildung 2 (siehe auch Seite 2 der Berechnungstabelle in Anhang 2) ersichtlich.

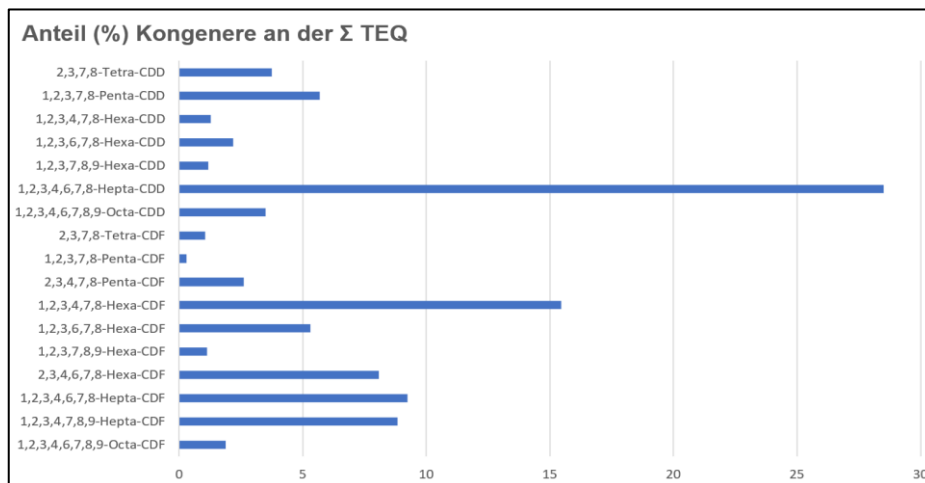


Abb. 2: Prozentuale Anteile der Kongenere mit TEF an der Summe TEQ

Abbildung 2 zeigt, dass das Hepta-CDD allein für mehr als 25 % der TEQ verantwortlich ist.

In Tabelle 2 werden die auf der Basis der 2022 WHO-TEF [2] berechneten Toxizitätsequivalente (TEQ, siehe Seite 2 von Anhang 2) der Kebag-Proben mit den 2005 WHO-TEQ-Werten verglichen (siehe Analysenberichte in Anhang 1.1).

Tabelle 2: PCDD/F-Gesamtgehalte Kebag-Proben (in µg TEQ/kg)

Probe	mit 2005 WHO-TEF	mit 2022 WHO-TEF
36308	0.52	0.59
36309	1.2	2.0
36310	1.1	1.6
1585	0.46	0.52
1586	0.87	1.4
1587	0.81	1.1
Arithmetischer Mittelwert	0.82	1.22
Median	0.84	1.27

TEQ: Toxizitätsequivalente; TEF: Toxizitätsequivalenzfaktor

Die Tabelle zeigt, dass die Werte mit den 2022 WHO-TEF im Durchschnitt um rund 50 % höher ausfallen als diejenigen mit 2005 WHO-TEF.

Die saure Wäsche führt zu einem Masseverlust der Filteraschen von 20 bis 50 Gew. % [11], d.h. die PCDD/F-Gehalte der auf den Deponien abzulagernden behandelten Filteraschen werden um einen Faktor 1.25 bis 2 höher sein als die Gehalte der unbehandelten Filteraschen.

Die Kebag-Proben (vergleiche Tabelle 2) hatten somit nach der Behandlung PCDD/F-Gehalte von 0.65 bis 4 µg 2022 WHO-TEQ/kg aufgewiesen (= 0.52 x 1.25 bis 2.0 x 2).

4.2 K_{OC}

Mit den über die sechs (unbehandelten) Kebag-Proben gemittelten Gehalten an PCDD/F und organischem Kohlenstoff (siehe Seite 1 in Anhang 2) haben wir mit Gleichung (1) die K_{OC} der einzelnen Kongenere berechnet. Für die PCDD/F-Konzentrationen in den Salzsäure-Extrakten nehmen wir an, dass sie den Bestimmungsgrenzen (BG) entsprechen. Wir sind dabei davon ausgegangen, dass sich das Verteilungsgleichgewicht zwischen der Fest- und der wässrigen Phase (Salzsäure-Extrakte) nach der Wäsche der Filterasche-Proben eingestellt hatte. Annahme

Idealerweise hätte man für die Berechnungen die PCDD/F-Gehalte der behandelten Kebag-Proben verwendet. Die behandelten Proben waren damals aber nicht analysiert worden. Aufgrund des Masseverlusts durch die saure Wäsche wären die PCDD/F-Gehalte der behandelten Kebag-Proben um einen Faktor 1.25 bis 2 höher gewesen als in den unbehandelten Filterasche-Proben (vergleiche Kapitel 4.1). Der Anteil des organischen Kohlenstoffs (f_{OC}) wäre ebenfalls um die gleichen Faktoren höher gewesen. Da sich diese Faktoren in Gleichung (1) aufheben, können für die Berechnung der K_{OC} die PCDD/F-Gehalte der unbehandelten Kebag-Proben verwendet werden.

$$K_{OC} \text{ (L/kg)} = C_t \times C_w^{-1} \times f_{OC}^{-1} \quad (1)$$

- C_t (über die 6 Filterasche-Proben gemittelter Kongener-Gehalt, ng/kg)
- C_w (über die 6 Salzsäure-Extrakte gemittelte Kongener-Konzentration, ng/L)
- f_{OC} (über die 6 Filterasche-Proben gemittelter Anteil org. Kohlenstoff): 0.0058 [10]

Die so berechneten log K_{OC} der 17 PCDD/F liegen zwischen 6.6 L/kg (TCDD) und 8.6 L/kg (OCDD) (siehe Seite 1 in Anhang 2). Ergebnisse

4.3 Konzentrationswert nach Anhang 1 AltIV

Anhang 1 AltIV enthält keinen Konzentrationswert (K-Wert) für PCDD/F. FRIEDLIPARTNER hatte 2020 für die PCDD/F und dl-PCB auf der Basis des TWI der EFSA (vergleiche Kapitel 3.3) einen K-Wert von **0.01 ng 2005 WHO-TEQ/L** hergeleitet [1]. Hergeleiteter K-Wert

Im Kanton Thurgau war im Juni 2024 ebenfalls ein K-Wert von **0.01 ng 2005 WHO-TEQ/L** hergeleitet [13] und nach Anhang 1 Absatz 1 AltIV mit Zustimmung des BAFU festgelegt worden.

Der über den Slope Factor Oral (SF_O, vergleiche Kapitel 3.3) von TCDD mit Gleichung 2 der BAFU-Vollzugshilfe [3] hergeleitete K-Wert beträgt **0.0027 ng/L** und ist damit um rund einen Faktor 4 tiefer als der auf der Basis der TWI der EFSA hergeleitete Wert. Auf Anfrage teilte die Sektion Altlasten des BAFU im März 2025 mit, dass für die Herleitung des K-Werts der TWI der EFSA zu verwenden sei und nicht der SF_O von TCDD, da ersterer repräsentativer sei für die durchschnittliche Toxizität der PCDD/F. Alternativer K-Wert

Damit ist der K-Wert für die PCDD/F und dl-PCB der gleiche wie 2020, nämlich **Aktueller K-Wert**
 $10^{-8} \text{ mg 2005 WHO-TEQ/L} = \mathbf{0.01 \text{ ng 2005 WHO-TEQ/L}}$ (siehe Seite 3 in der Berechnungstabelle in Anhang 2).

