

Resorptionsverfügbarkeit bei großflächigen Bodenbelastungen

Wirkungspfad Boden - Mensch



Ingo Müller, Kati Kardel (LfULG), Steffen Schürer (LDS)

Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit (RV)

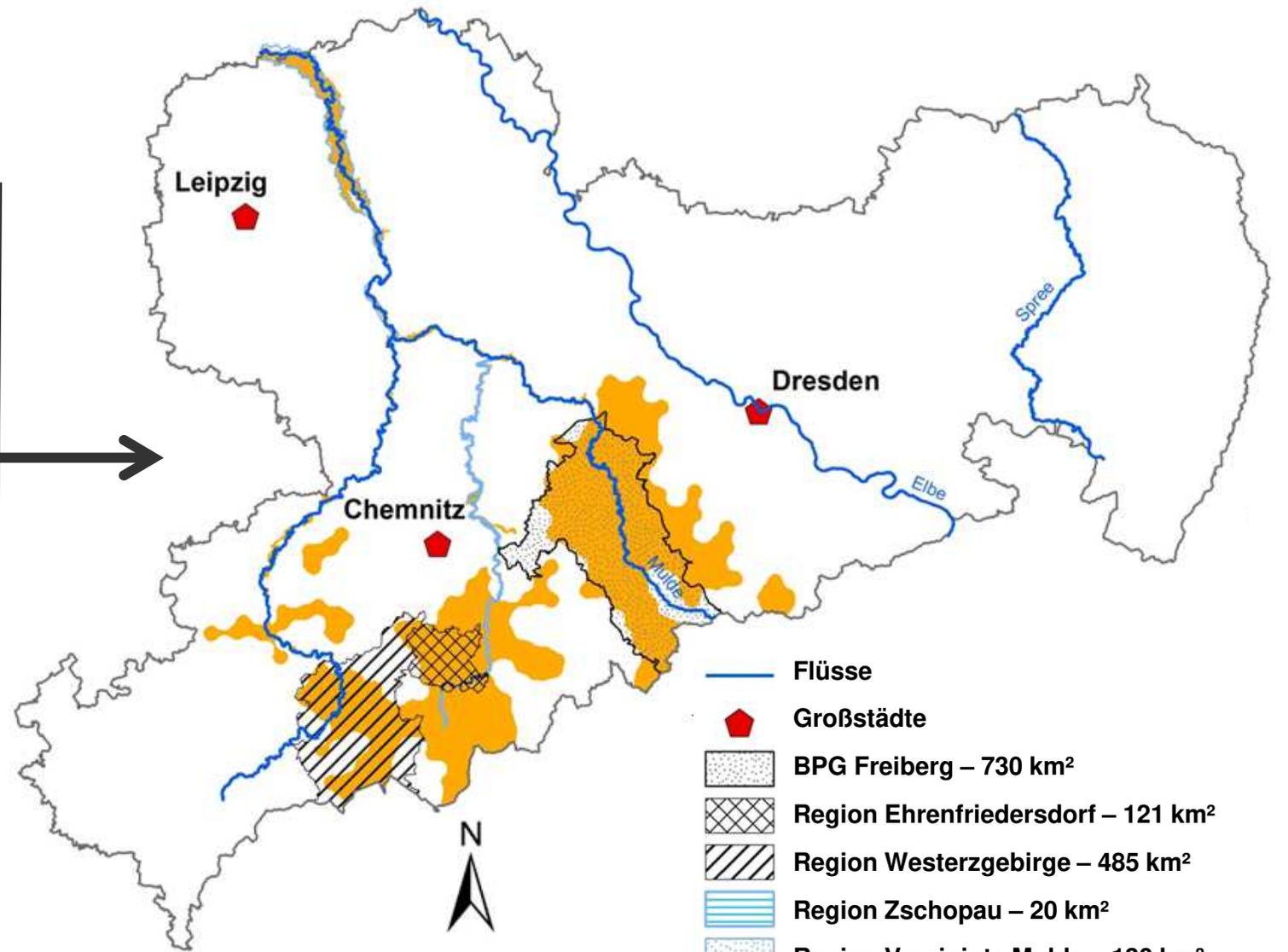
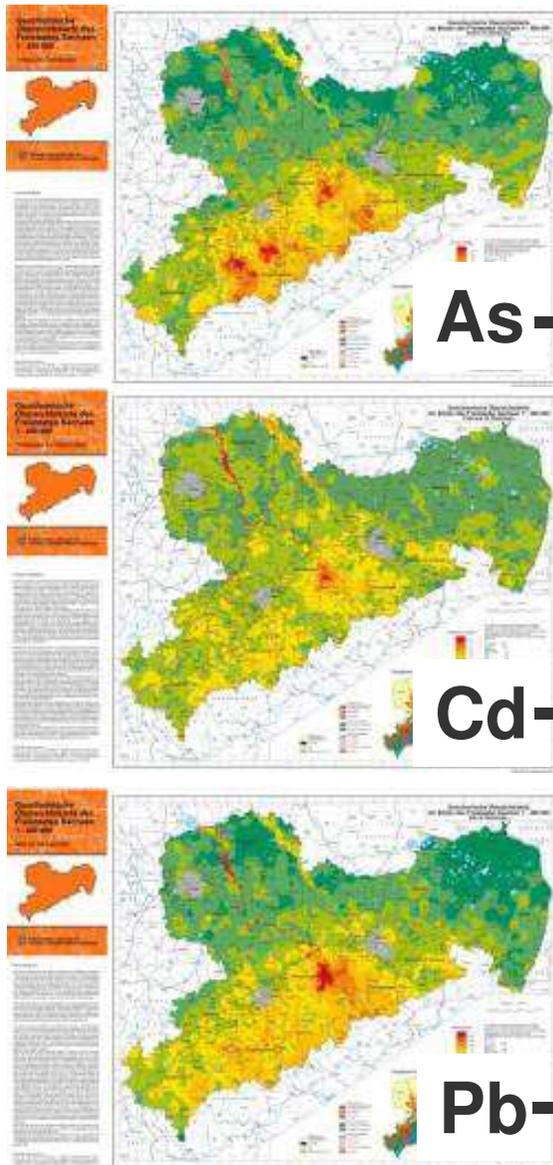
Ein Beitrag zur (gebietsbezogenen) Expositionsabschätzung

- Warum der Aufwand?
- DIN 19738 – ein Magen-Darm-Modell zur Ermittlung der RV im Labor
- Ergebnisse und Auswertungen aus den belasteten Gebieten
- Anwendungsmöglichkeiten von Abschätzungsmodellen

