Freiburg IM BREISGAU

Ingenieurbüro Feldwisch

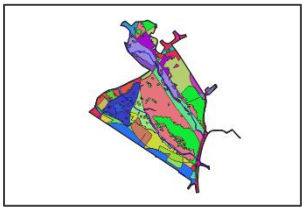
Karl-Philipp-Straße 1
51429 Bergisch Gladbach

Tel: 02204 / 42 28-50
Mail: info@ingenieurbuero-feldwisch.de
Web: www.ingenieurbuero-feldwisch.de









Bodenmanagementkonzept zum neuen Stadtteil Dietenbach

Auftraggeber
Stadt Freiburg im Breisgau
Projektgruppe Dietenbach

Auftragnehmer
Ingenieurbüro Feldwisch, Bergisch Gladbach

Bergisch Gladbach, 02.09.2021

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 Dipl.-Geol. Thomas Lendvaczky M.Sc. Salome Rüschendorf 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 3
2 Datengrundlage 4
3 Methodisches Konzept 5
4 Aufbereitung und Auswertung der Datengrundlagen, Erstellung Homogener Raumeinheiten und Messnetzplanung 6
4.1 Landnutzung 6
4.2 Boden 6
4.3 Überschwemmungsgebiete 7
4.4 Altlastverdachtsflächen 8
4.5 Ausschlussflächen 9
4.6 Erstellung der Homogenen Raumeinheiten 9
4.7 Messnetzplanung 10
5 Bodenaufnahmen, Bodenbeprobung, Analytik 13
5.1 Bodenprofilaufnahme 13
5.2 Sonderbohrung 13
5.3 Bodenbeprobung 14
5.4 Analytik und Zuordnungswerte nach VwV BW 2007 19
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 24
6.3.1 Arsen 24
6.3.2 Cadmium 25
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 30
6.4 Transekt-Schadstoffverteilung 34

