



**Hintergrundbelastung bayerischer  
Oberböden und Humusauflagen mit  
PCDD, PCDF und dIPCB**

**böden**





# Hintergrundbelastung bayerischer Oberböden und Humusauflagen mit PCDD/F und dIPCB

## Impressum

Hintergrundbelastung bayerischer Oberböden und Humusauflagen mit PCDD/F und dIPCB

### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Tel.: 0821 9071-0

Fax: 0821 9071-5556

E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)

Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

### Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU, Referat 107: Edzard Hangen, Raimund Prinz

### Redaktion:

LfU, Referat 107, Bernd Schilling

### Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Juni 2016

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Hintergrund</b>	<b>7</b>
1.1	Dioxine und Furane (PCDD/F) in Böden Bayerns	7
1.2	Dioxinähnliche PCB (dlPCB) in Böden Bayerns	8
1.3	Anlass für Nachanalysen	8
1.4	Auswahl der nachanalytierten Bodenproben	9
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>9</b>
2.1	Probenanalyse	9
2.2	Probenkontingent für Auswertung	9
2.3	Variogrammanalyse und Geostatistik	10
<b>3</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>13</b>
3.1	PCDD/F-TEQ-WHO	13
3.1.1	Humusauflage	13
3.1.2	Homologenprofil in der Humusauflage	15
3.1.3	Forst Oberboden	16
3.1.4	Homologenprofil Forst Oberboden	18
3.1.5	Landwirtschaft Oberboden	20
3.2	dlPCB-TEQ-WHO	22
3.2.1	Humusauflage	22
3.2.2	Forst Oberboden	24
3.2.3	Landwirtschaft Oberboden	27
<b>4</b>	<b>Bewertung der flächenhaften Bodenbelastung</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>30</b>
	Literatur	31

**Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1:	Strukturformel von Dioxinen und Furanen (aus POHL und RITSCHL, 2001).	7
Abb. 2:	Forst- und Landwirtschaftsstandorte mit PCDD/F-Werten für den Oberboden (links); ausgewählte Standorte des GRABEN-Datensatzes ohne PCDD/F-Werte für den Oberboden (rechts).	9
Abb. 3:	Beispiel-Variogramm mit Lage der Krige-Parameter Nugget, Partial Sill und Range (DILLING und JONECK, 2003).	11
Abb. 4:	Experimentelles Variogramm (Punkt-Linie) mit sphärischem Variogrammmodell (Ausgleichsline) für PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusauflage. Variogrammparameter, siehe Tab. 5.	13
Abb. 5:	Belastungsräume der PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusauflage. Obergrenzen der Teilräume: 10. Perzentil = grün, 25. Perzentil = mittelgrün, 50. Perzentil = hellgrün, 75. Perzentil = dunkelgelb, 90. Perzentil = orange, 100. Perzentil = rot. Punkte kennzeichnen zugrundeliegende Stützpunkte (n=293).	14
Abb. 6:	PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusauflage zugeordnet auf 4 Teilräume unterschiedlicher Belastung (Box-Whisker Plot: Unterer Whisker = Minimum; 25. Perzentil, 50. Perzentil, 75. Perzentil; oberer Whisker = Maximum).	15
Abb. 7:	Homologenprofil der 2,3,7,8-chlorsubstituierten PCDD/F in der Humusauflage. Zahlenangaben kennzeichnen Werte des 90. Perzentils.	16
Abb. 8:	Experimentelles Variogramm (Punkt-Linie) mit sphärischem Variogrammmodell (Ausgleichsline) für PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Forst. Variogrammparameter, siehe Tab. 5.	16
Abb. 9:	Belastungsräume der PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Forst. Obergrenzen der Teilräume: 10. Perzentil = grün, 25. Perzentil = mittelgrün, 50. Perzentil = hellgrün, 75. Perzentil = dunkelgelb, 90. Perzentil = orange, 100. Perzentil = rot. Punkte kennzeichnen zugrundeliegende Stützpunkte (n=380).	17
Abb. 10:	PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Forst zugeordnet auf 6 Teilräume unterschiedlicher Belastung (Box-Whisker Plot: Unterer Whisker = Minimum; 25. Perzentil, 50. Perzentil, 75. Perzentil; oberer Whisker = Maximum).	18
Abb. 11:	Homologenprofil der 2,3,7,8-chlorsubstituierten PCDD/F, Forst Oberboden. Zahlenangaben kennzeichnen Werte des 90. Perzentils.	19
Abb. 12:	Experimentelles Variogramm (Punkt-Linie) mit sphärischem Variogrammmodell (Ausgleichsline) für PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Landwirtschaft. Variogrammparameter, siehe Tab. 5.	20
Abb. 13:	Belastungsräume der PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Landwirtschaft. Obergrenzen der Teilräume: 10. Perzentil = grün, 25. Perzentil = mittelgrün, 50. Perzentil = hellgrün, 75. Perzentil = dunkelgelb, 90. Perzentil = orange, 100. Perzentil = rot. Punkte kennzeichnen zugrundeliegende Stützpunkte (n=383).	20
Abb. 14:	PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Landwirtschaft, zugeordnet auf 6 Teilräume unterschiedlicher Belastung (Box-Whisker Plot: Unterer Whisker = Minimum; 25. Perzentil, 50. Perzentil, 75. Perzentil; oberer Whisker = Maximum).	21
Abb. 15:	Experimentelles Variogramm (Punkt-Linie) mit sphärischem Variogrammmodell (Ausgleichsline) für dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusauflage. Variogrammparameter, siehe Tab. 6.	22

---

Abb. 16:	Belastungsräume der dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusauflage. Obergrenzen der Teilräume: 10. Perzentil = grün, 25. Perzentil = mittelgrün, 50. Perzentil = hellgrün, 75. Perzentil = dunkelgelb, 90. Perzentil = orange. Punkte kennzeichnen zugrundeliegende Stützpunkte (n=66).	23
Abb. 17:	dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusauflage, zugeordnet auf 3 Teilräume unterschiedlicher Belastung (Box-Whisker Plot: Unterer Whisker = Minimum; 25. Perzentil, 50. Perzentil, 75. Perzentil; oberer Whisker = Maximum).	24
Abb. 18:	Experimentelles Variogramm (Punkt-Linie) mit sphärischem Variogrammmodell (Ausgleichsline) für dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Forst. Variogrammparameter, siehe Tab. 6.	25
Abb. 19:	Belastungsräume der dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Forst. Obergrenzen der Teilräume: 10. Perzentil = grün, 25. Perzentil = mittelgrün, 50. Perzentil = hellgrün, 75. Perzentil = dunkelgelb, 90. Perzentil = orange, 100. Perzentil = rot. Punkte kennzeichnen zugrundeliegende Stützpunkte (n=153).	25
Abb. 20:	dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Forst, zugeordnet auf 6 Teilräume unterschiedlicher Belastung (Box-Whisker Plot: Unterer Whisker = Minimum; 25. Perzentil, 50. Perzentil, 75. Perzentil; oberer Whisker = Maximum).	26
Abb. 21:	Experimentelles Variogramm (Punkt-Linie) mit sphärischem Variogrammmodell (Ausgleichsline) für dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Landwirtschaft. Variogrammparameter, siehe Tab. 6.	27
Abb. 22:	Belastungsräume der dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Landwirtschaft. Obergrenzen der Teilräume: 10. Perzentil = grün, 25. Perzentil = mittelgrün, 50. Perzentil = hellgrün, 75. Perzentil = dunkelgelb, 90. Perzentil = orange, 100. Perzentil = rot. Punkte kennzeichnen zugrundeliegende Stützpunkte (n=289).	28
Abb. 23:	dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Landwirtschaft, zugeordnet auf 5 Teilräume unterschiedlicher Belastung (Box-Whisker Plot: Unterer Whisker = Minimum; 25. Perzentil, 50. Perzentil, 75. Perzentil; oberer Whisker = Maximum).	29

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Stichprobenumfang ausgewerteter PCDD/F-TEQ-WHO-Daten.	10
Tab. 2:	Tab. 2: Stichprobenumfang ausgewerteter dIPCB-TEQ-WHO-Daten.	10
Tab. 3:	Korrelationen zwischen PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalten und Einflussfaktoren; n = Stichprobenumfang.	11
Tab. 4:	Korrelationen zwischen dIPCB-TEQ-WHO-Gehalten und Einflussfaktoren; n = Stichprobenumfang.	12
Tab. 5:	Variogrammparameter für Kriging der PCDD/F-TEQ-WHO-Daten.	12
Tab. 6:	Variogrammparameter für Kriging der dIPCB-TEQ-WHO-Daten.	12
Tab. 7:	Perzentile und Hintergrundwert der PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusauflage, untergliedert nach ausgegrenzten Teilräumen (vgl. Abb. 5: Teilraum 1 = grüne+mittelgrüne Fläche; Teilraum 4 = orangene+rote Fläche).	15
Tab. 8:	Deskriptive Statistik der PCDD/F-Homologen [ng/kg] in der Humusauflage.	15
Tab. 9:	Perzentile und Hintergrundwert der PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Forst untergliedert nach ausgegrenzten Teilräumen (vgl. Abb. 9).	18
Tab. 10:	Deskriptive Statistik der PCDD/F-Homologen [ng/kg], Forst Oberboden.	19
Tab. 11:	Perzentile und Hintergrundwert der PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Landwirtschaft, untergliedert nach ausgegrenzten Teilräumen (vgl. Abb. 13).	21
Tab. 12:	Perzentile und Hintergrundwert der dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusauflage, untergliedert nach ausgegrenzten Teilräumen (vgl. Abb. 16: Teilraum 1 = grüne+mittelgrüne Fläche; Teilraum 2 = hellgrüne+gelbe Fläche; Teilraum 3 = orangene Fläche).	24
Tab. 13:	Perzentile und Hintergrundwert der dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Forst, untergliedert nach ausgegrenzten Teilräumen (vgl. Abb. 19).	26
Tab. 14:	Perzentile und Hintergrundwert der dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Landwirtschaft, untergliedert nach ausgegrenzten Teilräumen (vgl. Abb. 22: Teilraum 1 = grüne Fläche; Teilraum 2 = mittelgrüne Fläche; Teilraum 3 = hellgrüne Fläche; Teilraum 4 = gelbe+orangene Fläche; Teilraum 5 = rote Fläche).	29
Tab. 15:	WHO-Grenzwerte der E-BBodSchV und Hintergrundwerte in Böden Bayerns.	30
Tab. 16:	Orientierungswert der Bund/Länder AG DIOXINE und Hintergrundwerte in Böden Bayerns.	30
Tab. 17:	Bayernweite Hintergrundwerte und Spanne der Hintergrundwerte aller Belastungsräume.	30



## Zusammenfassung

Um die Zusatzbelastung der Böden mit PCDD/F und dIPCB beurteilen zu können, müssen deren Hintergrundwerte bekannt sein. Der bayerische Datenstand wurde gemäß der Vorgaben der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Boden (LABO) ausgewertet um Hintergrundwerte in verschiedenen Belastungsräumen, Nutzungen und Bodenschichten (Horizonte) ableiten zu können. Im Einzelnen wurden PCDD/F- und dIPCB-Gehalte nach TEQ-WHO für Humusauflagen, Oberböden unter Forst und Oberböden unter Landwirtschaft ausgewertet. Bei der regionalen Schadstoffverteilung wurden Auskämmeffekte der Bestockung und Barriereeffekte der überregionalen Topografie deutlich. Organische Humusauflagen zeigten erhöhte Hintergrundwerte im Nordosten und Nordwesten Bayerns und entlang einer Linie Neu-Ulm – München. Geringe Werte lagen im Voralpenraum und zentralen Bayern vor. Ein umgekehrtes Verteilungsmuster der Belastungsräume wiesen -auf deutlich niedrigerem Niveau- sowohl PCDD/F- als auch dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in den mineralischen Oberböden unter Forst auf. Anscheinend wirken die ausgeprägten Humuslagen der nordostbayerischen Mittelgebirge einer Vertikalverlagerung des PCDD/F und dIPCB entgegen, während die Oberböden unter Forst des Voralpenlands verhältnismäßig hohe Hintergrundwerte aufweisen. Die Verteilung der Belastungsräume in Oberböden unter Landwirtschaft zeichnen ebenfalls großräumige topografische Effekte nach. Die Hintergrundwerte der PCDD/F- als auch dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte der bayerischen Böden unterschreiten insgesamt deutlich die bundesweit vorliegenden Grenz- und Orientierungswerte, womit in Bayern eine stringente Bewertung anthropogener Zusatzbelastungen möglich wird.

## 1 Hintergrund

### 1.1 Dioxine und Furane (PCDD/F) in Böden Bayerns

Unter dem Begriff "Dioxine" wird die gesamte Stoffklasse der polychlorierten Dibenzodioxine mit insgesamt 75 Einzelsubstanzen verstanden. Häufig werden die polychlorierten Dibenzofurane (mit 135 Einzelsubstanzen) dazugerechnet. Spätestens seit dem Seveso-Unfall 1976 wurde dieses starke Umweltgift bekannt. Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Dioxine und Furane ergeben sich aus der Anzahl der Chloratome (1-8) sowie deren räumlicher Anordnung (Abb. 1). So nehmen beispielsweise die Wasserlöslichkeit und die Flüchtigkeit mit zunehmenden Chlorierungsgraden ab.

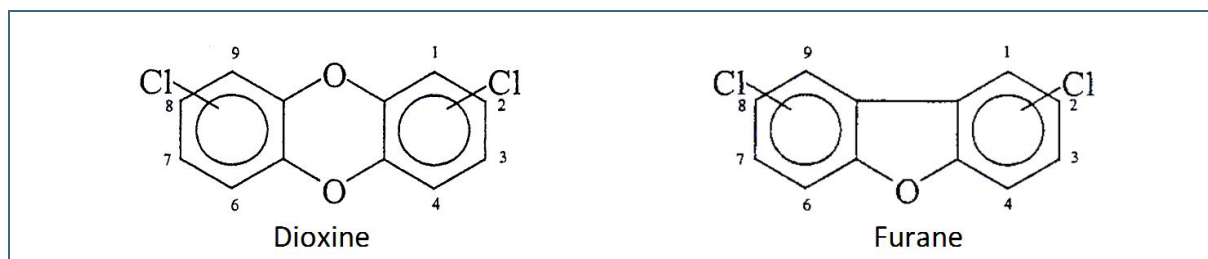


Abb. 1: Strukturformel von Dioxinen und Furanen (aus POHL und RITSCHEL, 2001).

PCDD/F werden nicht gezielt produziert. Sie entstehen als unerwünschte Nebenprodukte bei der Herstellung von chlororganischen Chemikalien wie zum Beispiel Pentachlorphenol (Holzschutzmittel), polychlorierten Biphenylen oder 2,4,5,-Trichlorphenoxyessigsäure (Bestandteil des Entlaubungsmittels „Agent Orange“ im Vietnamkrieg) (HAGENMAIER et al., 1995).

Insbesondere die Einzelsubstanz 2,3,7,8-Tetrachlor-p-Dibenzodioxin gilt als sehr starkes Gift, das sich in der Nahrungskette stark anreichert. Für einige Vertreter der PCDD/F ist eine krebsfördernde und embryonale (teratogen) Missbildungen verursachende Wirkung bei Tieren nachgewiesen und für den Menschen höchst wahrscheinlich (u. a. FIEDLER et al., 1994, MARQUARDT und SCHÄFER, 1994).

Dioxine gelangen als Verunreinigungen bei der Anwendung der oben aufgeführten chlororganischen Produkte in die Umwelt. Weiterhin können Dioxine auch bei allen Verbrennungsprozessen entstehen. Die Bildung und Entstehung der unterschiedlichen Kongenere ist in der Regel prozessspezifisch, so dass anhand des PCDD/F-Musters Rückschlüsse auf zu Grunde liegenden Quellen geschlossen werden kann. So haben zum Beispiel Dioxine aus Verbrennungsprozessen ein anderes Kongenerenmuster als solche, die bei chlorbleichen aus der Zellstoffpapier-Herstellung entstehen (UBA, 2014; BMLFUW-UW, 2008). Die Betrachtung der Homologen-Gruppen (Tetra- bis Octa-chlorierte DD/F), bzw. einzelner Kongenere ist daher aus immissionsspezifischen Aspekten interessant und soll hier exemplarisch an den Bodenproben der Forststandorte (Auflagen/Oberboden) dargestellt werden. Die Ausbreitung der Dioxine erfolgt größtenteils nach Bindung an Staubpartikel über die Luft und zeigen nur geringe Verlagerungs- (MCLACHAN et al., 1996) und Verflüchtigungstendenzen (US EPA, 1994). Die Bodengehalte von PCDD/F nach den internationalen Toxizitätsäquivalenten reichen von nicht nachweisbaren Konzentrationen in ländlichen Gebieten bis zu 230 ng I-TEQ /kg in Einzelhorizonten an Verdachtsstandorten (JONECK und PRINZ, 1991). Die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) von 1999 gibt als PCDD/F-Maßnahmenwerte zwischen 100 ng I-TEQ /kg für Kinderspielflächen und 10.000 ng I-TEQ /kg bei Industrie- und Gewerbeflächen an. Alle bislang ermittelten Konzentrationen bewegen sich unterhalb des Maßnahmenwerts (100 ng TEQ-NATO /kg) für Kinderspielflächen der BBodSchV.

