

Zelglistrasse 23  
CH-5600 Lenzburg  
Tel +41 62 550 10 25  
[www.friedlipartner.ch](http://www.friedlipartner.ch)  
[info@friedlipartner.ch](mailto:info@friedlipartner.ch)

Auftraggeberin: Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau

## UNTERSUCHUNGSBERICHT

### Folgeuntersuchung PCDD/F-Belastung in Böden rund um die KVA Buchs



Projektleitung: Leonard Zourek  
Korreferat: Dr. Martin Hoffmann  
Projekt-Nr.: 22.074.2.03

Lenzburg, 7. Juni 2023

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>4</b>
1.1	Ausgangslage	4
1.2	Ausgeführte Arbeiten	5
1.3	Verwendete Unterlagen	5
<b>2</b>	<b>UNTERSUCHUNG</b>	<b>6</b>
2.1	Untersuchungskonzept	6
2.2	Probenahme	7
2.3	Laboranalytik	7
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>WEITERES VORGEHEN</b>	<b>10</b>

## **ANHANG**

Anhang 1	Liste Probenahmestandorte
Anhang 2	Pläne Probenahmestandorte
Anhang 3	Belastungspläne
Anhang 4	Fotodokumentation
Anhang 5	Prüfbericht EMPA

## **VERTEILER**

- Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau, Herr Thomas Muntwyler

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Ausgangslage

Ausgelöst durch das Bekanntwerden von Dioxine-belasteten Böden um die Kehrlichtverbrennungsanlage (KVA) von Lausanne im Sommer 2021 stellte sich die Frage, ob auch an weiteren Standorten in der Schweiz mit vergleichbaren Belastungen zu rechnen ist. Die Gefährdung durch Dioxine-Belastungen in Böden sollte daher auch rund um die drei KVA des Kantons Aargau (Buchs, Turgi und Oftringen) geprüft werden.

Dioxine-belastete Böden um KVAs

Die Abteilung für Umwelt (AfU) des Kantons Aargau beauftragte die FRIEDLIPARTNER AG mit der Untersuchung der Gehalte an polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen (PCDD/F) sowie dioxinähnlichen polychlorierten Biphenylen (dl-PCB)<sup>1</sup> und der Schwermetalle Blei, Cadmium, Kupfer und Zink in Böden rund um die drei KVA.

Bisherige Untersuchung

Die durchgeführte Untersuchung [1] zeigte, dass im Wald nordöstlich der KVA Buchs an drei Probenahme­flächen PCDD/F-Gehalte von über 20 ng I-TEQ / kg vorliegen, darunter auf einer Fläche bei einem Waldspielplatz. Der Wert von 20 ng I-TEQ / kg entspricht den Prüfwerten für Nutzungen mit direkter Bodenaufnahme, Nahrungspflanzenanbau sowie Futterpflanzenanbau gemäss Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö). Bei Gehalten über dem Prüfwert kann eine Gefährdung für Menschen, Tiere oder Pflanzen durch die Bodenbelastung bestehen.

Andererseits entspricht der Wert von 20 ng WHO<sub>05</sub>-TEQ / kg dem vorgeschlagenen Konzentrationswert nach Anhang 3 Ziffer 2 AltIV, welcher bereits für belastete Standorte in den Kantonen Waadt und Wallis [2] im Einzelfall festgelegt wurde.

Um die Ausdehnung des Bereiches mit Bodenbelastungen über 20 ng I-TEQ / kg zu ermitteln, beauftragte die AfU des Kantons Aargau die FRIEDLIPARTNER AG zunächst mit der Erarbeitung eines Untersuchungskonzepts [3] für die Folgeuntersuchung und anschliessend mit der Ausführung der Untersuchung gemäss diesem Konzept.

Auftrag

Der vorliegende Bericht beschreibt und beurteilt die Ergebnisse dieser Folgeuntersuchung und gibt Vorschläge für das weitere Vorgehen.

Inhalt Bericht

---

<sup>1</sup> In folgendem Bericht wird der Begriff "Dioxine" verwendet, um die Gesamtheit der PCDD/F zu bezeichnen.

## 1.2 Ausgeführte Arbeiten

FRIEDLIPARTNER AG, Zürich:

- Prüfen sensibler Nutzungen im Wald: Recherche in den Gemeinden Hunzenschwil, Rapperswil, Suhr
- Entnahme von 9 Bodenproben gemäss Konzept Folgeuntersuchung [3], Einweisen der Proben ins Labor
- Auswerten und Interpretieren der Messwerte
- Identifikation weiteren Handlungsbedarfs
- Erstellen des vorliegenden Berichts

Drittleistungen:

- Vorbereitung von 9 Boden-Proben gemäss VBBo durch die Niutec AG, Winterthur
- Chemische Untersuchung von 9 Boden-Proben durch die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Dübendorf

## 1.3 Verwendete Unterlagen

- [1] Untersuchung PCDD/F-Belastung in Böden um KVA im Kanton Aargau. Untersuchungsbericht. Bericht FRIEDLIPARTNER AG vom 12. September 2022.
- [2] Bundesamt für Umwelt (BAFU): Konzentrationswerte für Stoffe, die nicht in Anhang 1 oder 3 AltIV enthalten sind, Stand vom 10.11.2022
- [3] Untersuchung PCDD/F um KVA im Kanton Aargau, Konzept Folgeuntersuchung um die KVA Buchs. Untersuchungskonzept FRIEDLIPARTNER AG vom 20. Dezember 2022
- [4] Kehrlichtverbrennungsanlagen des Kantons Aargau. Bestimmung potentiell belasteter Gebiete in der Umgebung. Bericht ecolot GmbH vom März 2022.
- [5] Handbuch Probenahme und Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden. BAFU, 2003.
- [6] Wegleitung: Bestimmung von polychlorierten Dioxinen und Furanen in Böden. BAFU, 2001.
- [7] Handbuch Gefährdungsabschätzung und Massnahmen bei schadstoffbelasteten Böden, BUWAL, 2005.

## 2 UNTERSUCHUNG

### 2.1 Untersuchungskonzept

Die Modellierung der Immissionswahrscheinlichkeiten [4] wurde auch bei der Positionierung der Probenahmeflächen für die Folgeuntersuchung genutzt, um Bereiche zu identifizieren, in welchen erhöhte PCDD/F-Gehalte zu erwarten wären. Auf Wunsch der AfU des Kantons Aargau konzentriert sich die Untersuchung auf den Bereich rund um den Waldspielplatz bei Rapperswil (Fläche B.B05 [1]) und auf Bereiche weiterer sensibler Nutzungen im Wald.

Für die Auswahl der Probenahmeflächen galten im Weiteren folgende Grundsätze:

- Ausschluss von Flächen, welche anderweitig mit PCDD/F belastet sein könnten (Einträge im Kataster der belasteten Standorte (KbS) bzw. Prüfperimeter Bodenaushub (PBA))
- Ausschluss von Flächen, welche rekultiviert wurden oder in denen der Boden seit Inbetriebnahme der KVA ersetzt wurde (Meliorationen, Terrainveränderungen, etc.). Quellen: Verzeichnis Aufwertung Fruchtfolgeflächen, Prüfung alte Luftbilder und -Landeskarten
- Möglichst vollständige Anordnung der Proben in Transekten, um Konzentrationsgradienten sichtbar zu machen
- Berücksichtigung bereits vorhandener Daten aus der Hauptuntersuchung [1], um eine optimale Abdeckung des Untersuchungsgebiets sicherzustellen.

Die Tabellen in Anhang 1 und die Pläne in Anhang 2 geben Details zur Lage der Probenahmestandorte (Koordinaten, Parzellenummer, Gemeinde), zu den Ergebnissen der Ausbreitungsmodellierung [4] sowie zur Lage der Probenahmestandorte der Hauptuntersuchung [1] wieder. Die Fotodokumentation in Anhang 4 gibt einen Eindruck von Lage und Nutzung an den Probenahmestandorten.

Lage  
 Probenahmestandorte

Zur Eingrenzung des Belastungsperimeters rund um den Waldspielplatz (Fläche B.B05, vgl. [1]) - insbesondere gegen das Siedlungsgebiet von Rapperswil hin - wurden die Flächen B.F01 bis B.F07 beprobt. Dabei sollen die Flächen B.F05 und B.F06 (Dauergrünland im Siedlungsgebiet) in etwa die Belastung der umliegenden Privatgärten widerspiegeln.

Die Flächen B.F08 und B.F09 befinden sich im Bereich eines Treffpunktes einer Waldspielgruppe, welcher in der Hauptuntersuchung noch nicht beprobt wurde [1]. Fläche B.F08 befindet sich auf einem Plateau, zwischen einem Tipi und einem Unterstand. Fläche B.F09 befindet sich an einem steileren Hang, welcher gemäss Fotos auf der Website der Kinderspielgruppe von Kindern zum Spielen genutzt wird.

## 2.2 Probenahme

Die Probenahme erfolgte gemäss BUWAL-Handbuch Probenahme [5]. Die Standortkoordinate aus dem Untersuchungskonzept wurde mittels GPS eingemessen und als Mittelpunkt einer 10 m x 10 m grossen Probenahme-fläche definiert. Die Fläche wurde mit einem Massband ausgemessen und mit Weidezaun-pfählen markiert. Mittels Hohlmeisselbohrern wurden jeweils 25 Einzelproben systematisch verteilt [5] entnommen und zu einer Flächenprobe vereinigt.

