



Bodenmanagementkonzept zum neuen Stadtteil Dietenbach

Auftraggeber

Stadt Freiburg im Breisgau
Projektgruppe Dietenbach

Auftragnehmer

Ingenieurbüro Feldwisch

Bergisch Gladbach, 15.03.2022

Impressum

Auftraggeber	Stadt Freiburg im Breisgau Projektgruppe Dietenbach Fehrenbachallee 12 79106 Freiburg im Breisgau Internet: www.freiburg.de/ E-Mail: dietenbach@stadt.freiburg.de
Projektbetreuung	Eva Bartling und Kathrin Brummer Projektgruppe Dietenbach Stadt Freiburg im Breisgau Projektgruppe Dietenbach Tel: 0761/201-4071 0761/201-4092 E-Mail: Eva.Bartling@stadt.freiburg.de Kathrin.Brummer@stadt.freiburg.de
Bearbeitung	Ingenieurbüro Feldwisch Dr. Norbert Feldwisch M.Sc. Salome Rüschenndorf Dipl.-Geol. Thomas Lendvaczky M.Sc. Carlotta Koumans M.Sc. Nadine Bernhard Karl-Philipp-Straße 1 51429 Bergisch Gladbach Tel.: 02204 / 4228 - 50 Fax: 02204 / 4228 - 51 E-Mail: info@ingenieurbuero-feldwisch.de Internet: www.ingenieurbuero-feldwisch.de
Bildnachweise	Ingenieurbüro Feldwisch

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	ii
1 Veranlassung und Zielsetzung.....	4
2 Datengrundlage.....	5
3 Methodisches Konzept.....	6
4 Aufbereitung und Auswertung der Datengrundlagen, Erstellung Homogener Raumeinheiten und Messnetzplanung.....	7
4.1 Landnutzung.....	7
4.2 Boden.....	7
4.3 Überschwemmungsgebiete.....	8
4.4 Altlastverdachtsflächen.....	9
4.5 Ausschlussflächen.....	10
4.6 Erstellung der Homogenen Raumeinheiten.....	10
4.7 Messnetzplanung.....	12
5 Bodenaufnahmen, Bodenbeprobung, Analytik.....	14
5.1 Bodenprofilaufnahme.....	14
5.2 Sonderbohrung.....	14
5.3 Bodenbeprobung.....	15
5.4 Analytik und Zuordnungswerte nach VwV BW 2007.....	20
6 Ergebnisse.....	22
6.1 Bodenkartierung.....	22
6.2 Allgemeine Bodenparameter.....	22
6.2.1 pH-Werte.....	23
6.2.2 Humusgehalte.....	24
6.3 Schadstoff-Parameter.....	25
6.3.1 Arsen.....	25
6.3.2 Cadmium.....	26
6.3.3 Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel und Thallium.....	26
6.3.4 Blei.....	29
6.3.5 Zink.....	30
6.3.6 Weitere Analyseergebnisse.....	31
6.4 Transekt-Schadstoffverteilung.....	35

7	Zusammenfassende Bewertung der Schadstoffgehalte	38
7.1	Überschreitung von Zuordnungswerten.....	38
7.2	Vergleich der aktuellen Schadstoffanalysen 2021 mit anderen Untersuchungen	44
7.2.1	Baugrundgutachten von Roth & Partner 2015	44
7.2.2	Büro Solum 2016	48
8	Bodenmanagementkonzept.....	49
8.1	Interpolierte Mächtigkeiten unterschiedlicher Bodenschichten.....	49
8.2	Gebietskulisse.....	51
8.3	Schadstoffsituation	53
8.4	Bodenmassen-Berechnung	55
8.5	Auswirkungsprognose	56
8.5.1	Differenzierung der Böden nach ihrer Verwendung	56
8.5.2	Bodenschutzfachliche Hinweise zur Anlage eines Flächendepots.....	60
8.5.3	Bodenabtrag	61
8.5.4	Allgemeine Regelung zur Zwischenlagerung.....	62
8.5.5	Zwischenlagerung Bodenmaterial des 1. BA	62
8.5.6	Maßnahmen zum Umgang mit Neophyten	63
8.5.7	Formulierungsvorschläge für textliche Festsetzungen	64
8.6	Kostenschätzungen für die Verwertung von Überschussmassen	68
8.6.1	Bodenmassen aus dem Bebauungsplangebiet, Bauabschnitt 1	68
8.6.2	Bodenmassen aus den untersuchten Altlastverdachtsflächen	69
9	Suchraumkarten für die planexterne Verwertung des überschüssigen Oberbodens	73
9.1	Grundlagen	73
9.2	Suchraumkarten/Methodik.....	73
9.2.1	Suchraumkarte Bodenauftrag <Z0	73
9.2.2	Suchraumkarte Bodenauftrag >Z1	75
9.2.3	Suchraumkarte Rekultivierung aufgelassener Abbaustätten und Altablagerungen.....	77
10	Ergänzende kleinräumige Untersuchungen	79
10.1	Detaillierte umwelttechnische Untersuchungen von Altlastverdachtsflächen	79
10.2	Ergänzende Baugrunduntersuchungen am Schildkrötenkopf im Hinblick auf eine Versickerungseignung.....	81
10.2.1	Bemessungswasserspiegel	82
10.2.2	Regenwasserversickerung am Standort	82

10.2.3	Tragfähigkeit des Untergrunds	83
10.2.4	Abfallrechtliche Hinweise	85
11	Literatur	89
12	Anhänge.....	91

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Datengrundlage für das vorliegende Bodenschutzkonzept.....	5
Tabelle 2:	Landnutzungsverteilung nach Basis-DLM im Dietenbachgelände	7
Tabelle 3:	Probenahmen, Bohrpunktbezeichnungen und Untersuchungstypen der bodenkundlichen Untersuchung der gesamten Dietenbach-Bauabschnitte.....	18
Tabelle 4:	Anzahl Profilaufnahmen und beprobte Bohrpunkte/Messstellen.....	19
Tabelle 5:	Zuordnungswerte nach VwV _{Boden} 2007	21
Tabelle 6:	Statistische Kennwerte des pH.....	23
Tabelle 7:	Statistische Kennwerte der Humusgehalte	24
Tabelle 8:	Statistische Kennwerte der TOC-Gehalte.....	24
Tabelle 9:	Statistische Kennwerte der Arsengehalte	25
Tabelle 10:	Statistische Kennwerte der Cadmiumgehalte	26
Tabelle 11:	Statistische Kennwerte der Chromgehalte	27
Tabelle 12:	Statistische Kennwerte der Kupfergehalte.....	27
Tabelle 13:	Statistische Kennwerte der Quecksilbergehalte	28
Tabelle 14:	Statistische Kennwerte der Nickelgehalte	28
Tabelle 15:	Statistische Kennwerte der Thalliumgehalte.....	29
Tabelle 16:	Statistische Kennwerte der Bleigehalte	29
Tabelle 17:	Statistische Kennwerte der Zinkgehalte	30
Tabelle 18:	Statistische Kennwerte der Leitfähigkeit.....	31
Tabelle 19:	Statistische Kennwerte der Chloridgehalte	31
Tabelle 20:	Statistische Kennwerte der Sulfatgehalte	32
Tabelle 21:	Statistische Kennwerte der Cyanidgehalte	32
Tabelle 22:	Statistische Kennwerte der EOX-Gehalte.....	32
Tabelle 23:	Statistische Kennwerte der Kohlenwasserstoffgehalte	33
Tabelle 24:	Statistische Kennwerte der BTX-Gehalte	33
Tabelle 25:	Statistische Kennwerte der LHKW-Gehalte.....	33
Tabelle 26:	Statistische Kennwerte der PCB-Gehalte.....	33
Tabelle 27:	Statistische Kennwerte der PAK16-Gehalte	34
Tabelle 28:	Statistische Kennwerte der Benzo(a)pyren-Gehalte.....	34
Tabelle 29:	Statistische Kennwerte des Phenolinindex.....	34
Tabelle 30:	Überflutungstiefen im Transekt der Satellitenbeprobungen	36
Tabelle 31:	Statistische Kennwerte der Transekt-Beprobungspunkte	37
Tabelle 32:	Probe-Analyseergebnisse mit Zuordnung \geq Z1 nach VwV BW 2007	38
Tabelle 33:	Statistische Kennwerte der Arsengehalte.....	48
Tabelle 34:	Statistische Kennwerte der Kupfergehalte.....	48
Tabelle 35:	Statistische Kennwerte der Bleigehalte	48
Tabelle 36:	Statistische Kennwerte der Zinkgehalte	48
Tabelle 37:	Schichtbezogene potenziell anfallende Bodenmassen im gesamten Bauabschnitt 1 des neuen Stadtteils Dietenbach abzüglich der definierten Ausschlussflächen.....	55

Tabelle 38:	Schichtbezogene potenziell anfallende Bodenmassen der öffentlichen Flächen im Bauabschnitt 1 des neuen Stadtteils Dietenbach abzüglich der definierten Ausschlussflächen	56
Tabelle 39:	Verbreitet vorgenommene textliche Festsetzungen.....	65
Tabelle 40:	Spezifische, weitergehende textliche Festsetzungen zum vorsorgenden Bodenschutz für den Bebauungsplan Dietenbach	66
Tabelle 41:	Kostenschätzung (Spannweite) anhand von geschätzten Einheitspreisen für die zu verwertenden unterschiedlichen Bodenmassen aus dem Bebauungsplangebiet.....	68
Tabelle 42:	Kostenschätzung (Spannweite) anhand von geschätzten Einheitspreisen für die zu verwertenden unterschiedlichen Bodenmassen aus den Altlastverdachtsflächen nach Kap. 10.1	72
Tabelle 43:	Bodenmaterialwerte nach Ersatzbaustoffverordnung	87

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Wassertiefen nach HWGK HQ100	9
Abbildung 2:	Homogene Raumeinheiten im Bebauungsgebiet Dietenbach mit kodierten Einflussfaktoren.....	11
Abbildung 3:	Übersichtslageplan der Profil- und Probenentnahmepunkte im Bebauungsgebiet Dietenbach.....	13
Abbildung 4:	Sonderbohrungen aufgrund von Strukturen im Luftbild (Quelle: Google Earth, Zeitschnitt 2009).....	15
Abbildung 5:	Detailansicht Sonderbohrungen (Quelle: Google Earth, Zeitschnitt 2009).....	15
Abbildung 6:	Lage und Zuordnung der Probeentnahmestellen zu den Misch-/Satellitenproben.....	17
Abbildung 7:	Mischprobenbereiche (rot umrandet) im Bereich des Schildkrötenkopfs (ergänzend zum Gutachten von GEOsens)	18
Abbildung 8:	Transekt-Beprobungspunkte im Bebauungsgebiet Dietenbach	35
Abbildung 9:	Arsen-Belastung der Oberböden im Dietenbachgelände, klassifiziert nach Zuordnungswerten VwV BW 2007	40
Abbildung 10:	Arsen-Belastung der Unterböden des Schildkrötenkopfs, klassifiziert nach Zuordnungswerten VwV BW 2007. Bodenschürfe durch GEOsens GmbH.....	41
Abbildung 11:	Blei-Belastung der Oberböden im Dietenbachgelände. Klassifiziert nach Zuordnungswerten VwV BW 2007	42
Abbildung 12:	Blei-Belastung im Unterboden des Dietenbachgeländes, klassifiziert nach Zuordnungswerten VwV BW 2007. Bodenschürfe durch GEOsens GmbH.....	43
Abbildung 13:	Oberboden-Beprobungspunkte Roth & Partner 2015	45
Abbildung 14:	Vergleich der Arsen- und Blei-Feststoffgehalte in Oberböden nach Ingenieurbüro Feldwisch&Geosens 2021 (links) sowie Roth & Partner 2015 (rechts)	46
Abbildung 15:	Vergleich der Zink-Feststoff- und Eluatgehalte in Oberböden nach Ingenieurbüro Feldwisch 2021 (links) sowie Roth & Partner 2015 (rechts)	47

Abbildung 16: Interpolierte Mächtigkeiten der Bodenschichten im gesamten Bebauungsgebiet Dietenbach. Schicht 1: Oberbodenhorizonte; Schichten 2, 3 und 4 getrennt nach Substratgruppen Schluff, Lehm, Sand/Kies	50
Abbildung 17: Gebietskulisse für Bodenmassenbilanzierung im gesamten Bebauungsgebiet Dietenbach	52
Abbildung 18: Abgrenzung des Bauabschnitts 1 nach Zuordnungswert Z1	54
Abbildung 19: Öffentliche Grünflächen im 1. BA zum Wiedereinbau von Oberboden	57
Abbildung 20: Potenzielle Depotflächen als Zwischenlager für den Oberbodenabtrag des BA1	60
Abbildung 21: Kartenausschnitt der Verbreitung des Staudenknöterichs im BA1	64
Abbildung 22: Flächengrößen der Altlastverdachtsflächen als Grundlage für die Massenberechnung (Bohrungsnummern nach Geosens GmbH 2021)	69
Abbildung 23: Dominierende Schadstoff-Klassifizierung und mittlere Mächtigkeit der betroffenen Bodenschichten der Altlastverdachtsflächen als Grundlage für die Massenberechnung	71
Abbildung 24: Potenzielle Flächen westlich von St. Georgen für die Verwertung des überschüssigen Oberbodens < Z0-Klasse aus Bauabschnitt 1 des B-Plan- Gebiets Dietenbach (vgl. Anhang 12)	75
Abbildung 25: Potenzielle externe Verwertungsflächen für Bodenmaterial >Z1 im LK Breisgau-Hochschwarzwald und Emmendingen	76
Abbildung 26: Beispielausschnitt: Potenzielle Flächen aufgelassener Abbaustätten und Altablagerungen für die Verwertung des überschüssigen Oberbodens < Z0- Klasse aus Bauabschnitt 1 des B-Plan-Gebiets Dietenbach	77
Abbildung 27: Lage der 2021 untersuchten Verdachtsflächen im B-Plan-Gebiet Dietenbach (Lage AA Riesert nachträglich ungefähr eingezeichnet)	79
Abbildung 28: Lage der geplanten Versickerungsanlage am Schildkrötenkopf	81

1 Veranlassung und Zielsetzung

Auf ca. 110 ha Baugebietsfläche soll im Rahmen einer städtebaulichen Entwicklungsmaßnahme (SEM) der Stadt Freiburg aufgrund des stetig steigenden Wohnraumdrucks ein neuer Stadtteil Dietenbach entstehen. Das betreffende Gebiet ist gekennzeichnet durch historischen Bergbau und Überschwemmungseinflüsse.

Das Ingenieurbüro Feldwisch wurde für die Erstellung eines Bodenmanagementkonzepts im Dietenbachgelände für den ersten von sechs Bauabschnitten beauftragt. Im Rahmen des Bodenmanagementkonzepts soll, ergänzend zu den Baugrunduntersuchungen aus 2015 (Ingenieurbüro Roth & Partner), der bodenkundliche Ausgangszustand mittels feldbodenkundlicher Kartierung und Schadstoffanalytik über das gesamte SEM erfasst und bewertet werden. Auf dieser Grundlage sollen gemäß Auftrag die Bodenqualitäten für den Bauabschnitt 1 ermittelt und hinsichtlich der Verwertungsmöglichkeiten (Wiedereinbau, externe Verwertung, Entsorgung) bilanziert werden. Als weiterer Auftragsgegenstand wurden Versickerungsversuche im Bereich der geplanten Versickerungsbecken am „Schildkrötenkopf“ sowie detaillierte umwelttechnische Untersuchungen von vier altlastenverdächtigen Flächen im Unterauftrag durch die GEOsens GmbH durchgeführt.

Nachfolgend werden die durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse dargelegt.

2 Datengrundlage

Für die Bearbeitung des Bauvorhabens Dietenbach wurden vorwiegend von der Stadt Freiburg im Breisgau bereitgestellte Unterlagen und Daten verwendet. Auf Grundlage dieser Daten erfolgte die Erstellung des Bodenmanagementkonzepts.

Tabelle 1: Datengrundlage für das vorliegende Bodenschutzkonzept

Datensatz	Quelle
Digitale Rauminformationen/Geoflächendaten	
Bebauungsplan	Stadt Freiburg
Bestandsleitungen	Stadt Freiburg
Digitale Orthofotos	Stadt Freiburg
Flächennutzungsdaten (Tatsächliche Nutzung, Flurstücke), ALKIS/Basis-DLM	Stadt Freiburg
Digitale Topografische Karte 1:25 000 und 1:50 000	Stadt Freiburg
Kampfmittel	Stadt Freiburg
Digitales Geländemodell 1x1 m	Stadt Freiburg
Bodenkarte 1:50.000 (BK50)	LGRB
Bodenschätzung	Stadt Freiburg
Landschaftsschutzgebiete / NATURA2000	Stadt Freiburg
Hochwassergefahrenkarte HQ100	LUBW (Landesanstalt für Umwelt und Messungen Baden Württemberg)
Flächengeometrien des Altlastenkatasters (Altlasten(verdachts)flächen, Altablagerungen und Abgrabungen)	Stadt Freiburg
Wasserschutzgebiete	WSG (Stand Dez. 2017)
Naturschutz: Naturschutzgebiete, Nationalpark, Biosphärengebiete, Natura 2000 Gebiete, gesetzlich geschützte Biotope, Naturdenkmale	LGRB (Stand Jan. 2018)
Punktbezogene Stoffdaten	
Beprobungspunkte Ingenieurbüro Roth & Partner 2015	Stadt Freiburg
Beprobungspunkte Solum 2016	Stadt Freiburg

3 Methodisches Konzept

Das methodische Konzept zur Erstellung des Bodenmanagementkonzepts orientiert sich grundsätzlich an der DIN 19639 „Bodenschutz bei Planung und Ausführung von Bauvorhaben“.

Im Bebauungsgebiet Dietenbach werden so genannte Homogene Raumeinheiten (HRE) durch die Kombination von Haupteinflussfaktoren auf die Schadstoffgehalte in Ober- und kulturfähigen Unterböden konstruiert, die Anhaltspunkte über zu erwartende spezifische Bodenbelastungen liefern. Die HRE dienen der Erstellung eines Messnetzplanes für die Bodenbeprobung im Dietenbachgelände.

Grundsätzlich werden Überschwemmungsgebiete (HQ100) im Dietenbach-Bebauungsgebiet gesondert betrachtet. Generell kann angenommen werden, dass innerhalb überschwemmungsbedingter Belastungsbereiche häufig mit einer erheblichen räumlichen Heterogenität der Schadstoffverteilung in Böden zu rechnen ist. Diese Heterogenität ist unter anderem von der Fließdynamik, der Überschwemmungshäufigkeit und -dauer, der aktuellen Flächennutzung, dem Relief und von den Bodeneigenschaften abhängig.

Um punktbezogene Informationen zur Bodenbelastung in Überschwemmungsgebieten in die Fläche zu übertragen und darzustellen, kann der Ansatz der homogenen Raumeinheiten (HRE) verwendet werden (LANUV, 2011). Die wesentlichen Einflussfaktoren der Bodenbelastungen werden im Rahmen einer Raumanalyse zu HRE zusammengeführt, die jeweils durch die gleiche Faktorenkombination bzw. vergleichbare Eigenschaften gekennzeichnet sind.

Die Differenzierung der Böden hinsichtlich ihrer Verwendungsmöglichkeiten (Wiedereinbau, Wiederverwendung an anderer Stelle, Entsorgung) erfolgt mit Hilfe der regionalisierten Schicht-/Horizontmächtigkeiten und der ermittelten Schadstoffgehalte, die aus den bodenkundlichen Bohrungen, den Bohrungen der Baugrunderkundung Roth & Partner, der Detailuntersuchung zur Schwermetallbelastung durch das Büro solum sowie ergänzender bodenkundlicher und geologischer Kartenwerke abgeleitet werden.

Mit Hilfe der Flächengrößen werden die Massen der einzelnen Bodenqualitäten für die Verwendungsmöglichkeiten bilanziert. Das abzutransportierende Bodenvolumen wird mit Hilfe eines Auflockerungsfaktors (gewachsener Boden zu ausgehobenem Boden) kalkuliert.

4 Aufbereitung und Auswertung der Datengrundlagen, Erstellung Homogener Raumeinheiten und Messnetzplanung

Für die Erstellung der HRE werden verschiedene Geodaten miteinander verschnitten, welche im Folgenden genauer beschrieben werden. Ausschlussflächen werden definiert, um anschließend HRE im Bebauungsgebiet Dietenbach für die Messnetzplanung zu erstellen.

4.1 Landnutzung

Als Datengrundlage zur Erstellung der Flächenkulisse „Nutzung“ dienten die Flächennutzungsdaten gemäß BASIS-DLM.

Die Nutzungsinformationen werden im Westen des Dietenbachgeländes angepasst. Dort befinden sich Grünlandflächen, die temporär als PKW-Parkflächen genutzt werden (z.B. während des Zelt-Musik-Festivals). Die Flächennutzungsinformationen aus dem BASIS-DLM werden in genanntem Bereich für die Erstellung der HRE von „Parkplatz“ zu „Grünland“ korrigiert.

Die derzeitigen Nutzungen nach Basis-DLM mit Flächenanteilen am Gesamtgebiet ist Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Landnutzungsverteilung nach Basis-DLM im Dietenbachgelände

Nutzung gemäß Basis-DLM	Flächenanteil [%]
Ackerland, Gartenland, Schrebergarten	55
Grünland, Streuobstwiese	23
Gehölz, Laubholz	16
Freizeitanlage, Gebäude- und Freifläche Erholung	3
Ausschlussflächen (Parkplatz, Straßenverkehr, Umspannstation, Verkehrsbegleitfläche, Industrie- und Gewerbefläche, Gewässer, Offen)	3

4.2 Boden

Zur Erstellung der HRE erfolgt eine räumliche Abgrenzung durch die in der BK50 angegebenen Bodentypen und Substrate.

Im Dietenbachgelände kommen nach BK50 sieben unterschiedliche Bodentypen vor. Die dominierenden Böden sind Auenböden und Braunerden mit unterschiedlichen Übergangsformen und Subtypen. Im südlichen Teil des Gebietes sind lessivierte Braunerden über Niederterrassenschottern ausgewiesen. Im Westen sind Gley-

Braunerden über Niederterrassenschottern zu finden. Von Nordwest nach Südost des B-Plangebietes zieht sich ein Band aus braunen Auenböden aus Auenlehm, teilweise auch aus Auensand über Niederterrassenschottern. Zwischen diesem Band, rings um den Dietenbach, ist brauner Auenboden-Auengley aus Auenlehm über Schottern zu finden. Ganz im Osten ist der Bodentyp Auengley aus sandig-lehmigen Auensedimenten über Flussschottern vorhanden. Die Bodentypen wurden unverändert als Grenzen für die HRE verwendet.

4.3 Überschwemmungsgebiete

Die flächenhafte Zuordnung der Überschwemmungsgebiete und Klassifizierung von Überflutungshöhen bzw. Wassertiefen erfolgt mit Hilfe der Georasterdaten, die den amtlichen Hochwassergefahrenkarten der LUBW zugrunde liegen. Von der LUBW wurden die Überschwemmungsgebietsflächen und Tiefenraster aus Modellberechnungen für das Hochwasserszenarium eines hundertjährigen Hochwassers (HQ100) übermittelt.

Für die Messnetzplanung wurde in Betracht gezogen nicht nur die HQ100-Flächen, sondern auch die speziellen Wassertiefen zu berücksichtigen. In Abbildung 1 ist allerdings zu sehen, dass diese im Gebiet räumlich nur wenig variieren. Entlang der Straße zum Mundenhof und auf der temporären Parkfläche auf Grünland ganz im Westen des Gebietes sind unterschiedliche Wassertiefen erkennbar. Die räumliche Differenzierung der Wassertiefenstufen sind so minimal, dass sie in der Messnetzplanung nicht gesondert berücksichtigt werden.

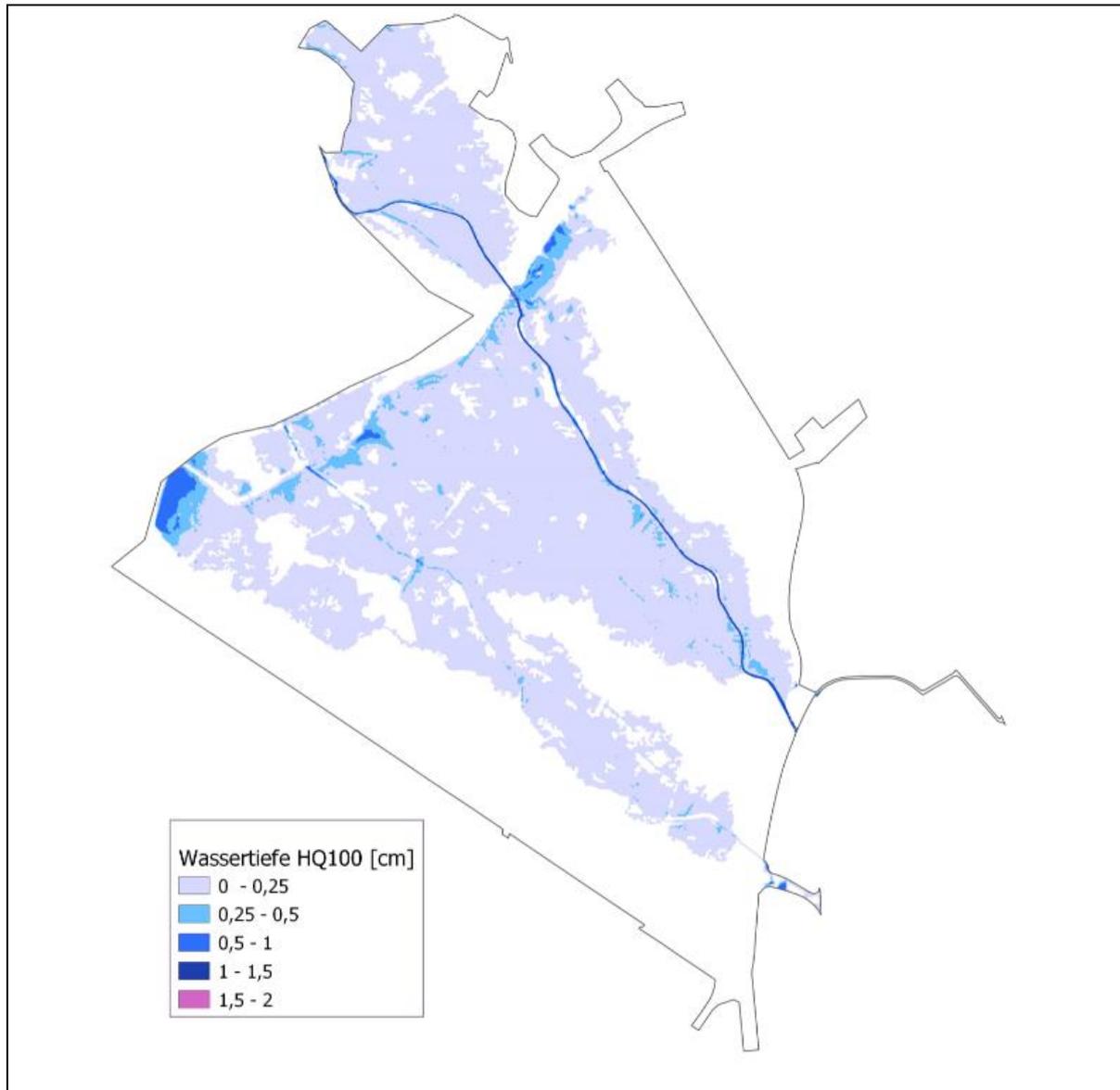


Abbildung 1: Wassertiefen nach HWGK HQ100

Der Datensatz HQ100 wird um zusammenhängende Rasterzellen <250 m² bereinigt und der umgebenden Klasse zugeordnet. Das dient einem homogeneren Bild, so dass im Ergebnis zu kleinteiligen HRE vermieden werden können.

4.4 Altlastverdachtsflächen

Das Dietenbachgelände weist nach Altlastenaktaster vier Altlastenverdachtsflächen sowie eine bestätigte Altlastfläche auf. Neben den vier kleineren Altlasten(verdachts-)flächen ist im Dietenbachgelände mit einer größeren Belastungsfläche durch historischen Bergbau im Dreisam-Überschwemmungsgebiet zu rechnen. Die Verdachtsfläche läuft von Norden über den „Schildkrötenkopf“ sowie den gesamten westlichen Bereich des Gebietes bis zur

südlichen B-Plangrenze. Bedingt durch den in ca. 8 km Luftlinie entfernten ehemaligen (Erz-)Bergbau am Schauinsland sind in diesem Bereich erhöhte Schwermetallgehalte zu erwarten.

Im nördlichen Bereich am Sender/Hardackerweg, angrenzend an den „Schildkrötenkopf“, liegt der Altstandort „Fackelfabrik Blattmann“. Etwas weiter westlich ist ein „Bombentrichter Zum Tiergehege“ als Altablagungsstandort verzeichnet. Die „Grube Lehener Winkel“ ist als weiterer Altablagungsstandort verzeichnet und liegt im westlichen Teil auf der Parkplatzerweiterung des Mundenhofs bzw. während des Zelt-Musik-Festivals auf Grünland. Noch etwas weiter westlich ist die Fläche „Ablagerung Riesert“ als Altablagungsstandort verzeichnet.

Die genannten Flächen sind im Altlastenkataster erfasst und im Umweltbericht für die Strategische Umweltprüfung (SUP) (Bosch&Partner GmbH & faktorgrün, 2018) hinsichtlich der Wirkungspfade Boden-Mensch, Boden-Nutzpflanze und Boden-Grundwasser mit „B“ bewertet, so dass bei den vier Altlastenverdachtsflächen keine Altlast zu erwarten ist, jedoch besteht eine „Entsorgungsrelevanz“.

Weitergehende Informationen sind in dem zugehörigen Altlastenkataster der Stadt Freiburg im Breisgau zu finden.

4.5 Ausschlussflächen

Als Ausschlussflächen bei der Erstellung HRE wurden auf Grundlage des Leistungsverzeichnisses und fachlicher Expertise folgende Geoflächendaten definiert:

- Objektartenklassen nach Landnutzungsdaten Basis-DLM: Gewässer, Offen*, Parkplatz, Straßenverkehr, Umspannstation, Verkehrsbegleitfläche und Industrie- und Gewerbefläche
*u.a. Tom's Ranch sowie ein Stück der Sendeanlage des Südwestrundfunks im Nordosten, Bauabschnitt 5.
- Flächendaten aus dem Altlastenkataster (da bereits von GEOsens GmbH beprobt), ausgenommen „Historischer Bergbau“

4.6 Erstellung der Homogenen Raumeinheiten

Durch die räumliche Überlagerung der beschriebenen Einflussgrößen ergeben sich für das Untersuchungsgebiet insgesamt 52 verschiedene Kombinationen (siehe Abbildung 2). Innerhalb jeder HRE sind die Einflussfaktoren im Hinblick auf den stofflichen Zustand der Böden gleich, so dass innerhalb einer HRE vergleichbare Schadstoffgehalte erwartet werden können. Auf der Grundlage der HRE wird anschließend die Messnetzplanung durchgeführt.