## 1.2 Dioxinähnliche PCB (dlPCB) in Böden Bayerns

Aufgrund ihres Molekülaufbaus, der dem der Dioxine ähnelt, werden non-ortho und mono-ortho PCBs als dioxinähnliche PCBs (dlPCB) bezeichnet. Der Schadstoff dlPCB wurde in den Böden Bayerns bislang in wenigen Teilräumen exemplarisch im Rahmen der Dioxinanalysen und an 10 Überschwemmungsflächen unter Grünland/Weide untersucht.

Für die Matrix Boden liegt bislang kein Orientierungswert für dlPCB vor (ECOMED, 2008). Einzelne, horizontbezogene dlPCB-Gehalte liegen mit maximalen Werten von bis zu 10,3 ng/kg (TEQ-WHO) an der Donau deutlich oberhalb der niedersächsischen Befunde (4,7 ng/kg) in Überschwemmungsgebieten. Die nach LABO (2003) aggregierten Gehalte liegen dagegen im gleichen Wertebereich.

## 1.3 Anlass für Nachanalysen

Für Dioxine und Furane (PCDD/F) liegen im Hinblick auf die Belastungspfade Boden-Mensch (Anlage 2, 1.2., BBodSchV, 1999) und Boden-Pflanze (UBA, 2005) einschlägige Grenzwerte vor, da Dioxine, Furane und dl-PCBs bei erhöhten Konzentrationen im Boden bedeutsame Schädigung entwickeln können. Bundesweite Untersuchungen in Folge erhöhter dlPCB Gehalte in Weidegras entlang der Ems mündeten in einer Empfehlung des Umweltbundesamtes (2010), nach der Datenlücken und Informationsdefizite erkannt und geschlossen werden sollen. Ebenso beauftragte die LABO 2012 die Bundesländer, die Hintergrundwerte der Böden weiter fortzuschreiben und richtete hierzu die Redaktionsgruppe „Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden“ ein. Um zusätzliche Bodenbelastungen durch Dioxine, Furane und dlPCBs beurteilen zu können, muss die Hintergrundbelastung flächendeckend bekannt sein. Diese liegt für Bayern für zahlreiche anorganische und organische Schadstoffe in differenzierten Raumeinheiten vor (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2011). Für Dioxine und Furane werden mit dem 50. und 90. Perzentil lediglich bayernweite Orientierungswerte gegeben (LABO, 2003). dlPCBs wurden bislang nicht betrachtet. Diese Schadstoffe wurden für den Boden allerdings oftmals im Zusammenhang mit lokalen und regionalen Belastungen untersucht. Damit eine flächig differenzierte Hintergrundbelastung für Dioxine, Furane (und dl-PCBs) abgeleitet werden kann, mussten weitere Bodenproben untersucht werden. Die Ergebnisse dieser PCDD/F- und dlPCB-Analysen wurden gemäß BayBodSchG, Art. 7 und 8 im Bodeninformationssystem (BIS) aufgenommen und stehen damit für weitere Auswertungen zur Verfügung.

## 1.4 Auswahl der nachanalytierten Bodenproben

Aus dem Proben des GRABEN-Projekts, mit dem bayernweit Hintergrundwerte für anorganische und organische Bodenschadstoffe abgeleitet wurden (JONECK et al., 2006), wurden Bodenproben für die PCDD/F- und dIPCB-Analyse in Ergänzung zu den bereits untersuchten Standorten (Abb. 2, links) ausgewählt. Die Proben sind auf Oberbodenproben beschränkt, da atmogene Stoffeinträge vorausgesetzt und erhöhte Belastungen nahe der Geländeoberkante vermutet wurden. Um eine möglichst gleichmäßige Abdeckung der bayerischen Landesfläche zu erreichen, wurden die Oberbodenproben entfernungsgeichtet ausgewählt. GRABEN-Proben ohne PCDD/F-Daten, die eine große Entfernung zum nächstgelegenen Punkt mit vorliegenden PCDD/F-Daten aufwiesen, erhielten eine höhere Priorität als solche mit geringem Punktabstand. Auf diese Weise wurden 318 geeignete Oberbodenstandorte des GRABEN-Probensatzes mit einer Mindestentfernung zum nächsten Punkt von etwa 10 km identifiziert (Abb. 2, rechts).

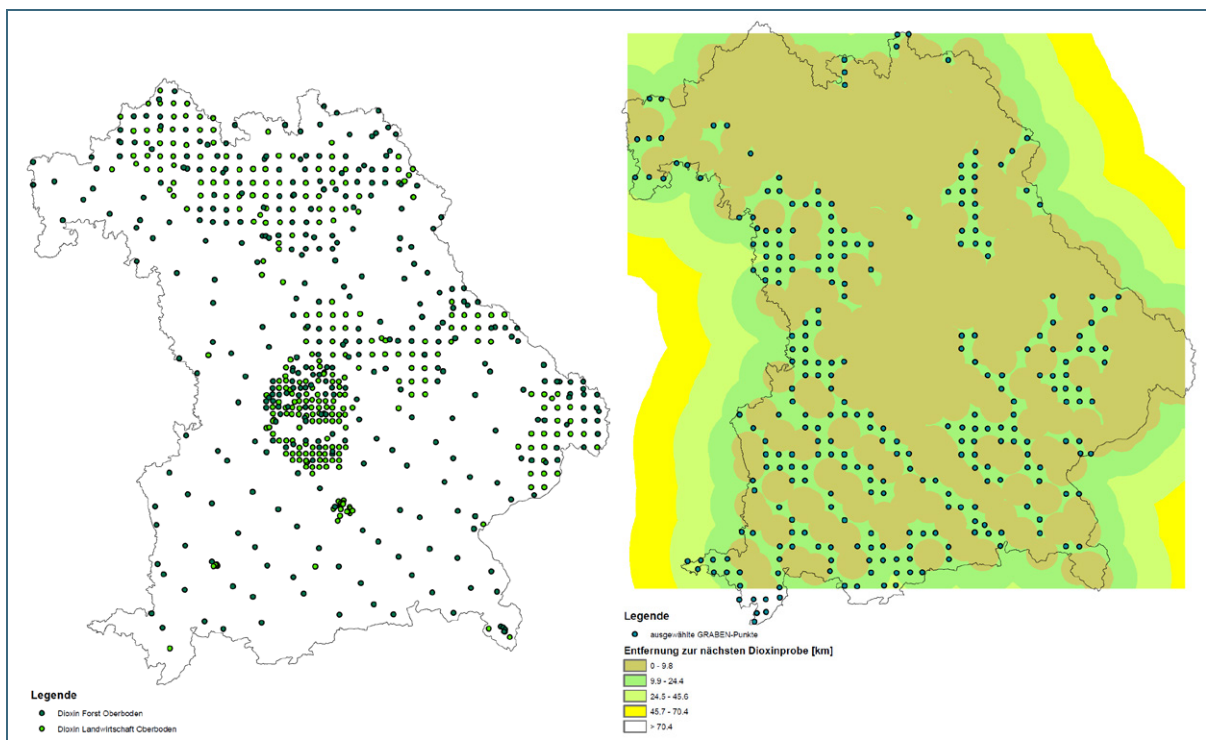


Abb. 2: Forst- und Landwirtschaftsstandorte mit PCDD/F-Werten für den Oberboden (links); ausgewählte Standorte des GRABEN-Datensatzes ohne PCDD/F-Werte für den Oberboden (rechts).

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Probenanalyse

Dieses Kontingent an tiefgefrorenen Bodenproben wurde gemäß BBodSchV, Absatz 3.1.3, DIN 38414-24: 2000-10, und VDI-Richtlinie 3499, Blatt 1, auf die Kongenere der Dioxine, Furane und dIPCBs mittels GC/HRMS untersucht.

### 2.2 Probenkontingent für Auswertung

Sowohl die neu ermittelten Analysenwerte als auch die bereits vorhandenen Messdaten entstammen dem Projekt GRABEN (Joneck et al., 2006). In diesem Projekt wurden die Standorte der flächenrepräsentativen Mischbeprobung fernab von Punkt- und Linienemittenten ausgewählt, um möglichst ubiquitäre

Schadstoffeinträge erfassen zu können. Aus Homogenitätsgründen wurden bei Landwirtschaft Sonderkulturen („S\*\*“), Ödland- („O\*\*“), sonstige Flächen („N\*\*“) und Moore („H“) ausgeschlossen. Acker- und Grünlandflächen wurden gemeinsam betrachtet und ausgewertet. Untersuchte Forststandorte umfassen Nadel- und nadeldominierte Mischwälder. Diese weisen einen spezifischen Auskämmeffekt luftgetragener Schadstoffe auf, der sich von Laubwäldern deutlich unterscheidet (REISCHL et al. 1990) und stellen den Hauptanteil dar.

Die Proben wurden nach Kriterien der LABO (2003) der Horizontgruppe „Oberboden“ zugeordnet, die Ah-, Ae-, Al- und M-Horizonte umfasst. Unter Forst lag die Untergrenze des betrachteten Bodenausschnitts bei 10 cm, unter Landwirtschaft bei 30 cm Bodentiefe. Wurde der Oberboden durch mehrere Proben charakterisiert, gingen die Einzelwerte mächtigkeitsgewichtet in die repräsentative Konzentration ein. Zusätzlich zum Oberboden wurden außerdem die PCDD/F-Werte der Humusauflage ausgewertet, da diese im Gegensatz zu dIPCB mit einem ausreichenden Stichprobenumfang vorlagen. Der Vergleich von Humus- und Oberbodenkonzentrationen kann Hinweise zur Vertikalverlagerung des eingetragenen Dioxins liefern. Die folgende Auswertung bezieht sich auf die Summenparameter PCDD/F-TEQ-WHO sowie dIPCB-TEQ-WHO. PCDD/F-TEQ-WHO soll in der geplanten MantelV (E-BBodSchV, Tab. 6, Entwurfsdatum: 31.10.2012) das bislang verwendete PCDD/F-TEQ-NATO ablösen.

Die standortbezogenen Gehalte an PCDD/F-TEQ-WHO und dIPCB-TEQ-WHO wurden nach dem  $\pm 1.5$  Interquartilabstands-Kriterium (zum Beispiel LABO, 2003) ausreißerbereinigt. Konzentrationen unterhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen gehen statistisch als numerischer Wert mit 0,00 in die Berechnungen ein. Es stehen deutlich mehr PCDD/F-TEQ-WHO als dIPCB-TEQ-WHO-Daten für die Auswertung zur Verfügung (Tab. 1 und Tab. 2).

Tab. 1: Stichprobenumfang ausgewerteter PCDD/F-TEQ-WHO-Daten.

PCDD/F-TEQ-WHO	Humusauflage	Forst Oberboden	Landwirtschaft Oberboden
<b>Proben</b>	328	407	458
<b>Standorte</b>	305	396	419
<b>ausreißerbereinigte Standorte</b>	293	380	383

Tab. 2: Stichprobenumfang ausgewerteter dIPCB-TEQ-WHO-Daten.

dIPCB-TEQ-WHO	Humusauflage	Forst Oberboden	Landwirtschaft Oberboden
<b>Proben</b>	66	162	310
<b>Standorte</b>	66	156	294
<b>ausreißerbereinigte Standorte</b>	66	153	289

## 2.3 Variogrammanalyse und Geostatistik

Jedem Auswertungsdatensatz wurde unter Nutzung des R-Pakets „geoR“ (Version 3.0.2) ein experimentelles Variogramm zugeordnet. An dieses wurde ein theoretisches, isotropes Variogramm unter Verwendung eines sphärischen Modells angepasst. Die ermittelten Variogrammparameter Nugget (Wert der Autovarianz), Sill (Schwellenwert der maximalen Semivarianz; Partial Sill = Sill - Nugget) und Range (Reichweite räumlicher Korrelation) (Abb. 3) gingen in die Krigingoperationen des Interpolationspakets von ArcMap 10.3.1 ein. Der Grad des räumlichen Zusammenhangs kann anhand des Verhältnisses von Nugget- zu Sillwert quantifiziert werden. Liegt dieses Verhältnis unter 25 %, ist der

räumliche Zusammenhang „stark“. Beträgt der Nuggetwert zwischen 25 und 75 % des Sillwertes, handelt es sich um einen „moderaten“, oberhalb von 75 % um einen „schwachen“ räumlichen Zusammenhang (CAMBARADELLA et al., 1984).

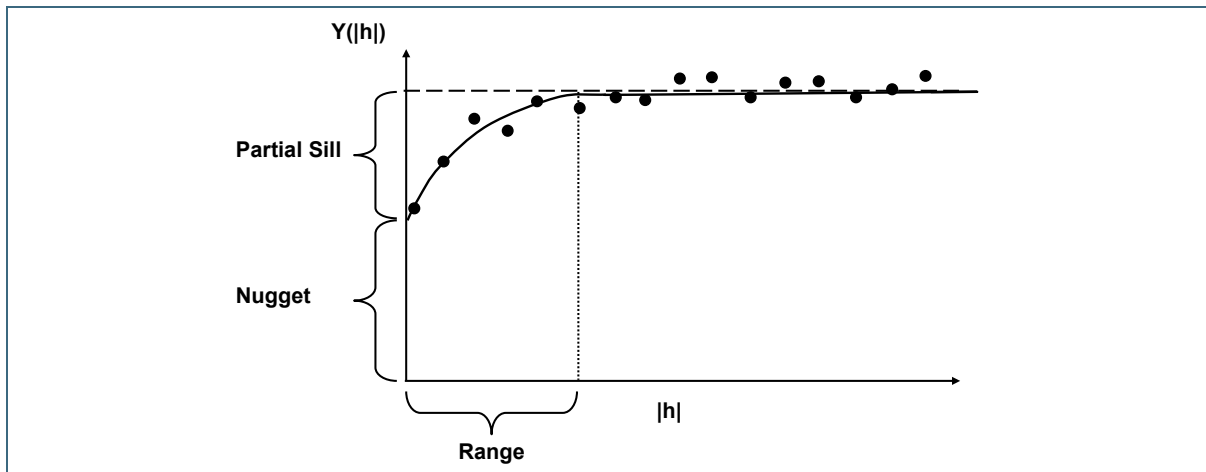


Abb. 3: Beispiel-Variogramm mit Lage der Krige-Parameter Nugget, Partial Sill und Range (DILLING und JONECK, 2003).

Liegen flächenhafte Daten von Faktoren vor, die Einfluss auf die Schadstoffdeposition haben, zum Beispiel Niederschlag und Temperatur, können diese regressionsanalytisch verwertet werden. Der flächenhafte Schadstoffeintrag wird durch die Einflussfaktoren mittels Regressionsgleichungen berechnet. Nur die Abweichungen zwischen gemessenem und berechnetem Schadstoffeintrag werden mittels Kriging interpoliert und anschließend zur Regressionsfläche hinzuaddiert (vgl. HANGEN und SCHUBERT, 2011). In dieser Untersuchung wurden als Einflussfaktor für Deposition der Jahresniederschlag, für Sorption der  $C_{org}$ -Gehalt und pH-Wert, und für Abbau die Jahresdurchschnittstemperatur herangezogen. Die ausreißerbereinigten PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte wiesen allerdings keine engen Beziehungen zu diesen Einflussfaktoren auf (Tab. 3). Im Gegensatz dazu wurden in anderen Studien enge Beziehungen schwerer PCDD/F-Homologen zum Niederschlag und leichter PCDD/F-Homologen zur Temperatur im Alpenraum (Offenthaler et al., 2009) und eine enge Beziehung dieser Schadstoffe zum Corg-Gehalt (BASLER, 2009) festgestellt.

Tab. 3: Korrelationen zwischen PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalten und Einflussfaktoren; n = Stichprobenumfang.

