

Milser Straße 37
33729 Bielefeld
Tel.: (0521) 977 10-0
Fax.: (0521) 977 10-20
info@ifua.de

Projekttitel:

**Detailuntersuchung im Mechernich-Kaller
Bleibelastungsgebiet**

**Bebauungsplangebiete
„Auf der Donnermaar“ und „Kommern Süd“**

- Abschlussbericht -

Auftraggeber:

Stadt Mechernich
Bergstraße 1
53894 Mechernich

Bearbeitung:

Petra Günther (Dipl.-Biol.)
Gerald Krüger (Dipl.-Geoökol.)
Monika Machtolf (Dipl. Oec. troph.)
Dr. Dietmar Barkowski (Dipl.-Chem.)

Projekt-Nr.:

P 219010

Datum:

Februar 2020

Gesellschafter:

- Dr. Dietmar Barkowski (Dipl.-Chem.)
von der Industrie- und Handelskammer Ostwestfalen zu Bielefeld öffentlich bestellter und vereidigter
Sachverständiger für Gefährdungsabschätzung für die Wirkungspfade Boden-Gewässer und Boden-
Mensch sowie Sanierung (Bodenschutz und Altlasten, Sachgebiete 2, 4 und 5)

- Michael Bleier (Dipl.-Ing.)

- Petra Günther (Dipl.-Biol.)
von der Industrie- und Handelskammer Ostwestfalen zu Bielefeld öffentlich bestellte und vereidigte Sach-
verständige für Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Pflanze/Vorsorge zur Begrenzung
von Stoffeinträgen in den Boden und beim Auf- und Einbringen von Materialien sowie für Gefährdungsab-
schätzung für den Wirkungspfad Boden-Mensch (Bodenschutz und Altlasten, Sachgebiete 3 und 4)

Wirtschaftsmediatorin (IHK)

- Monika Machtolf (Dipl. Oec. troph.)

Inhaltsverzeichnis

1.	Veranlassung und Hintergrund	1
2.	Bewertungsgrundlagen	2
2.1.	Wirkungspfad Boden-Mensch	2
2.2.	Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze	7
3.	Untersuchungskonzept	8
4.	Probennahme	10
5.	Analytik	11
6.	Auswertung der Ergebnisse	12
6.1.	Ergebnisse der orientierenden Untersuchung	12
6.1.1.	Teilfläche T1	13
6.1.2.	Teilfläche T2	14
6.1.3.	Teilfläche T6	15
6.1.4.	Teilfläche T7	17
6.2.	Ergebnisse der Detailuntersuchung	19
6.3.	Zusammenhangsanalysen zur Resorptionsverfügbarkeit	24
6.3.1.	Zusammenhangsanalysen „Auf der Donnermaar“	26
6.3.2.	Zusammenhangsanalysen „Kommern Süd“	27
6.4.	Zusammenhang Gesamtgehalte, pflanzenverfügbare Gehalte und pH-Wert	29
7.	Bewertung der Untersuchungsergebnisse	32
7.1.	Bebauungsplangebiet „Auf der Donnermaar“ (T1 + T2)	32
7.2.	Bebauungsplangebiet „Kommern Süd“ (T6 + T7)	33
8.	Fazit und Empfehlungen	37

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Prüfwerte der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Mensch [mg/kg TM] _____	5
Tabelle 2:	Beurteilungswerte für resorptionsverfügbares Blei für den Wirkungspfad Boden-Mensch [mg/kg TM] _____	6
Tabelle 3:	Beurteilungswerte der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze [mg/kg TM] _____	7
Tabelle 4:	Übersicht zu den Teilflächen (Größe und Parzellierung) _____	8
Tabelle 5:	Übersicht zu den im Rahmen der Orientierungsuntersuchung untersuchten Parametern _____	11
Tabelle 6:	Zusammenfassende Statistik zur Analytik der Teilflächen T1 – T7 _____	12
Tabelle 7:	Zusammenfassende Statistik zur Analytik der Teilfläche T1 _____	13
Tabelle 8:	Zusammenfassende Statistik zur Analytik der Teilfläche T2 _____	15
Tabelle 9:	Zusammenfassende Statistik zur Analytik der Teilfläche T6 _____	16
Tabelle 10:	Zusammenfassende Statistik zur Analytik der Teilfläche T7 _____	18
Tabelle 11:	Zusammenfassende Statistik zur Analytik der Blei-Resorptionsverfügbarkeit auf den Teilflächen T1 - T7 _____	19
Tabelle 12:	Zusammenfassende Statistik zur Analytik der Blei-Resorptionsverfügbarkeit auf den Teilflächen T1 und T2 „Auf der Donnermaar“ (ohne Ausreißer T1-01-1) _____	21
Tabelle 13:	Zusammenfassende Statistik zur Analytik der Blei-Resorptionsverfügbarkeit auf den Teilflächen T6 und T7 „Kommern Süd“ _____	22
Tabelle 14:	Abschätzung der resorptionsverfügbaren Bleigehalte mit Hilfe unterschiedlicher Modelle _____	29
Tabelle 15:	Übersicht zu den berechneten pflanzenverfügbaren Gehalten [mg/kg] _____	31
Tabelle 16:	Zusammenfassende Statistik zur Bleibelastung im Bebauungsplangebiet „Auf der Donnermaar“ (Tiefe 0-35 cm); ohne T1-01 _____	32
Tabelle 17:	Zusammenfassende Statistik zur Bleibelastung im Bebauungsplangebiet „Kommern Süd“ (Tiefe 0-35 cm) _____	34
Tabelle 18:	Zuordnung von Gemüsearten zu spezifischen Anreicherungsklassen für den systemischen Pfad für Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel, Quecksilber und Zink (aus LANUV 2014) _____	36

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1:	Vergleichende Darstellung der ermittelten Blei-Gesamtgehalte (n=40) _____	20
Abbildung 2:	Darstellung des Zusammenhanges zwischen Blei-Gesamtgehalten und resorptionsverfügbaren Gehalten im Boden (n = 39) Modell 1: Lineare Regression _____	24
Abbildung 3:	Darstellung des Zusammenhanges zwischen Blei-Gesamtgehalten und resorptionsverfügbaren Gehalten im Boden (n = 39) Modell 2: Konfidenzschranken _____	25
Abbildung 4:	Darstellung des Zusammenhanges zwischen Blei-Gesamtgehalten und resorptionsverfügbaren Gehalten im Boden (n=20; T1 + T2, „Auf der Donnermaar“) _____	27
Abbildung 5:	Darstellung des Zusammenhanges zwischen Blei-Gesamtgehalten und resorptionsverfügbaren Gehalten im Boden (n=19; T6 und T7, „Kommern Süd“) _____	28

Verzeichnis der Anlagen

- Anlage 1: Übersichtskarte
- Anlage 2: Dokumentation Probennahme
- 2.1: Probennahmeprotokolle T1
 - 2.2: Probennahmeprotokolle T2
 - 2.3: Probennahmeprotokolle T6
 - 2.4: Probennahmeprotokolle T7
 - 2.5: Fotodokumentation
- Anlage 3: Analytik
- 3.1: Prüfberichte Labor zur Orientierungsuntersuchung (Eurofins)
 - 3.2: Prüfberichte Labor zur Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit (Eurofins)
 - 3.3: Übersichtstabellen
 - 3.3.1: Orientierungsuntersuchung
 - 3.3.2: Resorptionsverfügbarkeitsuntersuchungen Blei
 - 3.3.3: Qualitätskriterien zu den Untersuchungen der Resorptionsverfügbarkeit
 - 3.4: Regressionsgleichungen zur Berechnung der pflanzenverfügbaren Gehalte
- Anlage 4: Auswertekarten
- 4.1: Blei-Gesamtgehalte 0-35 cm Tiefe „Auf der Donnermaar“ (T1 und T2)
 - 4.2: Blei-Gesamtgehalte 0-35 cm Tiefe „Kommern Süd“ (T6 und T7)
 - 4.3: Blei-Gesamtgehalte 35 -60 cm Tiefe „Auf der Donnermaar“ (T1 und T2)
 - 4.4: Blei-Gesamtgehalte 35 -60 cm Tiefe „Kommern Süd“ (T6 und T7)
 - 4.5: Resorptionsverfügbares Blei 0-35 cm Tiefe „Auf der Donnermaar“ (T1 und T2)
 - 4.6: Resorptionsverfügbares Blei 0-35 cm Tiefe „Kommern Süd“ (T6 und T7)
- Anlage 5: Statistik
- 5.1. Vergleich der Gesamtgehalte Blei
 - 5.2. Vergleich der Teilflächen und Bauplanungsgebiete

1. Veranlassung und Hintergrund

Im Mechernich-Kaller Bleibelastungsgebiet liegen natürlich bedingt erhöhte Gehalte an Schwermetallen vor, wobei insbesondere Blei zu nennen ist. Hiervon betroffen sind auch Flächen im Bereich von Bebauungsplangebieten, so dass die Frage im Raum steht, ob hier die baugesetzlich geforderten gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse unter Beachtung des "Altlastenerlasses" vom 14.03.2005 attestiert werden können oder nicht.

Im Rahmen von Orientierungs- und Detailuntersuchungen gemäß den Anforderungen und Methoden des aktuellen Bodenschutzrechtes war dieser Problematik fundiert nachzugehen. Ziel ist eine klare Aussage zur Bewertung der zur Bebauung anstehenden Flächen mit Blick auf die bodenschutz- und baurechtlichen Anforderungen.

Des Weiteren war durch gebietsbezogene statistische Auswertungen zu prüfen, ob gegebenenfalls die Korrelationen zwischen Gesamtgehalten und resorptionsverfügbaren Gehalten ausreichend eng und belastbar sind, dass für künftige Untersuchungen aus einem ermittelten Gesamtgehalt auf den korrespondierenden verfügbaren Gehalt geschlossen werden kann.

Mit Schreiben vom 11.01.2019 beauftragte die Stadt Mechernich die IFUA-Projekt-GmbH, Bielefeld, mit der Durchführung der Untersuchungen.

Der vorliegende Abschlussbericht bezieht sich auf die Bebauungsplangebiete „Auf der Donnermaar“ und „Kommern Süd“ und umfasst neben der kurzen Darstellung der hier relevanten Bewertungsgrundlagen das Untersuchungskonzept, die Probennahme, die Analytik im Rahmen der Orientierungs- und Detailuntersuchung sowie die Auswertung der ermittelten Gehalte. Der Bericht wird komplettiert durch ein kurzes Fazit und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen.

2. Bewertungsgrundlagen

Im Folgenden werden die Eckpunkte für die Bewertung der ermittelten Untersuchungsergebnisse in der gebotenen Kürze zusammengefasst, wobei eine Nutzung der Fläche als Wohn- und / oder Mischgebiet unterstellt wird.

2.1. Wirkungspfad Boden-Mensch

Für die Bewertung der Daten im Zuge der **Orientierungsuntersuchung** (Bestimmung der Gesamtgehalte in der Fraktion < 2 mm) wird von folgenden Prämissen ausgegangen:

1. Den baugesetzlichen Anforderungen zufolge sind im Bereich von Bebauungsplangebieten gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse zu attestieren, was gemäß Erlass des Landes NRW vom 14.03.2005 mit der sicheren Einhaltung der Prüfwerte der BBodSchV aus dem Jahre 1999 zu belegen ist. Allerdings eröffnet der Erlass bei Überschreitung von Prüfwerten auch die Möglichkeit der weitergehenden Sachverhaltsermittlung an Hand der Methoden der BBodSchV.
2. Insbesondere für Gebiete mit großflächigen Belastungen, wie in Mechernich, können hierzu gebietsbezogene Expositionsabschätzungen durchgeführt werden, mit dem Ziel zu prüfen, inwieweit gebietsbezogene typische Bodeneigenschaften die Mobilität und Verfügbarkeit von Blei beeinflussen und inwieweit Siedlungsstrukturen die Prägung des Gebietes bestimmen oder Witterungseinflüsse eine gebietstypische Nutzung in Mechernich erwarten lassen, die von den Standardannahmen insbesondere für das Spielverhalten von Kindern abweichen.
3. Im Ergebnis wurde so ein Gesamtkonzept begründet und verabschiedet¹, das sowohl gebietsbezogene Beurteilungswerte für die Planung als auch für die Gefahrenabwehr in bestehender Wohnbebauung bereitstellt (vgl. IFUA 2020)². Den daraus resultierenden vorsorgeorientierten Anforder-

¹ vgl. Ergebnisvermerk zur Besprechung über die Bleibelastung in Mechernich, Kreis Euskirchen vom 16.01.2020 im MULNV / IV-4, Az. IV-4-543 vom 17.01.2020

² IFUA-Projekt-GmbH (2020): Beurteilungswerte Blei für gestufte Maßnahmen in Mechernich. Abschlussbericht vom 27.02.2020, im Auftrag der Stadt Mechernich

derungen für Planungsvorhaben kommt das Konzept mit Hilfe der Verknüpfung aller (sehr) wenig wahrscheinlichen Expositionsannahmen zum Kinderspiel in Hausgärten nach.