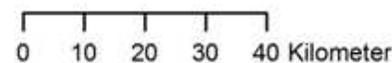
Geochemische Übersichtskarten

Großflächig belastete Gebiete (LEP 2013)

LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



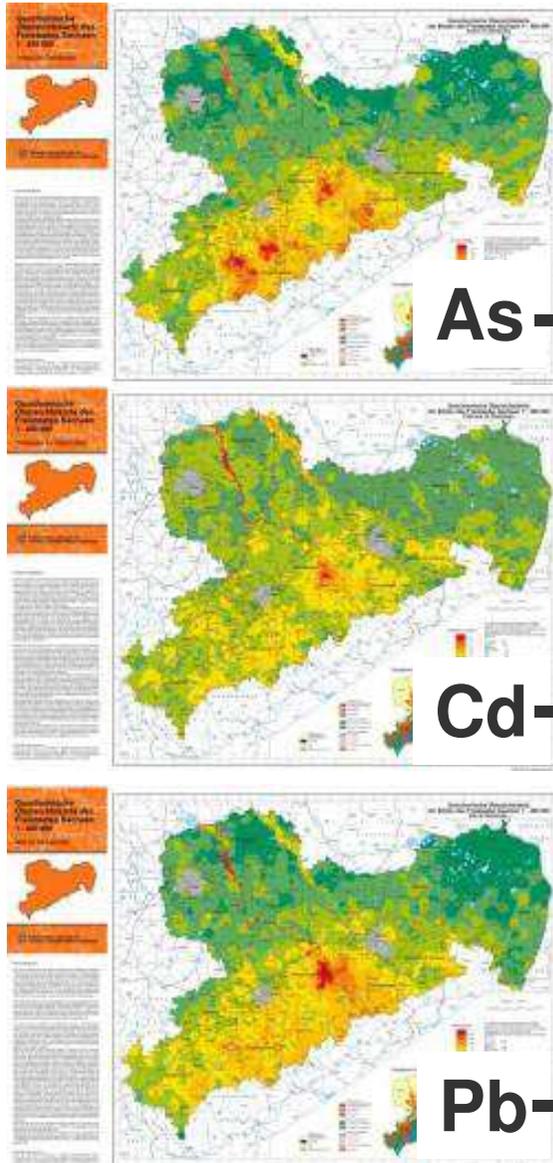
- Flüsse
- Großstädte
- BPG Freiberg – 730 km²
- Region Ehrenfriedersdorf – 121 km²
- Region Westerkgebirge – 485 km²
- Region Zschopau – 20 km²
- Region Vereinigte Mulde – 130 km²
- Belastungsgebiete (LEP 2013) – 2062 km²



Geochemische Übersichtskarten

Großflächig belastete Gebiete (LEP 2013)

LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



Prüfwerte (PW) im Pfad Boden-Mensch werden oft flächenhaft überschritten.

PW basieren auf Gesamtgehalten (Königswasserextraktion) und bei der PW-Ableitung wurde die RV auf 100 % gesetzt (worst case).

→ 816 Oberbodenproben aus den belasteten Gebieten (keine Altlasten) wurden auf die RV von As, Cd und Pb analysiert (DIN 19738)

0 10 20 30 40 Kilometer

Region Vereinigte Mulde – 150 km
Belastungsgebiete (LEP 2013) – 2062 km²

Warum RV-Untersuchungen?

- An und in der Bodenmatrix können Schadstoffe sehr fest gebunden sein; daher auch im Labor erhebliche Prozeduren zur Schadstoffablösung
- An die „Verdauung von Boden“ ist der menschliche Verdauungstrakt über die Evolution nicht adaptiert - anders als bei Nahrungsmitteln (inkl. Getränken)
- Grundannahme: der menschliche Verdauungstrakt kann aus dem (unabsichtlich) aufgenommenen Bodenmaterial Schadstoffe nur in begrenztem Umfang ab- bzw. herauslösen
- Mit dem Boden aufgenommene Schadstoffe stehen daher nach der „Verdauung“ einer Resorption nur zu einem begrenzten Teil zur Verfügung
- → **Weg: Labormodell zur Abschätzung dieses Anteils = DIN 19738**
- → **Ziel: Realistischere Abschätzung der möglichen Gefährdung**