PCDD/F-TEQ-WHO		Temperatur	Niederschlag	Geländehöhe	pH-Wert	Corg
Humusauflage	r (Pearson)	-0.175**	0.085	0.143*	-0.434**	0.127*
	Signifikanz	0.003	0.146	0.014	0.000	0.040
	n	291	292	293	292	260
Forst Oberboden	r (Pearson)	-0.056	0.192**	0.128*	0.121*	0.372**
	Signifikanz	0.283	0.000	0.013	0.018	0.000
	n	375	376	379	379	349
Landwirtschaft Oberboden	r (Pearson)	-0.189**	0.282**	0.216**	-0.092	0.406**
	Signifikanz	0.000	0.000	0.000	0.073	0.000
	n	383	383	383	383	320

\*\* Korrelation signifikant auf Niveau von 0.01 (2-seitig)

\* Korrelation signifikant auf Niveau von 0.05 (2-seitig)

Mit Ausnahme der Beziehung zwischen dIPCB-TEQ-WHO-Gehalt und pH-Wert in der Humusaufgabe weisen die übrigen ausreißerbereinigten dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte keine enge Korrelation zu möglichen Regressionsvariablen auf (Tab. 4).

Die vorhergehende Eliminierung von Ausreißern gestattet die Verwendung des metrischen Pearson Verfahrens (im Gegensatz zur ordinalen Spearman-Korrelation).

Tab. 4: Korrelationen zwischen dIPCB-TEQ-WHO-Gehalten und Einflussfaktoren; n = Stichprobenumfang.

dIPCB-TEQ-WHO		Temperatur	Niederschlag	Geländehöhe	pH-Wert	Corg
<b>Humusaufgabe</b>	r (Pearson)	-0.006	-0.002	-0.008	-0.605**	0.327**
	Signifikanz	0.960	0.989	0.951	0.000	0.008
	n	64	65	65	65	65
<b>Forst Oberboden</b>	r (Pearson)	0.096	0.099	0.026	0.108	0.327**
	Signifikanz	0.244	0.227	0.747	0.185	0.000
	n	150	151	153	153	153
<b>Landwirtschaft Oberboden</b>	r (Pearson)	-0.109	0.197**	0.238**	0.048	0.445**
	Signifikanz	0.063	0.001	0.000	0.416	0.000
	n	288	288	289	289	289

\*\* Korrelation signifikant auf Niveau von 0.01 (2-seitig)

\* Korrelation signifikant auf Niveau von 0.05 (2-seitig)

Die Gehalte an PCDD/F-TEQ-WHO und dIPCB-TEQ-WHO wurden daher ohne vorausgehenden Regressionsansatz direkt mittels Kriging interpoliert. In ArcMap 10.3.1 wurde das Ordinary Kriging mit sphärischem Variogramm ausgewählt. Um Bayern abzudecken, wurden ein Bezugsradius von 150 km, 12 Bezugspunkte und die individuell ermittelten Variogrammparameter (Tab. 5 und Tab. 6) vorgegeben. Bei der Interpolation der Oberbodenwerte unter Forst und Landwirtschaft stieß das Interpolationsmodul von ArcMap 10.3.1 bei einer Krigeauflösung von 1 km<sup>2</sup> an seine Kapazitätsgrenzen. In diesen Fällen wurde die Krigeauflösung auf 2 km<sup>2</sup> herabgesetzt.

Tab. 5: Variogrammparameter für Kriging der PCDD/F-TEQ-WHO-Daten.

PCDD/F-TEQ-WHO	Humusaufgabe	Forst Oberboden	Landwirtschaft Oberboden
<b>Nugget [ng/kg]<sup>2</sup></b>	86	1.6	0.048
<b>Partial Sill [ng/kg]<sup>2</sup></b>	19	1.6	0.049
<b>Range [m]</b>	90000	24000	74000
<b>Krige-Auflösung [km<sup>2</sup>]</b>	1	2	2
<b>Anzahl Rasterpunkte</b>	70553	35276	35276

Tab. 6: Variogrammparameter für Kriging der dIPCB-TEQ-WHO-Daten.

dIPCB-TEQ-WHO	Humusaufgabe	Forst Oberboden	Landwirtschaft Oberboden
<b>Nugget [ng/kg]<sup>2</sup></b>	9.4	0.35	0.068
<b>Partial Sill [ng/kg]<sup>2</sup></b>	4.7	0.375	0.019
<b>Range [m]</b>	31000	40000	30000
<b>Krige-Auflösung [km<sup>2</sup>]</b>	1	2	2
<b>Anzahl Rasterpunkte</b>	70553	35276	35276

An den erzeugten Rasterpunkten wurden Perzentil Grenzen bestimmt: Das 10. und 25. Perzentil kennzeichneten das untere, das 50. Perzentil (Median) das mittlere und das 75. und 90. Perzentil das obere Wertespektrum der interpolierten Schadstofffläche Bayerns. Die resultierenden sechs Teilräume wurden kartografisch dargestellt (zum Beispiel Abb. 5).

Infolge logistischer Zwänge bei der bayernweiten Beprobung kann nicht von einer völligen Unabhängigkeit der einzelnen Stichproben ausgegangen werden. Die Überprüfung signifikanter Unterschiede zwischen ausgewiesenen Teilräumen erfolgte daher nicht über statistische Tests, wie zum Beispiel Median- oder Kruskal-Wallis Test, sondern über Box-Whisker Plots (LABO, 2003). Die Verteilung der Stützpunkte in den einzelnen Teilräumen wurde durch Angabe der Perzentilwerte charakterisiert. Das 90. Perzentil definiert nach LABO (2003) den Hintergrundwert eines Bodenschadstoffs.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 PCDD/F-TEQ-WHO

#### 3.1.1 Humusaufgabe

Eine räumliche Korrelation der PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusaufgabe ist erkennbar (Abb. 4). Der Nuggetwert, das heißt die Mikrovariabilität, beläuft sich auf 82 % der Gesamtvariabilität (Sill) und übertrifft damit den Grenzwert von 75 %, ab dem der räumliche Zusammenhang als „schwach“ eingestuft wird (CAMBARADELLA et al., 1984). Dennoch wurden die Variogrammparameter für die weiteren Krigeberechnungen verwendet.

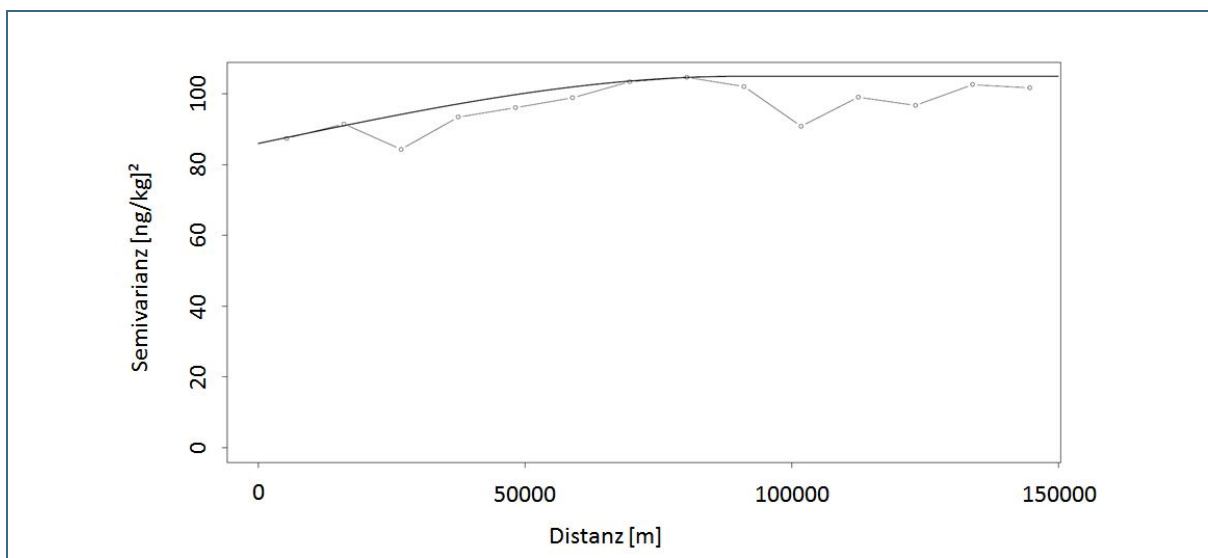


Abb. 4: Experimentelles Variogramm (Punkt-Linie) mit sphärischem Variogrammmodell (Ausgleichsline) für PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusaufgabe. Variogrammparameter, siehe Tab. 5.

Erhöhte PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte finden sich vor allem in den Humusaufgaben der Mittelgebirge NE- und NW-Bayerns (Abb. 5). Erhöhte PCDD/F-Immissionen in NE-Bayern sind auf die Nähe zum tschechischen Braunkohlerevier Sokolov zurückzuführen, in dem seit Jahrzehnten mehrere Braunkohlekraftwerke zur Energieerzeugung eingesetzt werden. Für NW-Bayern scheint in diesem Zusammenhang die Industrieregion im Raum Frankfurt eine ähnliche Rolle zu spielen (JONECK et al., 2006). Kleinere Belastungsräume finden sich im Raum Nürnberg und entlang der Linie Ulm-Augsburg-München. Das westliche Mittelfranken und das Voralpenland zeigen geringe PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in den Humusaufgaben (Abb. 5).

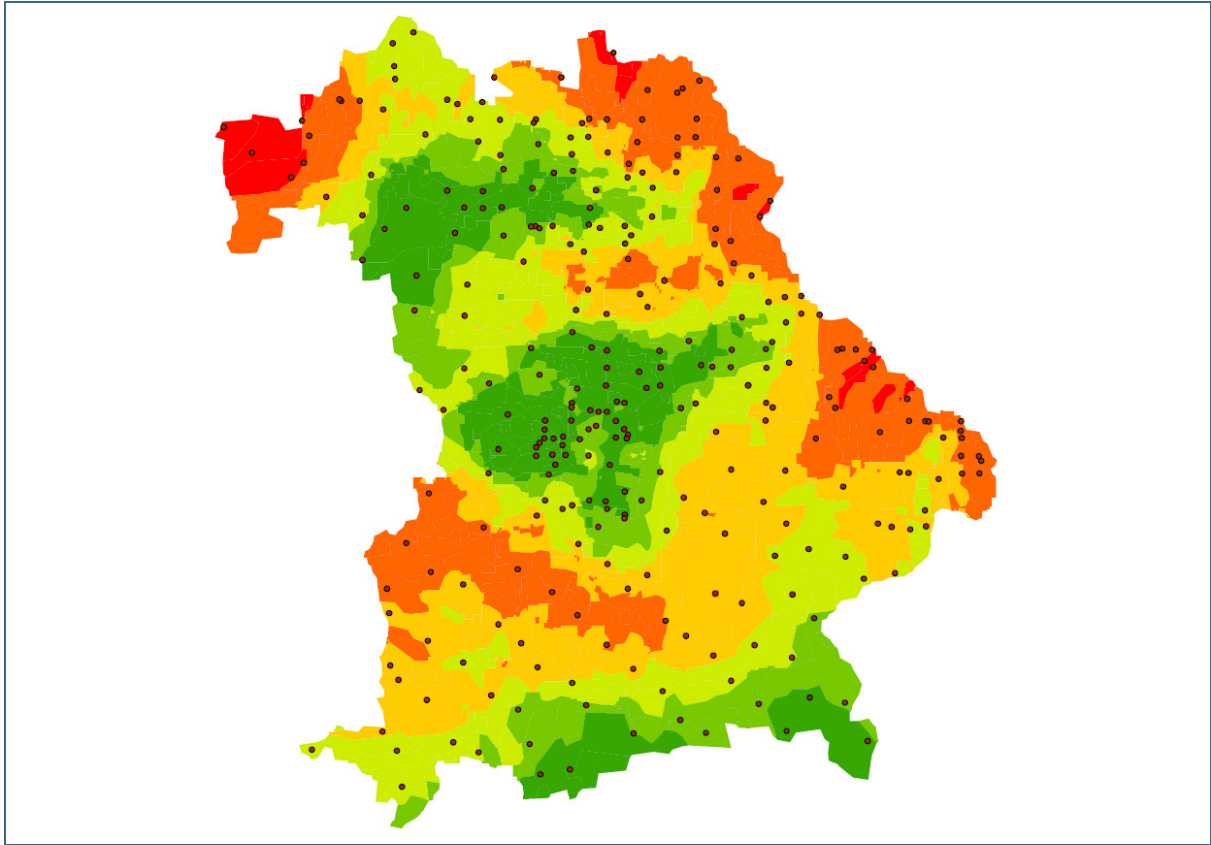


Abb. 5: Belastungsräume der PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusaufgabe. Obergrenzen der Teilräume: 10. Perzentil = grün, 25. Perzentil = mittelgrün, 50. Perzentil = hellgrün, 75. Perzentil = dunkelgelb, 90. Perzentil = orange, 100. Perzentil = rot. Punkte kennzeichnen zugrundeliegende Stützpunkte (n=293).

Die PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in den sechs abgegrenzten Belastungsräumen zeigten eine charakteristische Werteverteilung. Die Wertespektren der Teilräume 1 und 2 sowie der Teilräume 5 und 6 waren einander sehr ähnlich. So lag beispielsweise das 90. Perzentil, das heißt der Hintergrundwert (LABO, 2003), des Teilraums 1 (20 ng/kg) höher als der des Teilraums 2 (19 ng/kg). Mit n=13 lag der Stichprobenumfang des Teilraums 6 lag unterhalb der empfohlenen Anzahl von n=20 (LABO, 2003). Annähernd gleiche Werte des 90. Perzentils in Teilraum 5 (40 ng/kg) und 6 (42 ng/kg) legten nahe, diese zwei Teilräume für die statistische Auswertung zu vereinen. Somit resultierten vier Teilräume für die statistische Auswertung der PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusaufgabe (Abb. 6 und Tab. 7).



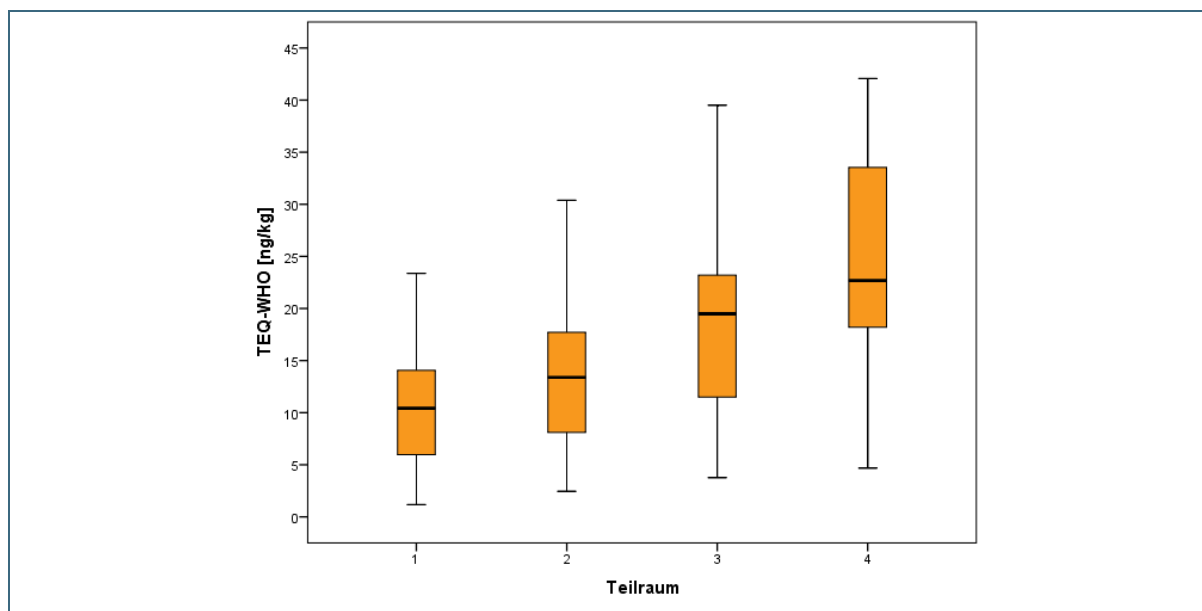


Abb. 6: PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusauflage zugeordnet auf 4 Teilräume unterschiedlicher Belastung (Box-Whisker Plot: Unterer Whisker = Minimum; 25. Perzentil, 50. Perzentil, 75. Perzentil; oberer Whisker = Maximum).

Tab. 7: Perzentile und Hintergrundwert der PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusauflage, untergliedert nach ausgegrenzten Teilräumen (vgl. Abb. 5: Teilraum 1 = grüne+mittelgrüne Fläche; Teilraum 4 = orangene+rote Fläche).