4. Unter Hausgarten werden dabei wohnbaulich genutzten Flächen verstanden, auf denen sowohl intensive Kinderspielaktivitäten als auch ein relevanter Anbau von Nahrungspflanzen bei den gebietstypischen Rahmenbedingungen stattfinden können.
5. Basierend auf Erkenntnissen zur Siedlungsstruktur sowie bedingt durch Witterungseinflüsse wurde schließlich für Blei ein gebietsbezogener Beurteilungswert für Hausgärten in der Planung (gBW_{P-RV}) in Höhe von 170 mg/kg Blei resorptionsverfügbar abgeleitet.
6. Sollen andere Nutzungen, wie Kinderspielflächen, Park- und Freizeitanlagen oder Industrie- und Gewerbegrundstücke geplant werden, sind diese in der orientierenden Untersuchung durch Heranziehen der jeweiligen Prüfwerte der BBodSchV zu berücksichtigen.
7. Mit dem Ziel einer nachhaltigen Bewertung werden auch die Gehalte in den aus 35-60 cm Tiefe untersuchten Proben dem gebietsbezogenen Beurteilungswert gegenübergestellt. Hierdurch sollen Aussagen zur Relevanz möglicher zukünftiger Verlagerungsprozesse von aktuell tiefer liegenden Schichten in oberflächennahe Bereiche ermöglicht werden.

Werden bei der Bestimmung der Gesamtgehalte in der Phase der Orientierungsuntersuchung in Planungsvorhaben Prüfwerte überschritten, besteht im Sinne der BBodSchV § 4 Abs. 2 ein Gefahrenverdacht, der eine weitere Sachverhaltsermittlung erfordert.

In der Folge sind weitere Sachverhaltsermittlungen in der **Detailuntersuchung** zur abschließenden Gefahrenbeurteilung durchzuführen. Diese verfolgen gemäß BBodSchV § 2 insbesondere das Ziel, die mobilisierbaren Schadstoffgehalte im Boden zu messen, wobei Art und Umfang von substanzbedingten Besonderheiten zu berücksichtigen sind.

ORALE UND INHALATIVE AUFNAHME, BESTIMMUNG DER BINDUNGSFORM

In Bezug auf den Wirkungspfad Boden-Mensch und die *orale Aufnahme* von Schadstoffen steht ein Laborverfahren (DIN 19738: 2017-06) zur Verfügung, das die Verhältnisse im Magen-Darmtrakt unter Laborbedingungen mit Hilfe synthetischer Verdauungssäfte (Magensaft, Darmsaft) realitätsnah abbildet und somit die Resorptionsverfügbarkeit von Stoffen im Magen-Darm-Trakt abschätzen lässt.

Die dabei ermittelten Daten können direkt mit den Prüfwerten der BBodSchV abgeglichen werden, sofern die Ableitung auf Basis einer 100 %-igen Resorptionsverfügbarkeit beruht und die orale Aufnahme den relevanten Aufnahmepfad darstellt (z.B. Arsen und Cadmium).

Ein entsprechendes Verfahren in Hinblick auf die *inhalative Aufnahme* von Schadstoffen existiert nicht. Vielmehr werden hier die Konzentrationen der Substanzen in der Fraktion < 63 µm, als die kleinste gerade noch siebbare Fraktion gemessen. Die dabei ermittelten Gehalte werden unter Berücksichtigung der Anreicherungsfaktoren gemäß BBodSchV (5 für Anorganika und 10 für Organika) bewertet (z.B. Chrom und Nickel).

Weiterhin ist in bestimmten Fallgestaltungen zu prüfen, ob das in Gehalten oberhalb des Prüfwertes ermittelte Element in einer *Bindungsform* vorkommt, die mit Blick auf die Gefährdung der menschlichen Gesundheit von besonderer Bedeutung ist (z.B. Chrom und Quecksilber). Diese Stoffe sind im vorliegenden Fall allerdings ohne Relevanz.

Bewertungsmaßstäbe

Eine Zusammenstellung der für die Bewertung der Gesamtgehalte relevanten Beurteilungswerte der BBodSchV ist der Tabelle 1 zu entnehmen.

Anzumerken ist, dass die Prüfwerte für den *Wirkungspfad Boden-Mensch* zur Bewertung der in Bodenproben aus 0-10 cm und 10-35 cm Tiefe gemessenen Gehalte gelten (Tabelle 1).

Tabelle 1: Prüfwerte der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Mensch [mg/kg TM]

Parameter	Kinderspielfläche / Hausgarten*	Wohngebiet (Abstandsgrün)	Park- und Freizeitanlagen	Industrie- und Gewerbe- grundstücke
Arsen	25	50	125	140
Blei	200 550**	400	1.000	2.000
Cadmium	2* 10	20	50	60

* integrative Nutzung mit Kinderspiel und Nutzpflanzenanbau

** gebietsbezogener Beurteilungswert für Hausgärten in der Planung in Mechernich (s.o. IFUA 2020)

Ergibt die Analytik allgemein eine Überschreitung von Prüfwerten, gilt der Gefahrenverdacht bezüglich des mit dem Prüfwert verbundenen Szenarios (beispielsweise Kinderspielfläche) als erhärtet, und weitere Sachverhaltsermittlungen im Zuge der Detailuntersuchung werden notwendig.

Ist als Nutzung die gebietstypische Hausgartennutzung geplant, besteht bei Unterschreiten des gebietsbezogenen Beurteilungswertes für Hausgärten in der Planung kein Gefahrenverdacht; Kinderspiel ist im Hausgarten uneingeschränkt möglich. Bei Überschreiten verringert sich der Abstand zu den Beurteilungswerten für die Gefahrenabwehr bei bestehender Wohnbebauung und der Gefahrenverdacht für die betreffende Fläche steigt.

Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, ob je nach betrachtetem Schadstoff die orale oder die inhalative Aufnahme die Fixierung des Prüfwertes bedingt, und / oder ob bestimmte Bindungsformen in den Fokus der Betrachtung rücken müssen.

Im Vorgriff auf die Ausführungen in den folgenden Kapiteln sei hier bereits erwähnt, dass in den beiden Bebauungsplangebieten - wie im gesamten Untersuchungsraum - dem Element Blei die höchste Bedeutung zukommt.

Blei als Hauptbelastungsparameter

Dieses Schwermetall kann nach oraler und / oder inhalativer Aufnahme schädliche Wirkungen auf die Entwicklung der kindlichen Intelligenz ausüben. Wie ein Vergleich der beiden Aufnahmepfade zeigt, kommt der inhalativen Aufnahme eine deutlich geringere Bedeutung zu, so dass die orale Bodenaufnahme im Vergleich zur inhalativen Staubaufnahme zur sensibelsten Bewertung führt.

Neben der Berechnung von Prüfwerten für Blei mit Hilfe der Betrachtung von Bleizufuhrmengen und TRD-Werten³ wurde im Rahmen der Plausibilitätsprüfung auch der Zusammenhang zwischen Blutbleiwerten von Kindern und Bleigehalten im Boden mit Hilfe statistischer Auswertungen von flächendeckenden Daten aus Katastern zur Bodenbelastung im Rhein-Ruhrgebiet aus den 1980-er Jahren berücksichtigt. Diese Überlegung führte letztlich zu den aktuell in der BBodSchV verankerten Prüfwerten von 200 mg/kg auf Kinderspielflächen bzw. 400 mg/kg für Wohngebiete.

Aufgrund der Vorgehensweise, die Festlegung des Prüfwertes nach den Ergebnissen epidemiologischer Untersuchungen auszurichten, bei denen die Resorptionsverfügbarkeit des Elements aus der Matrix Boden implizit erfasst ist, aber nicht konkret beziffert wurde, ergibt sich, dass die in der BBodSchV definierten Prüfwerte nicht zur Bewertung resorptionsverfügbarer Bleigehalte heran zu ziehen sind. Vielmehr sind entsprechende Daten an den nach den Vorgaben der BBodSchV berechneten Prüfwerten (vor Plausibilitätsprüfung) zu messen. Dies bedeutet, dass für die Standardnutzung als Kinderspielfläche der abgeleitete Wert von 70 mg Blei (resorptionsverfügbar) pro kg Boden anzuwenden ist.

Für Hausgärten in Mechernich, für die gebietstypische Expositionsbedingungen abgeschätzt wurden, liegt ein gebietsbezogener Beurteilungswert für Hausgärten in der Planung in Höhe von 170 mg Blei (resorptionsverfügbar) pro kg Boden vor (s.o. IFUA 2020).

Tabelle 2: Beurteilungswerte für resorptionsverfügbares Blei für den Wirkungspfad Boden-Mensch [mg/kg TM]

Parameter	Hausgarten ¹	Kinderspielfläche ²	Park- und Freizeitanlage ²	Industrie- und Gewerbegrundstücke ²
Blei	170	70	360	_*
1: gebietsbezogener Beurteilungswert für Hausgärten in der Planung 2: Beurteilungswerte für Standardszenarios nach BBodSchV * für Industrie- und Gewerbeflächen ist der inhalative Aufnahmepfad beurteilungsrelevant				

Werden die genannten Werte unterschritten, kann der zunächst bestehende Gefahrenverdacht für das jeweilige Nutzungsszenario abschließend als ausgeräumt angesehen werden. Bei Überschreiten der Beurteilungswerte sind hier im Zuge

³ TRD: humantoxikologisch tolerable resorbierte Körperdosis in µg/kg KG und Tag

der geplanten Bebauung vorsorgeorientierte Maßnahmen zur Reduktion einer möglichen Bleiexposition zu ergreifen.

2.2. Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze

Hinsichtlich des *Wirkungspfades Boden-Nutzpflanze* beziehen sich die Prüf- bzw. Maßnahmenwerte auf Gehalte in Proben, die aus 0-30 und 30-60 cm Tiefe gewonnen wurden. Für die in 30-60 cm Tiefe gemessenen Konzentrationen gelten die 1,5-fachen Beurteilungsmaßstäbe (Tabelle 3).

Eine Überschreitung von Maßnahmenwerten führt unmittelbar zu einem Handlungsbedarf. Weitergehende Sachverhaltsermittlungen bei Überschreiten eines Prüfwertes (z.B. Untersuchung von Aufwuchsproben) sind im Kontext der Bewertung der wohnbaulichen Erschließung der Fläche nicht zielführend.

Allerdings kann über die Einstellung des pH-Wertes das Ausmaß der Pflanzenverfügbarkeit gesteuert werden.

Tabelle 3: Beurteilungswerte der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze [mg/kg TM]

Parameter	Prüfwert*	Maßnahmenwert*	Maßnahmenwert (Grünland)**
Arsen	200*** 50****		50
Cadmium		0,04 0,1**	20
Blei	0,1		1.200

- * Methode Ammoniumnitratextrakt; für die Tiefe 35-60 cm gilt der 1,5-fache Beurteilungswert
** auf Flächen mit Brotweizenanbau oder den Anbau von stark Cd-anreichernden Gemüsearten gilt der Wert von 0,04 mg/kg; ansonsten der Wert von 0,1 mg/kg
*** Methode: Königswasseraufschluss
**** bei Böden mit zeitweise reduzierenden Verhältnissen

3. Untersuchungskonzept

Gegenstand der Untersuchung sind die Bebauungsplangebiete „Auf der Donnermaar“ und „Kommern Süd“ innerhalb der Stadt Mechernich (vgl. Anlage 1). Beide Gebiete wurden dazu in Teilflächen unterteilt, wobei auftragsgemäß im Bebauungsgebiet „Auf der Donnermaar“ die Teilflächen T1 und T2, und im Bebauungsgebiet „Kommern Süd“ die Teilflächen T6 und T7 zu betrachten waren.

Die Teilfläche T8 im Bebauungsplangebiet „Kommern Süd“, deren Bleibelastung mit 559 mg/kg gemäß den Voruntersuchungen⁴ zwischen der der Teilflächen T6 (562 mg/kg) und T7 (488 mg/kg) lag, war dahingegen auftragsgemäß nicht zu berücksichtigen.

Ziel der Untersuchungskampagne war es einerseits, die Variabilität der Bodenbelastung innerhalb der Teilflächen zu erfassen. Andererseits musste eine genügend große Stichprobe erhalten werden, um statistische Auswertungen vornehmen zu können.

Während eine Parzellierung der Teilflächen T6 und T7 bereits vorlag, wurden die Teilflächen T1 und T2 im Rahmen der Messnetzplanung zunächst in einzelne Parzellen aufgeteilt, die sich in Form (Rechtecke) und Größe (jeweils ca. 400-600 m²) an denen von T6 und T7 orientierten. Letztlich wurde etwa jede zweite Parzelle beprobt.

Die räumliche Lage der Parzellen und die Auswahl der zu beprobenden Flächen gehen aus Anlage 4 hervor. Im Vorfeld der Probennahme erfolgte die Abstimmung der Messnetzplanung mit der Stadt Mechernich und der Unteren Boden-schutzbehörde des Kreises Euskirchen.

Tabelle 4: Übersicht zu den Teilflächen (Größe und Parzellierung)

Bebauungsplangebiet	Teilfläche	Größe [ha]	Parzellen (n)	untersuchte Parzellen (n)
Auf der Donnermaar	T1	ca. 1,1	20	10
Auf der Donnermaar	T2	ca. 1,4	23	11
Kommern Süd	T6	ca. 1,5	21	11
Kommern Süd	T7	ca. 1,4	20	9

⁴ Mitteilung von Herrn Dittmann, Stadt Mechernich, anlässlich der Besprechung am 11.12.2018.