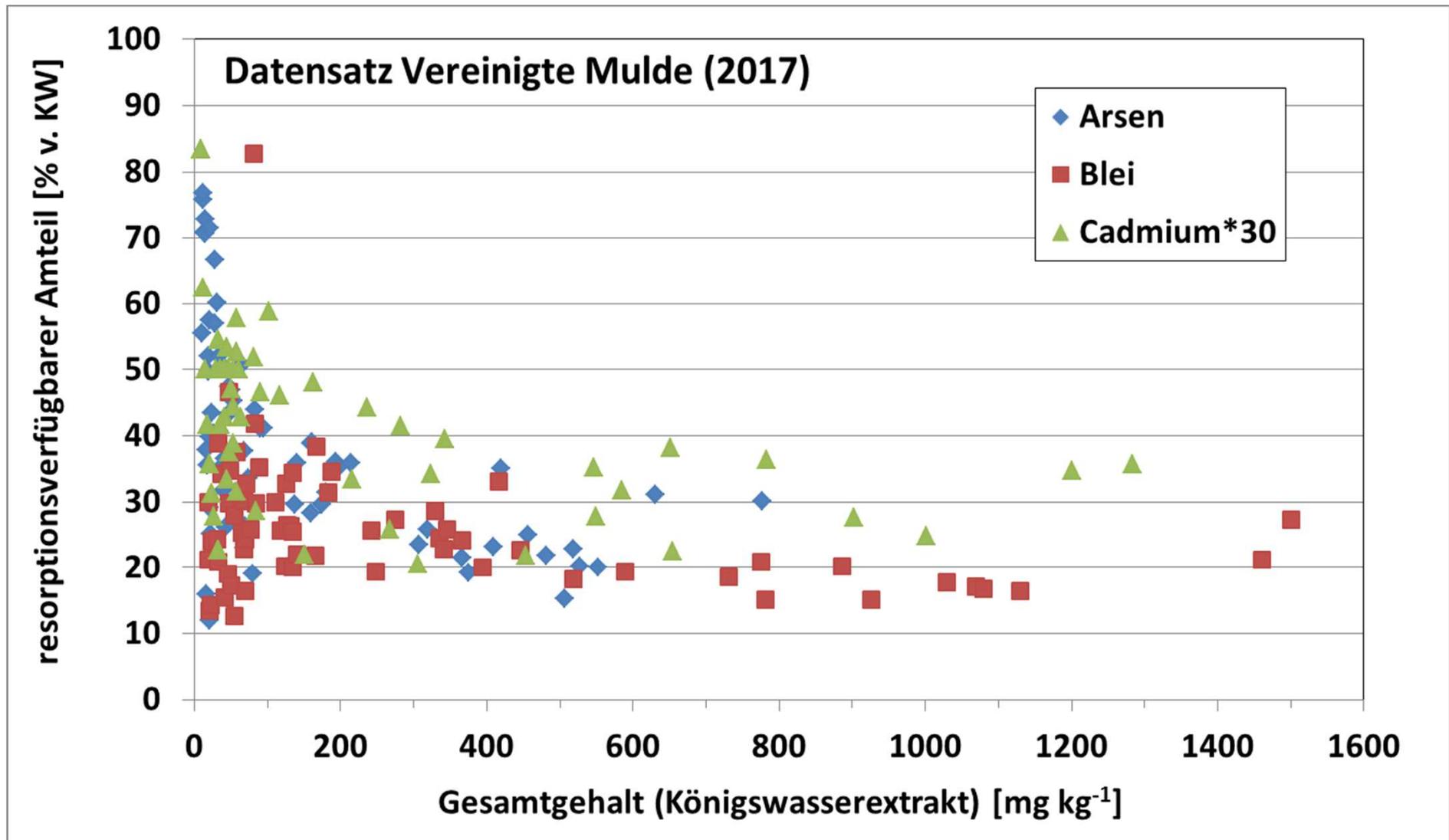
RV-Untersuchungen

Datenauswahl und -aufbereitung

- RV nach DIN 19738 wurde direkt mit den KW-Untersuchungen durchgeführt (und nicht nur an Proben mit KW-Gehalten $>$ Prüfwert)
- 816 Datensätze mit allgemeinen Bodeninformationen und für As, Cd und Pb Gesamtgehalt (KW), RV-Gehalt (DIN 19738) und berechneter RV-Anteil (% des Gesamtgehaltes)
- Die Konzentrationen sind nicht normalverteilt, daher wurden für Korrelations-tests und Regressionsmodelle logarithmierte Daten verwendet
- Probleme durch unterschiedliche Bestimmungsgrenzen der Verfahren und starke Messunsicherheiten bei niedrigen Konzentrationen

Resorptionsverfügbare Anteil im Konzentrationsverlauf

Deutliche Variabilität bei niedrigen Konzentrationen



RV-Untersuchungen

Datenauswahl und -aufbereitung

- RV nach DIN 19738 wurde direkt mit den KW-Untersuchungen durchgeführt (und nicht nur an Proben mit KW-Gehalten $>$ Prüfwert)
- 816 Datensätze mit allgemeinen Bodeninformationen und für As, Cd und Pb Gesamtgehalt (KW), RV-Gehalt (DIN 19738) und berechneter RV-Anteil (% des Gesamtgehaltes)
- Die Konzentrationen sind nicht normalverteilt, daher wurden für Korrelations-tests und Regressionsmodelle logarithmierte Daten verwendet
- Probleme durch unterschiedliche Bestimmungsgrenzen der Verfahren und starke Messunsicherheiten bei niedrigen Konzentrationen