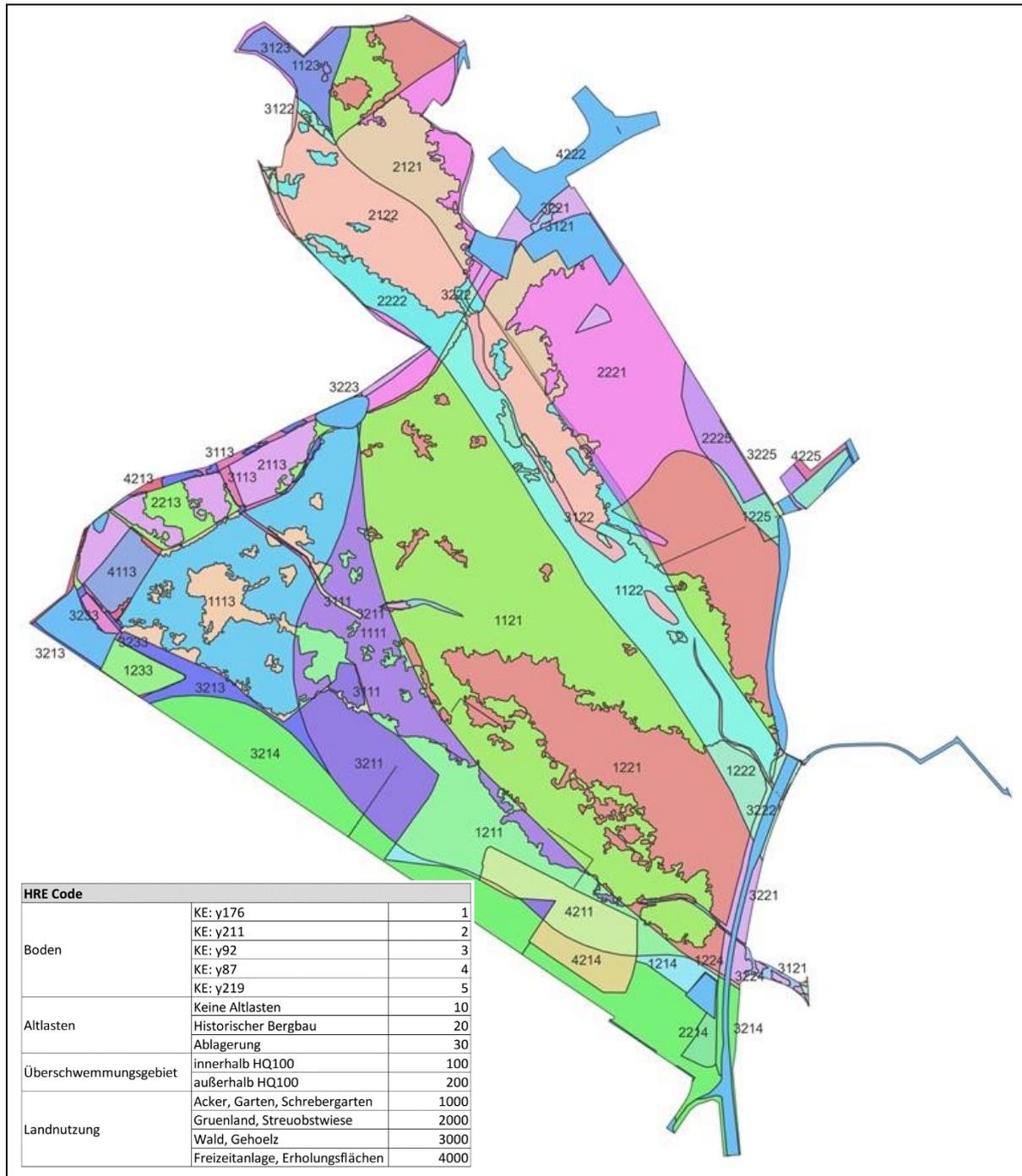


Abbildung 2: Homogene Raumeinheiten im Baugebiet Dietenbach mit kodierten Einflussfaktoren

4.7 Messnetzplanung

Die Messnetzplanung für die Beprobung soll das Baugrundgutachten vom Ingenieurbüro Roth & Partner für die SEM Dietenbach von 2015 ergänzen und konkretisieren. Die Homogene Raumeinheiten (HRE) wurden als Grundlage für die konkrete standörtliche Planung der Bodenuntersuchungen herangezogen, um die Schadstoffsituation für repräsentative Kombinationen möglicher Einflussfaktoren abbilden zu können.

Die räumliche Verteilung der Messstellen erfolgte im Zuge der Messnetzplanung neben Berücksichtigung der HRE nach folgenden Kriterien:

- Räumliche Abdeckung des Untersuchungsgebietes
- Repräsentative Belegung der flächenstarken homogenen Raumeinheiten im Hinblick auf die Auswertungen
- Beprobung eines Transekts zwischen dem Käser- und dem Dietenbach

Die im Zuge des vorliegenden Gutachtens beprobten Messstellen sind in Abbildung 3 mit Kennzeichnung einer D-Beprobungsnummer ersichtlich. Ebenfalls sind die Bohrpunkte des Baugrundgutachtens vom Ingenieurbüro Roth & Partner, des Gutachtens des Büros solum sowie die Schürfe und Versickerungsversuchspunkte von GEOsens GmbH enthalten.

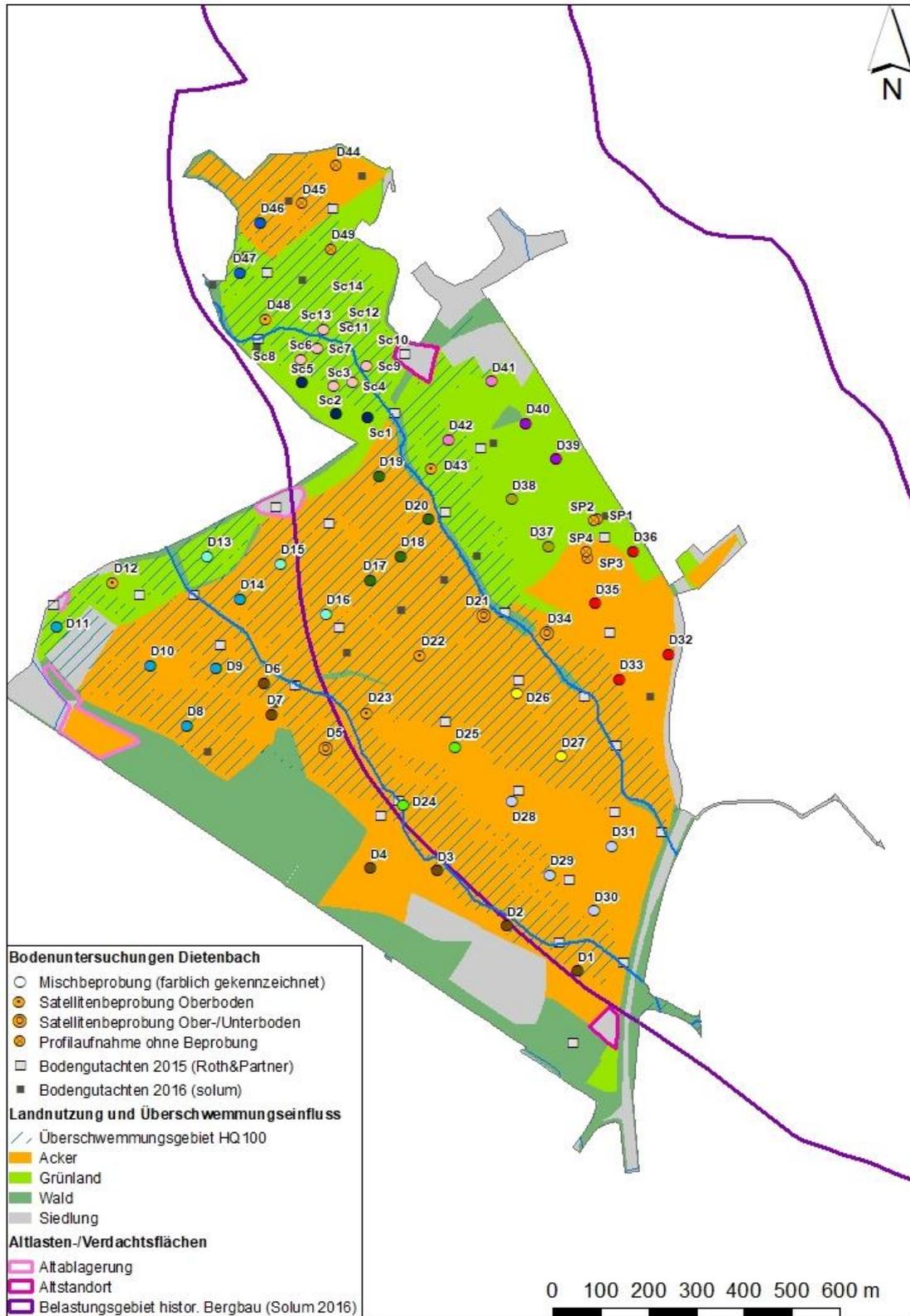


Abbildung 3: Übersichtslageplan der Profil- und Probenentnahmepunkte im Bebauungsgebiet Dietenbach

5 Bodenaufnahmen, Bodenbeprobung, Analytik

5.1 Bodenprofilaufnahme

Die Geländearbeiten im Dietenbachgelände, Bauabschnitt 1-6, erfolgten zwischen dem 7. und 11. April 2021. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurden an 53 Geländepunkten die Böden mit Hilfe von Pürckhauer-Bohrungen bis zu einer Tiefe von 1 m Tiefe kartiert. Bei sandigen Substraten der Terrasse traten vermehrt Bohrkernverluste auf. An diesen Stellen wurden bis maximal 4 Bohrungen vorgenommen, um eine vollständig Profilaufnahme zu ermöglichen. Wenn dennoch in allen 4 Bohrungen ab der sandigen Terrassenschicht ein Bohrkernverlust auftrat, dann wurde ab der Tiefenlage des Bohrkernverlust unterstellt, dass ab dieser Tiefe die sandig-kiesige Terrasse ansteht.

Die Bodenprofile wurden nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5) bzw. DIN 4220 erfasst und dokumentiert und sind diesem Dokument angehängt.

Folgende Parameter wurden dabei aufgenommen:

- Bodentypologie
- Bodenaufbau bzw. Bodenhorizonte
- Bodenarten (Feinboden)
- Grobbodenart und -anteil (Steingehalt)
- Klasse der organischen Substanz (Humusgehalt)
- Klasse des Carbonatgehalts
- Einfluss von Grundwasser und Staunässe (hydromorphe Merkmale)

Zu den üblichen Profilbegutachtungen wurden vier Sonderbohrungen aufgrund von Auffälligkeiten im Luftbild vorgenommen; Weiteres dazu im Kapitel 5.2.

5.2 Sonderbohrung

Im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes (Bauabschnitt 5) wurde an vier weiteren Standorten eine feldbodenkundliche Aufnahme durchgeführt (Abbildung 3, Messstellen, Bohrpunktbezeichnungen SP). Den Anlass dazu gaben auffällige Strukturen im Rahmen einer Luftbildauswertung (GoogleEarth). Insbesondere im Zeitschnitt 2009 sind diese Strukturen, die vermutlich auf Aufwuchsunterschiede zurückzuführen sind, deutlich erkennbar (Abbildung 4 und Abbildung 5).

Um der Frage nachzugehen, ob es sich um Substratunterschiede im Bereich historischer Gewässerverläufe handeln könnte, wurden an zwei ausgewählten Standorten jeweils paarweise zwei Bodenprofile in den hellen und dunklen Bereichen (Luftbild) aufgenommen.

Im Ergebnis konnten keine relevanten Substratunterschiede in den Bohrungen festgestellt werden. Lediglich am Punkt SP3 wurde der Niederterrassenschotter in geringerer Tiefenlage (65 cm) gegenüber den anderen Bohrungen vorgefunden. Zum Zeitpunkt der Aufnahme wurden durch Feldbeobachtung keine Aufwuchsunterschiede oder sonstige

Auffälligkeiten festgestellt. Insofern konnte keine Ursache der auffälligen Strukturen im Luftbild ermittelt werden.



Abbildung 4: Sonderbohrungen aufgrund von Strukturen im Luftbild (Quelle: Google Earth, Zeitschnitt 2009)



Abbildung 5: Detailansicht Sonderbohrungen (Quelle: Google Earth, Zeitschnitt 2009).

5.3 Bodenbeprobung

Die bodenkundlichen Profilaufnahmen und die HRE dienten der Beprobung nach BBodSchV und nach VwV BW bzw. LAGA TR Boden. Die Erkenntnisse aus der Baugrunderkundung für die SEM Dietenbach von 2015 und die Hintergrundbelastungen durch großflächig erhöhte Schwermetallgehalte sind in der Darstellung der Ergebnisse und in der Bewertung berücksichtigt.

Die Entnahme des Probenmaterials aus den Oberböden erfolgte an 46 Standorten mit Hilfe eines N_{\min} -Bohrers als Mischprobe aus mindestens 15 Einzeleinstichen je Bohrpunkt. Das Probenmaterial der Einzelstandorte wurde anhand der Substrat- und Standorteigenschaften zu Mischproben zusammengefasst (siehe unten).

Mitunter fanden an ausgewählten Standorten Einzel-/Satellitenbeprobungen statt. Zwischen dem Käser- und dem Dietenbach wurde ein Transekt untersucht. An drei Standorten erfolgte neben der Oberbodenbeprobung die Beprobung der Unterböden. Der Abbildung 6 und Tabelle 3 sind die durchgeführten Untersuchungen zu entnehmen.

Folgende Proben wurden im Dietenbachgelände entnommen:

- 12 Mischproben von insgesamt 38 Beprobungsstandorten
- 8 Einzelbeprobungen, drei davon mit Unterboden

- Drei Bodenproben (Mischprobe der Bohrpunkt D44 und D45 und Einzelprobe mit Bohrpunkt D49) aus dem „Schildkrötenkopf“ wurden in Absprache mit der Stadt Freiburg, Projektgruppe Dietenbach, zurückgestellt und können bei Bedarf nachanalysiert werden.
- Zwei weitere Misch-Oberbodenproben (MP13 und MP14) aus dem Bereich des Schildkrötenkopfes, die ergänzend zum Gutachten von GEOsens die Schadstoffsituation in diesem Teilgebiet charakterisieren. Die Teilflächen der Mischbeprobung im Bereich des Schildkrötenkopfes orientierten sich dabei wiederum an den Homogenen Raumeinheiten. Differenziert wurden zwei Mischprobenbereiche anhand der Lage innerhalb bzw. außerhalb des Überschwemmungseinflusses durch HQ100.

Die Zuordnung der Beprobungspunkte zu den Mischproben kann Abbildung 6 entnommen werden. Die Proben MP13 und MP14 wurden im Bereich der angezeigten Punkte im Schildkrötenkopf entnommen. Eine genauere Darstellung der Probeentnahmeflächen der beiden Mischproben ist Abbildung 7 zu entnehmen.

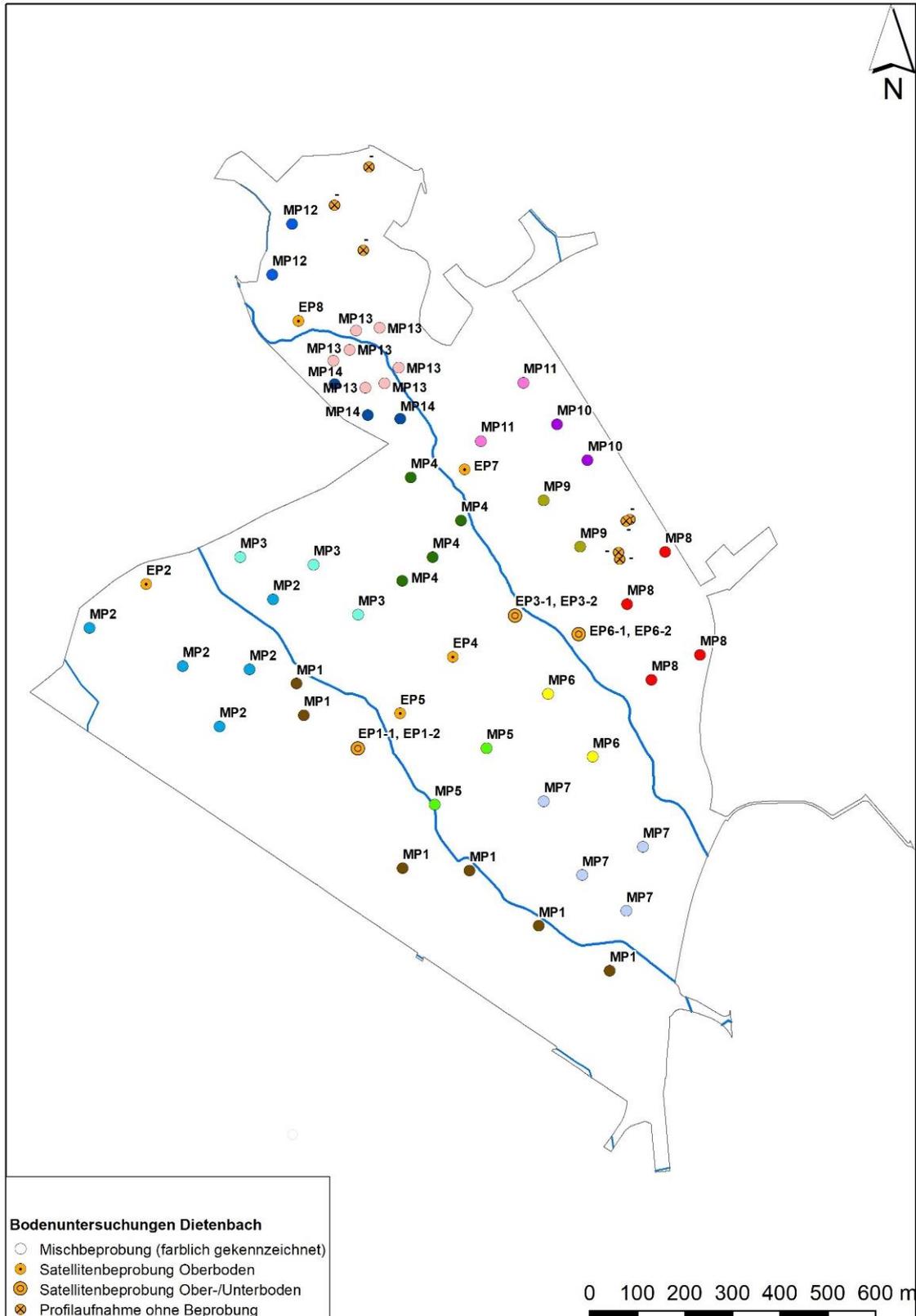


Abbildung 6: Lage und Zuordnung der Probeentnahmestellen zu den Misch-/Satellitenproben

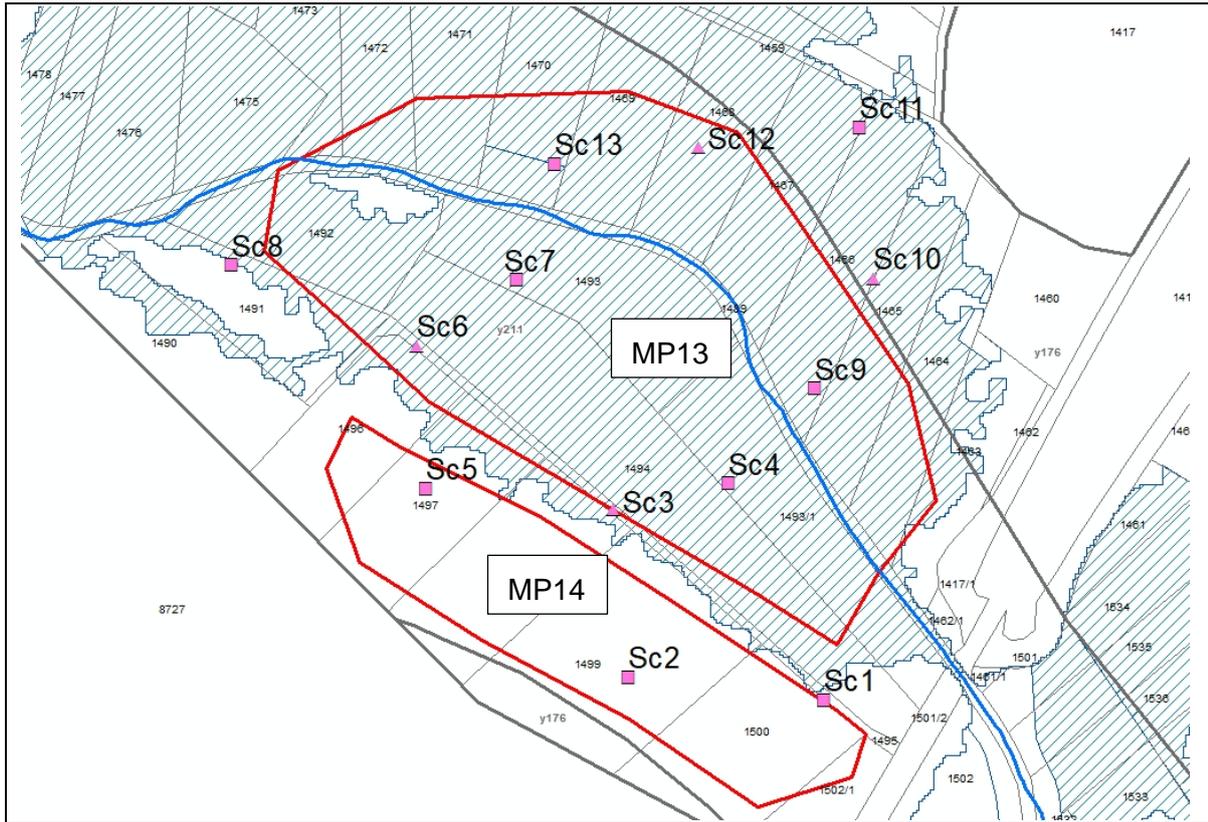


Abbildung 7: Mischprobenbereiche (rot umrandet) im Bereich des Schildkrötenkopfs (ergänzend zum Gutachten von GEOsens)

Tabelle 3: Probenahmen, Bohrpunktbezeichnungen und Untersuchungstypen der bodenkundlichen Untersuchung der gesamten Dietenbach-Bauabschnitte

Probe	Bohrpunkt	Untersuchungs- typ
MP1	D1, 2, 3, 4, 6, 7	Mischbeprobung Oberboden
MP2	D8, 9, 10, 11, 14	Mischbeprobung Oberboden
MP3	D13, 15, 16	Mischbeprobung Oberboden
MP4	D17, 18, 19, 20	Mischbeprobung Oberboden
MP5	D24, 25	Mischbeprobung Oberboden
MP6	D26, 27	Mischbeprobung Oberboden

Probe	Bohrpunkt	Untersuchungstyp
EP1-1 EP1-2	D5	Satellitenbeprobung Ober- (1) / Unterboden (2)
EP2	D12	Satellitenbeprobung Oberboden
EP3-1 EP3-2	D21	Satellitenbeprobung Ober- (1) / Unterboden (2)
EP4	D22	Satellitenbeprobung Oberboden
EP5	D23	Satellitenbeprobung Oberboden
EP6-1 EP6-2	D34	Satellitenbeprobung Ober- (1) / Unterboden (2)

MP7	D28, 29, 30, 31	Mischbeprobung Oberboden
MP8	D32, 33, 35, 36	Mischbeprobung Oberboden
MP9	D37, 38	Mischbeprobung Oberboden
MP10	D39, 40	Mischbeprobung Oberboden
MP11	D41, 42	Mischbeprobung Oberboden
MP12	D46, 47	Mischbeprobung Oberboden
MP13	Sc3, 4, 6, 7, 9, 12, 13	Mischbeprobung Oberboden
MP14	Sc1, 2, 5	Mischbeprobung Oberboden

EP7	D43	Satellitenbeprobung Oberboden
EP8	D48	Satellitenbeprobung Oberboden
-	D44, 45, 49 SP1, 2, 3, 4	nur Profilaufnahme ohne Beprobung

Eine Liste mit den Koordinaten der Bohrpunkte befindet sich im Anhang 01.

Die Proben wurden auf Grünland- als auch Ackerflächen außerhalb und innerhalb der HQ100-Überschwemmungsgebiete entnommen (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Anzahl Profilaufnahmen und beprobte Bohrpunkte/Messstellen

Nutzung	Standorte Profilaufnahmen	Anzahl Bohrpunkte	OBO ¹⁾	UBO ²⁾
Standorte außerhalb des HQ100-Überschwemmungsgebiets				
Acker	15	12	12	0
Grünland	8	9	9	0
Parkplatz (temporär) auf Grünland	1	1	1	0
Standorte innerhalb des HQ100-Überschwemmungsgebiets				
Acker	22	21	21	3
Grünland	6	12	13	0
Parkplatz (temporär) auf Grünland	1	1	1	0
Gesamt	53	56³⁾	56	3

¹⁾ Oberbodenbeprobung ca. 0 - 30 cm

²⁾ Unterbodenbeprobung ca. 30 - 60 cm

³⁾ 2 Proben zurückgestellt. Können bei Bedarf nachanalysiert werden.
Sonderbohrungen nicht beprobt

5.4 Analytik und Zuordnungswerte nach VwV BW 2007

Mit der Analytik der Bodenproben wurde Eurofins Umwelt West GmbH aus Wesseling beauftragt. In Abstimmung mit der Stadt Freiburg wurden 14 Bodenmischproben sowie 8 Einzelproben von 56 Messstellen im Hinblick auf ihre Schadstoffgehalte untersucht (vgl. Tabelle 3). Analysiert wurde nach LAGA TR Boden 2004 analog zur VwV_{Boden} (Verwaltungsvorschrift für als Abfall eingestuftes Bodenmaterial 2007). Abweichend von der VwV BW wurde zusätzlich der TOC-Gehalt bestimmt (ausgeschlossen MP13 und MP14), aus dem der Humusgehalt abgeleitet werden kann.

Die Schadstoff-Analysen werden mit Hilfe der Zuordnungswertewerte für die Bodenartengruppen der Lehme/Schluffe bewertet (Tabelle 5). Für diese Entscheidung wurde auf die nach Bodenkarte 1:50.000 differenzierende räumliche Verbreitung der Bodenartengruppen sowie auf die feldbodenkundlich aufgenommenen Protokolle zurückgegriffen.

Tabelle 5: Zuordnungswerte nach VwV_{Boden} 2007

Parameter	Einheit	Zuordnungswerte								
		Z0 Sand	Z0 Lehm/Schluff	Z0 Ton	Z0* IIIA	Z0*	Z1.1	Z1.2	Z2	
pH-Wert ¹		6,5-9,5						6-12	5,5-12	
Leitfähigkeit ¹	µS/cm	250						1500	2000	
Chlorid	mg/l	30						50	100	
Sulfat ²	mg/l	50						100	150	
Arsen	mg/kg TS	10	15	20	15/20 ³		45		150	
	µg/l	–	–	–	14		20		60	
Blei	mg/kg TS	40	70	100	100	140	210		700	
	µg/l	–	–	–	40		80		200	
Cadmium	mg/kg TS	0,4	1,0	1,5	1,0		3,0		10	
	µg/l	–	–	–	1,5		3		6	
Chrom (gesamt)	mg/kg TS	30	60	100	100	120	180		600	
	µg/l	–	–	–	12,5		25		60	
Kupfer	mg/kg TS	20	40	60	60	80	120		400	
	µg/l	–	–	–	20		60		100	
Nickel	mg/kg TS	15	50	70	70	100	150		500	
	µg/l	–	–	–	15		20		70	
Thallium	mg/kg TS	0,4	0,7	1,0	0,7		2,1		7	
	µg/l	–	–	–	–	–	–	–	–	
Quecksilber	mg/kg TS	0,1	0,5	1,0	1,0		1,5		5	
	µg/l	–	–	–	0,5		1		2	
Zink	mg/kg TS	60	150	200	200	300	450		1500	
	µg/l	–	–	–	150		200		600	
Cyanide, gesamt	mg/kg TS	–	–	–	–	–	3		10	
	µg/l	5						10		20
EOX	mg/kg TS	1	1	1	1		3		10	
Kohlenwasserstoffe ⁴	mg/kg TS	100	100	100	100	200 (400)	300 (600)		1000 (2000)	
BTX	mg/kg TS	1	1	1	1		1		1	
LHKW	mg/kg TS	1	1	1	1		1		1	
PCB ₆	mg/kg TS	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,15		0,5	
PAK ₁₆	mg/kg TS	3	3	3	3		3	9	30	
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6	0,9		3	
Phenolindex	µg/l	20						40		100

¹ Eine Überschreitung dieser Parameter allein ist kein Ausschlusskriterium.

² Auf die Öffnungsklausel in Nr. 6.3 wird besonders hingewiesen. Bei großflächigen Verwertungen von Bodenmaterialien mit mehr als 20 mg/l Sulfat im Eluat sind in Gebieten ohne geogen erhöhte Sulfatgehalte im Grundwasser grundwassereinzugsbezogene Frachtbetrachtungen anzustellen.

³ Der Wert 15 mg/kg gilt für Bodenmaterial der Bodenarten Sand und Lehm/Schluff. Für Bodenmaterial der Bodenart Ton gilt 20 mg/kg.

⁴ Die angegebenen Zuordnungswerte ohne Klammer gelten für Kohlenwasserstoffverbindungen mit einer Kettenlänge von C10 bis C22, diejenigen in der Klammer für Kohlenwasserstoffverbindungen mit einer Kettenlänge von C10 bis C40

6 Ergebnisse

6.1 Bodenkartierung

Im Bereich des neuen Freiburger Stadtteils Dietenbach sind vorwiegend schluffig-lehmige und lehmig-sandige Substrate kartiert worden. Die Bohrpunkte wiesen teilweise auendynamische Merkmale auf und sind allesamt carbonatfrei.

Der Bodenaufbau auf dem gesamten Dietenbachgelände ist vorwiegend durch einen Horizontaufbau Ah/Ap - M - IC gekennzeichnet.

Ah/Ap (Oberboden): Natürliches Substrat mit teils hohem Steingehalt. Der Ap-Horizont wird ackerbaulich regelmäßig bearbeitet, ist im Dietenbachgelände mittel bis vorwiegend stark humos und zwischen 30-40cm mächtig. Hingegen weisen die Grünlandstandorte mit Ah-Horizont nur Mächtigkeiten von 10-15cm auf.

M-Horizont (Unterboden): Natürliches Substrat, mittel bis schwach humos, in unterschiedlichsten Ausprägungen von 20-70cm, teilweise in Kombination mit einem Go, Gr oder Bv, schluffig-lehmige Substrate, teilweise sehr steinreich.

Gor/Gro (Unterboden/Untergrund): Natürliches Substrat, humusfrei, grundwasserbeeinflusst, kein aktueller Wasseraustritt am Bohrstock (bis 1m), Sand und teilweise auch Kiesanteil, Letzterer nach unten hin zunehmend

IC (Unterboden/Untergrund): Natürliches Substrat, humusfrei, vorwiegend sandig, stellenweise sandig-lehmig, schwach bis mittel kiesig.

Die genauen Profilbeschriebe sowie -bilder sind Anhang 02 und 03 zu entnehmen. Generell ist zu beachten, dass die Bohrergebnisse nur punktuell den Bodenaufbau erfassen. Zwischen den einzelnen Aufschlusspunkten können abweichende Bodeneigenschaften insbesondere im Hinblick auf Schichtmächtigkeiten, Bodenarten, Grobbodenanteile, Anteile bodenfremder Substrate und Humusgehalte nicht ausgeschlossen werden.

6.2 Allgemeine Bodenparameter

Neben der analytischen Bestimmung der Schadstoffgehalte wurden für die Bodenproben aus den eigenen Untersuchungen die pH-Werte und die Gehalte an organischem Kohlenstoff (TOC) mitbestimmt. Die Ergebnisse werden getrennt nach Hauptnutzung sowie Überschwemmungsgebietseinfluss (HQ100) betrachtet.

Analytischen Werten für die organischen Summenparameter, die nicht berechenbar waren („n.b.“), wurden für die statistische Auswertung der Wert Null zugewiesen. Für Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze wurde jeweils der Wert der halben Bestimmungsgrenze für die weitere Auswertung der Daten herangezogen. Beispiel: Chrom <1 µg/l wird zu 0,5 µg/l.

In den zusammengefassten folgenden Tabellen gingen die Oberboden-Mischbeprobungen MP1-MP12 (Ingenieurbüro Feldwisch), die Mischproben MP13+MP14 (Geosens) als auch die Analytik aus dem Solum-Bericht von 2016 ein.

Bei der deskriptiven Statistik der Stoffgehalte werden folgende Parameter angegeben:

- N = Anzahl der Bodenproben
- Min = Minimum
- Max = Maximum
- Mittel = arithmetisches Mittel
- 10. P = 10. Perzentilwert (das bedeutet, 10 % des Probenkollektives unterschreitet diesen Wert)
- Median = Median (= 50. Perzentilwert; (das bedeutet, 50 % des Probenkollektives unterschreitet diesen Wert)
- 90. P = 90. Perzentilwert (das bedeutet, 90 % des Probenkollektives unterschreitet diesen Wert)
- St.abw = Standardabweichung

6.2.1 pH-Werte

In Tabelle 6 sind die statistischen Kennwerte der pH-Werte für alle validen Bodenproben zusammengestellt. Des Weiteren werden die pH-Werte getrennt nach Hauptnutzung sowie Überschwemmungsgebiete betrachtet.

Der pH-Wert liegt im Mittel bei 6,0 und weist somit im Mittel leicht saure Böden aus. Zwischen Acker und Grünland sowie zwischen innerhalb und außerhalb des HQ100-Überschwemmungsgebietes sind keine unterschiedlichen pH-Wertsituationen erkennbar. Für die Mobilität der Schwermetalle spielt der pH-Wert eine bedeutende Rolle. So werden Schwermetalle bei deutlich sauren Böden unterhalb von pH 6 vermehrt mobil bzw. pflanzenverfügbar. Dies gilt insbesondere für Cadmium und Zink, in abgeschwächter Form auch für Blei und Nickel. Die durchschnittliche pH-Wertsituation deutet auf keine erhöhte Mobilisierung der Schwermetalle hin.

Tabelle 6: Statistische Kennwerte des pH

pH-Wert	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	60	4,4	7,8	6,0	5,5	5,8	6,7	0,6
Hauptnutzung								
Acker	26	5,4	7,4	6,1	5,4	6,1	6,8	0,6
Grünland	20	4,4	7,8	6,0	5,5	5,8	7,2	0,8
Acker/Grünland-Mix	14	5,5	6,4	5,8	5,5	5,8	6,2	0,3
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	23	5,5	7,4	6,0	5,5	5,6	6,9	0,6
außerhalb	14	4,4	6,1	5,8	5,7	5,8	6,1	0,4
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	5,4	7,8	6,1	5,4	5,8	6,5	0,7

6.2.2 Humusgehalte

Die Humusgehalte wurden aus den eigenen Untersuchungen durch Umrechnung der gemessenen TOC-Gehalte ermittelt (Humusgehalt = 1,72 x TOC). Der Tabelle 7 sind die statistischen Kennwerte der Humusgehalte zu entnehmen.