Mit Blick auf die zu bewertenden Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze-Mensch und einer bislang ackerbaulichen Nutzung war davon auszugehen, dass der Boden homogen durchmischt vorliegt und somit eine Beprobung der Tiefen 0-35 cm und 35-60 cm fachlich angeraten ist. Die Proben wurden als parzellen- und tiefenbezogene Mischproben gemäß Anhang 1 Absatz 2 BBodSchV durch Entnahme von jeweils 15-25 Einzelproben gewonnen.

Die laboranalytischen Untersuchungen entsprechend den methodischen Vorgaben der BBodSchV Anhang 1 Absatz 3. Das Parameterprogramm umfasste in Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch zunächst die Gesamtgehalte an Arsen, Blei und Cadmium.

Zur Bewertung des Wirkungspfades Boden-Nutzpflanze wurden die pflanzenverfügbaren Gehalte an Blei und Cadmium im Ammonium-Nitrat-Extrakt nach DIN 19730 sowie der pH-Wert gemessen.

4. Probennahme

Die Probennahme erfolgte im Zeitraum vom 7. - 15. Februar 2019 durch die IFUA-Projekt-GmbH (Dipl. Geol. Jean Sebastian Marpmann und Dipl.- Umweltwiss. Dominik Rzeha), wobei die Ansprache der Bodenproben nach KA 5 (Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage) vorgenommen wurde.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die IFUA-Projekt-GmbH nach § 18 BBodSchG / § 17 LBodSchG als anerkannte Untersuchungsstelle für die Gewinnung dieser Proben (P2) notifiziert ist.

Zum Zeitpunkt der Probennahme wurden die Teilflächen T1 und T2 vorwiegend ackerbaulich genutzt, z.T. liegen Bereiche brach. Auf den Teilflächen T6 und T7 wurde Grünland angetroffen.

Die Protokolle der Probennahme sind den Anlagen 2.1 bis 2.4 zu entnehmen. Anlage 2.5 beinhaltet die Fotodokumentation.

5. Analytik

Die Analytik erfolgte durch die Eurofins Umwelt West GmbH in Wesseling auf die in der folgenden Tabelle aufgelisteten Parameter.

Tabelle 5: Übersicht zu den im Rahmen der Orientierungsuntersuchung untersuchten Parametern

Bezeichnung	Einheit	BG	Methode
Fraktion < 2 mm	%	0,1	DIN ISO 11464: 2006-12
Fraktion > 2 mm	%	0,1	DIN ISO 11464: 2006-12
Physikalisch-chemische Kenngrößen aus der Originalsubstanz			
Trockenmasse	Ma.-%	0,1	DIN EN 14346: 2007-03
Physikalisch-chemische Kenngrößen aus der Originalsubstanz (Fraktion < 2 mm)			
pH in CaCl ₂			DIN ISO 10390
Elemente aus dem Königswasseraufschluss nach DIN ISO 11466 (Fraktion < 2 mm)			
Arsen (As)	mg/kg TS	0,8	DIN EN ISO 17294-2: 2005-02
Blei (Pb)	mg/kg TS	2	DIN EN ISO 17294-2: 2005-02
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	0,2	DIN EN ISO 17294-2: 2005-02
Elemente aus dem Ammoniumnitratextrakt (Fraktion < 2 mm)			
Blei (Pb)	mg/kg TS	0,025	DIN EN ISO 17294-2: 2005-02
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	0,0025	DIN EN ISO 17294-2: 2005-02

Die Details zur Analytik im Rahmen der Orientierungsuntersuchung sind den Prüfberichten des Labors in der Anlage 3.1 zu entnehmen⁵.

Im Vorgriff auf die folgenden Ausführungen sei hier bereits darauf hingewiesen, dass bezüglich des Schwermetalls Blei aufgrund von Prüfwertüberschreitungen Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit nach DIN 19738:2017-06 durchgeführt wurden. Diese Detailuntersuchungen wurden nach Abstimmung mit der Stadt Mechernich für die Teilflächen T1, T2, T6 und T7 (insgesamt 39 Proben aus der Tiefe 0-35 cm mit Bleigehalten über 200 mg/kg) bei der Eurofins Umwelt West GmbH in Wesseling veranlasst⁶.

Die Prüfberichte zur Bestimmung der Resorptionsverfügbarkeit finden sich in Anlage 3.2.

⁵ Da weitergehende Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit vorgesehen waren, werden die Prüfberichte laborseitig als „Vorberichte“ bezeichnet.

⁶ Aufgrund von Kapazitätsengpässen kam es im Labor zu deutlichen Verzögerungen in der Bearbeitung. Der Prüfbericht der zuletzt analysierten Probe nach DIN 19738 (i.e. T2-07-1) stammt vom 17.07.2019.

6. Auswertung der Ergebnisse

Im nachfolgenden Kapitel 6.1 sind zunächst die ermittelten Gehalte an Arsen, Blei und Cadmium für die einzelnen Teilflächen T1, T2, T6 und T7 getrennt dargestellt. Die räumliche Verteilung der Belastung für den Hauptbelastungsparameter Blei geht aus den Karten in Anlage 4 hervor.

Daran anschließend werden die Ergebnisse der Detailuntersuchung aufgeführt (Kapitel 6.2) und bewertet (Kapitel 6.3).

6.1. Ergebnisse der orientierenden Untersuchung

Im Bereich der Teilflächen T1 bis T7 wurden insgesamt 41 Parzellen, jeweils für die Tiefenstufen 0-35 cm und 35-60 cm beprobt und analysiert.

Tabelle 6: Zusammenfassende Statistik zur Analytik der Teilflächen T1 – T7

T1-T7	pH	Arsen	Blei	Cadmium	Blei-AN	Cadmium-AN
		in mg/kg				
Gültige Fälle	82	82	82	82	82	82
Mittelwert	6,37	8,8	522	0,33	0,215	0,0113
Median	6,60	7,8	293	0,30	0,071	0,0035
Standardabweichung	0,94	6,2	615	0,22	0,346	0,0160
Minimum	4,30	2,7	15	0,10	0,013	0,0013
Maximum	8,00	53,5	4.340	1,00	1,740	0,0709
Unteres Quartil	5,70	5,0	129	0,10	0,013	0,0013
Oberes Quartil	7,00	11,2	714	0,50	0,237	0,0160
Interquartile Bereich	1,30	6,2	585	0,40	0,225	0,0148

fett: Überschreitung Prüf- bzw. Maßnahmenwert in Hinblick auf sensible Nutzungen

Beim Abgleich der Daten mit den Prüf- und Maßnahmenwerten fällt insbesondere das Schwermetall Blei auf, da hier die Gesamtgehalte und die pflanzenverfügbaren Gehalte im Mittel die Prüfwerte der BBodSchV – zumindest in Hinblick auf eine sensible Nutzung wie Kinderspiel – überschreiten.

Das Schwermetall Blei ist insgesamt als Hauptbelastungsparameter einzustufen. Arsen ist hingegen nur auf einer Parzelle von Bedeutung (s.u.). Cadmium ist in Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch ohne Relevanz, während dies für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze nicht zutrifft.

Anlage 3.3.1 enthält die Übersichtstabelle zur Analytik im Rahmen der Orientierungsuntersuchung inkl. einer Einstufung der gemessenen Gehalte in Hinblick auf

die angewandten Beurteilungswerte für die hier betrachteten Wirkungspfade Boden-Mensch sowie Boden-Nutzpflanze-Mensch (vgl. Tabellen 1 und 3 in Kapitel 2).

6.1.1. Teilfläche T1

Im Bereich der Teilfläche T1 wurden insgesamt 10 Parzellen beprobt. Die Belastung im Oberboden (0-35 cm) liegt mit 1.107 mg/kg (arithmetischer Mittelwert) im Mittel deutlich über den Prüfwerten für Kinderspielflächen sowie genauso auch über dem gebietsbezogenen Beurteilungswert für Hausgärten in der Planung $gBW_{p-Gesamt}$ von 550 mg/kg (s.o.). Gleiches gilt mit 803 mg/kg auch für den Median.

Im Vergleich zum Oberboden geht die Belastung in der Tiefe 35-60 cm zwar in der Regel merklich zurück, liegt aber im Mittel immer noch über dem oben genannten, für die Tiefe 0-35 cm definierten Prüfwert. Im Fall der Parzellen T1-02 und T1-06 weist der untere Horizont gegenüber dem oberen Horizont allerdings die jeweils höhere Bleibelastung auf (vgl. Anlage 3.3.1).

Tabelle 7: Zusammenfassende Statistik zur Analytik der Teilfläche T1

T1 x 0-35 cm	pH	Arsen	Blei	Cadmium	Blei-AN	Cadmium-AN
		in mg/kg				
Gültige Fälle	10	10	10	10	10	10
Mittelwert	6,58	15,5	1.107	0,67	0,109	0,0020
Median	6,60	11,5	803	0,60	0,071	0,0013
Standardabweichung	0,18	13,4	1.150	0,17	0,164	0,0014
Minimum	6,30	10,1	439	0,50	0,013	0,0013
Maximum	6,80	53,5	4.340	1,00	0,561	0,0054
Unteres Quartil	6,50	10,2	577	0,60	0,013	0,0013
Oberes Quartil	6,70	12,4	949	0,80	0,102	0,0028
Interquartile Bereich	0,20	2,2	372	0,20	0,090	0,0016
T1 x 35-60 cm						
Gültige Fälle	10	10	10	10	10	10
Mittelwert	7,14	10,1	515	0,24	0,017	0,0013
Median	7,20	10,1	477	0,20	0,013	0,0013
Standardabweichung	0,31	2,2	337	0,16	0,009	0,0000
Minimum	6,60	6,3	85	0,10	0,013	0,0013
Maximum	7,60	14,7	1.080	0,50	0,035	0,0013
Unteres Quartil	6,90	8,9	303	0,10	0,013	0,0013
Oberes Quartil	7,40	11,0	800	0,40	0,013	0,0013
Interquartile Bereich	0,50	2,1	497	0,30	0,000	0,0000

Die räumliche Analyse für den oberen Horizont zeigt (vgl. Anlage 4.1), dass die Belastung mit Blei – abgesehen von der deutlich höher belasteten Parzelle T1-01 – gleichmäßig über die Teilfläche verteilt ist.

Insgesamt passt die Parzelle T1-01 nicht zum Belastungsmuster der übrigen untersuchten Parzellen der Teilfläche T1 (und auch Teilfläche T2). So liegen die Gehalte an Blei im oberen Horizont der Parzelle T1-01 mit 4.340 mg/kg deutlich über den Gehalten der anderen im Bereich von T1 untersuchten Parzellen im oberen Horizont (439 mg/kg bis 985 mg/kg). Auch die festgestellte hohe Belastung mit Arsen von 53,5 mg/kg (Überschreitung des Prüfwertes für das Szenario Wohngebiete) findet sich in keiner Probe der anderen Parzellen mit gemessenen Gehalten an Arsen zwischen 10,1 und 12,5 mg/kg. Auffallend im Fall der Parzelle T1-01 ist zudem die drastische Abnahme der Gehalte von der oberen zur unteren beprobten Schicht (4.350 mg/kg gegenüber 303 mg/kg). Ein derartiger Gradient tritt auf den anderen untersuchten Parzellen der Teilfläche T1 (und Teilfläche T2) nicht auf.

Es ist zu vermuten, dass im Bereich der Parzelle T1-01 Material abgelagert wurde, das auf den übrigen beprobten Parzellen der Teilfläche T1 (und Teilfläche T2) so nicht zu finden ist.

In Hinblick auf den Wirkungspfad-Boden-Nutzpflanze zeigen die Daten für zwei der zehn Parzellen (i.e. T1-01 und T1-03) eine Überschreitung des Prüfwertes für pflanzenverfügbares Blei von 0,1 mg/kg. Betroffen ist davon lediglich die obere Schicht. In den unteren Schichten wird der genannte Prüfwert (vgl. Tabelle 3) in keinem Fall überschritten (vgl. Anlage 3.3.1).

6.1.2. Teilfläche T2

Im Bereich der Teilfläche T2 wurden insgesamt 11 Parzellen beprobt. Wiederum liegt die Belastung im Oberboden (0-35 cm) mit 1.059 mg/kg (arithmetischer Mittelwert) im Mittel deutlich über den Prüfwerten für sowie auch über dem gebietsbezogenen Beurteilungswert für Hausgärten in der Planung $gBW_{p-Gesamt}$ von 550 mg/kg (s.o.). Dies gilt auch für den Median (1.160 mg/kg).

Im Vergleich zum Oberboden geht die Belastung für die Tiefenstufe 35-60 cm in der Regel zwar merklich zurück, liegt aber im Mittel immer noch über den oben

genannten, für die Tiefe 0-35 cm definierten Beurteilungswerten. Im Fall der Parzellen T2-08, T2-09 und T2-10 weist der untere Horizont gegenüber dem oberen Horizont allerdings die jeweils höhere Bleibelastung auf (vgl. Anlage 3.3.1).

