FRIEDLIPARTNER AG
GEOTECHNIK ALTLASTEN UMWELT

Baumackerstrasse 24
CH-8050 Zürich
Tel +41 44 315 10 10
Fax +41 44 315 10 11
www.friedlipartner.ch
info@friedlipartner.ch

Auftraggeber: Amt für Umweltschutz und Energie (AUE) Kanton Basel-Landschaft

GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG

Mit Blei belastete Böden von Gemüsegärten
Diverse Grundstücke
4133 Pratteln

Projektleitung, Bericht: Dr. Bruno Schmid
Sachbearbeitung: Simon Küng
Korreferat: Lars Knechtenhofer
Objekt-Nr.: 08.124

Zürich, 29. April 2009

INHALT

1 EINLEITUNG 1

1.1 Ausgangslage 1

1.2 Ausgeführte Arbeiten 2

1.3 Grundlagen 2

1.4 Projektbegleitung 2

2 HINTERGRUNDBELASTUNG 3

2.1 Referenzwert für Blei 3

2.2 Ausschöpfungsgrad des Referenzwerts 3

2.3 Fazit 4

3 PFAD DIREKTE BODENAUFNAHME 5

3.1 Formel für die Berechnungen 5

3.2 Annahmen 5

3.3 Szenarien 6

3.4 Ergebnisse 7

3.5 Fazit 8

4 PFAD BODEN - GEMÜSE - KIND 9

4.1 Formel für die Berechnungen 9

4.2 Annahmen 10

4.3 Szenarien 12

4.4 Ergebnisse 13

4.5 Fazit 14

5 DISKUSSION 15

5.1 Expositionspfad Direkte Bodenaufnahme 15

5.2 Expositionspfad Boden - Gemüse - Kind 15

5.3 Fazit 16

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN 17

7 LITERATURVERZEICHNIS 18

ANHANG

1 Lesebeispiel Abbildungen

2 Abbildungen

VERTEILER BERICHT

AUE Kt. Basel-Landschaft	3 Exemplare
Expertengruppe:	
Dr. Achim Kayser, Amt für Umwelt Kt. Thurgau	1 Exemplar
Markus Jauslin, armasuisse, Bern	1 Exemplar
Dr. Armin Keller, ART	1 Exemplar
Dr. Franz Borer, Amt für Umwelt Kt. Solothurn	1 Exemplar

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage

Anlass

Die vom Amt für Umweltschutz und Energie (AUE) des Kantons Basel-Landschaft im Verlauf der vergangenen Jahre im Raum Pratteln durchgeführten Untersuchungen (siehe Arbeitspapier AUE von 2008) haben ergeben, dass die Blei-Gehalte in Siedlungsböden in der Nähe der ehem. Verzinkerei Pratteln (heute Galvaswiss AG) und der Metallum AG sowie entlang von Hauptverkehrsachsen teilweise über den *Prüfwerten* der *Verordnung über Belastungen des Bodens* (VBBo) liegen.

Konkrete Gefährdung für Kleinkinder besteht

Die vom AUE mittels Expertensystem des BUWAL-Handbuchs *Gefährdungsabschätzung Boden* vorgenommene Abschätzung zeigte, dass in einigen Gemüsegärten durch die direkte Aufnahme von bleihaltigem Bodenmaterial für Kinder bis zum 3. Lebensjahr eine konkrete Gefährdung *besteht*.

Konkrete Gefährdung durch Gemüse möglich

Beim Verzehr von in diesen Gärten angebautem Gemüse ist entsprechend dem erwähnten Expertensystem eine konkrete Gefährdung von Personen *möglich*.

Detailliertere Gefährdungsabschätzung

Wenn bei den für die Gefährdungsabschätzung verwendeten Input-Parametern grössere Unsicherheiten bestehen, ist es gemäss BUWAL-Handbuch angezeigt, eine *detailliertere Gefährdungsabschätzung* durchzuführen. Bei Nutzungen mit möglicher direkter Aufnahme von Bodenmaterial empfiehlt das Handbuch dafür die Anwendung von stochastischen[1] Verfahren wie z.B. der sogenannten *Monte-Carlo-Simulation*.

Absicht AUE

Das AUE will die Gefährdung durch die bleibelasteten Gemüsegärten detaillierter abschätzen. Dabei sollen das gleiche stochastische Verfahren (*Latin Hypercube*) und die gleichen Input-Parameter angewendet werden wie beim Projekt P3 zum Bodenbelastungsgebiet Dornach.

Auftrag

Herr Dr. Roland Bono, verantwortlicher Ressortleiter im AUE, hat die FRIEDLIPARTNER AG (FP) mit folgenden Arbeiten beauftragt:

- Beschaffen des Quellcodes des beim Projekt P3 Dornach verwendeten Simulationsprogramms
- Abschätzen der Gefährdung von Kleinkindern durch direkte Bodenaufnahme
- Abschätzen der Gefährdung von Kleinkindern durch Verzehr von Gemüse aus dem eigenen Garten
- Verfassen eines Berichts

Inhalt Bericht

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung.

[1] Oberbegriff für die Gebiete Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik

1.2 Ausgeführte Arbeiten

- Herstellung des Kontakts mit den Projektleitern des Moduls A (Dr. Achim Kayser) und des Moduls Gefährdungsabschätzung (Markus Jauslin) beim Projekt P3 Dornach
- Studium des Arbeitspapiers des AUE von 2008 über die Nachuntersuchung des Belastungsgebiets Pratteln
- Beschaffen von aktueller Literatur zur Hintergrundbelastung durch Blei
- Vorschlagen der Input-Parameter und Szenarien
- Berechnen der aufgenommenen Blei-Dosen
- Überprüfen der Berechnungen mit dem Simulationsprogramm Crystal Ball™
- Verfassen des vorliegenden Berichts

1.3 Grundlagen

- Nachuntersuchung und weiterer Handlungsbedarf Belastungsgebiet Pratteln 2007, Arbeitspapier AUE vom Juli 2008
- Diverse Berichte zum Belastungsgebiet Pratteln, AUE

1.4 Projektbegleitung

Das Vorhaben wurde durch eine Expertengruppe begleitet. Deren Mitglieder waren:

- Dr. Achim Kayser, Amt für Umwelt Kanton Thurgau
- Markus Jauslin, armasuisse Immobilien, Bern
- Dr. Armin Keller, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Täniken (ART)
- Dr. Franz Borer, Amt für Umwelt Kanton Solothurn

2 HINTERGRUNDBELASTUNG

2.1 Referenzwert für Blei

Blei-Konzentration im Blut

Untersuchungen haben gezeigt, dass die Blei-Konzentration im Blut von Kindern bei einer durchschnittlichen Aufnahme von weniger als 3 bis 4 Mikrogramm (µg) Blei pro Kilogramm Körpergewicht (BW) und Tag (d) konstant bleibt (WHO, 1987). Die WHO hat deshalb die für Kinder zulässige Blei-Dosis auf 25 µg/kg BW und Woche (w) festgelegt (im Folgenden für Blei-Dosen verwendete Einheit: µg/kg*w).

PTWI: 25 µg/kg*w

Dieser als *Provisional Tolerable Weekly Intake* (PTWI) bezeichnete Wert gilt für alle möglichen Blei-Quellen (Trinkwasser, Nahrung, Hausstaub, Erde etc.). Der PTWI wird nachfolgend zur Beurteilung der Gefährdung verwendet.

2.2 Ausschöpfungsgrad des Referenzwerts

Keine aktuellen Schweizer Studien

Da wir zur Hintergrundbelastung durch Blei keine aktuellen Schweizer Studien gefunden haben, beschreiben wir im Folgenden Studien aus Deutschland.

Ausschöpfung PTWI: 21% - 26%

In einer neueren Untersuchung wird die von Kindern über Lebensmittel aufgenommene Blei-Dosis mit 6,5 µg/kg*w für 4 bis 6-Jährige bzw. 5,2 µg/kg*w für 7 bis 10-Jährige angegeben (BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT, 2004). Das bedeutet, dass der PTWI bei Kindern in diesen Altern allein über Lebensmittel zu 26% bzw. 21% ausgeschöpft wurde.

PTWI ausgeschöpft

Eine andere Studie kommt zum Schluss, dass deutsche Kleinkinder (Annahme für Körpergewicht: 10 kg, entspricht ungefähr einem 1,5 bis 2-Jährigen) in den 1990er Jahren über die Expositionspfade Trinkwasser, Boden, Luft, Hausstaub und Nahrung im Durchschnitt eine Blei-Dosis von 33,4 µg/kg*w aufnahmen (siehe Tabelle 2-1, OBENLAND ET AL, 2004). Gemäss jener Studie haben vor 10 bis 15 Jahren somit alle anderthalb bis zweijährigen deutschen Kinder eine Blei-Dosis aufgenommen, welche über dem PTWI-Wert lag!

Tabelle 2-1: Von Kleinkindern aufgenommene Blei-Dosen (µg/kg*w)

Trinkwasser	Boden	Luft	Hausstaub	Nahrung	Gesamt
5,32	0,959	1,47	8,19	17,5	**33,4**
16%	3%	4%	25%	52%	**100%**

Grösste Einzelquelle: Nahrung

Die Tabelle zeigt, dass die grösste Einzelquelle mit einem Anteil von 52% die Nahrung war.

Ausschöpfung PTWI: 24%

In der aktuellsten Studie zur Hintergrundbelastung durch Blei (GERBRACHT ET AL, 2005) wird eine Untersuchung aus dem Jahre 1998 zitiert: Die von 14 bis 47 Monate alten Kindern über Lebensmittel aufgenommene Blei-Dosis (Median) betrug 5,9 µg/kg*w. Dies entspricht einem Ausschöpfungsgrad des PTWI von 24%. Die Autoren der Studie gehen ebenfalls davon aus, dass Lebensmittel die Hauptquelle für die Blei-Belastung von Kleinkindern sind.

2.3 Fazit

Blei-Belastung heute tiefer

Die Daten zur Hintergrundbelastung deutscher Kleinkinder stammen zum Teil aus der Zeit, als das Superbenzin noch verbleit war. Mit dem Verzicht auf verbleites Benzin (ab 1996, WIKIPEDIA 2008) ist die Blei-Belastung der Lebensmittel in Deutschland am Sinken (OBENLAND ET AL, 2004).