Tabelle 7: Statistische Kennwerte der Humusgehalte

Humusgehalt (Masse-%)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	63	2,6	6,7	3,5	2,9	3,3	4,9	0,9
Hauptnutzung								
Acker	32	2,6	6,0	3,6	3,0	3,3	4,9	0,8
Grünland	17	3,0	6,7	3,7	3,0	3,3	5,2	1,1
Acker/Grünland-Mix	14	2,6	4,6	3,1	2,6	2,9	4,2	0,7
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	24	2,6	6,7	3,8	2,9	3,0	5,6	1,2
außerhalb	16	3,0	5,2	3,5	3,0	3,3	4,8	0,8
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	2,6	4,0	3,3	2,6	3,3	4,0	0,5

Tabelle 8: Statistische Kennwerte der TOC-Gehalte

TOC (%)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	46	1,5	3,9	2,1	1,5	2,0	3,0	0,5
Hauptnutzung								
Acker	23	1,5	3,3	2,2	1,8	2,0	2,8	0,5
Grünland	9	1,9	3,9	2,5	1,9	2,6	3,2	0,7
Acker/Grünland-Mix	14	1,5	2,7	1,8	1,5	1,7	2,5	0,4
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	14	1,5	3,9	2,4	1,7	2,5	3,3	0,7
außerhalb	9	1,9	3,0	2,3	1,9	1,9	3,0	0,5
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	1,5	2,3	1,9	1,5	1,9	2,3	0,3

Die Humusgehalte schwanken zwischen 2,6 % und 6,7 %, der Medianwert liegt bei 3,3 % und ist in die Humusgehaltsklasse h3 nach KA5 einzustufen. Die Humusgehalte steigen erwartungsgemäß in der Reihenfolge Acker- zu Grünlandböden leicht an. Im Mittel weisen Ackerböden 3,6 % und Grünlandböden 3,7 % Humus auf.

6.3 Schadstoff-Parameter

6.3.1 Arsen

Für Arsen liegen insgesamt 74 valide Messwerte vor. Die Arsen-Feststoffgehalte schwanken zwischen 0,0 bis maximal 22,9 mg/kg, der Medianwert beträgt 13,8 mg/kg (Tabelle 9).

Die Auswertung der Arsen-Feststoffgehalte nach Einflussfaktoren lässt eine schwache Differenzierung der Messwerte erkennen. So zeichnen sich die Grünlandstandorte gegenüber den ackerbaulich genutzten Böden durch über 3 mg/kg höhere Gehalte aus. In ähnlicher Weise sind die Arsengehalte außerhalb von Überschwemmungsgebieten etwas höher als innerhalb.

Bei den Arsen-Eluatgehalten ist der Unterschied im Hinblick auf den Nutzungs- und Überschwemmungseinfluss nicht eindeutig, da die Schwankungen sehr hoch sind. Während die arithmetischen Mittelwerte geringfügig höhere Werte für Grünland und außerhalb der Überschwemmungsflächen andeuten, unterscheiden sich die jeweiligen Medianwerte kaum noch bzw. nicht. Insofern ist für die Arsen-Eluatwerte kein Nutzungs- und Überschwemmungseinfluss nachweisbar.

Tabelle 9: Statistische Kennwerte der Arsengehalte

Arsen (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	74	0,0	22,9	13,9	9,2	13,8	18,2	3,5
Hauptnutzung								
Acker	33	0,0	16,8	12,4	9,2	12,4	16,7	3,7
Grünland	27	8,6	22,9	16,1	12,1	17,3	18,2	3,0
Acker/Grünland-Mix	14	11,3	15,2	13,1	11,3	13,7	14,7	1,5
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	32	0,0	18,6	13,8	10,4	13,8	18,2	3,9
außerhalb	19	11,8	22,9	15,6	13,0	14,9	18,2	2,7
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	9,2	16,8	12,7	9,2	11,3	16,8	3,2

Arsen (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	74	0,0	50,0	1,5	0,0	0,5	2,0	5,7
Hauptnutzung								
Acker	33	0,0	50,0	2,3	0,0	0,5	2,0	8,6
Grünland	27	0,0	4,0	0,8	0,0	0,5	2,2	1,2
Acker/Grünland-Mix	14	0,5	1,0	0,9	0,7	1,0	1,0	0,2
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	32	0,0	4,0	0,6	0,0	0,5	1,0	0,8
außerhalb	19	0,0	50,0	3,5	0,0	1,0	4,0	11,3
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	0,5	2,0	1,2	0,5	1,0	2,0	0,5

Die räumliche Verteilung der Arsen-Feststoffgehalte ist Abbildung 9 zu entnehmen. Eine gewisse räumliche Differenzierung der Arsen-Feststoffgehalte ist zu erkennen. Im nord-östlichen Bereich sind tendenziell die etwas höheren As-Feststoffgehalte zu beobachten.

6.3.2 Cadmium

Für die Auswertung der Cadmiumgehalte standen insgesamt 74 Messwerte zur Verfügung.

Die Cadmiumgehalte (Feststoff und Eluat) der naturnahen Hauptnutzungen sowie der Einfluss des Überschwemmungsgebietes weisen keine charakteristischen Unterschiede untereinander auf. Die Cadmiumgehalte liegen unterhalb des BBodSchV-Vorsorgewertes bzw. des Z0-Wertes.

Tabelle 10: Statistische Kennwerte der Cadmiumgehalte

Cadmium (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	74	0,0	0,6	0,3	0,0	0,3	0,5	0,2
Hauptnutzung								
Acker	33	0,0	0,5	0,2	0,0	0,3	0,4	0,2
Grünland	27	0,0	0,6	0,3	0,0	0,4	0,5	0,2
Acker/Grünland-Mix	14	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	32	0,0	0,6	0,3	0,0	0,3	0,5	0,2
außerhalb	19	0,0	0,5	0,3	0,0	0,4	0,4	0,2
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1

Cadmium (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	74	0,0	10,0	0,2	0,0	0,2	0,2	1,1
Hauptnutzung								
Acker	33	0,0	10,0	0,4	0,0	0,2	0,2	1,7
Grünland	27	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,2	0,1
Acker/Grünland-Mix	14	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	32	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,2	0,1
außerhalb	19	0,0	10,0	0,6	0,0	0,2	0,2	2,3
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0

6.3.3 Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel und Thallium

Die Schadstoffgehalte von Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel und Thallium sind über das gesamte Untersuchungsgebiet sowohl im Hinblick auf die Feststoff- als auch Eluatgehalte als unauffällig einzustufen. Die Schadstoffgehalte liegen überwiegend unterhalb der zugehörigen BBodSchV-Vorsorgewerte (Feststoff) bzw. der jeweiligen Z0-Werte (Feststoff und Eluat). In den nachfolgenden Tabellen sind die statistischen Kennwerte der einzelnen Parameter aufgeführt.

Allen fünf Schadstoffen ist ein geringes Belastungsniveau gemeinsam. Die nach Einflussgrößen ausgewerteten statistischen Kennwerte differenzieren geringfügig zwischen den einzelnen Kategorien. Auch bei diesen Schadstoffen lässt sich keine Tendenz zur Schadstoffanreicherung mit steigender Überschwemmungshäufigkeit feststellen.

Tabelle 11: Statistische Kennwerte der Chromgehalte

Chrom (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	74	0,0	63,0	40,3	0,0	48,0	57,0	20,5
Hauptnutzung								
Acker	33	0,0	61,0	38,5	0,0	44,0	57,0	22,0
Grünland	27	0,0	63,0	38,8	0,0	49,0	56,8	23,7
Acker/Grünland-Mix	14	45,0	52,0	47,7	45,0	48,0	51,1	2,5
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	32	0,0	63,0	36,7	0,0	49,0	59,5	24,6
außerhalb	19	0,0	58,0	36,5	0,0	48,0	56,4	22,9
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	41,0	57,0	48,6	44,0	45,0	57,0	5,9

Chrom (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	0,5	2,0	0,7	0,5	0,5	2,0	0,5
Hauptnutzung								
Acker	23	0,5	2,0	1,0	0,5	0,5	2,0	0,7
Grünland	19	0,5	1,0	0,6	0,5	0,5	1,0	0,2
Acker/Grünland-Mix	14	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	0,5	2,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,3
außerhalb	12	0,5	1,0	0,6	0,5	0,5	1,0	0,2
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	0,5	2,0	0,9	0,5	0,5	2,0	0,7

Tabelle 12: Statistische Kennwerte der Kupfergehalte

Kupfer (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	74	3,4	41,0	24,2	16,6	23,9	33,0	8,4
Hauptnutzung								
Acker	33	3,4	37,0	22,7	14,9	22,0	32,0	8,7
Grünland	27	3,4	41,0	27,3	17,5	31,0	33,0	9,3
Acker/Grünland-Mix	14	18,0	29,0	21,9	18,0	21,0	27,5	3,9
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	32	3,4	41,0	23,8	3,4	23,9	36,8	11,4
außerhalb	19	16,5	33,0	25,0	17,7	24,0	33,0	5,9
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	18,0	32,0	24,1	18,0	22,0	32,0	5,2

Kupfer (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	2,5	13,0	8,4	2,5	10,0	12,0	3,2
Hauptnutzung								
Acker	23	2,5	12,0	8,8	7,0	9,0	12,0	2,4
Grünland	19	2,5	13,0	10,0	7,7	10,0	13,0	3,0
Acker/Grünland-Mix	14	2,5	10,0	5,5	2,5	5,0	10,0	3,1
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	2,5	12,0	7,5	2,5	9,0	10,0	3,4
außerhalb	12	9,0	13,0	11,1	9,1	10,0	13,0	1,7
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	2,5	12,0	7,8	5,0	7,0	12,0	3,0

Tabelle 13: Statistische Kennwerte der Quecksilbergehalte

Quecksilber (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	74	0,0	0,3	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1
Hauptnutzung								
Acker	33	0,0	0,3	0,1	0,0	0,2	0,2	0,1
Grünland	27	0,0	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1
Acker/Grünland-Mix	14	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	32	0,0	0,3	0,1	0,0	0,2	0,2	0,1
außerhalb	19	0,0	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,0

Quecksilber (µl)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Hauptnutzung								
Acker	23	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Grünland	19	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Acker/Grünland-Mix	14	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
außerhalb	12	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0

Tabelle 14: Statistische Kennwerte der Nickelgehalte

Nickel (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	74	0,0	31,0	19,1	0,0	22,5	28,0	10,6
Hauptnutzung								
Acker	33	0,0	31,0	17,6	0,0	22,0	28,0	11,6
Grünland	27	0,0	31,0	19,4	0,0	25,0	28,0	11,9
Acker/Grünland-Mix	14	20,0	26,0	22,1	20,0	22,0	25,1	2,1
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	32	0,0	31,0	17,4	0,0	23,0	28,9	12,5
außerhalb	19	0,0	28,0	16,6	0,0	23,0	27,2	11,8
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	20,0	28,0	23,6	20,0	22,0	28,0	3,3

Nickel (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	0,5	4,0	2,0	0,5	2,0	4,0	1,1
Hauptnutzung								
Acker	23	0,5	4,0	2,7	0,8	2,0	4,0	1,3
Grünland	19	0,5	2,0	1,7	0,9	2,0	2,0	0,6
Acker/Grünland-Mix	14	0,5	2,0	1,2	0,7	1,0	2,0	0,5
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	0,5	2,0	1,4	0,5	2,0	2,0	0,7
außerhalb	12	0,5	2,0	1,9	2,0	2,0	2,0	0,4
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	1,0	4,0	2,6	1,0	2,0	4,0	1,3

Tabelle 15: Statistische Kennwerte der Thalliumgehalte

Thalium (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	74	0,0	0,4	0,2	0,0	0,2	0,3	0,1
Hauptnutzung								
Acker	33	0,0	0,3	0,2	0,0	0,2	0,3	0,1
Grünland	27	0,0	0,4	0,2	0,0	0,3	0,3	0,1
Acker/Grünland-Mix	14	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	32	0,0	0,4	0,2	0,0	0,3	0,3	0,1
außerhalb	19	0,0	0,3	0,2	0,0	0,2	0,3	0,1
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,1

6.3.4 Blei

Für Blei liegen insgesamt 74 valide Messwerte vor. In der Grundgesamtheit schwanken die Blei-Feststoffgehalte zwischen 16 und 210 mg/kg, der Medianwert beträgt 130,1 mg/kg. 80 % der Messwerte liegen zwischen 44,0 und 160,9 mg/kg (10. bzw. 90. Perzentil). Insofern treten regelmäßig Überschreitung des Vorsorgewertes bzw. Z0-Wertes auf.

Tabelle 16: Statistische Kennwerte der Bleigehalte

Blei (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	74	16,0	210,0	115,5	44,0	130,1	160,9	46,8
Hauptnutzung								
Acker	33	16,0	210,0	99,0	59,0	90,0	150,0	42,4
Grünland	27	36,0	201,0	142,4	112,6	152,0	159,7	30,4
Acker/Grünland-Mix	14	40,0	180,0	102,3	40,0	74,0	180,0	61,8
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	32	16,0	210,0	122,3	74,0	132,1	158,0	45,5
außerhalb	19	36,0	180,0	139,7	98,5	141,0	180,0	37,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	40,0	154,0	85,9	40,0	65,0	150,0	42,8

Blei (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	74	0,0	50,0	6,4	0,0	5,0	11,0	7,1
Hauptnutzung								
Acker	33	0,0	50,0	6,4	0,0	4,0	11,0	8,9
Grünland	27	0,0	11,0	4,9	0,0	6,0	11,0	4,0
Acker/Grünland-Mix	14	3,0	19,0	9,0	3,0	5,0	19,0	7,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	32	0,0	15,0	4,9	0,0	5,0	10,0	4,4
außerhalb	19	0,0	50,0	9,7	0,0	4,0	19,0	12,2
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	3,0	11,0	5,6	3,0	6,0	11,0	3,0

Differenziert nach Einflussfaktoren treten geringfügig unterschiedliche Bleigehalte auf, die allerdings statistisch auf Grund des jeweils geringen Stichprobenumfangs als nicht signifikant einzustufen sind. Anhand des Medians zeichnen sich die Grünlandstandorte

gegenüber den ackerbaulich genutzten Böden durch höhere Feststoffgehalte aus. Dieser Unterschied spiegelt sich in den anderen statistischen Kennwerten nicht wider. Auch bei den Eluatgehalten sind keine eindeutigen Differenzierungen nach den Einflussfaktoren Nutzung und Überschwemmung aufgrund hoher Schwankungen zu erkennen.

Allerdings zeigt sich eine räumliche Differenzierung der Schadstoffsituation. Von Nordosten nach Südwesten nehmen die Blei-Feststoffgehalte der Oberböden ab (vgl. Abbildung 11).

6.3.5 Zink

Die Zink-Feststoffgehalte schwanken zwischen 74 und maximal 286 mg/kg. Für Zink liegen insgesamt 74 valide Messwerte vor.

Auch bei Zink sind keine eindeutigen Unterschiede zwischen den Hauptnutzungen zu erkennen.

Die Zink-Feststoffgehalte sind außerhalb des Überschwemmungsgebietes höher als innerhalb. Bei den Eluatgehalten sind die weisen Ackerböden und Böden außerhalb des Überschwemmungsgebietes vor allem höhere Maximalwerte auf Doch auch hier sind die Schwankungen zu stark, um signifikante Unterschiede zu erkennen.

Tabelle 17: Statistische Kennwerte der Zinkgehalte

Zink (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	74	74,0	286,0	182,3	112,0	182,0	241,4	52,0
Hauptnutzung								
Acker	33	74,0	259,0	164,3	120,0	163,0	237,0	49,7
Grünland	27	103,0	286,0	213,9	179,7	214,0	264,0	38,8
Acker/Grünland-Mix	14	112,0	233,0	163,6	112,0	131,0	233,0	54,7
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	32	74,0	286,0	187,3	125,1	197,4	242,0	55,4
außerhalb	19	103,0	264,0	208,0	173,1	214,0	258,3	39,8
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	112,0	225,0	154,0	112,0	121,0	225,0	44,8

Zink (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	74	0,0	250,0	12,6	0,0	7,5	20,0	29,1
Hauptnutzung								
Acker	33	0,0	250,0	14,5	0,0	5,0	20,0	42,8
Grünland	27	0,0	20,0	10,3	0,0	10,0	20,0	8,8
Acker/Grünland-Mix	14	5,0	40,0	12,5	5,0	10,0	31,0	11,9
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	32	0,0	40,0	10,0	0,0	5,0	20,0	11,1
außerhalb	19	0,0	250,0	21,5	0,0	10,0	20,0	55,8
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	5,0	20,0	8,9	5,0	5,0	20,0	5,6

6.3.6 Weitere Analyseergebnisse

Die Analyseergebnisse weiterer Parameter sind in den nachstehenden Tabellen aufgeführt. Alle Analyseergebnisse sind unauffällig und unterschreiten die Z0-Werte der VwV. Differenzierungen zwischen den Haupteinflussfaktoren Nutzung und Überschwemmung sind nicht oder im unbedeutenden Ausmaß vorhanden.

Bei folgenden Parametern liegen die Analysewerte generell unterhalb der Bestimmungsbzw. Nachweisgrenze:

- Cyanide, Eluatgehalte
- EOX
- Kohlenwasserstoffe
- BTX
- LHKW
- PCB

Tabelle 18: Statistische Kennwerte der Leitfähigkeit

Leitfähigkeit (µS/cm)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	19,0	88,0	49,8	33,0	44,0	88,0	19,0
Hauptnutzung								
Acker	23	35,0	72,0	47,3	37,0	39,0	72,0	13,9
Grünland	19	19,0	88,0	57,9	27,6	59,0	88,0	26,4
Acker/Grünland-Mix	14	33,0	65,0	43,1	33,0	44,0	58,7	10,7
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	22,0	88,0	59,2	35,0	51,0	88,0	23,6
außerhalb	12	19,0	59,0	45,8	36,0	44,0	59,0	11,9
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	30,0	72,0	43,3	33,0	39,0	72,0	14,4

Tabelle 19: Statistische Kennwerte der Chloridgehalte

Chlorid (mg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	0,5	3,1	1,1	0,5	0,5	2,8	0,9
Hauptnutzung								
Acker	23	0,5	3,1	1,2	0,5	1,2	3,1	1,0
Grünland	19	0,5	2,8	1,3	0,5	0,5	2,8	1,1
Acker/Grünland-Mix	14	0,5	1,5	0,6	0,5	0,5	1,2	0,4
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	0,5	2,8	1,5	0,5	1,4	2,8	1,0
außerhalb	12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	0,5	3,1	1,1	0,5	0,5	3,1	1,0

Tabelle 20: Statistische Kennwerte der Sulfatgehalte

Sulfat (mg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	0,5	4,7	2,5	0,5	2,8	4,0	1,4
Hauptnutzung								
Acker	23	0,5	4,7	3,3	0,6	3,9	4,7	1,4
Grünland	19	0,5	2,8	1,7	0,5	1,3	2,8	1,0
Acker/Grünland-Mix	14	0,5	3,1	2,1	0,7	2,6	3,1	1,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	0,5	4,6	2,0	0,5	2,6	2,8	1,3
außerhalb	12	0,5	1,3	1,1	0,5	1,2	1,3	0,3
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	2,2	4,7	3,6	2,8	3,9	4,7	0,8

Tabelle 21: Statistische Kennwerte der Cyanidgehalte

Cyanide (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	0,3	1,6	0,8	0,3	0,9	1,2	0,4
Hauptnutzung								
Acker	23	0,3	1,6	1,1	0,8	1,1	1,2	0,3
Grünland	19	0,3	1,2	0,4	0,3	0,3	1,0	0,3
Acker/Grünland-Mix	14	0,3	1,1	0,9	0,4	1,0	1,1	0,3
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	0,3	1,6	0,6	0,3	0,3	1,0	0,4
außerhalb	12	0,3	1,1	0,6	0,3	0,3	1,1	0,4
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	0,9	1,2	1,1	0,9	1,1	1,2	0,1

Cyanide (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,0
Hauptnutzung								
Acker	23	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,0
Grünland	19	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,0
Acker/Grünland-Mix	14	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,0
außerhalb	12	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,0

Tabelle 22: Statistische Kennwerte der EOX-Gehalte

EOX (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Hauptnutzung								
Acker	23	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Grünland	19	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Acker/Grünland-Mix	14	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
außerhalb	12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0

Tabelle 23: Statistische Kennwerte der Kohlenwasserstoffgehalte

Kohlenwasserstoffe (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0
Hauptnutzung								
Acker	23	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0
Grünland	19	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0
Acker/Grünland-Mix	14	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0
außerhalb	12	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0

Tabelle 24: Statistische Kennwerte der BTX-Gehalte

BTX (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hauptnutzung								
Acker	23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Grünland	19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Acker/Grünland-Mix	14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
außerhalb	12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 25: Statistische Kennwerte der LHKW-Gehalte

LHKW (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hauptnutzung								
Acker	23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Grünland	19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Acker/Grünland-Mix	14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
außerhalb	12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 26: Statistische Kennwerte der PCB-Gehalte

PCB (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hauptnutzung								
Acker	23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Grünland	19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Acker/Grünland-Mix	14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
außerhalb	12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 27: Statistische Kennwerte der PAK16-Gehalte

PAK16 (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	0,0	3,3	0,7	0,0	0,5	1,6	0,7
Hauptnutzung								
Acker	23	0,2	3,3	0,8	0,4	0,5	1,2	0,6
Grünland	19	0,0	2,1	1,0	0,0	1,1	1,6	0,7
Acker/Grünland-Mix	14	0,0	0,5	0,1	0,0	0,0	0,3	0,2
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	0,0	3,3	1,1	0,0	1,3	1,6	0,8
außerhalb	12	0,0	1,1	0,4	0,1	0,2	1,0	0,4
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	0,0	1,1	0,4	0,0	0,5	0,7	0,3

Tabelle 28: Statistische Kennwerte der Benzo(a)pyren-Gehalte

Benzo(a)pyren (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	0,0	0,3	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1
Hauptnutzung								
Acker	23	0,0	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Grünland	19	0,0	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1
Acker/Grünland-Mix	14	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	0,0	0,3	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1
außerhalb	12	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0

Tabelle 29: Statistische Kennwerte des Phenolinindex

Phenolinindex ($\mu\text{g/l}$)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	56	0,0	5,0	3,6	0,0	5,0	5,0	2,2
Hauptnutzung								
Acker	23	0,5	5,0	3,8	0,5	5,0	5,0	2,0
Grünland	19	0,0	5,0	2,4	0,0	0,0	5,0	2,6
Acker/Grünland-Mix	14	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	21	0,0	5,0	3,3	0,0	5,0	5,0	2,4
außerhalb	12	0,0	5,0	3,8	0,0	5,0	5,0	2,3
Innerhalb/außerhalb-Mix	23	0,5	5,0	3,8	0,5	5,0	5,0	2,0

6.4 Transekt-Schadstoffverteilung

Eine Abgrenzung der Schadstoffbelastung innerhalb eines Transekts, teilweise auch über die tieferen Bodenhorizonte bis 60 cm Tiefe, wurde vorgenommen, um für Fragestellungen des Bodenaushubs und Bodenumlagerungen der Schadstoffsituation ergänzende Informationen zur räumlichen Schadstoffverteilung zu erhalten.

Die Beurteilung der Schadstoffverteilung erfolgt anhand statistischer Kennwerte der zur Verfügung stehenden Bodendaten definierter Tiefenstufen. Bei Bodeneingriffen sollte im Dietenbachgelände das Bodenmanagement nach Maßgabe des (natürlichen) standörtlichen Bodenaufbaus und der Substrateigenschaften erfolgen. Bei Vollzugsfragen zur Wiederverwendung oder Entsorgung von Aushubbodenmaterial ist die Differenzierung der Schadstoffgehalte bedeutsam.

Der Transekt (Beprobungspunkte D5, 23, 22, 21 und D34, Letzterer leicht abweichend vom Transekt) wurde zur Veranschaulichung der Schadstoffverteilung zwischen den Fließgewässern Käser- und Dietenbach in südwest-nordöstlicher Richtung beprobt (siehe Abbildung 8).

In Tabelle 31 sind die statistischen Kennwerte der beprobten Bodenprofile aufgeführt. Der Transekt wurde ausschließlich auf Ackerflächen beprobt, so dass sich die statistische Auswertung nur auf die Nutzungsform Ackerland bezieht. Die Einzelbetrachtung zwischen den beiden Gewässern ist fachlich deshalb sinnvoll, da das Belastungsniveau bzw. die Belastungsmuster der überschwemmungsbürtigen Böden markante Unterschiede aufweisen können.

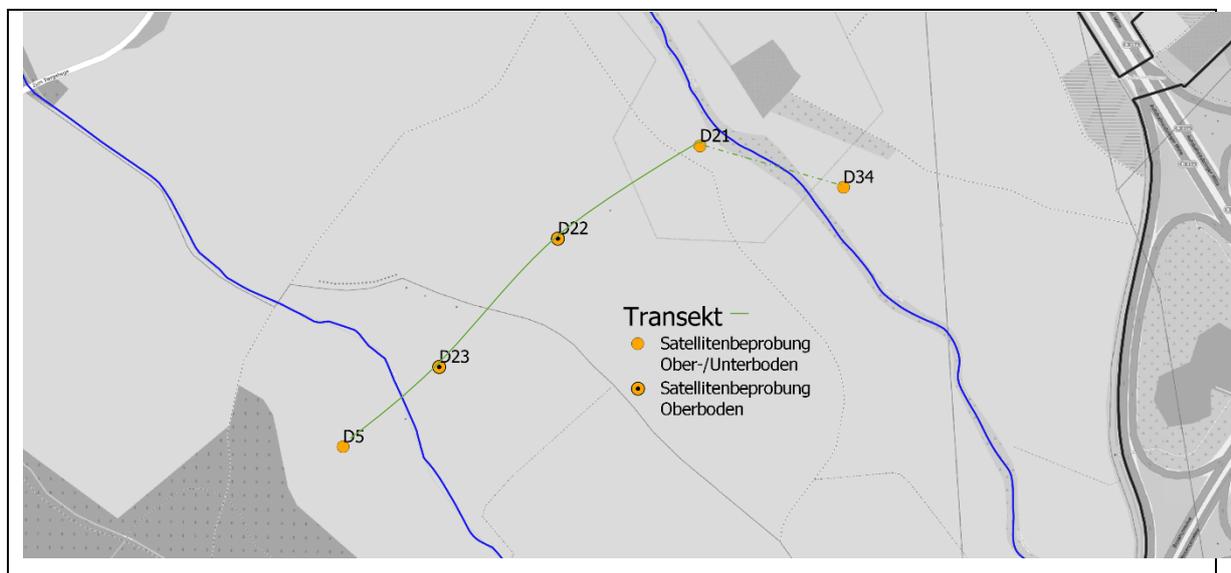


Abbildung 8: Transekt-Beprobungspunkte im Bebauungsgebiet Dietenbach

Die erste Tiefenstufe OBO umfasst die Gesamtheit aller validen Oberbodenproben entsprechend der Beprobungstiefe von ca. 0-30 cm. In der zweiten Tiefenstufe UBO wurden die Horizonte mit der Bezugstiefe von ca. 30-60 cm zusammengefasst.

Der mittlere pH-Wert liegt tiefenübergreifend im vorwiegend neutralen, leicht sauren Bereich und zeigt eine gute Pufferung der Böden über die gesamte Beprobungstiefe an. Die aus den TOC-Gehalten berechneten Humusgehalte differieren über die Tiefenstufen. Eine tendenzielle Abnahme der Humusgehalte mit der Tiefe ist festzustellen. Die Oberboden-Beprobungsschicht ist als stark humos und die untere als schwach humos einzuordnen.

Erfahrungsgemäß kann eine positive Korrelation zwischen Humusgehalt und Schadstoffgehalt angenommen werden, so dass mit abnehmenden Humusgehalten auch von einer Abnahme der Schadstoffbelastung ausgegangen werden kann. Dieser Zusammenhang lässt sich anhand der deskriptiven Statistik für die meisten Parameter feststellen. Geringfügige Abweichungen sind bei den Schadstoffgehalten Arsen, Chrom und Nickel vorzufinden. Eine tendenzielle Abnahme der Bleigehalte über die beprobten Profiltiefen ist mit der Tiefe zu erkennen.

Generell differieren die Überflutungstiefen zwischen den zwei Gewässern nicht in besonderem Maße (siehe Tabelle 30), Überflutungstiefen nach HQ100). Die Überflutungstiefen nehmen von Westen nach Osten des Transekts zu und flachen östlich des Dietenbachs stark ab (allerdings ist anzumerken, dass der Punkt D34 nicht mehr ganz in der Linie des Transekts liegt).

Tabelle 30: Überflutungstiefen im Transekt der Satellitenbeprobungen

Beprobungsnummer	D5	D23	D22	D21	D34
Überflutungstiefe [m]	0,052	0,077	0,087	0,095	0,02
	Käserbach				Dietenbach

Die Schadstoffgehalte der Bodenprofile in unmittelbarer Gewässernähe sind leicht erhöht, entgegen der Erwartung aber nicht generell höher als bei weiter entfernt liegenden Bodenprofilen. Sowohl die Arsengehalte des Oberbodens als auch die Zink-, Kupfer- und Nickelwerte in Gewässernähe sind leicht erhöht. Das Schwermetall Blei nimmt vom Käser zum Dietenbach stetig zu und erreicht um den Dietenbach vergleichsweise hohe Schadstoffgehalte im Feststoff (143 bis 210 mg/kg TS).

Aufgrund der hier dargestellten Heterogenitäten lassen sich keine Erklärungsmuster für das Schadstoffprofil ableiten. Die Bodenprofile sind der räumlichen und zeitlichen Dynamik der Überschwemmungsprozesse ausgesetzt. Dennoch ist um die Gewässer und insbesondere um den Dietenbach mit erhöhten Schadstoffbelastungen zu rechnen.

Tabelle 31: Statistische Kennwerte der Transekt-Beprobungspunkte

Parameter	Einheit	Beprobung	N	Min	Max	Mittel	10.p	Median	90.p	St.abw.
pH-Wert	-	OBO	5	5,0	7,4	6,1	5,6	6,1	7,1	0,7
pH-Wert	-	UBO	3	3,0	7,5	5,8	6,2	6,5	7,3	0,6
Humus	%	OBO	5	2,6	5,7	4,5	2,9	5,0	5,6	1,2
Humus	%	UBO	3	1,5	1,9	1,8	1,6	1,9	1,9	0,2
Arsen	mg/kg TS	OBO	5	5,0	15,3	11,6	11,5	12,4	14,7	1,5
Arsen	mg/kg TS	UBO	3	12,6	14,9	13,5	12,7	13,1	14,5	1,0
Arsen	µg/l	OBO	5	0,5	5,0	1,7	0,5	1,0	1,6	0,5
Arsen	µg/l	UBO	3	1,0	2,0	1,7	1,2	2,0	2,0	0,5
Blei	mg/kg TS	OBO	5	5,0	210,0	98,3	74,8	82,0	183,2	53,1
Blei	mg/kg TS	UBO	3	43,0	157,0	92,3	49,8	77,0	141,0	47,8
Blei	µg/l	OBO	5	3,0	15,0	7,7	3,4	7,0	13,8	4,6
Blei	µg/l	UBO	3	5,0	9,0	7,7	5,8	9,0	9,0	1,9
Zink	mg/kg TS	OBO	5	5,0	259,0	158,0	139,8	163,0	251,4	50,8
Zink	mg/kg TS	UBO	3	141,0	191,0	158,3	141,4	143,0	181,4	23,1
Zink	µg/l	OBO	5	5,0	20,0	9,2	5,0	10,0	16,0	5,5
Zink	µg/l	UBO	3	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,0
PAK	mg/kg TS	OBO	5	0,2	5,0	1,7	0,2	0,4	2,3	1,2
PAK	mg/kg TS	UBO	3	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,3	0,2

Anmerkung:

Die Tiefenstufe OBO umfasst die erste Bodenschicht gemäß nutzungsorientierter Beprobungstiefen der BBodSchV.

OBO: ca. 0 - 30 cm

UBO: ca. 30 - 60 cm

7 Zusammenfassende Bewertung der Schadstoffgehalte

7.1 Überschreitung von Zuordnungswerten

Im Ergebnis der Schadstoffuntersuchungen im Dietenbachgelände liegen vereinzelt Überschreitungen der Zuordnungswerte Z0/Z0* für bodenähnliche Anwendungen gemäß Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums Baden-Württemberg 2007 (VwV BW 2007) vor (Tabelle 32). Die Analysen im Eluat zeigen keine Überschreitungen der Zuordnungswerte Z0/Z0*.