Die Probenahmetiefe wurden, der VBBo entsprechend, der Nutzung angepasst. Bei Böden mit möglicher direkter Bodenaufnahme (Kinderspielplätze, Hausgärten etc.) wurde die Schicht von 0 – 0.05 m ab Oberkante des Terrains (OKT) und bei Böden mit land- oder forstwirtschaftlicher Nutzung die Schicht 0 – 0.2 m ab OKT beprobt. Bei Flächen mit Probenahmetiefe 0-0.05m wurde die Anzahl Hohlmeissel-Einstiche auf ca. 40 erhöht, um eine ausreichende Menge an Probenmaterial sicherzustellen.

Die Position der Probenahmestandorte wurde gegenüber dem Untersuchungs-konzept [3] nicht verändert. Neu hinzu kamen die beiden Standorte B.F08 und B.F09 rund um den Standort einer Waldspielgruppe (vgl. Kapitel 2.1).

## 2.3 Laboranalytik

Die Proben wurden zum Analytiklabor der Niutec AG, Winterthur transportiert und dort gemäss Anhang 1 Ziffer 2 Absatz 4 der *Verordnung über Belastungen des Bodens* (VBBo) vorbereitet. Eine Teilmenge der vorbereiteten Proben wurde durch die Niutec AG ins Labor der EMPA geschickt. Probenvorbereitung

Die Bestimmung der Gehalte an PCDD/F, dl-PCB sowie PCB (=i-PCB) erfolgte gemäss BAFU-Wegleitung [6] mittels Soxhlet-Extraktion. Messmethoden

Nach Abschluss der Analysen sendete die Niutec AG eine Teilmenge der vorbereiteten Bodenproben ins Probenarchiv der Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau. Archivproben

### 3 ERGEBNISSE

Zur Ermittlung der Belastungskategorie des vorhandenen Bodens werden die Schadstoffgehalte der Bodenproben (siehe Analysenbericht in Anhang 5) in Tabelle 1 mit den Grenzwerten der VBBo verglichen. Gemäss VBBo werden zur Ermittlung der Bodenbelastung bzgl. PCDD/F die PCDD/F-Gehalte gewichtet nach Toxizitätsäquivalente des Internationalen Modells bezogen auf 2,3,7,8-TCDD (I-TEQ, exkl. Bestimmungsgrenze; vgl. Analysenbericht in Anhang 5) angewendet.

Tabelle 1: Schadstoffgehalte und Klassierung der Bodenproben

Probe	PCDD/F [ng I-TEQ / kg]	Nutzung
B.F01	26	Wald
B.F02	5.7	Ackerbau / Kunstwiese
B.F03	12	Dauergrünland
B.F04	8.9	Ackerbau / Kunstwiese
B.F05	13	Dauergrünland im Siedlungsgebiet
B.F06	13	Dauergrünland bei Bauernhof nahe Siedlungsgebiet
B.F07	5.2	Ackerbau / Kunstwiese
B.F08	38	Wald (genutzt durch Spielgruppe)
B.F09	16	Wald (genutzt durch Spielgruppe)
<b>VBBo-Richtwert</b>	<b>5</b>	
<b>VBBo-Prüfwert</b>	<b>20</b>	
<b>VBBo-Sanierungswerte</b>	<b>100</b> (Kinderspielplätze, Haus- und Familiengärten) <b>bzw. 1'000</b> (Landwirtschaft und Gartenbau)	

Schadstoffgehalt > VBBo-Richtwert und < VBBo-Prüfwert

Schadstoffgehalt > VBBo-Prüfwert und < VBBo-Sanierungswert

Für die 9 untersuchten Proben ergaben sich folgende Analysenergebnisse bzgl. PCDD/F (vgl. Tabelle 1):

- In 7 Proben lagen die Gehalte zwischen dem VBBo-Richtwert und dem Prüfwert von 20 ng I-TEQ / kg (für Pflanzenanbau 0-20 cm bzw. für direkte Bodenaufnahme 0-5 cm).
- In 2 Proben lagen die Gehalte über dem VBBo-Prüfwert.
- Der VBBo-Sanierungswert von 100 ng I-TEQ / kg (für Haus- und Familiengärten 0-20 cm bzw. Kinderspielplätze 0-5 cm) bzw. 1'000 ng I-TEQ / kg (für Landwirtschaft und Gartenbau 0-20 cm) wurden in keiner Probe überschritten.

In allen Proben wurden nur geringe Gehalte (max. 2.9 ng WHO-TEQ / kg) an di-PCB dioxinähnlichen PCB festgestellt. Die Berücksichtigung der di-PCB (und damit einhergehend die Verwendung der Toxizitätsäquivalenzfaktoren der WHO aus 2005) würde in keiner Probe zu einer Änderung der Belastungskategorie führen.

Die Pläne in Anhang 3 zeigen, dass sich die Proben mit PCDD/F-Gehalten über dem Prüfwert auf den Wald beschränken. Dies ist vermutlich durch den Auskämmeffekt des Waldes zu erklären, welcher durch die Blatt-/Nadeloberfläche zu einer stärkeren Deposition der Schadstoffe führt (vgl. [1]).

Die beiden Flächen B.F08 und B.F09 weisen, trotz geringem Abstand, sehr unterschiedliche PCDD/F-Gehalte auf (38 und 16 ng I-TEQ/kg). Hierbei kann Probe B.F08 als "Regelfall" betrachtet werden (intakter Waldboden auf Plateau). Probe B.F09 ist hingegen die "Ausnahme": sie liegt an einem Hang, auf welchem die Erosionsrate erhöht ist (s. Fotodokumentation in Anhang 4). Dieser natürliche Effekt wird durch die regelmässig dort spielenden Kinder noch verstärkt. Somit kann davon ausgegangen werden, dass am Standort B.F09 nicht mehr die gesamte belastete Bodenschicht vorhanden ist.

## 4 WEITERES VORGEHEN

Sind in einem Gebiet die VBBo-Prüfwerte überschritten, so prüfen die Kantone, ob die Belastung des Bodens Menschen, Tiere oder Pflanzen konkret gefährdet [7] und schränken die Nutzung des Bodens so weit ein, dass eine allfällige Gefährdung nicht mehr besteht.

Gefährdungs-  
abschätzung

Diese Gefährdungsabschätzung wäre für den Waldspielplatz in Rapperswil (Probe B.B05) und den Treffpunkt der Waldspielgruppe (Probe B.F08) durchzuführen.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Wald nordöstlich der KVA Buchs zwischen den Probenahmestandorten B.B02, B.B03, B.F08, B.F01 und B.B05 zusammenhängend und durchgehend PCDD/F-Gehalte > 20 ng I-TEQ/kg aufweist. Bei allfälligen zukünftigen Nutzungsänderungen in diesem Gebiet ist auf die dort vorherrschende Bodenbelastung zu achten und ggf. Massnahmen zur Gefahrenabwehr zu treffen.

Flächige Prüfwert-  
überschreitung im Wald

Da die festgestellten Bodenbelastungen mit PCDD/F mutmasslich vom Betrieb der KVA stammen und eine begrenzte Ausdehnung aufweisen, muss die Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau, nach Herleitung und Festlegen eines einzelfallspezifischen Konzentrationswertes nach Anhang 3 Ziffer 2 AltIV beurteilen, ob ein oder mehrere belastete Standorte gemäss Altlasten-Verordnung (AltIV) vorliegen.

Altlastenrechtliche  
Konsequenzen

Wir empfehlen der Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau, die im Rahmen der Haupt- und Folgeuntersuchung identifizierten Gebiete mit PCDD/F-Gehalten über dem VBBo-Richtwert in den Prüfperimeter Bodenaushub (PBA) einzutragen, damit die PCDD/F-Belastung des Bodens im Fall von Bodenverschiebungen berücksichtigt wird.

Bereiche > Richtwert in  
PBA eintragen

## 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 unbekanntem 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.

Lenzburg, 7. Juni 2023



Leonard Zourek  
MSc ETH Umwelt-Natw.