7 Zusammenfassende Bewertung der Schadstoffgehalte 38
7.1 Überschreitung von Zuordnungswerten 38
7.2 Vergleich der aktuellen Schadstoffanalysen 2021 mit denen des Baugrundgutachtens von Roth & Partner 2015 44
8 Bodenmanagementkonzept 48
8.1 Interpolierte Mächtigkeiten unterschiedlicher Bodenschichten 48
8.2 Gebietskulisse 50
8.3 Schadstoffsituation 52
8.4 Bodenmassen-Berechnung 54
8.5 Auswirkungsprognose 54
8.5.1 Differenzierung der Böden nach ihrer Verwendung 54
8.5.2 Bodenabtrag 55
8.5.3 Zwischenlagerung 56
8.5.4 Maßnahmen zum Umgang mit Neophyten 57
8.5.5 Formulierungsvorschläge für textliche Festsetzungen 58
8.6 Kostenschätzungen 58
9 Suchraumkarten für die planexterne Verwertung des überschüssigen Oberbodens 59
9.1 Grundlagen 59
9.2 Suchraumkarten/Methodik 60
9.2.1 Suchraumkarte Bodenauftrag 60
9.2.2 Suchraumkarte Rekultivierung aufgelassener Abbaustätten und Altablagerungen 63
10 Ergänzende kleinräumige Untersuchungen 63
10.1 Detaillierte umwelttechnische Untersuchungen von Altlastverdachtsflächen 63
10.2 Ergänzende Baugrunduntersuchungen am Schildkrötenkopf im Hinblick auf eine Versickerungseignung 65
10.2.1 Bemessungswasserspiegel 66
10.2.2 Regenwasserversickerung am Standort 66
10.2.3 Tragfähigkeit des Untergrunds 67
10.2.4 Abfallrechtliche Hinweise 69
11 Literatur 70
12 Anhänge 71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Datengrundlange für das vorliegende Bodenschutzkonzept ... 4
Tabelle 2: Landnutzungsverteilung nach Basis-DLM im Dietenbachgelände ... 6
Tabelle 3: Probenahmen, Bohrpunktbezeichnungen und Untersuchungstypen der bodenkundlichen Untersuchung der gesamten Dietenbach-Bauabschnitte ... 17
Tabelle 4: Anzahl Profilaufnahmen und beprobte Bohrpunkte/Messstellen ... 18
Tabelle 5: Zuordnungswerte nach VwV BW 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 ... 31
Tabelle 21: Statistische Kennwerte der Cyanidgehalte ... 32
Tabelle 22: Statistische Kennwerte der EOX-Gehalte ... 32
Tabelle 23: Statistische Kennwerte der Kohlenwasserstoffgehalte ... 32
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 ... 33
Tabelle 28: Statistische Kennwerte der Benzo(a)pyren-Gehalte ... 34
Tabelle 29: Statistische Kennwerte des Phenolindex ... 34
Tabelle 30: Überflutungstiefen im Transekt der Satellitenbeprobungen ... 36
Tabelle 31: Statistische Kennwerte der Transekt-Beprobungspunkte ... 37
Tabelle 32: Probe-Analyseergebnisse mit Zuordnung ≥ Z1 nach VwV BW 2007 ... 38
Tabelle 33: Schichtbezogene potenziell anfallende Bodenmassen im Bauabschnitt 1 des neuen Stadtteils Dietenbach ... 54
Tabelle 34: Kostenschätzung (Spannweite) anhand von geschätzten Einheitspreisen für die zu verwertenden unterschiedlichen Bodenmassen ENTWURF ... 59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wassertiefen nach HWGK HQ100 8
Abbildung 2: Homogene Raumeinheiten im Bebauungsgebiet Dietenbach 10
Abbildung 3: Übersichtslageplan der Profil- und Probenentnahmepunkte im Bebauungsgebiet Dietenbach 12
Abbildung 4: Sonderbohrungen aufgrund von Strukturen im Luftbild (Quelle: Google Earth, Zeitschnitt 2009) 14
Abbildung 5: Detailansicht Sonderbohrungen (Quelle: Google Earth, Zeitschnitt 2009). .. 14
Abbildung 6: Lage und Zuordnung der Probeentnahmestellen zu den Misch-/Satellitenproben 16
Abbildung 7: Mischprobenbereiche (rot umrandet) im Bereich des Schildkrötenkopfs (ergänzend zum Gutachten von GEOsens) 17
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 49
Abbildung 17: Gebietskulisse für Bodenmassenbilanzierung im gesamten Bebauungsgebiet Dietenbach 51
Abbildung 18: Abgrenzung des Bauabschnitts1 nach Zuordnungswert Z1 53
Abbildung 19: Kartenausschnitt der Verbreitung des Staudenknöterichs im BA1; grün dargestellt 58
Abbildung 20: Potenzielle Flächen westlich von St. Georgen für die Verwertung des überschüssigen Oberbodens < Z0-Klasse aus Bauabschnitt 1 des B-Plan-Gebiets Dietenbach 62
Abbildung 21: Lage der Verdachtsflächen im B-Plan-Gebiet Dietenbach 64
Abbildung 22: Lage der geplanten Versickerungsanlage am Schildkrötenkopf 65

1 Veranlassung und Zielsetzung

Auf ca. 110 ha soll im Rahmen einer städtebaulichen Entwicklungsmaßnahme 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: Datengrundlange 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
Flächengeometrien des Altlastenkatasters (Altlasten(verdachts)flächen, Altablagerungen und Abgrabungen)	Stadt Freiburg
Punktbezogene Stoffdaten aus dem Baugrundgutachten 2015 des Bebauungsgebietes Dietenbach	
Beprobungspunkte Ingenieurbüro Roth & Partner 2015	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 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 des LUBW zugrunde liegen. Vom LUBW wurden die Überschwemmungsgebietsflächen und Tiefenraster aus Modellberechnungen für das Hochwasserszenarium eines hundertjährlichen 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.