RV-Untersuchungen

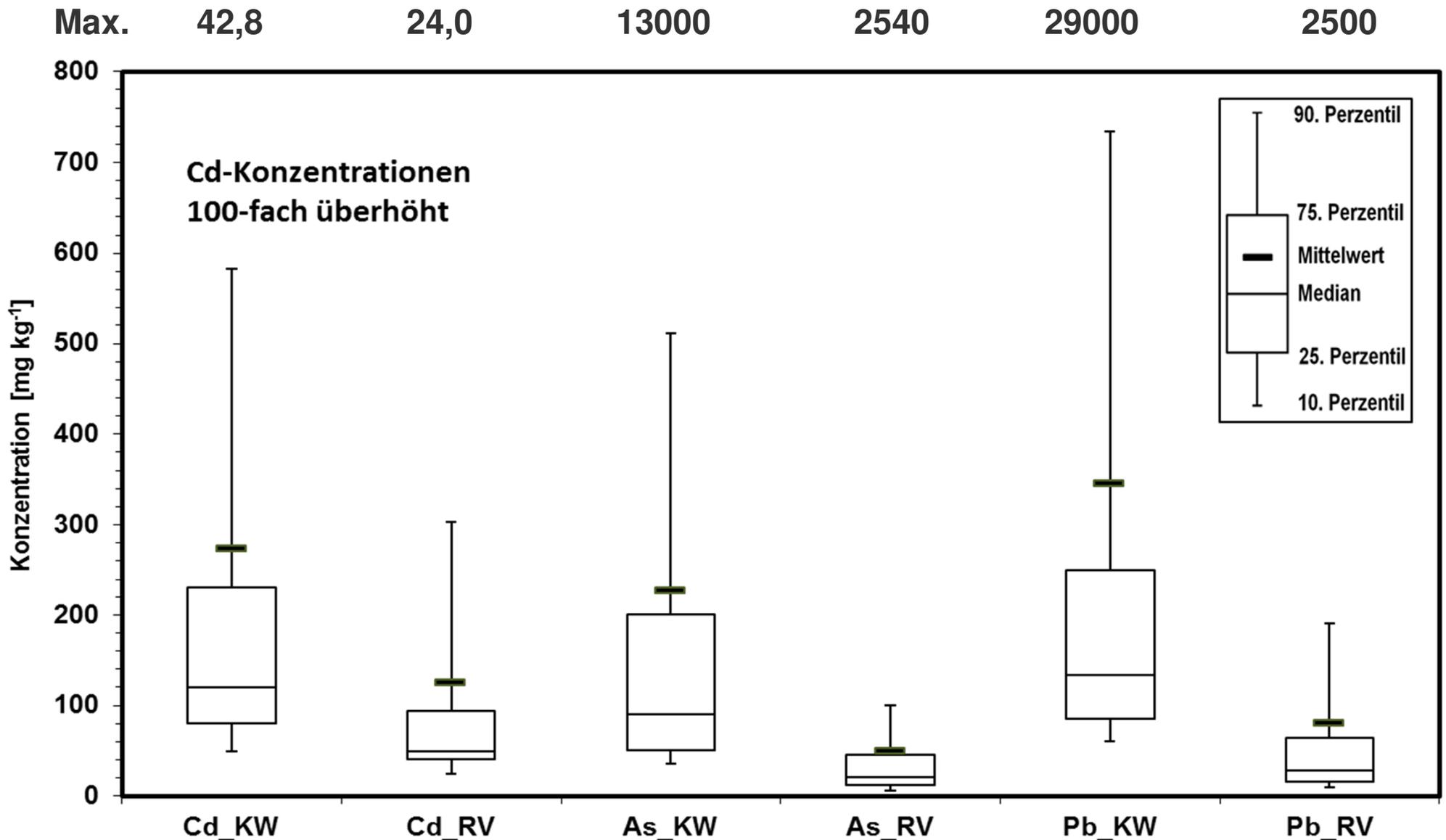
Datenauswahl und -aufbereitung

- RV nach DIN 19738 wurde direkt mit den KW-Untersuchungen durchgeführt (und nicht nur an Proben mit KW-Gehalten $>$ Prüfwert)
- 816 Datensätze mit allgemeinen Bodeninformationen und für As, Cd und Pb Gesamtgehalt (KW), RV-Gehalt (DIN 19738) und berechneter RV-Anteil (% des Gesamtgehaltes)
- Die Konzentrationen sind nicht normalverteilt, daher wurden für Korrelations-tests und Regressionsmodelle logarithmierte Daten verwendet
- Probleme durch unterschiedliche Bestimmungsgrenzen der Verfahren und starke Messunsicherheiten bei niedrigen Konzentrationen
 - Daten mit KW-Gehalten $<$ 75 % des kleinsten PW wurden von der statistischen Analyse ausgeschlossen
 - Anwendung der DIN 19738 erfolgt in der Praxis ohnehin nur dann, wenn Gesamtgehalte (Königswasser) $>$ Prüfwert
 - Es verbleiben nur Proben mit „relevanter Belastung“



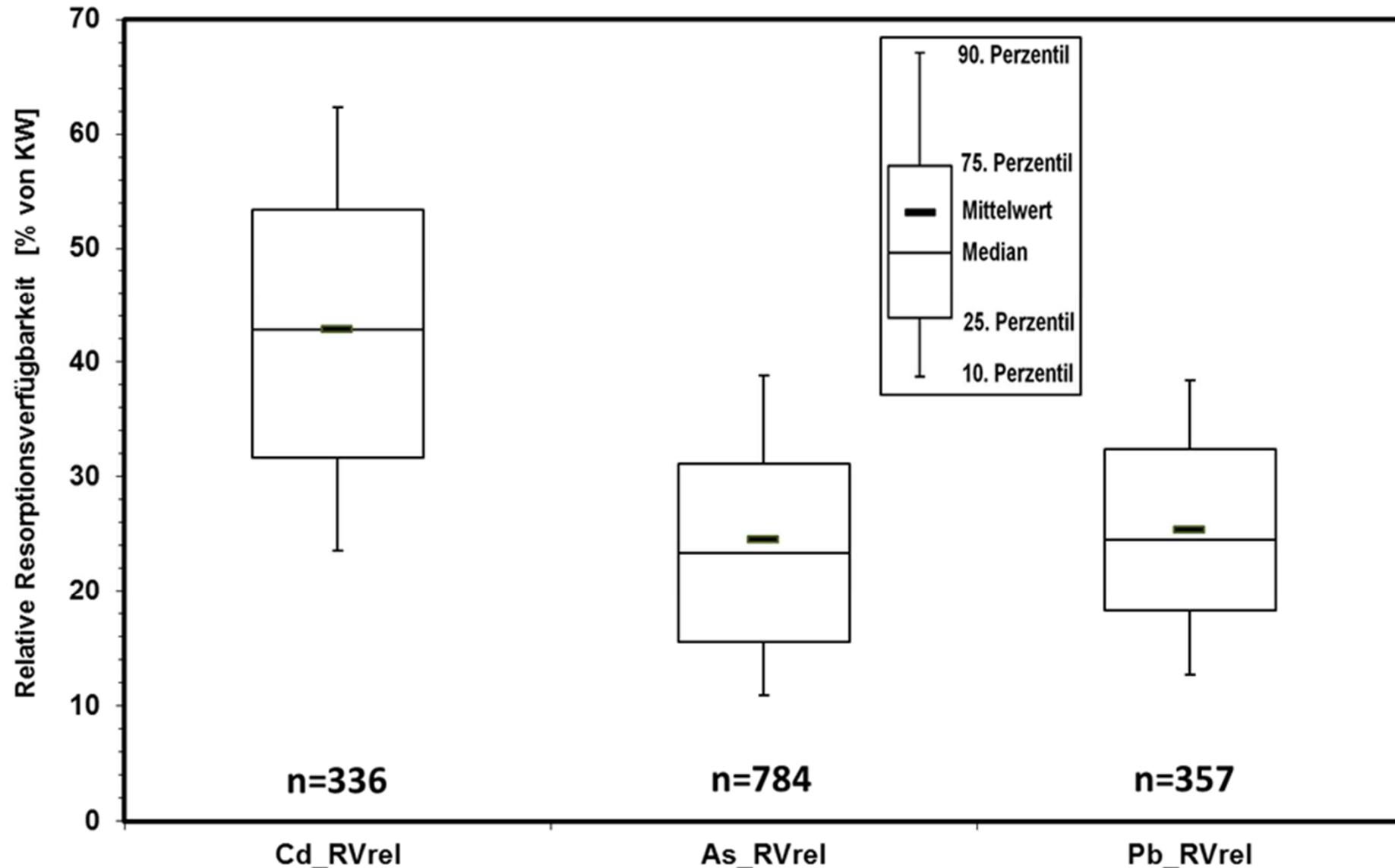
Vergleich der Gesamt- (KW) und RV-Gehalte (N=816)

Statistische Kenndaten für As, Cd, Pb



Resorptionsverfügbare Anteil am Gesamtgehalt (RVrel)