Projektleiter



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

Bereichsleiter Altlasten

# ANHANG

Anhang 1	Liste Probenahmestandorte
Anhang 2	Pläne Probenahmestandorte
Anhang 3	Belastungspläne
Anhang 4	Fotodokumentation
Anhang 5	Prüfbericht EMPA

# ANHANG 1

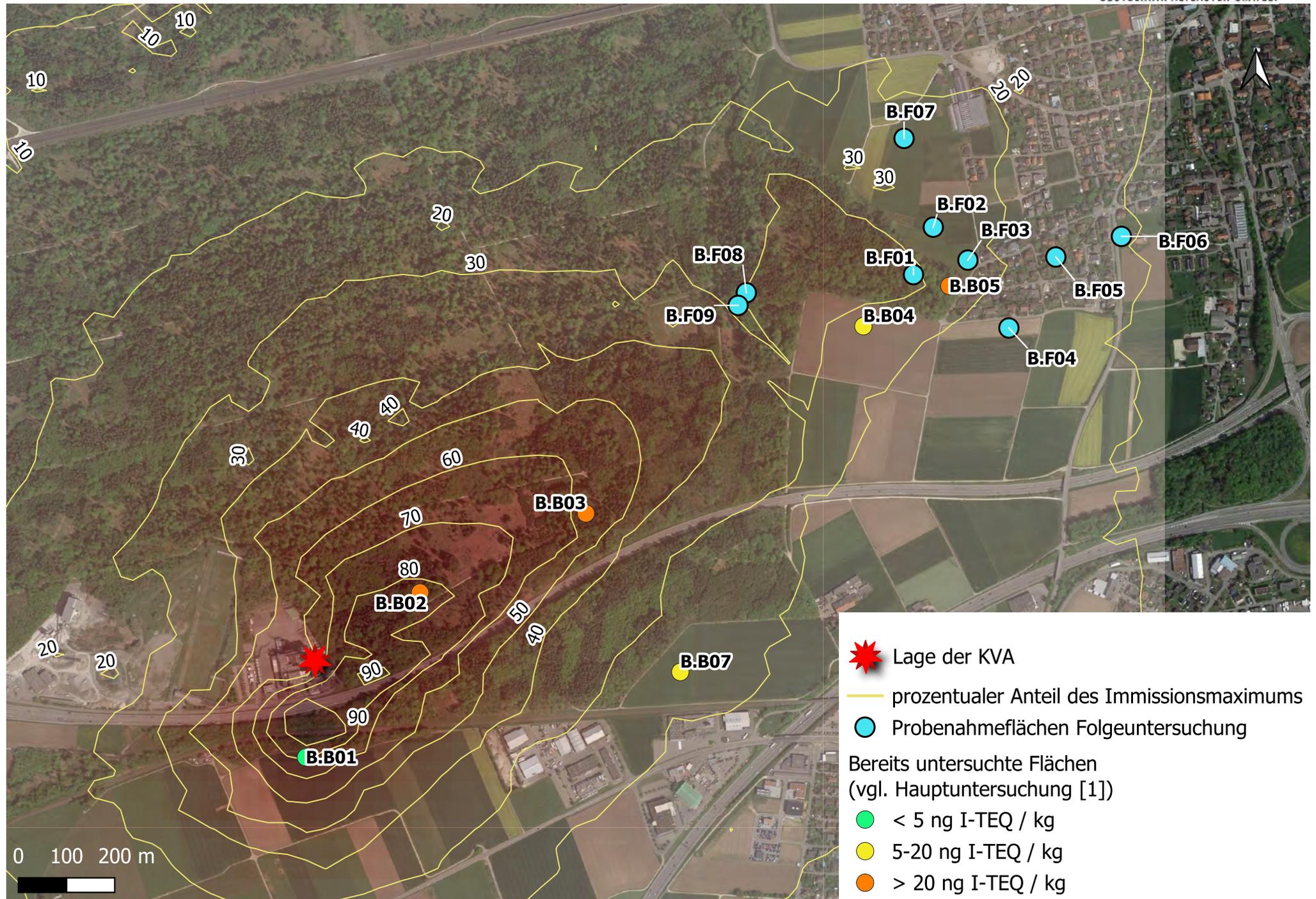
Liste Probenahmestandorte

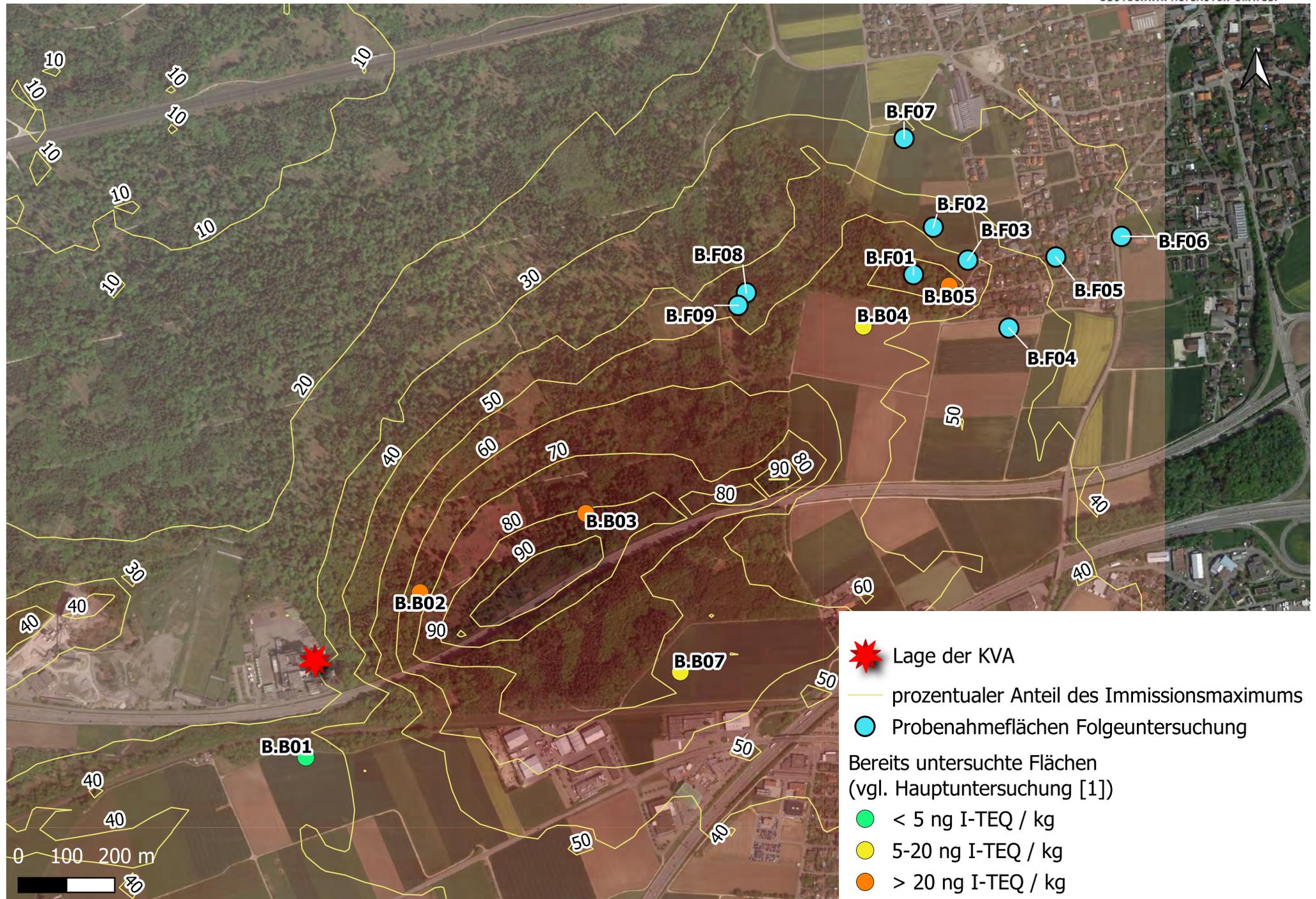
**Probenahmestellen rund um die KVA Buchs**

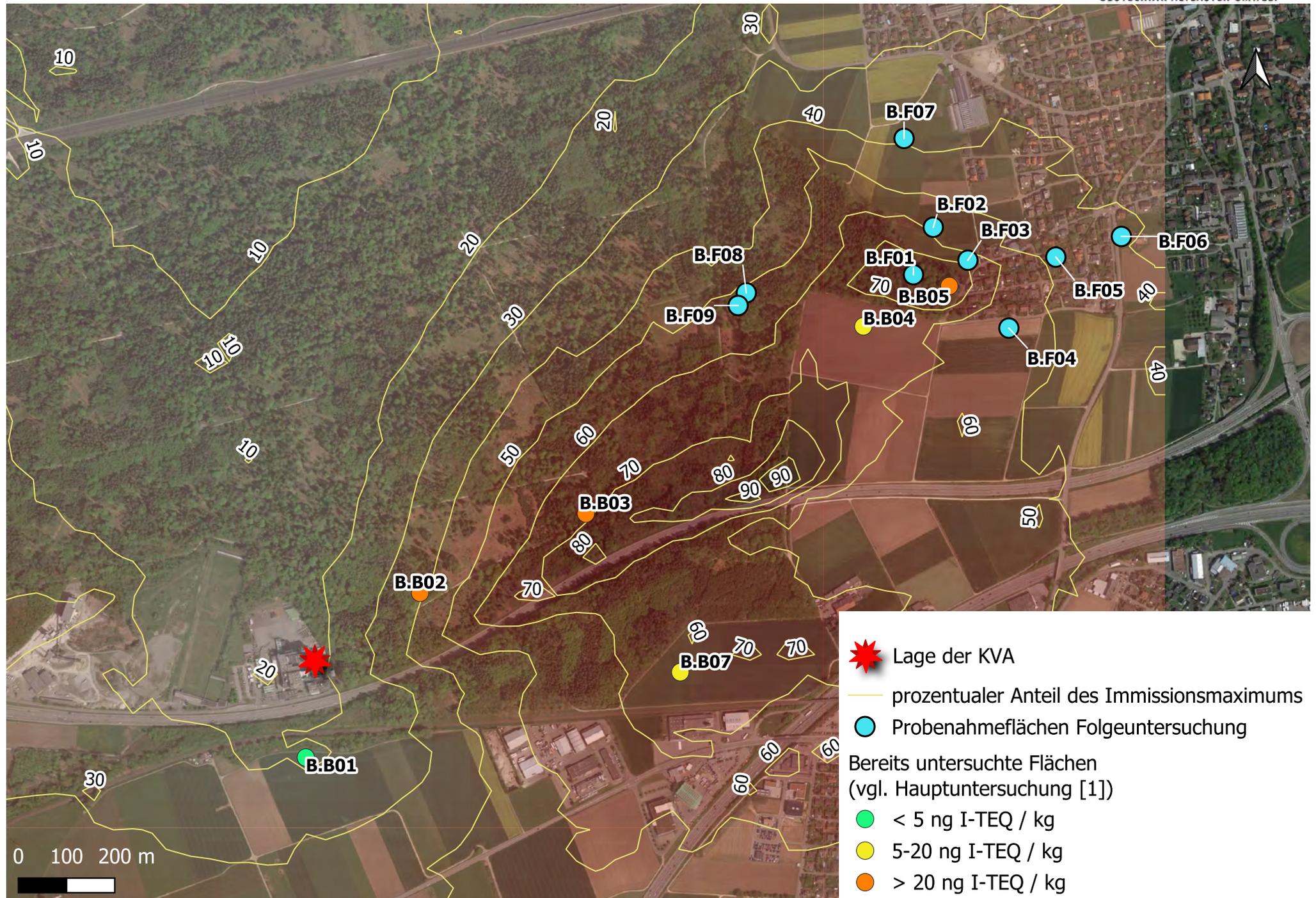
Proben-ID	Nutzung	Parzelle	Gemeinde	X	Y	Probenahmetiefe (cm)
B.F01	Wald	1130	Rapperswil	2651480	1249681	20
B.F02	Acker / Kunstwiese	980	Rapperswil	2651521	1249779	20
B.F03	Dauergrünland	981	Rapperswil	2651593	1249711	20
B.F04	Acker / Kunstwiese	1768	Rapperswil	2651678	1249572	20
B.F05	Dauergrünland im Siedlungsgebiet	2029	Rapperswil	2651775	1249718	5
B.F06	Dauergrünland bei Bauernhof nahe Siedlungsgebiet	1845	Rapperswil	2651911	1249760	5
B.F07	Acker / Kunstwiese	976	Rapperswil	2651460	1249962	20
B.F08	Wald (genutzt durch Spielgruppe)	1130	Rapperswil	2651133	1249644	5
B.F09	Wald (genutzt durch Spielgruppe)	1130	Rapperswil	2651116	1249618	5