4.4 Herleitung Grenzwert

Gemäss Kapitel 3.2.5 der BAFU-Vollzugshilfe [3] wird mit Gleichung (2) für jedes der 17 Kongenere der toxizitätsgewichtete Grenzwert B berechnet. Diese Einzelwerte werden anschliessend addiert (siehe Seite 4 in der Berechnungstabelle in Anhang 2).

$$\text{Grenzwert B (mg/kg)} = \sum_i [f_{w \text{ TEQ}i} \times \text{K-Wert} \times (K_{OCi} \times f_{oc} + W/F \times 1/\rho_w)] \quad (2)$$

- $f_{w \text{ TEQ}i}$: Toxizitätsgewichteter Massenanteil des Kongeners i an der Summe der Kongenere im Porenwasser des Feststoffs (siehe Seite 4 der Berechnungstabelle in Anhang 2)
- K-Wert: $0.01 \text{ ng 2005 WHO-TEQ/L} = 10 \times 10^{-9} \text{ mg 2005 WHO-TEQ/L}$ (vergleiche Kapitel 4.3)
- K_{OCi} : vergleiche Kapitel 4.2
- 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 (\approx Dichte von reinem Wasser)

Gemäss Berechnungstabelle auf Seite 4 in Anhang 2 resultiert damit für die PCDD/F ein gerundeter toxizitätsgewichteter Grenzwert B von **3.4 $\mu\text{g 2022 WHO-TEQ/kg}$** , basierend auf einer konservativen Berechnung (PCDD/F-Konzentrationen in den Salzsäure-Extrakten der Filterasche-Proben entsprechen den Bestimmungsgrenzen (BG) der einzelnen Kongenere). Wenn die PCDD/F-Konzentrationen in den Extrakten jedoch nur halb so gross sind wie die BG, wären die K_{OC} und damit auch die Grenzwerte B der einzelnen Kongenere um einen Faktor 2 grösser. Dann resultiert insgesamt ein toxizitätsgewichteter Grenzwert B von **6.8 $\mu\text{g 2022 WHO-TEQ/kg}$** .

Gemäss Systematik der VVEA entsprechen bei den organischen Schadstoffen die Grenzwerte C und D dem Grenzwert B. Die vorgenommene Herleitung nach BAFU-Vollzugshilfe ergibt also die oben aufgeführte Bandbreite für einen Grenzwert für den Gesamtgehalt an polychlorierten Dibenz[1,4]-dioxinen (PCDD) und polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF) in Rückständen aus der thermischen Behandlung von Abfällen.

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, 26. Juni 2025



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

Senior Experte Altlasten/Entsorgung



Martin Hoffmann
Dipl.-Chemiker, Dr. sc. ETH

Leiter Bereich Altlasten

C:\Users\Bruno.Schmid\OneDrive - FRIEDLIPARTNER AG\Projekte_2011_2020 - 19.248 Bern BAFU Behördenberatung\12 Berichte FP\Herleitung Grenzwert
PCDD/F in Verbrennungsrückständen\Bericht 2025\19.248 Text Aktualisierung Herleitung 2025-06-26.docx

ANHANG

Anhang 1	Analysenberichte Kebag-Proben
Anhang 2	Berechnungstabellen

ANHANG 1

Analysenberichte Kebag-Proben


**INSTITUT
FRESENIUS**

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH · Güttinger Str. 37 · 78315 Radolfzell

BACHEMA AG
Analytische Laboratorien
Rütistrasse 22
8952 Schlieren

 Prüfbericht: 5459148-01
 Auftragsnummer: 5459148
 Kundennummer: 10024063

 Herr P. Breig
 +49 7732 94162 30
 +49 89 1250 4064 090
 peter.breig@sgs.com

Environment, Health and Safety (EHS)

 SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH
 Güttinger Str. 37
 78315 Radolfzell

Radolfzell, den 14.08.2020

 SGS/IF-Probennummern 200677260
 Eingangsart durch SGS/IF Kurier abgeholt

 Probeneingang 03.08.2020
 Prüfzeitraum 04.08.2020 - 14.08.2020

Probennahme

-

 Ihr Auftrag/Projekt Untersuchung auf Dioxine/Furane
 Ihr Bestelldatum 31.07.2020

 Prüfgegenstand Asche
 Prüfziel PCDD/F
 Prüfverfahren VDI 3499 Bl. 1

Bemerkungen

 Alle Analysen wurden in der ZfD GmbH Bayreuth durchgeführt.
 (Zentrum für Dioxinanalytik), eine Gesellschaft unter der Beteiligung
 der SGS Institut Fresenius GmbH.
 Akkreditiert unter der Nummer D-PL-19418-01-00

- TEQ, TEF = Toxizitätsäquivalente bzw. -faktoren
- BG = Bestimmungsgrenze
- * BG wegen Überlagerungen angehoben

SGS Institut Fresenius GmbH

 i.V. Peter Breig
 Projektleiter

 i.A. Melanie Heidenberger
 Customer Service

Seite 1 von 4

Prüfbericht 5459148-01
 Auftragsnummer 5459148
 Ihr Auftrag/Projekt Untersuchung auf Dioxine/Furane
 Datum des Berichts 14.08.2020

SGS/IF-Probennummer		200677260				
Bezeichnung:		36308				
Einheit		ng/kg Trockensubstanz				
PCDD/F	BG*	Konzentration	WHO-TEF	WHO-TEQ	I-TEF	I-TEQ
2,3,7,8-TCDD	1	48	1	48,000	1	48,00
1,2,3,7,8-PeCDD	1	130	1	130,000	0,5	65,00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1	80	0,1	8,000	0,1	8,00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	1	130	0,1	13,000	0,1	13,00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1	130	0,1	13,000	0,1	13,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	5	1600	0,01	16,000	0,01	16,00
OCDD	10	8500	0,0003	2,550	0,001	8,50
2,3,7,8-TCDF	1	180	0,1	18,000	0,1	18,00
1,2,3,7,8-PeCDF	1	330	0,03	9,900	0,05	16,50
2,3,4,7,8-PeCDF	1	260	0,3	78,000	0,5	130,00
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1	410	0,1	41,000	0,1	41,00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1	470	0,1	47,000	0,1	47,00
1,2,3,7,8,9-HxCDF	1	36	0,1	3,600	0,1	3,60
2,3,4,6,7,8-HxCDF	1	530	0,1	53,000	0,1	53,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	3	3100	0,01	31,000	0,01	31,00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	3	380	0,01	3,800	0,01	3,80
OCDF	10	4200	0,0003	1,260	0,001	4,20

TEQ (WHO) für PCDD/F inklusive 100% BG

TEQ (WHO) für PCDD/F ohne BG

I-TEQ (NATO-CCMS) inklusive 100 % BG

I-TEQ (NATO-CCMS) ohne BG

517 ng/kg Trockensubstanz

517 ng/kg Trockensubstanz

520 ng/kg Trockensubstanz

520 ng/kg Trockensubstanz

* Matrixbedingt kann eine abweichende Bestimmungsgrenze ausgewiesen werden.