Ausschöpfung PTWI: 20%-30%

Der durchschnittliche Ausschöpfungsgrad des PTWI von Blei scheint bei deutschen Kleinkindern aktuell zwischen 20% und 30% zu liegen. Wir gehen davon aus, dass die Hintergrundbelastung von Schweizer Kleinkindern gleich gross ist.

Ausschöpfung PTWI CH-Kinder: 25%

Fazit: Schweizer Kleinkinder dürften zurzeit durchschnittlich etwa 25% des PTWI von Blei ausschöpfen, d.h. sie nehmen pro Woche und Kilogramm Körpergewicht insgesamt (über alle Quellen) rund 6 µg Blei auf.

3 PFAD DIREKTE BODENAUFNAHME

3.1 Formel für die Berechnungen

Für die Berechnung der Blei-Dosis, welche Kleinkinder im Alter von 1 bis 4 Jahren über den Expositionspfad *Direkte Bodenaufnahme* aufnehmen können, wurde Gleichung (1) verwendet (JAUSLIN, 2005).

$$WIR = \frac{C_S \cdot m_S \cdot Efr \cdot UF}{BW \cdot AT} \quad (1)$$

WIR: Wöchentlich aufgenommene Blei-Dosis (mg/kg*w)

C_S: Blei-Gehalt des Bodens (mg/kg Trockensubstanz (TS))

m_S: Täglich aufgenommene Bodenmenge (kg/d)

Efr: Expositionshäufigkeit (d/3 Jahre (a))

UF: Umrechnungsfaktor Tag → Woche (7d/w)

BW: Körpergewicht (kg)

AT: Bezugszeitraum (d/3a)

3.2 Annahmen

Die für die Berechnungen verwendeten Input-Parameter sind nachfolgend aufgeführt.

Tabelle 3-1: Blei-Gehalt des Bodens (C_S, mg/kg TS)

Blei-Gehalt	Minimum	Maximum	Verteilung
300 - 400	300	400	uniform
400 - 500	400	500	uniform
500 - 600	500	600	uniform
600 - 700	600	700	uniform
700 - 800	700	800	uniform
800 - 900	800	900	uniform
900 - 1000	900	1000	uniform

Die in der Tabelle aufgeführten Belastungsklassen decken den Bereich zwischen dem VBBo-*Prüfwert für Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme* (300 mg/kg TS) und dem VBBo-*Sanierungswert für Haus- und Familiengärten* (1000 mg/kg TS) ab. Der höchste im Untersuchungsgebiet in einer Boden-Probe (Probenahmetiefe: 0–20 cm) aus einem Gemüsegarten festgestellte Blei-Gehalt lag bei 486 mg/kg TS (vergleiche Arbeitspapier AUE von 2008).

Tabelle 3-2: Täglich aufgenommene Bodenmenge (m_S, kg/d)

Alter	Mittelwert	Minimum	Maximum	STDABW	Verteilung
1 – 4 Jahre	240×10^{-6}	85×10^{-6}	500×10^{-6}	137×10^{-6}	lognormal

STDABW: Standardabweichung

Die in der Tabelle aufgelisteten Faktoren sind dieselben wie beim Projekt P3 Dornach (JAUSLIN, 2005, Tabelle 36).

Die *Expositionshäufigkeit* (Efr) wurde in Abhängigkeit des Szenarios variiert. Die entsprechenden Faktoren sind in Kapitel 3.3 aufgelistet.

Tabelle 3-3: Körpergewicht (BW, kg)

Alter	Mittelwert	Minimum	Maximum	STDABW	Verteilung
1 – 4 Jahre	13,3	10,0	17,0	2,0	normal

STDABW: Standardabweichung

Die in der Tabelle aufgelisteten Faktoren sind dieselben wie beim Projekt P3 Dornach (YOUHAI LIN, 1994).

Als *Bezugszeitraum* (AT) wurden 1095 Tage in drei Jahren eingesetzt.

3.3 Szenarien

Für die *Expositionshäufigkeit* (Efr) wurden die in Tabelle 3-4 aufgelisteten Zahlen verwendet.

Tabelle 3-4: Szenarien Ist-Zustand

Efr (d/a)	Efr (d/3a)	Bezeichnung
52	156	
104	312	Realistischer Fall
156	468	Schlechter Fall
209	627	
245	735	Worst Case

Realistischer Fall: 3d/w

Der *Realistische Fall* bedeutet, dass sich ein Kleinkind in den Monaten März bis Oktober durchschnittlich an drei Tagen pro Woche im Garten befindet (und sich frei bewegen kann). Im *Schlechten Fall* würde sich ein Kleinkind in der erwähnten Zeitspanne an durchschnittlich 4,5 Tagen im Garten aufhalten, während es im *Worst Case* von März bis Oktober jeden Tag dort wäre.

3.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in den Abbildungen 3-1 bis 3-3 dargestellt (Lesebeispiel siehe Anhang 1, Abbildungen in Grossformat siehe Anhang 2).

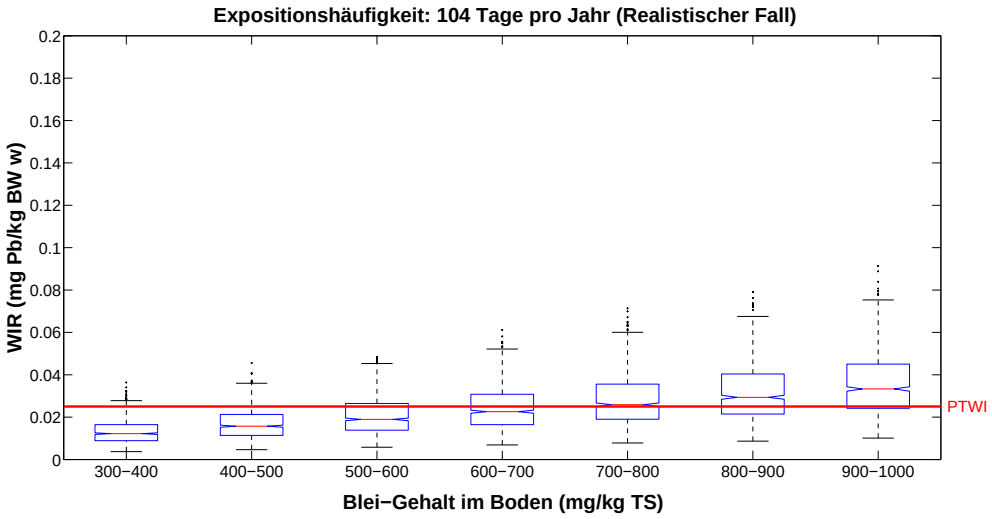


Abbildung 3-1: Wöchentlich aufgenommene Blei-Dosis im Realistischen Fall

Die Abbildung zeigt, dass bereits bei einem Blei-Gehalt zwischen 300 und 400 mg/kg TS etwa 5 Prozent der Kleinkinder-Population eine Blei-Dosis aufnimmt, die über dem PTWI liegt.

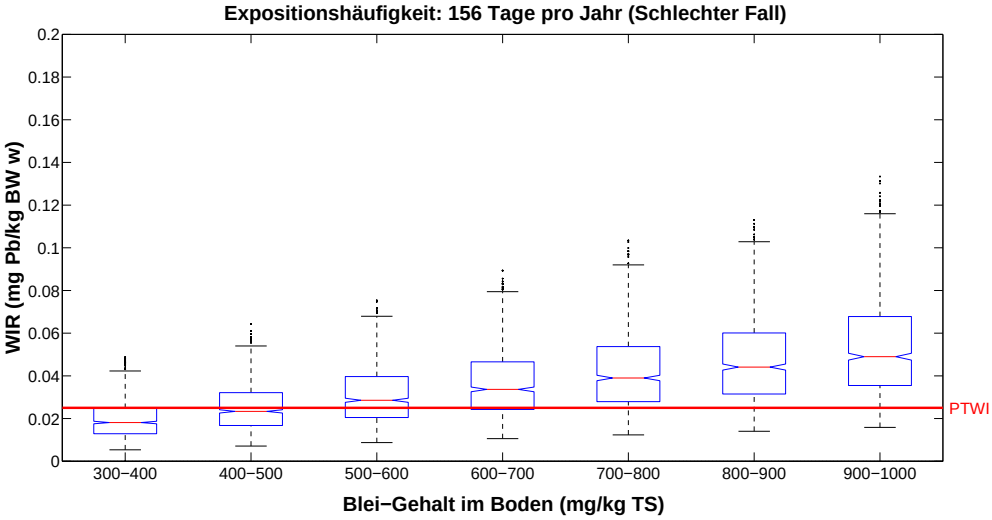


Abbildung 3-2: Wöchentlich aufgenommene Blei-Dosis im Schlechten Fall

Die Abbildung zeigt, dass bereits bei einem Blei-Gehalt zwischen 300 und 400 mg/kg TS ein Viertel der Kleinkinder-Population eine Blei-Dosis aufnimmt, die über dem PTWI liegt.

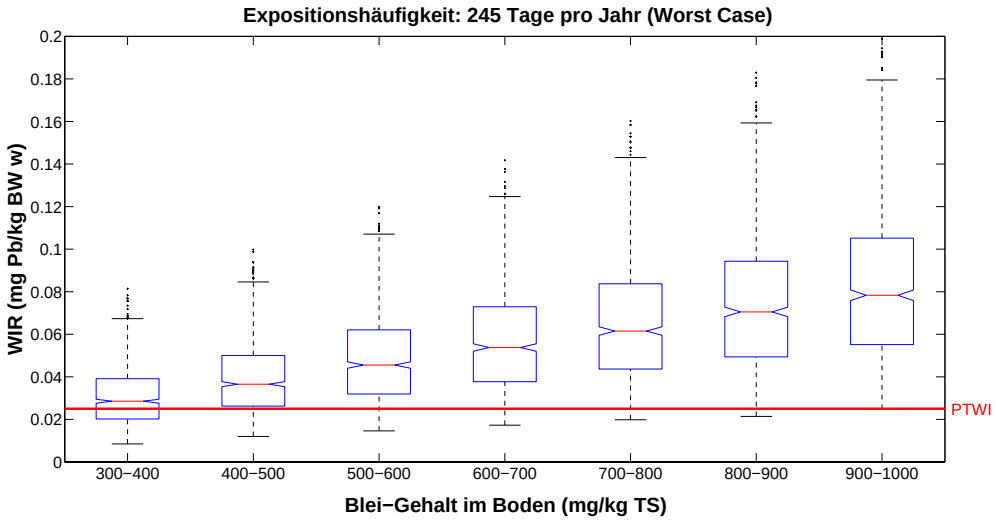


Abbildung 3-3: Wöchentlich aufgenommene Blei-Dosis im Worst Case

Die Abbildung zeigt, dass bereits bei einem Blei-Gehalt zwischen 300 und 400 mg/kg TS fast drei Viertel der Kleinkinder-Population eine Blei-Dosis aufnimmt, die über dem PTWI liegt.