PCDD/F-TEQ-WHO [ng/kg]		Teilraum 1	Teilraum 2	Teilraum 3	Teilraum 4
	n	89	47	78	79
Perzentil	10	3	4	7	12
	20	5	7	11	16
	30	7	9	14	19
	40	9	11	17	22
	50	10	13	19	23
	60	12	14	20	25
	70	13	16	21	32
	80	15	19	24	35
<b>Hintergrundwert</b>	<b>90</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>32</b>	<b>40</b>

### 3.1.2 Homologenprofil in der Humusauflage

In Tab. 8 sind die deskriptiven statistischen Parameter für die Homologengruppen der vierfach (Tetra), fünffach (Penta), sechsfach (Hexa), siebenfach (Hepta) und achtfach (Octa) chlorierten Dibenzodioxine (PCDD) und Dibenzofurane (PCDF) aufgeführt.

Tab. 8: Deskriptive Statistik der PCDD/F-Homologen [ng/kg] in der Humusauflage.

	TCDD	PeCDD	HxCDD	HpCDD	OCDD	TCDF	PeCDF	HxCDF	HpCDF	OCDF	TEQ-WHO
<b>n</b>	313	315	314	311	314	311	312	312	311	310	312
<b>A (n)</b>	4	2	3	6	3	6	5	5	6	7	5
<b>Min</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Max</b>	2,3	14	53	200	1100	46	82	112	191	185	57
<b>MW</b>	0,59	3,6	15	61	314	14	21	33	50	44	18
<b>Med</b>	0,51	3,0	13	52	250	13	18	28	41	33	15
<b>90</b>	<b>1,2</b>	<b>6,8</b>	<b>27</b>	<b>104</b>	<b>580</b>	<b>25</b>	<b>39</b>	<b>61</b>	<b>94</b>	<b>92</b>	<b>33</b>

A (n) = Anzahl der Ausreißer; MW = Mittelwert; Med = Median; 90 = 90. Perzentil

Bei der Homologen-Verteilung in der Humusauflage (Abb. 7) stellen die OCDD quantitativ den weitaus größten Teil der Homologen dar. Multipliziert mit dem TEQ-WHO-Faktor von 0,0001 macht OCDD jedoch lediglich 0,17 % vom 90. Perzentilwert des Gesamt-TEQ-WHO (33,3 ng/kg TM) aus, während die Summe der niederchlorierten DD/F-Homologen (TCDD, PeCDD, TCDF und PeCDF) 67 % zum TEQ-WHO beisteuern.

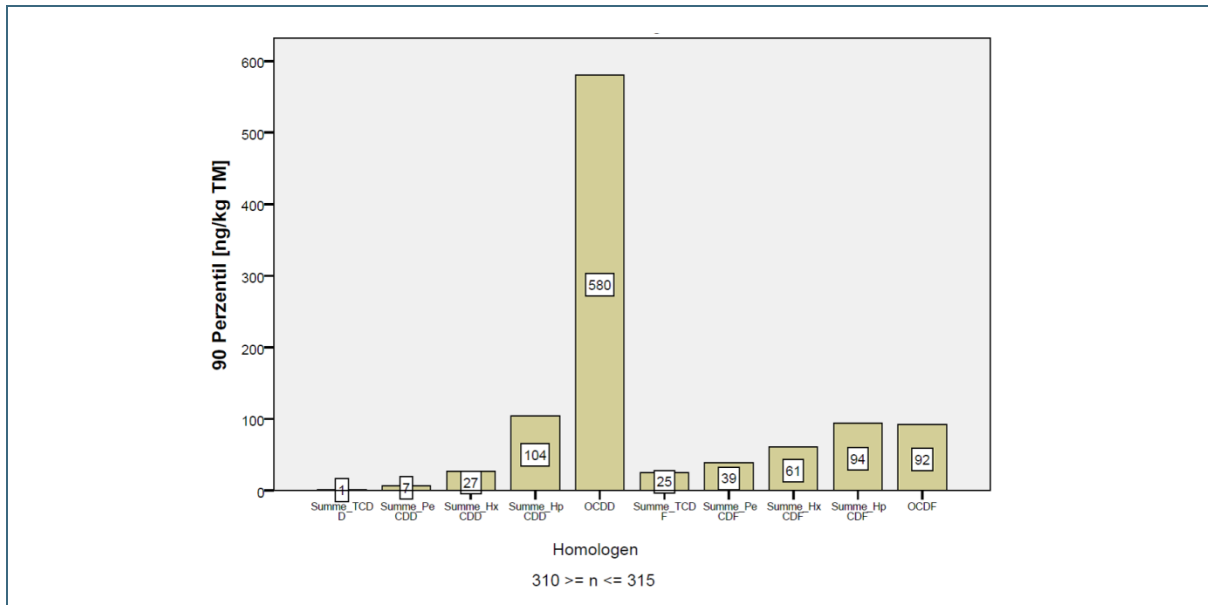


Abb. 7: Homologenprofil der 2,3,7,8-chlorsubstituierten PCDD/F in der Humusauflage. Zahlenangaben kennzeichnen Werte des 90. Perzentils.

### 3.1.3 Forst Oberboden

Die PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Forst sind räumlich korreliert (Abb. 8), wobei die Reichweite deutlich kleiner ist als in den Humusauflagen (Abb. 4). Der Nuggetwert, das heißt die Mikrovariabilität, beträgt im Oberboden unter Forst 50 % der Gesamtvariabilität (Sill). Damit kann der räumliche Zusammenhang als „moderat“ eingestuft (CAMBARADELLA et al., 1984) und die Variogrammparameter für die weiteren Krigeberechnungen verwendet werden.

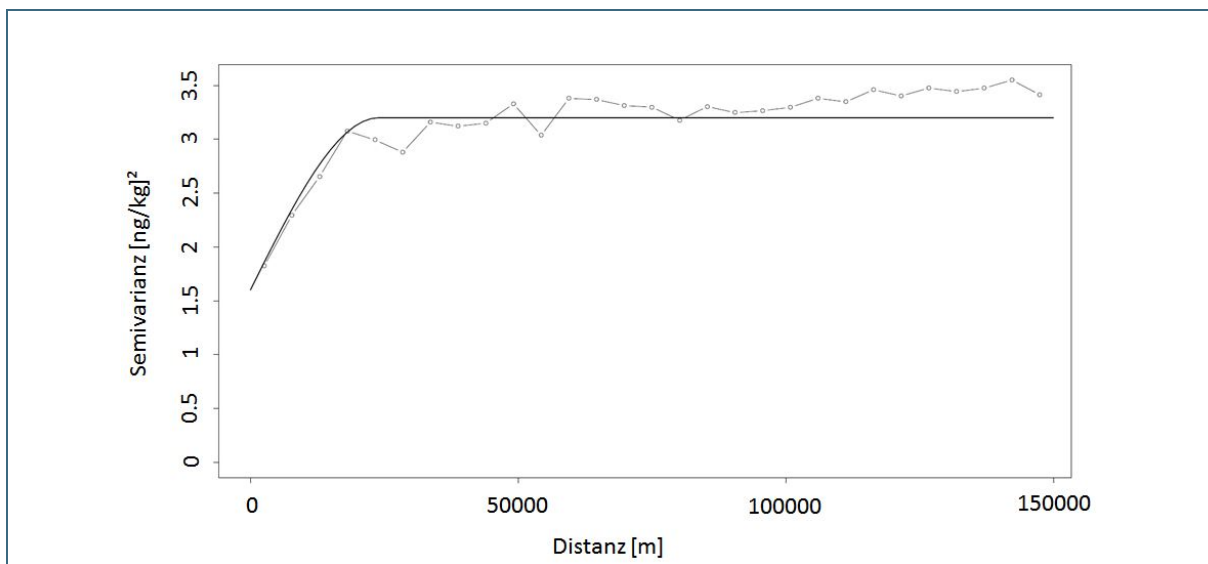


Abb. 8: Experimentelles Variogramm (Punkt-Linie) mit sphärischem Variogrammmodell (Ausgleichslinie) für PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Forst. Variogrammparameter, siehe Tab. 5.

Die Belastungsräume der PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte für Oberböden unter Forst sind infolge der geringeren Reichweite der räumlichen Beziehungen kleinräumiger strukturiert als die Humusauflagen (Tab. 5; Abb. 5 und Abb. 9). Während sich im Spessart die erhöhten PCDD/F-TEQ-WHO-Konzentrationen von der Humusauflage bis in tiefere Bodenbereiche fortsetzen, sind im NE Bayerns relativ geringe PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in den Oberböden unter Forst zu finden (Abb. 9). Diese im Vergleich zu den Humusauflagen (Abb. 5) komplementäre Verteilung deutet auf eine weitgehende Stoffsorption in den überlagernden Humusauflagen hin (JONECK und DILLING, 2003), sodass der Oberboden durch Schadstoffeinträge kaum beeinträchtigt wird. Umgekehrt weisen neben den Oberböden in SE-Unterfranken diejenigen im Voralpenraum erhöhte PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte auf, die den Humusauflagen diametral entgegenstehen. Hier sind aufgrund der Barrierewirkung des Reliefs und der Expositionsgliederung der Talhänge besonders kleinräumige Depositions-, Abbau- und Verlagerungsbedingungen als Ursachen zu vermuten (HANGEN et al., 2011).

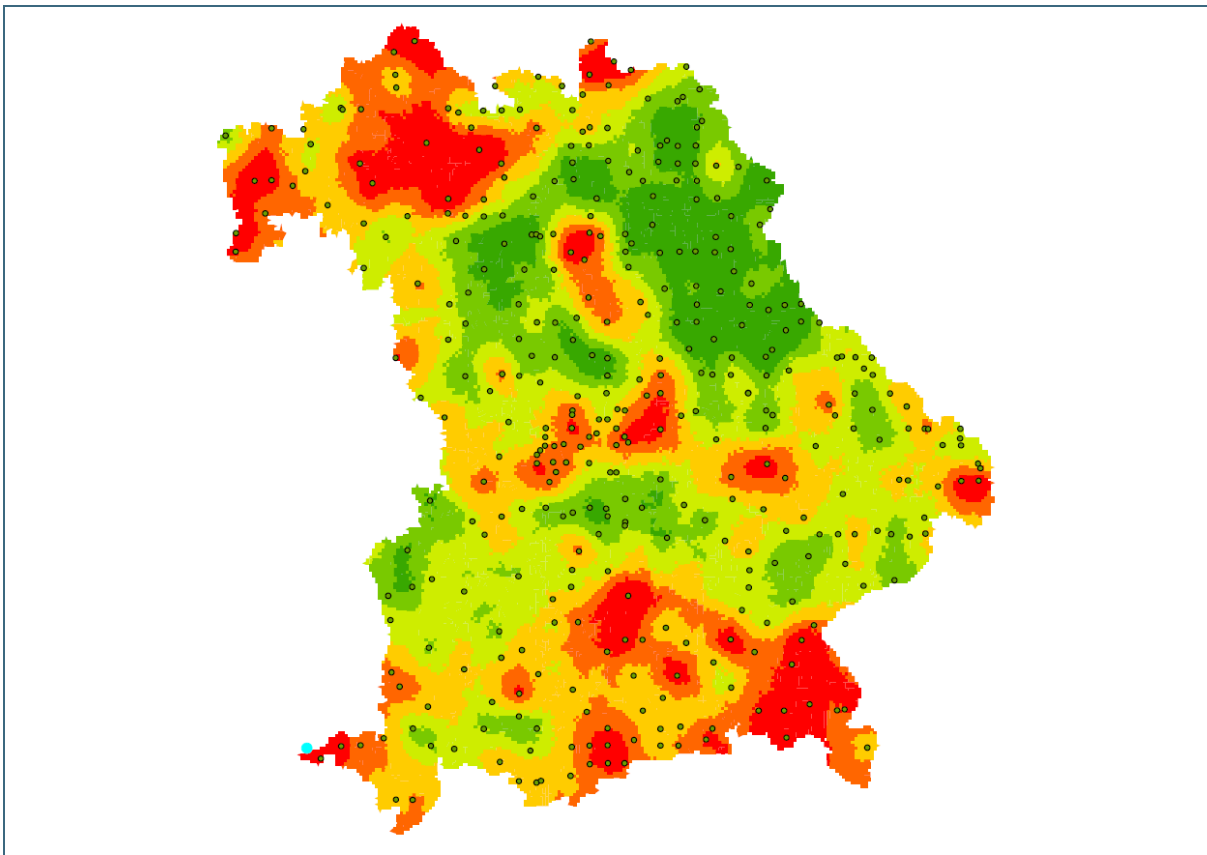


Abb. 9: Belastungsräume der PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Forst. Obergrenzen der Teilräume: 10. Perzentil = grün, 25. Perzentil = mittelgrün, 50. Perzentil = hellgrün, 75. Perzentil = dunkelgelb, 90. Perzentil = orange, 100. Perzentil = rot. Punkte kennzeichnen zugrundeliegende Stützpunkte (n=380).

Die PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in den sechs abgegrenzten Belastungsräumen der Oberböden unter Forst zeigten eine charakteristische Werteverteilung (Abb. 10 und Tab. 9).

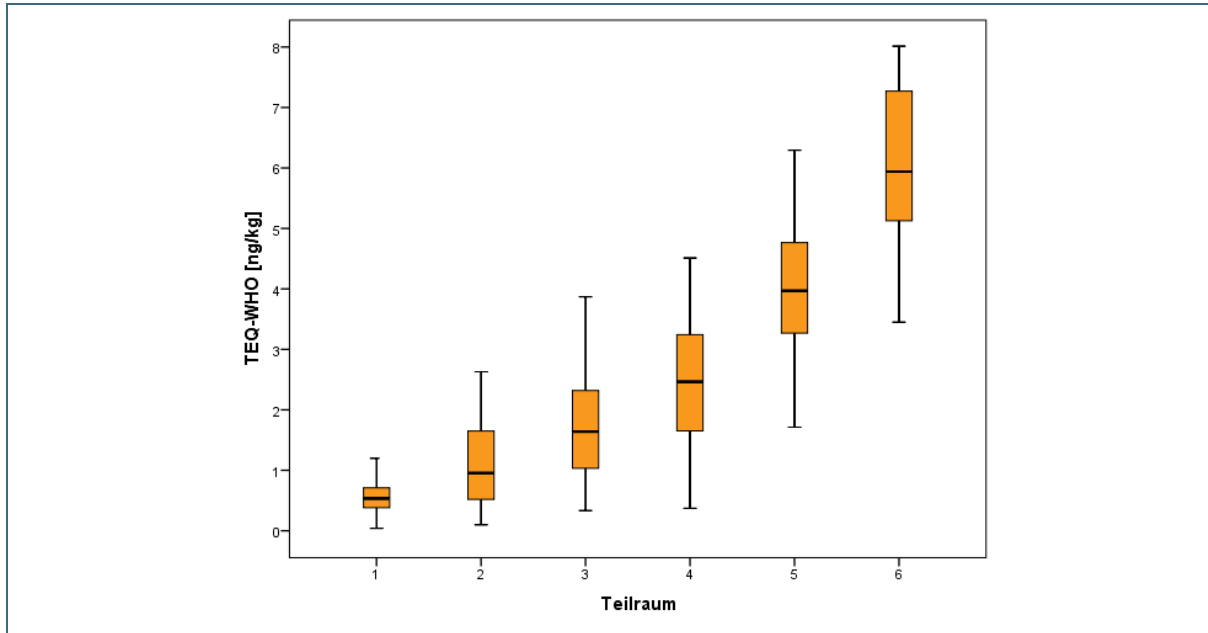


Abb. 10: PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Forst zugeordnet auf 6 Teilräume unterschiedlicher Belastung (Box-Whisker Plot: Unterer Whisker = Minimum; 25. Perzentil, 50. Perzentil, 75. Perzentil; oberer Whisker = Maximum).

Tab. 9: Perzentile und Hintergrundwert der PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Forst untergliedert nach ausgegrenzten Teilräumen (vgl. Abb. 9).