Prüfbericht 5459148-01
 Auftragsnummer 5459148
 Ihr Auftrag/Projekt Untersuchung auf Dioxine/Furane
 Datum des Berichts 14.08.2020

SGS/IF-Probennummer		200677261				
Bezeichnung:		36309				
Einheit		ng/kg Trockensubstanz				
PCDD/F	BG*	Konzentration	WHO-TEF	WHO-TEQ	I-TEF	I-TEQ
2,3,7,8-TCDD	1	45	1	45,000	1	45,00
1,2,3,7,8-PeCDD	1	210	1	210,000	0,5	105,00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1	280	0,1	28,000	0,1	28,00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	1	660	0,1	66,000	0,1	66,00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1	450	0,1	45,000	0,1	45,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	5	14000	0,01	140,000	0,01	140,00
OCDD	10	90000	0,0003	27,000	0,001	90,00
2,3,7,8-TCDF	1	170	0,1	17,000	0,1	17,00
1,2,3,7,8-PeCDF	1	410	0,03	12,300	0,05	20,50
2,3,4,7,8-PeCDF	1	440	0,3	132,000	0,5	220,00
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1	930	0,1	93,000	0,1	93,00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1	1100	0,1	110,000	0,1	110,00
1,2,3,7,8,9-HxCDF	1	98	0,1	9,800	0,1	9,80
2,3,4,6,7,8-HxCDF	1	1500	0,1	150,000	0,1	150,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	3	8800	0,01	88,000	0,01	88,00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	3	2000	0,01	20,000	0,01	20,00
OCDF	10	22000	0,0003	6,600	0,001	22,00

TEQ (WHO) für PCDD/F inklusive 100% BG

TEQ (WHO) für PCDD/F ohne BG

I-TEQ (NATO-CCMS) inklusive 100 % BG

I-TEQ (NATO-CCMS) ohne BG

1200 ng/kg Trockensubstanz
 1200 ng/kg Trockensubstanz
 1269 ng/kg Trockensubstanz
 1269 ng/kg Trockensubstanz

* Matrixbedingt kann eine abweichende Bestimmungsgrenze ausgewiesen werden.

Prüfbericht
Auftragsnummer
Ihr Auftrag/Projekt
Datum des Berichts

5459148-01
5459148
Untersuchung auf Dioxine/Furane
14.08.2020

SGS/IF-Probennummer		200748505				
Bezeichnung:		36310				
Einheit		ng/kg Trockensubstanz				
PCDD/F	BG*	Konzentration	WHO-TEF	WHO-TEQ	I-TEF	I-TEQ
2,3,7,8-TCDD	1	61	1	61,000	1	61,00
1,2,3,7,8-PeCDD	1	220	1	220,000	0,5	110,00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1	230	0,1	23,000	0,1	23,00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	1	500	0,1	50,000	0,1	50,00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1	380	0,1	38,000	0,1	38,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	5	9200	0,01	92,000	0,01	92,00
OCDD	10	59000	0,0003	17,700	0,001	59,00
2,3,7,8-TCDF	1	230	0,1	23,000	0,1	23,00
1,2,3,7,8-PeCDF	1	460	0,03	13,800	0,05	23,00
2,3,4,7,8-PeCDF	1	410	0,3	123,000	0,5	205,00
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1	870	0,1	87,000	0,1	87,00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1	970	0,1	97,000	0,1	97,00
1,2,3,7,8,9-HxCDF	1	86	0,1	8,600	0,1	8,60
2,3,4,6,7,8-HxCDF	1	1300	0,1	130,000	0,1	130,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	3	7400	0,01	74,000	0,01	74,00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	3	1500	0,01	15,000	0,01	15,00
OCDF	10	16000	0,0003	4,800	0,001	16,00

TEQ (WHO) für PCDD/F inklusive 100% BG

TEQ (WHO) für PCDD/F ohne BG

I-TEQ (NATO-CCMS) inklusive 100 % BG

I-TEQ (NATO-CCMS) ohne BG

1078 ng/kg Trockensubstanz

1078 ng/kg Trockensubstanz

1112 ng/kg Trockensubstanz

1112 ng/kg Trockensubstanz

* Matrixbedingt kann eine abweichende Bestimmungsgrenze ausgewiesen werden.

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH · Güttinger Str. 37 · 78315 Radolfzell

BACHEMA AG
Analytische Laboratorien
Rütistrasse 22
8952 Schlieren

Prüfbericht: 5636161-01
Auftragsnummer: 5636161
Kundennummer: 10024063

Herr P. Breig
+49 7732 94162 30
+49 89 1250 4064 090
peter.breig@sgs.com

Environment, Health and Safety (EHS)

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH
Güttinger Str. 37
78315 Radolfzell

Radolfzell, den 04.02.2021

SGS/IF-Probennummern 210055442-210055444
Eingangsart durch SGS/IF Kurier abgeholt

Probeneingang 20.01.2021
Prüfzeitraum 21.01.-03.02.2021

Probennahme -

Ihr Auftrag/Projekt Untersuchung auf Dioxine/Furane
Ihr Bestelldatum 19.01.2021

Prüfgegenstand Asche
Prüfziel PCDD/F
Prüfverfahren VDI 3499 Bl.1

Bemerkungen Alle Analysen wurden in der ZfD GmbH Bayreuth durchgeführt.
(Zentrum für Dioxinanalytik), eine Gesellschaft unter der Beteiligung
der SGS Institut Fresenius GmbH.
Akkreditiert unter der Nummer D-PL-19418-01-00

- TEQ, TEF = Toxizitätsäquivalente bzw. -faktoren
- BG = Bestimmungsgrenze
- * BG wegen Überlagerungen angehoben

SGS Institut Fresenius GmbH


i.V. Peter Breig
Projektleiter


i.A. Melanie Heidenberger
Customer Service

Seite 1 von 4

Prüfbericht	5636161-01
Auftragsnummer	5636161
Ihr Auftrag/Projekt	Untersuchung auf Dioxine/Furane
Datum des Berichts	04.02.2021

SGS/IF-Probennummer		210055442				
Bezeichnung:		1585				
Einheit		ng/kg Trockensubstanz				
PCDD/F	BG*	Konzentration	WHO-TEF	WHO-TEQ	I-TEF	I-TEQ
2,3,7,8-TCDD	1	39	1	39,000	1	39,00
1,2,3,7,8-PeCDD	1	130	1	130,000	0,5	65,00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1	64	0,1	6,400	0,1	6,40
1,2,3,6,7,8-HxCDD	1	120	0,1	12,000	0,1	12,00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1	110	0,1	11,000	0,1	11,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	5	1500	0,01	15,000	0,01	15,00
OCDD	10	8500	0,0003	2,550	0,001	8,50
2,3,7,8-TCDF	1	170	0,1	17,000	0,1	17,00
1,2,3,7,8-PeCDF	1	280	0,03	8,400	0,05	14,00
2,3,4,7,8-PeCDF	1	210	0,3	63,000	0,5	105,00
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1	340	0,1	34,000	0,1	34,00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1	390	0,1	39,000	0,1	39,00
1,2,3,7,8,9-HxCDF	1	36	0,1	3,600	0,1	3,60
2,3,4,6,7,8-HxCDF	1	490	0,1	49,000	0,1	49,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	3	3000	0,01	30,000	0,01	30,00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	3	340	0,01	3,400	0,01	3,40
OCDF	10	3300	0,0003	0,990	0,001	3,30

TEQ (WHO) für PCDD/F inklusive 100% BG

464 ng/kg Trockensubstanz

TEQ (WHO) für PCDD/F ohne BG

464 ng/kg Trockensubstanz

I-TEQ (NATO-CCMS) inklusive 100 % BG

455 ng/kg Trockensubstanz

I-TEQ (NATO-CCMS) ohne BG

455 ng/kg Trockensubstanz

* Matrixbedingt kann eine abweichende Bestimmungsgrenze ausgewiesen werden.