3.5 Fazit

Gefährdung bei C_S >300 mg Pb/kg TS

Die Berechnungen zeigen, dass für Kinder im Alter von 1 bis 4 Jahren mit den getroffenen Annahmen in Gemüsegärten mit Blei-Gehalten über dem Prüfwert für Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme auch ohne Berücksichtigung der Hintergrundbelastung eine Gefährdung besteht.

Berechnungen richtig

Die Ergebnisse der Berechnungen sind stichprobenartig von Hand (ohne Verteilungen) und mit dem Programm Crystal Ball™ nachgerechnet worden: sie stimmen überein. Die mit Crystal Ball berechneten Mediane lagen allerdings systematisch 10 Prozent tiefer.

4 PFAD BODEN - GEMÜSE - KIND

4.1 Formel für die Berechnungen

Für die Berechnung der Blei-Dosis, welche Kleinkinder im Alter von 1 bis 4 Jahren über den Expositionspfad *Boden - Gemüse* aufnehmen können, wurden die Gleichungen (2) und (3) verwendet (JAUSLIN, 2005). Bei den Blei-Gehalten der Gemüse handelt es sich um *berechnete* Werte. Diese werden in Tabelle 4-3 mit den in einzelnen Gemüsen tatsächlich gemessenen Werten verglichen.

$$\log C_{Gi} = a_i + b_i \cdot \log C_S \qquad (2)$$

C_{Gi}: Berechneter Blei-Gehalt des Gemüses i (mg/kg TS)

a_i: Blei-Grundgehalt des Gemüses i (mg/kg TS)

b_i: Korrelationsfaktor C_S → C_{Gi} für Gemüse i (-)

C_S: Blei-Gehalt des Bodens (mg/kg TS)

$$WIR = \sum \frac{C_{Gi} \cdot m_i \cdot TS_i \cdot Eav_i \cdot Efr \cdot UF}{BW \cdot AT} \qquad (3)$$

WIR: Wöchentlich aufgenommene Blei-Dosis (mg/kg*w)

C_{Gi}: Berechneter Blei-Gehalt des Gemüses i (mg/kg TS)

m_i: Täglich aufgenommene Menge des Gemüses i (kg Feuchtgewicht/d)

TS_i: Prozentualer Anteil Trockensubstanz Gemüse i (kg TS/kg Feuchtgewicht)

Eav_i: Anteil des im eigenen Garten angebauten Gemüses i (-)

Efr: Expositionshäufigkeit (d/3a)

UF: Umrechnungsfaktor Tag → Woche (7d/w)

BW: Körpergewicht (kg)

AT: Bezugszeitraum (d/3a)

4.2 Annahmen

Die für die Berechnungen verwendeten Input-Parameter sind nachfolgend aufgeführt.

Tabelle 4-1: Faktoren a und b für die am häufigsten gegessenen Gemüse (vergleiche Tabelle 4-6)

Gemüse	a	b
Kartoffeln	-1,249	0,331
Rüebli	-1,198	0,436
Salate	-0,200	0,159
Tomaten	-0,333	0,203
Zwiebeln	-0,333	0,203
Kohlrabi	-0,333	0,203
Zucchetti	-0,333	0,203

Die Faktoren a und b stammen aus der Regressionsgleichung, mit welcher die Werte-Paare *Blei-Gehalt im Gemüse* versus *Blei-Gehalt im Boden* gefittet wurden (*Schwermetalltransfer Boden – Pflanze*, KNOCHE ET AL, 1999).

Die Boden-Proben sind bei jener Untersuchung mit Königswasser und nicht mit 2-molarer Salpetersäure (wie gemäss VBBo) extrahiert worden. Da die mit Salpetersäure erhaltenen Messwerte in der Regel nur etwa 5% tiefer sind als diejenigen mit Königswasser (BÜHLER, 2009), wurden für die Berechnungen die Faktoren aus Tabelle 4-1 verwendet.

Tabelle 4-2: Blei-Gehalt des Bodens (C_S, mg/kg TS)

Blei-Gehalt	Minimum	Maximum	Verteilung
200 - 300	200	300	uniform
300 - 400	300	400	uniform
400 - 500	400	500	uniform
500 - 600	500	600	uniform
600 - 700	600	700	uniform
700 - 800	700	800	uniform

Die in der Tabelle aufgeführten Belastungsklassen beginnen beim VBBo-*Prüfwert für Nahrungspflanzenanbau* (200 mg/kg TS). Der höchste im Untersuchungsgebiet in einer Boden-Probe aus einem Gemüsegarten festgestellte Blei-Gehalt lag bei 486 mg/kg TS (vergleiche Arbeitspapier AUE von 2008).

Tabelle 4-3: Gemessene ($C_{Gi\ gemessen}$) versus berechnete Blei-Gehalte ($C_{Gi\ berechnet}$)

Gemüse	**C_S** mg/kg TS	**$C_{Gi\ gemessen}$** µg/kg FG	**TS** Prozent	**$C_{Gi\ gemessen}$** mg/kg TS	**$C_{Gi\ berechnet}$** mg/kg TS
Kartoffeln	306	16	22,2	0,1	0,4
Kopfsalat	388	240	5,0	4,8	1,6
Lollo Rosso	486	230	*5,0*	4,6	1,7
Schnittmangold	296	167	7,8	2,1	1,6
Endivie	358	165	5,7	2,9	1,6
Pflücksalat	307	272	*5,0*	5,4	1,6

C_S: Blei-Gehalt des Bodens (0-20 cm); TS: Trockensubstanz; FG: Frischgewicht; kursiv: Annahme

Kartoffeln nicht geschält

Die Kartoffeln sind für die Bestimmung des Blei-Gehalts gründlich gewaschen, aber nicht geschält worden. Die Tabelle zeigt, dass der für Kartoffeln verwendete Wert um einen Faktor 4 höher ist als der gemessene Blei-Gehalt. Bei den Salaten ist es genau umgekehrt. Da Salate aber nur 11% der täglich aufgenommenen Gemüsemenge ausmachen, Kartoffeln aber 56% (siehe Tabelle 4-6), ist die tatsächlich über das Gemüse aufgenommene Blei-Dosis tiefer als die berechnete Dosis.

Die *täglich aufgenommene Gemüsemenge* (m_i) wurde in Abhängigkeit des Szenarios variiert. Die entsprechenden Faktoren sind in Kapitel 4.3 aufgelistet.

Tabelle 4-4: Anteil Trockensubstanz verschiedener Gemüse (TS_i, -)

Gemüse	**Anteil**
Kartoffeln	0,222
Rüebli	0,118
Salate	0,050
Tomaten	0,058
Zwiebeln	0,124
Kohlrabi	0,084
Zucchetti*	0,087

* Annahme: gleich wie Kürbis

Die in der Tabelle aufgeführten Werte stammen aus Anhang 2 des Bandes *Umwelt-Materialien Nr. 83, Herleitung von Prüfwerten für anorganische Schadstoffe* (BUWAL, 1997).

Der Anteil des im eigenen Garten angebauten Gemüses (*Selbstversorgungsgrad*, Eav_i) wurde in Abhängigkeit des Szenarios variiert. Die entsprechenden Faktoren sind in Kapitel 4.3 aufgelistet.

Als *Expositionshäufigkeit* (Efr) wurden 1095 Tage in drei Jahren eingesetzt, d.h. es wird angenommen, dass die Kleinkinder jeden Tag Gemüse essen.

Tabelle 4-5: Körpergewicht (BW, kg)

Alter	Mittelwert	Minimum	Maximum	STDABW	Verteilung
1 – 4 Jahre	13,3	10,0	17,0	2,0	normal

STDABW: Standardabweichung

Die in der Tabelle aufgelisteten Faktoren sind dieselben wie beim Projekt P3 Dornach (YOUHAI LIN, 1994) und dem Pfad direkte Bodenaufnahme (vergleiche Tabelle 3-3).

Als *Bezugszeitraum* (AT) wurden 1095 Tage in drei Jahren eingesetzt.

4.3 Szenarien

Für die täglich aufgenommene Gemüsemenge wurden die in Tabelle 4-6 aufgelisteten Werte eingesetzt.

Tabelle 4-6: Von Kleinkindern täglich aufgenommene Gemüsemenge (m_i, kg Feuchtgewicht/d)

Gemüse	BAG	Vegetarier	Anteil
Kartoffeln	$63{,}6 \times 10^{-3}$	$85{,}7 \times 10^{-3}$	56%
Rüebli	$13{,}3 \times 10^{-3}$	$18{,}0 \times 10^{-3}$	12%
Salate	$12{,}7 \times 10^{-3}$	$17{,}1 \times 10^{-3}$	11%
Tomaten	$13{,}6 \times 10^{-3}$	$18{,}4 \times 10^{-3}$	12%
Zwiebeln	$7{,}2 \times 10^{-3}$	$9{,}7 \times 10^{-3}$	6%
Kohlrabi	$0{,}8 \times 10^{-3}$	$1{,}1 \times 10^{-3}$	1%
Zucchetti	$2{,}0 \times 10^{-3}$	$2{,}7 \times 10^{-3}$	2%
Total	**$113{,}2 \times 10^{-3}$**	**$152{,}7 \times 10^{-3}$**	

BAG: Bundesamt für Gesundheit

Bei den Werten der Tabelle handelt es sich um dieselben wie beim Projekt P3 Dornach (JAUSLIN, 2005, Seite 14). Die Verzehrmengen der Gemüse stammen aus einer BAG-Studie von 1986. Da die in den Jahren 2001-2002 verzehrten Mengen fast gleich gross sind (*Fünfter Schweizer Ernährungsbericht*, BAG 2005), wurden der Vergleichbarkeit wegen die Werte der BAG-Studie von 1986 verwendet.

Für den *Selbstversorgungsgrad* (Eav_i) wurden die in Tabelle 4-7 aufgelisteten Zahlen verwendet.