## **ANHANG 2**

Pläne Probenahmestandorte

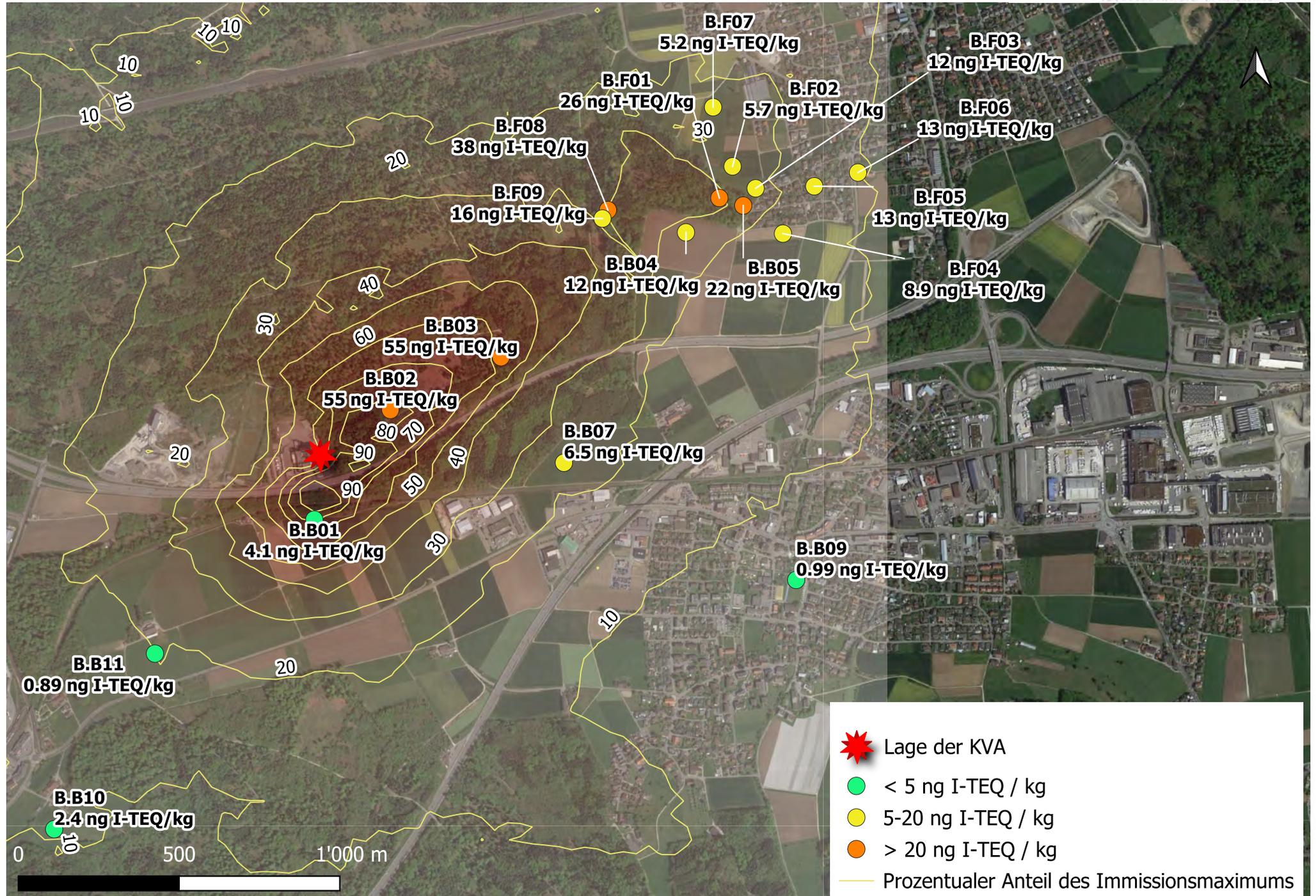


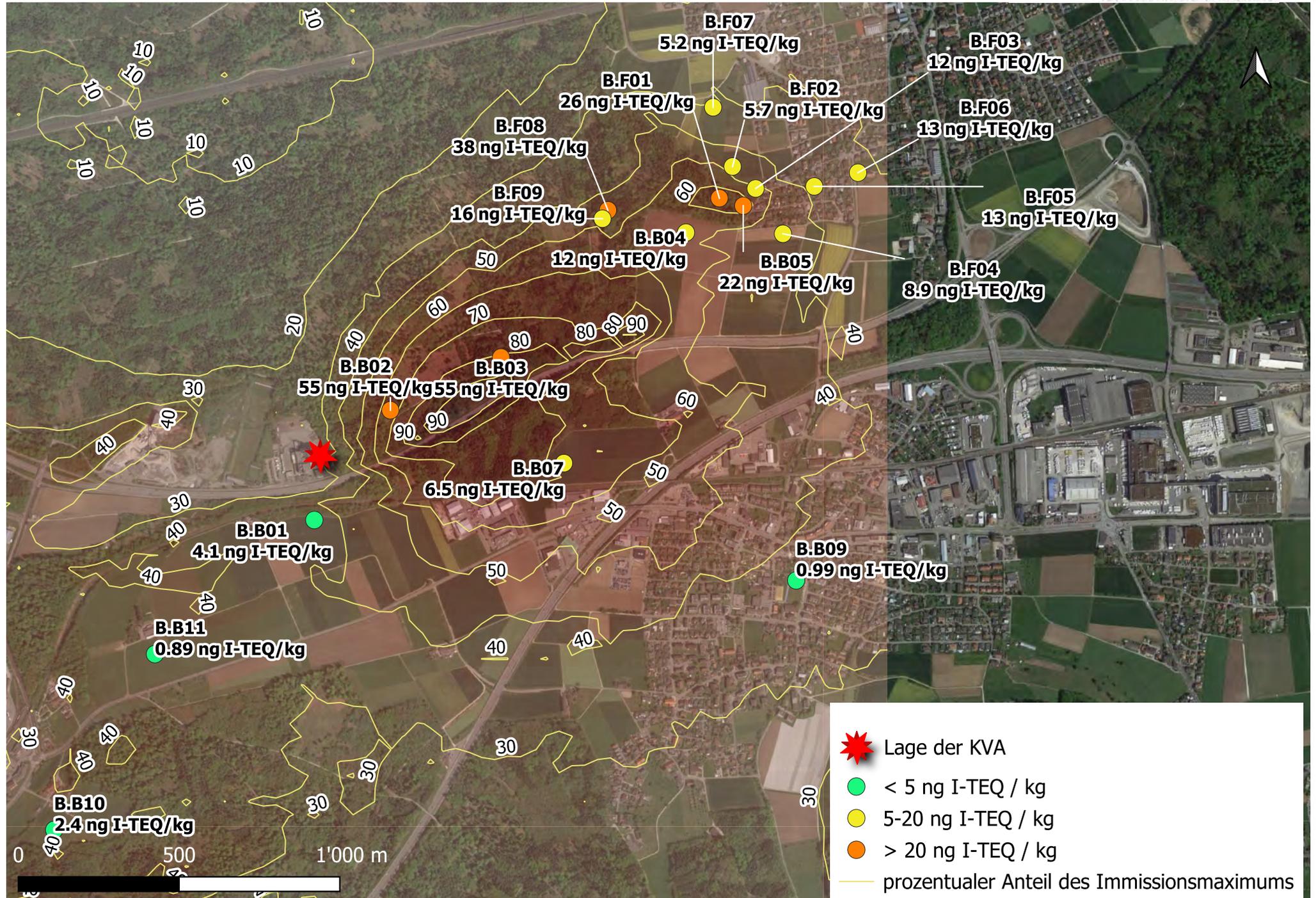


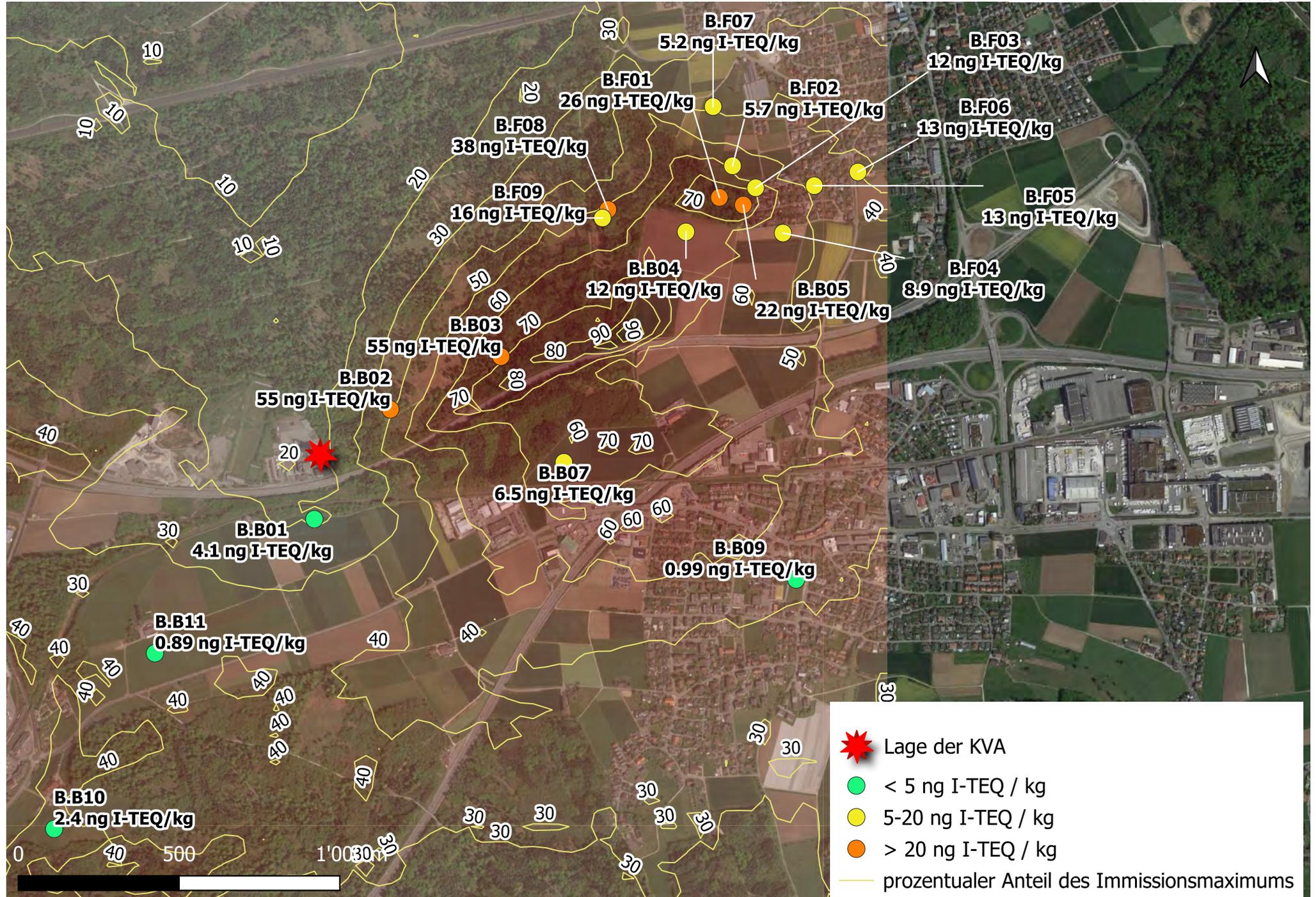


# **ANHANG 3**

Belastungspläne







# **ANHANG 4**

Fotodokumentation



Probe Nr.: B.F01  
Gemeinde: Rapperswil  
Nutzung: Wald  
PCDD/F 26 ng I-TEQ / kg



Probe Nr.: B.F02  
Gemeinde: Rapperswil  
Nutzung: Ackerbau / Kunstwiese  
PCDD/F 5.7 ng I-TEQ / kg



Probe Nr.: B.F03  
Gemeinde: Rapperswil  
Nutzung: Dauergrünland  
PCDD/F 12 ng I-TEQ / kg



Probe Nr.: B.F04  
Gemeinde: Rapperswil  
Nutzung: Ackerbau / Kunstwiese  
PCDD/F 8.9 ng I-TEQ / kg



Probe Nr.: B.F05  
Gemeinde: Rapperswil  
Nutzung: Dauergrünland im Siedlungsgebiet  
PCDD/F 13 ng I-TEQ / kg



Probe Nr.: B.F06  
Gemeinde: Rapperswil  
Nutzung: Dauergrünland bei Bauernhof nahe Siedlungsgebiet  
PCDD/F 13 ng I-TEQ / kg



Probe Nr.: B.F07  
Gemeinde: Rapperswil  
Nutzung: Ackerbau / Kunstwiese  
PCDD/F 5.2 ng I-TEQ / kg



Probe Nr.: B.F08  
Gemeinde: Rapperswil  
Nutzung: Wald (genutzt durch Spielgruppe)  
PCDD/F 38 ng I-TEQ / kg



Probe Nr.: B.F09  
Gemeinde: Rapperswil  
Nutzung: Wald (genutzt durch Spielgruppe)  
PCDD/F 16 ng I-TEQ / kg

# **ANHANG 5**

Prüfbericht EMPA

Herr  
Leonard Zourek  
Friedlipartner AG  
Nansenstrasse 5  
8050 Zürich

## Prüfbericht Nr. 5214031853

<b>Projektauftrag:</b>	<b>Quantitative Bestimmung von polychlorierten Dibenzo-<i>p</i>-dioxinen (PCDD), polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF), und polychlorierten Biphenylen (PCB) in Bodenproben mittels GC-HRMS</b>
Auftraggeber:	Friedlipartner AG
Prüfobjekte:	9 Bodenproben KVA Buchs (Proben B.F01-B.F09)
Kundenreferenz:	Leonard Zourek