Prüfbericht 5636161-01
Auftragsnummer 5636161
Ihr Auftrag/Projekt Untersuchung auf Dioxine/Furane
Datum des Berichts 04.02.2021

SGS/IF-Probennummer		210055443				
Bezeichnung:		1586				
Einheit		ng/kg Trockensubstanz				
PCDD/F	BG*	Konzentration	WHO-TEF	WHO-TEQ	I-TEF	I-TEQ
2,3,7,8-TCDD	1	37	1	37,000	1	37,00
1,2,3,7,8-PeCDD	1	170	1	170,000	0,5	85,00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1	210	0,1	21,000	0,1	21,00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	1	510	0,1	51,000	0,1	51,00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1	370	0,1	37,000	0,1	37,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	5	9400	0,01	94,000	0,01	94,00
OCDD	10	56000	0,0003	16,800	0,001	56,00
2,3,7,8-TCDF	1	130	0,1	13,000	0,1	13,00
1,2,3,7,8-PeCDF	1	300	0,03	9,000	0,05	15,00
2,3,4,7,8-PeCDF	1	280	0,3	84,000	0,5	140,00
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1	630	0,1	63,000	0,1	63,00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1	720	0,1	72,000	0,1	72,00
1,2,3,7,8,9-HxCDF	1	100	0,1	10,000	0,1	10,00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	1	1100	0,1	110,000	0,1	110,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	3	6200	0,01	62,000	0,01	62,00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	3	1300	0,01	13,000	0,01	13,00
OCDF	10	14000	0,0003	4,200	0,001	14,00

TEQ (WHO) für PCDD/F inklusive 100% BG

TEQ (WHO) für PCDD/F ohne BG

I-TEQ (NATO-CCMS) inklusive 100 % BG

I-TEQ (NATO-CCMS) ohne BG

867 ng/kg

867 ng/kg

893 ng/kg

893 ng/kg

Trockensubstanz

Trockensubstanz

Trockensubstanz

Trockensubstanz

* Matrixbedingt kann eine abweichende Bestimmungsgrenze ausgewiesen werden.

Prüfbericht 5636161-01
Auftragsnummer 5636161
Ihr Auftrag/Projekt Untersuchung auf Dioxine/Furane
Datum des Berichts 04.02.2021

SGS/IF-Probennummer		210055444				
Bezeichnung:		1587				
Einheit		ng/kg Trockensubstanz				
PCDD/F	BG*	Konzentration	WHO-TEF	WHO-TEQ	I-TEF	I-TEQ
2,3,7,8-TCDD	1	44	1	44,000	1	44,00
1,2,3,7,8-PeCDD	1	180	1	180,000	0,5	90,00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1	170	0,1	17,000	0,1	17,00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	1	380	0,1	38,000	0,1	38,00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1	300	0,1	30,000	0,1	30,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	5	6100	0,01	61,000	0,01	61,00
OCDD	10	35000	0,0003	10,500	0,001	35,00
2,3,7,8-TCDF	1	210	0,1	21,000	0,1	21,00
1,2,3,7,8-PeCDF	1	350	0,03	10,500	0,05	17,50
2,3,4,7,8-PeCDF	1	310	0,3	93,000	0,5	155,00
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1	600	0,1	60,000	0,1	60,00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1	680	0,1	68,000	0,1	68,00
1,2,3,7,8,9-HxCDF	1	62	0,1	6,200	0,1	6,20
2,3,4,6,7,8-HxCDF	1	1000	0,1	100,000	0,1	100,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	3	5400	0,01	54,000	0,01	54,00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	3	950	0,01	9,500	0,01	9,50
OCDF	10	9900	0,0003	2,970	0,001	9,90

TEQ (WHO) für PCDD/F inklusive 100% BG

TEQ (WHO) für PCDD/F ohne BG

I-TEQ (NATO-CCMS) inklusive 100 % BG

I-TEQ (NATO-CCMS) ohne BG

806 ng/kg

806 ng/kg

816 ng/kg

816 ng/kg

Trockensubstanz

Trockensubstanz

Trockensubstanz

Trockensubstanz

* Matrixbedingt kann eine abweichende Bestimmungsgrenze ausgewiesen werden.


**INSTITUT
FRESENIUS**

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH · Güttinger Str. 37 · 78315 Radolfzell

BACHEMA AG
Analytische Laboratorien
Rütistrasse 22
8952 Schlieren

Prüfbericht: 5551590-01
 Auftragsnummer: 5551590
 Kundennummer: 10024063

Herr P. Breig
 +49 7732 94162 30
 +49 89 1250 4064 090
 peter.breig@sgs.com

Environment, Health and Safety (EHS)

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH
 Güttinger Str. 37
 78315 Radolfzell

Radolfzell, den 13.11.2020

SGS/IF-Probennummern 201104280-201104285
 Eingangsart durch SGS/IF Kurier abgeholt

Probeneingang 30.10.2020
 Prüfzeitraum 31.10 - 10.11.2020

Probennahme -

Ihr Auftrag/Projekt Untersuchung auf Dioxine/Furane
 Ihr Bestelldatum 29.10.2020

Prüfgegenstand Abwasser
 Prüfziel PCDD/F
 Prüfverfahren ISO 18073

Bemerkungen

Alle Analysen wurden in der ZfD GmbH Bayreuth durchgeführt.
 (Zentrum für Dioxinanalytik), eine Gesellschaft unter der Beteiligung
 der SGS Institut Fresenius GmbH.
 Akkreditiert unter der Nummer D-PL-19418-01-00

- TEQ, TEF = Toxizitätsäquivalente bzw. -faktoren
- BG = Bestimmungsgrenze
- * BG wegen Überlagerungen angehoben

SGS Institut Fresenius GmbH


 i.V. Peter Breig
 Projektleiter


 i.A. Melanie Heidenberger
 Customer Service

Seite 1 von 7

Prüfbericht	5551590-01
Auftragsnummer	5551590
Ihr Auftrag/Projekt	Untersuchung auf Dioxine/Furane
Datum des Berichts	13.11.2020

SGS/IF-Probennummer		201104280				
Bezeichnung:		52548				
Einheit		ng/l				
PCDD/F	BG*	Konzentration	WHO-TEF	WHO-TEQ	I-TEF	I-TEQ
2,3,7,8-TCDD	0,002	< 0,002	1	0,002	1	0,00
1,2,3,7,8-PeCDD	0,002	< 0,002	1	0,002	0,5	0,00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,010	< 0,010	0,01	0,000	0,01	0,00
OCDD	0,020	< 0,020	0,0003	0,000	0,001	0,00
2,3,7,8-TCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8-PeCDF	0,002	< 0,002	0,03	0,000	0,05	0,00
2,3,4,7,8-PeCDF	0,002	< 0,002	0,3	0,001	0,5	0,00
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,006	< 0,006	0,01	0,000	0,01	0,00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,006	< 0,006	0,01	0,000	0,01	0,00
OCDF	0,020	< 0,020	0,0003	0,000	0,001	0,00

TEQ (WHO) für PCDD/F inklusive 100% BG	0,0065 ng/l
TEQ (WHO) für PCDD/F ohne BG	0,0000 ng/l
I-TEQ (NATO-CCMS) inklusive 100 % BG	0,0060 ng/l
I-TEQ (NATO-CCMS) ohne BG	0,0000 ng/l

* Matrixbedingt kann eine abweichende Bestimmungsgrenze ausgewiesen werden.