In Bezug auf den oberen Horizont zeigt ein Blick in die Karte (Anlage 4.1), dass die Belastung in der südlichen Hälfte der Teilfläche höher ausfällt. Gleiches gilt im Übrigen auch für die untere Schicht (35-60 cm Tiefe; vgl. Anlage 4.3).

Tabelle 8: Zusammenfassende Statistik zur Analytik der Teilfläche T2

T2 x 0-35 cm	pH	Arsen	Blei	Cadmium	Blei-AN	Cadmium-AN
		in mg/kg				
Gültige Fälle	11	11	11	11	11	11
Mittelwert	7,15	12,5	1.059	0,55	0,147	0,0043
Median	7,00	12,2	1.160	0,60	0,127	0,0039
Standardabweichung	0,34	1,5	397	0,14	0,099	0,0021
Minimum	6,70	10,3	480	0,30	0,013	0,0013
Maximum	7,60	15,7	1.740	0,80	0,342	0,0075
Unteres Quartil	6,90	11,9	701	0,40	0,069	0,0033
Oberes Quartil	7,50	13,3	1.250	0,60	0,223	0,0065
Interquartile Bereich	0,60	1,4	549	0,20	0,154	0,0032
T2 x 35-60 cm						
Gültige Fälle	11	11	11	11	11	11
Mittelwert	7,32	10,5	705	0,15	0,214	0,0017
Median	7,10	10,7	508	0,10	0,057	0,0013
Standardabweichung	0,38	4,3	634	0,08	0,508	0,0009
Minimum	6,90	3,5	15	0,10	0,013	0,0013
Maximum	8,00	18,6	1.850	0,30	1,740	0,0038
Unteres Quartil	7,00	9,7	296	0,10	0,044	0,0013
Oberes Quartil	7,60	11,5	1.460	0,20	0,090	0,0025
Interquartile Bereich	0,60	1,8	1.164	0,10	0,046	0,0013

In Hinblick auf den Wirkungspfad-Boden-Nutzpflanze zeigen die Daten aus der Tiefe 0-35 cm in der Mehrzahl (sieben von 11) eine Überschreitung des Prüfwertes für pflanzenverfügbares Blei von 0,1 mg/kg. Wird die untere Entnahmetiefe betrachtet, gilt dies lediglich für die zwei Parzellen T2-09 und T2-10, wobei im letzteren Fall der pflanzenverfügbare Gehalt mit 1,74 mg/kg den 1,5-fachen Prüfwert um mehr als das 10-fache überschreitet (s. Anlage 3.3.1).

6.1.3. Teilfläche T6

Im Bereich der Teilfläche T6 wurden insgesamt 11 Parzellen beprobt. Die Gehalte im Oberboden (0-35 cm) liegen mit 247 mg/kg (arithmetischer Mittelwert) im Mittel über dem Prüfwert für das Nutzungsszenario Kinderspielfläche von 200 mg/kg.

Gleiches gilt für den Median (243 mg/kg). Der gebietsbezogenen Beurteilungswert für Hausgärten in der Planung gBW_{P-Gesamt} von 550 mg/kg wird nicht erreicht.

Im Vergleich zum Oberboden gehen die gemessenen Konzentrationen in der unteren Schicht (35-60 cm) in der Regel merklich zurück und liegen im Mittel unterhalb des Prüfwertes für Kinderspielflächen. Eine Ausnahme stellt Parzelle T6-01 dar. Hier wurde in der Probe aus 35-60 cm der höhere Bleigehalt ermittelt (vgl. Anlage 3.3.1).

Ein Blick in die Karte (Anlage 4.2) zeigt, dass die Gehalte an Blei in 0-35 cm Tiefe relativ gleichmäßig über die Fläche verteilt sind. Lediglich eine Parzelle (T6-10) im äußersten Nord-Osten der Teilfläche weist eine Konzentration < 200 mg/kg auf.

Tabelle 9: Zusammenfassende Statistik zur Analytik der Teilfläche T6

T6 × 0-35 cm	pH	Arsen	Blei	Cadmium	Blei-AN	Cadmium-AN
		in mg/kg				
Gültige Fälle	11	11	11	11	11	11
Mittelwert	5,82	5,3	247	0,38	0,344	0,0229
Median	5,70	5,1	243	0,40	0,280	0,0208
Standardabweichung	0,71	0,6	32	0,06	0,349	0,0172
Minimum	4,80	4,4	173	0,30	0,013	0,0013
Maximum	7,00	6,3	289	0,50	0,969	0,0501
Unteres Quartil	5,10	5,0	240	0,30	0,061	0,0062
Oberes Quartil	6,40	5,9	267	0,40	0,612	0,0414
Interquartile Bereich	1,30	0,9	27	0,10	0,551	0,0352
T6 × 35-60 cm						
Gültige Fälle	11	11	11	11	11	11
Mittelwert	5,82	4,6	143	0,16	0,280	0,0167
Median	6,00	4,5	96	0,10	0,051	0,0063
Standardabweichung	0,87	1,3	139	0,11	0,501	0,0219
Minimum	4,30	2,9	47	0,10	0,013	0,0013
Maximum	7,10	7,8	542	0,40	1,620	0,0709
Unteres Quartil	5,20	4,2	74	0,10	0,013	0,0029
Oberes Quartil	6,50	4,7	136	0,30	0,237	0,0169
Interquartile Bereich	1,30	0,5	62	0,20	0,225	0,0140

Der Prüfwert für pflanzenverfügbares Blei von 0,1 mg/kg wird in der oberen beprobten Schicht auf sieben der insgesamt 11 auf dieser Teilfläche beprobten Parzellen überschritten. Für die untere Schicht gilt dies für fünf Parzellen, wobei in einem Fall der pflanzenverfügbare Gehalt mit 1,62 mg/kg den 1,5-fachen Prüfwert um mehr als das 10-fache überschreitet (vgl. Anlage 3.3.1).

Weiterhin wird der untere Maßnahmenwert von 0,04 mg/kg für pflanzenverfügbares Cadmium in Bezug auf den Anbau stark Cd-anreichernder Nutzpflanzen im Oberboden (0-35 cm Tiefe) auf drei Parzellen überschritten; im Unterboden trifft dies für zwei Parzellen zu (s. Anlage 3.3.1). Eine Überschreitung des oberen Maßnahmenwertes für pflanzenverfügbares Cadmium von 0,1 mg/kg tritt dahingegen nicht auf.

Auf keiner der 11 beprobten Parzellen ist eine Überschreitung des Maßnahmenwertes für Blei von 1.200 mg/kg in Hinblick auf eine Grünlandnutzung festzustellen.

6.1.4. Teilfläche T7

Im Bereich der Teilfläche T7 wurden insgesamt neun Parzellen beprobt. Die Gehalte an Blei im Oberboden (0-35 cm) liegen mit 262 mg/kg (arithmetischer Mittelwert) im Mittel über dem Prüfwert für das Nutzungsszenario Kinderspielfläche von 200 mg/kg, was auch in Bezug auf den Median (247 mg/kg) festzustellen ist. Der gebietsbezogene Beurteilungswert für Hausgärten in der Planung gBW_{P-Gesamt} von 550 mg/kg wird nicht erreicht.

Im Vergleich zum Oberboden gehen die Messwerte in der Tiefenstufe 35-60 cm in allen Fällen merklich zurück. So unterschreiten sie im Mittel den oben genannten Prüfwert, der für die Tiefe 0-35 cm definiert ist, deutlich.

Ein Blick in die Karten für die betrachteten Tiefenstufen 0-35 cm und 35-60 cm zeigt (Anlage 4.2 bzw. Anlage 4.4), dass die Bleigehalte im Boden gleichmäßig über die Fläche verteilt sind.

Tabelle 10: Zusammenfassende Statistik zur Analytik der Teilfläche T7

T7 × 0-35 cm	pH	Arsen	Blei	Cadmium	Blei-AN	Cadmium-AN
		in mg/kg				
Gültige Fälle	9	9	9	9	9	9
Mittelwert	5,44	6,6	262	0,36	0,437	0,0259
Median	5,30	6,7	247	0,40	0,232	0,0167
Standardabweichung	0,69	1,1	32	0,09	0,440	0,0208
Minimum	4,60	4,1	221	0,20	0,013	0,0013
Maximum	6,40	7,9	313	0,50	1,170	0,0578
Unteres Quartil	4,80	6,1	244	0,30	0,111	0,0125
Oberes Quartil	6,00	7,1	289	0,40	0,923	0,0469
Interquartile Bereich	1,20	1,0	45	0,10	0,812	0,0344
T7 × 35-60 cm						
Gültige Fälle	9	9	9	9	9	9
Mittelwert	5,44	4,8	61	0,12	0,175	0,0174
Median	5,10	4,5	66	0,10	0,060	0,0103
Standardabweichung	0,87	1,5	22	0,04	0,185	0,0154
Minimum	4,60	2,7	30	0,10	0,013	0,0013
Maximum	7,00	7,5	87	0,20	0,502	0,0406
Unteres Quartil	4,70	4,2	41	0,10	0,013	0,0040
Oberes Quartil	6,00	5,5	85	0,10	0,329	0,0325
Interquartile Bereich	1,30	1,3	44	0,00	0,317	0,0285

In Hinblick auf den Wirkungspfad-Boden-Nutzpflanze zeigen die Daten in der Mehrzahl der Fälle (sieben von neun) für die obere Entnahmetiefe eine Überschreitung des Prüfwertes für pflanzenverfügbares Blei von 0,1 mg/kg, wobei in einem Fall (i.e. T7-07) mit 1,17 mg/kg der Prüfwert sogar um mehr als das 10-fache überschritten wird. In den Proben aus der unteren Entnahmetiefe liegen die pflanzenverfügbaren Gehalte an Blei bei vier Parzellen über dem genannten 1,5-fachen Prüfwert (vgl. Anlage 3.3.1).

Weiterhin wird der untere Maßnahmenwert (0,04 mg/kg) für pflanzenverfügbares Cadmium in Bezug auf den Anbau stark anreichernder Nutzpflanzen im Oberboden (0-35 cm Tiefe) auf drei Parzellen überschritten. Für die untere Entnahmetiefe trifft dies für eine Parzelle zu (s. Anlage 3.3.1). Eine Überschreitung des oberen Maßnahmenwertes für pflanzenverfügbares Cadmium von 0,1 mg/kg tritt dahingegen nicht auf.

Eine Überschreitung des Maßnahmenwertes für Blei von 1.200 mg/kg in Hinblick auf eine Grünlandnutzung ist auf keiner der beprobten Parzellen festzustellen.

6.2. Ergebnisse der Detailuntersuchung

Im Bereich der Teilflächen T1 bis T7 wurden auf insgesamt 40 Parzellen die Proben der Entnahmetiefe 0-35 cm auf die Resorptionsverfügbarkeit von Blei nach DIN 19738-2017-06 untersucht. Eine Übersicht der Ergebnisse findet sich in Anlage 3.3.2.

Tabelle 11: Zusammenfassende Statistik zur Analytik der Blei-Resorptionsverfügbarkeit auf den Teilflächen T1 - T7

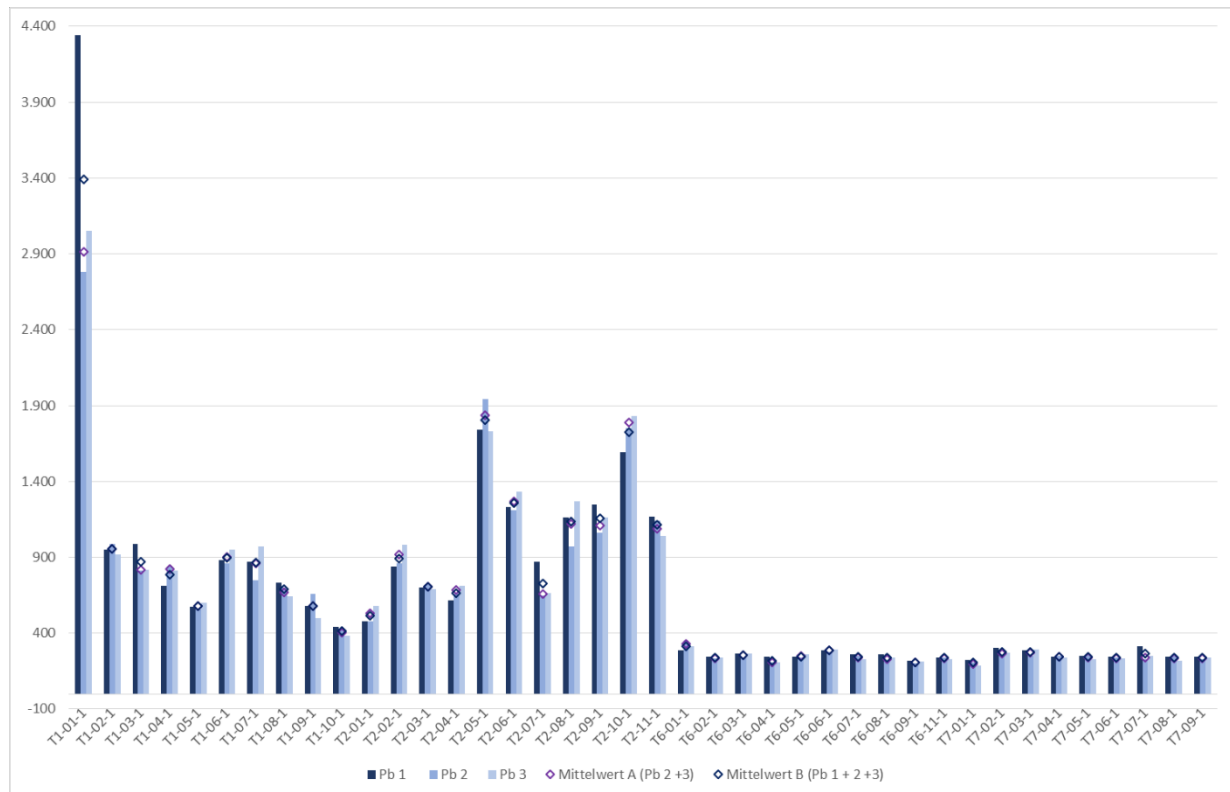
	Blei, gesamt	Blei, resorptionsverfügbar	Blei, resorptionsverfügbar	Abweichung Doppelbestimmung Pb-Ges	Abweichung Doppelbestimmung Pb-RV	Wiederfindung
	in mg/kg		in %			
Gültige Fälle	40	40	40	40	40	40
Mittelwert	647	167	24	4,6%	4,9%	97
Median	468	108	23	4,3%	3,4%	95
Standardabweichung	557	194	5	3,1%	4,6%	8
Minimum	199	39	13	0,0%	0,2%	80
Maximum	2.915	1.133	39	13,8%	27,3%	117
5.-Perzentil	206	47	17	1,0%	0,8%	85
95.-Perzentil	1.792	346	34	12,8%	11,6%	114