Statistische Kenndaten für As, Cd, Pb bei relevanter Belastung



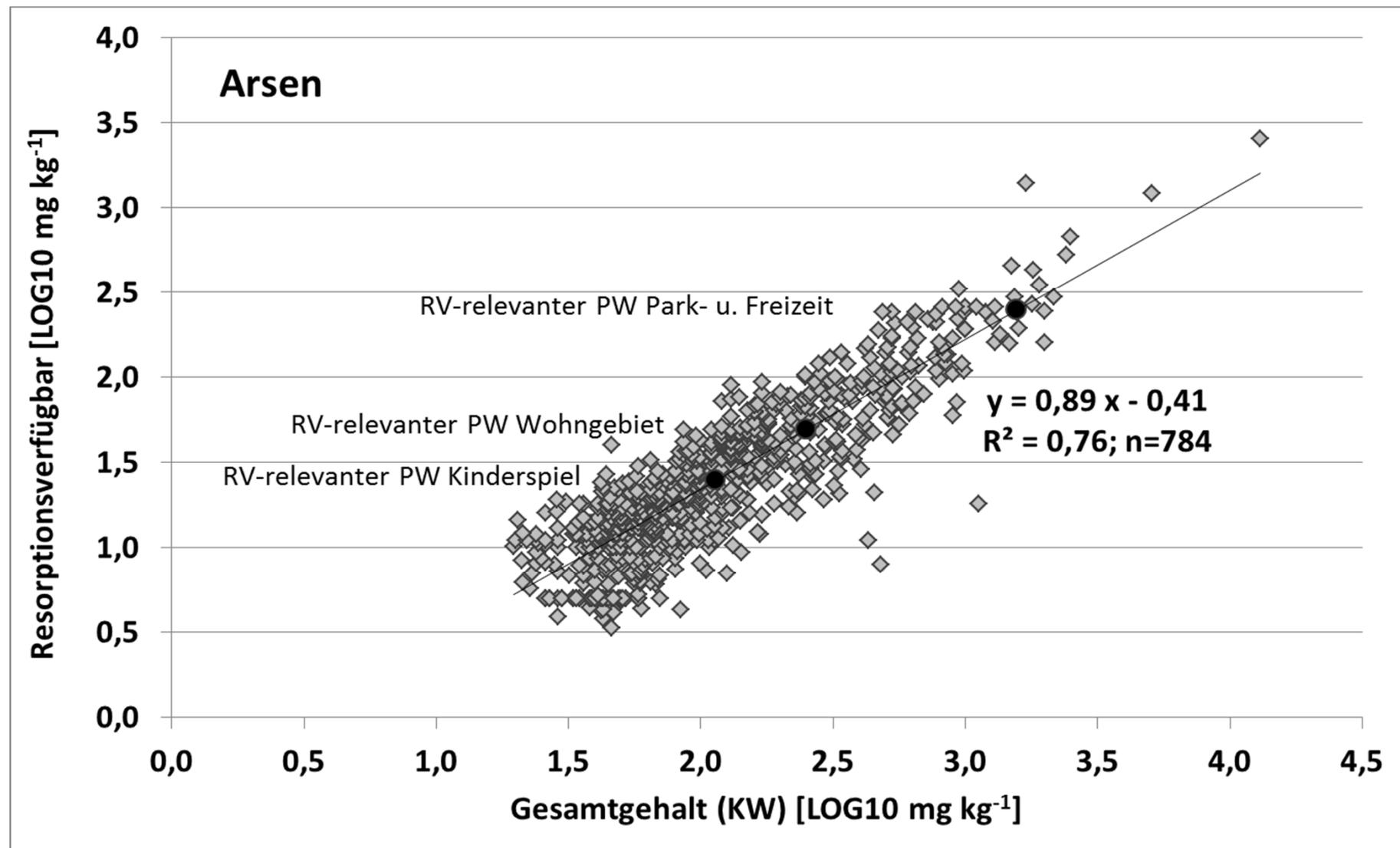
Korrelationen

Proben mit „relevanter Belastung“ (log-Daten)

- Zwischen Cd, As und Pb sind die KW-Gehalte (wie auch RV-Gehalte) recht eng korreliert ($r=0,54^{***}$ bis $0,76^{***}$)
→ ähnliche Belastungsursache und Bindung im Boden
- Zwischen Cd, As und Pb ist auch die RVrel korreliert ($r=0,26^{***}$ bis $0,58^{***}$)
- Die RVrel zeigt teilweise zu den mit erhobenen Bodenparametern (pH-Wert, Tongehalt, Corg, KAKpot, Entnahmetiefe) sehr schwache Korrelationen
- Die Hypothese, dass mit steigenden Gesamtgehalten die RVrel abnimmt, zeigte sich für As durch eine schwache Korrelation ($r=-0,24^{**}$), nicht aber für Pb und eher gegenteilig für Cd ($r=0,13^*$)
- Der Zusammenhang zwischen den Gesamtgehalten und den absoluten resorptionsverfügbaren Gehalten war sehr eng ($r=0,87^{***}$ bis $0,92^{***}$)
→ Ableitung einfacher Regressionsmodelle (ohne Bodenparameter)

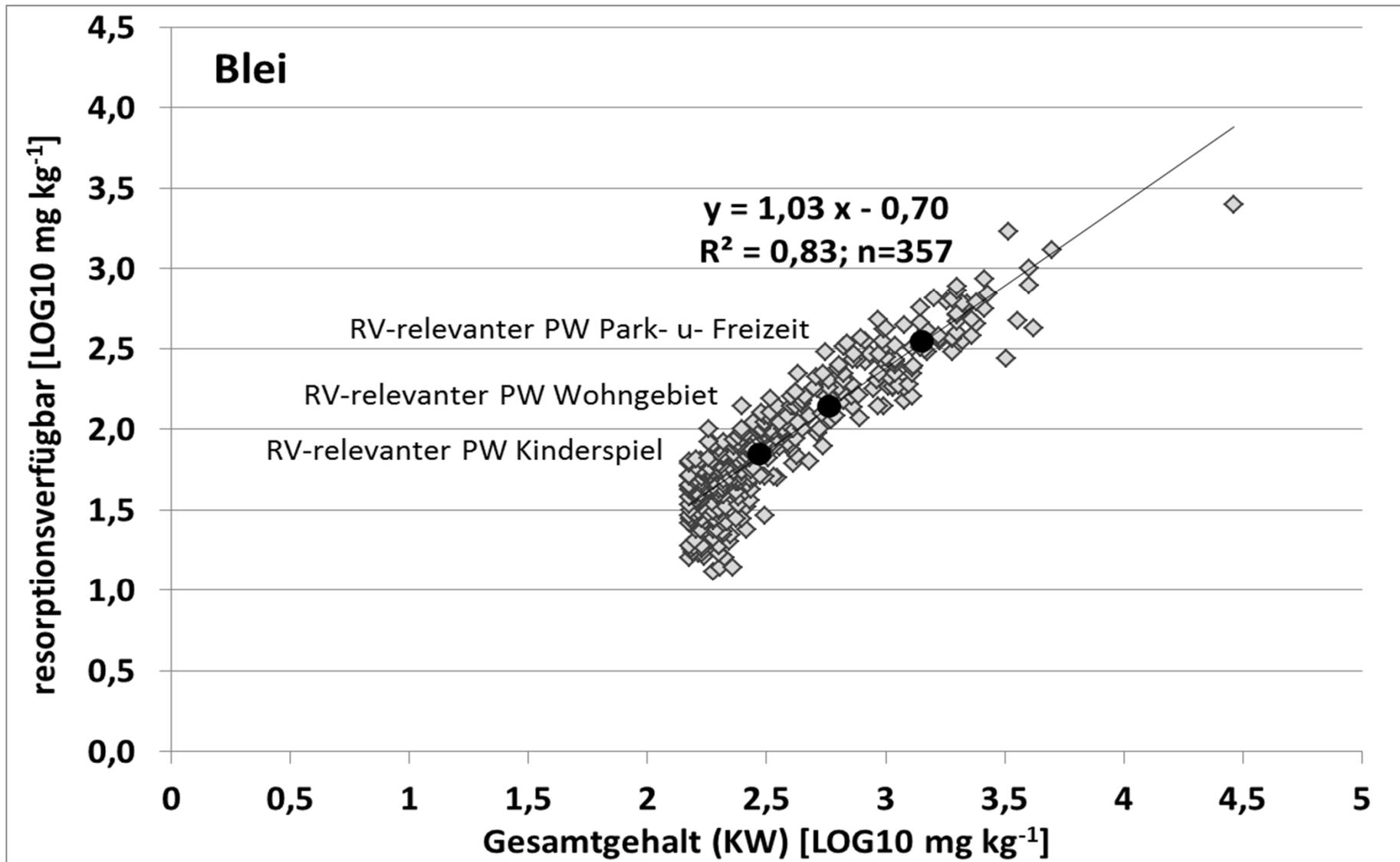
Beziehung zwischen KW- und RV-Konzentration