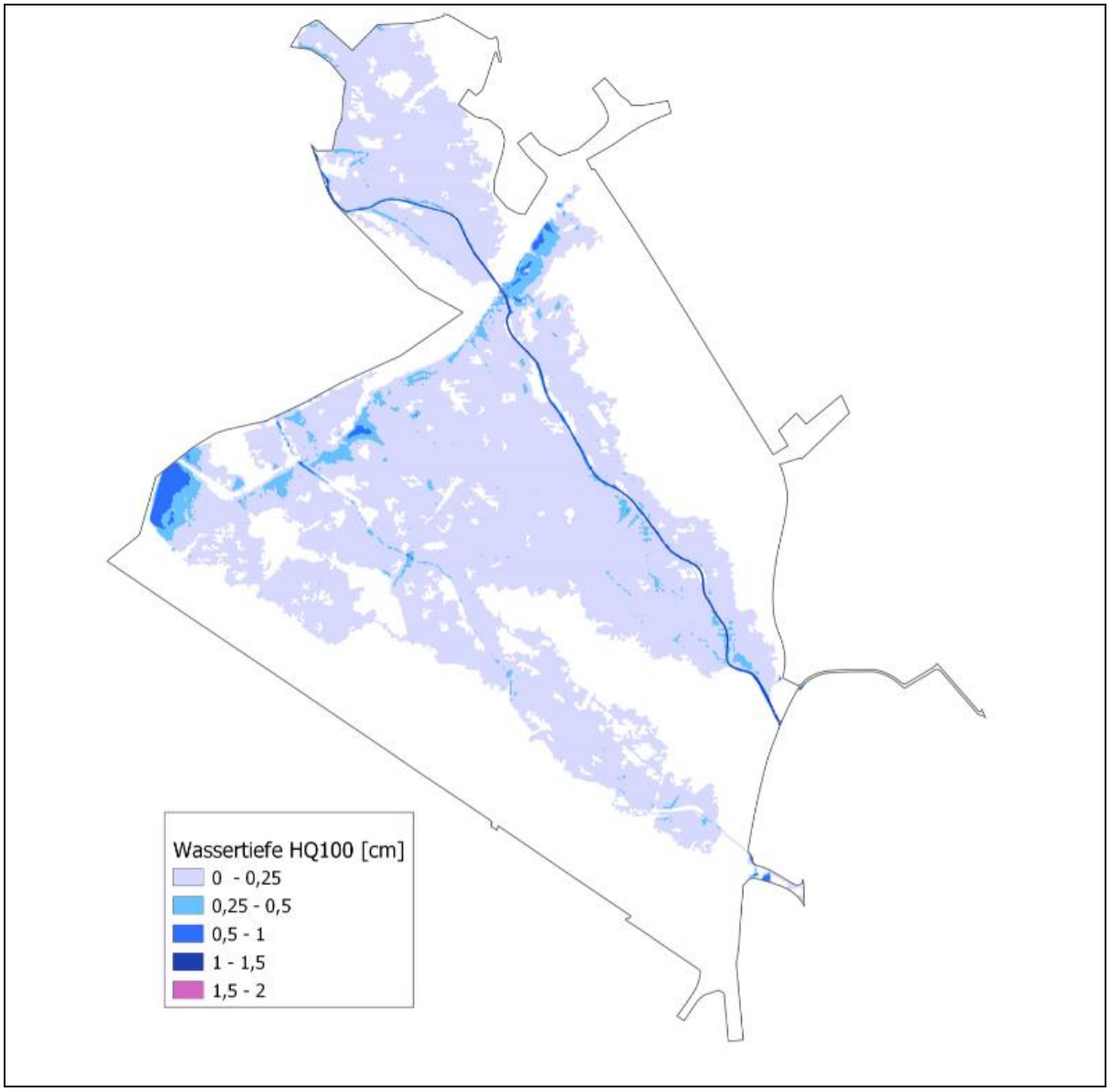


Abbildung 1: Wassertiefen nach HWGK HQ100

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 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 Altablagerungsort verzeichnet. Die „Grube Lehener Winkel“ ist als weiterer Altablagerungsstandort 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 Altablagerungsstandort verzeichnet.

Die genannten Flächen sind im Altlastenkataster erfasst und im Umweltbericht 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 Gewässer, Offen, Parkplatz, Straßenverkehr, Umspannstation, Verkehrsbegleitfläche und Industrie- und Gewerbefläche der Landnutzungsdaten Basis-DLM
- 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.