Tabelle 32: Probe-Analyseergebnisse mit Zuordnung \geq Z1 nach VwV BW 2007

Probe	Zuordnung nach VwV BW 2007	auslösende Parameter	Bemerkung
MP4	Z1	As, Pb	Geringe Überschreitungen im Feststoff
MP6	Z1	As	Geringe Überschreitung im Feststoff
MP7	Z1	As	Sehr geringe Überschreitung im Feststoff
MP8	Z1	Pb	Überschreitung im Feststoff
MP9	Z1	As, Pb	Geringe Überschreitungen im Feststoff
MP10	Z1	As	Geringe Überschreitungen im Feststoff
MP11	Z1	As, Pb	Geringe Überschreitungen im Feststoff
MP12	Z1	As, Pb	Sehr geringe Überschreitungen im Feststoff
MP13	Z1	As, Pb	Geringe Überschreitungen im Feststoff
MP14	Z1	As, Pb	Sehr geringe Überschreitungen im Feststoff
EP1-1	Z1	As	Sehr geringe Überschreitung im Feststoff
EP3-1	Z1, Z1.2	Pb, PAK	Sehr geringe Überschreitungen im Feststoff
EP6-1	Z1	Pb	Fast Z2 im Feststoff
EP6-2	Z1	Pb	Überschreitung im Feststoff
EP8	Z1	As, Pb	Geringe Überschreitungen im Feststoff
Sc2	Z1	As, Pb	Geringe Überschreitungen im Feststoff
Sc4	Z1	As	Geringe Überschreitungen im Feststoff
Sc5	Z1	As	Geringe Überschreitungen im Feststoff
Sc8	Z1	AS	Geringe Überschreitungen im Feststoff

Z1-Zuordnungswertüberschreitungen von Arsen und Blei im Oberboden sind vorwiegend zwischen dem Käser- und dem Dietenbach sowie dem östlichen Teil des Dietenbachs zu finden (siehe Abbildung 9 und Abbildung 10). Lediglich auf den Flächenanteilen westlich des

Käserbachs, mit Ausnahme der Satellitenbeprobung EP1-1, werden keine Zuordnungswerte $\geq Z1$ überschritten.

Die Bleigehalte nehmen stetig von West nach Ost zu und sind besonders in Gewässernähe des Dietenbachs hoch (Zuordnungswert Z1).

Bei Betrachtung der Arsen-Belastung sind drei Hotspots festzustellen: Einer im Schildkrötenkopf, ein weiterer anschließend im Nordosten rund um den Dietenbach und der dritte im Südosten zwischen Käser- und Dietenbach.

Für alle anderen untersuchten Schadstoffe wurden (mit Ausnahme der PAK-Analyse an der Messstelle EP3-1) keine Zuordnungswertüberschreitungen von Z0/Z0* festgestellt. An der Messstelle EP3-1 konnten bei der Bodenbeprobung keine organoleptischen Auffälligkeiten, welche den leicht erhöhten PAK-Gehalt erklären könnten, festgestellt werden. Die Zuordnungswerte aller Messstellen sind dem Anhang 04 zu entnehmen. Die Original-Analyseprotokolle Anhang 05.

In den Unterbodenuntersuchungen gibt es für Arsen eine leichte Überschreitung von Z1 im westlich vom Dietenbach gelegenen Bereich des Schildkrötenkopfes. Die Überschreitung tritt im Homogenbereich 3 des Dreisamschotters auf (vgl. Abbildung 10).

Eine deutliche Bleibelastung des Unterbodens im Z1-Bereich ist im östlichen Teil des Dietenbachgeländes zu finden. Im südlichen Bereich des Schildkrötenkopfes, westlich des Dietenbachs, wurde eine Bleiüberschreitung des Z1-Wertes im Feststoff des Homogenbereichs 3 / Dreisamschotter analysiert (vgl. Abbildung 12).

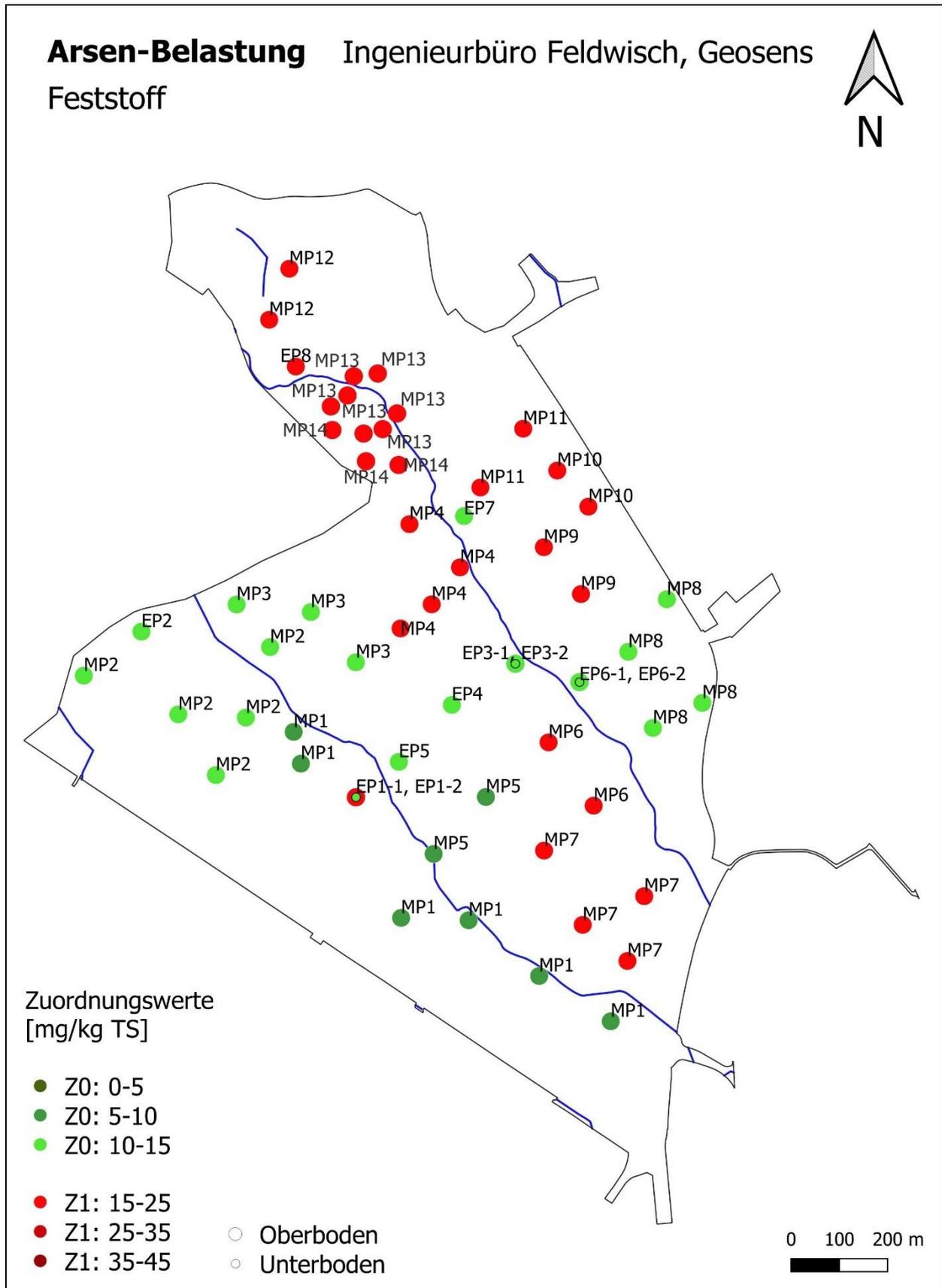


Abbildung 9: Arsen-Belastung der Oberböden im Dietenbachgelände, klassifiziert nach Zuordnungswerten VwV BW 2007

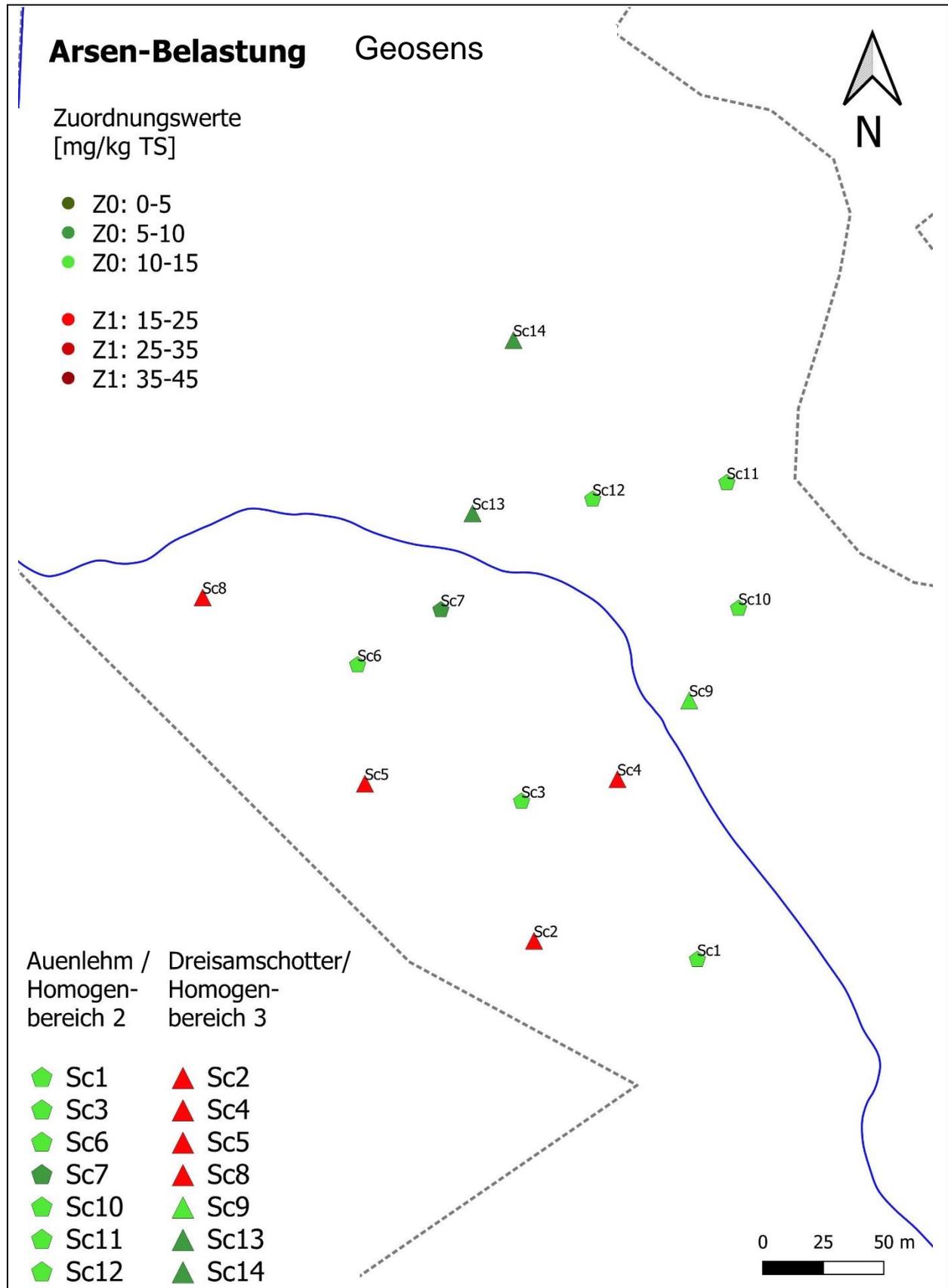


Abbildung 10: Arsen-Belastung der Unterböden des Schildkrötenkopfs, klassifiziert nach Zuordnungswerten VwV BW 2007. Bodenschürfe durch GEOsens GmbH

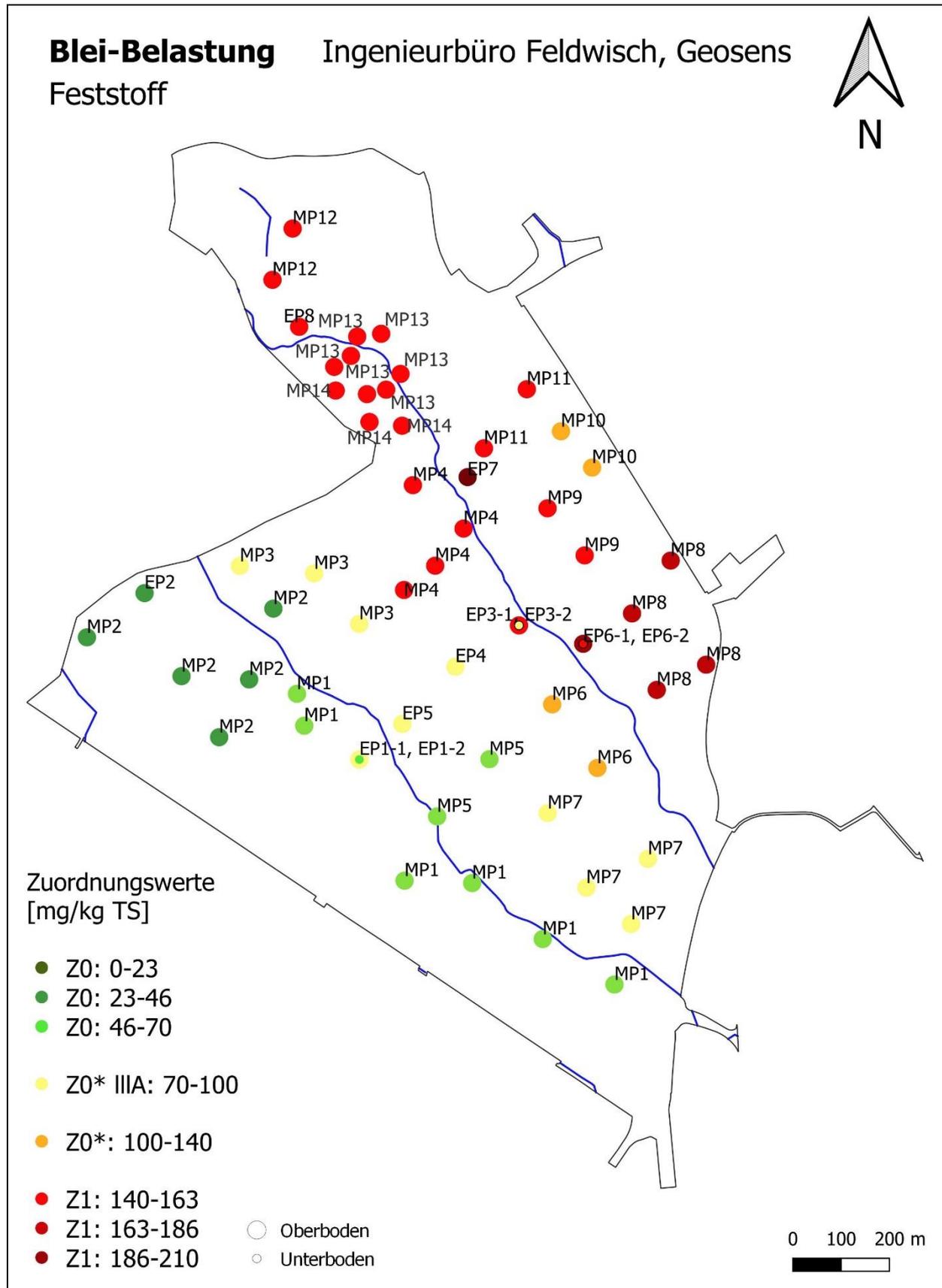


Abbildung 11: Blei-Belastung der Oberböden im Dietenbachgelände. Klassifiziert nach Zuordnungswerten VwV BW 2007

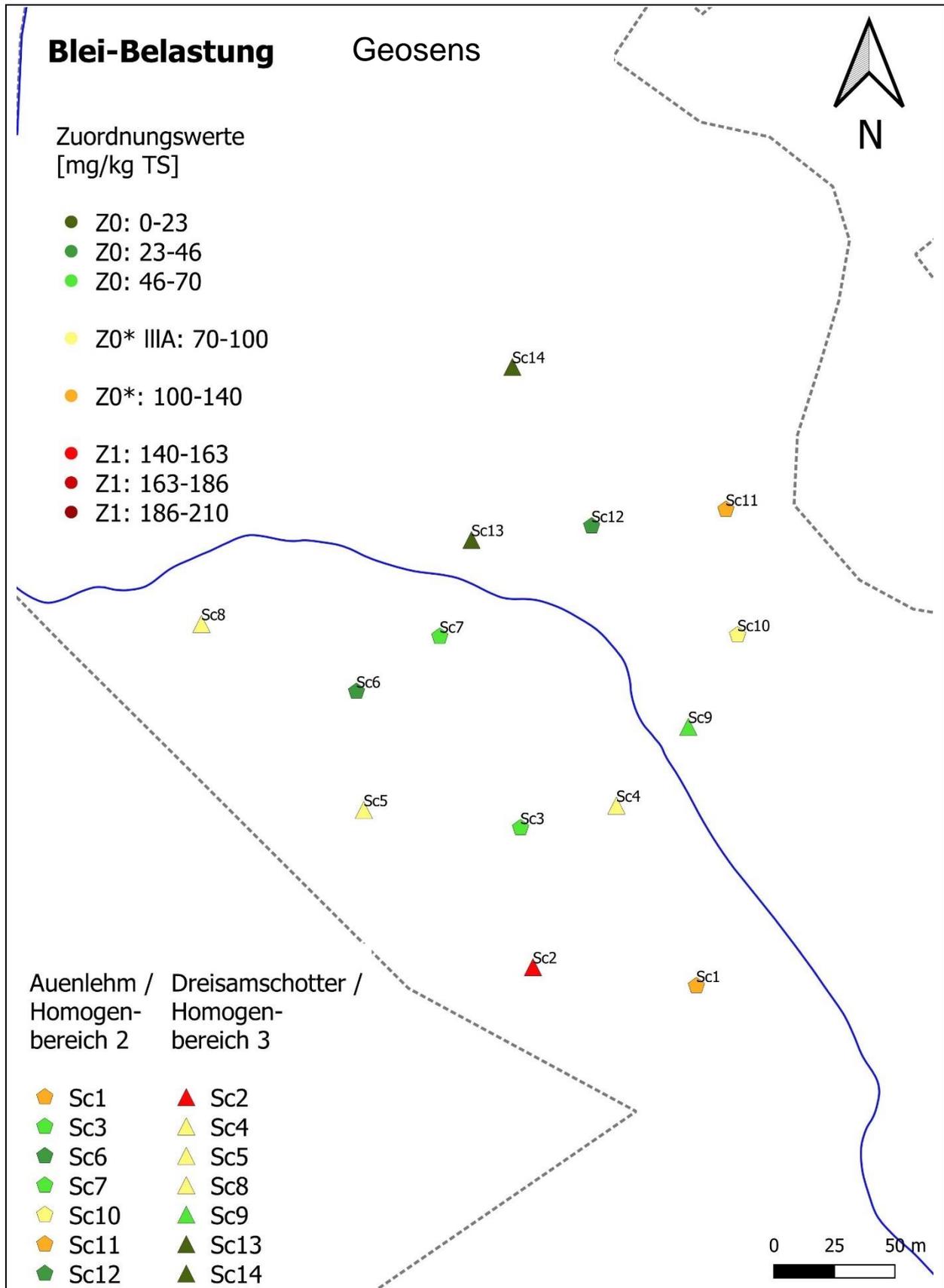


Abbildung 12: Blei-Belastung im Unterboden des Dietenbachgeländes, klassifiziert nach Zuordnungswerten VwV BW 2007. Bodenschürfe durch GEOsens GmbH

7.2 Vergleich der aktuellen Schadstoffanalysen 2021 mit anderen Untersuchungen

7.2.1 Baugrundgutachten von Roth & Partner 2015

Verglichen werden die durch das Ingenieurbüro Feldwisch und der Geosens GmbH im Jahr 2021 analysierten Schadstoffgehalte des Oberbodens mit den Oberboden-Beprobungen durch Roth & Partner im Jahr 2015. Roth & Partner führte drei Mischbeprobungen im Oberboden durch, wobei das gesamte Bebauungsgebiet in drei Teile unterteilt wurde (Norden, Mitte, Süden). Die Mischprobenbereiche können Abbildung 13 entnommen werden. Die weiteren Mischprobenanalyseergebnisse sind der Analytik-Tabelle im Anhang 06 zu entnehmen.

Der Vergleich wird auf die drei Parameter Arsen, Blei und Zink eingeschränkt, weil bei diesen Parametern im Rahmen der aktuellen Untersuchungen Überschreitungen der Z0-Werte festgestellt worden sind.

Durch das Ingenieurbüro Feldwisch und Geosens GmbH erfolgten 14 Mischproben, die sich durchschnittlich aus 3,4 Bohrpunkten zusammensetzten, sowie 8 Einzelbeprobungen im gesamten Bebauungsgebiet. Durch Roth & Partner wurden 3 Mischproben des Oberbodens analysiert mit im Mittel 8 Bohrpunkten je Mischprobe. Durch die großflächige Durchmischung der Proben ist ein Vergleich zwischen den aktuellen Ergebnissen aus 2021 und aus 2015 nur bedingt möglich.

Bei den Arsen-Feststoffgehalte zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Beprobungen. Während 2021 mit einem deutlich differenzierteren Messnetz ein sehr heterogeneres räumliches Verteilungsmuster mit Z0-Überschreitungen in Teilflächen offengelegt werden konnte, wurden 2015 keine Z0-Überschreitungen nachgewiesen (Abbildung 14 oben).

Das räumliche Verteilungsmuster der Blei-Feststoffgehalte der beiden Untersuchungsjahre ähnelt einander (Abbildung 14 unten): Im nordöstlichen Bereich weisen beide Untersuchungen erhöhte Bleigehalte aus. Allerdings zeigen die Messergebnisse aus 2021 eine größere räumliche Differenzierung der Bleigehalte auf.

Auch die Zink-Feststoffgehalte beider Untersuchungen zeigen eine grobe Ähnlichkeit mit erhöhten Gehalten im Nordwesten. Allerdings zeigen die Ergebnisse aus 2015 nicht die West-Ost-Differenzierung der Ergebnisse aus 2021 auf. Noch weniger vergleichbar sind die Zink-Eluatgehalte. Während die Zink-Eluatwerte 2021 alle bei einem mittleren pH-Wert von 6,3 unter 40 µg/l lagen, erreichen die Zink-Eluatwerte aus 2015 bei einem mittleren pH-Wert von 6,9 sogar Z2-Niveau (die Mischprobe MP3 wies dabei einen pH-Wert von 6,2 auf). Weder die Feststoffgehalte noch der pH-Wert-Status der Untersuchungen aus 2015 bieten Erklärungsansätze für den damals deutlich erhöhten Eluatwert der Mischprobe MP3.

Angesichts der umfangreicheren, räumlich differenzierteren und in sich schlüssigen aktuellen Ergebnissen aus 2021 wird das Bodenmanagementkonzept ohne die Analyseergebnisse aus 2015 aufgestellt. Die Ergebnisse aus 2015 sind räumlich nicht aussagekräftig genug und sind in Teilen nicht plausibel, namentlich bei den Zinkergebnissen, so dass sie für die räumliche Schadstoffabgrenzung im Kapitel 1 nicht weiter berücksichtigt werden.

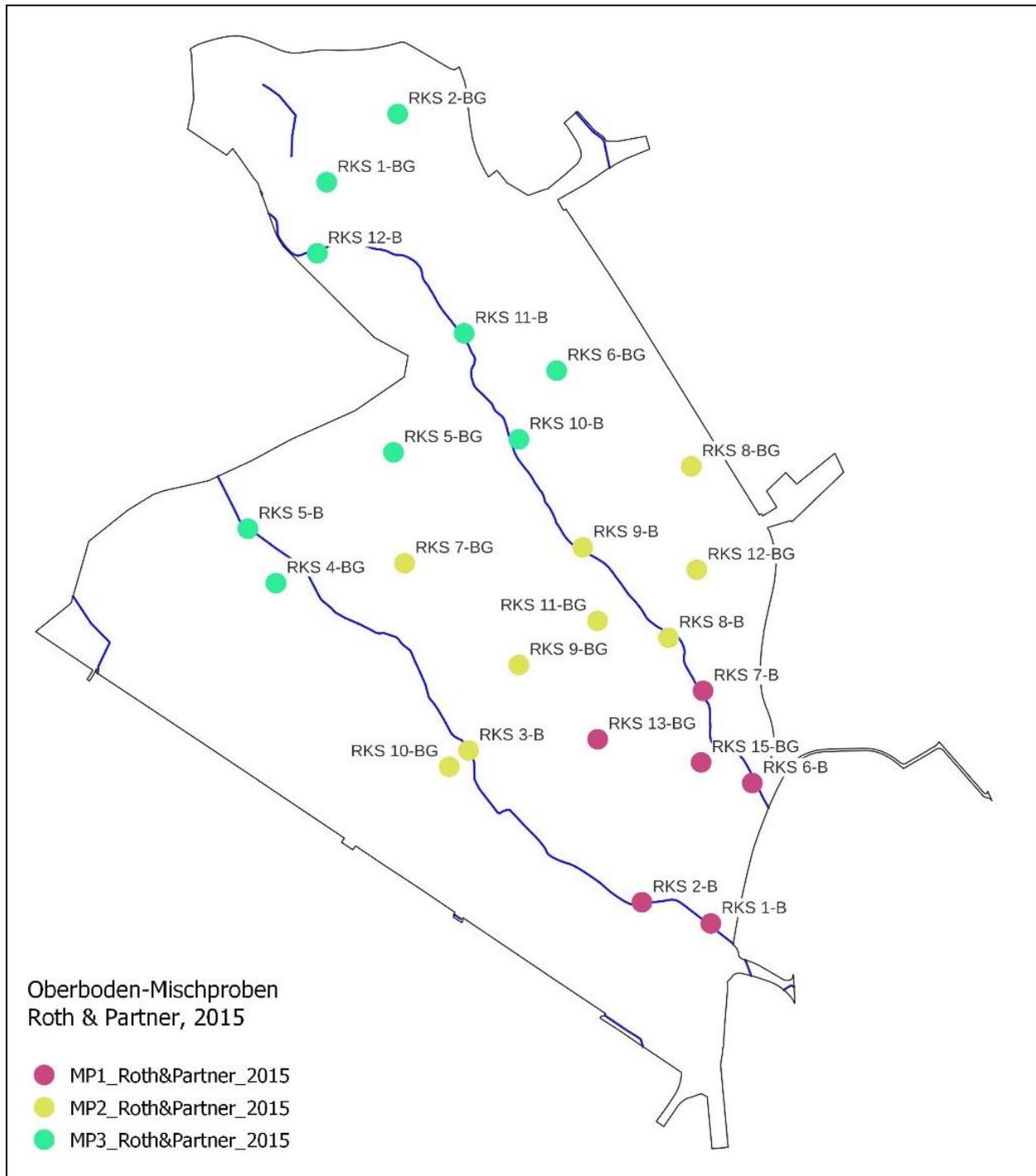


Abbildung 13: Oberboden-Beprobungspunkte Roth & Partner 2015

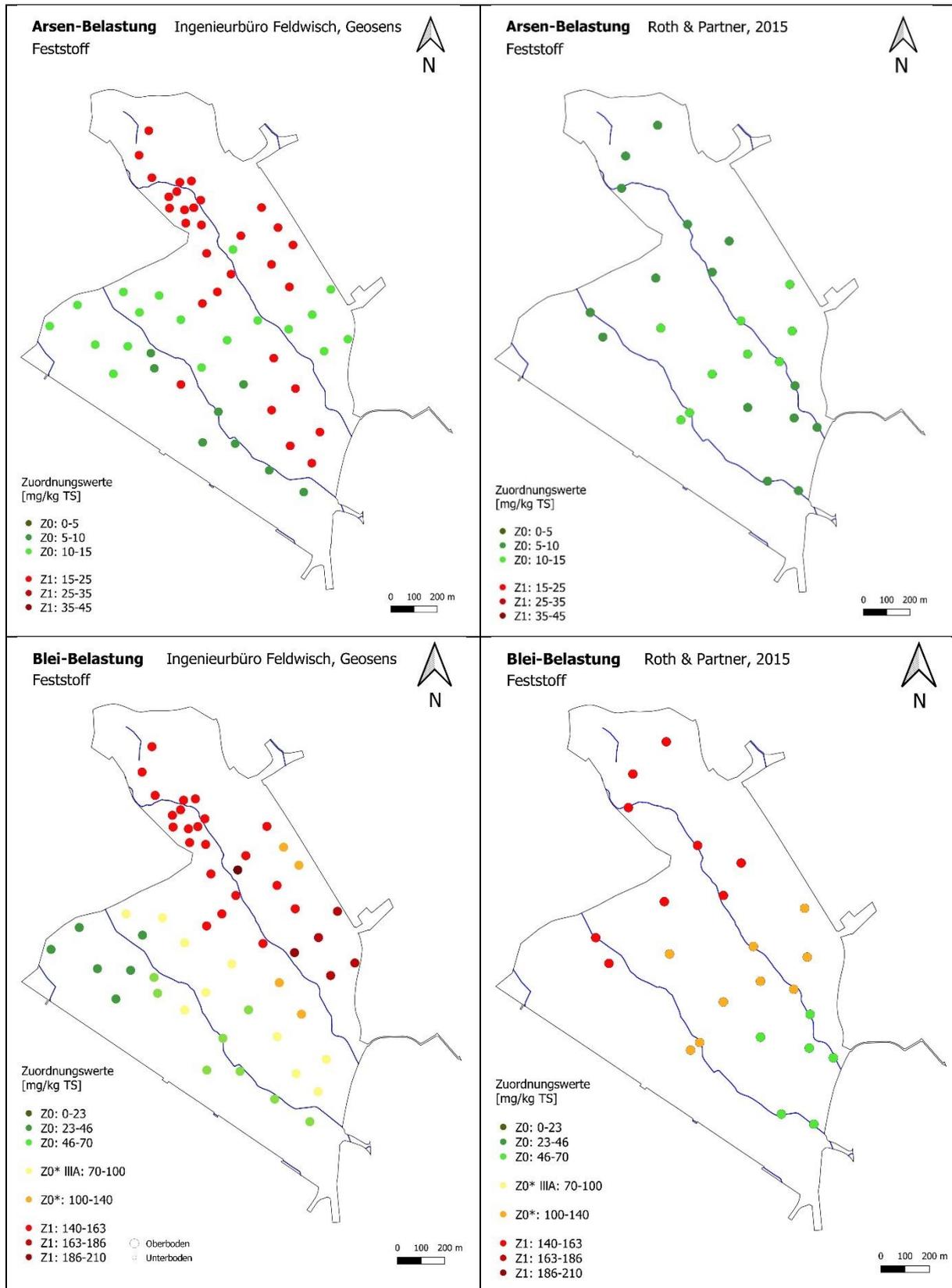


Abbildung 14: Vergleich der Arsen- und Blei-Feststoffgehalte in Oberböden nach Ingenieurbüro Feldwisch&Geosens 2021 (links) sowie Roth & Partner 2015 (rechts)

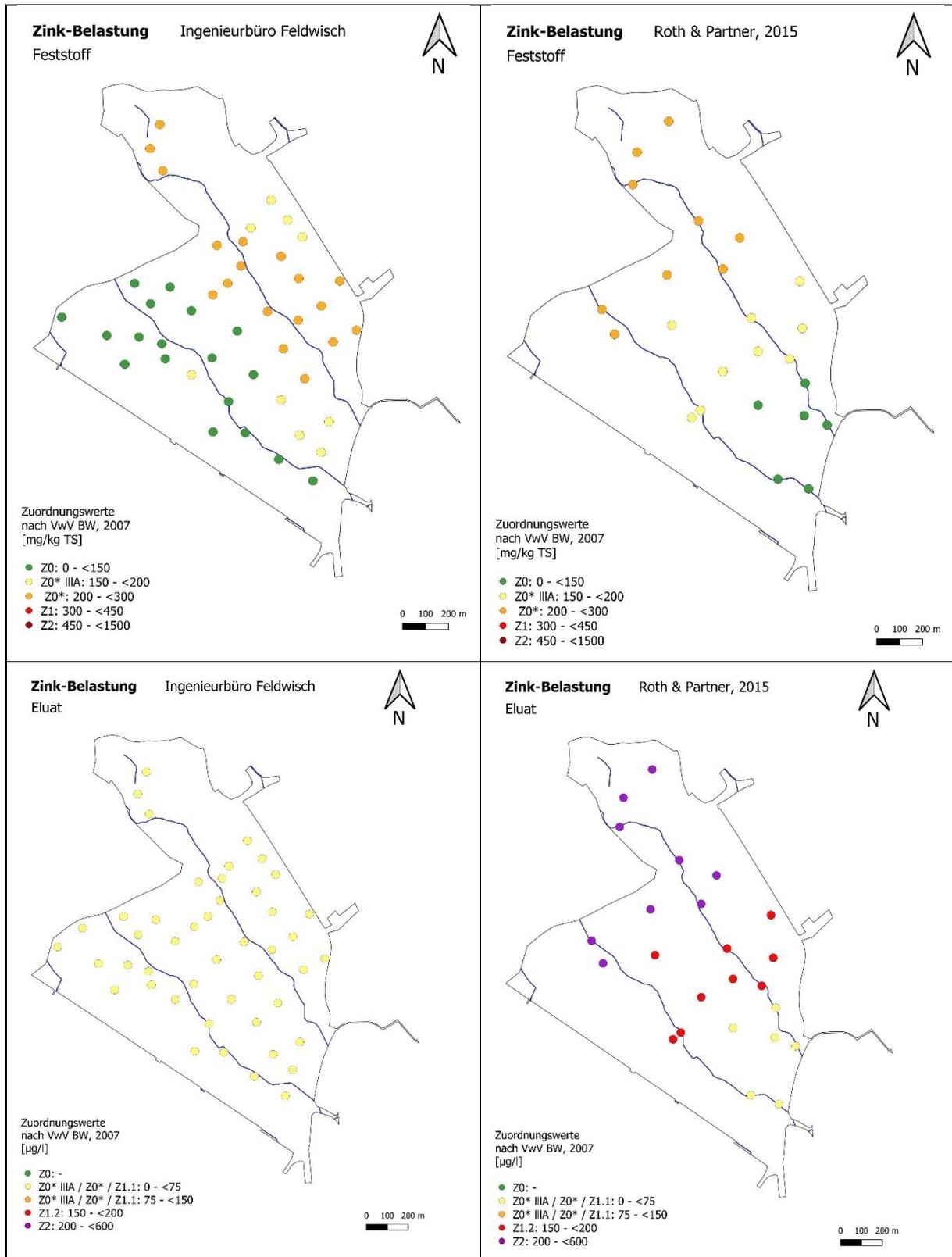


Abbildung 15: Vergleich der Zink-Feststoff- und Eluatgehalte in Oberböden nach Ingenieurbüro Feldwisch 2021 (links) sowie Roth & Partner 2015 (rechts)

7.2.2 Büro Solum 2016

Im Gutachten von Solum 2016 sind für den 1. BA 17 bzw. 18 Messwerte für die Elemente Arsen, Kupfer, Blei und Zink mit Hilfe der mobilen RFA-Messmethode ermittelt worden. Für die anderen Schwermetalle liegen keine oder nur vereinzelte Messwerte vor.