Regressionsmodell (log-Daten)



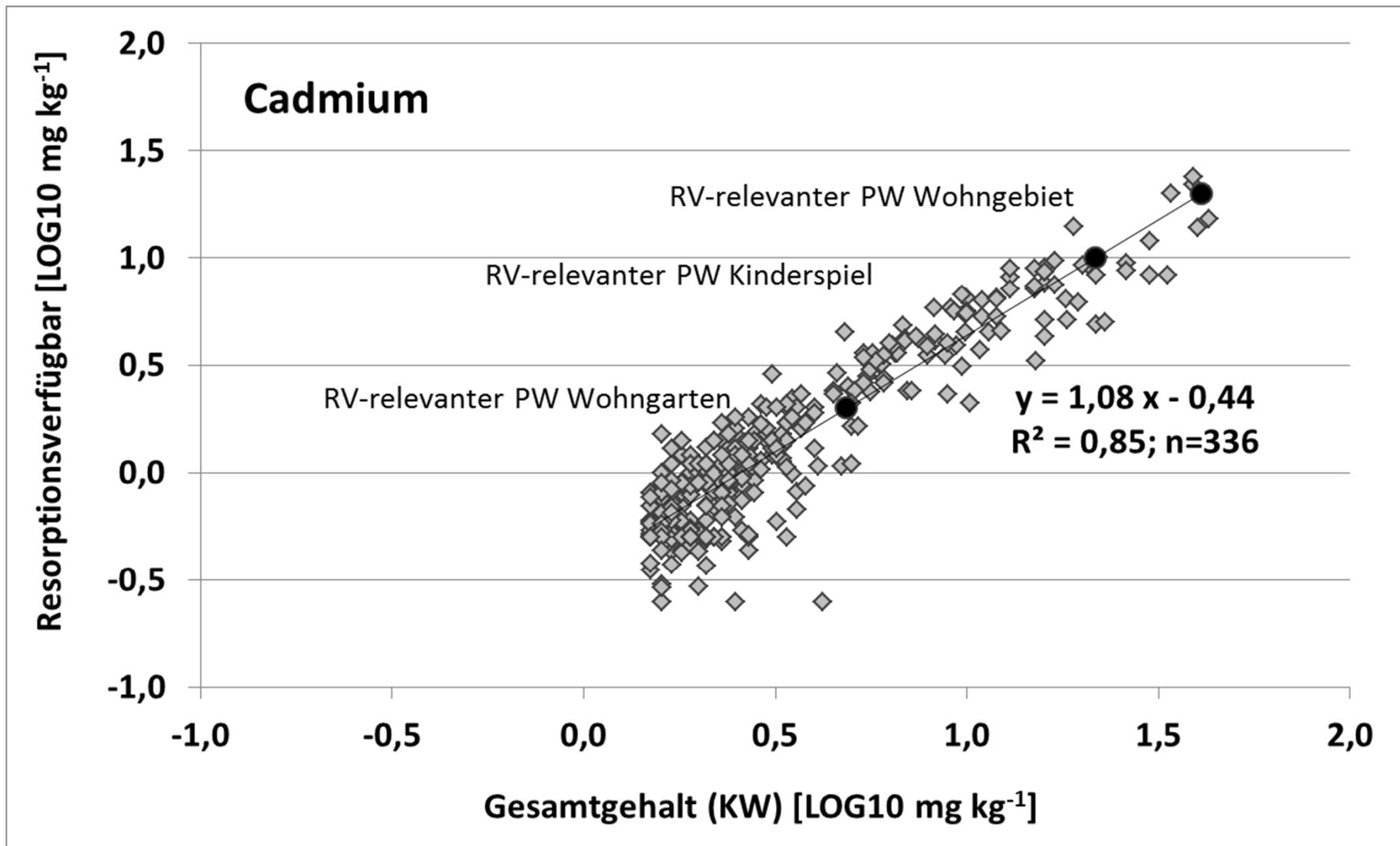
Beziehung zwischen KW- und RV-Konzentration

Regressionsmodell (log-Daten)



Beziehung zwischen KW- und RV-Konzentration

Regressionsmodell (log-Daten)



Mögliche Anwendung der Ergebnisse

Abschätzung der RV / Ableitung von Beurteilungswerten (KW)

- Abschätzung zu erwartender RV-Werte aus gemessenen KW-Werten ist unter Berücksichtigung von (Un-) Sicherheitsmaßen über zwei Wege möglich:
 - a) Regressionsmodelle unter Nutzung der Konfidenzintervalle (z.B. 5%, 95%)
 - b) statistisch abgeleitete Datenverteilung (Median, Perzentile, z.B. 5. und 95.)