Ihr Auftrag vom:	9. März 2023
Eingang der Prüfobjekte:	11. April 2023
Ausführung der Prüfung:	11. April bis 5. Mai 2023
Anzahl Seiten:	-13-
Beilagen:	Rechnung

---

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt  
Dübendorf, 16. Mai 2023

Prüfleiter:  
Markus Zennegg

Abteilungsleiter:  
PD Dr. Davide Bleiner

## 1 Prüfobjekte

Am 11. April 2023 wurden total 9 Bodenproben aus dem Kanton AG, der Empa, Abteilung Advanced Analytical Technologies per Post überbracht. Je Probe wurden rund 500g vorbereiteter Boden zur Analyse geliefert. Die Vorbereitung der Bodenproben erfolgte durch die Firma Niutec (Labor für Industrie und Umwelt, Oberwinterthur). Angaben zu den Probenbezeichnungen können der Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Probenbezeichnungen gemäss dem Auftraggeber und Empa-interne Nummerierung

Niutec-Nr:	Proben-ID:	Tiefe in cm:	Empa-Int. Nr.:
23.0412_001	B.F01	0 – 20	12523
23.0412_002	B.F02	0 – 20	12623
23.0412_003	B.F03	0 – 20	12723
23.0412_004	B.F04	0 – 20	12823
23.0412_005	B.F05	0 – 5	12923
23.0412_006	B.F06	0 – 5	13023
23.0412_007	B.F07	0 – 20	13123
23.0412_008	B.F08	0 – 5	13223
23.0412_009	B.F09	0 – 5	13323

## 2 Probenaufarbeitung

### 2.1 Extraktion

Jeweils 100g der getrockneten und gesiebten Bodenprobe wurden in einer Wolframcarbid-Schwingmühle für 30 Sekunden fein gemahlen. Von der gemahlene Probe wurden 20 bis 25 Gramm zur Extraktion, in eine vorextrahierte Cellulosehülle, eingewogen. Die Extraktion erfolgte mit Toluol, während 24 Stunden (>200 Zyklen), in einer Soxhletapparatur. Als interne Standards wurden  $^{13}\text{C}_{12}$  isotopenmarkierte PCDD/F, i-PCB und dl-PCB Kongenerenmischungen zudosiert, deren Zusammensetzung ist im Abschnitt 3 beschrieben.