Prüfbericht 5551590-01
Auftragsnummer 5551590
Ihr Auftrag/Projekt Untersuchung auf Dioxine/Furane
Datum des Berichts 13.11.2020

SGS/IF-Probennummer		201104281				
Bezeichnung:		52549				
Einheit		ng/l				
PCDD/F	BG*	Konzentration	WHO-TEF	WHO-TEQ	I-TEF	I-TEQ
2,3,7,8-TCDD	0,002	< 0,002	1	0,002	1	0,00
1,2,3,7,8-PeCDD	0,002	< 0,002	1	0,002	0,5	0,00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,010	< 0,010	0,01	0,000	0,01	0,00
OCDD	0,020	< 0,020	0,0003	0,000	0,001	0,00
2,3,7,8-TCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8-PeCDF	0,002	< 0,002	0,03	0,000	0,05	0,00
2,3,4,7,8-PeCDF	0,002	< 0,002	0,3	0,001	0,5	0,00
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,006	< 0,006	0,01	0,000	0,01	0,00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,006	< 0,006	0,01	0,000	0,01	0,00
OCDF	0,020	< 0,020	0,0003	0,000	0,001	0,00

TEQ (WHO) für PCDD/F inklusive 100% BG 0,0065 ng/l
TEQ (WHO) für PCDD/F ohne BG 0,0000 ng/l
I-TEQ (NATO-CCMS) inklusive 100 % BG 0,0060 ng/l
I-TEQ (NATO-CCMS) ohne BG 0,0000 ng/l

* Matrixbedingt kann eine abweichende Bestimmungsgrenze ausgewiesen werden.

Prüfbericht 5551590-01
Auftragsnummer 5551590
Ihr Auftrag/Projekt Untersuchung auf Dioxine/Furane
Datum des Berichts 13.11.2020

SGS/IF-Probennummer		201104282				
Bezeichnung:		52550				
Einheit		ng/l				
PCDD/F	BG*	Konzentration	WHO-TEF	WHO-TEQ	I-TEF	I-TEQ
2,3,7,8-TCDD	0,002	< 0,002	1	0,002	1	0,00
1,2,3,7,8-PeCDD	0,002	< 0,002	1	0,002	0,5	0,00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,010	< 0,010	0,01	0,000	0,01	0,00
OCDD	0,020	< 0,020	0,0003	0,000	0,001	0,00
2,3,7,8-TCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8-PeCDF	0,002	< 0,002	0,03	0,000	0,05	0,00
2,3,4,7,8-PeCDF	0,002	< 0,002	0,3	0,001	0,5	0,00
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,006	< 0,006	0,01	0,000	0,01	0,00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,006	< 0,006	0,01	0,000	0,01	0,00
OCDF	0,020	< 0,020	0,0003	0,000	0,001	0,00

TEQ (WHO) für PCDD/F inklusive 100% BG

0,0065 ng/l

TEQ (WHO) für PCDD/F ohne BG

0,0000 ng/l

I-TEQ (NATO-CCMS) inklusive 100 % BG

0,0060 ng/l

I-TEQ (NATO-CCMS) ohne BG

0,0000 ng/l

* Matrixbedingt kann eine abweichende Bestimmungsgrenze ausgewiesen werden.

Prüfbericht 5551590-01
Auftragsnummer 5551590
Ihr Auftrag/Projekt Untersuchung auf Dioxine/Furane
Datum des Berichts 13.11.2020

SGS/IF-Probennummer		201104283				
Bezeichnung:		52551				
Einheit		ng/l				
PCDD/F	BG*	Konzentration	WHO-TEF	WHO-TEQ	I-TEF	I-TEQ
2,3,7,8-TCDD	0,002	< 0,002	1	0,002	1	0,00
1,2,3,7,8-PeCDD	0,002	< 0,002	1	0,002	0,5	0,00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,010	< 0,010	0,01	0,000	0,01	0,00
OCDD	0,020	< 0,020	0,0003	0,000	0,001	0,00
2,3,7,8-TCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8-PeCDF	0,002	< 0,002	0,03	0,000	0,05	0,00
2,3,4,7,8-PeCDF	0,002	< 0,002	0,3	0,001	0,5	0,00
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,006	< 0,006	0,01	0,000	0,01	0,00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,006	< 0,006	0,01	0,000	0,01	0,00
OCDF	0,020	< 0,020	0,0003	0,000	0,001	0,00

TEQ (WHO) für PCDD/F inklusive 100% BG

0,0065 ng/l

TEQ (WHO) für PCDD/F ohne BG

0,0000 ng/l

I-TEQ (NATO-CCMS) inklusive 100 % BG

0,0060 ng/l

I-TEQ (NATO-CCMS) ohne BG

0,0000 ng/l

* Matrixbedingt kann eine abweichende Bestimmungsgrenze ausgewiesen werden.

Prüfbericht 5551590-01
Auftragsnummer 5551590
Ihr Auftrag/Projekt Untersuchung auf Dioxine/Furane
Datum des Berichts 13.11.2020

SGS/IF-Probennummer		201104284				
Bezeichnung:		52552				
Einheit		ng/l				
PCDD/F	BG*	Konzentration	WHO-TEF	WHO-TEQ	I-TEF	I-TEQ
2,3,7,8-TCDD	0,002	< 0,002	1	0,002	1	0,00
1,2,3,7,8-PeCDD	0,002	< 0,002	1	0,002	0,5	0,00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,010	< 0,010	0,01	0,000	0,01	0,00
OCDD	0,020	< 0,020	0,0003	0,000	0,001	0,00
2,3,7,8-TCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8-PeCDF	0,002	< 0,002	0,03	0,000	0,05	0,00
2,3,4,7,8-PeCDF	0,002	< 0,002	0,3	0,001	0,5	0,00
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,006	< 0,006	0,01	0,000	0,01	0,00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,006	< 0,006	0,01	0,000	0,01	0,00
OCDF	0,020	< 0,020	0,0003	0,000	0,001	0,00

TEQ (WHO) für PCDD/F inklusive 100% BG

0,0065 ng/l

TEQ (WHO) für PCDD/F ohne BG

0,0000 ng/l

I-TEQ (NATO-CCMS) inklusive 100 % BG

0,0060 ng/l

I-TEQ (NATO-CCMS) ohne BG

0,0000 ng/l

* Matrixbedingt kann eine abweichende Bestimmungsgrenze ausgewiesen werden.

Prüfbericht 5551590-01
Auftragsnummer 5551590
Ihr Auftrag/Projekt Untersuchung auf Dioxine/Furane
Datum des Berichts 13.11.2020

SGS/IF-Probennummer		201104285				
Bezeichnung:		52547				
Einheit		ng/l				
PCDD/F	BG*	Konzentration	WHO-TEF	WHO-TEQ	I-TEF	I-TEQ
2,3,7,8-TCDD	0,002	< 0,002	1	0,002	1	0,00
1,2,3,7,8-PeCDD	0,002	< 0,002	1	0,002	0,5	0,00
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,010	< 0,010	0,01	0,000	0,01	0,00
OCDD	0,020	< 0,020	0,0003	0,000	0,001	0,00
2,3,7,8-TCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8-PeCDF	0,002	< 0,002	0,03	0,000	0,05	0,00
2,3,4,7,8-PeCDF	0,002	< 0,002	0,3	0,001	0,5	0,00
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,002	< 0,002	0,1	0,000	0,1	0,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,006	< 0,006	0,01	0,000	0,01	0,00
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,006	< 0,006	0,01	0,000	0,01	0,00
OCDF	0,020	< 0,020	0,0003	0,000	0,001	0,00

TEQ (WHO) für PCDD/F inklusive 100% BG 0,0065 ng/l
TEQ (WHO) für PCDD/F ohne BG 0,0000 ng/l
I-TEQ (NATO-CCMS) inklusive 100 % BG 0,0060 ng/l
I-TEQ (NATO-CCMS) ohne BG 0,0000 ng/l

* Matrixbedingt kann eine abweichende Bestimmungsgrenze ausgewiesen werden.