→ Vorprüfung Gefahrenverdacht und Entscheidungshilfe für Analysen auf RV

- Anders herum lassen sich Konzentrationen für Gesamtgehalte (KW) ableiten, bei denen mit festgelegter Wahrscheinlichkeit der resorptionsverfügbare Anteil den stoff- und nutzungsbezogen definierten (resorptionsrelevanten) Prüfwert der BBodSchV einhält; auch hier sind beide oben genannten Wege möglich

→ Ableitung gebietsbezogener Beurteilungswerte

Abschätzung von RV- aus Gesamtgehalten (KW)

Statistische Verteilung oder Regressionsmodell

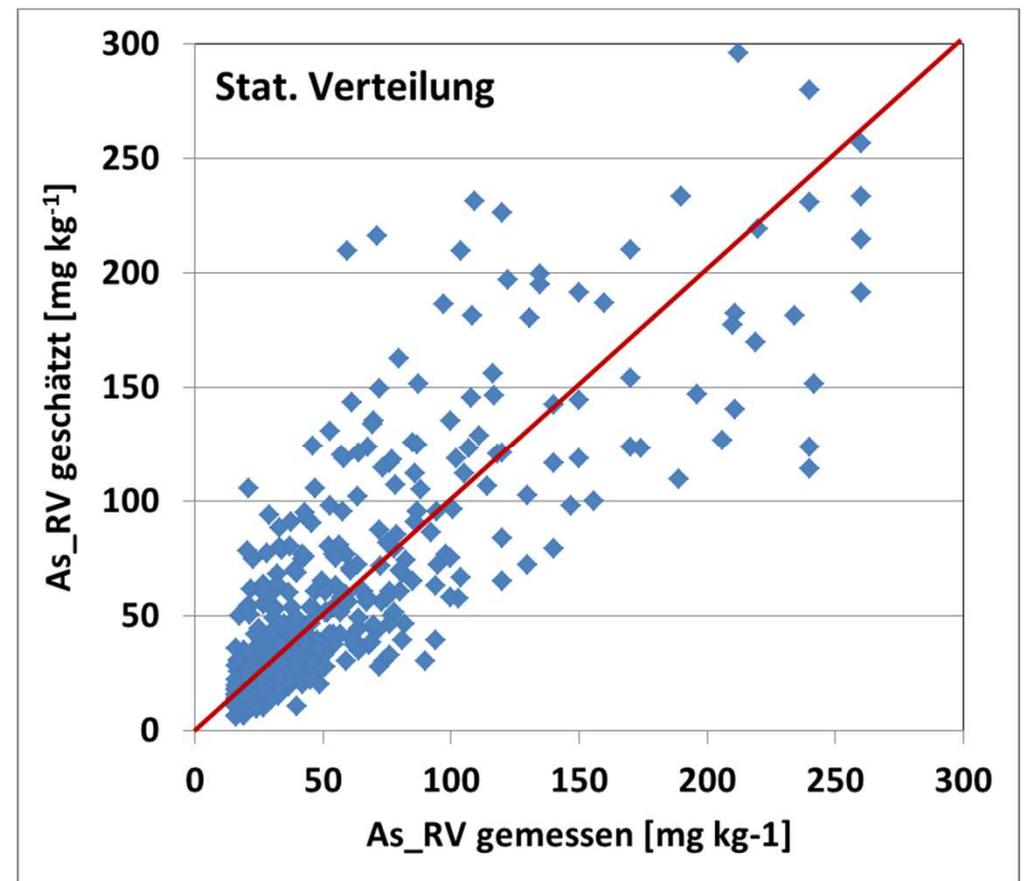
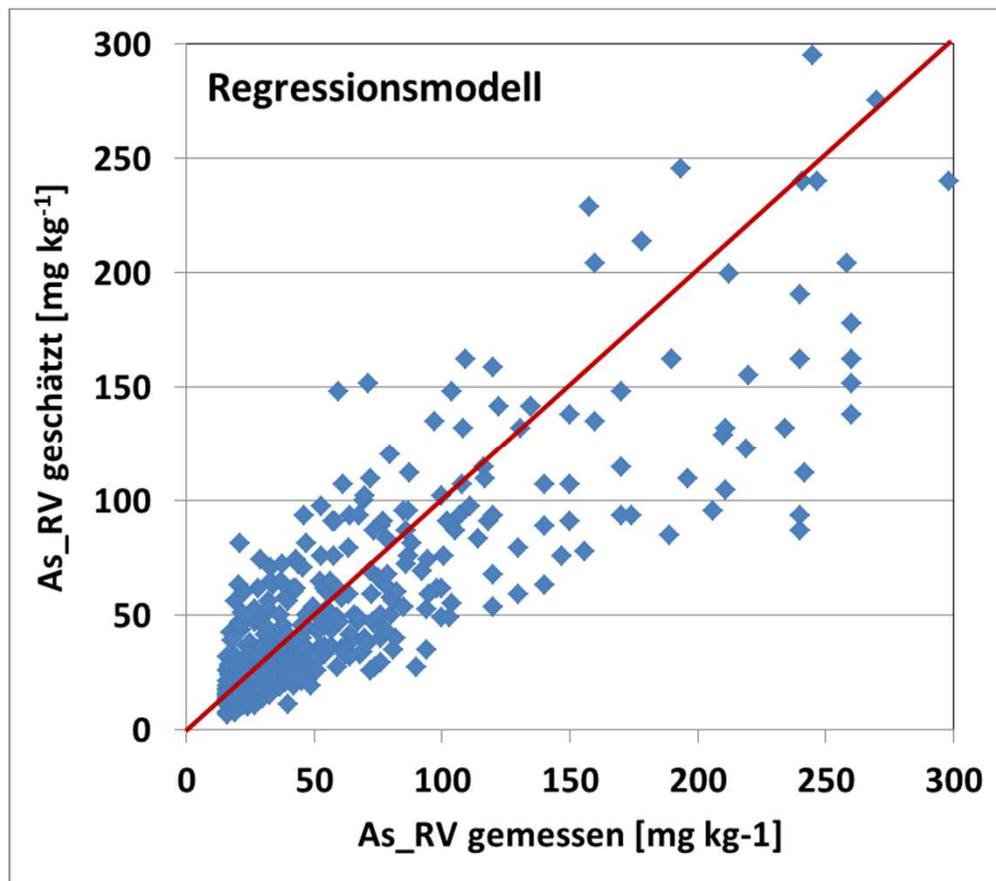
- Beispiel: Oberboden eines anthropogen weitgehend unbelasteten Spielplatzes im Erzgebirge enthält 40 mg/kg Arsen. Mit welchen RV-Gehalten ist hier zu rechnen? Lohnen sich RV-Untersuchungen?

Sicherheitsniveau	Geschätzte RV-Konzentration mg/kg	
	Stat. Verteilung	Regressionsmodell
5%	3,7	7,4
50%	9,3	9,9
95%	18,0	13,3

- RV-Analytik wird mit sehr großer Wahrscheinlichkeit (>95%) eine resorptionsverfügbare Konzentration unterhalb des Prüfwertes von 25 mg/kg ergeben.
- Diesbezügliche Gefahr ist entsprechend sehr unwahrscheinlich.