### 2.2 Probenaufreinigung der PCDD/F und PCB

Nach beendeter Extraktion wurde der Toluolextrakt am Rotationsverdampfer bei 70 mbar und 50°C bis auf 1 mL aufkonzentriert. Nach Zugabe von rund 5 mL n-Hexan erfolgte die chromatographische Reinigung und Fraktionierung an vier verschiedenen Festphasen die seriel verbunden waren (1. saures Kieselgel, 2. basisches Kieselgel; 3. Aktivkohle, 4. basisches Aluminiumoxid). Dieser Schritt erfolgte auf dem Probenaufreinigungssystem EZprep der Firma FMS. Hierbei wurden zwei Fraktionen erhalten (F1 mit den i-PCB und acht dl-PCB; F2 mit den PCDD/F und vier dl-PCB). Die beiden Fraktionen wurden am Rotationsverdampfer bis auf ca. 1 mL aufkonzentriert und danach unter Begasung mit Stickstoff auf ca. 30 µL eingengt. Nach Zugabe der  $^{13}\text{C}_{12}$  isotopenmarkierten Recoverystandards (siehe Abschnitt 3) erfolgte die quantitative Bestimmung der PCDD/F, i-PCB und dl-PCB mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS). Die Messung der PCB erfolgte auf auf einem Q-Exactive Orbitrap GC-HRMS im hochaufgelösten Fullscan bei

einer Massenauflösung von 60'000 und einer Massengenauigkeit von 1 ppm (!). Die PCDD/F wurden auf dem sehr nachweisstarken APGC Xevo TQ-XS von Waters im Tochterionen-Scan (MS/MS) bestimmt.

### 3 Zur Quantifizierung und Kalibration verwendete Standards

#### 3.1 Referenzmaterialien PCDD/F und PCB

Kalibrationsstandard:	Mischung aller 2,3,7,8-chlorsubstituierten PCDD und PCDF (EDF-7999, Precision and Recovery Standard, Cambridge Isotope Laboratories) Mischung der PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189 (C-WHO-01, Accu Standards Inc.) Mischung der PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (AE-00059, Accu Standards Inc.)
Wiederfindungsstandard:	$^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,7,8-TetraCDF (EF-1438, Cambridge Isotope Laboratories) $^{13}\text{C}_{12}$ -PCB 70 (EC-4914, Cambridge Isotope Laboratories)
Interner Standard:	Mischung aller 17 $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkierten 2,3,7,8-chlorsubstituierten PCDD und PCDF (DF-LCS-C, Wellington Laboratories) Mischung der $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkierten PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189 (WP-LCS, Wellington Laboratories) Mischung der $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkierten PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (EC 4058, Cambridge Isotope Laboratories)

### 4 Eingesetzte Prüfmittel und Prüfbedingungen

#### 4.1 Prüfmittel PCDD/F

Gaschromatograph:	Agilent 7890B mit Autosampler Agilent 7693A
Kapillarsäule PCDD/Fs:	Restek Rtx-Dioxin2 60m x 0.25mm dia x 0.25 $\mu\text{m}$ Film
Massenspektrometer:	Waters Xevo TQ-XS APGC v2.0

#### 4.2 Prüfbedingungen PCDD/F

Trägergas:	Helium, 1.4 ml/min.
Injektion:	1 $\mu\text{L}$ splitlos
Temperaturprogramm:	100°C (1 min), 20°C $\text{min}^{-1}$ bis 220°C, 3°C $\text{min}^{-1}$ bis 300°C (20 min)
Quellentemperatur:	150°C
Ionisierung:	APGC Corona Pin 2 $\mu\text{A}$ , Charge Transfer, positive Ionen
Elektronenenergie:	20 eV
Massenauflösung:	Einheitsauflösung
MS-MS Detektion:	Es wurde jeweils die beiden häufigsten Isotopenkombinationen der nativen und $^{13}\text{C}_{12}$ -markierten PCDD/F im Tochterionen-Scan (MS-MS) detektiert (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Selektierte und detektierte m/z-Werte der PCDD/F (Mutterion und Tochterion)

PCDD/F	nativ		<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -markiert	
	m/z	m/z	m/z	m/z
TeCDF Mutterion	303.9000	305.9000	315.9400	317.9400
TeCDF Tochterion	240.9400	242.9300	251.9700	253.9700
TeCDD Mutterion	319.9000	321.8900	331.9400	333.9300
TeCDD Tochterion	256.9300	258.9300	267.9700	269.9700
PeCDF Mutterion	337.8600	339.8600	349.9000	351.9000
PeCDF Tochterion	274.9000	276.9000	285.9400	287.9300
PeCDD Mutterion	353.8600	358.8600	365.9000	367.8900
PeCDD Tochterion	290.8900	292.8900	301.9300	303.9300
HxCDF Mutterion	373.8200	375.8200	385.8600	387.8600
HxCDF Tochterion	310.8600	312.8500	321.8900	323.8900
HxCDD Mutterion	389.8200	391.8100	401.8600	403.8500
HxCDD Tochterion	326.8500	328.8500	337.8900	339.8900
HpCDF Mutterion	407.7800	409.7800	419.8200	421.8200
HpCDF Tochterion	344.8200	346.8200	355.8500	357.8500
HpCDD Mutterion	423.7800	425.7800	435.8200	437.8100
HpCDD Tochterion	360.8100	362.8100	371.8500	373.8500
OCDF Mutterion	441.7400	443.400	453.7800	455.7800
OCDF Tochterion	378.7800	380.7800	389.8200	391.8100
OCDD Mutterion	457.7400	459.7300	469.7800	471.7800
OCDD Tochterion	394.7700	396.7700	405.8100	407.8100

### 4.3 Prüfmittel PCB

Gaschromatograph: Thermo Scientific Trace GC 1310 mit Autosampler TriPlus RSH  
 Kapillarsäule: 30m × 0.25 mm TG5-SilMS, Filmdicke 0.25 µm  
 Massenspektrometer: Q-Exactive Orbitrap GC/HRMS , ausgerüstet mit Systemsteuerungs- und Applikationssoftware Exactive Series 2.8 SP1, Xcalibur 4.0

### 4.4 Prüfbedingungen PCB

Trägergas: Helium, konstanter Fluss 1.5 ml min<sup>-1</sup>  
 Injektion: 1 µL splitlos bei 260°C  
 Temperaturprogramm: 100°C (1 min), 20°C min<sup>-1</sup> bis 180°C, 5°C min<sup>-1</sup> bis 300°C (6 min.)  
 Quelltemperatur: 250°C  
 Ionisierung: Elektronenstoss (EI), Detektion der positiven Ionen  
 Elektronenenergie: 70 eV  
 Massenauflösung: m/Δm = 60'000 (bei m/z 200, FWHH)  
 Einzelionendetektion: Es wurden jeweils die m/z-Werte zwischen 180 und 500 im hochauflösenden Fullscanmodus registriert und die beiden häufigsten Isotopenkombinationen der nativen und <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-markierten PCB im Molekülionencluster für die quantitative Auswertung verwendet (siehe Tabelle 3)

Tabelle 3: Gemessene m/z-Werte der PCB (Massengenauigkeit 1 ppm)

PCB	native		<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -labeled	
	m/z	m/z	m/z	m/z
TriCB	255.9608	257.9578	268.0010	269.9981
TeCB	289.9223	291.9148	301.9626	303.9597
PeCB	325.8805	327.8776	337.9207	339.9178
HxCB	359.8415	361.8386	371.8817	373.8789
HpCB	393.8025	395.7996	405.8428	407.8398

## 5. Zusammenfassung der Resultate

Die Resultate zu den PCDD/F, dl-PCB und i-PCB sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst. Die Konzentrationen sind in ng/kg Trockensubstanz (TS) aufgeführt. Rote und unterstrichene Werte entsprechen der Nachweisgrenze. Diese wurde als das 5-fache Untergrundrauschen definiert und berechnet. Summe I-TEQ<sub>max.</sub> oder WHO-TEQ<sub>max.</sub> = Upper bound (nicht nachgewiesene Kongenere werden mit der Nachweisgrenze in die Berechnung miteinbezogen). Summe I-TEQ<sub>min.</sub> oder WHO-TEQ<sub>min.</sub> = Lower bound (nur nachgewiesene Kongenere werden in die Berechnung miteinbezogen)

### 5.1 PCDD/F WHO-TEQ bzw. I-TEQ sowie dl-PCB WHO-TEQ in den Bodenproben

Tabelle 4: Resultate zu den WHO-TEQ<sub>min.</sub>, I-TEQ<sub>min.</sub>, sowie i-PCB in den Bodenproben in ng/kg TS

Proben-ID	PCDD/F	PCDD/F	dl-PCB	Total	Σ 6 i-PCB	Σ 7 i-PCB
	WHO-TEQ <sub>min</sub>	I-TEQ min	WHO-TEQ <sub>min</sub>	WHO-TEQ <sub>min</sub>		
B.F01	25.46	25.61	2.62	28.08	5265	5732
B.F02	5.80	5.72	0.37	6.17	2262	2473
B.F03	11.67	11.86	0.41	12.08	1104	1153
B.F04	9.20	8.89	0.82	10.01	3960	4385
B.F05	12.95	13.16	0.49	13.44	2219	2546
B.F06	12.93	12.93	0.63	13.56	1717	1850
B.F07	5.14	5.19	0.46	5.60	1928	2101
B.F08	37.68	37.74	2.90	40.58	8145	8607
B.F09	15.58	15.71	1.67	17.24	5078	5339

Σ 6 i-PCB = PCB 28, 52, 101, 138, 153 und 180 / Σ 7 i-PCB = PCB 28, 52, 101, 138, 153 und 180 plus dl-PCB 118