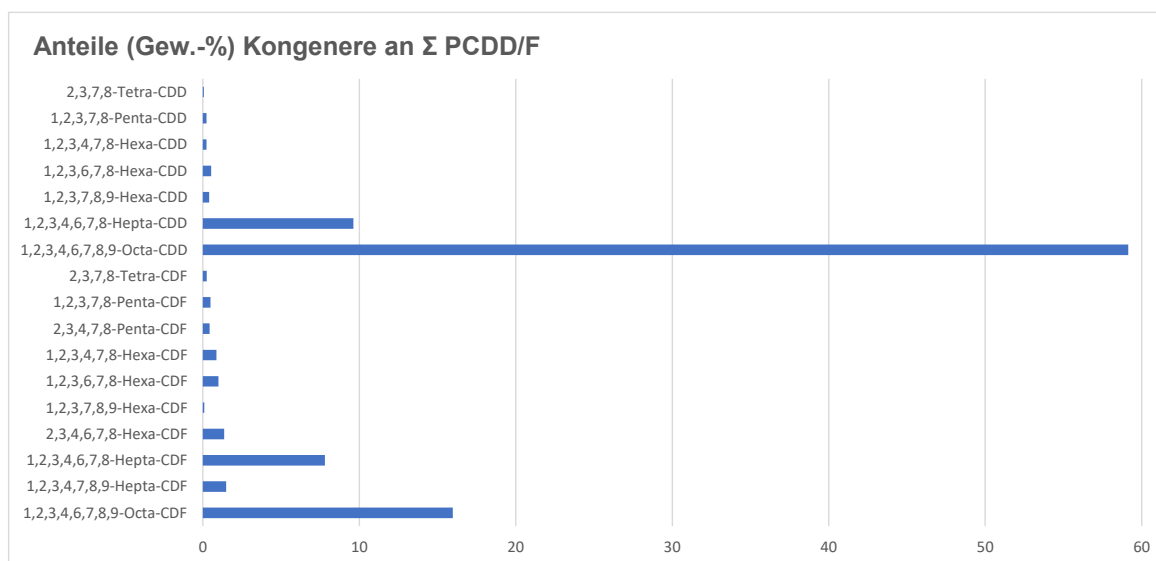
ANHANG 2

Berechnungstabellen

Berechnung Koc aus KEBAG-Proben

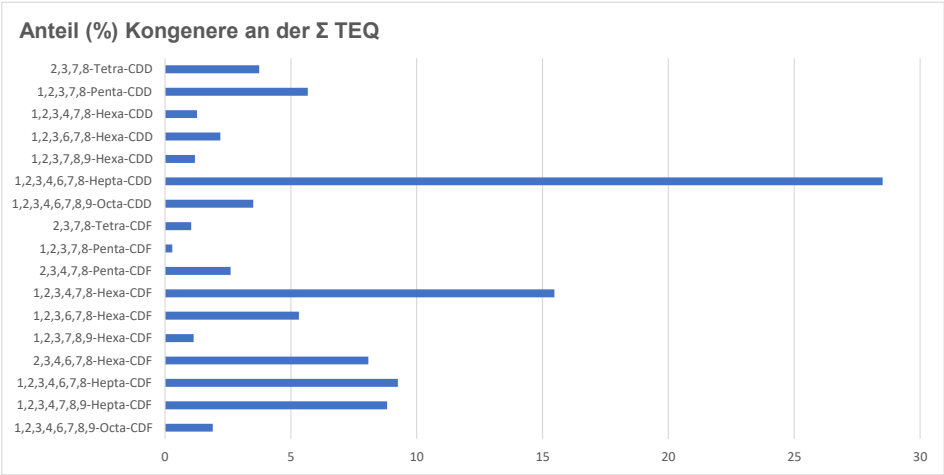
Kongener		Probe						Ct Mittelwert	Anteil Gew.-%	Cw = BG Mittelwert		Koc		log Koc
		36308	36309	36310	1585	1586	1587							
2,3,7,8-Tetra-CDD	ng/kg	48	45	61	39	37	44	46	0.063	0.002	ng/L	3'914'286	L/kg	6.59
1,2,3,7,8-Penta-CDD	ng/kg	130	210	220	130	170	180	173	0.24	0.002	ng/L	14'857'143	L/kg	7.17
1,2,3,4,7,8-Hexa-CDD	ng/kg	80	280	230	64	210	170	172	0.24	0.002	ng/L	14'771'429	L/kg	7.17
1,2,3,6,7,8-Hexa-CDD	ng/kg	130	660	500	120	510	380	383	0.53	0.002	ng/L	32'857'143	L/kg	7.52
1,2,3,7,8,9-Hexa-CDD	ng/kg	130	450	380	110	370	300	290	0.40	0.002	ng/L	24'857'143	L/kg	7.40
1,2,3,4,6,7,8-Hepta-CDD	ng/kg	1'600	14'000	9'200	1'500	9'400	6'100	6'967	9.6	0.010	ng/L	119'428'571	L/kg	8.08
1,2,3,4,6,7,8,9-Octa-CDD	ng/kg	8'500	90'000	59'000	8'500	56'000	35'000	42'833	59	0.020	ng/L	367'142'857	L/kg	8.56
2,3,7,8-Tetra-CDF	ng/kg	180	170	230	170	130	210	182	0.25	0.002	ng/L	15'571'429	L/kg	7.19
1,2,3,7,8-Penta-CDF	ng/kg	330	410	460	280	300	350	355	0.49	0.002	ng/L	30'428'571	L/kg	7.48
2,3,4,7,8-Penta-CDF	ng/kg	260	440	410	210	280	310	318	0.44	0.002	ng/L	27'285'714	L/kg	7.44
1,2,3,4,7,8-Hexa-CDF	ng/kg	410	930	870	340	630	600	630	0.87	0.002	ng/L	54'000'000	L/kg	7.73
1,2,3,6,7,8-Hexa-CDF	ng/kg	470	1'100	970	390	720	680	722	1.0	0.002	ng/L	61'857'143	L/kg	7.79
1,2,3,7,8,9-Hexa-CDF	ng/kg	36	98	86	36	100	62	70	0.096	0.002	ng/L	5'971'429	L/kg	6.78
2,3,4,6,7,8-Hexa-CDF	ng/kg	530	1'500	1'300	490	1'100	1'000	987	1.4	0.002	ng/L	84'571'429	L/kg	7.93
1,2,3,4,6,7,8-Hepta-CDF	ng/kg	3'100	8'800	7'400	3'000	6'200	5'400	5'650	7.8	0.006	ng/L	161'428'571	L/kg	8.21
1,2,3,4,7,8,9-Hepta-CDF	ng/kg	380	2'000	1'500	340	1'300	950	1'078	1.5	0.006	ng/L	30'809'524	L/kg	7.49
1,2,3,4,6,7,8,9-Octa-CDF	ng/kg	4200	22000	16000	3300	14000	9900	11'567	16	0.020	ng/L	99'142'857	L/kg	8.00
Summe	ng/kg							72'423	100					
TOC (organischer Kohlenstoff)	--	0.007	0.003	0.007	0.007	0.004	0.007	0.0058						
Arithmetisches Mittel														