Die Blei-Gesamtgehalte der 40 untersuchten Proben wurden mit Hilfe von Doppelbestimmungen im Rahmen der Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit nochmals ermittelt. Sie reichen von 199 bis 2.915 mg/kg Boden.

Die resorptionsverfügbaren Bleigehalte liegen zwischen 39 und 1.133 mg/kg, im Mittel wurden 167 mg/kg nachgewiesen, der Median liegt bei 108 mg/kg. Der resorptionsverfügbare Anteil für Blei, bezogen auf den Mittelwert der Doppelbestimmung der Gesamtgehalte, reicht von 13 % bis 39 % und liegt im Mittel bei 24 %, das 95.-Perzentil beträgt 34 %.

Zur Prüfung der Datenqualität erfolgt zunächst eine Betrachtung zur Reproduzierbarkeit der Blei-Gesamtgehalte. Eine grafische Darstellung der erhobenen Daten findet sich in Abbildung 1.

Abbildung 1: Vergleichende Darstellung der ermittelten Blei-Gesamtgehalte (n=40)



Blei-Gesamtgehalte wurden zunächst im Rahmen der Orientierungsuntersuchung bestimmt (vgl. Abbildung 1; Pb 1). Im Rahmen der Resorptionsverfügbarkeitsuntersuchungen wurden des Weiteren in den ausgewählten 40 Proben Doppelbestimmungen für die Blei-Gesamtgehalte durchgeführt (vgl. Abbildung 1; Pb 2 und Pb 3).

Wie die Auswertungen zeigen, waren in den Doppelbestimmungen im Mittel Abweichungen vom Mittelwert von 4,6 % festzustellen, die ermittelten Bleigehalte aus dem ersten und zweiten Untersuchungsschritt zeigen im Mittel Abweichungen vom Mittelwert von 5,7 %, die größte Abweichung liegt in einem Fall (in Probe T1-01-1 mit dem höchsten Bleigehalt) bei 28 %.

Ein Paarvergleichstest für abhängige Stichproben hat für die Bleigehalte des ersten Untersuchungsschrittes (Pb 1) und dem Mittelwert der Doppelbestimmung des zweiten Untersuchungsschrittes (Mittelwert A) keine signifikanten Unterschiede ergeben (vgl. Anlage 5.1). Damit sind die Bleigehalte als gut reproduzierbar einzuschätzen.

Aufgrund der hohen Abweichungen in der Wiederholungsmessung in der Probe T1-01-1 sowie der hohen Blei-Gesamtgehalte (vgl. Abbildung 1) wird diese Probe allerdings für die weiteren Zusammenhangsanalysen als Ausreißer betrachtet und nicht weiter berücksichtigt (vgl. hierzu auch Anlage 5.1).

Gemäß DIN 19738:2017-06 sind die resorptionsverfügbaren Gehalte ebenfalls durch Doppelbestimmungen zu ermitteln. Die Abweichung der Doppelbestimmung liegt im Mittel bei 4,8 %, im Maximum bei 27 %; in drei Einzelfällen übersteigen die Abweichungen 10 % (vgl. Anlage 3.3.3). Von einer Nachbestimmung in den drei Proben wurde abgesehen. Vielmehr wird im Rahmen der weiteren Auswertungen deren Verwertbarkeit geprüft (vgl. Kapitel 6.3).

Die Bilanzierung zwischen Gesamtgehalt und der Summe aus verfügbarem und nicht verfügbarem Gehalt, die nach DIN 19738 als Plausibilitätsprüfung und Qualitätssicherung für das labortechnische Verfahren vorgesehen ist, ergibt Werte zwischen 80 % und 117 % (im Mittel 97 %). Damit werden die nach DIN 19738 tolerierbaren 20 % Abweichung in keiner Probe überschritten.

Insgesamt können die Daten zur Resorptionsverfügbarkeit als plausibel eingeschätzt werden, so dass weitere Datenauswertungen und Zusammenhangsanalysen für den Datenpool als zulässig erscheinen.

Die Ergebnisse der einzelnen Teilflächen lassen sich tabellarisch wie folgt zusammenfassen:

Tabelle 12: Zusammenfassende Statistik zur Analytik der Blei-Resorptionsverfügbarkeit auf den Teilflächen T1 und T2 „Auf der Donnermaar“ (ohne Ausreißer T1-01-1)

	T1			T2		
	Blei, gesamt	Blei, resorptionsverfügbar		Blei, gesamt	Blei, resorptionsverfügbar	
	[mg/kg]	[mg/kg]	[%]	[mg/kg]	[mg/kg]	[%]
Gültige Fälle	9	9	9	11	11	11
Mittelwert	733	161	22	1.065	276	26
Median	815	144	23	1.090	292	26
Standardabweichung	173	45	4	417	131	5
Minimum	405	106	13	530	137	18
Maximum	955	237	27	1835	624	35
5.-Perzentil	475	108	16	593	139	19
95.-Perzentil	935	236	27	1813	478	33

Tabelle 13: Zusammenfassende Statistik zur Analytik der Blei-Resorptionsverfügbarkeit auf den Teilflächen T6 und T7 „Kommern Süd“

	T6			T7		
	Blei, gesamt	Blei, resorptionsverfügbar		Blei, gesamt	Blei, resorptionsverfügbar	
	[mg/kg]	[mg/kg]	[%]	[mg/kg]	[mg/kg]	[%]
Gültige Fälle	10	10	10	9	9	9
Mittelwert	247	60	25	241	50	21
Median	238	58	23	240	50	20
Standardabweichung	35	9	4	20	7	3
Minimum	205	48	21	199	39	16
Maximum	331	81	34	273	61	26
5.-Perzentil	205	51	21	213	41	17
95.-Perzentil	310	77	32	270	60	26

Im Bebauungsplangebiet „Auf der Donnermaar“ überschreiten 12 der 20 untersuchten Proben den gebietsbezogenen Beurteilungswert für Hausgärten in der Planung gBW_{P-RV} für resorptionsverfügbares Blei in Höhe von 170 mg/kg. Auf den übrigen acht Teilflächen wird zwar der Beurteilungswert für das Standardszenario "Kinderspielflächen" überschritten, der gBW_{P-RV} für Hausgärten wird jedoch nicht erreicht. Eine kartografische Darstellung dazu findet sich in Anlage 4.5.

Aus den statistischen Auswertungen geht hervor, dass sich die beiden Teilflächen T1 und T2 (ohne Ausreißer) zwar in den ermittelten Blei-Gesamtgehalten sowie in den ermittelten resorptionsverfügbaren Bleigehalten signifikant unterscheiden. Die festgestellten resorptionsverfügbaren Anteile an Blei unterscheiden sich jedoch nicht signifikant (vgl. Anlage 5.2.) Für weitere vertiefende Auswertungen werden daher die Teilflächen T1 und T2 gemeinsam betrachtet.

Im Bebauungsplangebiet „Kommern Süd“ wird in keiner der 19 untersuchten Proben der gebietsbezogene Beurteilungswert für Hausgärten in der Planung gBW_{P-RV} für resorptionsverfügbares Blei in Höhe von 170 mg/kg erreicht. Auf zwei Flächen wird der Beurteilungswert für die Standardnutzung "Kinderspielflächen" überschritten. Eine kartografische Darstellung dazu findet sich in Anlage 4.6.

Statistische Auswertungen (vgl. Anlage 5.2) zeigen, dass sich zwar bei zweiseitigem t-Test die resorptionsverfügbaren Bleigehalte für die Teilflächen T6 und T7 signifikant unterscheiden. Dieser Trend schwächt sich jedoch in Hinblick auf die resorptionsverfügbaren Anteile ab. Diese Unschärfe wird vermutlich durch die geringen Gehalte (unterhalb des Beurteilungswertes) bedingt und muss im Folgen-

den weiter beachtet werden. Da die Blei-Gesamtgehalte jedoch keine signifikanten Unterschiede zeigen, werden die Teilflächen T6 und T7 für vertiefende Auswertungen gemeinsam betrachtet.

Eine Überprüfung der Unterschiede zwischen den beiden Bebauungsplangebieten „Auf der Donnermaar“ und „Kommern Süd“ hat signifikante Unterschiede zwischen den Blei-Gesamtgehalten und den resorptionsverfügbaren Bleigehalten ergeben. Hier spiegeln sich die unterschiedlich hohen Konzentrationsniveaus der beiden Gebiete wider.

Da sich die resorptionsverfügbaren Anteile zwischen den Proben der beiden Bebauungsplangebiete nicht signifikant unterscheiden (vgl. Anlage 5.2), werden nachfolgend die Zusammenhangsanalysen zunächst mit dem gesamten Datenpool, ohne Ausreißer, (n=39) durchgeführt, bevor vertiefende Auswertungen für die beiden Gebiete getrennt erfolgen.

6.3. Zusammenhangsanalysen zur Resorptionsverfügbarkeit

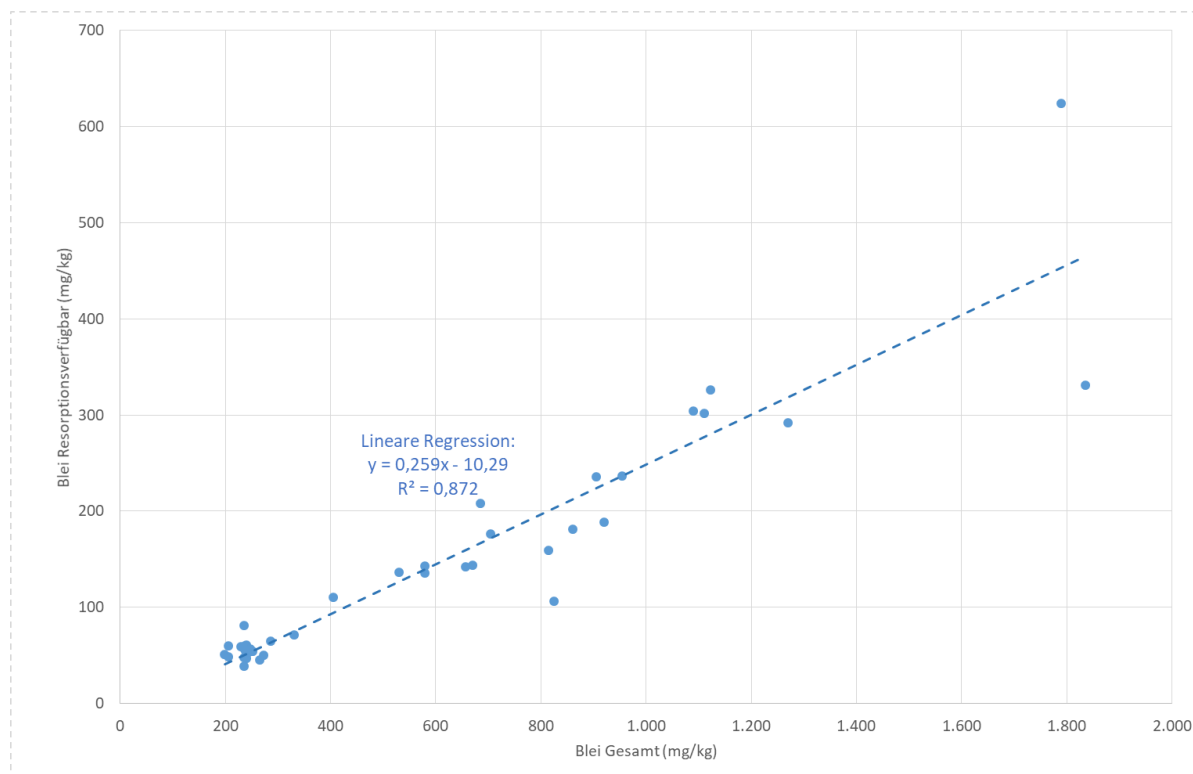
In Abhängigkeit von den Bodenbedingungen und den Ursachen für das Vorkommen von Bleibelastungen im Boden kann die Resorptionsverfügbarkeit unterschiedlich hoch sein. In der Regel findet sich jedoch ein enger Zusammenhang zwischen den Blei-Gesamtgehalten sowie den resorptionsverfügbaren Bleigehalten. Diese Annahme wird auch im vorliegenden Fall bestätigt. Nachfolgend werden drei Varianten zur Modellierung des Zusammenhangs erörtert.