## 6. Detaillierte kongenerenspezifische Resultate zu den PCDD/F, dl-PCB und i-PCB

### 6.1 Detaillierte Resultate zu den Konzentrationen der PCDD/F in den Bodenproben

Tabelle 5: PCDD/F Konzentrationen in den Bodenproben in ng/kg TS

Proben-ID:	B.F01	B.F02	B.F03	B.F04	B.F05	B.F06	B.F07	B.F08	B.F09
Interne-Nr.:	12523	12623	12723	12823	12923	13023	13123	13223	13323
Niutec-Nr.:	23.0412_001	23.0412_002	23.0412_003	23.0412_004	23.0412_005	23.0412_006	23.0412_007	23.0412_008	23.0412_009
2,3,7,8-TCDD	0.64	0.10	0.16	0.18	0.17	0.19	0.11	0.83	0.38
1,2,3,7,8-PeCDD	4.9	1.2	2.0	2.0	2.1	2.3	0.91	7.7	3.1
1,2,3,4,7,8-HxCDD	8.3	2.3	4.2	3.3	4.9	3.9	1.5	14	5.0
1,2,3,6,7,8-HxCDD	24	6.4	13	11	13	15	4.6	37	15
1,2,3,7,8,9-HxCDD	18	3.9	10	6.4	12	10	4.2	24	10
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	376	101	201	144	261	231	89	544	196
OCDD	1002	259	505	355	513	602	202	1561	579
2,3,7,8-TCDF	6.1	0.74	1.1	1.2	1.0	1.8	1.0	8.3	3.4
1,2,3,7,8-PeCDF	6.4	0.97	2.0	1.5	1.6	2.5	1.1	9.6	3.9
2,3,4,7,8-PeCDF	8.3	1.5	3.6	1.9	4.1	3.1	1.6	12	5.8
1,2,3,4,7,8-HxCDF	9.7	2.1	4.4	3.2	4.7	4.8	1.8	14	6.1
1,2,3,6,7,8-HxCDF	16	3.0	5.3	5.0	5.5	6.1	2.9	19	8.4
1,2,3,7,8,9-HxCDF	6.0	1.1	2.0	1.8	3.1	2.7	1.2	6.8	3.2
2,3,4,6,7,8-HxCDF	30	5.6	16	11	14	17	6.4	50	21
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	118	34	53	43	66	60	27	160	71
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	17	3.7	7.0	7.0	11	10	3.4	25	8.7
OCDF	143	36	66	58	77	89	31	232	67

## 6.2 Detaillierte Resultate zum PCDD/F WHO-TEQ in den Bodenproben

Tabelle 6: PCDD/F WHO-TEQ<sub>2005</sub> in den Bodenproben in ng/kg TS (Summenwert auf zwei signifikante Stellen gerundet)

Proben-ID:	B.F01	B.F02	B.F03	B.F04	B.F05	B.F06	B.F07	B.F08	B.F09
Interne-Nr.:	12523	12623	12723	12823	12923	13023	13123	13223	13323
Niutec-Nr.:	23.0412_001	23.0412_002	23.0412_003	23.0412_004	23.0412_005	23.0412_006	23.0412_007	23.0412_008	23.0412_009
2,3,7,8-TCDD	0.64	0.10	0.16	0.18	0.17	0.19	0.11	0.83	0.38
1,2,3,7,8-PeCDD	4.9	1.2	2.0	2.0	2.1	2.3	0.91	7.7	3.1
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.83	0.23	0.42	0.33	0.49	0.39	0.15	1.4	0.50
1,2,3,6,7,8-HxCDD	2.4	0.64	1.3	1.1	1.3	1.5	0.46	3.7	1.5
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1.8	0.39	1.0	0.64	1.2	1.0	0.42	2.4	1.0
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	3.8	1.0	2.0	1.4	2.6	2.3	0.89	5.4	2.0
OCDD	0.30	0.078	0.15	0.11	0.15	0.18	0.061	0.47	0.17
2,3,7,8-TCDF	0.61	0.074	0.11	0.12	0.10	0.18	0.10	0.83	0.34
1,2,3,7,8-PeCDF	0.19	0.029	0.06	0.05	0.048	0.076	0.034	0.29	0.12
2,3,4,7,8-PeCDF	2.5	0.46	1.1	0.56	1.2	0.93	0.48	3.7	1.7
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.97	0.21	0.44	0.32	0.47	0.48	0.18	1.4	0.61
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1.6	0.30	0.53	0.50	0.55	0.61	0.29	1.9	0.84
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.60	0.11	0.20	0.18	0.31	0.27	0.12	0.68	0.32
2,3,4,6,7,8-HxCDF	3.0	0.56	1.6	1.1	1.4	1.7	0.64	5.0	2.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	1.2	0.34	0.53	0.43	0.66	0.60	0.27	1.6	0.71
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.17	0.037	0.070	0.070	0.11	0.10	0.034	0.25	0.087
OCDF	0.043	0.011	0.020	0.017	0.023	0.027	0.0092	0.070	0.020
<b>Σ WHO-TEQmax. (PCDD/PCDF)</b>	<b>25</b>	<b>5.8</b>	<b>12</b>	<b>9.2</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>5.1</b>	<b>38</b>	<b>16</b>
<b>Σ WHO-TEQmin. (PCDD/PCDF)</b>	<b>25</b>	<b>5.8</b>	<b>12</b>	<b>9.2</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>5.1</b>	<b>38</b>	<b>16</b>

### 6.3 Detaillierte Resultate zum PCDD/F I-TEQ in den Bodenproben

Tabelle 7: PCDD/F I-TEQ in den Bodenproben in ng/kg TS (Summenwert auf zwei signifikante Stellen gerundet)

Proben-ID:	B.F01	B.F02	B.F03	B.F04	B.F05	B.F06	B.F07	B.F08	B.F09
Interne-Nr.:	12523	12623	12723	12823	12923	13023	13123	13223	13323
Niutec-Nr.:	23.0412_001	23.0412_002	23.0412_003	23.0412_004	23.0412_005	23.0412_006	23.0412_007	23.0412_008	23.0412_009
2,3,7,8-TCDD	0.64	0.10	0.16	0.18	0.17	0.19	0.11	0.83	0.38
1,2,3,7,8-PeCDD	2.5	0.61	0.98	1.0	1.1	1.2	0.46	3.8	1.6
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.83	0.23	0.42	0.33	0.49	0.39	0.15	1.4	0.50
1,2,3,6,7,8-HxCDD	2.4	0.64	1.3	1.1	1.3	1.5	0.46	3.7	1.5
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1.8	0.39	1.0	0.64	1.2	1.0	0.42	2.4	1.0
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	3.8	1.0	2.0	1.4	2.6	2.3	0.89	5.4	2.0
OCDD	1.0	0.26	0.51	0.35	0.51	0.60	0.20	1.6	0.58
2,3,7,8-TCDF	0.61	0.07	0.11	0.12	0.10	0.18	0.10	0.83	0.34
1,2,3,7,8-PeCDF	0.32	0.05	0.10	0.077	0.079	0.13	0.057	0.48	0.19
2,3,4,7,8-PeCDF	4.2	0.76	1.8	0.94	2.1	1.6	0.79	6.2	2.9
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.97	0.21	0.44	0.32	0.47	0.48	0.18	1.4	0.61
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1.6	0.30	0.53	0.50	0.55	0.61	0.29	1.9	0.84
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.60	0.11	0.20	0.18	0.31	0.27	0.12	0.7	0.32
2,3,4,6,7,8-HxCDF	3.0	0.56	1.6	1.1	1.4	1.7	0.64	5.0	2.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	1.2	0.34	0.53	0.43	0.66	0.60	0.27	1.6	0.71
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.17	0.037	0.070	0.070	0.11	0.10	0.034	0.25	0.087
OCDF	0.14	0.036	0.066	0.058	0.077	0.089	0.031	0.23	0.067
<b>Σ I-TEQmax. (PCDD/PCDF)</b>	<b>26</b>	<b>5.7</b>	<b>12</b>	<b>8.9</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>5.2</b>	<b>38</b>	<b>16</b>
<b>Σ I-TEQmin. (PCDD/PCDF)</b>	<b>26</b>	<b>5.7</b>	<b>12</b>	<b>8.9</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>5.2</b>	<b>38</b>	<b>16</b>

## 6.4 Detaillierte Resultate zu i-PCB und dl-PCB in den Bodenproben

Tabelle 8: i-PCB und dl-PCB Konzentrationen in den Bodenproben in ng/kg TS

Proben-ID:	B.F01	B.F02	B.F03	B.F04	B.F05	B.F06	B.F07	B.F08	B.F09
Interne-Nr.:	12523	12623	12723	12823	12923	13023	13123	13223	13323
Niutec-Nr.:	23.0412_001	23.0412_002	23.0412_003	23.0412_004	23.0412_005	23.0412_006	23.0412_007	23.0412_008	23.0412_009
PCB 28	48	39	32	55	31	30	33	64	454
PCB 52	59	117	69	282	63	105	103	107	193
PCB 101	412	232	60	236	214	139	130	579	366
PCB 138	1719	715	360	1324	796	524	667	2821	1441
PCB 153	2037	763	433	1477	868	642	738	3241	1774
PCB 180	990	397	149	587	246	277	256	1334	850
<b>Σ 6 i-PCB:</b>	<b>5265</b>	<b>2262</b>	<b>1104</b>	<b>3960</b>	<b>2219</b>	<b>1717</b>	<b>1928</b>	<b>8145</b>	<b>5078</b>
<b>Σ 6 i-PCB + PCB 118:</b>	<b>5732</b>	<b>2473</b>	<b>1153</b>	<b>4385</b>	<b>2546</b>	<b>1850</b>	<b>2101</b>	<b>8607</b>	<b>5339</b>
PCB 77	43	6.1	2.8	21	4.8	6.3	5.7	42	23
PCB 81	2.2	0.39	0.51	0.71	0.62	0.58	0.46	2.9	1.6
PCB 105	151	83	24	193	163	62	71	135	80
PCB 114	5.5	1.8	0.85	1.9	5.9	1.8	1.1	5.8	3.4
PCB 118	468	211	49	425	327	133	173	462	261
PCB 123	14	4.7	4.0	15	13	7.2	6.5	24	13
PCB 126	24	3.3	3.6	7.4	4.3	5.7	4.2	26	15
PCB 156	149	57	28	108	74	52	55	183	104
PCB 157	44	15	8.6	30	22	13.2	15	77	38
PCB 167	107	38	19	67	39	30	35	171	83
PCB 169	5.8	0.85	1.4	1.5	1.6	1.7	1.0	8.6	3.8
PCB 189	28	11	5.5	16	8.7	8.8	8.4	44	21