PCDD/F-TEQ-WHO [ng/kg]		Teilraum 1	Teilraum 2	Teilraum 3	Teilraum 4	Teilraum 5	Teilraum 6
	n	47	73	83	76	55	45
Perzentil	10	0.2	0.3	0.8	1.4	2.3	4.0
	20	0.3	0.4	1.0	1.6	3.0	4.7
	30	0.4	0.6	1.1	1.7	3.5	5.2
	40	0.5	0.7	1.4	2.2	3.7	5.4
	50	0.5	1.0	1.6	2.5	4.0	5.9
	60	0.6	1.2	2.0	2.9	4.1	6.3
	70	0.7	1.5	2.2	3.1	4.7	7.1
	80	0.9	1.8	2.5	3.4	5.0	7.4
<b>Hintergrundwert</b>	<b>90</b>	<b>1.3</b>	<b>2.4</b>	<b>3.0</b>	<b>4.0</b>	<b>5.8</b>	<b>7.7</b>

### 3.1.4 Homologenprofil Forst Oberboden

Bei den mineralischen Forst-Oberböden zeigt sich im Vergleich zu den organischen Auflagehorizonten erwartungsgemäß ein anderes Bild: Zum einen, weil persistente organische Schadstoffe (POP), zu denen auch die PCDD/F gehören, lipophil sind und daher vorzugsweise an der organischen Substanz im Boden, das heißt vor allem in der Humusaufgabe, gebunden werden. Zum anderen, weil die Humusaufgabe ein sehr viel geringeres spezifisches Gewicht haben als die mineralischen Horizonte (bis Faktor 15). Die massenbezogenen Schadstoffgehalte in den mineralischen Bodenproben sind daher deutlich geringer (Tab. 10). Insofern sind Schadstoffgehalte in Auflagen mit denen in mineralischen Oberböden nur eingeschränkt vergleichbar (vgl. JONECK und PRINZ, 1994).

Tab. 10: Deskriptive Statistik der PCDD/F-Homologen [ng/kg], Forst Oberboden.

	TCDD	PeCDD	HxCDD	HpCDD	OCDD	TCDF	PeCDF	HxCDF	HpCDF	OCDF	TEQ-WHO
<b>n</b>	399	393	396	391	389	386	392	395	399	398	394
<b>A (n)</b>	10	16	13	18	20	23	17	14	10	11	15
<b>Min</b>	0,00	0,00	0,00	0,53	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
<b>Max</b>	0,33	1,6	7,7	29	145	6,8	11	21	38	48	8,5
<b>MW</b>	0,07	0,4	2,0	8,1	42	1,8	3,1	5,0	10	14	2,6
<b>Med</b>	0,05	0,3	1,6	6,1	31	1,2	2,4	3,8	8,2	12	2,1
<b>90</b>	<b>0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>3,8</b>	<b>16</b>	<b>82</b>	<b>3,7</b>	<b>6,4</b>	<b>11</b>	<b>19</b>	<b>28</b>	<b>4,8</b>

Abb. 11 zeigt, ähnlich wie bei den Humusaufgaben, eine Dominanz von OCDD, wenn auch auf viel niedrigerem Niveau. Anders als bei den Auflagen ist hier bei den Oberböden das Verhältnis von OCDD zu OCDF viel enger. Während bei den Auflagen OCDD um Faktor 5 höher ist als OCDF, liegt er hier bei nahezu 3. Der Anteil von OCDD am Gesamt-TEQ-WHO (4,8 ng/kg TM) liegt jedoch wie bei den Auflagen bei 0,17 %. Die tetra- und pentachlorierten DD und DF tragen zu 72 % zum TEQ-WHO bei.

Beim Homologenvergleich zwischen den Oberböden unter Forst und unter Landwirtschaft (hier nicht dargestellt) ist ein deutlicher Unterschied (Faktor 2) im Verhältnis der niederchlorierten Homologen (nCH), (4- und 5-fach chlorierte DD/F) zu den höherchlorierten (6-, 7- und 8-fach chlorierte DD/F) erkennbar. Der Einfluss der nCH ist in Forstböden stärker ausgeprägt als bei den landwirtschaftlich genutzten Böden. Das TEQ-WHO wird unter Forst vorwiegend von den nCH (zu 72 %) bestimmt, während sie bei den Acker- und Grünlandoberböden lediglich zu 63 % bzw. 61 % beitragen. Die Ähnlichkeit der Homologenpatterns zwischen den Acker- und Grünlandoberböden (hier nicht dargestellt) lässt den Schluss zu, dass durch die landwirtschaftliche Nutzung insgesamt wohl kein nennenswerter nutzungsspezifischer Eintrag an PCDD/F erfolgt und die PCDD/F-Konzentrationen aufgrund der Ähnlichkeit im Homologen-Pattern eher auf diffuse, ubiquitär-atmogene Immissionen zurückgeführt werden können.

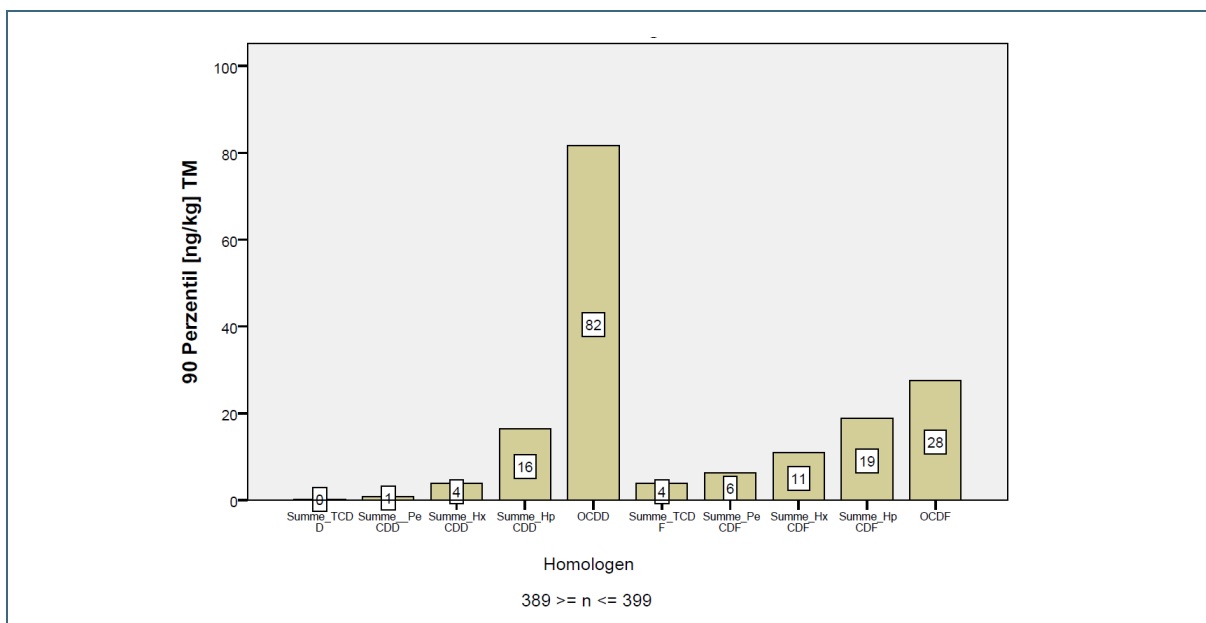


Abb. 11: Homologenprofil der 2,3,7,8-chlorsubstituierten PCDD/F, Forst Oberboden. Zahlenangaben kennzeichnen Werte des 90. Perzentils.

### 3.1.5 Landwirtschaft Oberboden

Im Gegensatz zu PAK<sub>16</sub>, PCB<sub>6</sub>, HCB, S-DDT und S-HCH, die im Projekt GRABEN (JONECK et al., 2006) untersucht wurden und unter Landwirtschaft ein Höchstmaß an Mikrovariabilität zeigten, war bei den PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalten landwirtschaftlicher Oberböden eine räumliche Abhängigkeit gegeben, deren Reichweite sogar die für Oberböden unter Forst übertrifft (Abb. 8 und Abb. 12). Der Nuggetwert, das heißt die Mikrovariabilität, beträgt im Oberboden unter Landwirtschaft 49 % der Gesamtvariabilität (Sill), der räumliche Zusammenhang ist damit „moderat“ ausgeprägt (CAMBARADELLA et al., 1984). Die Variogrammparameter konnten für die weiteren Krigeberechnungen verwendet werden.

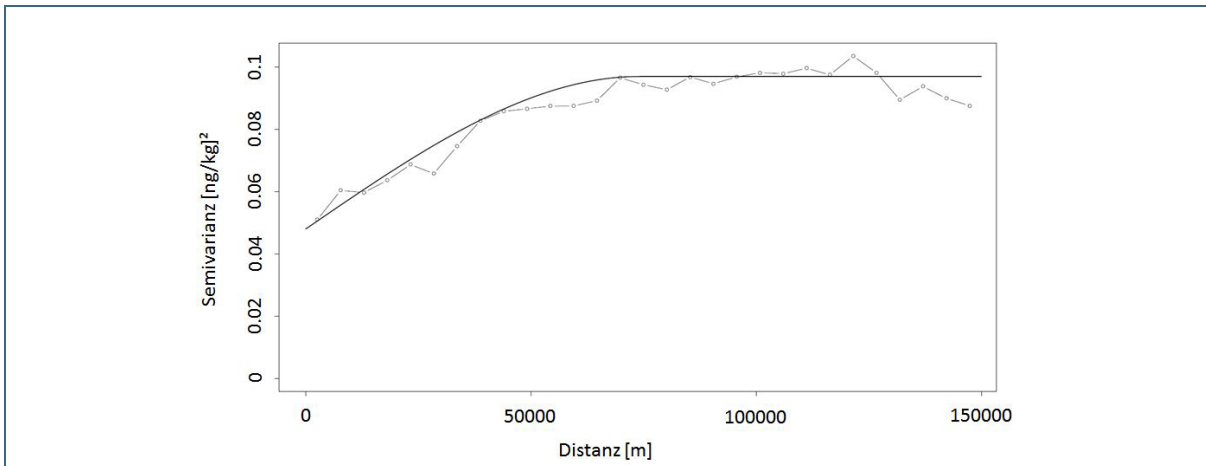


Abb. 12: Experimentelles Variogramm (Punkt-Linie) mit sphärischem Variogrammmodell (Ausgleichsline) für PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Landwirtschaft. Variogrammparameter, siehe Tab. 5.

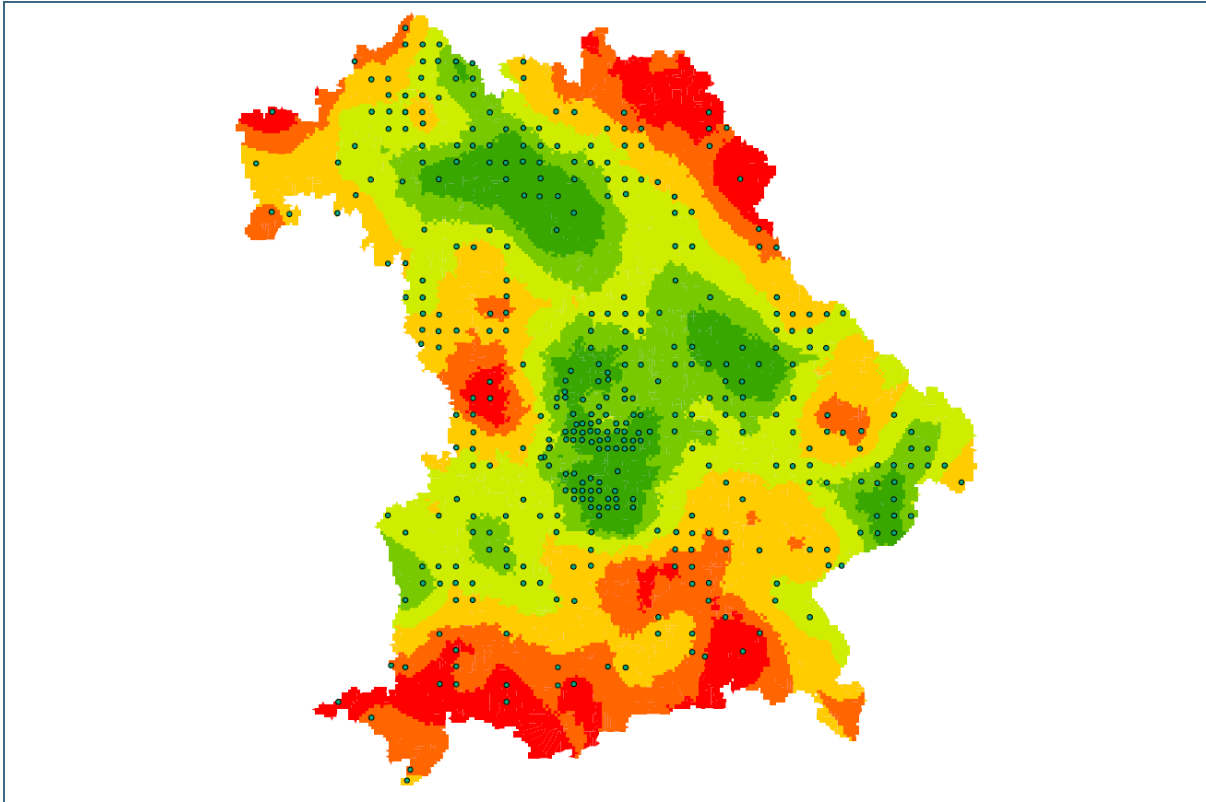


Abb. 13: Belastungsräume der PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Landwirtschaft. Obergrenzen der Teilräume: 10. Perzentil = grün, 25. Perzentil = mittelgrün, 50. Perzentil = hellgrün, 75. Perzentil = dunkelgelb, 90. Perzentil = orange, 100. Perzentil = rot. Punkte kennzeichnen zugrundeliegende Stützpunkte (n=383).

Auch wenn der Auskämmeffekt von Nadelwäldern im Vergleich zu anderen Landnutzungen nicht zu unterschätzen ist (MCLACHLAN und HORSTMANN, 1998), haben offenbar auch topografische Eigenschaften Effekte auf die Deposition luftgetragener Schadstoffe wie beispielsweise PCDD/F-TEQ-WHO. Sowohl die Mittelgebirge NE-Bayerns, als auch das Voralpengebiet wirken offenbar als Barriere für die PCDD/F-TEQ-WHO-Deposition und verursachen erhöhte Konzentrationen in Oberböden unter Landwirtschaft (Abb. 13). Im Gegensatz dazu finden sich Teilräume mit niedrigen PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalten in den tiefer gelegenen Regionen Bayerns, zum Beispiel dem Donauebiet im nördlichen Oberbayern und dem Grenzraum zwischen Unter- und Oberfranken (Abb. 13).

Die sechs abgegrenzten Belastungsräume der Oberböden unter Landwirtschaft weisen eine charakteristische Werteverteilung der PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte auf (Abb. 14 und Tab. 11).

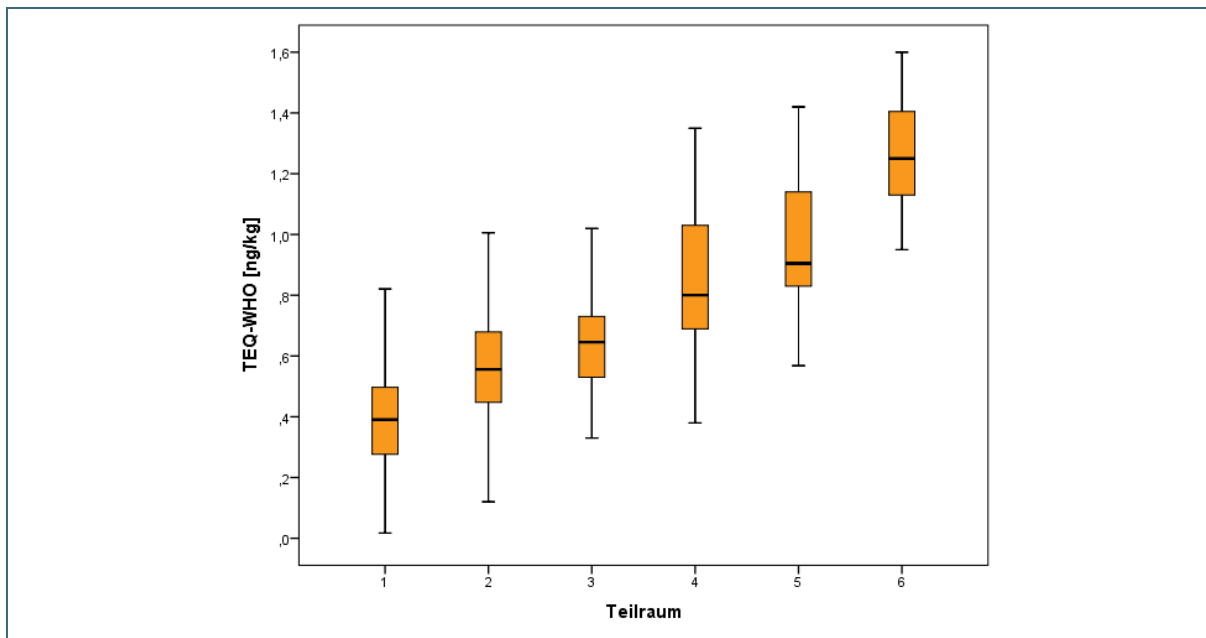


Abb. 14: PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Landwirtschaft, zugeordnet auf 6 Teilräume unterschiedlicher Belastung (Box-Whisker Plot: Unterer Whisker = Minimum; 25. Perzentil, 50. Perzentil, 75. Perzentil; oberer Whisker = Maximum).