MODELL 1 (DUNKELBLAU) – LINEARE REGRESSION:

In der Auswertung der vorliegenden Daten der ausgewählten 39 Proben zeigt sich ein enger Zusammenhang ($R^2 = 0,87$) zwischen den Blei-Gesamtgehalten und den resorptionsverfügbaren Bleigehalten (vgl. Abbildung 2). Mit Hilfe der linearen Regression lässt sich folgender Zusammenhang feststellen:

$$\text{Blei}_{\text{resorptionsverfügbar}} = 0,259 * \text{Blei}_{\text{Gesamt}} - 10,29 \quad (R^2 = 0,87)$$

Abbildung 2: Darstellung des Zusammenhanges zwischen Blei-Gesamtgehalten und resorptionsverfügbaren Gehalten im Boden (n = 39) – Modell 1: Lineare Regression

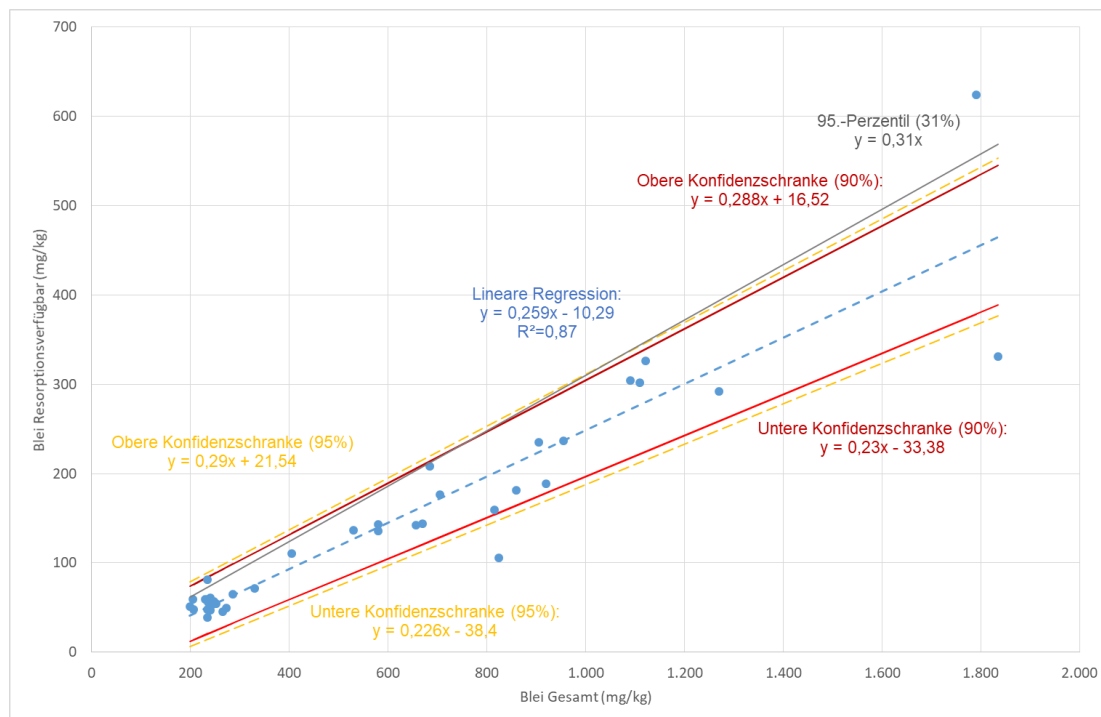


Um mögliche Einflüsse durch Messunsicherheiten auszuschließen, wurden vergleichende Auswertungen ohne die drei Proben mit Abweichungen > 10% in der Doppelbestimmung durchgeführt. Es zeigten sich jedoch nur marginale Unterschiede im Ergebnis, so dass im weiteren Verlauf die ausgewählte Stichprobe (n = 39) betrachtet wird.

MODELL 2 (ROT) – LINEARE REGRESSION: KONFIDENZSCHRANKEN:

Um die Wahrscheinlichkeit der Aussagesicherheit zu erhöhen, können dafür Betrachtungen der Konfidenzintervalle hinzugezogen werden (vgl. Abbildung 3). Hierfür wurde der Zusammenhang für die Stichprobe aus allen ausgewählten Proben der Teilflächen T1, T2, T6 und T7 ermittelt.

Abbildung 3: Darstellung des Zusammenhanges zwischen Blei-Gesamtgehalten und resorptionsverfügbaren Gehalten im Boden (n = 39) – Modell 2: Konfidenzschranken



Die Betrachtung des 90% Konfidenzniveaus bedeutet, dass (mindestens) 90% aller auf Grundlage von gemessenen Daten berechneten Konfidenzintervalle den wahren Wert der zu untersuchenden Population beinhalten.

Die obere Konfidenzschranke (90%) berechnet sich für die hier ausgewertete Stichprobe (n = 39) wie folgt:

$$\text{Blei}_{\text{resorptionsverfügbar}} = 0,288 * \text{Blei}_{\text{Gesamt}} + 16,52 \text{ (obere Konfidenzschranke 90\%)}$$

Vergleichend wurden auch die Konfidenzschranken (95%) betrachtet (vgl. Abbildung 3). Da sich jedoch kaum Unterschiede in der Aussagesicherheit für die oberen Konfidenzschranken zeigen, werden nachfolgend die weiteren Betrachtungen mit dem 90%-Konfidenzintervall durchgeführt.

MODELL 3 (GRAU) – 95.-PERZENTIL:

Generell können zur Modellierung der resorptionsverfügbaren Gehalte auch die ermittelten resorptionsverfügbaren Anteile herangezogen werden. Um die Wahrscheinlichkeit für die Unterschätzung der Voraussage zu minimieren, wird häufig der ungünstige Fall angenommen und das 95. Perzentil herangezogen. Für die hier ausgewertete Stichprobe (ohne Ausreißer) lag das 95.-Perzentil der Resorptionsverfügbarkeit bei 31%, das 50.-Perzentil lag bei 23%.

Nachfolgend werden die Ergebnisse möglicher Modellierungen für die beiden Bebauungsplangebiete (farblich gekennzeichnet) getrennt dargestellt.

6.3.1. Zusammenhangsanalysen „Auf der Donnermaar“

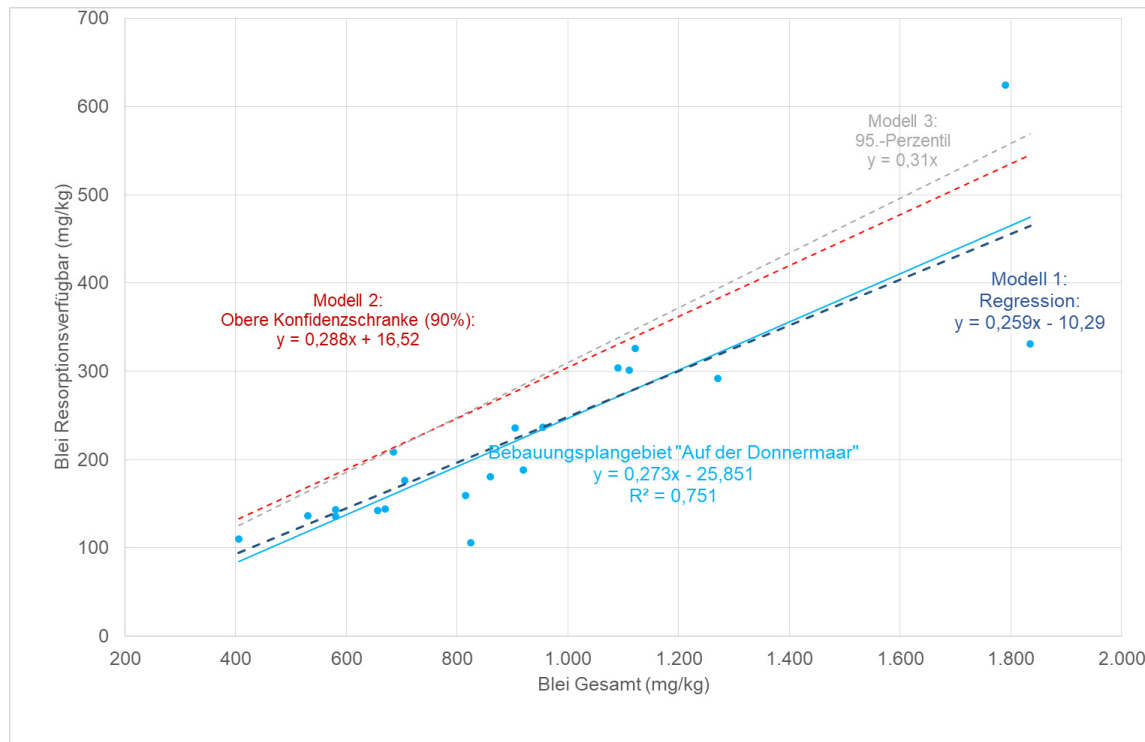
Abbildung 4 veranschaulicht die Zusammenhänge für das Bebauungsplangebiet „Auf der Donnermaar“. Wie aus den Auswertungen und der Abbildung hervorgeht, decken die untersuchten Proben aus T1 und T2 eine vergleichsweise große Wertespanne von 400 bis annähernd 1.900 mg Blei-Gesamtgehalt (Messwerte hellblau) ab.

Der Zusammenhang zwischen Blei-Gesamtgehalten und resorptionsverfügbaren Bleigehalten für diese Stichprobe (n = 20) ist vergleichsweise hoch ($R^2 = 0,75$).

Würden die resorptionsverfügbaren Bleigehalte aus den gemessenen Bleigesamtgehalten modelliert, ergäbe sich für das Modell 1 (dunkelblau) mit Hilfe der linearen Regression für zehn Proben eine Unterschätzung der Bleibelastung.

Sowohl Modell 3 (grau) mit Hilfe des 95.-Perzentils der Resorptionsverfügbarkeit als auch Modell 2 (rot) mit Hilfe der oberen Konfidenzschranke der Regression (90%) liefert für eine Probe eine Unterschätzung (vgl. Abbildung 4).

Abbildung 4: Darstellung des Zusammenhanges zwischen Blei-Gesamtgehalten und resorptionsverfügbaren Gehalten im Boden (n=20; T1 + T2, „Auf der Donnermaar“)

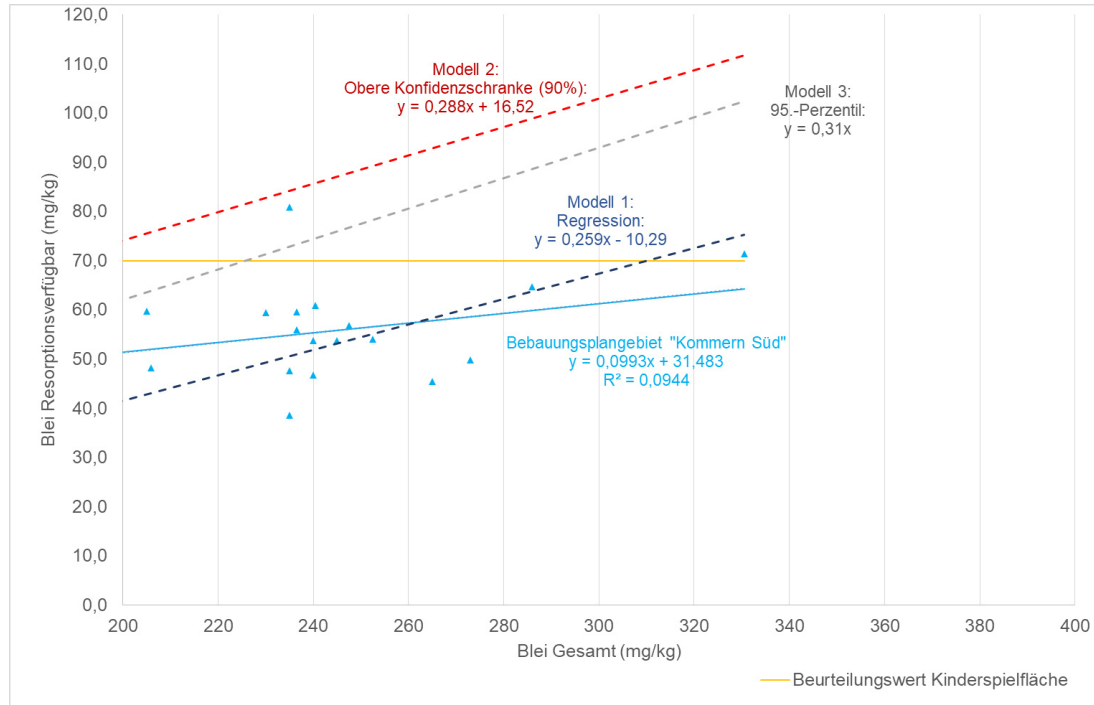


6.3.2. Zusammenhangsanalysen „Kommern Süd“

Für das Bebauungsplangebiet „Kommern Süd“ stellt sich die Situation etwas anders dar (Messwerte in hellblau dargestellt). Die Blei-Gesamtgehalte liegen hier in einem deutlich niedrigeren Bereich von 200 bis 350 mg/kg. Aus Abbildung 5 wird auch ersichtlich, dass der Zusammenhang zwischen den Blei-Gesamtgehalten und den resorptionsverfügbaren Bleigehalten in diesem Wertebereich gering ist ($R^2=0,094$). Dies wurde bereits bei den statistischen Auswertungen (s.o.) deutlich.