Tabelle 4-7: Selbstversorgungsgrad (Eav_i, -)

Anteil	Bezeichnung
0,10	
0,30	Realistischer Fall
0,70	Schlechter Fall
1,00	Worst Case

Der *Realistische Fall* entspricht dem durchschnittlichen Selbstversorgungsgrad für Gemüse gemäss BAG-Studie (JAUSLIN, 2005, Seite 14). Im *Worst Case* würde ein Kleinkind nur Gemüse essen, welches im eigenen Garten angebaut worden ist.

Realistischer Fall: 30% aus eigenem Garten

4.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in den Abbildungen 4-1 und 4-2 dargestellt (Lesebeispiel siehe Anhang 1, Abbildungen in Grossformat siehe Anhang 2).

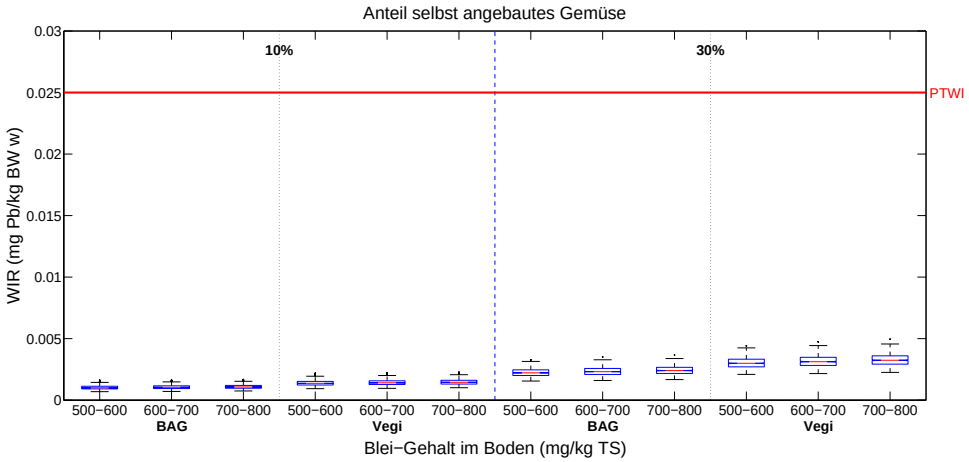


Abbildung 4-1: Wöchentlich aufgenommene Blei-Dosis im Realistischen Fall

Die Abbildung zeigt, dass selbst bei einem Blei-Gehalt zwischen 700 und 800 mg/kg TS die von der Kleinkinder-Population aufgenommene Blei-Dosis um mindestens einen Faktor 5 unterhalb des PTWI liegt.

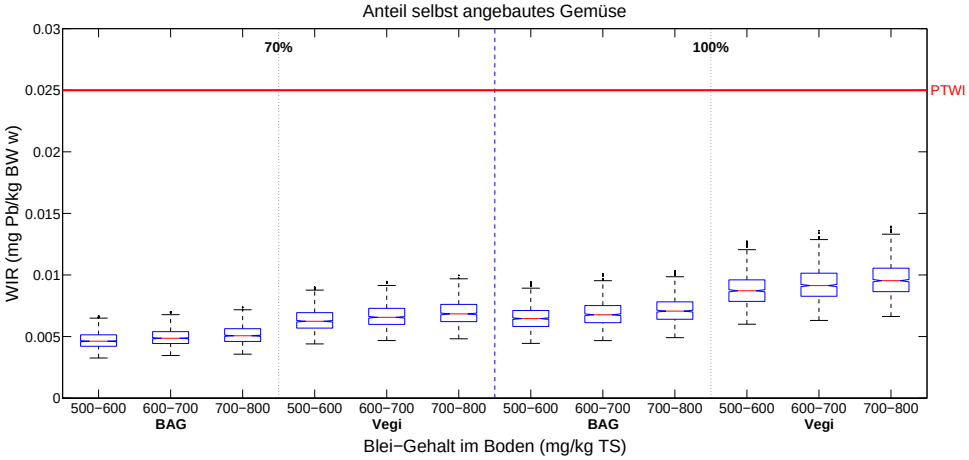


Abbildung 4-2: Wöchentlich aufgenommene Blei-Dosis im Worst Case

Die Abbildung zeigt, dass selbst bei einem Blei-Gehalt zwischen 700 und 800 mg/kg TS die von der Kleinkinder-Population aufgenommene Blei-Dosis um mindestens einen Faktor 1,7 unterhalb des PTWI liegt.

4.5 Fazit

Die Berechnungen zeigen, dass für Kinder im Alter von 1 bis 4 Jahren mit den getroffenen Annahmen selbst im Worst Case und bei Blei-Gehalten zwischen 700 und 800 mg/kg TS durch das Essen von Gemüse aus dem eigenen Garten keine Gefährdung besteht. Dabei ist berücksichtigt worden, dass 25% des PTWI bereits über die Hintergrundbelastung ausgeschöpft wird.

Keine Gefährdung bei C_S <800 mg Pb/kg TS

Die Ergebnisse der Berechnungen sind stichprobenartig von Hand (ohne Verteilungen) nachgerechnet worden: Die Ergebnisse stimmen überein.

Berechnungen richtig

5 DISKUSSION

5.1 Expositionspfad Direkte Bodenaufnahme

Die mit dem Expertensystem (ES) zum BUWAL-Handbuch *Gefährdungsabschätzung Boden* durchgeführte Berechnung ergibt für Kinder bis zum 3. Lebensjahr ab einem Blei-Gehalt des Bodens über dem Prüfwert eine *grosse Gefährdung*, wenn sie sich 1 bis 2 mal pro Woche in einem Garten mit einem Bedeckungsgrad von unter 75% aufhalten (vergleiche Arbeitspapier AUE von 2008).

ES: Gefährdung ab 300 mg Pb/kg TS

Die mit dem Verfahren Latin Hypercube (LH) durchgeführten Berechnungen bestätigen dieses Ergebnis: Für einen Teil der Kinder im Alter von 1 bis 4 Jahren besteht ab Blei-Gehalten über dem Prüfwert und durchschnittlich zwei Aufenthalten pro Woche im Garten tatsächlich eine Gefährdung durch das *unabsichtliche* Verschlucken von Erde.

LH: Gefährdung ab 300 mg Pb/kg TS

Bei Kindern mit *pica-Syndrom*[2] ist demnach schon bei Blei-Gehalten des Bodens unter dem Prüfwert eine Gefährdung vorhanden.

5.2 Expositionspfad Boden - Gemüse - Kind

Die mit dem Expertensystem (ES) durchgeführte Berechnung ergibt beim Verzehr von Nahrungspflanzen mit *geringer* Blei-Aufnahme bis zu einem Blei-Gehalt des Bodens von 840 mg/kg TS *keine* konkrete Gefährdung (pH-Wert: 7; Humusanteil: 2-8%; Tonanteil: <25%). Das Expertensystem unterscheidet bei diesem Expositionspfad nicht zwischen Kindern und Erwachsenen. Auch der Selbstversorgungsgrad kann nicht gewählt werden.

ES: keine Gefährdung bis 840 mg Pb/kg TS

Die mit dem Verfahren Latin Hypercube (LH) durchgeführten Berechnungen widersprechen diesen Ergebnissen nicht: Selbst im Worst Case und bei Blei-Gehalten von 700 bis 800 mg/kg TS besteht für Kinder im Alter von 1 bis 4 Jahren keine Gefährdung.

LH: keine Gefährdung bis 800 mg Pb/kg TS

Dieses Resultat ist nicht überraschend. Kartoffeln, welche mehr als 50% des Gemüseverzehrs ausmachen (siehe Tabelle 4-6), nehmen Schwermetalle generell schlecht auf (JURITSCH, 1991). Blei weist zudem von den typischerweise in Böden in erhöhten Gehalten vorkommenden Schwermetallen den tiefsten Transferfaktor Boden → Pflanze auf (MÜLLER, 1999). Tabelle 4-3 belegt diese Tatsache: Der Blei-Gehalt einer Kartoffel-Probe aus einem Boden mit einem Blei-Gehalt von 306 mg/kg TS betrug nur 0,1 mg/kg TS (exakt sogar nur 0,07 mg/kg TS), während derjenige einer Pflücksalat-Probe bei 5,4 mg/kg TS lag.

[2] Krankhaftes Verhalten, bei dem Kinder absichtlich einige Gramm Boden essen

5.3 Fazit

Die Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung decken sich mit denjenigen des Expertensystems des BUWAL-Handbuchs Gefährdungsabschätzung Boden. Die über den Pfad "Direkte Bodenaufnahme" aufgenommene Blei-Dosis ist rund einen Faktor 10 höher als diejenige über den Pfad "Boden - Gemüse".

Die Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung sind unseres Erachtens plausibel und robust.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Keine Gefährdung durch Gemüse

Durch den Verzehr von Gemüse, welches in den mit Blei belasteten Gärten angebaut wird, besteht weder für Kleinkinder, noch für Jugendliche oder Erwachsene eine Gefährdung.

Konkrete Gefährdung durch Bodenaufnahme

In den Gemüsegärten mit Blei-Gehalten über dem Prüfwert für Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme besteht für ein- bis vierjährige Kinder, die sich in der warmen Jahreszeit (März bis Oktober) mehr als drei Tage pro Woche dort aufhalten, eine *konkrete Gefährdung* durch das unabsichtliche Verschlucken von Erde.

Zutrittsverbot: nicht kontrollierbar

Entsprechend Art. 9 Abs. 2 VBBo muss das AUE die Nutzung auf den betroffenen Parzellen so weit einschränken, dass die Gefährdung nicht mehr besteht. Gemäss den Erläuterungen zur VBBo könnte z.B. ein *Zutrittsverbot* für 1 bis 4-jährige Kinder verfügt werden. Diese Massnahme wäre unseres Erachtens aber nicht kontrollierbar.

Rasen ansäen = Nutzungsverbot

Um die Gefährdung zu verringern, könnte das AUE auch verfügen, dass in allen Gemüsegärten mit einer Blei-Belastung über dem erwähnten Prüfwert Rasen angesät wird (eine dichte Grasnarbe würde die Bodenaufnahme vermindern). Diese Massnahme liesse sich einfach kontrollieren, käme aber einem *Nutzungsverbot* gleich (es könnte kein Gemüse mehr angebaut werden).