Tab. 11: Perzentile und Hintergrundwert der PCDD/F-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Landwirtschaft, untergliedert nach ausgegrenzten Teilräumen (vgl. Abb. 13).

PCDD/F-TEQ-WHO [ng/kg]		Teilraum 1	Teilraum 2	Teilraum 3	Teilraum 4	Teilraum 5	Teilraum 6
	n	81	86	89	74	34	19
Perzentil	10	0.19	0.30	0.45	0.56	0.76	0.95
	20	0.25	0.41	0.51	0.68	0.76	1.06
	30	0.31	0.49	0.56	0.71	0.84	1.16
	40	0.36	0.52	0.62	0.76	0.87	1.18
	50	0.39	0.56	0.65	0.80	0.91	1.25
	60	0.43	0.60	0.69	0.87	0.99	1.31
	70	0.45	0.64	0.71	0.98	1.08	1.40
	80	0.54	0.71	0.80	1.09	1.17	1.50
<b>Hintergrundwert</b>	<b>90</b>	<b>0.69</b>	<b>0.83</b>	<b>0.94</b>	<b>1.22</b>	<b>1.32</b>	<b>1.57</b>

## 3.2 dIPCB-TEQ-WHO

### 3.2.1 Humusaufgabe

Für die Humusaufgaben Bayerns standen lediglich 66 Standorte aus Unter-, Oberfranken, Oberpfalz und Niederbayern zur Verfügung. Die kartografische Darstellung beschränkt sich daher auf diese Regierungsbezirke. Für diesen Gebietsausschnitt war eine räumliche Korrelation der dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte erkennbar, der ein Kriging und nachfolgende Auswertungen rechtfertigte (Abb. 15). Der Nug-getwert, das heißt die Mikrovariabilität, beträgt in den Humusaufgaben 66 % der Gesamtvariabilität (Sill), das heißt es liegt ein „moderater“ räumlicher Zusammenhang vor (CAMBARADELLA et al., 1984).

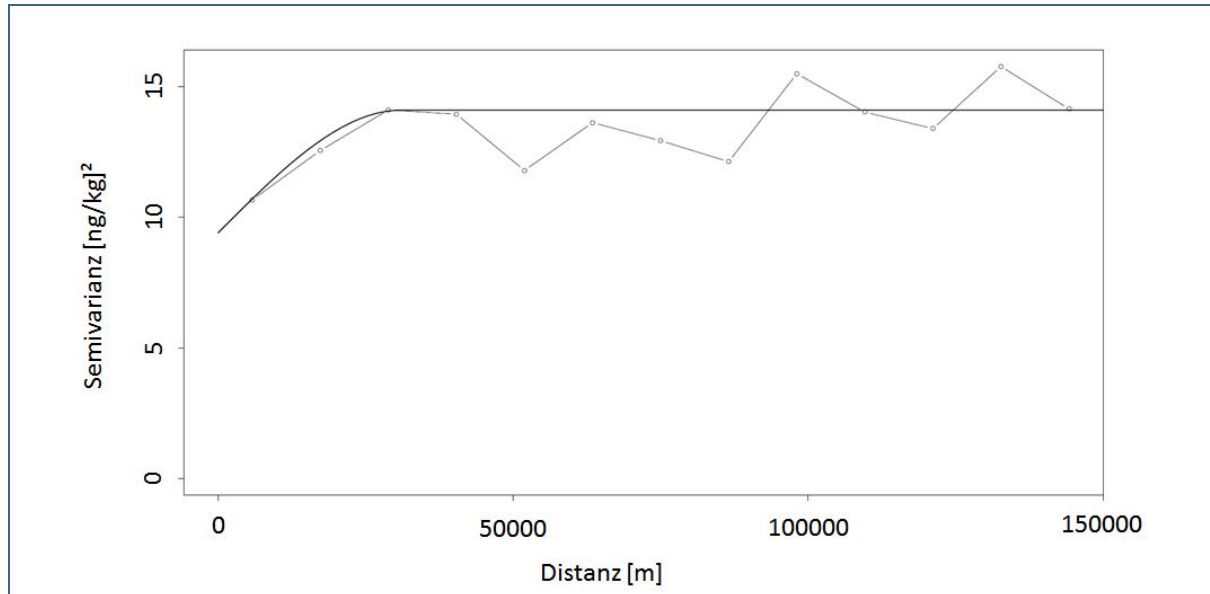


Abb. 15: Experimentelles Variogramm (Punkt-Linie) mit sphärischem Variogrammmodell (Ausgleichslinie) für dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusaufgabe. Variogrammparameter, siehe Tab. 6.

Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs ( $n=66$ ) konnten im Gegensatz zu den bisherigen Stoff-Horizontgruppen Kombinationen lediglich 5 Teilräume für dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusaufgabe abgegrenzt werden (Abb. 16). Die vorläufige Verteilung von dIPCB-TEQ-WHO-Belastungsräumen in den betrachteten Regierungsbezirken Bayerns zeigt erhöhte Werte in den Humusaufgaben der südlichen Oberpfalz und des westlichen Niederbayerns. Während bei den übrigen Stoff-Horizontgruppen Kombinationen ein klarer Effekt der nordöstlichen Mittelgebirge zutage tritt (Abb. 5, Abb. 9, Abb. 13), ist hier eine N-S Ausrichtung der Belastungsräume erkennbar. Um abgesicherte bayernweite Aussagen zur Verteilung des dIPCB-TEQ-WHO in den Humusaufgaben treffen zu können, sollten mindestens circa 90 zusätzliche Proben unter Nadel- bzw. nadeldominiertem Mischwald nachanalysiert werden (s. Tab. 2).



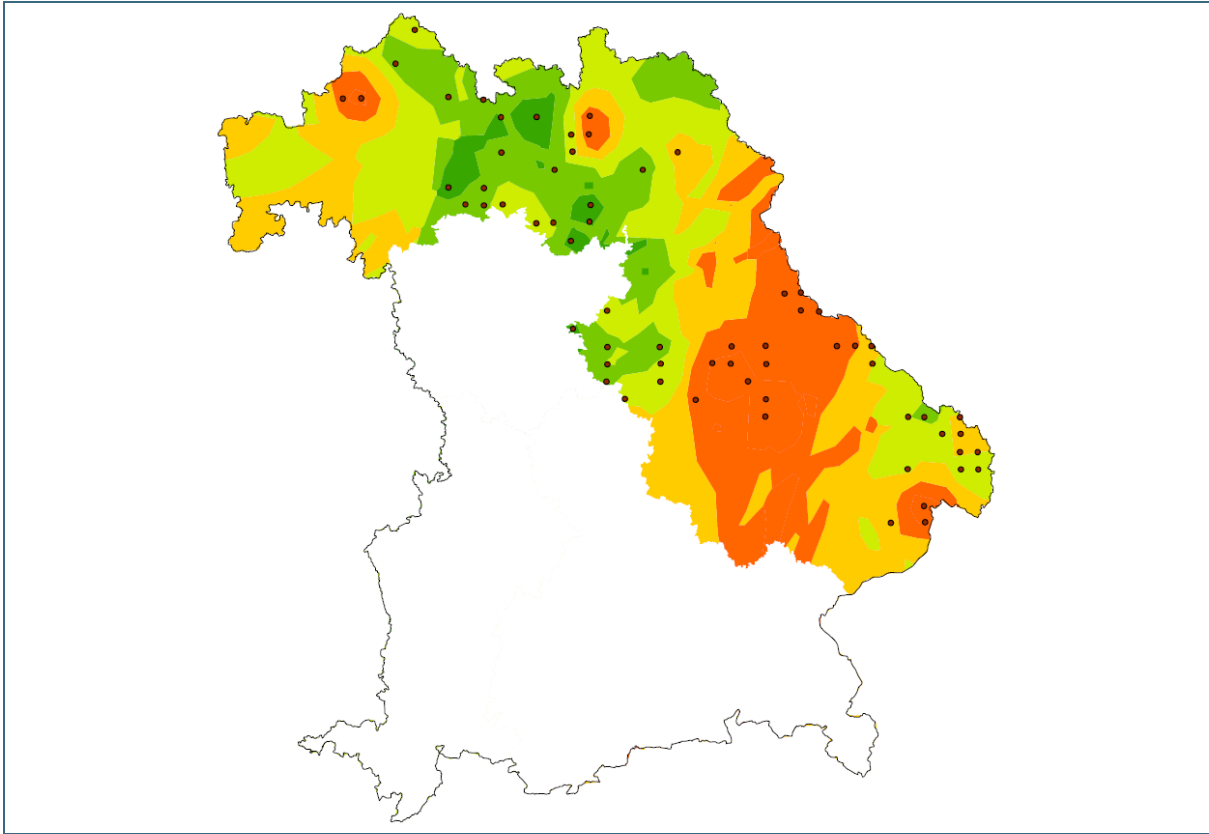


Abb. 16: Belastungsräume der dI PCB-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusaufgabe. Obergrenzen der Teilräume: 10. Perzentil = grün, 25. Perzentil = mittelgrün, 50. Perzentil = hellgrün, 75. Perzentil = dunkelgelb, 90. Perzentil = orange. Punkte kennzeichnen zugrundeliegende Stützpunkte (n=66).

Um trotz des geringen Stichprobenumfangs der dI PCB-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusaufgabe Hintergrundwerte ableiten und die Mindestanzahl von 20 Stützpunkten (LABO, 2003) erfüllen zu können, wurden die jeweils benachbarten Belastungsräume zusammengelegt. Somit besteht der resultierende Teilraum 1 aus den ehemaligen Teilräumen 1+2. Den neuen Teilraum 2 repräsentieren die ehemaligen Teilräume 3+4, und der neue Teilraum 3 setzt sich aus den ursprünglichen Teilräumen 5+6 zusammen. Die drei resultierenden Teilräume der Humusaufgabe weisen charakteristische Verteilungen der dI PCB-TEQ-WHO-Gehalte auf (Abb. 17 und Tab. 12).

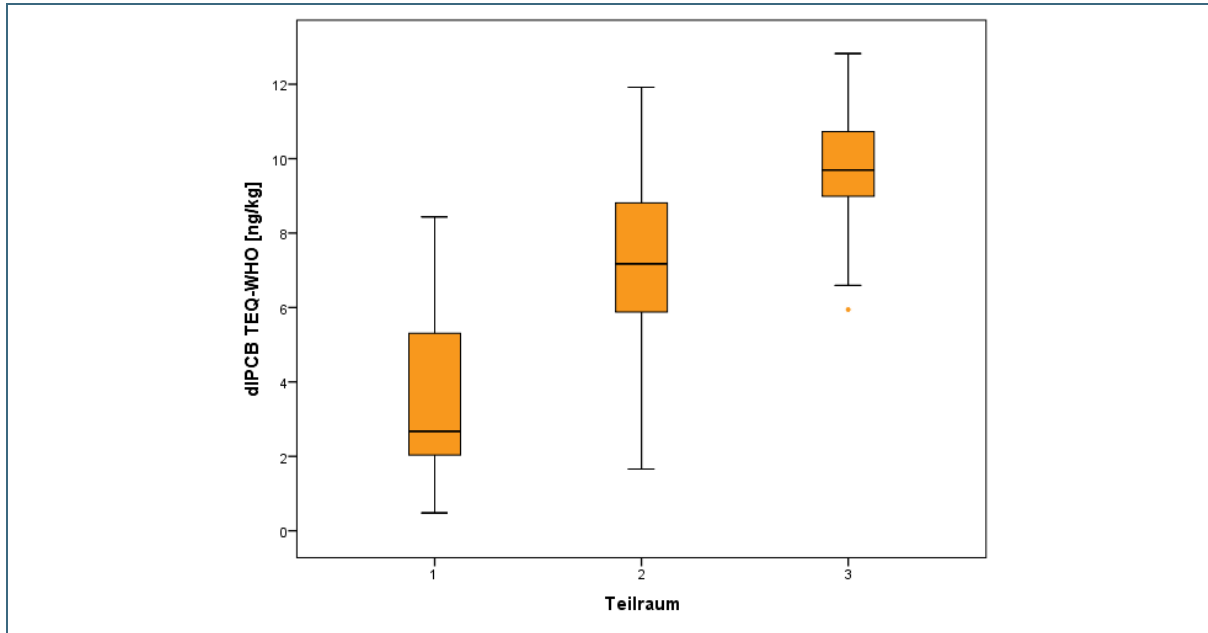


Abb. 17: dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusauflage, zugeordnet auf 3 Teilräume unterschiedlicher Belastung (Box-Whisker Plot: Unterer Whisker = Minimum; 25. Perzentil, 50. Perzentil, 75. Perzentil; oberer Whisker = Maximum).

Tab. 12: Perzentile und Hintergrundwert der dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in der Humusauflage, untergliedert nach ausgegrenzten Teilräumen (vgl. Abb. 16: Teilraum 1 = grüne+mittelgrüne Fläche; Teilraum 2 = hellgrüne+gelbe Fläche; Teilraum 3 = orangene Fläche).

dIPCB-TEQ-WHO [ng/kg]		Teilraum 1	Teilraum 2	Teilraum 3
	n	21	23	21
Perzentil	10	0.9	3.4	6.7
	20	1.3	5.4	8.5
	30	2.1	6.0	9.0
	40	2.5	6.7	9.3
	50	2.7	7.2	9.7
	60	3.7	8.0	10.3
	70	4.9	8.5	10.6
	80	6.4	10.0	12.5
<b>Hintergrundwert</b>	<b>90</b>	<b>8.1</b>	<b>11.0</b>	<b>14.6</b>

### 3.2.2 Forst Oberboden

dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Forst sind räumlich korreliert (Abb. 18), wobei die Semivarianz „unbegrenzt“ (NIELSEN und WENDROTH, 2002) ab circa 90.000 m Reichweite weiter ansteigt. Der räumliche Zusammenhang ist „moderat“ (CAMBARADELLA et al., 1984), da die Mikrovariabilität, im Oberboden unter Forst 48 % der Gesamtvariabilität (Sill) beträgt. Somit können die Variogramparameter für weitere Krigeberechnungen verwendet werden.

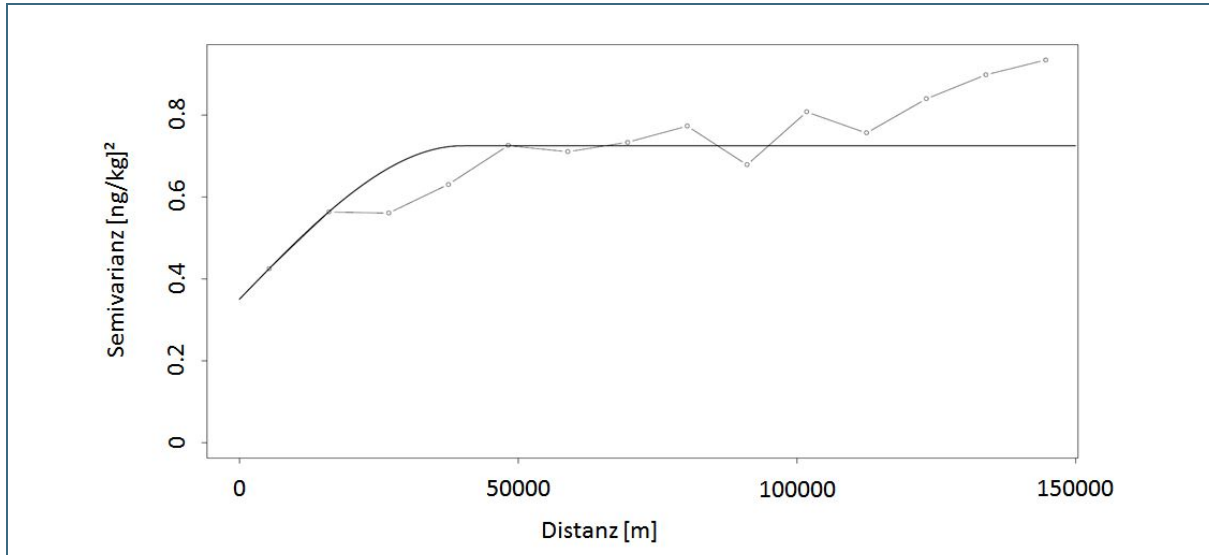


Abb. 18: Experimentelles Variogramm (Punkt-Linie) mit sphärischem Variogrammmodell (Ausgleichsline) für dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Forst. Variogrammparameter, siehe Tab. 6.