BG: Bestimmungsgrenze



Berechnung TEQ-Anteile

Kongener		Probe						2022 WHO TEF	2022 WHO ng TEQ/kg						Mittelwert	Anteil %			
		36308	36309	36310	1585	1586	1587		36308	36309	36310	1585	1586	1587					
1	2,3,7,8-Tetra-CDD	ng/kg	48	45	61	39	37	44	46	1	48	45	61	39	37	44	46	3.7	0.0373819
2	1,2,3,7,8-Penta-CDD	ng/kg	130	210	220	130	170	180	173	0.4	52	84	88	52	68	72	69	5.7	0.0567549
3	1,2,3,4,7,8-Hexa-CDD	ng/kg	80	280	230	64	210	170	172	0.09	7.2	25.2	20.7	5.76	18.9	15.3	16	1.3	0.0126962
4	1,2,3,6,7,8-Hexa-CDD	ng/kg	130	660	500	120	510	380	383	0.07	9.1	46.2	35	8.4	35.7	26.6	27	2.2	0.0219652
5	1,2,3,7,8,9-Hexa-CDD	ng/kg	130	450	380	110	370	300	290	0.05	6.5	22.5	19	5.5	18.5	15	15	1.2	0.0118694
6	1,2,3,4,6,7,8-Hepta-CDD	ng/kg	1'600	14'000	9'200	1'500	9'400	6'100	6'967	0.05	80	700	460	75	470	305	348	29	0.2851389
7	1,2,3,4,6,7,8,9-Octa-CDD	ng/kg	8'500	90'000	59'000	8'500	56'000	35'000	42'833	0.001	8.5	90	59	8.5	56	35	43	3.5	0.0350625
8	2,3,7,8-Tetra-CDF	ng/kg	180	170	230	170	130	210	182	0.07	12.6	11.9	16.1	11.9	9.1	14.7	13	1.0	0.0104096
9	1,2,3,7,8-Penta-CDF	ng/kg	330	410	460	280	300	350	355	0.01	3.3	4.1	4.6	2.8	3	3.5	4	0.3	0.002906
10	2,3,4,7,8-Penta-CDF	ng/kg	260	440	410	210	280	310	318	0.1	26	44	41	21	28	31	32	2.6	0.0260582
11	1,2,3,4,7,8-Hexa-CDF	ng/kg	410	930	870	340	630	600	630	0.3	123	279	261	102	189	180	189	15	0.1547118
12	1,2,3,6,7,8-Hexa-CDF	ng/kg	470	1'100	970	390	720	680	722	0.09	42.3	99	87.3	35.1	64.8	61.2	65	5.3	0.0531668
13	1,2,3,7,8,9-Hexa-CDF	ng/kg	36	98	86	36	100	62	70	0.2	7.2	19.6	17.2	7.2	20	12.4	14	1.1	0.0114056
14	2,3,4,6,7,8-Hexa-CDF	ng/kg	530	1'500	1'300	490	1'100	1'000	987	0.1	53	150	130	49	110	100	99	8.1	0.0807666
15	1,2,3,4,6,7,8-Hepta-CDF	ng/kg	3'100	8'800	7'400	3'000	6'200	5'400	5'650	0.02	62	176	148	60	124	108	113	9.2	0.0924996
16	1,2,3,4,7,8,9-Hepta-CDF	ng/kg	380	2'000	1'500	340	1'300	950	1'078	0.1	38	200	150	34	130	95	108	8.8	0.0882703
17	1,2,3,4,6,7,8,9-Octa-CDF	ng/kg	4200	22000	16000	3300	14000	9900	11567	0.002	8.4	44	32	6.6	28	19.8	23	1.9	0.0189365
Arithmetisches Mittel											587	2'041	1'630	524	1'410	1'139	1'222	100	1



Berechnung Konzentrationswert (K-Wert)				
K-Wert = TDI x Körpergewicht / Trinkwasser-Konsum:			1.0E-08	mg 2005 WHO-TEQ/L
TWI (Tolerable Weekly Intake):	2.0E-09	mg 2005 WHO-TEQ/(kg x w)		
TDI (Tolerable Daily Intake):	2.9E-10	mg 2005-WHO-TEQ/(kg x d)		
Körpergewicht Person:	70	kg		
Trinkwasser-Konsum:	2	L/d		

Berechnung Grenzwert B

blau: Spalten 1z, 27.5.25																											
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Ct	Relative	TEFI	Ct Mittelwert	Relative	Cw = BG	Koc [L/kg]	log Koc	foc	K-Wert	W/F	1/pw	berechnetes Cw bei gegebenem Ct mitteiwert, nicht tox-gewichtet (ng/L)	Relative Massenanteile im Eluat [%]	berechnetes Cw bei gegebenem Ct mitteiwert, tox-gewichtet (ng TEQ/L)	Relative Massenanteile im Eluat [%]	$\frac{TEFI \cdot f_{ti}}{K_{oc i} \cdot f_{oc} + W/F \cdot 1/pw}$	fwTEQ (Tox-gew. Massenanteil des Kongeners i an der Summe der Kongenere im Porenwasser des Feststoffes)	FGI		
	[ng/kg]	[ng/kg]	[ng/kg]	[ng/kg]	[ng/kg]	[ng/kg]	Mittelwert [ng/kg]	Massenanteile im Feststoff [%]	(WHO2022)	tox-gewichtet [ng TEQ/kg]	tox-gewichtet im Feststoff (TEFI × f _{ti}) [%]	[ng/l]			(TOC)	(ng TEQ/L)		[kg/L]									
2,3,7,8-TC-Dibenzo-p-Dioxin	ng/kg	48	45	61	39	37	44	0.06%	1	45.67	3.7%	0.002	3914/286	6.59	0.01	0.01	3	1	0.0012	2%	0.0012	32%	9.55E-07	32.0%	1.25E+02	ng TEQ/kg	
1,2,3,7,8-PeC-Dibenzo-p-Dioxin	ng/kg	130	210	220	130	170	180	0.24%	0.4	69.33	5.7%	0.002	14785/143	7.17	0.01	0.01	3	1	0.0012	2%	0.0005	12.8%	3.82E-07	12.8%	1.90E+02	ng TEQ/kg	
1,2,3,4,7,8-HxC-Dibenzo-p-Dioxin	ng/kg	80	280	230	64	210	170	0.24%	0.09	15.51	1.3%	0.002	14771/429	7.17	0.01	0.01	3	1	0.0012	2%	0.0001	2.9%	8.59E-08	2.9%	4.26E+01	ng TEQ/kg	
1,2,3,6,7,8-HxC-Dibenzo-p-Dioxin	ng/kg	130	660	500	120	510	380	0.53%	0.07	26.83	2.2%	0.002	32785/143	7.52	0.01	0.01	3	1	0.0012	2%	0.0001	2.2%	6.69E-08	2.2%	7.37E+01	ng TEQ/kg	
1,2,3,7,8,9-HxC-Dibenzo-p-Dioxin	ng/kg	130	450	380	110	370	300	0.40%	0.05	14.50	1.2%	0.002	24857/143	7.40	0.01	0.01	3	1	0.0012	2%	0.0001	1.6%	4.77E-08	1.6%	3.98E+01	ng TEQ/kg	
1,2,3,4,6,7,8-HpC-Dibenzo-p-Dioxin	ng/kg	1'600	14'000	9'200	1'500	9'400	6'100	9.6%	0.05	348.33	28.5%	0.010	119'428/571	8.08	0.01	0.01	3	1	0.0058	12%	0.0003	8.0%	2.39E-07	8.0%	9.57E+02	ng TEQ/kg	
OC-Dibenzo-p-Dioxin	ng/kg	8'500	90'000	59'000	8'500	56'000	35'000	59.14%	0.001	42.83	3.5%	0.020	367142/857	8.56	0.01	0.01	3	1	0.0117	23%	0.00012	0.3%	9.55E-09	0.3%	1.18E+02	ng TEQ/kg	
2,3,7,8-TC-Dibenzofuran	ng/kg	180	170	230	170	130	210	0.25%	0.07	12.72	1.0%	0.002	15571/429	7.19	0.01	0.01	3	1	0.0012	2%	0.0001	2.2%	6.68E-08	2.2%	3.49E+01	ng TEQ/kg	
1,2,3,7,8-PeC-Dibenzofuran	ng/kg	330	410	460	280	300	350	0.49%	0.01	3.55	0.3%	0.002	30'428/571	7.48	0.01	0.01	3	1	0.0012	2%	0.0000	0.3%	9.55E-09	0.3%	9.75E+00	ng TEQ/kg	
1,2,3,4,7,8-PeC-Dibenzofuran	ng/kg	260	440	410	210	280	310	0.44%	0.1	31.83	2.6%	0.002	27285/714	7.44	0.01	0.01	3	1	0.0012	2%	0.0001	3.2%	9.55E-08	3.2%	8.75E+01	ng TEQ/kg	
1,2,3,4,7,8-HxC-Dibenzofuran	ng/kg	410	930	870	340	630	600	0.87%	0.3	189.00	15.3%	0.002	54'000/000	7.73	0.01	0.01	3	1	0.0012	2%	0.0003	9.6%	2.67E-07	9.6%	5.19E+02	ng TEQ/kg	
1,2,3,6,7,8-HxC-Dibenzofuran	ng/kg	470	1'100	970	390	720	680	1.00%	0.09	64.95	5.3%	0.002	61857/143	7.79	0.01	0.01	3	1	0.0012	2%	0.0001	2.9%	8.60E-08	2.9%	1.78E+02	ng TEQ/kg	
1,2,3,7,8,9-HxC-Dibenzofuran	ng/kg	36	98	86	36	100	62	0.10%	0.2	13.93	1.1%	0.002	5'971/429	6.78	0.01	0.01	3	1	0.0012	2%	0.0002	6.4%	1.91E-07	6.4%	3.83E+01	ng TEQ/kg	
2,3,4,6,7,8-HxC-Dibenzofuran	ng/kg	530	1'500	1'300	490	1'100	1'000	1.36%	0.1	98.67	8.1%	0.002	84'571/429	7.93	0.01	0.01	3	1	0.0012	2%	0.0001	3.2%	9.55E-08	3.2%	2.71E+02	ng TEQ/kg	
1,2,3,4,6,7,8-HpC-Dibenzofuran	ng/kg	3'100	8'800	7'400	3'000	6'200	5'400	5.65%	0.02	113.00	9.2%	0.006	161'428/571	8.21	0.01	0.01	3	1	0.0035	7%	0.0001	1.9%	5.73E-08	1.9%	3.10E+02	ng TEQ/kg	
1,2,3,4,7,8,9-HpC-Dibenzofuran	ng/kg	380	2'000	1'500	340	1'300	950	1.49%	0.1	107.83	8.8%	0.006	30'809/524	7.49	0.01	0.01	3	1	0.0035	7%	0.0003	9.6%	2.87E-07	9.6%	2.96E+02	ng TEQ/kg	
OC-Dibenzofuran	ng/kg	4'200	22'000	16'000	3'300	14'000	9'900	11.56%	0.002	23.13	1.9%	0.020	99'142/857	8.00	0.01	0.01	3	1	0.0117	23%	0.000023	0.6%	1.91E-08	0.6%	6.36E+01	ng TEQ/kg	
		0.007	0.003	0.007	0.007	0.004	0.007			72'423	100.00%		67'582/073	7.83						100%				2.98E-06	100.00%	3.36E+03	ng TEQ/kg
TOC																											