7 LITERATURVERZEICHNIS

BAG (2005): Fünfter Schweizer Ernährungsbericht

BÜHLER, F. (2009), BMG Labors, Schlieren: Auswertung der Ringversuche 2007 und 2008 der International Soil Exchange (ISE) Wageningen

BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (BVL), Dienststelle Berlin (2004): Lebensmittel-Monitoring, Ergebnisse des bundesweiten Lebensmittel-Monitorings der Jahre 1995 bis 2002

BUWAL, Umwelt-Materialien Nr. 83, Boden (1997): Herleitung von Prüf- und Sanierungswerten für anorganische Schadstoffe im Boden

GERBRACHT, J., WILHELM M., HÖLZER J. (2005), Abteilung für Hygiene, Sozial- und Umweltmedizin Ruhr-Universität Bochum: Literaturauswertung Blei im Boden, Anhang 2 zum Bericht des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen

JAUSLIN MARKUS (2005), Caro Umwelttechnik AG, Sursee: Gefährdungsmodellierung Bodenbelastungsgebiet Dornach, Schlussbericht

JURITSCH GEORG (1991), Amt der Salzburger Landesregierung, Abteilung 4: Salzburger Bodenzustandsinventur, Band 1: Untersuchung von Hausgartenböden 1991

KNOCHE, H., BRAND, P., VIERECK-GÖTTE, L., BÖKEN, H., Forschungsbericht 107 06 001/20 im Auftrag des Umweltbundesamtes (1999): Schwermetalltransfer Boden - Pflanze, Ergebnisse der Auswertungen hinsichtlich der Königswasser- und Ammoniumnitrat-Extraktion anhand der Datenbank TRANSFER

MÜLLER CHRISTA (1999), Bayrische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, BL 1d, Vöttinger Str. 38, 85354 Freising: Bodenschadstoffe

OBENLAND, H., BINDER, M. (2004), ARGUK-Umweltlabor GmbH und Institut für Angewandte Umweltforschung in Oberursel: Literaturstudie zu Vorkommen und gesundheitlicher Bedeutung von Blei in Hausstaub

YOUHAI LIN (1994), Forschungsberichte VDI, Reihe 15, Nr. 13: Simulationsmodell zur Cadmium-Exposition durch Altlasten vor und nach der Sanierung

WHO, Thirtieth Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (1987): Evaluation of certain food additives and contaminants

WIKIPEDIA (Dezember 2008), Suchbegriff Ottokraftstoffe: Entwicklung der Ottokraftstoffe, Bleifrei

Haftungsauschluss

Alle Arbeiten der FRIEDLIPARTNER AG wurden unter Einhaltung der Sorgfaltspflicht ausgeführt. Die FRIEDLIPARTNER AG übernimmt keine Haftung für die Folgen aus unbekannten oder verschwiegenen Tatsachen.

Falls Dritte basierend auf diesen Bericht Entscheidungen treffen, so tragen diese Dritten die alleinige Verantwortung für allfällige Kostenfolgen.

Zürich, 29. April 2009

FRIEDLIPARTNER AG

B. Schmid

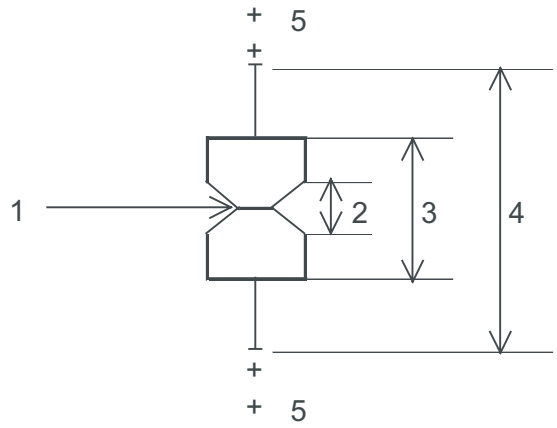
Bruno Schmid, Dipl. Chem. ETH, Dr. sc. nat.
Leiter Bereich Altlasten und Entsorgung

ANHANG

1 Lesebeispiel Abbildungen
2 Abbildungen

ANHANG 1

Lesebeispiel Abbildungen



1	Median	50 % Perzentilwert
2	Konfidenzintervall	95 % Vertrauensbereich für den Median
3	Interquartilsbereich	enthält die Werte zwischen dem 25 % und 75 % Perzentil, und somit 50 % aller Werte
4	Innerer Zaun	Maximal das 1.5 fache des Interquartilsbereichs
5	Aussenpunkte	Werte ausserhalb des inneren Zauns

Grundlage:

Anhang Zusatzprojekt Gefährdungsabschätzung
Bodenbelastungsgebiet Dornach

24.02.09/srk

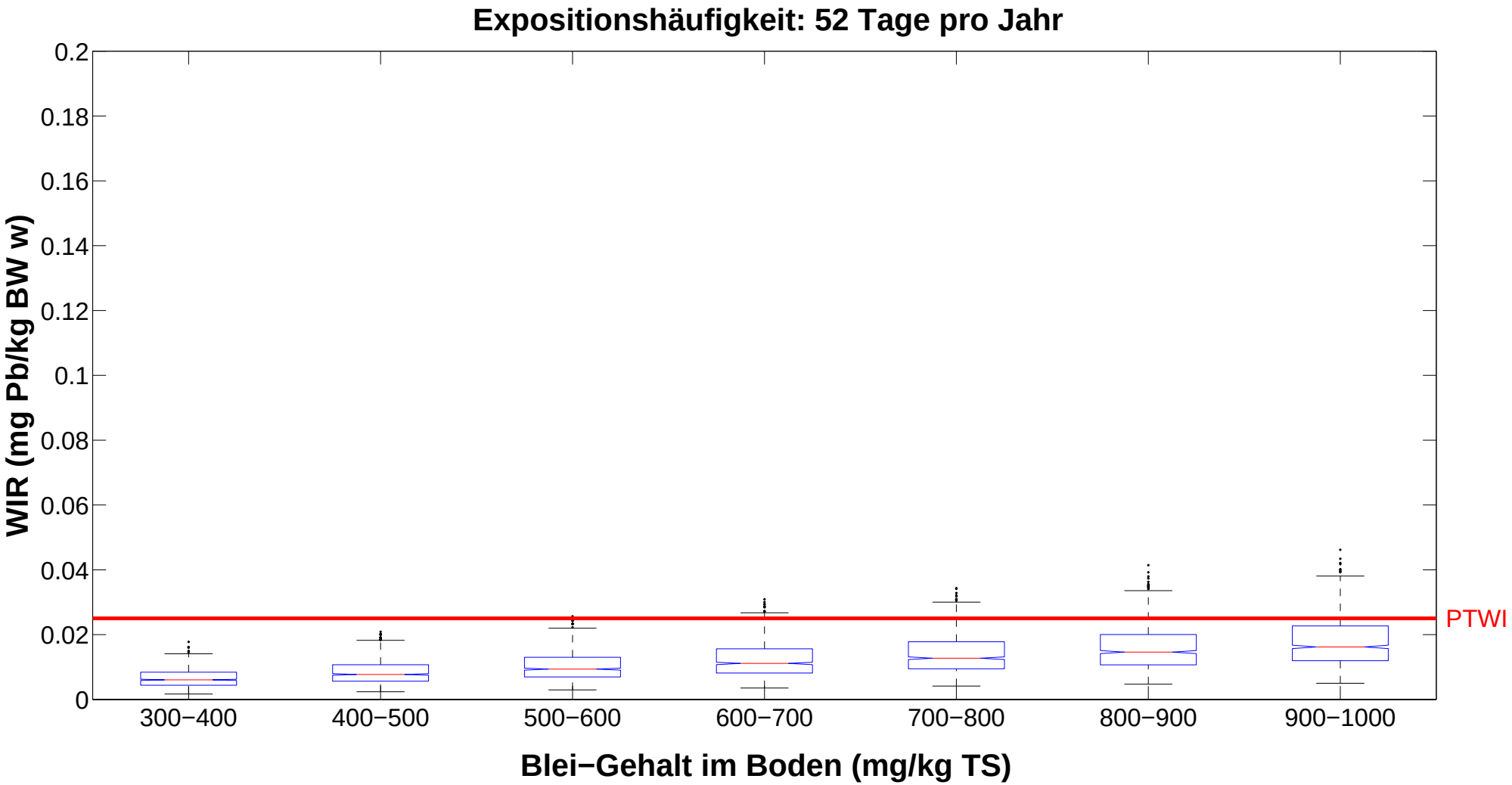
FRIEDLIPARTNER AG
GEOTECHNIK ALTLASTEN UMWELT

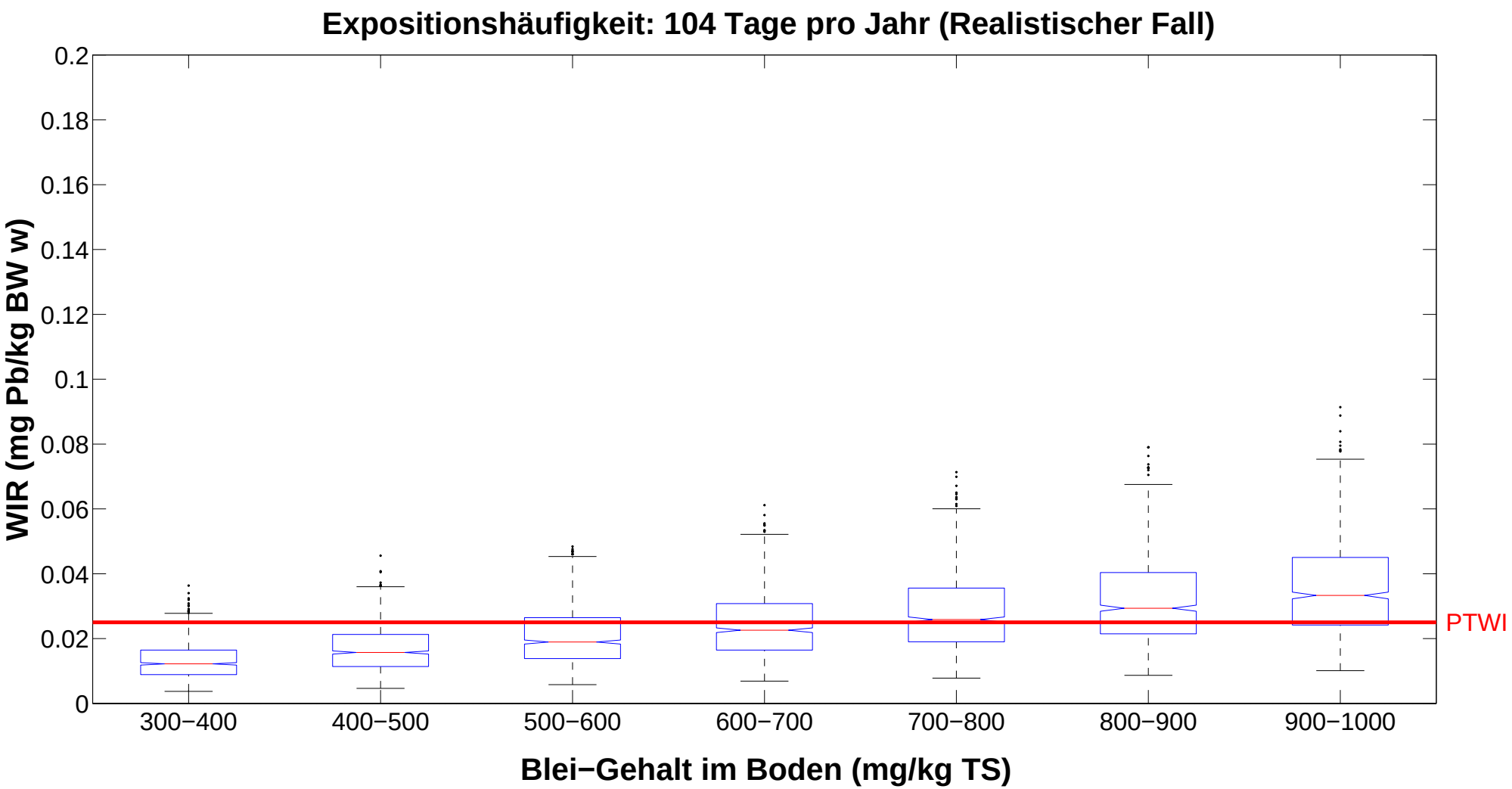
Gefährdungsabschätzung

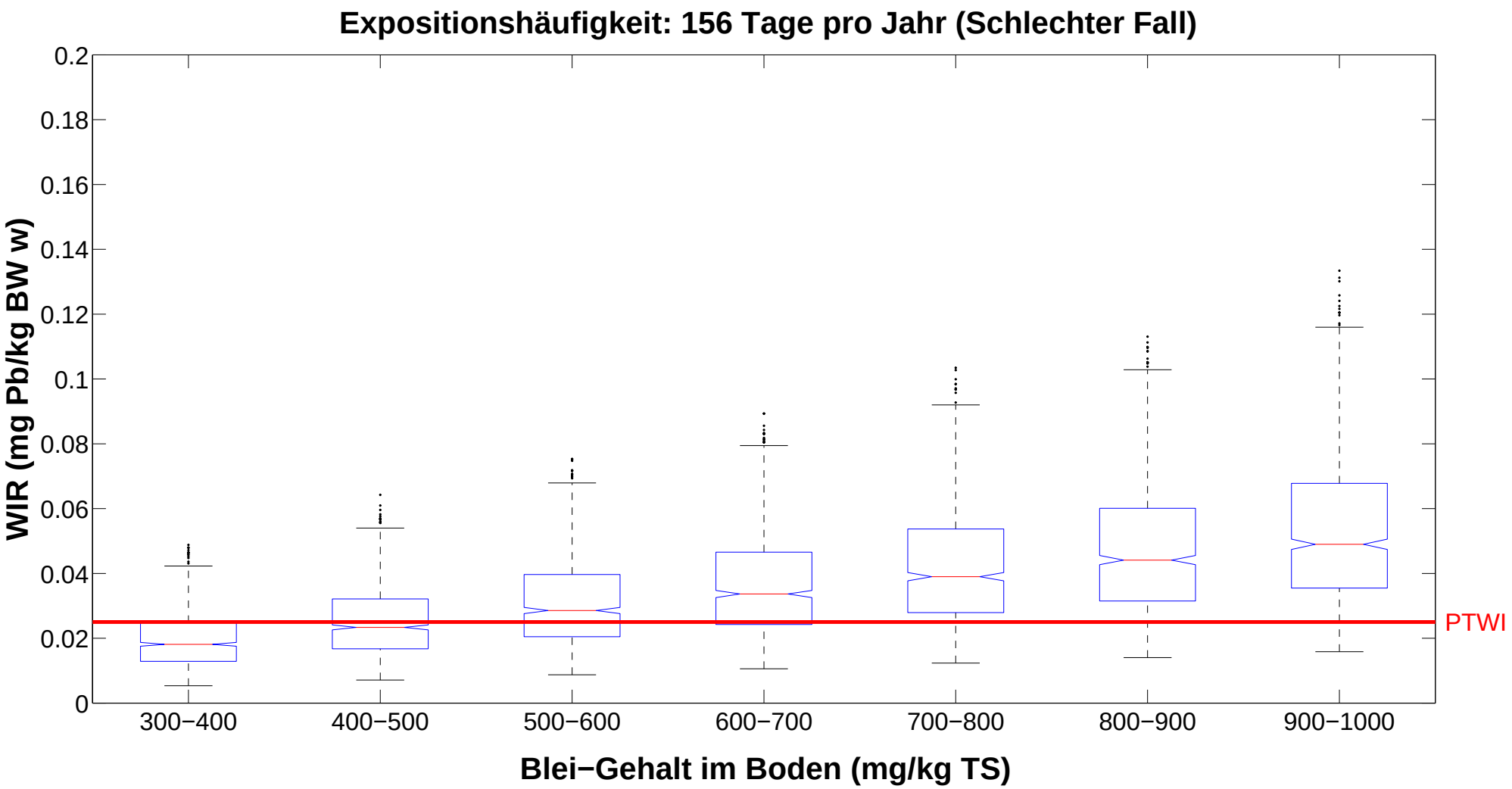
Mit Blei belastete Gemüsegärten
Pratteln
08.124