Sollen in diesem Wertebereich resorptionsverfügbare Gehalte modellhaft abgeschätzt werden, führt die Anwendung von Modell 1 (dunkelblau) mit Hilfe der linearen Regression zu einer Unterschätzung von 12 der 19 Proben. Die Modelle 2 (rot) und 3 (grau) unterschätzen keine bzw. eine Probe.

Abbildung 5: Darstellung des Zusammenhanges zwischen Blei-Gesamtgehalten und resorptionsverfügbaren Gehalten im Boden (n=19; T6 und T7, „Kommern Süd“)



Zusammenfassend lässt sich schließen, dass Modell 1 mit der Betrachtung der einfachen linearen Regression die resorptionsverfügbaren Gehalte insbesondere im Wertebereich zwischen 200 und 400 mg/kg nicht belastbar abschätzen lässt.

Die Modelle 2 (obere Konfidenzschranke der linearen Regression (90 %)) und 3 (95.-Perzentil der Resorptionsverfügbarkeit) liefern gute Ergebnisse, wobei Modell 3 nur eine Unterschätzung liefert. Modell 2 lässt dagegen im unteren Wertebereich eher Überschätzungen erwarten, da auf Prüfwertniveau für Kinderspielflächen (200 mg/kg Blei) bereits resorptionsverfügbare Gehalte von über 70 mg/kg abgeschätzt werden. Folglich ist Modell 3 für den Wertebereich von 200 bis 400 mg/kg Blei als plausibel und belastbar anzusehen.

Für die Abschätzung der Resorptionsverfügbarkeit folgt daraus, dass je nach gewähltem Modell folgende resorptionsverfügbaren Bleigehalte aus Blei-Gesamtgehalten abgeschätzt werden können (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 14: Abschätzung der resorptionsverfügbaren Bleigehalte mit Hilfe unterschiedlicher Modelle

Blei-Gesamtgehalte			Modellierte resorptionsverfügbare Bleigehalte
Modell 1 Regression	Modell 2 Obere Konfidenz- schränke (90%)	Modell 3: 95.-Perzentil RV%	
310	(186)*	226	70
600	446	468	145
1.430	1.193	1.161	360

*) nicht plausibel mit Prüfwertvorgaben

Angaben in mg/kg

Die auf diese Weise ermittelten Gesamtgehalte können Orientierung geben zur Ableitung von standortspezifischen Beurteilungswerten für gemessene Blei-Gesamtgehalte.

Zusammenfassend scheint Modell 3 mit Hilfe der Betrachtung des 95.-Perzentils der Resorptionsverfügbarkeit belastbare und auseichend wahrscheinliche Ergebnisse zur Abschätzung der Resorptionsverfügbarkeit von Blei im Untersuchungsgebiet liefern zu können, vorausgesetzt, es liegen vergleichbare Belastungsursachen sowie ähnliche Bedingungen im Boden vor.

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Flächen bzw. Untersuchungsgebiete sollte daher immer durch Stichproben abgesichert werden.

6.4. Zusammenhang Gesamtgehalte, pflanzenverfügbare Gehalte und pH-Wert

Sofern in einem Untersuchungsgebiet Daten über Gesamtgehalte und Gehalte im Ammoniumnitratextrakt sowie pH-Werte vorliegen, besteht die Möglichkeit - unter Berücksichtigung fachlicher und statistischer Anforderungen - gebietsbezogene Regressionsmodelle abzuleiten, die dann zur Abschätzung pflanzenverfügbarer Stoffgehalte herangezogen werden können. Weiterhin bieten diese Modelle die Möglichkeit abzuschätzen, welchen Einfluss eine Erhöhung bzw. Erniedrigung des pH-Wertes auf die pflanzenverfügbaren Stoffgehalte hat.

Die Formel zur Berechnung der pflanzenverfügbaren Gehalte besitzt dabei folgende allgemeine Form:

$$\log C_{B-AN} = \alpha \log C_{B-KW} - \beta \text{ pH-Wert} + \gamma$$

mit:

C_{B-AN} : Stoffkonzentration im Boden, gemessen im Ammoniumnitratextrakt [mg/kg]

C_{B-KW} : Stoffkonzentration im Boden, gemessen im Königswasser-Extrakt [mg/kg]

Mithilfe der Regressionsanalyse wurde für die beiden Bebauungsplangebiete jeweils eine Gleichung für die pflanzenverfügbaren Gehalte an Blei und Cadmium berechnet (vgl. Anlage 3.4). Ein Maß für die Güte der Regression stellt dabei das Bestimmtheitsmaß R^2 dar. Es beschreibt den Anteil der unabhängigen Variablen (hier Gesamtgehalt und pH-Wert) an der Varianz der abhängigen Variablen (hier pflanzenverfügbarer Gehalt).

Für das Bebauungsplangebiet „Auf der Donnermaar“ ergeben sich die folgenden beiden Gleichungen:

- $\log Cd_{AN} = 0,4294 * \log Cd_{KW} + 0,0617 * \text{pH} - 2,9365$ (mit $R^2 = 0,27$)
- $\log Pb_{AN} = 0,7582 * \log Pb_{KW} - 0,0186 * \text{pH} - 3,2668$ (mit $R^2 = 0,40$)

Für das Bebauungsplangebiet „Kommern Süd“ lauten die Gleichungen wie folgt:

- $\log Cd_{AN} = 0,3533 * \log Cd_{KW} - 0,5911 * \text{pH} + 1,6350$ (mit $R^2 = 0,66$)
- $\log Pb_{AN} = 0,5412 * \log Pb_{KW} - 0,7299 * \text{pH} + 2,0311$ (mit $R^2 = 0,72$)

Zum Vergleich werden die für das Land NRW abgeleiteten Regressionsgleichungen genannt (aus LANUV 2014)⁷:

- $\log Cd_{AN} = 0,885 * \log Cd_{KW} - 0,513 * \text{pH} + 0,221$ (mit $R^2 = 0,59$)
- $\log Pb_{AN} = 0,765 * \log Pb_{KW} - 0,522 * \text{pH} + 0,5412$ (mit $R^2 = 0,45$)

⁷ LANUV (2014): Weitere Sachverhaltsermittlungen bei Überschreitung von Prüfwerten nach der BBodSchV für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze; LANUV-Arbeitsblatt 22

Insgesamt zeigt sich, dass die für das Bebauungsplangebiet „Kommern Süd“ erstellten Regressionsgleichungen im Vergleich zu denjenigen für das Bebauungsplangebiet „Auf der Donnermaar“ eine deutlich bessere Abschätzung der pflanzenverfügbaren Gehalte ermöglichen. Die Güte liegt sogar etwas über der der landesweiten Gleichungen.

Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht zu den pflanzenverfügbaren Gehalten an Blei bzw. Cadmium, die für verschiedene Kombinationen aus Gesamtgehalten und pH-Werten auf Basis der o.g. Regressionsgleichungen für das Bebauungsplangebiet „Kommern Süd“ berechnet wurden.

Tabelle 15: Übersicht zu den berechneten pflanzenverfügbaren Gehalten [mg/kg]

Pb_KW	pH	Pb_AN	Cd_KW	pH	Cd_AN
200	7,0	0,015	0,25	7,0	0,002
200	6,5	0,034	0,25	6,5	0,004
200	6,0	0,079	0,25	6,0	0,008
200	5,5	0,183	0,25	5,5	0,015
200	5,0	0,424	0,25	5,0	0,029
200	4,5	0,981	0,25	4,5	0,058
250	7,0	0,017	0,50	7,0	0,002
250	6,5	0,038	0,50	6,5	0,005
250	6,0	0,089	0,50	6,0	0,010
250	5,5	0,206	0,50	5,5	0,019
250	5,0	0,478	0,50	5,0	0,037
250	4,5	1,107	0,50	4,5	0,074
300	7,0	0,018	1,00	7,0	0,003
300	6,5	0,042	1,00	6,5	0,006
300	6,0	0,098	1,00	6,0	0,012
300	5,5	0,228	1,00	5,5	0,024
300	5,0	0,527	1,00	5,0	0,048
300	4,5	1,222	1,00	4,5	0,094
350	7,0	0,020	1,50	7,0	0,004
350	6,5	0,046	1,50	6,5	0,007
350	6,0	0,107	1,50	6,0	0,014
350	5,5	0,247	1,50	5,5	0,028
350	5,0	0,573	1,50	5,0	0,055
350	4,5	1,329	1,50	4,5	0,109
400	7,0	0,021	2,00	7,0	0,004
400	6,5	0,050	2,00	6,5	0,008
400	6,0	0,115	2,00	6,0	0,016
400	5,5	0,266	2,00	5,5	0,031
400	5,0	0,616	2,00	5,0	0,061
400	4,5	1,428	2,00	4,5	0,121

Überschreitung Beurteilungswert Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze

7. Bewertung der Untersuchungsergebnisse

7.1. Bebauungsplangebiet „Auf der Donnermaar“ (T1 + T2)

Im Bebauungsplangebiet „Auf der Donnermaar“ (T1 + T2) wurden als Stichprobe 21 der 43 Parzellen untersucht.

Für die nachfolgende flächenbezogene Auswertung wird die Parzelle T1-01, die durch eine besondere Belastungssituation gekennzeichnet ist (vgl. Kapitel 6.1.1), als Ausreißer ausgeklammert.

Tabelle 16: Zusammenfassende Statistik zur Bleibelastung im Bebauungsplangebiet „Auf der Donnermaar“ (Tiefe 0-35 cm); ohne T1-01

Auf der Donnermaar	Blei, gesamt* [mg/kg]	Blei, resorptionsverfügbar [mg/kg]	resorptionsverfügbarer Anteil [%]
Gültige Fälle	20	20	20
Mittelwert	919	224	24,2
Median	871	185	24,7
Standardabweichung	351	119	4,8
Minimum	439	106	12,8
Maximum	1.740	624	34,9
Unteres Quartil	659	143	21,3
Oberes Quartil	1.165	297	27,2

* gemäß Orientierungsuntersuchung

Die Bleibelastung in den untersuchten Parzellen (ohne T1-01) fällt nicht einheitlich aus. Mit Gesamtgehalten zwischen 439 mg/kg und 1.740 mg/kg weist sie eine große Spannweite auf (etwa Faktor 4).

Die untersuchten Parzellen (ohne T1-01) weisen im für den Wirkungspfad Boden-Mensch bewertungsrelevanten Oberboden (0-35 cm) insgesamt eine hohe Belastung mit Blei auf. Sie liegt mit im Mittel 919 mg/kg (Median 871 mg/kg) deutlich über dem Prüfwert für das Nutzungsszenario "Kinderspielfläche" von 200 mg/kg sowie über dem gebietsbezogenen Beurteilungswert für Hausgärten in der Planung $gBW_{P\text{-gesamt}}$ von 550 mg/kg. Die gemessenen resorptionsverfügbaren Gehalte liegen mit im Mittel 224 mg/kg (Median 185 mg/kg) auch deutlich über dem gebietsbezogenen Beurteilungswert für Hausgärten in der Planung $gBW_{P\text{-RV}}$ von 170 mg/kg.

Im Detail überschreiten die Proben aller untersuchten Parzellen den Beurteilungswert für Blei für das Standard-Nutzungsszenario Kinderspielfläche. Die Ausweitung beispielsweise eines öffentlichen Kinderspielplatzes wäre auf diesen Flächen nicht ohne Weiteres möglich.

Auf acht der untersuchten Parzellen wird der gBW_{P-RV} für Hausgärten in Höhe von 170 mg/kg unterschritten. Hier ist die Nutzung als Hausgarten gefahrlos möglich (vgl. Anlage 4.5). Auf den weiteren zwölf Parzellen, auf denen der gebietsbezogene Beurteilungswert für Hausgärten in der Planung überschritten wird, ist allenfalls eine wohnbauliche Nutzung mit Einschränkungen in Hinblick auf Kinder Spielaktivitäten denkbar, wenn nicht im Zuge der Baumaßnahmen andere Maßnahmen zur Minderung möglicher Bleiexpositionen, beispielsweise durch Bodenaustausch umgesetzt werden. Damit stellen sich die Ergebnisse für Teilbereiche des Bebauungsplangebietes „Auf der Donnermaar“ unterschiedlich dar. Eine Abgrenzung dieser Teilbereiche ist derzeit nicht möglich.