In den nachfolgenden Tabellen werden die Solum-Messwerte den Messwerten aus 2021 gegenübergestellt, um das Schadstoffniveau beider Messkampagnen miteinander zu vergleichen; der Vergleich bezieht sich nur auf die Elemente Arsen, Kupfer, Blei und Zink, weil für die anderen Elemente von Solum zu geringe Messwertanzahlen vorliegen. Beim Vergleich ist zu berücksichtigen, dass die Messwerte aus 2021 alle laboranalytisch im Königswasseraufschluss detektiert worden sind, mithin die Messverfahren voneinander abweichen.

Die Tabellenvergleiche der Messergebnisse machen deutlich, dass das Schadstoffniveau beider Messverfahren zu vergleichbaren Ergebnissen kommt. Die statistischen Kennwerte sind sehr oder nahezu ähnlich. Dies gilt namentlich für die relevanten Elemente Arsen, Blei und Zink, bei denen regelmäßige Vorsorgewertüberschreitungen auftreten. Für Arsen und Blei liegen auch Einstufungen in Z1 vor; insofern ist die Übereinstimmung insbesondere bei diesen beiden Elementen von großer vollzugspraktischer Bedeutung.

Lediglich bei Kupfer liegen die Solum-Messwerte systematisch unterhalb der Labor-Ergebnisse im Königswasseraufschluss. Die diagnostizierten Abweichungen sind vollzugspraktisch weniger bedeutsam, weil die Messwerte beider Probenkollektive regelmäßig kleiner als der Vorsorgewert sind.

Angesichts der guten Übereinstimmung der Messwerte beider Probenkollektive, insbesondere bei den vollzugrelevanten Arsen- und Bleigehalten, ist die gemeinsame statistische Auswertung bodenschutzfachlich vertretbar, wie sie in Kap. 6.3 vorgenommen worden ist.

Tabelle 33: Statistische Kennwerte der Arsengehalte

Arsen (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
IbF Gesamt 2021	48	9,2	18,6	14,0	11,1	13,9	16,7	2,4
Solum 2016	17	8,3	22,9	12,9	9,6	12,9	15,4	3,2

Tabelle 34: Statistische Kennwerte der Kupfergehalte

Kupfer (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
IbF Gesamt 2021	48	18,0	41,0	26,7	21,0	24,0	36,6	6,6
Solum 2016	18	3,4	23,7	14,4	3,4	17,2	20,8	7,1

Tabelle 35: Statistische Kennwerte der Bleigehalte

Blei (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
IbF Gesamt 2021	48	36,0	210,0	113,3	46,2	121,0	175,4	51,1
Solum 2016	18	16,0	177,2	112,8	48,2	125,0	157,7	41,8

Tabelle 36: Statistische Kennwerte der Zinkgehalte

Zink (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
IbF Gesamt 2021	48	103,0	286,0	186,9	120,2	191,0	263,0	55,7
Solum 2016	18	74,0	256,9	164,9	99,7	174,7	211,2	44,6

8 Bodenmanagementkonzept

Das Bodenmanagementkonzept basiert auf kalkulierten Bodenmassen unterschiedlicher Qualitäten, die im Plangebiet anstehen. Um die Bodenmassen kalkulieren zu können, müssen die Mächtigkeiten unterschiedlicher Bodenschichten sowie deren jeweilige Schadstoffklassifizierung bekannt sein. Weiterhin muss die Gebietskulisse festgelegt werden, für die eine Bilanzierung erstellt werden soll. Nachstehend sind die Ableitungsschritte dokumentiert.

8.1 Interpolierte Mächtigkeiten unterschiedlicher Bodenschichten

Um für das Gebiet eine flächenhafte Aussage der Bodenmassen treffen zu können, wurden die punktuellen Informationen der Bohrpunkte im Hinblick auf unterschiedliche Substratschichten in der Fläche interpoliert. Hierfür wurde in einem Geographischen Informationssystem die Inverse Distanz Wichtung zur Interpolation der räumlich voneinander abhängigen Daten genutzt. Für das Interpolationsverfahren wurden die Horizontangaben der kartierten Bodenprofile herangezogen (vgl. Abbildung 16).

Das Gebiet wurde in vier Schichten aufgeteilt:

- Schicht Nr. 1 spiegelt die Oberbodenhorizonte des Gebietes wider.
- Die Schichten 2, 3 und 4 sind nach Substrattypen in schluffige, lehmige und sandige/kiesige Schichten unterteilt.

Dieses Vorgehen stellt eine räumliche Näherung dar, wohl wissend, dass sich die realen Abgrenzungen der Bodeneinheiten nicht genau abbilden lassen und hier eine gewisse Unsicherheit bestehen bleibt.

Schicht 1 wurde während der Erstellung des Bodenmanagementkonzepts nochmal dahingehend angepasst, dass laut Begehungsprotokoll „Aufbringung von Oberboden (Gewann Hardacker) – Überprüfung der Auftragsausführung“ vom 16.04.2021 im Schildkrötenkopf (Flurstück-Nummern 1457-1469, Gemarkung Lehen) ein Oberbodenauftrag von 5 cm stattgefunden hat. Die Anpassung in Schicht 1 geht in die Massenbilanzrechnung mit ein, wird jedoch nicht in Abbildung 16 dargestellt.

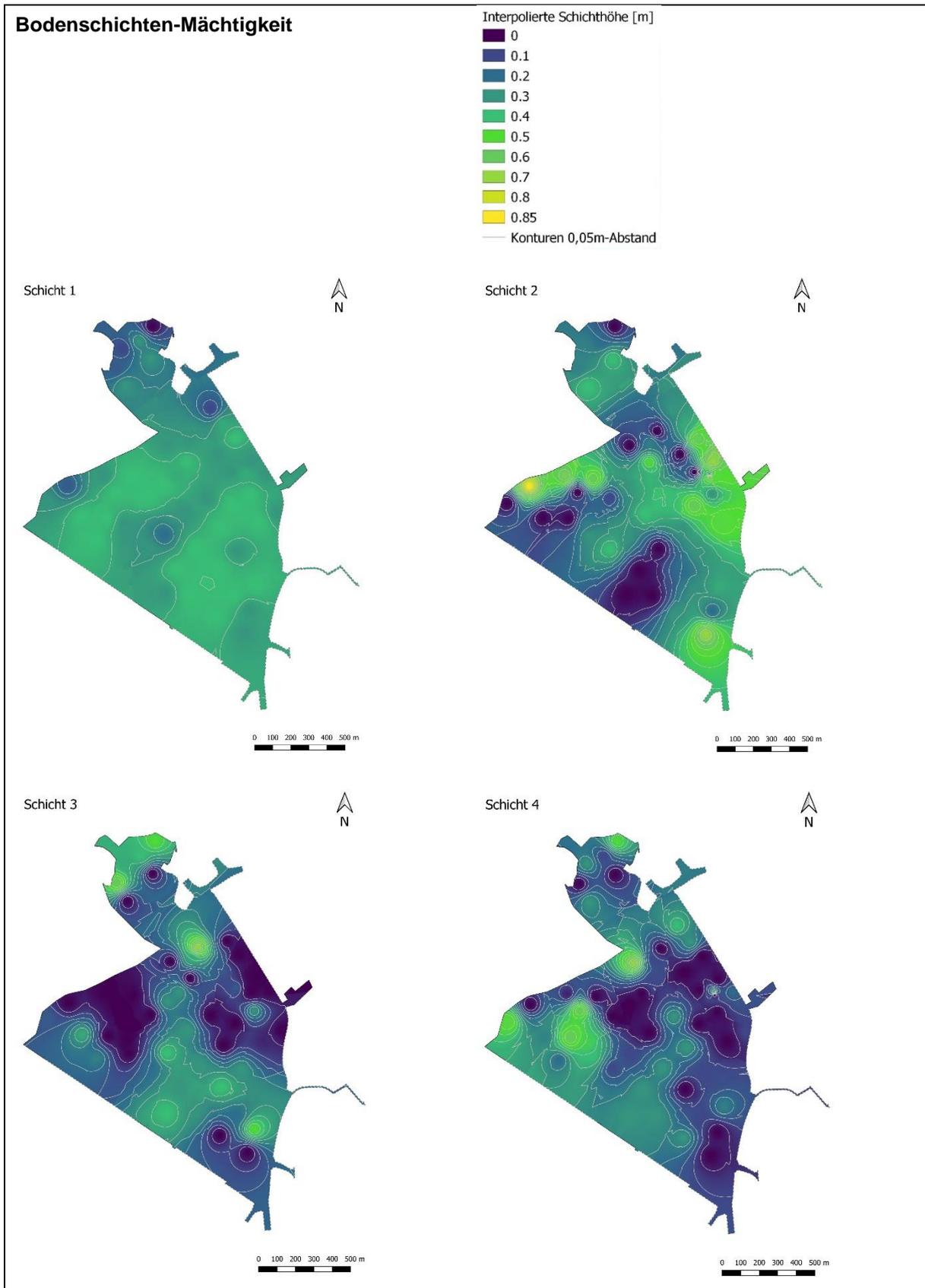


Abbildung 16: Interpolierte Mächtigkeiten der Bodenschichten im gesamten Bebauungsgebiet Dietenbach. Schicht 1: Oberbodenhorizonte; Schichten 2, 3 und 4 getrennt nach Substratgruppen Schluff, Lehm, Sand/Kies

8.2 Gebietskulisse

Im Bebauungsgebiet Dietenbach wurden für die Bilanzierung der Bodenmassen nur Flächen berücksichtigt, auf welchen eine Bodenbewegung stattfinden wird. Im Zuge der Bodenmassenbilanz für das Bodenmanagement werden folgende Flächen auf Grundlage des Bebauungsplans (Datensatz: 20210629 6-175 Bebauungsplan) nicht berücksichtigt (vgl. Abbildung 17):

- FFH-Gebiet
- Gesetzlich geschützte Biotope
- Schutzgebiete (ALKIS)

- Gewässerkorridor
- Fließgewässer (ALKIS)
- Untergeordnetes Gewässer (ALKIS)

- Gehölz (ALKIS)
- Wald (ALKIS)

- Gebäude (ALKIS)
- Sonstiges Bauwerk oder sonstige Einrichtung (ALKIS)
- Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche (ALKIS)
- Bauwerk im Verkehrsbereich (ALKIS)
- Platz (ALKIS)
- Straßenverkehr (ALKIS)
- Weg (ALKIS)

- Temporärer Mundenhof-Parkplatz, nordwestlicher Teil

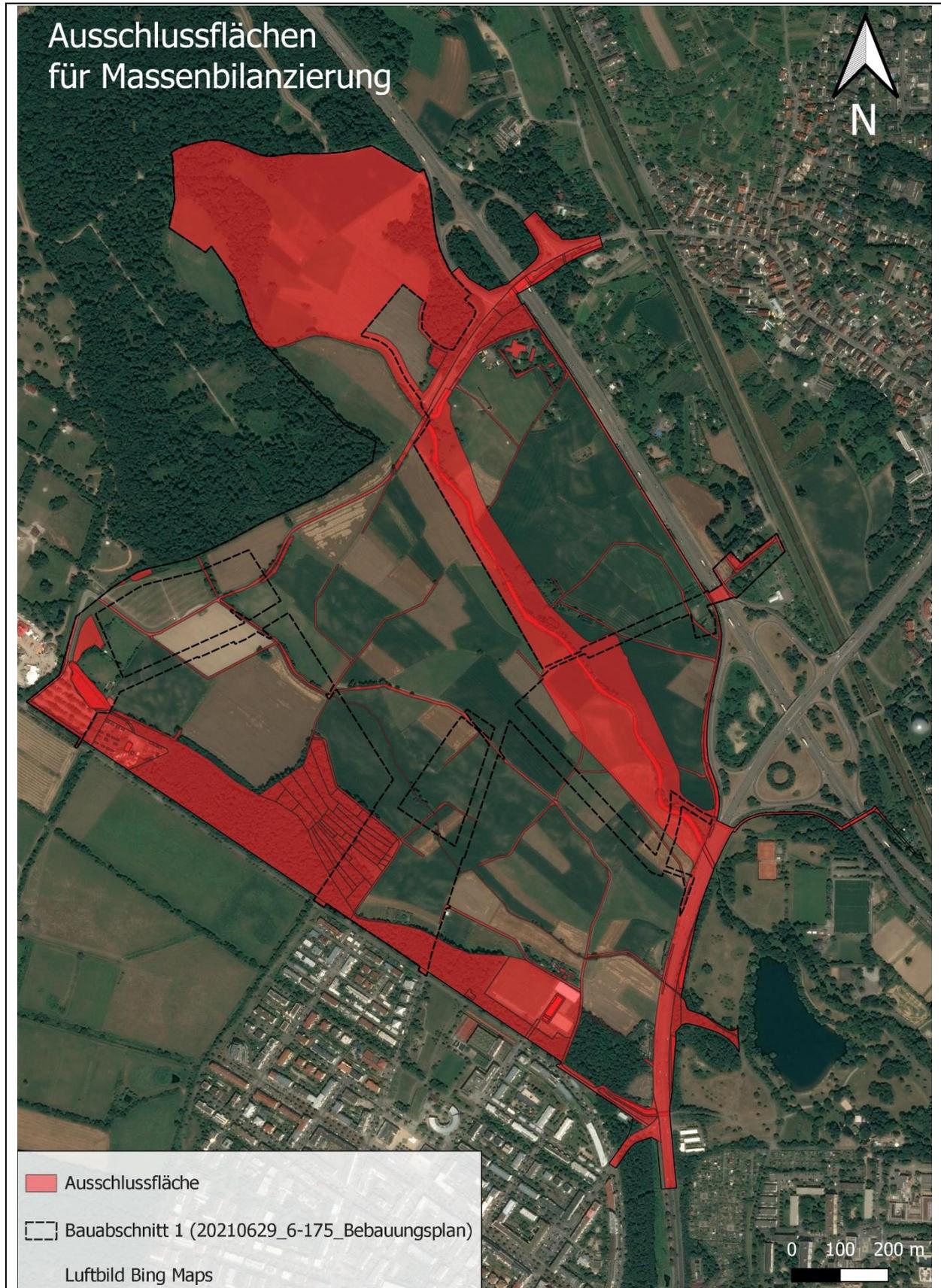


Abbildung 17: Gebietskulisse für Bodenmassenbilanzierung im gesamten Bebauungsgebiet Dietenbach

8.3 Schadstoffsituation

In die Ermittlung der Bodenmassen wird die räumlich differenzierte Schadstoffsituation einbezogen. Im Bauabschnitt 1 des Stadtteils Dietenbach sind vorwiegend Überschreitungen der Zuordnungswert von Arsen und Blei im östlichen und nördlichen Bereich des Gebietes vorzufinden (siehe Abbildung 18). Die Messstelle EP1 westlich des Käserbachs weist ebenfalls im Oberboden eine geringe Überschreitung von 0,3 mg/kg des Zuordnungswertes für Arsen auf (Z1). Da dies eine geringe Überschreitung darstellt und diese ebenfalls in den Bereich der Analytik-Unsicherheit fällt, wurde für die Volumenberechnung diese Messstelle nicht mit in den Z1-Bereich gerechnet.

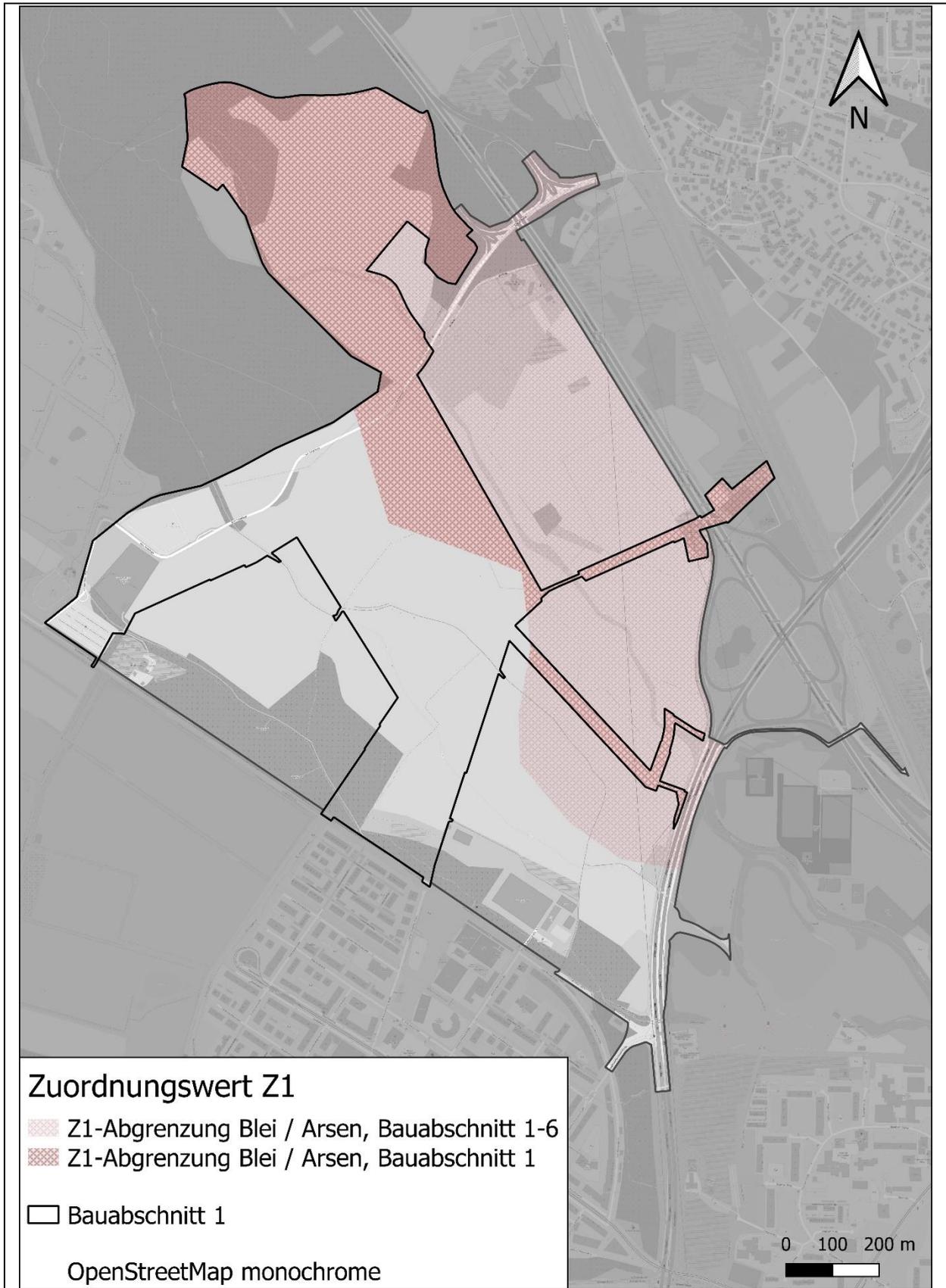


Abbildung 18: Abgrenzung des Bauabschnitts1 nach Zuordnungswert Z1

8.4 Bodenmassen-Berechnung

Die je Schicht berechneten Bodenmassen in Kubikmetern wurden durch die Berücksichtigung eines praxistypischen Auflockerungsfaktors von 1,3 dargestellt. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass beim Aushub des Bodens das Volumen zunimmt, was für die temporäre Zwischenlagerung und den Massentransport bedeutsam ist. Beim Wiedereinbau der Aushubmassen ist zum Erhalt des tatsächlichen Bodenvolumens der Auflockerungsfaktor wieder zurückzurechnen.

Tabelle 37 zeigt die Bodenmassen des gesamten Bauabschnitts 1 sowie der schadstoffanalytisch relevanten Fläche des Z1-Gebietes nach Abzug der in Kapitel 8.2 definierten Ausschlussflächen. In Tabelle 38 sind die entsprechenden Bodenmassen für die öffentlichen Flächen aufgezeigt.

Folgende Flächen sind nach Bebauungsplan mit Stand 29.06.2021 in Tabelle 38 eingegangen:

- Öffentliche Grünflächen
- Schul- und Gemeindeflächen
- Sportflächen
- Versickerungsbecken
- Öffentliche Verkehrsflächen (5m gepuffert)
- Baufelder MU3, MU4, MU5, MU9
- Splitterfläche/Keil Bauabschnitt 2

Tabelle 37: Schichtbezogene potenziell anfallende Bodenmassen im gesamten Bauabschnitt 1 des neuen Stadtteils Dietenbach abzüglich der definierten Ausschlussflächen

	Bauabschnitt 1 gesamt		Bauabschnitt 1 Z1-Gebiet
Fläche abzgl. Ausschlussfläche: 436.052 m ²		Fläche Z1 abzgl. Ausschlussfläche: 139.419 m ²	
Auflockerungsfaktor	1,3		1,3
Schicht bis 1m			
1 (Oberboden)	188.262 [m ³]		56.455 [m ³]
2 (Schluff-dominiert)	153.695 [m ³]		n.b.
3 (Lehm-dominiert)	95.917 [m ³]		n.b.
4 (Sand-dominiert)	112.854 [m ³]		n.b.

Tabelle 38: Schichtbezogene potenziell anfallende Bodenmassen der öffentlichen Flächen im Bauabschnitt 1 des neuen Stadtteils Dietenbach abzüglich der definierten Ausschlussflächen

	Bauabschnitt 1 öffentliche Fläche		Bauabschnitt 1 öffentliche Fläche Z1-Gebiet
Fläche abzgl. Ausschlussfläche: 342.607 m ²		Fläche Z1 abzgl. Ausschlussfläche: 133.544 m ²	
Auflockerungsfaktor	1,3		1,3
Schicht bis 1m			
1 (Oberboden)	130.573 [m ³]		51.453 [m ³]
2 (Schluff-dominiert)	104.179 [m ³]		n.b.
3 (Lehm-dominiert)	72.655 [m ³]		n.b.
4 (Sand-dominiert)	79.758 [m ³]		n.b.

8.5 Auswirkungsprognose

8.5.1 Differenzierung der Böden nach ihrer Verwendung

Die Bodenmassenbilanz gibt Auskunft über die Art und Menge des anfallenden Bodenmaterials. Um Kosten und Ressourcen zu sparen sowie das Vermeidungsgebot nach DIN 19731 zu befolgen, sollte Bodenaushub nach Möglichkeit auf der Bebauungsfläche belassen oder sinnvoll wiederverwendet werden (Massenausgleich). Der Bodenabtrag sollte zudem nur bei ausreichend abgetrockneten Böden durchgeführt werden, um schädlichen Bodenverdichtungen vorzubeugen, so dass eine flexible Zeitplanung notwendig ist.

Der anstehende Unterboden soll innerhalb des B-Plangebietes verbleiben und wird - wenn nötig - im Zuge von nötigen Geländeanpassungen im Gebiet umgelagert. Zudem ist geplant, dass externe Unterbodenmassen zur Geländeerhöhung zugefahren werden, damit die Bebauung dem Grund- und Hochwassereinfluss entzogen wird. Aus diesem Grund bezieht sich das Bodenmanagementkonzept auf den anfallenden Oberboden der öffentlichen Flächen (Tabelle 38), der zu einem erheblichen Anteil planextern verwertet werden muss.

Für den Bauabschnitt 1 des neuen Stadtteils Dietenbach ist von rund 130.573 m³ auszuhebenden Oberboden im aufgelockerten Zustand auszugehen (Tabelle 38).

In den Grünflächen B-Plangebietes können wiederum rund 30.525 m³ Oberboden < Z0 rückverdichtet eingebaut werden (Fläche der Grünflächen 41.110 m² außerhalb der Ausschlussflächen x Oberbodenauftrag rückverdichtet. Oberbodenauftragshöhe kann der Abbildung 19 entnommen werden).



Abbildung 19: Öffentliche Grünflächen im 1. BA zum Wiedereinbau von Oberboden

Im Versickerungsbecken am Schildkrötenkopf (siehe Abbildung 19) sowie im Regenbecken Mundenhof (war im Bebauungsplanentwurf, Stand 10.11.2021, der Grundlage für das Bodenmanagementkonzept war, noch nicht enthalten) kann ebenfalls ein Oberbodenauftrag erfolgen. Das einzubauende Bodenmaterial muss den hydraulischen Durchlässigkeitsanforderungen einer Versickerungsanlage genügen (vgl. Geosens GmbH 2021). Ein Beimischen von Kies oder Sand für eine verbesserte Versickerungsleistung ist ggf. erforderlich.

Die Auftragshöhe wurde wie folgt angesetzt:

Versickerungsanlage am Frohnholz

Die Versickerungsanlage umfasst ca. 2,9 ha Fläche. Ca. 2,2 ha davon werden als Versickerungsfläche genutzt; ca. 0,4 ha sind als Böschungskante ausgewiesen. Es wird eine belebte und bewachsene Oberbodenschicht von mindestens 30 cm eingebaut. Der Anteil der Beimischung zur Einhaltung des geforderten kf-Wertes auf der Versickerungsfläche kann derzeit noch nicht abschließend angegeben werden, daher wurde seitens des Eigenbetriebes Stadtentwässerung abgeschätzt, dass ca. 6150 m³ Z0-Bodenmaterial verbaut werden.

Regenbecken Mundenhof

Im Regenbecken Mundenhof wird ebenfalls eine Oberbodenauftragsschicht von 30 cm angenommen, so dass auf einer Fläche von 0,26 ha 585 m³ Z0-Material aufgetragen werden kann.

In Summe können in der Versickerungsanlage und im Regenbecken etwa 6.700 m³ Z0-Oberboden aufgetragen werden.

Das Oberbodenvolumen, welches intern wiederverwendet werden kann, muss bis zum Wiedereinbau im B-Plan-Gebiet so zwischengelagert werden, dass keine erheblichen Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen inklusive der Pflanzeigenschaften auftreten. Die Anforderungen an eine fachgerechte Zwischenlagerung des Oberbodens nach DIN 18915 und DIN 19639 sind einzuhalten. Falls der gesamte Oberboden zum Wiedereinbau auf den Grünflächen, in der Versickerungsanlage Frohnholz und im Regenbecken Mundenhof des 1. BA in einem Arbeitsschritt abgetragen und zwischengelagert werden soll, dann wird dafür eine ungefähre Flächendepotlagerfläche von ca. 32.262 m² benötigt (Annahmen: Auflockerungsfaktor 1,3, Flächendepothöhe 1,50 m).

Es verbleibt 30.728 m³ Oberboden < Z0 im aufgelockerten Zustand (Faktor 1,3 unterstellt), der als Überschuss einer planexternen Verwertung zugeführt werden muss. Auch hier ist die Qualität des Oberbodens zu erhalten; es gelten wiederum die Anforderungen nach DIN 18915 und DIN 19639. Falls der gesamte Oberboden zur planexternen Verwertung in einem Arbeitsschritt abgetragen und zwischengelagert werden soll, dann wird dafür eine ungefähre Flächendepotlagerfläche von ca. 20.500 m² benötigt (gleiche Kalkulations-Annahmen wie oben).

Vom gesamten auszuhebenden Oberboden weisen rund 51.450 m³ (inkl. Auflockerungsfaktor 1,3) erhöhte Schadstoffgehalte (>Z1) auf. Diese Oberböden sind für den Wiedereinbau im B-Plangebiet nicht geeignet und müssen insofern planextern einer geeigneten Verwertung zugeführt werden. Beim Bodenaushubmanagement ist auf eine Trennung der Oberböden mit erhöhten Schadstoffgehalten von stofflich unbelasteten Oberböden zu achten. Ist wiederum ein vollständiger Abtrag der stofflich belasteten Oberböden in einem Arbeitsgang geplant, dann muss dafür eine ungefähre Flächendepotlagerfläche von ca. 34.300 m² (gleiche Kalkulations-Annahmen wie oben) bereitgestellt werden, die räumlich eindeutig von den unbelasteten Oberbodenmieten zu trennen ist.

Für das Z0-Depot (grüne Fläche in Abbildung 20) würden sich potenzielle Zwischenlagerflächen im Westen (BA3) eignen. Die eingezeichnete potenzielle Fläche

umfasst 63.408 m², benötigt werden ca. 47.000 m². Um den Langmattenwald wurde für den Artenschutz ein 40 m breiter Puffer freigelassen.

Die roten Flächen im Südosten der Abbildung 20 eignen sich potenziell für die Lagerung des Z1-Materials. Die Flächen umfassen 37.713 m²; benötigt werden rund 34.000 m².

Beide potenziellen Depotlagerflächen wurden mit den Umweltplaner im Hinblick auf Artenschutzanforderungen abgestimmt.

Die dargestellten Flächen grenzen an Bestandswege, so dass die Transportlogistik prinzipiell auch über ein Einbahnstraßensystem realisiert werden kann; Details sind bei der Ausführungsplanung festzulegen. Eine Zuwegung zum Bauabschnitt 1 ist gewährleistet. Eine Ausdehnung der Flächen ist nach genannten Kriterien variabel anpassbar.

Potenzielle Verwertungsflächen für überschüssigen Oberboden sind in Kap. 9 dokumentiert.

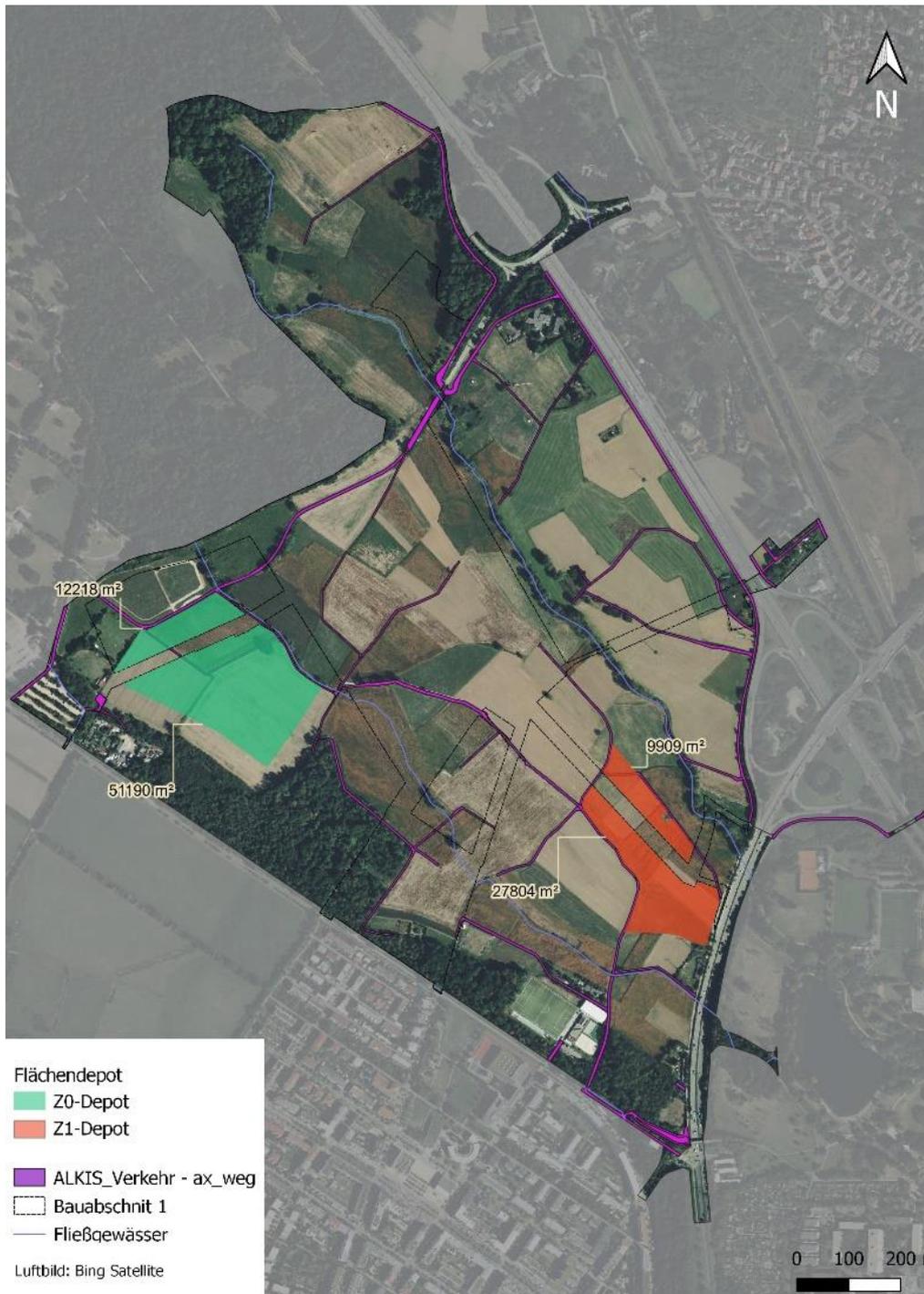


Abbildung 20: Potenzielle Depotflächen als Zwischenlager für den Oberbodenabtrag des BA1

8.5.2 Bodenschutzfachliche Hinweise zur Anlage eines Flächendepots

Bodenschutzfachlich sind Flächendepots im Vergleich zu Streifendepots durch eine geringere Luftzufuhr und schlechtere Abtrocknung gekennzeichnet. Das liegt an der geringeren Bodenoberflächen, es fehlen die seitlichen Flanken der Streifendepots. Damit besteht

potenziell eine höhere Vernässungsgefahr und in Folge ein Qualitätsverlust des zwischengelagerten Oberbodens. Um diesem Nachteil einzugrenzen, wird die Depothöhe auf 1,5 m begrenzt.