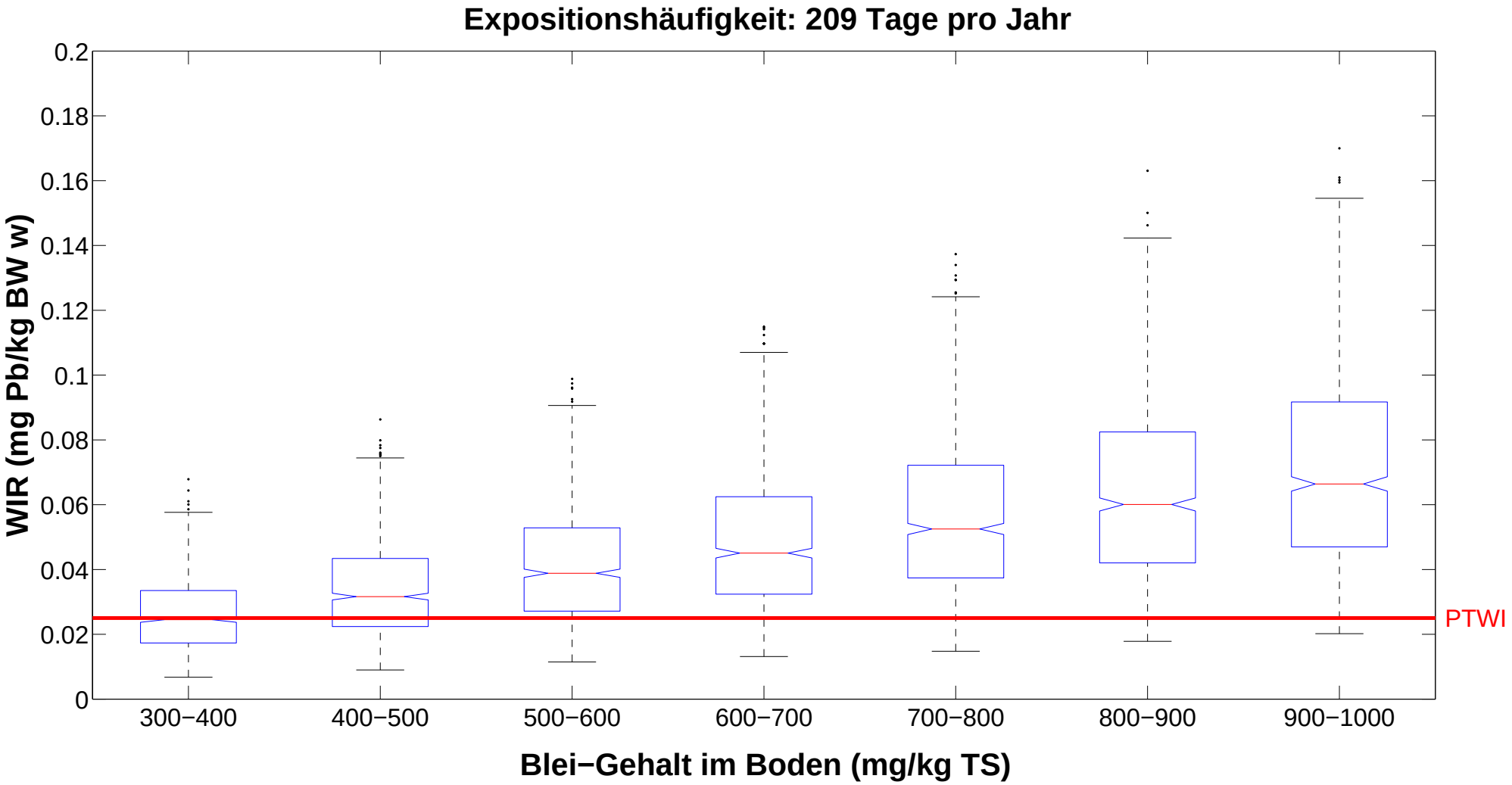
ANHANG 2

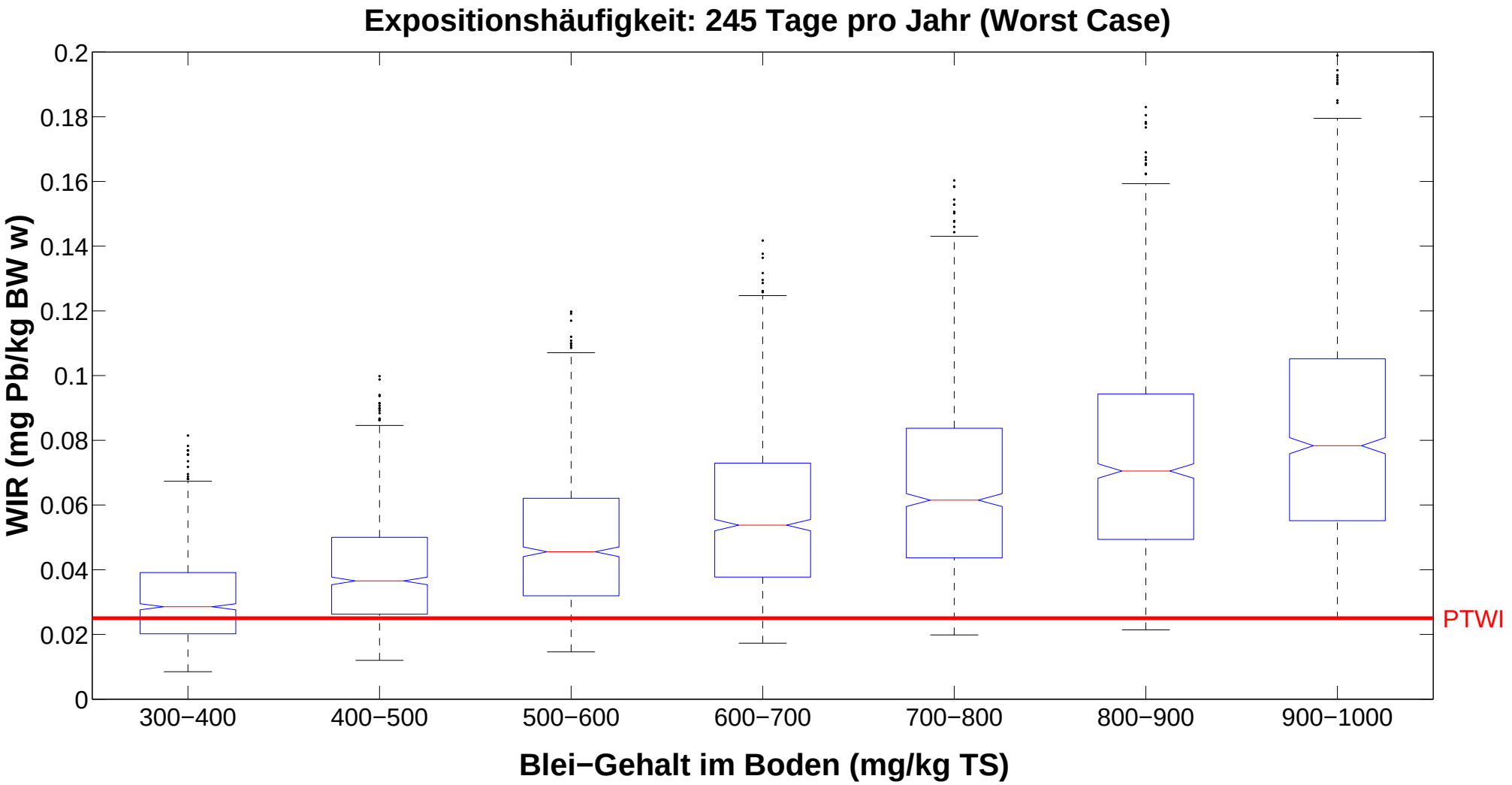
Abbildungen

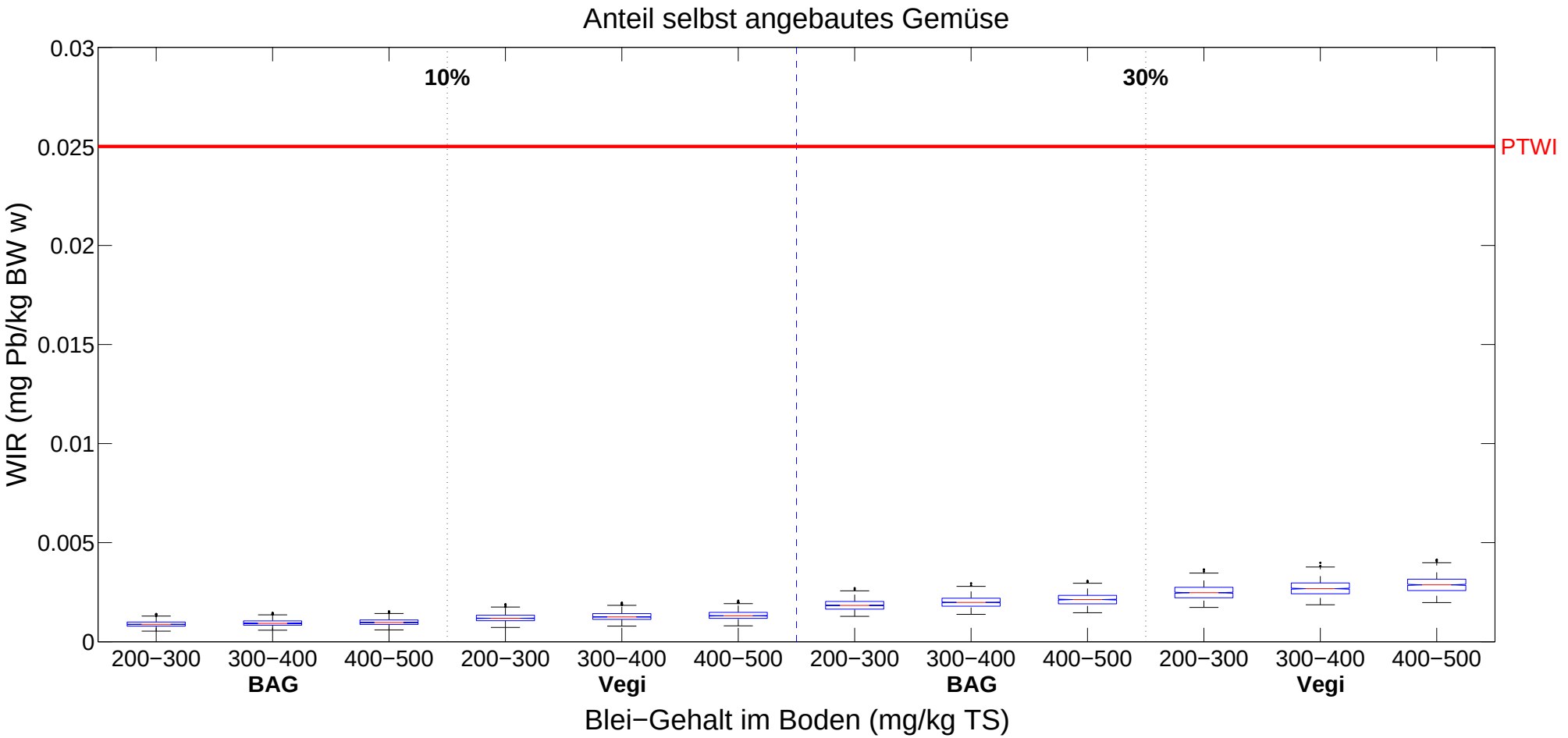

Expositionshäufigkeit: 52 Tage pro Jahr
WIR (mg Pb/kg BW w)
0.2
0.18
0.16
0.14
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
PTWI
300−400
400−500
500−600
600−700
700−800
800−900
900−1000
Blei−Gehalt im Boden (mg/kg TS)

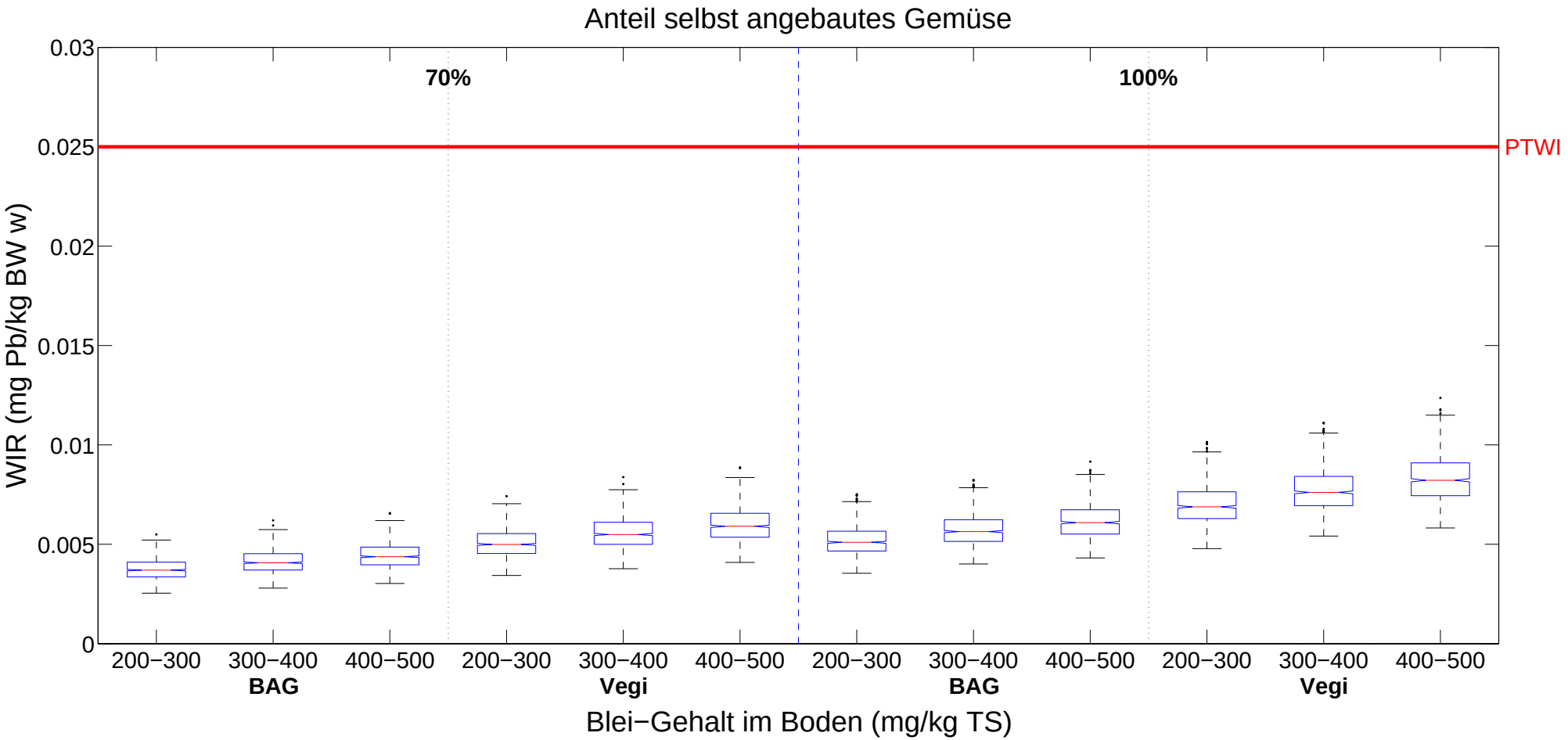

Expositionshäufigkeit: 104 Tage pro Jahr (Realistischer Fall)
WIR (mg Pb/kg BW w)
0.2
0.18
0.16
0.14
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
PTWI
300−400
400−500
500−600
600−700
700−800
800−900
900−1000
Blei−Gehalt im Boden (mg/kg TS)