Um eine umfängliche Nutzung des gesamten Bebauungsplangebietes (einschließlich der nicht untersuchten Parzellen) in Form von Hausgärten zu ermöglichen, wären entweder flächendeckend Maßnahmen erforderlich (z.B. Bodenaustausch). In diesem Fall würde sich eine Untersuchung der noch ausstehenden Parzellen erübrigen. Da sich die Belastung der einzelnen Parzellen mit Blei jedoch zum Teil deutlich unterscheidet, also diesbezüglich nicht von über die Fläche homogenen Verhältnissen auszugehen ist, empfiehlt es sich in diesem Fall, die noch ausstehenden Teilflächen zumindest in Hinblick auf die Gesamtgehalte an Blei, sowie besser auch die resorptionsverfügbaren Bleigehalte zu untersuchen.

7.2. Bebauungsplangebiet „Kommern Süd“ (T6 + T7)

Im Bebauungsplangebiet „Kommern Süd“ (T6 + T7) wurden von 41 Parzellen 20 als Stichprobe untersucht. Die zusammenfassende Statistik der dort ermittelten Bleigehalte im für den für den Wirkungspfad Boden-Mensch relevanten Oberboden (0-35 cm) kann der folgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 17: Zusammenfassende Statistik zur Bleibelastung im Bebauungsplangebiet „Kommern Süd“ (Tiefe 0-35 cm)

Kommern Süd	Blei, gesamt*-[mg/kg]	Blei, resorptionsverfügbar [mg/kg]	resorptionsverfügbarer Anteil [%]
Gültige Fälle	20	19	19
Mittelwert	254	56	23,0
Median	247	54	22,6
Standardabweichung	32	10	4,2
Minimum	173	39	16,4
Maximum	313	81	34,4
Unteres Quartil	243	48	20,3
Oberes Quartil	277	60	25,3

* gemäß Orientierungsuntersuchung

Die untersuchten Parzellen weisen im Vergleich zum Bebauungsplangebiet „Auf der Donnermaar“ deutlich geringere Gehalte an Blei auf. Sie liegen im Mittel bei 254 mg/kg (Median 247 mg/kg).

Die ermittelten resorptionsverfügbaren Gehalte unterschreiten mit im Mittel 56 mg/kg (Median 54 mg/kg) den gebietsbezogenen Beurteilungswert für Hausgärten in der Planung gBW_{P-RV} von 170 mg/kg deutlich. Damit ist auf Grundlage der resorptionsverfügbaren Gehalte eine umfängliche Nutzung des Plangebietes im Sinne gebietstypischer Hausgärten möglich. Lediglich auf zwei Flächen wurde der Beurteilungswert für die Standardnutzung "Kinderspielflächen" überschritten, so dass auf diesen Flächen die Ausweisung beispielsweise eines öffentlichen Kinderspielplatzes nicht ohne Weiteres möglich wäre.

Da die gemessenen Bleigehalte recht einheitlich ausfallen, kann diesbezüglich von über die Fläche vergleichsweise homogenen Verhältnissen ausgegangen werden. Daher kann im Fall des Bebauungsplangebietes „Kommern Süd“ auf eine Untersuchung der noch ausstehenden Teilflächen in Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch und die Nutzung durch Hausgärten verzichtet werden.

Auf 14 der 20 untersuchten Parzellen wird der Prüfwert für Blei von 0,1 mg/kg in Bezug auf den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze im Oberboden überschritten (vgl. Anlage 3.3.1), was bedeutet, dass das hier befindliche Blei als relativ gut pflanzenverfügbar zu bewerten ist.

Dabei zeigen die Daten, dass eine Abhängigkeit vom gemessenen pH-Wert besteht (vgl. Anlage 3.3.1). In Böden mit neutraler bis schwach saurer Bodenreaktion (hier pH 6,1 bis pH 7,1) wird der genannte Prüfwert unterschritten. Die Par-

zellen mit stark sauren Böden (hier pH 4,3 bis 4,8) weisen die höchsten pflanzenverfügbaren Gehalte auf (bis maximal 1,17 mg/kg). In Böden mit mäßig saurem Milieu (hier pH-Bereich zwischen 5,0 und 6,0) liegen die pflanzenverfügbaren Gehalte zwischen 0,07 und 0,93 mg/kg.

Die pflanzenverfügbaren Gehalte an Cadmium im Oberboden überschreiten auf sechs der 20 untersuchten Parzellen den Maßnahmenwert in Hinblick auf den Anbau stark anreichernder Nutzpflanzen, wobei die Daten auch hier eine Abhängigkeit vom pH-Wert zeigen. Von Überschreitungen sind lediglich Standorte mit einem pH-Wert $\leq 5,1$ betroffen.

Bei den von Überschreitungen der Beurteilungswerte betroffenen Parzellen wären Maßnahmen bzw. Nutzungseinschränkungen notwendig, um einen Anbau von Nahrungspflanzen zu ermöglichen. Dazu zählen die Begrenzung der Anbaufläche und/oder die Beschränkung auf den Anbau gering Blei- bzw. mittel bis gering Cadmium-anreichernder Nahrungspflanzen und/oder die regelmäßige Kalkung der Standorte zur Anhebung des pH-Wertes und somit zur Verringerung der Pflanzenverfügbarkeit. Die Art der Maßnahme bzw. das Ausmaß der Nutzungseinschränkung ist dabei von der Höhe der festgestellten pflanzenverfügbaren Belastung mit Blei bzw. Cadmium abhängig. Außerdem können Präferenzen der Nutzer*innen Berücksichtigung finden.

Die folgende Tabelle 18 gibt eine Übersicht zum Anreicherungsverhalten unterschiedlicher Gemüsearten in Hinblick auf verschiedene Metalle, darunter Blei und Cadmium.

Ohne Bedeutung sind die pflanzenverfügbaren Gehalte an Blei bzw. Cadmium in Bezug auf den Anbau von Baum- und Strauchobst.

In Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze sind die bislang nicht untersuchten Parzellen des Bebauungsplangebietes „Kommern Süd“ entweder auf die Gesamtgehalte und pflanzenverfügbaren Gehalte an Blei und Cadmium sowie den pH-Wert zu untersuchen; alternativ wären Maßnahmen umzusetzen bzw. Nutzungseinschränkungen auszusprechen (z.B. wie Kontrolle und ggf. Anhebung des pH-Wertes auf $> \text{pH } 6,0$).

Tabelle 18: Zuordnung von Gemüsearten zu spezifischen Anreicherungsklassen für den systemischen Pfad für Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel, Quecksilber und Zink (aus LANUV 2014)

	Arsen / Blei / Chrom / Quecksilber	Cadmium / Zink	Nickel
Hoch	-	Spinat Sellerie Mangold Endivie Pflücksalat Feldsalat Kopfsalat	-
Mittel	Pflücksalat Spinat Endivie Feldsalat Kopfsalat Mangold Möhren Rettich Schwarzwurzel	Chinakohl Grünkohl Möhren Porree Rote Bete Schwarzwurzel Kohlrabi Radieschen Rettich Zwiebel	Buschbohne Stangenbohne Tomate Erbsen Pflücksalat Spinat Endivie Feldsalat Kopfsalat Mangold Möhren Rettich Schwarzwurzel
Niedrig	Radieschen Zwiebel Porree Rote Bete Sellerie Kartoffeln Blumenkohl Brokkoli Chinakohl Grünkohl Rotkohl Rosenkohl Spitzkohl Weißkohl Wirsing Kohlrabi Buschbohne Erbsen Gurke Stangenbohne Tomate Zucchini	Buschbohne Erbsen Gurke Blumenkohl Brokkoli Kürbis Paprika Rosenkohl Rotkohl Spitzkohl Stangenbohne Tomate Weißkohl Wirsing Zucchini Kartoffeln*	Radieschen Zwiebel Porree Rote Bete Sellerie Kartoffeln Blumenkohl Brokkoli Chinakohl Grünkohl Rotkohl Rosenkohl Spitzkohl Weißkohl Wirsing Kohlrabi Buschbohne Erbsen Gurke Zucchini

* gilt für geschälte Kartoffeln

8. Fazit und Empfehlungen

Die Bebauungsplangebiete „Auf der Donnermaar“ und „Kommern Süd“ wurden im Rahmen einer Stichprobe in Hinblick auf die Belastung mit Arsen, Blei und Cadmium untersucht. Dabei stellte sich das Schwermetall Blei als maßgeblich für eine etwaige Belastung des Bodens dar.

Das Bebauungsplangebiet **„Kommern Süd“** zeigt zwar insgesamt erhöhte Gehalte an Blei (Überschreitung der Prüfwerte für das Nutzungsszenario "Kinderspielflächen"), allerdings liegen die im Rahmen der anschließenden Untersuchung zur Resorptionsverfügbarkeit ermittelten Gehalte an Blei unterhalb der für Mechernich abgeleiteten, gebietsbezogenen Beurteilungswerte für Hausgärten in der Planung gBW_{P-RV}. Auch die Beurteilungswerte für das Nutzungsszenario "Kinderspielflächen" wurden mit Ausnahme von zwei Flächen in allen untersuchten Proben unterschritten.

Da sich die Bleigehalte im Bebauungsplangebiet recht homogen darstellen, kann auf eine Komplettierung der stichprobenhaften Untersuchung in Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch verzichtet werden. Auf Grundlage diese Ergebnisse ist eine umfängliche Nutzung des Bebauungsplangebietes im Sinne des Nutzungsszenarios Hausgarten möglich.

Hinsichtlich des Wirkungspfades Boden-Nutzpflanze sollte allerdings aufgrund der relativ hohen Pflanzenverfügbarkeit von Blei - und untergeordnet auch von Cadmium - auf einen großflächigen Anbau von Nahrungspflanzen verzichtet werden. Als Alternative kommen die Kontrolle und ggf. Anhebung des pH-Wertes > pH 6,0 durch Kalkung in Betracht, um die Pflanzenverfügbarkeit der genannten Schwermetalle zu verringern. Sofern nicht die Einhaltung der betreffenden Prüf- bzw. Maßnahmenwerte für die pflanzenverfügbaren Gehalte an Blei bzw. Cadmium nachgewiesen ist, sollte sich der Anbau zudem auf niedrig Blei- bzw. mittel bis niedrig Cadmium-anreichernde Pflanzen beschränken (vgl. Tabelle 18).

Den Ergebnissen der untersuchten Stichprobe zufolge werden mit Blick auf den Wirkungspfad Boden-Mensch die Prüfwerte für das Nutzungsszenario Kinderspielflächen im Bereich des Bebauungsplangebietes **„Auf der Donnermaar“** in allen Fällen überschritten.

Die im Anschluss durchgeführten Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit ergaben in 12 Fällen⁸ auch eine Überschreitung des gebietsbezogene Beurteilungswertes für Hausgärten in der Planung gBWP-RV (vgl. Anlage 3.3.2).

Somit ist aufgrund der vorgefundenen Bleibelastung nicht von einer einheitlichen Belastungssituation im Bereich des Bebauungsplangebietes auszugehen. Auf 8 der untersuchten Flächen wäre eine Hausgartennutzung zulässig, auf den weiteren zwölf untersuchten Parzellen ist allenfalls nur eine wohnbauliche Nutzung mit Einschränkungen in Hinblick auf Kinderspielaktivitäten denkbar, wenn nicht im Zuge der Baumaßnahmen andere Maßnahmen zur Minderung möglicher Bleiexpositionen, beispielsweise durch Bodenaustausch, umgesetzt werden.

Eine Abgrenzung dieser unterschiedlich belasteten Teilbereiche ist derzeit nicht möglich. Um eine umfängliche Nutzung des gesamten Bebauungsplangebietes (einschließlich der nicht untersuchten Parzellen) in Form von Hausgärten zu ermöglichen, wären flächendeckend Maßnahmen erforderlich (z.B. Bodenaustausch).

Da sich die Belastung der einzelnen Parzellen mit Blei jedoch zum Teil deutlich unterscheidet, also diesbezüglich nicht von über die Fläche homogenen Verhältnissen auszugehen ist, empfiehlt es sich in diesem Fall, die noch ausstehenden Teilflächen zumindest in Hinblick auf die Gesamtgehalte an Blei, besser auch auf die resorptionsverfügbaren Bleigehalte zu untersuchen.

Das vorliegende Gutachten wurde unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Gutachterliche Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die dokumentierten Anknüpfungstatsachen, Prüfgegenstände und Untersuchungsergebnisse.

Bielefeld, den 27.02.2020


Dr. Dietmar Barkowski
(Dipl.-Chem.)




Gerald Krüger
(Dipl.-Geoökol.)

⁸ Fläche T1-01 ist aufgrund von Kenntnissen zur Historie separat zu betrachten und zu behandeln (s.o.)