Vorteile des Flächendepots:

1. Weniger Flächen im Vergleich zu Streifendepots
2. Leichtere maschinelle Ansaat und Pflege der Begrünung

Ein Flächendepot ist im Streifenverfahren durch seitliches Aufsetzen ohne Befahrung durch Bagger oder erst recht nicht durch Transportfahrzeuge anzulegen. Im Regelfall muss der Antransport der Bodenmassen über befestigte Baustraßen im Einbahnstraßenverkehr erfolgen, damit a) zur einfachen logistischen Abwicklung Transportfahrzeuge mit großen Ladevolumen eingesetzt werden können und b) der anstehende Boden nicht zerfahren und schädlich verdichtet wird. Die Vorgehensweise dient gleichzeitig der Verfahrenssicherheit, damit Transportfahrzeuge sich bspw. nicht festfahren. Die Baustraße ist dann nach Aufsetzen eines Depotstreifens seitlich zu versetzen. Der Vorgang wird so lange wiederholt, bis das Flächendepot seine endgültige Größe erreicht hat. Das Einbahnstraßensystem macht die Erreichbarkeit der Depotfläche über Bestandswege (oder ergänzende Baustraßen) nötig; das ist bei der Auswahl der beiden Depotflächen (Abbildung 20) bedacht worden. Weiterhin sind Transportfahrzeuge mit Seitenkippvorrichtungen zu bevorzugen, damit kein rückwärtiges Runterfahren von der Baustraße zum Abkippen des Bodens nötig wird.

8.5.3 Bodenabtrag

Die bodenschutzfachlichen Anforderungen an den Abtrag des Oberbodens zielen auf die Erhaltung der natürlichen Bodenfunktionen und Pflanzeigenschaften ab. Dabei sind insbesondere erhebliche Verdichtungen und Vermischungen des Oberbodens mit Unterboden zu vermeiden.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, sind nachstehenden Maßnahmen umzusetzen:

- Der Abtrag des Oberbodens ist nur bei geeigneter, möglichst trockener Witterung durchgeführt werden. Bodenbefahrungen und Bodenbewegungen sind bis zu maximal steif-plastischer Konsistenz zulässig; nach ergiebigen Niederschlägen, bei Pfützenbildung oder weich-plastischer Konsistenz (Konsistenzklasse 4 und größer) sind dem Boden beeinträchtigende Arbeiten in Abstimmung zwischen BBB und der Bauleitung einzustellen.
- Im Rahmen der Ausführungsplanung sind Flächeneinteilungen, Befahrungsstrecken bzw. Baustraßen, geeignete Maschinenteknik und die Logistik des Oberbodenabtrags detailliert auszuarbeiten.
- Der Bodenaushub erfolgt ausschließlich mit Kettenbaggern mit möglichst breiten Laufwerken; der Einsatz schiebender Raupen ist nicht zulässig.
- Der spezifische Bodendruck der Baumaschinen, die auf dem ungeschützten Boden fahren, ist vorsorglich auf 0,8 kg/cm² zu begrenzen. Die ausführenden Baufirmen haben für den Maschineneinsatz eine Geräteliste mit Angabe der Gesamtmasse, der

Aufstandsfläche und den spezifischen Bodendruck vor dem Beginn der Erdarbeiten vorzulegen.

- Die Oberschicht ist vollständig in einem Arbeitsgang abzutragen. Eine Vermischung von Oberboden- und Unterbodenschichten ist zu vermeiden.
- Die Befahrung von Depotflächen oder deren Nutzung als Lagerfläche ist nicht zulässig.
- Eine Vermischung von Bodenmaterial mit Fremdmaterialien und Bauabfällen ist zu vermeiden. Eventuelle Fremdmaterialien sind rückstandslos zu entfernen.

8.5.4 Allgemeine Regelung zur Zwischenlagerung

Die Bodenfunktionen des zwischengelagerten Oberbodens müssen vor schädlichen Beeinträchtigungen geschützt werden. Insbesondere sind eine zu dichte Lagerung und eine damit einhergehende anaerobe Umsetzung der organischen Bodensubstanz (Fäulnisbildung), eine Vernässung und eine Verunkrautung während der Lagerungszeit zu vermeiden. Folgende Maßnahmen sind zu ergreifen:

- Die Böden sind gemäß DIN18915 und DIN19639 zu lagern. Weitergehende bodenschutzfachliche Hinweise zur bodenschonenden Zwischenlagerung können BUWAL (2006) und FaBo Zürich (2003) entnommen werden.
- Im Rahmen der Ausführungsplanung sind die Flächeneinteilung und das Befahrungskonzept im Bereich der Flächendepotlagerflächen inkl. Angabe der geeigneten Maschinenteknik detailliert auszuarbeiten.
- Flächendepots sollten nicht in Senkenlagen angelegt werden, um Schäden durch Staunässe vorzubeugen. Ein gegebenenfalls entstehender Wasserrückstau an den Depotflächen ist zu unterbinden bzw. abzuleiten.
- Der Oberboden wird auf einem maximal 1,50 m hohen separaten Depot gelagert. Die Bodendepotfläche ist allseitig zu profilieren sowie das Mietendepot durch Gefälle oder regelmäßige Gräben von überschüssigem Niederschlagswasser zu entwässern.
- Bei Zwischenlagerungen länger als 2 Monate sind die Flächendepots unmittelbar nach Aufsetzen aktiv zu begrünen, wenn die Witterung und Jahreszeit eine Begrünung zulassen. Die Begrünung ist mit der BBB abzustimmen und ist während der gesamten Depot-Zeit zu pflegen (Abmulchen, Nachsaat). Die Flächendepots sind von Verunkrautung freizuhalten (Mähen).
- Ansaat und Pflegearbeiten dürfen nur mit sehr bodenschonenden Fahrzeugen mit geringer Gesamtmasse und Bodenpressung erfolgen, damit die Flächendepots in möglichst lockerer Lagerung erhalten werden können. Details sind in der Ausführungsplanung festzulegen.

8.5.5 Zwischenlagerung Bodenmaterial des 1. BA

Die Zwischenlagerung der verschiedenen Bodenmaterialien kann in den Bauabschnitten 2 bis 4 erfolgen (siehe Anhang 07) und beruht auf folgenden Prämissen:

1. Räumliche Trennung der Zwischenlagerung der verschiedenen Bodenmaterialien (Z0, Z1), damit Verwechslungsgefahren während der Bauausführung möglichst vermieden werden.
2. Bodendepotflächen entlang von Bestandswegen, damit wilde Befahrungen der anstehenden Böden während des Antransportes des zwischenzulagernden Bodens vermieden werden; dieser Ansatz dient der Vermeidung schädlicher Verdichtungen und sonstiger Beeinträchtigungen der anstehenden Böden in den BA 2 bis 4.
3. Es empfiehlt sich, dass der Massentransport im Einbahnstraßen-System organisiert wird, um die Logistik bestmöglich zu organisieren.
4. Die Bodenmassen werden mit Raupenbaggern ohne Rückverdichtung aufgesetzt. Verschmieren der Bodenoberfläche ist zu vermeiden, damit die Ansaat einer Begrünungsmischung noch erfolgreich umgesetzt werden kann.
5. Die Lagerflächen sind unmittelbar nach dem Aufschütten mit geeigneten Saatmischungen zu begrünen. Bei längerer Lagerung ist eine Pflege des Aufwuchses (ggf. Nachsaat, Schnitt) einzuplanen.
6. Das Bodenmaterial zur internen Verwendung sollte nach Möglichkeit gar nicht zwischengelagert werden, sondern direkt zum Auffüllen der Käserbachau und zur Erhöhung der geplanten Parkflächen verwendet werden. Das spart Arbeitsaufwand und Kosten und ist gleichzeitig bodenschutzfachlich zu bevorzugen.
7. Auch überschüssige Bodenmassen oder nicht im Gebiet verwendbare Bodenmassen sollten nach Möglichkeit direkt abgefahren und auf geeigneten Auftragsflächen aufgetragen werden.

8.5.6 Maßnahmen zum Umgang mit Neophyten

Im Bauabschnitt 1 ist insgesamt eine Fläche von 1.383 m² gekennzeichnet, auf der japanischer Staudenknöterich ansteht. Die Pflanze ist ein Neophyt mit invasiver Ausbreitung. Nach naturschutzfachlichen Anforderungen ist deren Verbreitung verboten.

Der Staudenknöterich kommt insbesondere an den Gewässerverläufen des Dietenbachs und Käserbachs vor. Die gekennzeichneten Flächen am Dietenbach liegen überwiegend außerhalb der B-Planfläche des BA1. Am Käserbach liegen alle gekennzeichneten Flächen innerhalb des BA1.

Nach Datenlage und Ausschluss der Ausschlussflächen aus Kapitel 8.2 liegen 532 m² Staudenknöterich-Fläche innerhalb des BA1, d.h. im 1. BA sind insgesamt 532 m² mit Staudenknöterich belasteter Oberboden von den Baumaßnahmen betroffen. Die Flächenangabe bezieht sich auf die Geometrie des BA1 abzgl. der Ausschlussflächen. Der überwiegende Anteil der Knöterichflächen liegt im Bereich des Schildkrötenkopfs (vgl. Abbildung 21).

Die bereitgestellte Kartenkennzeichnung der Staudenknöterich-Fläche ist nicht flächenscharf; es sind lediglich Streckenlängen mit Hilfe von groben Polygonen markiert (vgl. Abbildung 21). Insofern sind die Flächenangaben eine grobe Schätzung. Die exakte Flächenabgrenzung und Flächenbilanzierung bleibt einer Vor-Ort-Aufnahme vorbehalten, die im Zuge der Ausführungsplanung vorgenommen werden sollte.

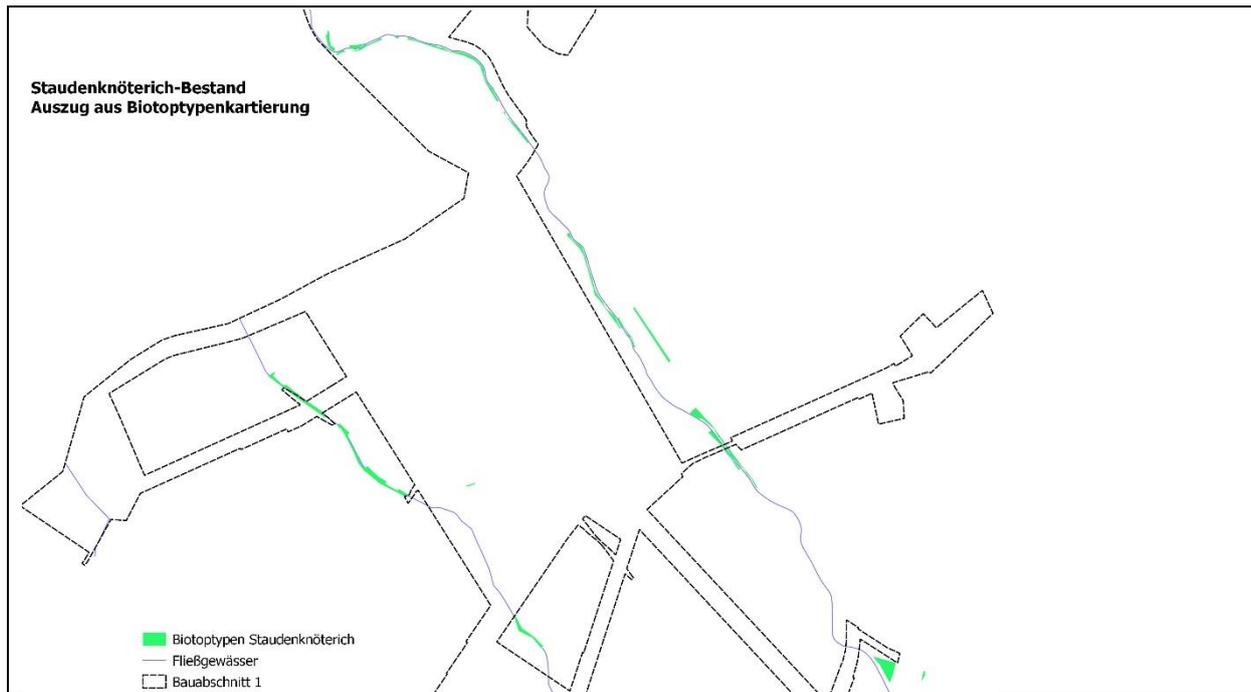


Abbildung 21: Kartenausschnitt der Verbreitung des Staudenknöterichs im BA1

Bodenflächen mit Staudenknöterich sind im Zuge des Oberbodenabtrags getrennt von den restlichen Flächen zu behandeln. Das betrifft den Oberbodenabtrag, die eventuell nötige Zwischenlagerung und die Entsorgung. Bei einer Staudenknöterich-Fläche von ca. 532 m² und einer mindestens 1 m mächtigen Bodenschicht, die mit Rhizomen belastet sein kann (bei Altbeständen bis zu 2 m) ist von ca. 532 m³ Bodenmaterial zur Entsorgung auszugehen, bei Altbeständen entsprechend mehr.

Die Baumaschinen sind nach dem Einsatz auf einer Knöterichfläche gründlich zu reinigen, auch von unten, um ein Verschleppen des Staudenknöterichs zu unterbinden.

8.5.7 Formulierungsvorschläge für textliche Festsetzungen

Der nachfolgend in zwei Tabellen aufgeführte Vorschlagskatalog möglicher Festsetzungen basiert auf einer Recherche, in der Festsetzungen in öffentlich zugänglichen städtebaulichen Verträgen auf bodenschutzfachliche Inhalte ausgewertet worden sind. Weiterhin wurde telefonisch bei einigen Unteren Bodenschutzbehörden nachgefragt, welche Festsetzungen sie bereits in Abstimmung mit der zuständigen Planungsbehörde haben umsetzen können.

Die bodenschutzfachlich wünschenswerten Festsetzungen wurden auf rechtliche Bezüge zum Baurecht geprüft. Anschließend wurden die rechtlich möglichen Festsetzungen mit einer hinreichenden Bestimmtheit formuliert.

Auf Begründungen der Festsetzungen wurde mit einer Ausnahme verzichtet. Als zentralen bodenschutzrechtlicher Hinweis wurde folgende Formulierung aufgenommen: *Sicherung der natürlichen Bodenfunktionen nach BBodSchG, insbesondere der Regelungsfunktionen im Wasserhaushalt als Beitrag zur Hochwasservorsorge und zum Erhalt der Kühlfunktionen als Beitrag zur Klimaanpassung.* Die Stellung dieses Textblocks und ggf. weiterer

bodenschutzfachlicher Begründungen im Zusammenhang mit den textlichen Festsetzungen zum Bebauungsplan Dietenbach kann frei gewählt werden.

In Tabelle 39 werden verbreitet vorgenommene textliche Festsetzungen zum Schutz von Böden und Gewässern mit der Schnittstelle zum Boden aufgeführt.

In Tabelle 40 werden spezifische, weitergehende textliche Festsetzungen zum vorsorgenden Bodenschutz für den Bebauungsplan Dietenbach aufgeführt. Die Maßnahmen sind als Vorschläge zu verstehen. Nach der inhaltlichen Abstimmung wären anschließend auch noch räumliche Zuordnungen mit Hilfe von Planzeichen im fertigen Bebauungsplan möglich.

Tabelle 39: Verbreitet vorgenommene textliche Festsetzungen

Maßnahmen	Mögliche Festsetzungen im Bebauungsplan	Rechtliche Grundlagen
Naturgut Boden		
Flächensparende Bauweise	Grundstücksgröße, Maß der baulichen Nutzung	§ 9 Abs. 1 Nr. 3 BauGB; § 5 (2) Nr. 1 BauGB; § 16 BauNVO
Begrenzung der Bodenversiegelung	Textliche Festsetzung: z. B. Versiegelungsmaterial	§ 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB; kommunale Bausatzungen / örtliche Bauvorschrift
Erhalt/Schaffung von Grün- und Freianlagen	Pflanzgebote, Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft	§ 5 Abs. 2 Nr. 10 und Abs. 4 BauGB; § 9 Abs. 1 Nr. 20, 25 BauGB
Berücksichtigung vorhandener Bodenbelastungen (Altlasten)	Kennzeichnung: Textliche Festsetzung (z. B. Anbauempfehlungen sowie Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen; ggf. Sanierungs- oder Sicherungsmaßnahmen)	§ 9 Abs. 5 Nr. 3 BauGB; Planzeichen 15.12 PlanZVO 90 § 5 (3) BauGB
Naturgut Wasser mit Schnittstellen zum Boden		
Verwendung durchlässiger Versiegelungsmaterialien	Festsetzung der Verwendung wasserdurchlässiger Beläge für z.B. Stellplätze etc. als Maßnahme zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft	§ 9 Abs. 1 Nr. 3 BauGB; § 5 (2) Nr. 1 BauGB; § 16 BauNVO
Rückhaltung von Niederschlagsabflüssen	Dachbegrünung, Flächen- oder Muldenversickerung, Pflanzgebote als Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft	§ 9 Abs. 1 Nr. 20, 25 BauGB

Tabelle 40: Spezifische, weitergehende textliche Festsetzungen zum vorsorgenden Bodenschutz für den Bebauungsplan Dietenbach

Maßnahmen	Festsetzungen im Bebauungsplan	Rechtliche Grundlagen
<p>Erhalt und Schutz des Oberbodens sowie kulturfähigen Unterbodens vor Vernichtung und Vergeudung → Sicherung der natürlichen Bodenfunktionen nach BBodSchG, insbesondere der Regelungsfunktionen im Wasserhaushalt als Beitrag zur Hochwasservorsorge und zum Erhalt der Kühlfunktionen als Beitrag zur Klimaanpassung</p>	<p>Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Nicht erforderlicher Bodenabtrag ist zu unterlassen. 2. Die Böden zukünftiger Grünflächen sind vor baulichen Beeinträchtigungen wie insbesondere Befahrungen und dadurch ausgelöste Verdichtungen zu schützen. Dazu sind diese Flächen als Tabuflächen eindeutig zu kennzeichnen und abuzäunen. 3. Erforderlicher Bodenabtrag ist schonend und unter sorgfältiger Trennung von Ober- und Unterboden und kiesig-sandigem Untergrund durchzuführen. 4. Zwischenzulagernder Boden ist fachgerecht entsprechend DIN 18915 und DIN 19639 zwischenzulagern und im nutzungsfähigen Zustand zu erhalten. 5. Beim Wiedereinbau sind die natürlichen Schichtfolgen und -mächtigkeiten aus Ober- und Unterboden und Untergrund wiederherzustellen. Dabei sind übermäßige Verdichtungen entsprechend DIN 18915 und DIN 19639 zu vermeiden. 6. Alle Bodenarbeiten sind entsprechend DIN 18915 und DIN 19639 nur bei geeigneter, möglichst trockener Witterung bis zu maximal steif-plastischer Konsistenz zulässig; nach ergiebigen Niederschlägen, bei Pfützenbildung oder weich-plastischer Konsistenz (Konsistenzklasse 4 und größer) sind dem Boden beeinträchtigende Arbeiten in Abstimmung zwischen BBB und der Bauleitung einzustellen. 7. Im Rahmen der Ausführungsplanung sind Flächeneinteilungen, Befahrungsstrecken bzw. Baustraßen, geeignete Maschinenteknik und die Logistik der Bodenarbeiten detailliert auszuarbeiten und mit der BBB abzustimmen. 8. Eine Vermischung von Bodenmaterial mit Fremdmaterialien und Bauabfällen ist verboten. Eventuelle Fremdmaterialien sind rückstandslos zu entfernen. 9. Sind dennoch baubedingte erhebliche Verdichtungen aufgetreten, dann sind diese mit geeigneter Lockerungstechnik vor der abschließenden Herstellung der Grünflächen mit geeigneter dynamischer (Tief-)Lockerungstechnik wie zum Beispiel einem Stechhublockerer zu beseitigen. 	<p>§ 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB; § 202 BauGB; § 1 BBodSchG; § 7 BBodSchG</p>

Maßnahmen	Festsetzungen im Bebauungsplan	Rechtliche Grundlagen
<p>Flächenbefestigungen bzw. Bodenertüchtigungen</p>	<p>Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Müssen Böden zukünftiger Grünflächen bauzeitlich in Anspruch genommen werden, dann sind sie durch geeignete Befestigungen vor Verdichtungswirkungen zu schützen. 2. Die Befestigungsarten – wie mineralische Baustraßen, Stahlplatten, koppelbare Lastverteilungsplatten, Baggermatratzen etc. – der bauzeitlich genutzten Bodenflächen sind anhand der baulichen Nutzungsintensität (Achslasten / spezifische Bodendrucke und Laufwerkstypen, Befahrungsfrequenzen) auszuwählen. 3. Eine Stabilisierung des anstehenden Bodens mit Kalk-/Zementgemischen ist verboten. 4. Als mineralische Schüttungen sind nur natürliche Gesteinskörnungen zulässig. Der Einsatz von Recyclingmaterial ist verboten 	<p>§ 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB; § 202 BauGB; § 1 BBodSchG; § 7 BBodSchG</p>
<p>Meldepflicht bei Verdacht auf schädliche Bodenveränderungen</p>	<p>Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Organoleptischen Auffälligkeiten, Verfärbungen und sonstigen Hinweisen auf eine schädliche Bodenveränderungen, die bei Bodenarbeiten auftreten, sind der Untere Bodenschutzbehörde unmittelbar zu melden. 2. Die Art und Weise der erforderlichen weitergehenden Sachverhaltsermittlung ist mit der Untere Bodenschutzbehörde abzustimmen. 	<p>§ 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB; § 3 Abs. 1 LBodSchAG BW; § 4 Abs. 2 BBodSchG</p>
<p>Bodenkundliche Baubegleitung</p>	<p>Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bei Bauflächen > 0,5 ha: Erstellen eines Bodenschutzkonzeptes. 2. Bei Bauflächen > 1,0 ha: Erstellen eines Bodenschutzkonzeptes und Bodenkundliche Baubegleitung. 	<p>§ 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB; § 2 Abs. 3 Satz 1 LBodSchAG BW § 2 Abs. 3 Satz 2 LBodSchAG BW</p>

8.6 Kostenschätzungen für die Verwertung von Überschussmassen

8.6.1 Bodenmassen aus dem Bebauungsplangebiet, Bauabschnitt 1

In Tabelle 41 sind die zu erwartenden Kosten für die Verwertung der Überschussmassen aufgeführt. Dabei wird zwischen den planinternen und planexternen Verwertungsmöglichkeiten differenziert. Des Weiteren wird die Schadstoffsituation berücksichtigt, indem die Massen der Klasse Z0 getrennt von den Z1-Massen betrachtet werden. Zur Kostenschätzung werden minimale und maximale Einheitswerte unterstellt und mit den kalkulierten Bodenmassen nach Kap. 8.4 zu einer Kostenspanne verrechnet. Bei den Massen- bzw. Volumenschätzungen wird mit einem Auflockerungsfaktor 1,3 gerechnet.

Die unterstellten Spannweiten der Einheitspreise müssen mit aktuellen Erfahrungen aus der Region Freiburg abgeglichen werden. Erfahrungsgemäß sind die Einheitspreise sehr volatil und von der jeweiligen Marktsituation während der Bauphase abhängig. Sie lassen sich wahrscheinlich durch Mengenrabatte oder alternative Verwertungsmöglichkeiten bzw. Lieferbedingungen noch reduzieren.

Tabelle 41: Kostenschätzung (Spannweite) anhand von geschätzten Netto-Einheitspreisen für die zu verwertenden unterschiedlichen Bodenmassen aus dem Bebauungsplangebiet

Bodenkategorien	Kosten, minimal €/ m ³	Kosten, maximal €/ m ³	Boden- volumen aufgelockert* m ³	Kosten- spanne** €	Bemerkungen
Oberboden < Z0 zur planinternen Wiederverwertung: Lösen, Transportieren innerhalb des Gebietes, Zwischenlagern inkl. Begrünung, Wiederandecken	20,00	40,00	48.392	967.840 bis 1.935.680	Kostenspanne lässt sich durch eine direkte Andeckung im Gebiet ohne Zwischenlagerung reduzieren.
Oberboden < Z0 zur planexternen Verwertung: Lösen, Transportieren zum Zwischenlager, Zwischenlagern, Aufnehmen und Abfahren, Andecken am Verwertungsort	40,00	80,00	30.728	1.229.120 bis 2.258.240	Kostenspanne auch von der Transportentfernung abhängig. Hier wurde ein Transport bis 20 km einkalkuliert.
Oberboden Z1 zur planexternen Verwertung: Lösen, Transportieren zum Zwischenlager, Zwischenlagern, Aufnehmen und Abfahren, Andecken am Verwertungsort	50,00	90,00	51.453	2.572.650 bis 4.630.770	Mögliche Verwertungsstandorte rechtzeitig akquirieren, damit Kosten und Zeitmanagement optimiert werden können.

* Auflockerungsfaktor 1,3 berücksichtigt.

** Unterstellten Spannweiten der Einheitspreise müssen mit aktuellen Erfahrungen aus der Region Freiburg abgeglichen werden.

8.6.2 Bodenmassen aus den untersuchten Altlastverdachtsflächen

Anhand der vier orientierenden Untersuchungen von Geosens GmbH (2021) lässt sich überschlägig ein grober Kostenrahmen für die möglichen Entsorgungskosten der stofflich belasteten Bodenschichten ermitteln. Dabei ist zu berücksichtigen, dass anhand der begrenzten Bohrungsergebnisse weder die laterale noch vertikale Variabilität der Schadstoffsituation der Altlastverdachtsflächen mit hinreichender Genauigkeit ermittelt werden kann. Insofern sind die kalkulierten Kostenspannen lediglich als orientierende Hinweise für mögliche Entsorgungskosten zu verstehen. Eine exakte Kostenschätzung bliebe einer bodenschutzfachlichen Detailuntersuchung vorbehalten. Im Übrigen gilt auch hier, dass die unterstellten Spannweiten der Einheitspreise mit aktuellen Erfahrungen aus der Region Freiburg abgeglichen werden müssen.

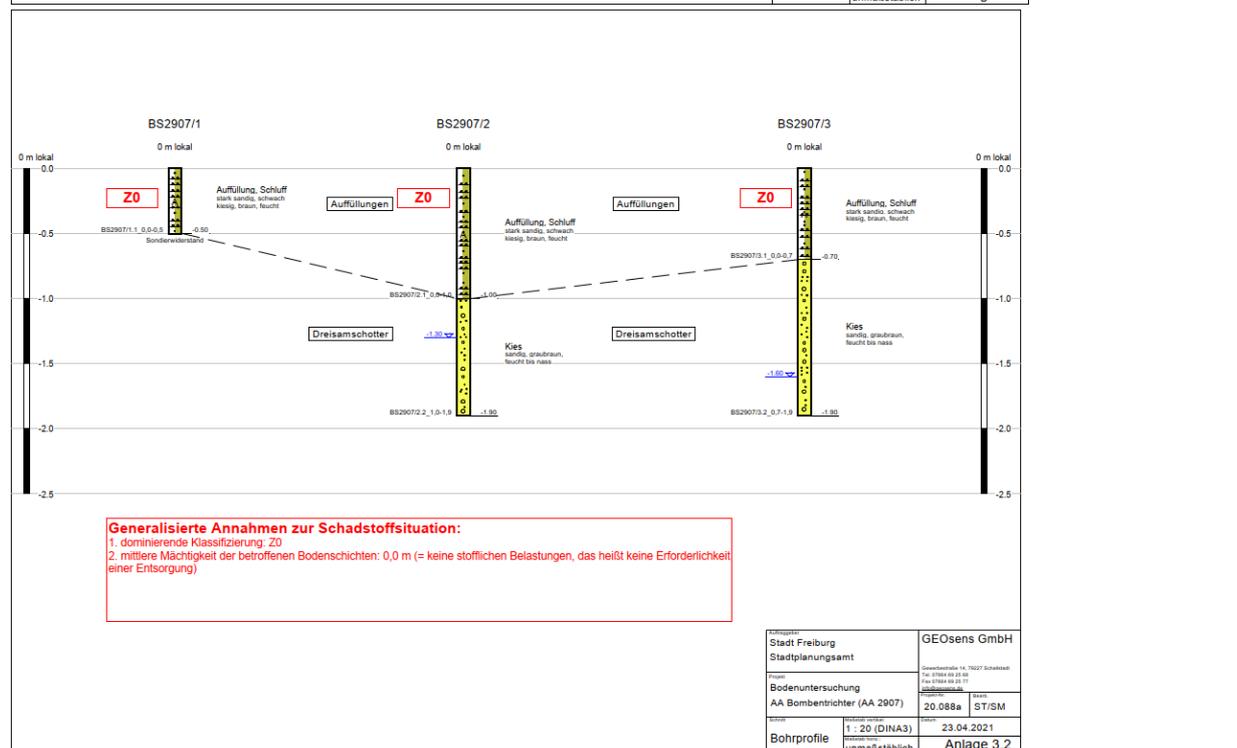
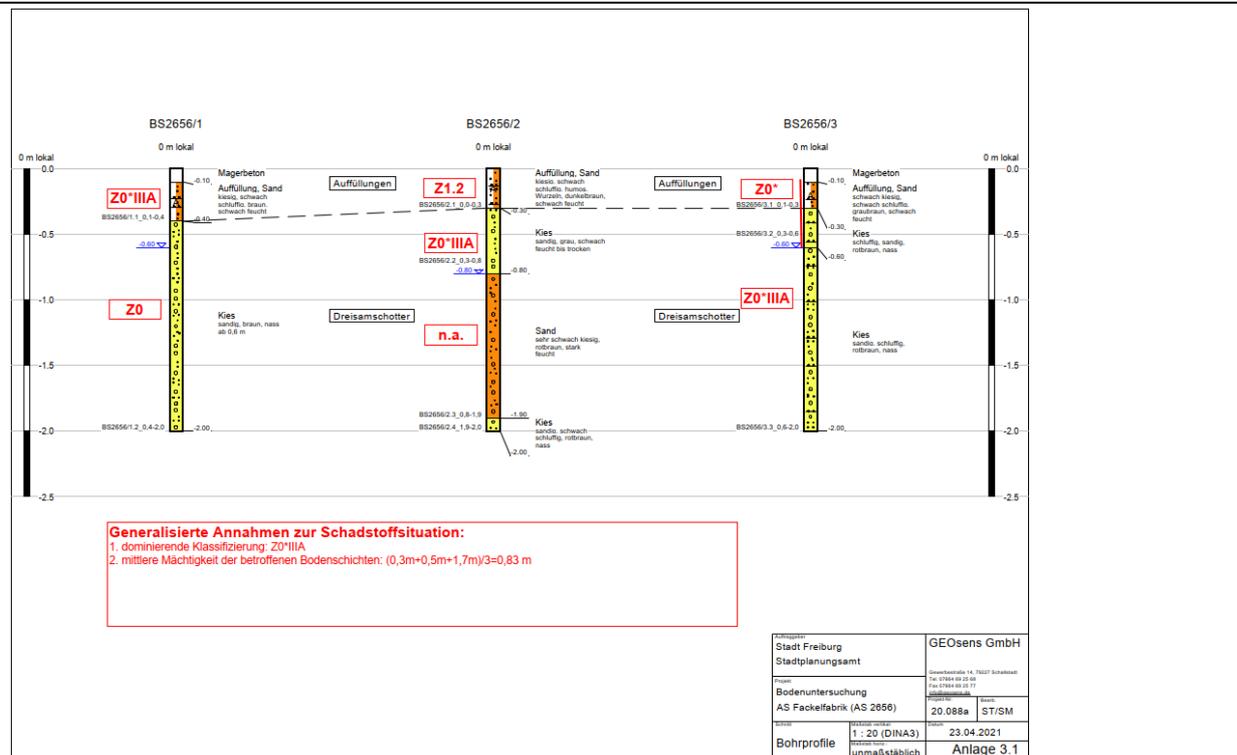
Die Massenkalkulation erfolgt anhand der betroffenen Flächengrößen nach Abbildung 22. Bei der AS Fackelfabrik wird nur der westliche Teil in die Kalkulation einbezogen, weil der östliche Teil durch den Straßenkörper überdeckt und damit nicht zugänglich ist. Beim AS PFC Holzschuppenbrand (AS 7514) wird zwischen der Gebäude- und Reitplatzfläche differenziert.