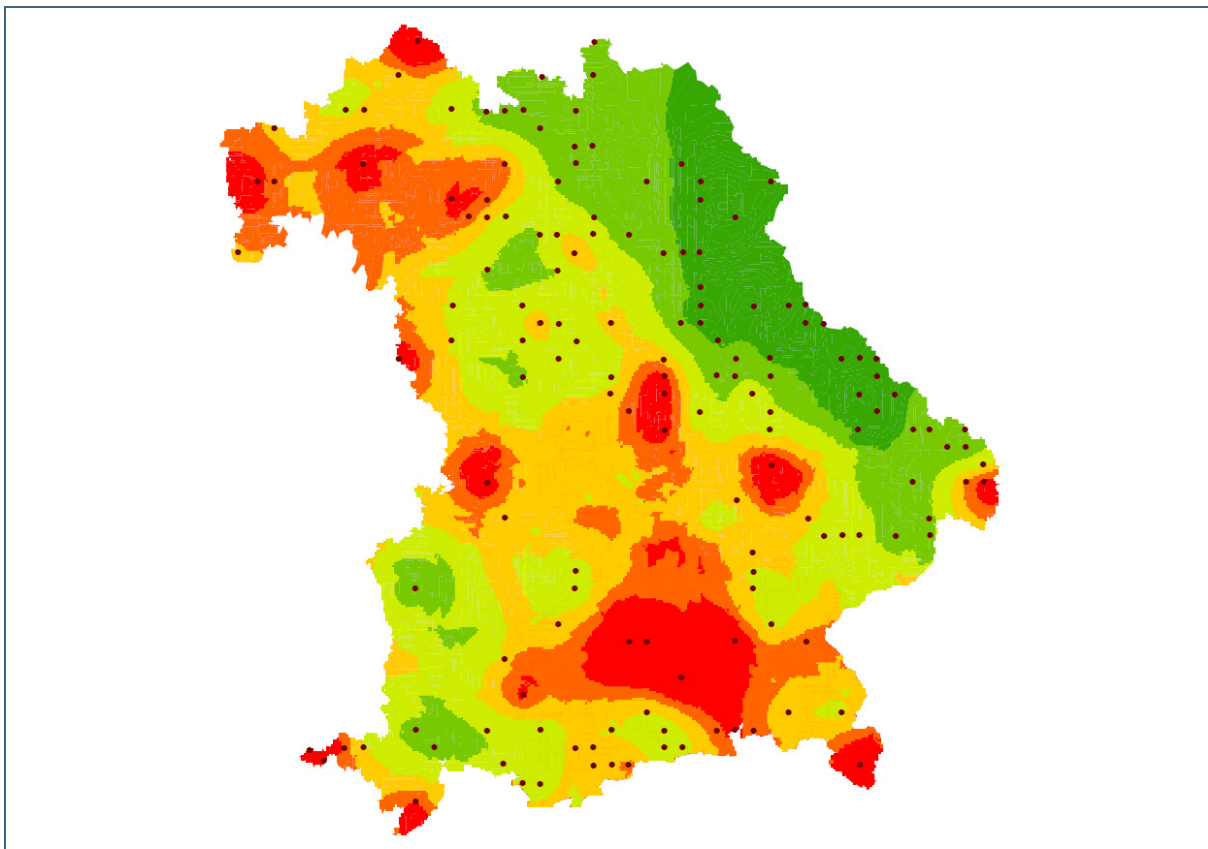


Abb. 19: Belastungsräume der dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Forst. Obergrenzen der Teilräume: 10. Perzentil = grün, 25. Perzentil = mittelgrün, 50. Perzentil = hellgrün, 75. Perzentil = dunkelgelb, 90. Perzentil = orange, 100. Perzentil = rot. Punkte kennzeichnen zugrundeliegende Stützpunkte (n=153).

Obwohl nur knapp die Hälfte der Stützpunkte zugrunde liegen, ähneln die Belastungsräume der dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte für Oberböden unter Forst denen der PCDD/F-TEQ-WHO-Konzentrationen (Abb. 19 und Abb. 9): Im Spessart treten erhöhte, im NE Bayerns dagegen relativ geringe dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte auf. Für diese Verteilung ist eine weitgehende Stoffsorption in den überlagernden

Humusauflagen in NE-Bayern wahrscheinlich (JONECK und DILLING, 2003). Umgekehrt weisen neben den Oberböden in SE-Unterfranken diejenigen im östlichen Voralpenraum erhöhte dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte auf (Abb. 19).

Die dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in den sechs abgegrenzten Belastungsräumen der Oberböden unter Forst zeigten eine charakteristische Werteverteilung (Abb. 20 und Tab. 13).

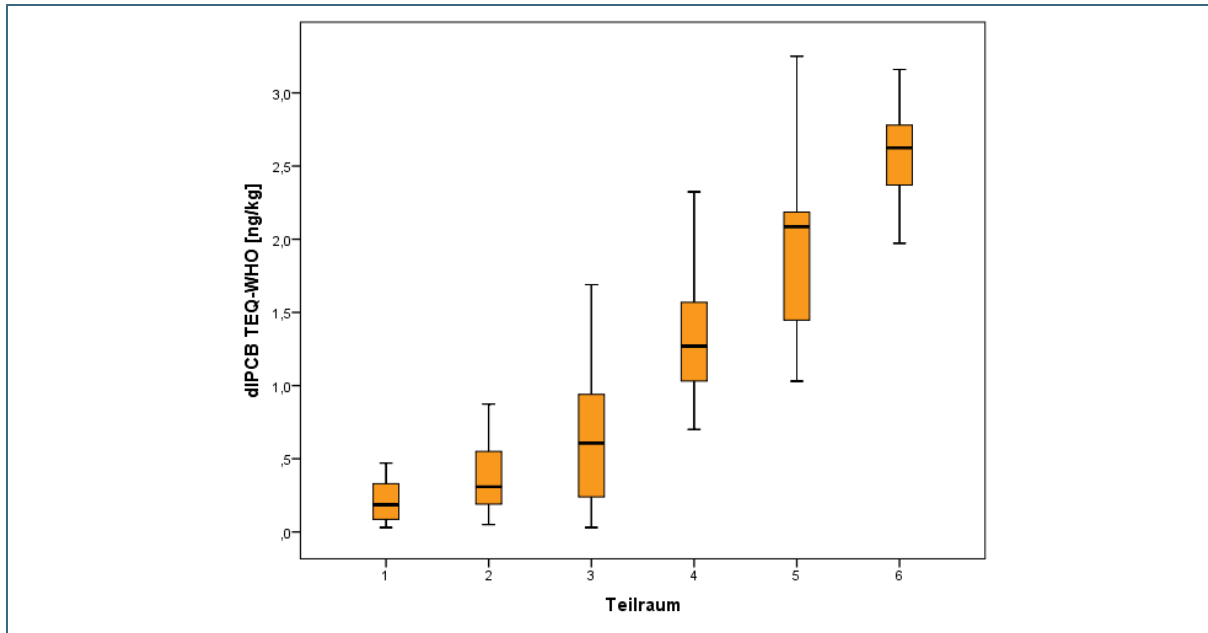


Abb. 20: dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Forst, zugeordnet auf 6 Teilräume unterschiedlicher Belastung (Box-Whisker Plot: Unterer Whisker = Minimum; 25. Perzentil, 50. Perzentil, 75. Perzentil; oberer Whisker = Maximum).

Tab. 13: Perzentile und Hintergrundwert der dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Forst, untergliedert nach ausgegrenzten Teilräumen (vgl. Abb. 19).

dIPCB-TEQ-WHO [ng/kg]		Teilraum 1	Teilraum 2	Teilraum 3	Teilraum 4	Teilraum 5	Teilraum 6
	n	24	36	38	23	12	20
Perzentil	10	0.06	0.11	0.16	0.76	1.11	2.00
	20	0.08	0.17	0.22	0.86	1.39	2.32
	30	0.09	0.19	0.28	1.10	1.45	2.43
	40	0.10	0.24	0.49	1.22	1.96	2.51
	50	0.19	0.31	0.61	1.27	2.09	2.62
	60	0.24	0.43	0.71	1.40	2.12	2.73
	70	0.29	0.51	0.82	1.54	2.16	2.77
	80	0.39	0.65	1.12	1.64	2.23	3.09
<b>Hintergrundwert</b>	<b>90</b>	<b>0.42</b>	<b>0.84</b>	<b>1.59</b>	<b>1.96</b>	<b>2.95</b>	<b>3.48</b>

### 3.2.3 Landwirtschaft Oberboden

Mit 30.000 m hat die räumliche Korrelation der dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Landwirtschaft eine vergleichsweise geringe Reichweite. Trotz einer Mikrovariabilität im Oberboden unter Landwirtschaft von 78 % der Gesamtvariabilität (Sill) und somit eines „schwachen“ räumlichen Zusammenhangs (CAMBARADELLA et al., 1984) qualifizierte die stetig ansteigende Varianz der ersten drei Lags (Abb. 21) die Daten für weitere geostatistische Auswertungen.

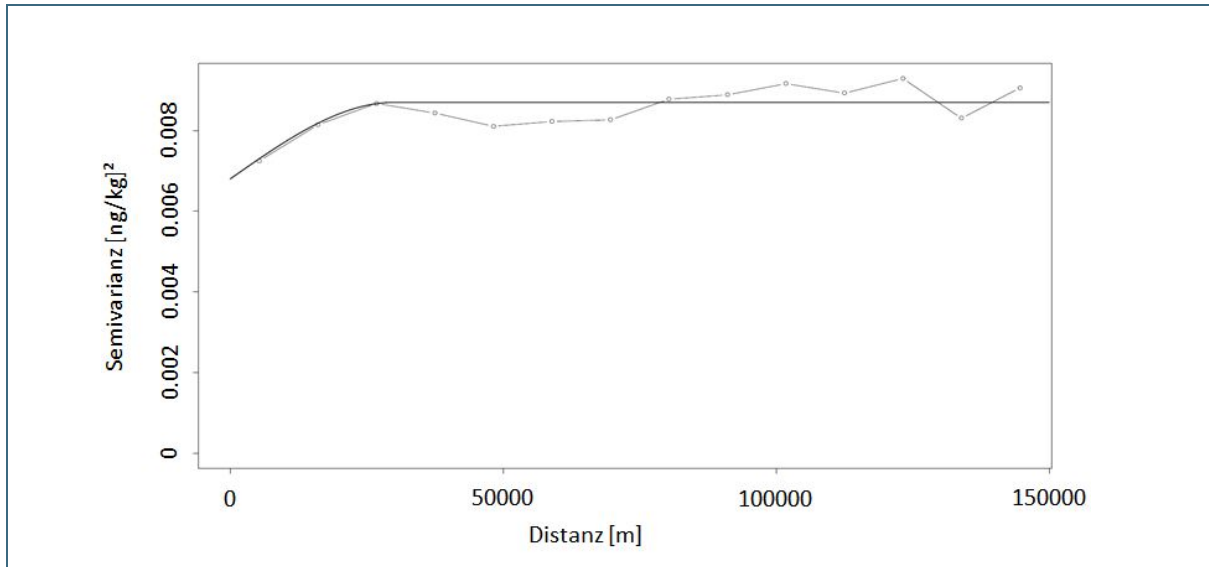


Abb. 21: Experimentelles Variogramm (Punkt-Linie) mit sphärischem Variogrammmodell (Ausgleichslinie) für dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Landwirtschaft. Variogrammparameter, siehe Tab. 6.

Die Verteilung der Belastungsräume der dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Landwirtschaft zeigt Ähnlichkeiten zu den PCDD/F-TEQ-WHO-Konzentrationen (Abb. 13): Erhöhten Werten im südwestlichen Bayern, westlichen Mittelfranken und dem Nordosten stehen niedrige Werte im östlichen Donaunraum und im Grenzgebiet zwischen Unter- und Oberfranken gegenüber (Abb. 22).

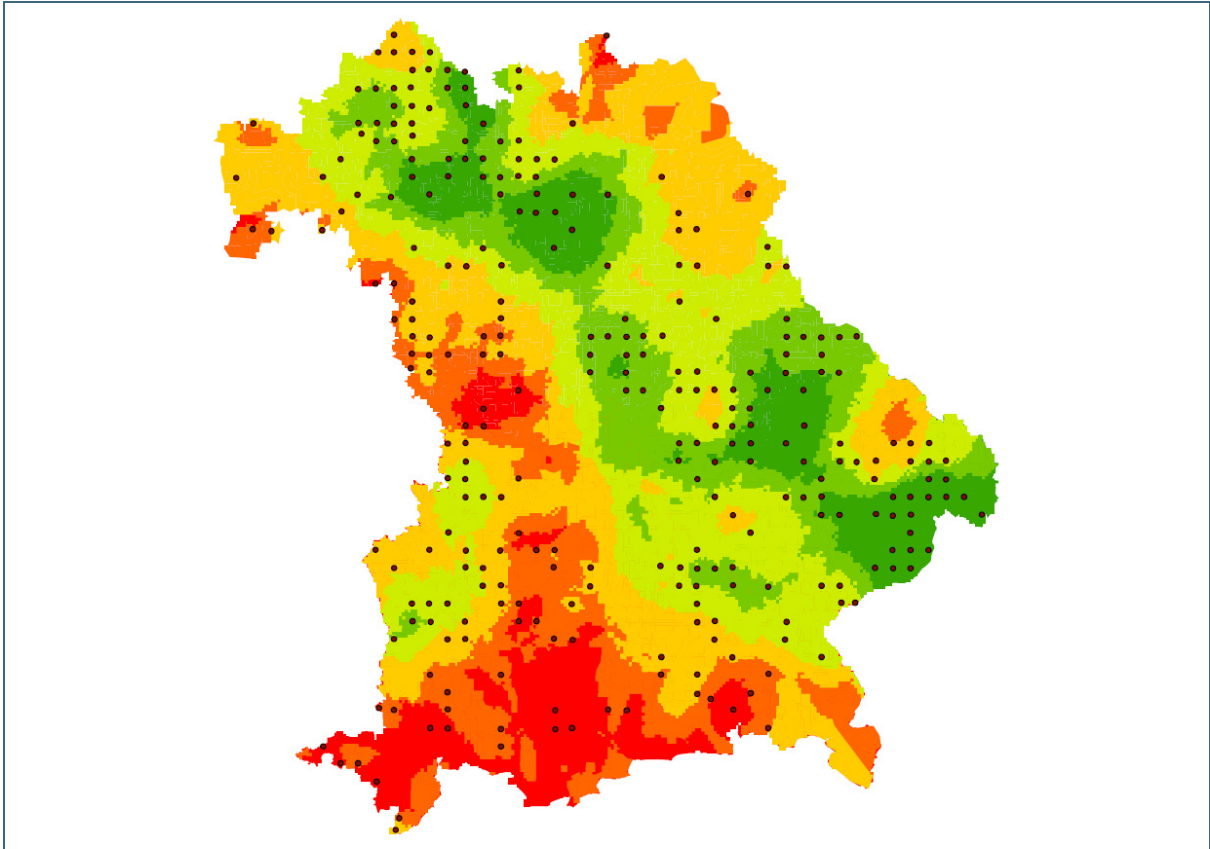


Abb. 22: Belastungsräume der dI PCB-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Landwirtschaft. Obergrenzen der Teilräume: 10. Perzentil = grün, 25. Perzentil = mittelgrün, 50. Perzentil = hellgrün, 75. Perzentil = dunkelgelb, 90. Perzentil = orange, 100. Perzentil = rot. Punkte kennzeichnen zugrundeliegende Stützpunkte (n=289).

Die – trotz unterschiedlicher Lage und Anzahl der zugrunde liegenden Stützpunkte – ähnliche Schadstoffverteilung (vgl. Abb. 8 vs. Abb. 19; Abb. 13 vs. Abb. 22) legt nahe, dass für beide Stoffe überregionale oder regionale Emittenten verantwortlich sind. Auch das Depositions-, Sorptions- und Verlagerungsverhalten des dI PCB-TEQ-WHO ist anscheinend vergleichbar mit dem des PCDD/F-TEQ-WHO. Trotz humusreicher Auflage weisen die unterlagernden Oberböden unter Forst sowohl höhere PCDD/F- als auch dI PCB-TEQ-WHO-Konzentrationen auf als die Oberböden unter Landwirtschaft. Offenbar kompensieren sich der Auskämmeffekt im Nadelwaldbestand (MCLACHLAN und HORSTMANN, 1998) und der entgegengesetzte Sorptionseffekt in der Humusaufgabe (TANAKA et al., 2005). Eine mindernde Wirkung auf den Gehalt organischer Schadstoffe auf Ackerflächen ist zudem auf Verdünnungseffekte durch konventionelle Bodenbearbeitung zurückzuführen. Hier wird der Schadstoffgehalt auf circa 30 cm Bodentiefe „verteilt“, während die Bilanzierung bei Forst in 10 cm Bodentiefe endet.