Σ 6 i-PCB = PCB 28, 52, 101, 138, 153 und 180 / Σ 7 i-PCB = PCB 28, 52, 101, 138, 153 und 180 plus dl-PCB 118

## 6.5 Detaillierte Resultate zum dl-PCB WHO-TEQ in den Bodenproben

Tabelle 9: dl-PCB WHO-TEQ<sub>2005</sub> in den Bodenproben in ng/kg TS (Summenwert auf zwei signifikante Stellen gerundet)

Proben-ID:	B.F01	B.F02	B.F03	B.F04	B.F05	B.F06	B.F07	B.F08	B.F09
Interne-Nr.:	12523	12623	12723	12823	12923	13023	13123	13223	13323
Niutec-Nr.:	23.0412_001	23.0412_002	23.0412_003	23.0412_004	23.0412_005	23.0412_006	23.0412_007	23.0412_008	23.0412_009
PCB 77	0.0043	0.00061	0.00028	0.0021	0.00048	0.00063	0.00057	0.0042	0.0023
PCB 81	0.00067	0.00012	0.00015	0.00021	0.00018	0.00017	0.00014	0.00088	0.00048
PCB 105	0.0045	0.0025	0.00071	0.0058	0.0049	0.0019	0.0021	0.0040	0.0024
PCB 114	0.00017	0.000054	0.000025	0.000057	0.00018	0.000054	0.000032	0.00018	0.00010
PCB 118	0.014	0.0063	0.0015	0.013	0.0098	0.0040	0.0052	0.014	0.0078
PCB 123	0.00041	0.00014	0.00012	0.00045	0.00040	0.00022	0.00019	0.00072	0.00038
PCB 126	2.4	0.33	0.36	0.74	0.43	0.57	0.42	2.6	1.5
PCB 156	0.0045	0.0017	0.00085	0.0033	0.0022	0.0015	0.0017	0.0055	0.0031
PCB 157	0.0013	0.00046	0.00026	0.00091	0.00066	0.00040	0.00046	0.0023	0.0011
PCB 167	0.0032	0.0011	0.00058	0.0020	0.0012	0.00089	0.0010	0.0051	0.0025
PCB 169	0.17	0.025	0.043	0.046	0.047	0.052	0.030	0.26	0.11
PCB 189	0.00084	0.00034	0.00017	0.00049	0.00026	0.00026	0.00025	0.0013	0.00063
<b>Σ WHO-TEQmax.</b>	<b>2.6</b>	<b>0.37</b>	<b>0.41</b>	<b>0.82</b>	<b>0.49</b>	<b>0.63</b>	<b>0.46</b>	<b>2.9</b>	<b>1.7</b>
<b>Σ WHO-TEQmin.</b>	<b>2.6</b>	<b>0.37</b>	<b>0.41</b>	<b>0.82</b>	<b>0.49</b>	<b>0.63</b>	<b>0.46</b>	<b>2.9</b>	<b>1.7</b>

## 7 Allgemeine Angaben

### 7.1 Messunsicherheit und Nachweisgrenzen

Die quantitative Auswertung der GC-MS-Messungen erfolgte über die Signalflächen oder Signalhöhen in den Einzelionenchromatogrammen. Die Messunsicherheit beträgt erfahrungsgemäss für die PCDD/F und PCB ca. 20 %. Nachweisgrenzen wurden wo möglich auf der Basis  $\text{Signal/Rauschen} = 5$  berechnet.

### 7.2 Glaswaren und Chemikalien

Alle verwendeten Glaswaren wurden maschinell mit einem stark basischen Detergent gereinigt (RBS-50) und danach über Nacht bei 450°C ausgeheizt. Vor Gebrauch wurden sie zusätzlich mit reinstem Lösemittel (n-Hexan, Dichlormethan oder Toluol) vorgespült. Die verwendeten Chemikalien waren von einem Reinheitsgrad speziell für die Ultrapurenanalytik von Dioxinen bzw. PCBs.

### 7.3 Toxizitätsäquivalente und Upper-Bound vs Lower-Bound

Der TEQ-Wert einer Probe errechnet sich, indem die jeweilige dl-PCB oder PCDD/F Kongenerenkonzentration mit dem dazugehörigen Toxizitätsäquivalenzfaktor (WHO-TEF oder I-TEF, Tabelle 10 – 12) multipliziert und die so erhaltenen Produkte addiert werden. Für die Berechnung des Upper-Bound (WHO-TEQmax. oder I-TEQmax.) wurden, für nicht nachgewiesene Kongenere der dl-PCB bzw. PCDD/F, die Nachweisgrenze eingesetzt. Im Falle des Lower-Bound (WHO-TEQmin. oder I-TEQmin.) wurden nur nachgewiesene Kongenere in die Berechnung miteinbezogen.

Tabelle 10: WHO Toxizitätsäquivalenzfaktoren für dl-PCB (WHO-TEF, 2005)

Nonortho-PCB	WHO-TEF	Monoortho-PCB	WHO-TEF
77	0.0001	105	0.00003
81	0.0003	114	0.00003
126	0.1	118	0.00003
169	0.03	123	0.00003
		156	0.00003
		157	0.00003
		167	0.00003
		189	0.00003

Tabelle 11: WHO Toxizitätsäquivalenzfaktoren für PCDD/F (WHO-TEF, 2005)

PCDD	WHO-TEF	PCDF	WHO-TEF
2,3,7,8-TCDD	1	2,3,7,8-TCDF	0.1
1,2,3,7,8-PeCDD	1	1,2,3,7,8-PeCDF	0.03
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	2,3,4,7,8-PeCDF	0.3
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1
OCDD	0.0003	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1
		1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01
		1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01
		OCDF	0.0003

Tabelle 12: Internationale Toxizitätsäquivalenzfaktoren für PCDD/F (I-TEF)

PCDD	WHO-TEF	PCDF	WHO-TEF
2,3,7,8-TCDD	1	2,3,7,8-TCDF	0.1
1,2,3,7,8-PeCDD	0.5	1,2,3,7,8-PeCDF	0.05
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	2,3,4,7,8-PeCDF	0.5
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1
OCDD	0.001	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1
		1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01
		1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01
		OCDF	0.001

## 7.4 Verwendete Abkürzungen

PCB	Polychlorierte Biphenyle
dl-PCB	Dioxin-Like PCB (dioxinähnliche PCB)
TriCB	Trichlorbiphenyl
TeCB	Tetrachlorbiphenyl
PeCB	Pentachlorbiphenyl
HxCB	Hexachlorbiphenyl
HpCB	Heptachlorbiphenyl
PCDD	Polychlorierte Dibenzo- <i>p</i> -dioxine
PCDF	Polychlorierte Dibenzo- <i>p</i> -dioxine
TeCDD	Tetrachlordibenzo- <i>p</i> -dioxin
TeCDF	Tetrachlordibenzofuran
PeCDD	Pentachlordibenzo- <i>p</i> -dioxin
PeCDF	Pentachlordibenzofuran
HxCDD	Hexachlordibenzo- <i>p</i> -dioxin
HxCDF	Hexachlordibenzofuran
HpCDD	Heptachlordibenzo- <i>p</i> -dioxin
HpCDF	Heptachlordibenzofuran
OCDD	Octachlordibenzo- <i>p</i> -dioxin
OCDF	Octachlordibenzofuran
WHO-TEF	WHO 2,3,7,8-TCDD-Toxizitätsäquivalenzfaktor
WHO-TEQ	WHO 2,3,7,8-TCDD-Toxizitätsäquivalent
I-TEF	Internationaler 2,3,7,8-TCDD-Toxizitätsäquivalenzfaktor
I-TEQ	Internationales 2,3,7,8-TCDD-Toxizitätsäquivalent
TS	Trockensubstanz
GC-MS	Gaschromatographie-Massenspektrometrie
GC-HRMS	Gaschromatographie-Hochaufgelöste-Massenspektrometrie (High Resolution)
ng	Nanogramm (1 ng = 1 x 10 <sup>-9</sup> g = 0.000'000'001 g)
pg	Pikogramm (1 pg = 1 x 10 <sup>-12</sup> g = 0.000'000'000'001 g)
fg	Femtogramm (1 fg = 1 x 10 <sup>-15</sup> g = 0.000'000'000'000'001 g)