Abbildung 22: Flächengrößen der Altlastverdachtsflächen als Grundlage für die Massenberechnung (Bohrungsnummern nach Geosens GmbH 2021)

Neben der Flächengröße wird noch die Mächtigkeit der stofflich belasteten Bodenflächen berücksichtigt. Dazu sind die Klassifizierungen der Schadstoffgehalte der einzelnen Proben in die Bohrprofile übertragen worden, um die verbreitete Schadstoffsituation der Einzelflächen

besser einschätzen zu können (Abbildung 23). Dabei wird sowohl die Mächtigkeit als auch die Klassifizierung anhand der dominierenden Ausprägungen herangezogen, um eine halbwegs realistische Schätzung vornehmen zu können. Beispielsweise dominiert bei AS Fackelfabrik die Einstufung in Z0*IIIA, so dass diese Klasse zur Kostenschätzung unterstellt wird. Die punktuelle Z1.2-Einstufung der obersten Schicht an Bohrung BS2656/2 ist für die flächig zu erwartenden Schadstoffsituation nicht repräsentativ; hier wird eine kleinflächige Separierung bei der Auskoffnung und getrennte Entsorgung vorgenommen werden müssen.



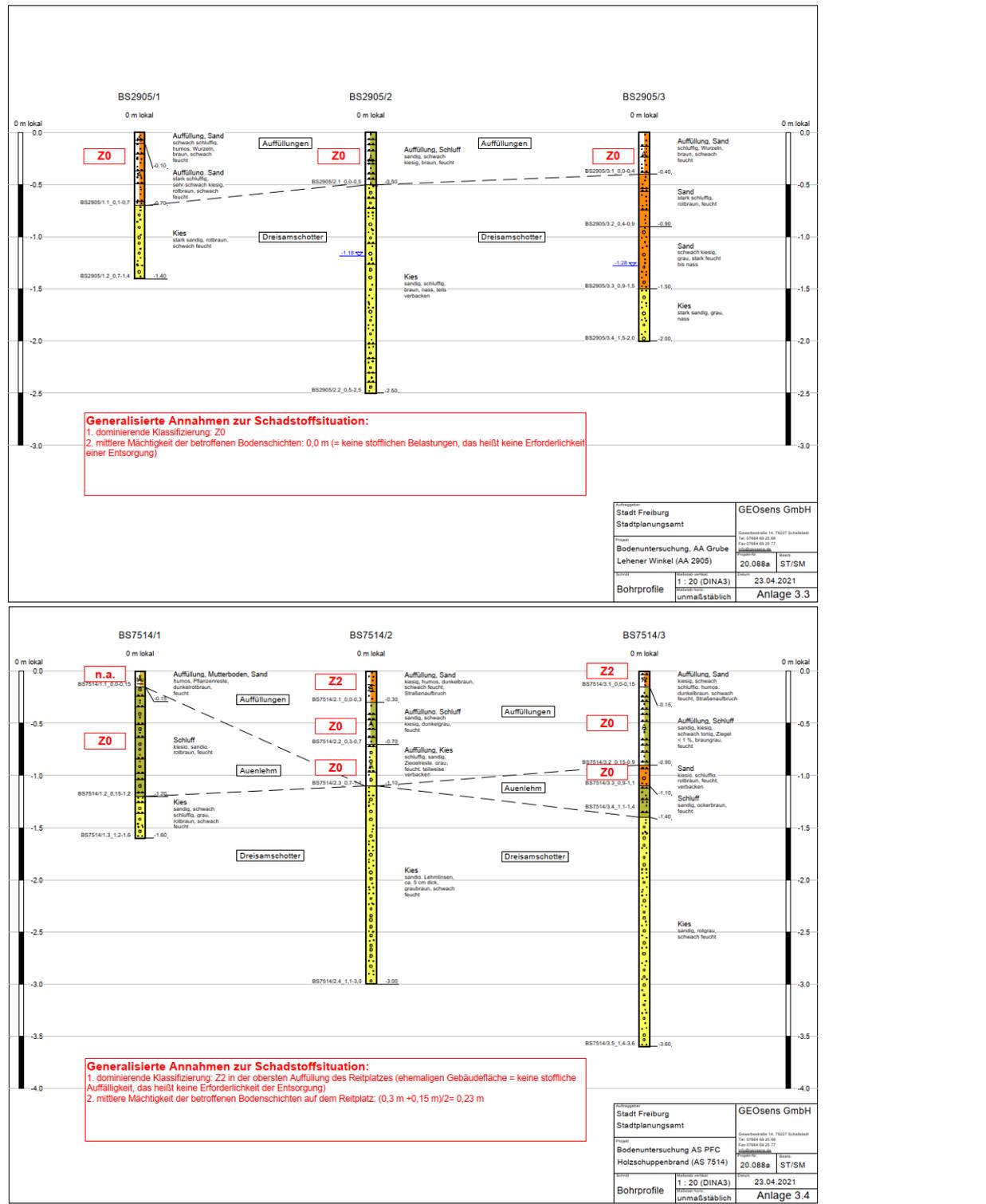


Abbildung 23: Dominierende Schadstoff-Klassifizierung und mittlere Mächtigkeit der betroffenen Bodenschichten der Altlastverdachtsflächen als Grundlage für die Massenberechnung

Bei AA Bombentrichter und AA Grube Lehener Winkel sind die analysierten Bodenschichten alle in Z0 einzustufen. Aus diesem Grund ist an diesen Flächen kein Bodenaustausch auf der Grundlage der orientierenden Bodenuntersuchungen erforderlich; folglich wird auch keine Kostenschätzung einer Bodenentsorgung vorgenommen. Verbleiben noch die beiden Flächen

AS Fackelfabrik und AS PFC Holzschuppenbrand/Toms Ranch. Für diese beiden Standorte sind die Kostenschätzungen in Tabelle 42 aufgeführt.

Tabelle 42: Kostenschätzung (Spannweite) anhand von geschätzten Netto-Einheitspreisen für die zu verwertenden unterschiedlichen Bodenmassen aus den Altlastverdachtsflächen nach Kap. 10.1

Bodenkategorien	Kosten, minimal €/ m ³	Kosten, maximal €/ m ³	Boden- volumen aufgelockert* m ³	Kosten- spanne** €	Bemerkungen
AS Flackelfabrik (2656) Z0*IIIA-Einstufung in einer mittleren Mächtigkeit von 0,83 m auf 1.739 m ² Lösen, Zwischenlagern, Aufnehmen und Abfahren, Andecken am Verwertungsort	20,00	40,00	1.876	37.520 bis 75.040	Entsorgung wegen geringer Belastung nicht zwingend erforderlich. Kostenpanne auch von der Transportentfernung abhängig. Hier wurde ein Transport bis 20 km einkalkuliert.
AS PFC Holzschuppenbrand (Toms Ranch, 7514) Reitfläche: Z2-Einstufung in einer mittleren Mächtigkeit von 0,23 m auf 3.868 m ² Lösen, Zwischenlagern, Aufnehmen und Abfahren, Andecken am Verwertungsort (gesicherter Einbau)	50,00	90,00	1.156	57.800 bis 115.600	Entsorgung kann ggf. auf Teilfläche des Reitplatzes reduziert werden. Mögliche geschützte Verwertungsstandorte rechtzeitig akquirieren, damit Kosten und Zeitmanagement optimiert werden können. Bei der Verwertung in Landschaftsbauwerken können u.U. deutlich geringere Einheitspreise realisiert werden.

* Auflockerungsfaktor 1,3 berücksichtigt.

** Unterstellten Spannweiten der Netto-Einheitspreise müssen mit aktuellen Erfahrungen aus der Region Freiburg abgeglichen werden.

9 Suchraumkarten für die planexterne Verwertung des überschüssigen Oberbodens

9.1 Grundlagen

In diesem Kapitel wird die planexterne Wiederverwendung der Böden behandelt, die im B-Plan Gebiet Dietenbach im Zuge der Baumaßnahmen anfallen und nicht wieder planintern (z.B. für Grünflächen) eingebaut werden können. Die Funktionen der Böden werden durch die Bautätigkeit beeinträchtigt und es wird nach einem funktionalen Ausgleich für den Eingriff in den Naturkörper Boden gesucht. Dafür werden anhand der nachfolgend beschriebenen Suchkriterien Suchraumkarten in einem Umkreis von 50 km rund um Freiburg innerhalb Deutschlands erstellt, welche die konkret zur Wiederverwertung geeigneten Flächen aufzeigen. Diese Flächenvorschläge bedürfen einer weitergehenden Prüfung vor der tatsächlichen Verwendung zur Verfüllung von Bodenmaterial (s. LGRB, 2018). Bei der Aufbringung von Bodenmaterial müssen die Bestimmungen des § 12 BBodSchV und DIN 19731, DIN 18915 und DIN 19639 beachtet werden. Es kann grundsätzlich kein Bodenmaterial in Schutzgebieten aufgebracht werden und eine Aufbringung von Bodenmaterial darf den vorhandenen Standort auch nicht verschlechtern (s. § 12 BBodSchV). Dazu muss auch die Beschaffenheit des Bodenmaterials beachtet werden, u.a. der Humusgehalt, die Feinbodenart, der Nährstoffgehalt (Auswaschungsgefahr bei nachfolgender landwirtschaftlicher Nutzung) und der Steingehalt.

9.2 Suchraumkarten/Methodik

9.2.1 Suchraumkarte Bodenauftrag <Z0

Durch Oberbodenauftrag können Böden mit geringer oder mittlerer Leistungsfähigkeit, oder auch Böden, die durch Erosionsvorgänge in der Vergangenheit beeinträchtigt worden sind, funktional aufgewertet werden.

Es sind folgende Böden hiervon ausgeschlossen (LGRB, 2018):

- Standorte ohne Möglichkeit oder Erfordernis einer Bodenverbesserung: Böden mit hoher Leistungsfähigkeit bzw. einer Bodenwertzahl ≥ 60
- Sonderstandorte für naturnahe Vegetation: Bewertungsstufe > 3
- Standorte innerhalb von Wasserschutzgebieten und Überschwemmungsgebieten (§ 65 WG)
- Moore/Moorböden
- Landnutzung: Wald, Grünland, Rebland

Böden können durch Oberbodenauftrag in ihren Bodenfunktionen „natürliche Bodenfruchtbarkeit“, „Ausgleichskörper im Wasserkreislauf“ und „Filter und Puffer für Schadstoffe“ verbessert oder wiederhergestellt werden. Es ist durch das Aufbringen des Oberbodenmaterials jeweils eine Verbesserung um eine Wertstufe der Bodenfunktionen möglich (LUBW, 2012).

Es wird die Ton- und Humusmenge sowie die nutzbare Feldkapazität erhöht und der Wurzelraum vergrößert. In der Regel liegt das Optimum bei 20 cm Oberbodenauftrag (LUBW, 2012). Böden mit einer Bodenfunktion „Natürliche Bodenfruchtbarkeit“ (Bodenwertzahl ≥ 60 der Bodenschätzung) kommen nicht in Betracht, da hier keine Verbesserung mehr möglich ist. Außerdem kann kein Auftrag auf Sonderstandorten für naturnahe Vegetation“ oder auf Standorten mit vorhandenen wertvollen Biotopen erfolgen. Wird Oberboden auf einer erodierten Fläche aufgetragen, so muss eine erneute Erosion mit Maßnahmen verhindert werden.

Im B-Plangebiet Dietenbach Bauabschnitt 1 fallen rund 61.000 m³ unbelasteter Oberboden (< Z0) an (ohne Auflockerungsfaktor). Planintern werden ca. 37.000 m³ Oberboden <Z0 wiederverwertet (Parkflächen, Versickerungsanlage und Regenbecken nach Bebauungsplan). Planextern müssen Flächen für rund 24.000 m³ Oberbodenaushub akquiriert werden. Unter Beachtung einer bodenschutzfachlich vertretbaren maximalen Aufbringungshöhe von 20 cm auf Ackerböden wird planextern eine Mindestfläche von ca. 12 ha benötigt, um den überschüssigen Oberboden < Z0 verwerten zu können.

Die potenziellen Bodenauftragsflächen nach LGRB im Umkreis von 50 km sind im Anhang 08 kartografisch dokumentiert. Die Auswertung dieser Karte ergibt, dass schon in einem 5 km Umkreis rund um das B-Plan Gebiet Dietenbach mit ca. 200 ha verteilt auf 173 Einzelflächen genügend Flächen für den potenziellen Bodenauftrag zur Bodenverbesserung vorhanden sind. Speziell bietet sich hier das Gebiet westlich von St. Georgen mit insgesamt 120 ha Aufbringungsfläche – verteilt auf 47 Einzelflächen – an, da es logistisch günstig liegt mit nur 3,5 km Entfernung zum B-Plan-Gebiet; bereits beaufschlagte Flächen nach Solum (2014) wurden nach händischer Abdigitalisierung der Flächengeometrien anhand der bereitgestellten PDF-Grundlage aus der Karte potenzieller Auftragsflächen ausgeblendet.

Die Flächen südlich der von Ost nach West querenden Straße liegen in der BK50-Bodeneinheit y133 mit der Bodenformgruppe y-G06 mit im Oberboden mittel humosen Braunerde-Gleyen aus lösslehmhaltiger Deckschicht (2-4 dm: Ls3-Lu, G3). Die Flächen nördlich der querenden Straße liegen in der BK50-Einheit y87 (Bodenformgruppe B12) mit im Oberboden schwach bis mittel humosen lessivierten Braunerden aus lösslehmhaltiger Deckschicht (<4 dm: Slu-Ls3, G-fO2-4). Es liegen also gering humosere Böden als im B-Plan-Gebiet Dietenbach in der BK50-Einheit y-176 mit mittel bis stark humosen Braunen Auenböden mit Vergleyung im Untergrund aus Auenlehm vor (4-8 dm Ls2-3, G1-3). Damit ist das Bodenmaterial aufgrund des höheren Humusgehaltes geeignet, den Standort in Sankt Georgen zu verbessern und auch der Steingehalt ist grundlegend geringer als im vorgeschlagenen Auftragsgebiet. Bei der Feinbodenart ist der Unterschied gering, das Bodenmaterial von Dietenbach ist tendenziell toniger und sandiger. Die Flächen in Sankt Georgen sind demnach grundlegend für den Bodenauftrag geeignet.

Bei der Verwertung müssen jedoch ebenfalls die Anforderungen nach § 12 Absatz 4 der BBodSchV berücksichtigt werden, nachdem nur bei Einhalten von 70% der Vorsorgewerte nach Anhang 2 BBodSchV eine Aufbringung auf Ackerflächen möglich ist.

Das Oberbodenmaterial von Dietenbach überschreitet in 17 von 20 Proben mit Werten zwischen 59 und 210 mg/kg TM 70% des Vorsorgewertes von Blei (49 mg/kg TM) und in allen Proben mit Werten zwischen 103 und 186 mg/kg TM 70% des Vorsorgewertes von Zink (105 mg/kg Zink) für die im gesamten Gebiet vorliegende Feinbodenart Lehm/Schluff bzw. im Falle von Zink für die Feinbodenart von Sand für die Proben mit pH-Werten unter 6 (42 mg/kg TM). Auch für Cadmium (5 Proben, 0,7 und 0,28 mg/kg TM bei pH-Wert <6), Chrom (10 Proben, 42 mg/kg TM), Kupfer (9 Proben, 28 mg/kg TM), Nickel (8 Proben, 35 bzw. 10,5 mg/kg TM bei pH-Wert <6) werden häufig die 70% der Vorsorgewerte überschritten. Im Falle der organischen Schadstoffe PAK₁₆ und Benzo(a)pyren hingegen überschreitet nur die Probe EP-7 70% der Vorsorgewerte (2,1; 0,21 mg/kg TM). Alle Proben unterschreiten 70% des Vorsorgewertes von PCB₆ (0,035 mg/kg TM).

Aufgrund der Überschreitung der Vorsorgewerte ist eine detaillierte Überprüfung der Schadstoffsituation, insbesondere im Hinblick auf die Metalle für einen möglichen Bodenauftrag auf den vorgeschlagenen Ackerflächen (Abbildung 24) erforderlich. Für die konkrete Verwendung ist ebenfalls eine genauere Prüfung der Feinbodenarten, Humusgehalte und Steingehalte anzuraten, da die BK50-Daten zu grob aufgelöst sind.

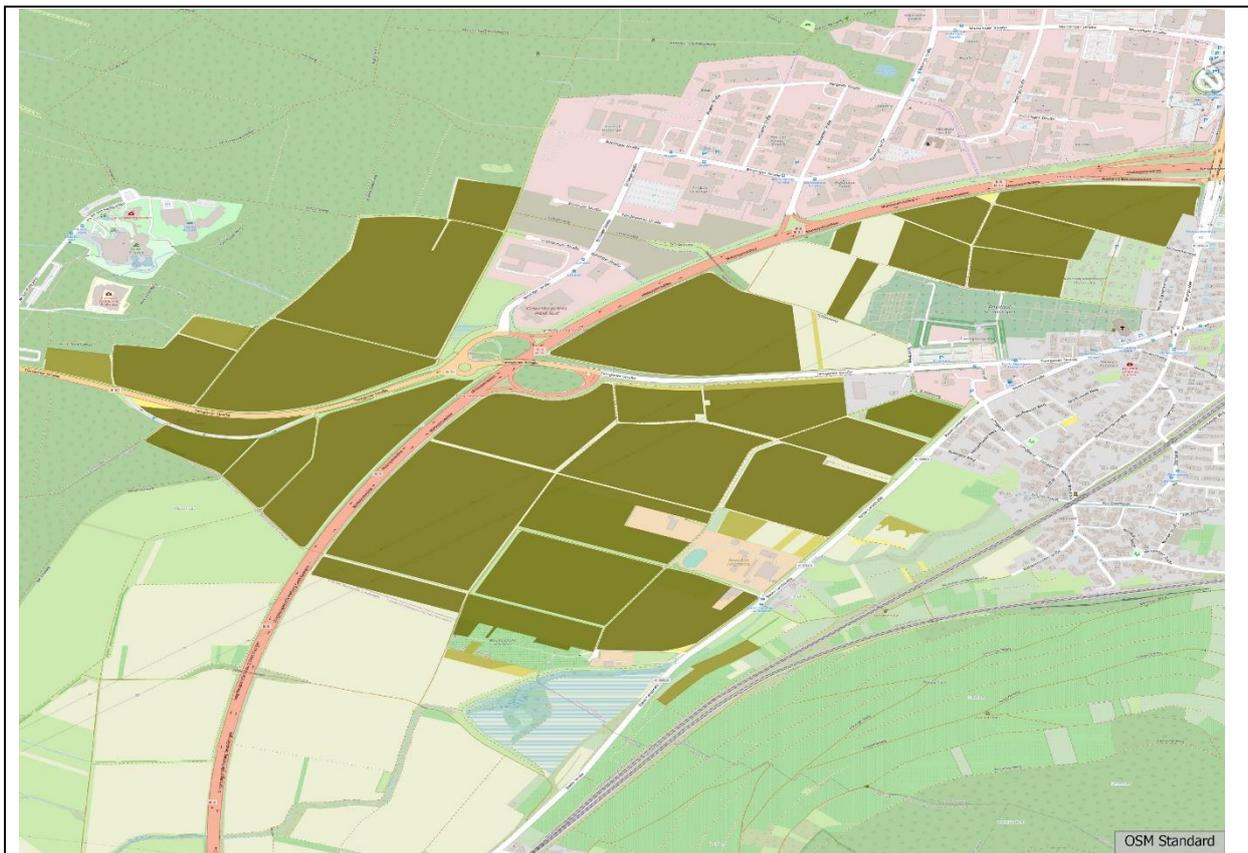


Abbildung 24: Potenzielle Flächen westlich von St. Georgen für die Verwertung des überschüssigen Oberbodens < Z0-Klasse aus Bauabschnitt 1 des B-Plan-Gebiets Dietenbach (vgl. Anhang 08)

9.2.2 Suchraumkarte Bodenauftrag >Z1

Im B-Plangebiet Dietenbach Bauabschnitt 1 fallen rund 40.000 m³ belasteter Oberboden (> Z1) an (ohne Auflockerungsfaktor). Für eine Verwertung auf Ackerflächen wird bei diesem

Bodenvolumen aufgrund der empfohlenen maximalen Aufbringungshöhe von 20 cm eine Mindestfläche von 20 ha benötigt.

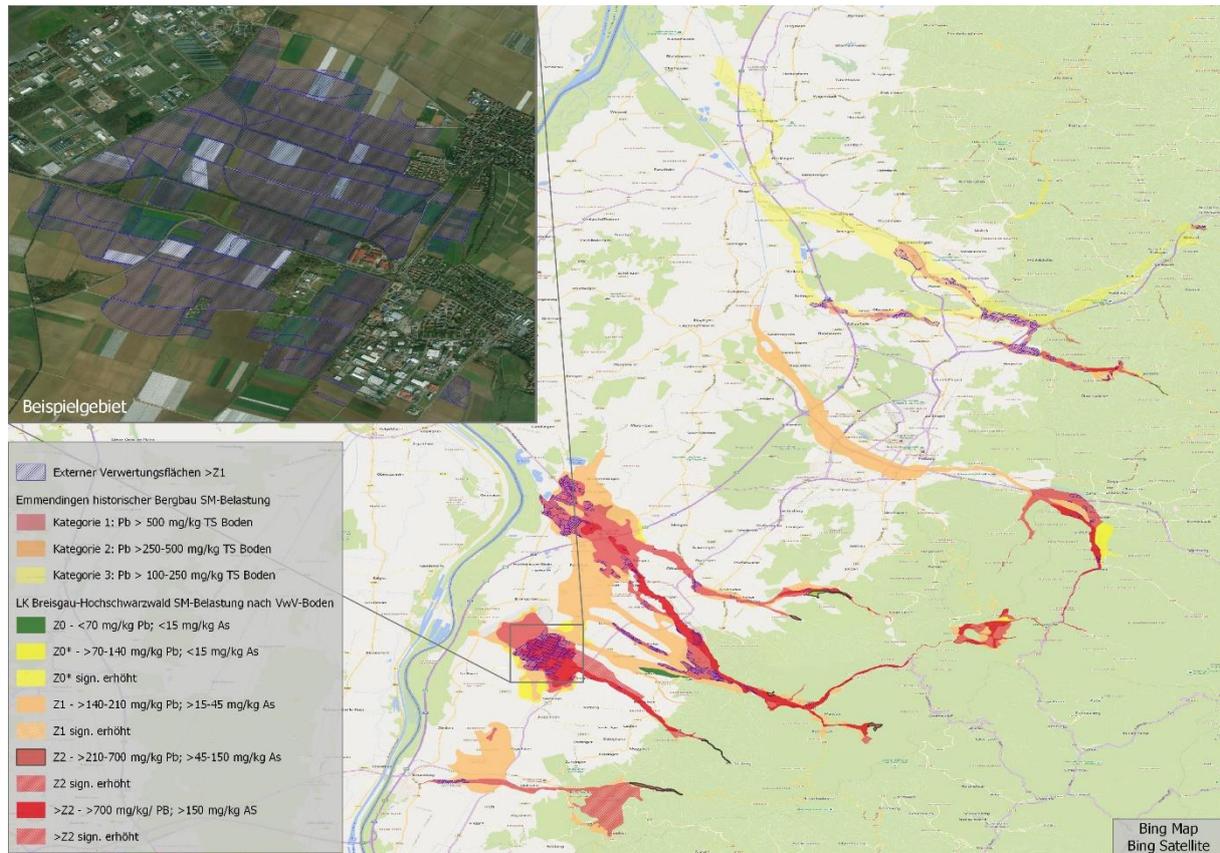


Abbildung 25: Potenzielle externe Verwertungsflächen für Bodenmaterial >Z1 im LK Breisgau-Hochschwarzwald und Emmendingen

Als Grundlage zur Flächenfindung dienten die Schwermetallbelastungskarte des Landkreises Breisgau-Hochschwarzwald sowie die Bleibelastungskarte von Emmendingen. Aufgrund des Boden-Verschlechterungsverbotes wurden für die Auswahl potenzieller Verwertungsflächen von Z1-Material nur Böden mit Klasseneinstufung Z2 und größer ausgewählt. In Emmendingen entsprachen die Kategorien 1 und 2 den Anforderungen, wobei hier nur ein Vermerk von Blei gegeben ist. Da wir im Baugebiet ebenfalls Z1-Überschreitungen durch Arsen vorliegen haben, ist es ratsam auf die Flächen im Breisgau-Hochschwarzwald auszuweichen. Nach einer weiteren Prüfung auf Arsen könnten ebenfalls die Flächen in Emmendingen als externe Verwertungsflächen dienen.

Zusätzlich zu genannten Klassengrenzen wurden nur Flächen betrachtet, welche durch das LGRB als Bodenauftragsflächen gekennzeichnet sind. Daraus ergibt sich eine gesamte Flächenverfügbarkeit von 1.039 ha (blau schraffierte Fläche in Abbildung 25).

Für einen Bodenauftrag bieten sich speziell die in Abbildung 25 als Beispielgebiet gekennzeichneten Ackerflächen an. In genanntem Bereich stehen rund 350 ha Fläche zur externen Verwertung von Bodenmaterial >Z1 zur Verfügung. Die Flächen südwestlich von Eschbach liegen rund 25 km vom B-Plangebiet Dietenbach entfernt. Die Karte ist zur besseren Ansicht als Anhang 09 angefügt.

9.2.3 Suchraumkarte Rekultivierung aufgelassener Abbaustätten und Altablagerungen

Die Verwertung überschüssigen Aushubbodens kann durch die Verfüllung von aufgegebenen Abbaustätten (z.B. Steinbrüche, Kies- und Lehmgruben) durchgeführt werden. Dabei ist geeignetes Bodenmaterial zu verwenden, es müssen die Bedingungen der LAGA-Klasse Z0 erfüllt werden. Für die Verfüllung sind insbesondere Unterböden geeignet, weil sie humusfrei oder humusarm sind und somit keine Faulgasbildung zu erwarten ist.

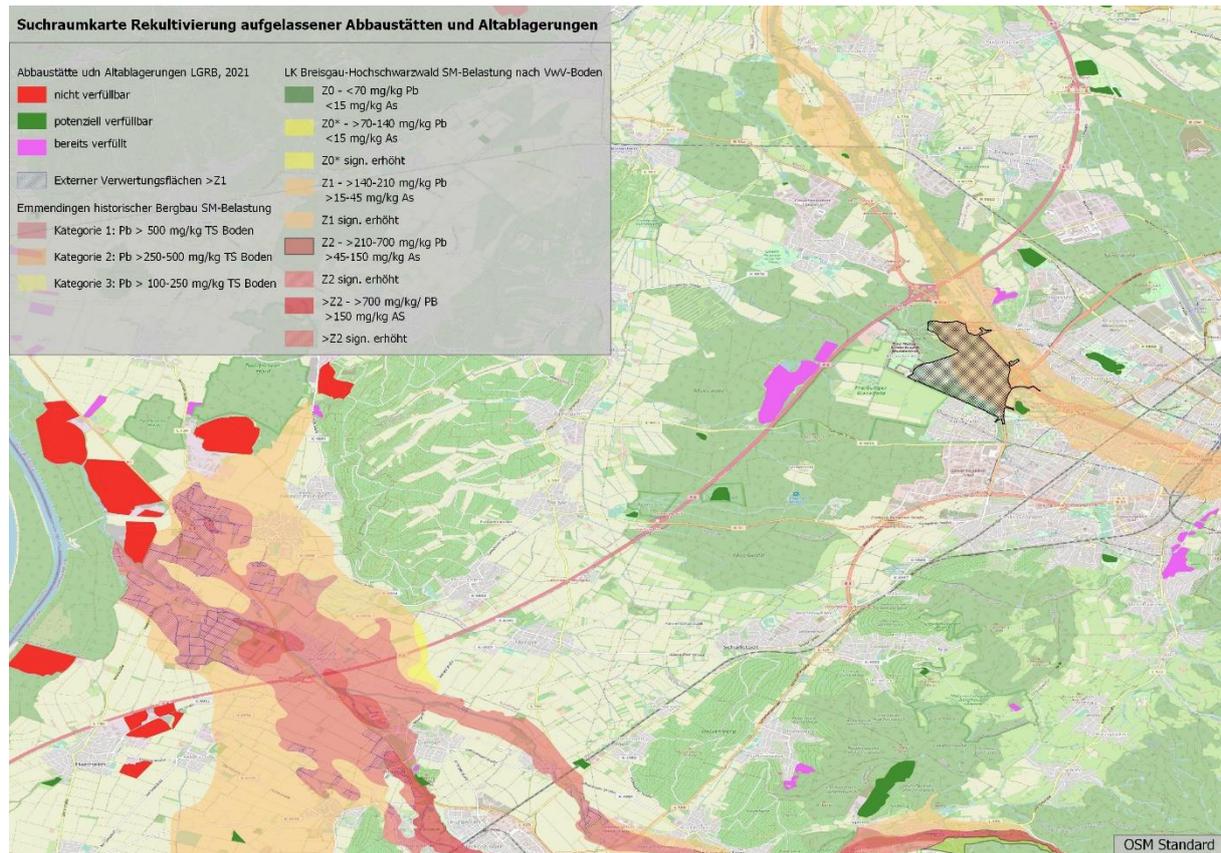


Abbildung 26: Beispielausschnitt: Potenzielle Flächen aufgelassener Abbaustätten und Altablagerungen für die Verwertung des überschüssigen Oberbodens < Z0-Klasse aus Bauabschnitt 1 des B-Plan-Gebiets Dietenbach

Solche Flächen, für die nicht schon aufgrund des BBodSchG ein Bedarf zur Bodensanierung oder nach Abfallrecht ein Bedarf zur Rekultivierung besteht, können durch eine Rekultivierung in ihrem Wert angehoben werden. Für die Suchraumkarte wurden alle Altablagerungen, aufgelassenen Abbaustätten/Tagebaue (Abbau ruht, stillgelegt und noch nicht rekultiviert oder renaturiert) und unrekultivierte Abbaustätten als potenzieller Suchraum ermittelt (Anhang 10; kleiner Ausschnitt siehe Abbildung 26). Um diese Standorte dann konkret zu verwenden, sind weitere Schritte, eine Begehung oder Auswertung vorhandener Akten nötig. Bereits rekultivierte Flächen sind ausgeschlossen und auch stark anthropogen überprägte Standorte.

Für die Wiederherstellung einer Bodenschicht wird für den Standort insbesondere eine Verbesserung der Filter- und Pufferfunktion und eine Funktion als Ausgleichskörper im

Wasserkreislauf erzielt. Es sollten bei Rekultivierungen aber auch Ziele des Arten- und Naturschutzes berücksichtigt werden.