3.36 B-Wert (wg TEQ/kg)

Berechnung mit dem standardmässig zugrunde gelegten foc = 0.01

Vorgehen zur Berechnung des Feststoffgrenzwertes für die Ablagerung von Abfällen auf Deponien des Typs B

Der Feststoffgrenzwert berechnet sich bei einem einzelnen Stoff gemäss den Gleichungen 1 (bzw. 1a) und 2:

Gleichung 1: $C_t = C_w \cdot (K_{oc} \cdot f_{oc} + W/F \cdot 1/pw)$

Gleichung 1a: $C_w = \frac{C_t}{K_{oc} \cdot f_{oc} + W/F \cdot 1/pw}$

Gleichung 2: $K_d = K_{oc} \cdot f_{oc}$

mit:

- ct = Gesamtgehalt der Verbindung in der Feststoffprobe (mg/kg) (per Definition = FG, Feststoffgrenzwert für B-Wert)
- cw = Gehalt der Verbindung im Porenwasser der Feststoffprobe (mg/l) (per Definition = Konzentrationswert)
- Kd = Verteilungskoeffizient zwischen der Wasserphase und der Festphase (l/kg)
- W/F = Wasser/Feststoff-Verhältnis (kg/kg)
- pw = Dichte des Porenwassers (Annahme: 1 kg/l)
- Koc = Verteilungskoeffizient zwischen organischem Kohlenstoff und Wasser (l/kg)
- foc = Anteil organischer Kohlenstoff an der Festphase

Der toxizitätsgewichtete Gesamtgehalt der Summe (PCDD, PCDF und di-PCB) im Feststoff hängt von drei kongenerspezifischen Faktoren ab: erstens von deren jeweiligen Massenanteilen im Porenwasser der Feststoffprobe,

- zweitens von deren jeweiliger Toxizität und drittens von deren jeweiligem Verteilungs-Koeffizient Koc (bzw. Kd).
- Der Massenanteil eines Kongeners i, fti, bzw. die Kongenerenverteilung, wurde aufgrund von Filteraschenuntersuchungen der Kebag ermittelt, welche vergleichbar ist mit Untersuchungen des VBSA von Filteraschen mehrerer Schweizer KVA aus dem Jahr 2020. Das Kongenerenverteilungsmuster ist in den meisten Messungen sehr ähnlich, so dass sich ein allgemein gültiger Feststoff-Grenzwert herleiten lässt.
- Die Toxizitätsäquivalenzfaktoren entsprechen denjenigen der WHO2022.
- Die Koc wurden mittels der Feststoffgehalte (PCDD/F sowie TOC) und den Extrakten der sauer gewaschenen Filteraschen berechnet

Aus dem durchschnittlichen Massenanteil der Kongenere werden die durchschnittlichen TEF-gewichteten Massenanteile der Kongenere im Eluat mit Gleichung 3 berechnet (Gleichung 3 ist aus Gleichung 1a abgeleitet).

Gleichung 3:

$$f_{wTEQ i} = \frac{\frac{TEF_i \cdot f_{ti}}{K_{oc i} \cdot f_{oc} + W/F \cdot 1/pw}}{\sum_i \left[\frac{TEF_i \cdot f_{ti}}{K_{oc i} \cdot f_{oc} + W/F \cdot 1/pw} \right]}$$

mit:

- fwTEQ = Toxizitätsgewichteter Massenanteil eines Kongeners i an der Summe der Kongenere im Porenwasser des Feststoffes
- TEFi = Toxizitätsgewichtung des Kongeners i
- fti = Massenanteil des Kongeners i an der gesamten Masse
- Koc = Verteilungskoeffizient zw. organischem Kohlenstoff und Wasser (l/kg) eines Kongeners i
- foc = Anteil organischer Kohlenstoff an der Festphase
- W/F = Wasser/Feststoff-Verhältnis (kg/kg)
- pw = Dichte des Porenwassers (Annahme: 1 kg/l)

Der Feststoffgrenzwert FG wird gemäss Gleichung 4 hergeleitet (Gleichung 4 ist analog zu Gleichung 1).

Gleichung 4:

$$FG = \sum_i \left[f_{wTEQ i} \cdot \text{Konzentrationswert} \cdot (K_{oc i} \cdot f_{oc} + W/F \cdot 1/pw) \right]$$