Die dI PCB-TEQ-WHO-Gehalte in den sechs abgegrenzten Belastungsräumen zeigten eine charakteristische Werteverteilung. Die Wertespektren der Teilräume 4 und 5 waren einander sehr ähnlich. So lag beispielsweise das 90. Perzentil, das heißt der Hintergrundwert (LABO, 2003), des Teilraums 4 (0.36 ng/kg) höher als der des Teilraums 5 (0.35 ng/kg). Diese zwei Teilräume wurden daher für die statistische Auswertung vereint. Somit resultierten fünf Teilräume für die statistische Auswertung der dI PCB-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Landwirtschaft (Abb. 23 und Tab. 14).

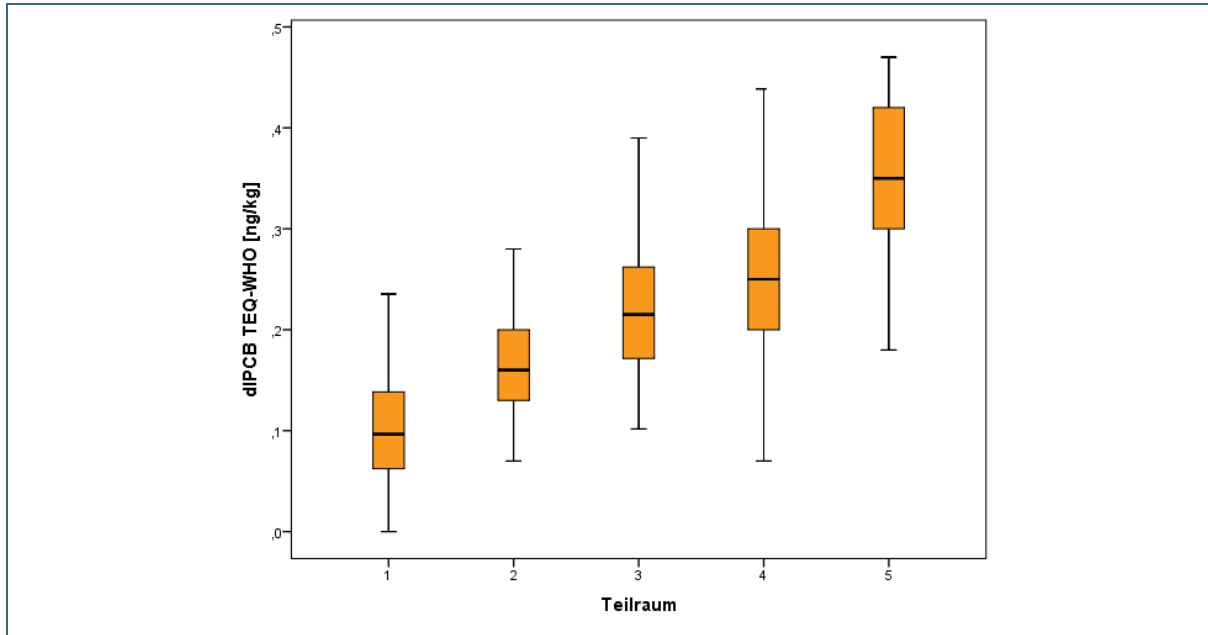


Abb. 23: dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte im Oberboden unter Landwirtschaft, zugeordnet auf 5 Teilräume unterschiedlicher Belastung (Box-Whisker Plot: Unterer Whisker = Minimum; 25. Perzentil, 50. Perzentil, 75. Perzentil; oberer Whisker = Maximum).

Tab. 14: Perzentile und Hintergrundwert der dIPCB-TEQ-WHO-Gehalte in Oberböden unter Landwirtschaft, untergliedert nach ausgegrenzten Teilräumen (vgl. Abb. 22: Teilraum 1 = grüne Fläche; Teilraum 2 = mittelgrüne Fläche; Teilraum 3 = hellgrüne Fläche; Teilraum 4 = gelbe+orangene Fläche; Teilraum 5 = rote Fläche).

dIPCB-TEQ-WHO [ng/kg]		Teilraum 1	Teilraum 2	Teilraum 3	Teilraum 4	Teilraum 5
	n	51	53	72	89	24
Perzentil	10	0.03	0.10	0.13	0.17	0.27
	20	0.06	0.13	0.16	0.19	0.30
	30	0.08	0.14	0.18	0.21	0.31
	40	0.09	0.15	0.19	0.23	0.33
	50	0.10	0.16	0.22	0.25	0.35
	60	0.12	0.17	0.23	0.28	0.37
	70	0.13	0.19	0.25	0.29	0.41
	80	0.16	0.21	0.28	0.32	0.43
<b>Hintergrundwert</b>	<b>90</b>	<b>0.17</b>	<b>0.24</b>	<b>0.31</b>	<b>0.35</b>	<b>0.46</b>

## 4 Bewertung der flächenhaften Bodenbelastung

Die WHO-Grenzwerte der geplanten MantelIV (E-BBodSchV, Tab. 6, Entwurfsdatum: 31.10.2012) stellen die Summen aus PCDD/F- und dIPCB-TEQ dar. Diese zwei Stoffgruppen wurden im vorliegenden Bericht getrennt betrachtet und ausgewertet, da unterschiedlich detaillierte Datengrundlagen für PCDD/F- und dIPCB-TEQ zur Verfügung standen. Soll trotzdem ein Vergleich zwischen WHO-Grenzwerten der geplanten MantelIV (E-BBodSchV, Tab. 6, Entwurfsdatum: 31.10.2012) und den bayerischen Hintergrundwerten erfolgen, ist die Addition der PCDD/F- und dIPCB-TEQ-Werte der am höchsten belasteten Teilräume sinnvoll. Da diese nicht kongruent sind, handelt es sich dabei somit um theoretische „worst case“ Werte. Diese unterschreiten deutlich die WHO-Grenzwerte der geplanten MantelIV (E-BBodSchV, Tab. 6, Entwurfsdatum: 31.10.2012) (Tab. 15).

Tab. 15: WHO-Grenzwerte der E-BBodSchV und Hintergrundwerte in Böden Bayerns.

<b>Maßnahmenwert Kinderspielflächen [ng/kg]</b> (E-BBodSchV, Tab. 6)	<b>(PCDD/F+dIPCB)-TEQ-WHO der höchsten Hintergrundwerte in Humusaufgaben [ng/kg]</b> (Tab. 7 und Tab. 12)
100	55
<b>Prüfwert Grünland [ng/kg]</b> (E-BBodSchV, Tab. 9)	<b>(PCDD/F+dIPCB)-TEQ-WHO der höchsten Hintergrundwerte im Oberboden unter Landwirtschaft [ng/kg]</b> (Tab. 11 und Tab. 14)
30	2

Die auf dem TEQ-NATO basierende Empfehlung der Bund/Länder Arbeitstruppe DIOXINE zur landwirtschaftlichen und gärtnerischen Bodennutzung sieht bei Werten <5 ng/kg keine Nutzungseinschränkungen vor (UBA, 2005). Dieser Orientierungswert wird durch den höchsten PCDD/F-TEQ-WHO Hintergrundwert im Oberboden unter Landwirtschaft deutlich unterschritten (Tab. 16).

Tab. 16: Orientierungswert der Bund/Länder AG DIOXINE und Hintergrundwerte in Böden Bayerns.

<b>Keine Nutzungseinschränkung [ng TEQ-NATO /kg]</b> (Bund/Länder AG DIOXINE)	<b>PCDD/F der höchsten Hintergrundwerte im Oberboden unter Landwirtschaft [ng TEQ-WHO /kg]</b> (Tab. 11)
5	1.6

Das Niveau des bayernweiten 50. und 90. Perzentils für PCDD/F-TEQ-NATO (LABO, 2003) entspricht im Wesentlichen den teilraumspezifischen Hintergrundwerten der vorliegenden Auswertung (Tab. 17).

Tab. 17: Bayernweite Hintergrundwerte und Spanne der Hintergrundwerte aller Belastungsräume.

	<b>90. Perzentil [ng TEQ-NATO /kg]</b> (LABO, 2003)	<b>Spanne der 90. Perzentile aller Belastungsräume [ng TEQ-WHO /kg]*</b>
<b>Humusaufgabe</b>	30	20 – 40
<b>Forst Oberboden</b>	3.3	1.3 – 7.7
<b>Landwirtschaft Oberboden</b>	1.1	0.69 – 1.57

\*Hintergrundwertespannen aus Tab. 7, 9 und 11

## 5 Schlussfolgerungen

Die vorliegende Auswertung bezieht sich in erster Linie auf PCDD/F- und dIPCB-TEQ-WHO-Belastungen in bayerischen Oberböden unter Forst und landwirtschaftlich genutzten Flächen. Für bayernweite Aussagen zu dIPCB-TEQ-WHO-Gehalten in Humusaufgaben sind weitere Nachanalysen erforderlich. Die überregionale Verteilung des Dioxins in Humusaufgaben und Oberböden weist auf großräumig wirksame Belastungsquellen, zum Beispiel regionale Zentren der Bergbau- und chemischen Industrie sowie lokale Ballungsräume hin. Das Konzept der flächendeckend dezentralen Bodenbeprobung schließt atypische Belastungen von Punktemitteln aus. Damit eignet es sich besonders um ubiquitäre Hintergrundbelastungen darzustellen und Hintergrundwerte luftgetragener Schadstoffe auszuweisen. Teilraumdifferenzierte Hintergrundwerte von PCDD/F- und dIPCB-TEQ-WHO bewegen sich in Bayern auf einem niedrigen Niveau, so dass anthropogene Zusatzbelastungen vergleichsweise stringent bewertet werden können.

Die exemplarische Untersuchung der 2,3,7,8-chlorsubstituierten PCDD/F-Homologen in Humusaufgaben und Oberböden bayerischer Waldböden zeigt in beiden Fällen eine deutliche Dominanz von OCDD und OCDF. Der Vergleich mit Acker- und Grünlandproben zeigt ein ähnliches Verteilungsmuster mit Schwerpunkten bei OCDD/F, sodass bei vorsichtiger Interpretation keine maßgebliche produktionspezifische Quelle (Landwirtschaft) auszumachen ist.



## Literatur

- BASLER, A. (2009): Evaluierung des Forschungsbedarfs zur Ursachenaufklärung der Kontamination bestimmter Lebensmittel mit Dioxinen und PCB. Förderkennzeichen (FKZ) des Umweltbundesamts (UBA): 370963224.
- BAYERISCHES BODENSCHUTZGESETZ, 1999, 7 S.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2011): Hintergrundwerte von anorganischen und organischen Schadstoffen in Böden Bayerns., Online-Publikation, 58 S.  
[http://www.lfu.bayern.de/boden/hintergrundwerte/doc/hintergrundwert\\_umweltspezial.pdf](http://www.lfu.bayern.de/boden/hintergrundwerte/doc/hintergrundwert_umweltspezial.pdf).
- BUNDESBODENSCHUTZ UND ALTLASTENVERORDNUNG, 1999, BGBl. I, S. 1554.
- CAMBARADELLA, C.A., MOORMAN, T.B., NOVAK, J.M., PARKIN, T.B., KARLEN, D.L., TURCO, R.F., KONOPKA, R.E. (1984): Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, S. 1501-1511.
- DILLING, J., JONECK, M. (2003): Regionalisierung der relativen Immissionsbelastung von organischen Schadstoffen in bayerischen Böden unter Nadelwald. *Mitteilungen Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft* 102. S. 629-630.
- ECOMED (2008): Grenzwerte zum Arbeits-, Verbraucher- und Umweltschutz, Ausgabe November 2008. CD-Rom.
- FIEDLER, H., FRICKE, K., VOGTMANN, H. (1994): Bedeutung polychlorierter Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane in der Abfallwirtschaft. — Bayreuth (Ecoinforma Press).
- HAGENMAIER, H.-P., KRAUSS, P., WALLENHORST, T. (1995): Einträge von Dioxinen in den Boden. — In: DECHEMA e.V. [Hrsg.]: Kriterien zur Beurteilung organischer Bodenkontaminationen: Dioxine (PCDD/F) und Phthalate. — Frankfurt am Main.
- HANGEN, E., SCHUBERT, A. (2011): Vorrat organischen Kohlenstoffs in Waldböden Bayerns. *Bodenschutz* 3, S.80-83.
- HANGEN, E., KIRCHNER, M., KRONAWITTER, H., MÜHLBACHER, T. (2011): Organische Bodenschadstoffe (POPs) entlang eines Höhenprofils im Nationalpark Berchtesgaden. Online-Publikation Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, 4 S. [http://eprints.dbges.de/603/1/DBG\\_2011\\_Artikel.pdf](http://eprints.dbges.de/603/1/DBG_2011_Artikel.pdf).
- JONECK, M., PRINZ, R. (1991): Dioxine in Böden Bayerns. — GLA-Fachberichte, 7: 58 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- JONECK, M., PRINZ, R. (1994): Hintergrundbelastung bayerischer Böden mit organischen Problemstoffen. GLA-Fachberichte 12, München.
- JONECK, M., HANGEN, E., WITTENBECHER, M., FOULLOIS, N., SPÖRLEIN, P., MARTIN, W., AUßENDORF, M., REISCHL, A. (2006): Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der Bodenschutzgesetze in Bayern (GRABEN). *Z. f. Bodenschutz* 2, S. 32-38.
- LABO, Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. Beschlussfassung der 33. StA4-Sitzung, 29./30.01.2003, 58 S.
- MARQUARDT, H., SCHÄFER S. (1994): Lehrbuch der Toxikologie. — 1004 S., Mannheim (BI-Wiss.-Verl.).
- MCLACHLAN, M., HORSTMANN, M., HINKEL, M. (1996): Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in sewage sludge: sources and fate following sludge application to land. *Sci. Total Environ.* 185, S. 109-123.
- MCLACHLAN, M., HORSTMANN, M. (1998): Forest as filters of airborne organic pollutants: A model. *Environ. Sci. Technol.* 32, S. 413-420.
- NIELSEN, D.R., WENDROTH, O. (2002): Spatial and temporal statistics – sampling field soils and their vegetation. *GeoEcology Textbuch*. Catena, Cremlingen, Deutschland, 398 S.
- OFFENTHALER, I., BASSAN, R., BELIS, C., GARO-STACH, I., GANZ, S., IOZZA, S., JAKOBI, G., KAISER, A., KIRCHNER, M., KNOTH, W., KRÄUCHI, N., LEVY, W., MOCHE, W., NURMI-LEGAT, J., RACCANELLI, S., SCHRAMM, K.W., SCHRÖDER, P., SEDIVY, I., SIMONCIC, P., STAUDINGER, M., THANNER, G., UHL, M., VILHAR, U., WEISS, P. (2009): MONARPOP Technical Report. Umweltbundesamt GmbH (Hrsg.), 275 S.
- POHL, A., RITSCHL, J. (2001): Untersuchungen zu organischen Schadstoffen in Böden 1995–1997. — *Schriftenr. Thüring. L.-Anstalt Umwelt*, 41: 94 S., Jena.
- REISCHL, A., ZECH, W., REISSINGER, M., LENOIR, D., SCHRAMM, K., HUTZINGER, O. (1990): Distribution of chlorinated aromatics in leaves, needles, and two soils from the Fichtelgebirge (NE-Bavaria), FRG. *Organohalogen Compounds* 4, S. 223-238.
- TANAKA, F., FUKUSHIMA, M., KIKUCHI, A., YABUTA, H., ICHIKAWA, H., TATSUMI, K. (2005): Influence of chemical characteristics of humic substances on the partition coefficient of a chlorinated dioxin. *Chemosphere* 58, S. 1319-1326.
- UBA (Umweltbundesamt) (2005): Zusammenstellung nach Bundesbodenschutzverordnung und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit – 2. Bericht der Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE (Bonn 1993)
- UBA (Umweltbundesamt) (2010): Dioxine und dl-PCB in der Umwelt. Auswertung der Länderberichte anlässlich des Fachgesprächs im BMU am 7.4.2009 und Stellungnahme des UBA. UBA-Texte 12/2010, 34 S.
- US EPA (US Environmental Agency) (1994): Estimating exposure to dioxin-like compounds – Review Draft, US Environmental Agency, Washington DC, 3 volumes.