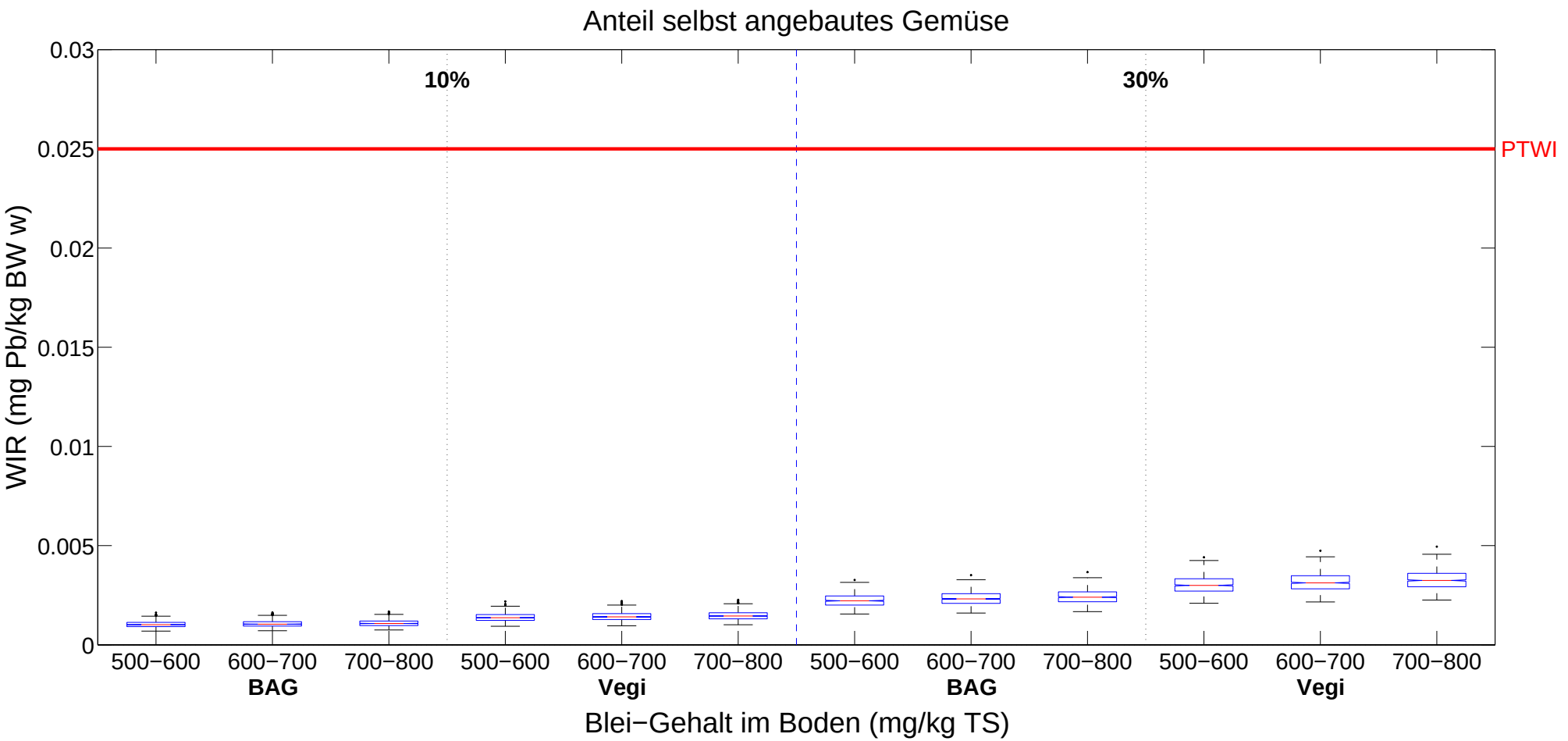

Expositionshäufigkeit: 156 Tage pro Jahr (Schlechter Fall)
WIR (mg Pb/kg BW w)
0.2
0.18
0.16
0.14
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
PTWI
300−400
400−500
500−600
600−700
700−800
800−900
900−1000
Blei−Gehalt im Boden (mg/kg TS)

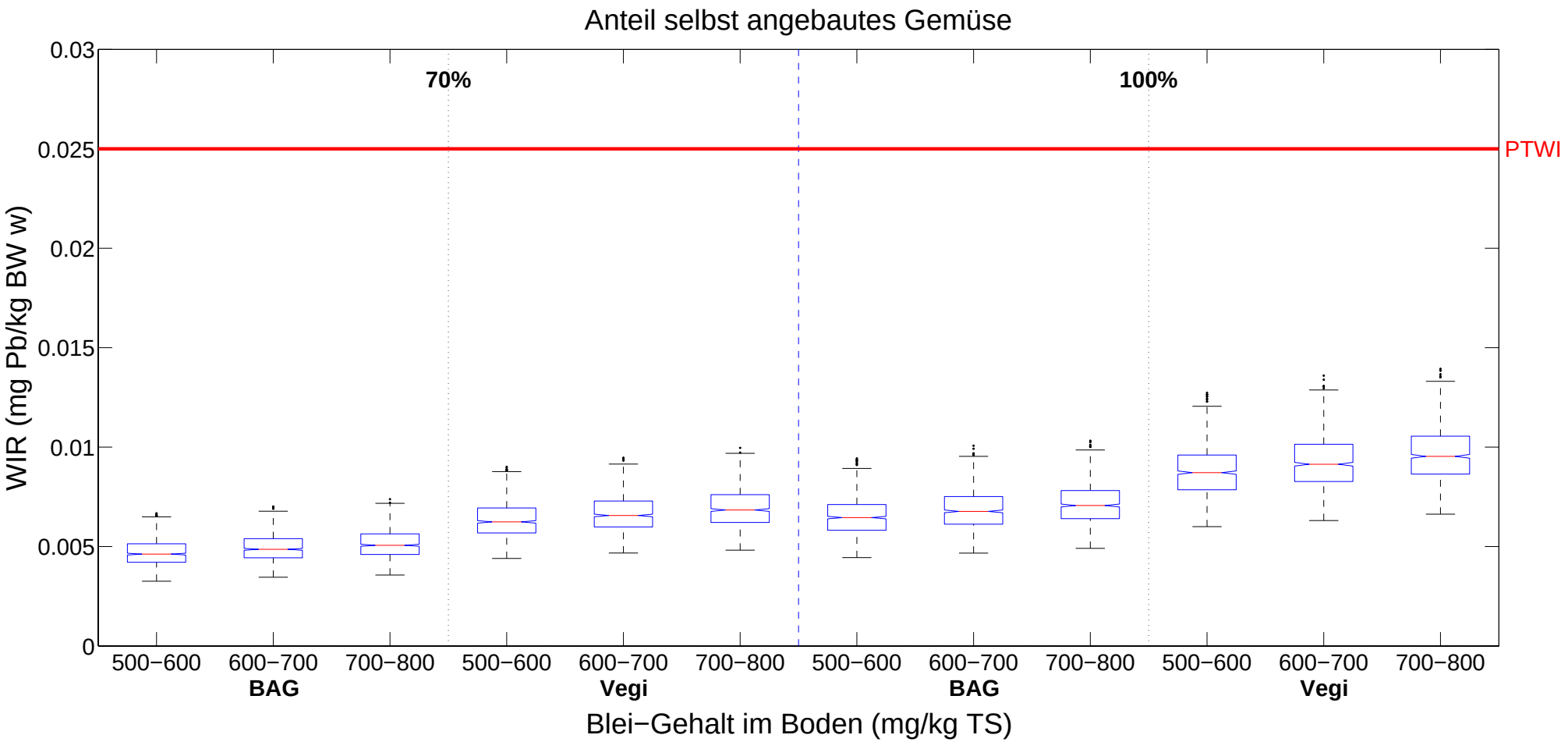

Expositionshäufigkeit: 209 Tage pro Jahr
WIR (mg Pb/kg BW w)
0.2
0.18
0.16
0.14
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
PTWI
300−400
400−500
500−600
600−700
700−800
800−900
900−1000
Blei−Gehalt im Boden (mg/kg TS)


Expositionshäufigkeit: 245 Tage pro Jahr (Worst Case)
WIR (mg Pb/kg BW w)
0.2
0.18
0.16
0.14
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
PTWI
300−400
400−500
500−600
600−700
700−800
800−900
900−1000
Blei−Gehalt im Boden (mg/kg TS)


Anteil selbst angebautes Gemüse
10%
30%
PTWI
0.03
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
WIR (mg Pb/kg BW w)
200−300
300−400
400−500
200−300
300−400
400−500
200−300
300−400
400−500
200−300
300−400
400−500
BAG
Vegi
BAG
Vegi
Blei−Gehalt im Boden (mg/kg TS)


Anteil selbst angebautes Gemüse
70%
100%
PTWI
WIR (mg Pb/kg BW w)
0.03
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
200−300
300−400
400−500
BAG
Vegi
Blei−Gehalt im Boden (mg/kg TS)


Anteil selbst angebautes Gemüse
10%
30%
PTWI
WIR (mg Pb/kg BW w)
0.03
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
500−600
600−700
700−800
500−600
600−700
700−800
500−600
600−700
700−800
500−600
600−700
700−800
BAG
Vegi
BAG
Vegi
Blei−Gehalt im Boden (mg/kg TS)


Anteil selbst angebautes Gemüse
70%
100%
PTWI
WIR (mg Pb/kg BW w)
0.03
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
500−600
600−700
700−800
500−600
600−700
700−800
500−600
600−700
700−800
500−600
600−700
700−800
BAG
Vegi
BAG
Vegi
Blei−Gehalt im Boden (mg/kg TS)