10 Ergänzende kleinräumige Untersuchungen

10.1 Detaillierte umwelttechnische Untersuchungen von Altlastverdachtsflächen

Im Zuge des Bodenmanagementkonzepts Dietenbach sind im Jahr 2021 vier als altlastenverdächtig eingestufte Flächen orientierend untersucht worden. Aus dem Jahr 2017 liegt noch eine weitere Untersuchung vor. Es handelt sich um folgende Flächen (vgl. Abbildung 27):

- AS Fackelfabrik (2656)
- AA Bombentrichter (2907)
- AA Grube Lehener Winkel (2905)
- AS PFC Holzschuppenbrand (Toms Ranch, 7514)
- ergänzend: Ablagerung Riesert Flächen Nr.: 02908-000 (Mundenhofstr. 6) (Untersuchungen vom Büro solum; Lage der AA Riesert südöstlich der AA Grube Lehener Winkel)¹

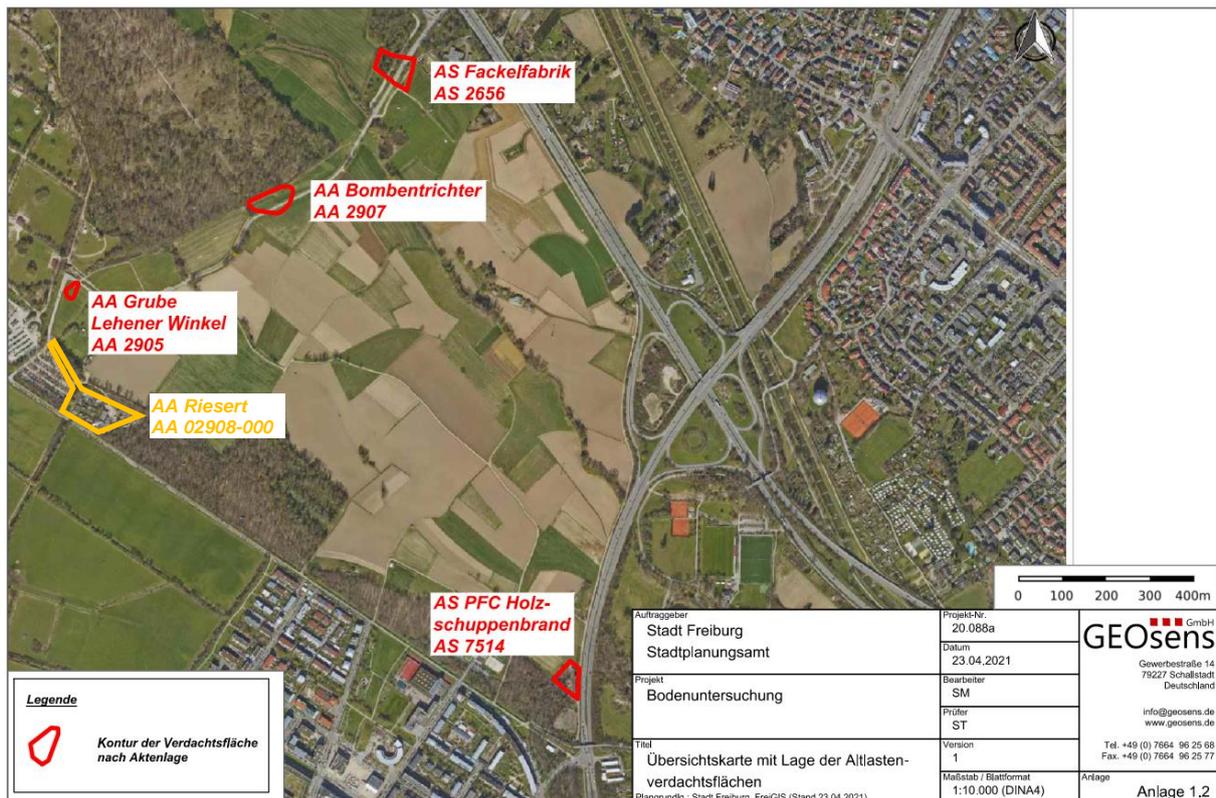


Abbildung 27: Lage der 2021 untersuchten Verdachtsflächen im B-Plan-Gebiet Dietenbach (Lage AA Riesert nachträglich ungefähr eingezeichnet)

¹ Gefahrenverdachtserkundung der Ablagerung Riesert (Flächen Nr.: 02908-000) Mundenhofer Str. 6; Freiburg im Breisgau. solum büro für boden + geologie. Bericht 2017_055.

Die orientierende Untersuchung der ersten vier genannten Flächen wurde im Unterauftrag durch GEOsens GmbH durchgeführt. Es sollte geklärt werden, ob sich Hinweise auf eine schädliche Bodenveränderung bzgl. des Wirkungspfades Boden-Grundwasser ergeben oder ein diesbezüglicher Verdacht als ausgeräumt gelten kann. Auch sollte untersucht werden, in welchem Umfang der Boden verändert wurde, und ob sich daraus Einschränkungen bzgl. einer bodenähnlichen Verwertung ergeben.

Eine detaillierte Beschreibung der vier im Jahr 2021 Untersuchungen und Ergebnisse können Anhang 11 entnommen werden. Hinsichtlich der Altablagerung Riesert Flächen Nr.: 02908-000 wird auf das oben genannte Solum-Gutachten verwiesen.

Die essentiellen Ergebnisse werden nachstehend in geraffter Form wiedergegeben:

- Die Beobachtungen und Messungen indizieren für keine der Verdachtsflächen grundwasserschädliche Bodenbelastungen. So waren bei der Untersuchung der Bodenproben keine Prüfwertüberschreitungen für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser festzustellen. Die Konzentrationen der untersuchten organischen Schadstoffe BTEX, LHKW, PCB, KW und PAK waren gering bzw. lagen unterhalb der Bestimmungsgrenzen. In den bei AS PFC Holzschuppenbrand auf PFC analysierten Bodenproben lagen die PFC-Gehalte unterhalb der Bestimmungsgrenzen bzw. unterhalb der Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS).
- Als Verfüllungen der Flächen AA Bombentrichter (2907) und AA Grube Lehener Winkel (2907) wurde augenscheinlich unbelasteter Bodenaushub aus der Umgebung verwendet. Einschränkungen hinsichtlich der bodenähnlichen Verwertbarkeit sind für beide Verdachtsflächen nicht indiziert.
- Die auf den Verdachtsflächen AS Fackelfabrik (2656) und AS PFC Holzschuppenbrand angetroffenen Auffüllungen sind abfallrechtlich teilweise nur eingeschränkt verwertbar (Z1.2 bzw. Z2). Eine Separierung der Auffüllungen bei Erdarbeiten sowie deren abschließende abfallrechtliche Charakterisierung und erhöhte Entsorgungskosten sind planerisch vorzusehen.
- Die orientierende Untersuchung der Altablagerung Riesert nach Solum 2017 ergab Überschreitungen der Vorsorgewerte für Schwermetalle, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, polychlorierte Biphenyle und leicht erhöhte Gehalte für Kohlenwasserstoffe. Prüfwertüberschreitungen wurden nicht festgestellt. Gefährdungen hinsichtlich der Wirkungspfade Boden-Mensch (Nutzung als Park- und Freizeitanlage), Boden-Nutzpflanze und Boden-Grundwasser wurden nicht ermittelt. Die Wohnsiedlung ist versiegelt (asphaltiert), eine Exposition hinsichtlich des Wirkungspfades Boden-Mensch liegt damit nicht vor. In der Bodenluft wurden keine Schadstoffe nachgewiesen. Die schluffigen Oberböden sind nach Solum vergleichsweise gering belastet: Für Blei wurde der Vorsorgewert in der Mischprobe MP3 ein Gehalt von 560 mg/kg und für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) wurde der Vorsorgewert in den Mischproben MP1-MP3 überschritten (3,0 bis 11

mg/kg). Die sandigen Unterböden (ab ca. 0,1 bis max. 2,0 m) weisen stellenweise stark erhöhte Feststoffgehalte auf, namentlich bei Blei mit bis zu 1.100 mg/kg, Kupfer bis 600 mg/kg und Zink bis 1.500 mg/kg.

Die Herkunft der o.g. Schadstoffe wird auf die Nutzung des Standorts mit einem Schrottplatz bzw. auf die Bauschuttanteile im Auffüllmaterial zurückgeführt.

10.2 Ergänzende Baugrunduntersuchungen am Schildkrötenkopf im Hinblick auf eine Versickerungseignung

Auf dem Standort „Schildkrötenkopf“ im Bebauungsplangebiet Dietenbach in Freiburg soll ein Regenwasserversickerungsbecken gebaut werden.

Der Bereich des geplanten Regenwasserversickerungsbeckens (vgl. Abbildung 28) wurden im Unterauftrag durch die Firma GEOsens GmbH aus Schallstadt untersucht.

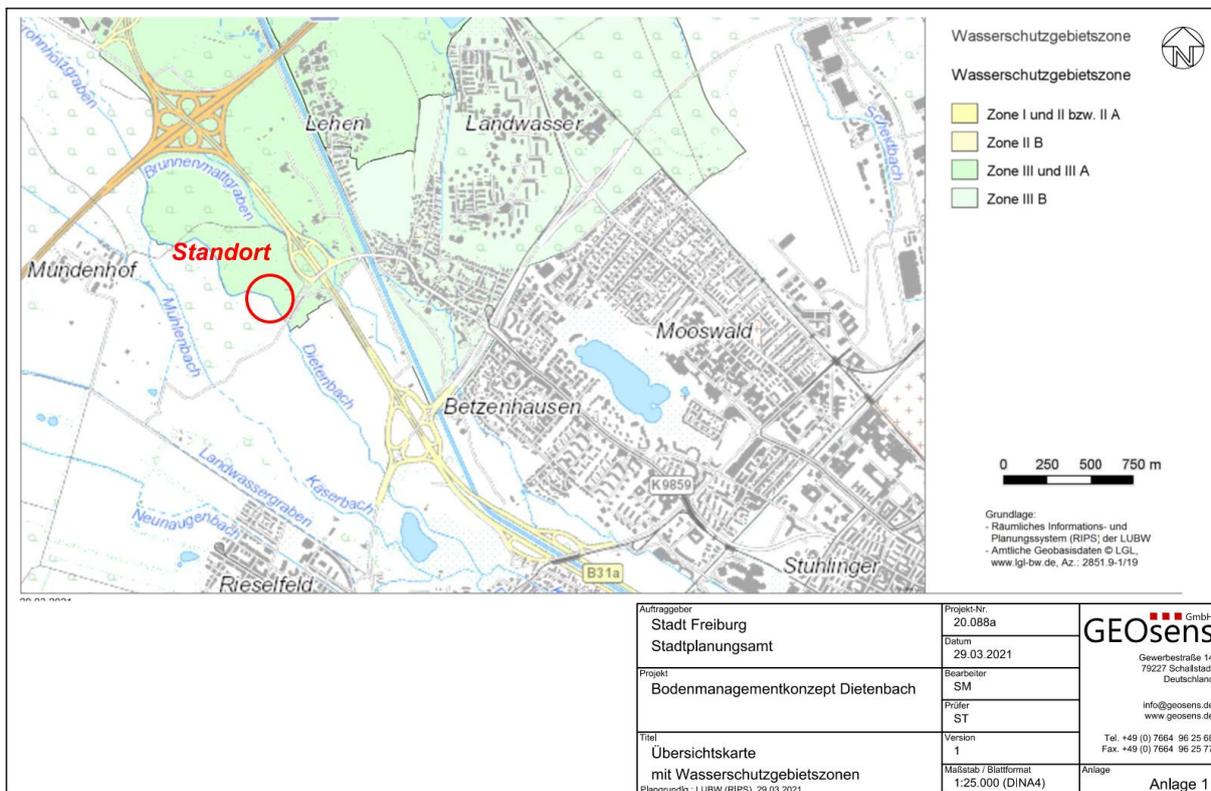


Abbildung 28: Lage der geplanten Versickerungsanlage am Schildkrötenkopf

Die Untersuchungen zielten auf folgende Beurteilungen ab:

- hydrogeologische Standortsituation
- Bodenaufbau und Versickerungsfähigkeit
- geotechnische Beratung mit Angaben zum Bemessungswasserspiegel, zum Durchlässigkeitsbeiwert in der ungesättigten Bodenzone, zum Herstellen von Kanalgräben, zur Tragfähigkeit des Untergrundes, zur geotechnischen und

abfallrechtlichen Verwertbarkeit von Bodenaushub, zur Bodenaufbereitung und Bodenentsorgung

Die durchgeführten Untersuchungen sowie deren Ergebnisse sind in einem eigenständigen Teilgutachten ausführlich dargelegt (Anhang 12). Die wesentlichen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

10.2.1 Bemessungswasserspiegel

Bei einem Überflutungsereignis (HQ100) tritt der Dietenbach über seine Ufer und der Standort wird teilweise überflutet.

Die Vorflut Dietenbach und der Grundwasserleiter sind ein kommunizierendes System, bei dem über die kiesige Bachsohle Oberflächenwasser in den Grundwasserleiter infiltriert, so dass bei Überflutungsereignissen der Grundwasserdruckspiegel sich dem Wasserspiegel des Dietenbachs respektive der überfluteten Fläche angleicht.

Bei einer Messstelle im westlichen Umfeld des Standorts wurden Wasserspiegel aufgezeichnet, die bis zu 0,9 m oberhalb des MHW-Spiegels und damit nur geringfügig unter der Geländeoberfläche lagen (siehe Kap. 1.3). Auch die hydromorphen Merkmale in den Auenlehmschichten belegen den saisonalen Einstau von Grundwasser in die oberflächennahen Schichten.

Aus o.g. Gründen wird daher der Bemessungswasserspiegel für Bauwerksabdichtung und Auftriebssicherheit von Bauwerken auf Geländeoberfläche festgelegt.

Die Bodenschichten aus Homogenbereich 2 (Auenlehm), die an erdberührenden Bauwerksteilen anstehen, sind als gering durchlässig einzustufen ($k_f \leq 10^{-4}$ m/s). Auf diese Bauwerksteile wirkt Stauwasser, bei Hochwasserereignissen auch drückendes Wasser.

Damit ist mindestens die Wassereinwirkungsklasse W2.1-E nach DIN 18533-1 (mäßige Einwirkung von drückendem Wasser), bei Gründungstiefen von ≥ 3 m auch die Wassereinwirkungsklasse W2.2-E (hohe Einwirkung von drückendem Wasser) anzusetzen.

10.2.2 Regenwasserversickerung am Standort

Die Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone respektive des Sickerraums betrug im Zeitraum der Erkundung ca. 1,4 m.

Zu diesem Zeitpunkt wurden Grundwasserspiegelhöhen auf dem Standort gemessen, die etwa 30 cm unter dem Grundwasserspiegel im MHW-Fall lagen.

Die Mindestmächtigkeit des Sickerraums von ≥ 1 m nach DWA, berechnet zwischen Geländeoberkante und MHW-Spiegel, ist damit gegeben.

Gemäß Regelwerk DWA leitet sich der Bemessungswert für die hydraulische Durchlässigkeit in der ungesättigten Bodenzone $k_{f,u} = 2 \times k$ ab ($k_{f,u}$ = hydraulische Durchlässigkeit in der ungesättigten Bodenzone, k = Infiltrationsrate aus Test).

Im Auenlehm (Homogenbereich 2) reicht die Wertespanne für die hydraulische Durchlässigkeit in der ungesättigten Bodenzone bei 6 Tests von $k_{f,u} = 4 \times 10^{-5}$ m/s bis 4×10^{-7} m/s. Aus den Testdaten errechnen sich damit folgender Mittelwert bzw. Median:

$$\text{Mittelwert } k_{f,u} = 8 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$\text{Median } k_{f,u} = 1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

Das Wertespektrum des kf-Werts (hydraulische Durchlässigkeit gesättigte Bodenzone) aus den Sieblinien lag bei $k_f \leq 2 \times 10^{-6}$ m/s.

Damit liegt die hydraulische Durchlässigkeit der Auenlehmschichten am unteren Ende des empfohlenen Wertebereichs von $k_{f,u} = 1 \times 10^{-6}$ m/s. Die deutliche Abweichung von Mittelwert zu Median illustriert die Heterogenität bzgl. der hydraulischen Durchlässigkeit.

Als Bemessungswert für den hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwert in der ungesättigten Bodenzone im Auenlehm wird konservativ der Median mit $k_{f,u} = 1 \times 10^{-6}$ m/s angesetzt.

In den Dreisamschottern (Homogenbereich 3) reicht die Wertespanne für die hydraulische Durchlässigkeit in der ungesättigten Bodenzone bei 7 Tests von $k_{f,u} = 4 \times 10^{-3}$ m/s bis 1×10^{-4} m/s. Aus den Testdaten errechnen sich damit folgender Mittelwert bzw. Median:

$$\text{Mittelwert } k_{f,u} = 2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$\text{Median } k_{f,u} = 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Als Bemessungswert für den hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwert in den grundwasserungesättigten Dreisamschottern wird empfohlen, konservativ den Median mit $k_{f,u} = 1 \times 10^{-3}$ m/s anzusetzen.

Empfehlungen:

Eine Homogenisierung des Sickerraums durch Aufbereitung der Auensedimente zu einem Erdstoff mit einer einheitlichen Versickerungsleistung respektive einer homogenen hydraulischen Durchlässigkeit sollte aus hydraulischer Sicht erwogen werden, da die Sickerleistung des Auenlehms am unteren Ende des empfohlenen Wertespektrums für ein Regenwasserversickerungsbauwerk liegt.

Da im Überflutungsfall kein Sickerraum für eine Regenwasserversickerung angesetzt werden kann, respektive keine Versickerung stattfindet, ist das Retentionsvolumen des Beckens entsprechend groß zu dimensionieren bzw. ein entsprechender Drosselabfluss einzuplanen.

10.2.3 Tragfähigkeit des Untergrunds

Allgemeine Hinweise zur Herstellung von Verkehrsflächen

Zur Bemessung von Verkehrsflächen sind gemäß RStO 12 folgende Punkte für den Standort anzusetzen:

- Frosteinwirkungszone I

- Frostempfindlichkeitsklasse Erdplanum: Auenlehm (Homogenbereich 2), F3-Untergrund
- Grund- und Schichtenwasser dauernd oder zeitweise höher als 1,5 m unter Planum

Die Belastungsklasse und Auslegung der Dicke des frostsicheren Oberbaus ist vom Fachplaner festzulegen.

Bei einer Regelfallbemessung ist für den Untergrund (OK Erdplanum) ein Ev_2 -Wert von $\geq 45 \text{ MN/m}^2$, $EV_2/EV_1 \leq 2,6$ erforderlich.

Bei den Bodenschichten aus Homogenbereich 2 kann planerisch nicht von einer guten Verdichtbarkeit respektive einer ausreichenden Tragfähigkeit ausgegangen werden, so dass ein Ev_2 -Wert von $\geq 45 \text{ MN/m}^2$ im Regelfall nicht erreicht werden kann.

Für das Erdplanum sind daher Bodenverbesserungsmaßnahmen vorzusehen. Die Bodenverbesserung kann durch einen Bodenaustausch mit einem Brechkorn-Schotter-Gemisch 0/45 von mindestens $\geq 35 \text{ cm}$ erfolgen, oder eine Verbesserung des bindigen Untergrundes wird durch Zumischung von Weißfeinkalk oder Mischbinder (Kalk-Zement) auf mindestens halbfeste Konsistenz erreicht.

Allgemeine Hinweise zur Bauwerksgründung

Zur Gründung von Bauwerken sollte der Boden auf Gründungsniveau eine mindestens steife Konsistenz bzw. eine mitteldichte Lagerung aufweisen.

Bei frostsicherer Gründung in 0,5 m Tiefe steht auf Gründungssohle im Regelfall der Auenlehm (Homogenbereich 2) an. Der Auenlehm weist die o.g. geforderten Eigenschaften im Regelfall nicht auf. Bodenverbesserungsmaßnahmen und eine bauwerksbezogenen Baugrunduntersuchung sind daher einzuplanen.

Bei Gründung in den Dreisamschottern ist die Tragfähigkeit ebenfalls bauwerksbezogen zwingend zu prüfen, da am Standort lokal bis in über 3,5 bzw. 5 m Tiefe nicht tragfähige Verhältnisse in den Dreisamschottern angetroffen wurden.

Die Grundwasser- und Überschwemmungssituation am Standort ist bei der Planung zu berücksichtigen. Der Grundwasserflurabstand liegt im MHW-Fall bei ca. 1 m. Er verringert sich jedoch mit zunehmender Nähe zum Oberflächengewässer Dietenbach.

Allgemeine Hinweise zum Anlegen von Kanalgräben

Ab 1,25 m Grabtiefe sind die Grabenwände abzuböschten oder zu verbauen.

Grundsätzlich sind bei der Planung und Ausführung der Baugruben die Angaben der DIN 4124 (Baugruben und Gräben, Böschungen, Arbeitsraumbreiten, Verbau) zu beachten.

Für freie Grabenböschungen kann in den weichen Auenlehmschichten bzw. bei mitteldicht gelagerten Dreisamschottern ein Böschungswinkel von 45° bzw. von 60° eingeplant werden.

Ab MHW-Niveau (ca. 1 m unter Geländeoberfläche) sind ein Grundwassereinfluss auf die Aushubsohle und eine Bauwasserhaltung einzuplanen. Je nach Baugrubengeometrie und erforderlichen Absenkbeträgen ist neben einer offenen Bauwasserhaltung (Dränage auf Grabensohle mit Pumpensumpf) auch eine Mehrbrunnenanlage (geschlossene Bauwasserhaltung) erforderlich. Diese ist bauwerksbezogen zu planen. Die hohen bis sehr hohen hydraulischen Durchlässigkeiten der Dreisamschotter sind zu berücksichtigen (k_f : 10^{-4} bis $> 10^{-2}$ m/s). Ggf. ist auch der Einbau einer wasserdichten Grabensohle z.B. mit Unterwasserbeton einzuplanen. Eine bauwerksbezogene Ermittlung des k_f -Werts im Bereich der späteren Baugruben wird empfohlen.

Die Auftriebssicherheit für Rohrleitungen und Schachtbauwerke ist gemäß Bemessungswasserspiegel sicherzustellen.

Bei Gründung von Rohrleitungen in den Dreisamschottern (Homogenbereich 3) ist im Regelfall von einer homogenen Rohrsohle auszugehen. Grobsteinlagen oder breiige Bodenschichten können lokal auftreten und sind durch Bodenaustausch zu ersetzen. Die Aushubsohle ist nachzuverdichten. Die Mindestdicke der unteren Bettungsschicht kann aus geotechnischer Sicht im Regelfall mit ≥ 100 mm angesetzt werden. Mehrdicken aufgrund statischer Anforderungen sind vom Fachplaner festzulegen.

Aufgrund der beobachteten Heterogenität des Untergrundes wird für die Ausführungsplanung empfohlen, den Bodenaufbau entlang der Kanaltrassen zu untersuchen.

10.2.4 Abfallrechtliche Hinweise

Allgemeine abfallrechtliche Hinweise

Falls ein Abtransport von Überschussmassen erforderlich sein sollte, ist für die endgültige abfallrechtliche Charakterisierung eine LAGA-PN98-konforme Entnahme von Mischproben einzuplanen.

Die Anzahl der Mischproben wird vom Aushubvolumen bestimmt. Grundsätzlich sieht der Gesetzgeber eine Probenahme aus Haufwerken (Bodenmieten) vor. Von dieser Vorgabe kann nur in Abstimmung mit der „Annehmenden Stelle“ (Verwerter, Deponie) abgewichen werden.

Der zeitliche Aufwand, ggf. erforderliche Zwischenlagerungsflächen und die Kosten für Probenahme und Analytik sind für die geplante Baumaßnahme zu berücksichtigen.

Abfallrechtliche Hinweise zu den Unterböden / Auenlehmen

Falls Überschussmassen von Bodenaushub aus den Unterböden / Auenlehmen außerhalb des Standorts verwertet werden sollen, wird empfohlen, planerisch die Zuordnungsklasse Z1.1 anzusetzen. Ursache sind gegen erhöhte Schwermetallgehalte in diesen Bodenschichten.

Die geotechnische Verwertbarkeit der Schichten des Auenlehms ist mangels Frostsicherheit und Verdichtbarkeit eingeschränkt. Eine Verwertung in setzungsunempfindlichen Bereichen wie z.B. im Garten- und Landschaftsbau ist möglich.

Die sandig-schluffigen bzw. kiesig-schluffigen Schichten können durch Siebung aufbereitet und nach Zumischung weitere Zuschlagstoffe z.B. als homogenisierte Oberbodenschicht im Regenwasserversickerungsbecken wieder eingebaut werden. Stark lehmige Schichten sind erfahrungsgemäß nicht bzw. nur bedingt klassierbar und wären anderweitig zu verwerten bzw. zu entsorgen.

Abfallrechtliche Hinweise zum Dreisamschotter

Für Überschussmassen von Bodenaushub aus dem Homogenbereich 3 (Dreisamschotter) sollte die Zuordnungsklasse Z0* angesetzt werden, da auch in diesen Schichten häufig geogen erhöhte Schwermetallgehalte beobachtet werden.

Die geotechnische Verwertbarkeit der Dreisamschotter ist im Regelfall gegeben, da die sandigen Schotter gut verdichtbar und tragfähig sind. Für frostunempfindliches Material muss der Feinkornanteil unter 5 % liegen, was durch Siebanalysen nachzuweisen ist.

Die Dreisamschotter können durch Siebung und Brechen im Regelfall zu einem hochwertigen Baustoff aufbereitet werden. Stark bindige Schichtglieder sollten schon beim Bodenabtrag ausgegliedert und für geringwertigere Anforderungen verwendet werden.

Hinweise zur Beurteilung der Unterböden mit Hilfe der BM-Werte der MantelVO

Für Unterböden liegen vereinzelte Messwerte vor, die insbesondere aus den Baugrunduntersuchungen und den Untersuchungen der Altablagerungen bzw. Altstandorte stammen. Diese Analysewerte sind insofern nicht repräsentativ für das gesamte Bebauungsplangebiet. Die Beurteilung der Unterboden-Schadstoffgehalte kann mit den BM-Werten nach Tabelle 43 erfolgen.

Tabelle 43: Bodenmaterialwerte nach Ersatzbaustoffverordnung

Parameter	Einheit	BM-0 Sand	BM0 L/U	BM0*	BM-F0*	BM-F1	BM-F2	BM-F3
Fremdbestandteile	Vol.-%	bis 10	bis 10	bis 10	bis 50	bis 50	bis 50	bis 51
pH-Wert ¹					6,5 - 9,5	6,5 - 9,5	6,5 - 9,5	5,5 - 12,0
Leitfähigkeit ¹	µS/cm			350	350	500	500	2000
Chlorid	mg/l							
Sulfat ²	mg/l	250	250	250	250	450	450	1000
Arsen	mg/kg TS	10	20	20	40	40	40	150
	µg/l			8 (13)	12	20	85	100
Blei	mg/kg TS	40	70	140	140	140	140	700
	µg/l			13 (43)	35	90	250	470
Cadmium	mg/kg TS	0,4	1	1	2	2	2	10
	µg/l			2 (4)	3	3	10	15
Chrom (gesamt)	mg/kg TS	30	60	120	120	120	120	600
	µg/l			10 (19)	15	150	290	530
Kupfer	mg/kg TS	20	40	80	80	80	80	320
	µg/l			20 (41)	30	110	170	320
Nickel	mg/kg TS	15	50	100	100	100	100	350
	µg/l			20 (31)	30	30	150	280
Thallium	mg/kg TS	0,5	1	1	2	2	2	7
	µg/l			0,2 (0,3)				
Quecksilber	mg/kg TS	0,2	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	5
	µg/l			0,1				
Zink	mg/kg TS	60	150	300	300	300	300	1200
	µg/l			100 (210)	150	160	840	1600
Cyanide, gesamt	mg/kg TS				3	3	3	10
	µg/l							
EOX	mg/kg TS	1	1	1				
Kohlen-wasserstoffe ⁴	mg/kg TS			300 (600)	300 (600)	300 (600)	300 (600)	1000 (2000)
BTX	mg/kg TS				1	1	1	1
LHKW	mg/kg TS				1	1	1	1
PCB ₆	mg/kg TS							
PAK ₁₆	mg/kg TS	3	3	6	6	6	9	30
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	0,3	0,3					
Phenolindex	µg/l				12	60	60	2000

Im Anhang 13 sind die Analysewerte der Unterbodenproben nach Ersatzbaustoffverordnung bewertet. Berücksichtigt wurden die 3 Unterbodenproben des Ingenieurbüro Feldwisch, sowie die 14 Unterbodenproben am Schildkrötenkopf von GEOsens.

Einzelne Proben der bindigen Schichten sind durch Stoffgehalte in der Klasse BM-0* gekennzeichnet; die Einstufung erfolgt zumeist durch den Blei-Feststoffgehalt. Vereinzelt Proben aus natürlichen Unterböden sind sogar in die Klasse BM-F3 einzustufen.

Darüber hinaus sind die Analyseergebnisse der Orientierenden Untersuchungen der 4 Verdachtsflächen durch GEOsens in die Bewertung einbezogen worden. Da die Proben aus Auffüllungen über Terrassenmaterial gewonnen wurden, war eine Unterscheidung zwischen Ober- und Unterbodenproben nicht möglich. Aus diesem Grund sind alle Analyseergebnisse der Orientierenden Untersuchungen in die Beurteilung nach Ersatzbaustoffverordnung einbezogen worden. Auf dem Altstandort Fackelfabrik (AS 2656) treten regelhafte Einstufungen in die Klasse BM-0* auf, die in Folge des sandigen Bodensubstrats schon bei niedrigen Gesamtgehalten insbesondere durch Blei, Chrom, Nickel und Zink ausgelöst werden. Die Altablagerung Bombentrichter (AA 2907) zeichnet sich an sich durch unauffällige Gehalte aus. Lediglich zwei pH-Messwerte liegen im sauren Bereich jeweils 1-mal innerhalb und außerhalb der Klasse BM-F3. Für die Altablagerung Grube Lehener Winkel (AA 2905) liegen die erfassten Schadstoffgehalte keine Überschreitungen der Werteregulungen nach Ersatzbaustoffverordnung vor, so dass sie als BM-0-Material einzustufen sind. Altstandort PFC Holzschuppenbrand (AS 7514) fallen wiederum vereinzelt Einstufungen in BM-0* in Folge von Kupfer, Zink und PAK auf; weiterhin liegen zwei KW10-40-Messwerte in der Klasse BM-F3.

Auch die Unterbodenergebnisse der orientierenden Untersuchung der Altablagerung Riesert von Solum (2017) wurden bewertet. Danach sind lokal sehr deutlich erhöhte Schadstoffgehalte zu erwarten, die punktuell sogar oberhalb des BM-F3-Wertes liegen können.

Eine generalisierende Einstufung der Unterbodenproben aus den Altablagerungen anhand der wenigen Mischproben ist fachlich nicht möglich, weil keine Flächenrepräsentativität der einzelnen Unterbodenproben unterstellt werden kann.

11 Literatur

- BBodSchV – Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), die in der derzeit bis Juli 2023 gültigen Fassung zuletzt durch Artikel 126 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.
- bosch&partner & faktorgrün (2018): Strategische Umweltprüfung (SUP) zur Städtebaulichen Entwicklungsmaßnahme (SEM) Dietenbach. Umweltbericht für die Strategische Umweltprüfung (SUP). Auftraggeber: Stadt Freiburg im Breisgau, Stadtplanungsamt.
- BUWAL – Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft (2006): Bodenschutz beim Bauen. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/boden/uv-umwelt-vollzug/bodenschutz_beimbauen.pdf.download.pdf/bodenschutz_beimbauen.pdf
- DWA-A 138 (2005): Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser.
- DIN 19731:1998-05 – Bodenbeschaffenheit, Verwertung von Bodenmaterial. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 18915: 2018-06 – Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Bodenarbeiten. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 19639: 2019-09 – Bodenschutz bei der Planung und Ausführung von Bauvorhaben. Beuth Verlag, Berlin.
- FaBo Zürich – Fachstelle Bodenschutz des Kantons Zürich (2003): Richtlinien für Bodenrekultivierungen. https://www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/planen-bauen/bauvorschriften/bodenschutz/bodenaufwertung/richtlinien_fuer_bodenrekultivierungen.pdf
- LAGA – Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung, 1.2 Bodenmaterial (TR Boden), Stand: 05.11.2004.
- MantelVO – Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung. Speziell: Artikel 1 Ersatzbaustoffverordnung, Tabelle 3: Materialwerte für Bodenmaterial und Baggergut.
- VwV BW, 2007: Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums Baden-Württemberg für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial.
- LANUV, 2011 (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen): Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten. Teil 3: Erfassung von und Umgang mit überschwemmungsbedingten Belastungsbereichen. LANUV-Arbeitsblatt 17.
- Solum, 2014: Projekt 2012_05b Gewerbegebiet Haid- Süd, Stadt Freiburg – Bodenkundliche Baubegleitung – Ausgleichsmaßnahme – Dokumentation. Gutachten im Auftrag der LBBW Immobilien Kommunalentwicklung GmbH, Stuttgart. 26.05.2014.

Solum, 2016: Detailuntersuchung (DU) zur bergbaubedingten Schwermetallbelastung der Böden im Stadtkreis Freiburg. Umweltschutzamt Freiburg.

12 Anhänge

- Anhang 01 - Koordinaten der Bohrpunkte
- Anhang 02 - Bodenkundlicher Beschreibung der Pürckhauerprofile nach KA5
- Anhang 03 - Fotos der Pürckhauerprofile
- Anhang 04 - Analyseprotokolle mit Zuordnungswerten nach VwV BW 2007
- Anhang 05 - Analytik-Tabelle von Eurofins GmbH
- Anhang 06 - Analyseprotokolle Baugrunduntersuchung Roth & Partner, 2015
- Anhang 07 - Potenzielle Zwischenlagerflächen im Bebauungsgebiet
- Anhang 08 - Potenzielle externe Bodenmassen-Verwertungsflächen <Z0 nach LGRB
- Anhang 09 - Potenzielle externe Verwertungsflächen von Bodenmaterial >Z1 im Breisgau-Hochschwarzwald und Emmendingen
- Anhang 10 - Potenzielle externe Bodenmassen-Verwertungsflächen <Z0 in Abbaustätten und Altlablagerungen
- Anhang 11 - Orientierende Untersuchungen Altlastenflächen (GEOsens GmbH)
- Anhang 12 - Untersuchungen Versickerungseignung Schildkrötenkopf (GEOsens GmbH)
- Anhang 13 - Beurteilung von Analysewerten aus dem Unterboden mit den BM-Werten nach Ersatzbaustoffverordnung