Abschätzung von RV- aus Gesamtgehalten (KW)

Modellgüte – Vergleich gemessener und geschätzter RV-Werte



→ Unsicherheit bei Verwendung im Blick behalten, kein Ersatz für RV-Analytik

Anwendung in der gebietsbezogenen Gefahrenbeurteilung

Ableitung von Beurteilungswerten für Gesamtgehalte

- Beispiel für das Kinderspielflächen-Szenario:
Ab welchen KW-Gehalten für Arsen im Oberboden wird die toxikologisch relevante Aufnahmedosis aufgrund der typischerweise zu erwartenden RV mit einem bestimmten Wahrscheinlichkeit überschritten?

Wahrscheinlichkeit	Geschätzte KW-Konzentration mg/kg	
	Stat. Verteilung	Regressionsmodell
5%	55	80
50%	108	115
95%	270	170

- Unterhalb von 55 mg/kg ist eine Gefährdung sehr unwahrscheinlich, oberhalb von 270 mg/kg hingegen sehr wahrscheinlich
- Ausrichtung von Maßnahmen an der Wahrscheinlichkeit

Anwendung in der gebietsbezogenen Gefahrenbeurteilung

Bodenplanungsgebiet Raum Freiberg, Verordnung Abschnitt 3, § 7 und § 8

Teilfläche	Gefahrenverdacht	Maßnahmen
< BW5	ausgeräumt	keine
BW5-50	nicht vollständig ausgeräumt	Stufe 1 oder einfache U
BW50-90	hinreichend bestätigt	Stufe 2 oder Stufe 1 nach einfacher U
> BW90	abschließend bestätigt	Stufe 2 oder gutachterliche DU

Einfache U: Einfache Untersuchungen / Erhebungen zur Expositionsbeurteilung: Bodenbedeckung, tatsächliche Nutzung, -subnutzung, Aufenthaltsdauer und Zugänglichkeit, erfolgte Sanierung/Sicherung

Stufe 1: geschlossene, dichte, langlebige Vegetation, Gehölze mit ausreichender Schicht Rindenmulch

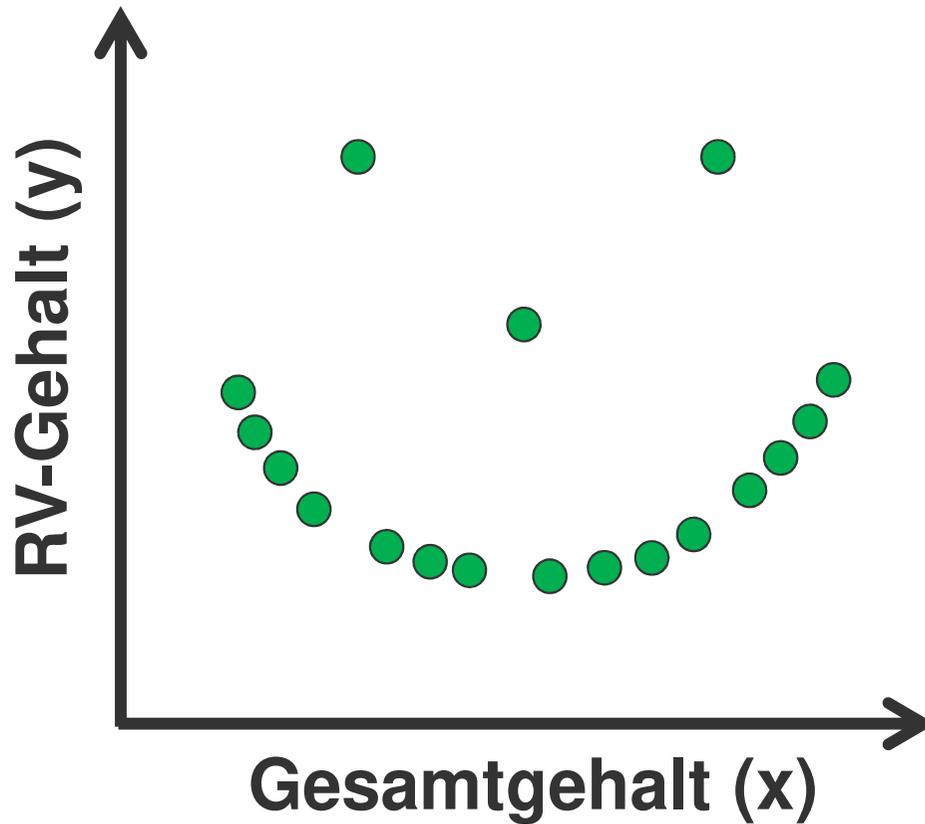
Stufe 2: Bodenaustausch, Bodenüberdeckung, Versiegelung

Bei Unzumutbarkeit: Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen

Beurteilung der Zumutbarkeit und der Ergebnisse von Untersuchungen: UBB

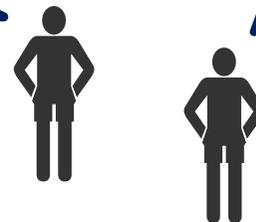
Schlussfolgerungen

- Das DIN-Verfahren 19738 ist insgesamt recht verlässlich und zeigt sich bei höheren, toxikologisch relevanten Gehalten analytisch sogar noch stabiler.
- Beide Ansätze, Auswertung über die Datenverteilung oder Regressionsmodelle, lassen sich für die Abschätzung von RV-Werten oder zur Ableitung von Beurteilungswerten anwenden – unter Berücksichtigung der statistischen Aussagesicherheit und den Modellgrenzen für sehr hohe Konzentrationen.
- Das LfULG wird in 2019 ein Tabellenwerk bereitstellen, um für die typischen Fälle großflächiger Belastungen mit Arsen, Cadmium und Blei eine erste Abschätzung der zu erwartenden Resorptionsverfügbarkeit zu ermöglichen:
 - kein Ersatz für RV-Analytik im Einzelfall
 - Entscheidungshilfe, ob Analytik überhaupt sinnvoll
 - ein stark vom Schätzwert abweichendes Analyseergebnis kann auf spezifische/untypische Belastungsursachen oder Bindungsformen hinweisen
- Sofern regionale Unterschiede auftreten, sollten diese für die Ableitung von gebietsbezogenen Beurteilungswerten berücksichtigt werden.



Hm, es scheint eine nicht-lineare Beziehung zu sein, mit Ausreißern und Extremwerten...

Ich weiß nicht warum, aber ich bin mit den Ergebnissen irgendwie sehr zufrieden...



Danke für die Aufmerksamkeit!

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft
und Geologie
Ref. 42 - Boden, Altlasten
Halsbrücker Str. 31 a
D-09599 Freiberg

Kontakt:

Dr. Ingo Müller
ingo.mueller@smul.sachsen.de



Bodenexkursion im Kindergarten