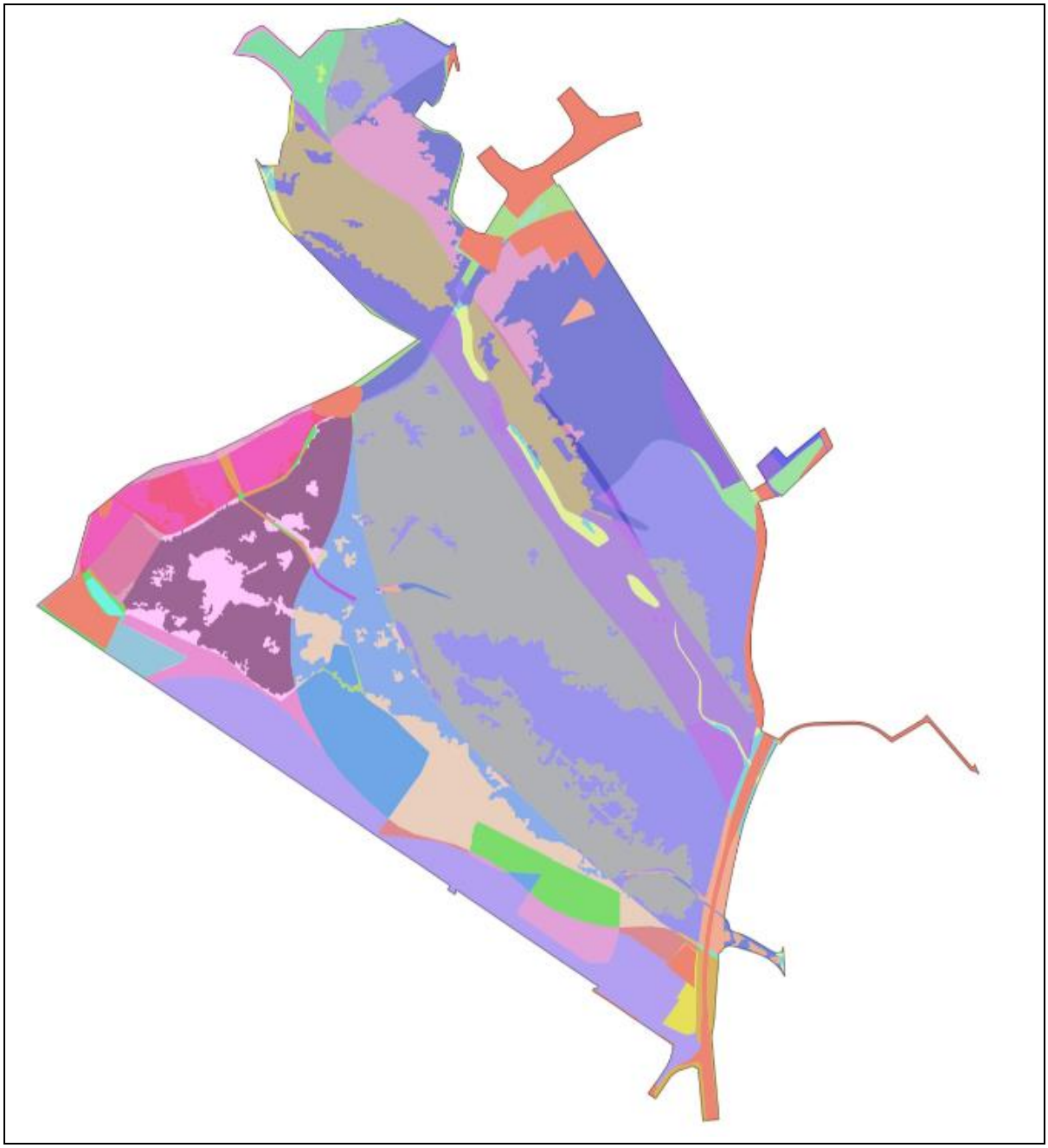


Abbildung 2: Homogene Raumeinheiten im Bebauungsgebiet Dietenbach

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 Käsle- 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 sowie die Schürfe und Versickerungsversuchspunkte von GEOsens GmbH enthalten.

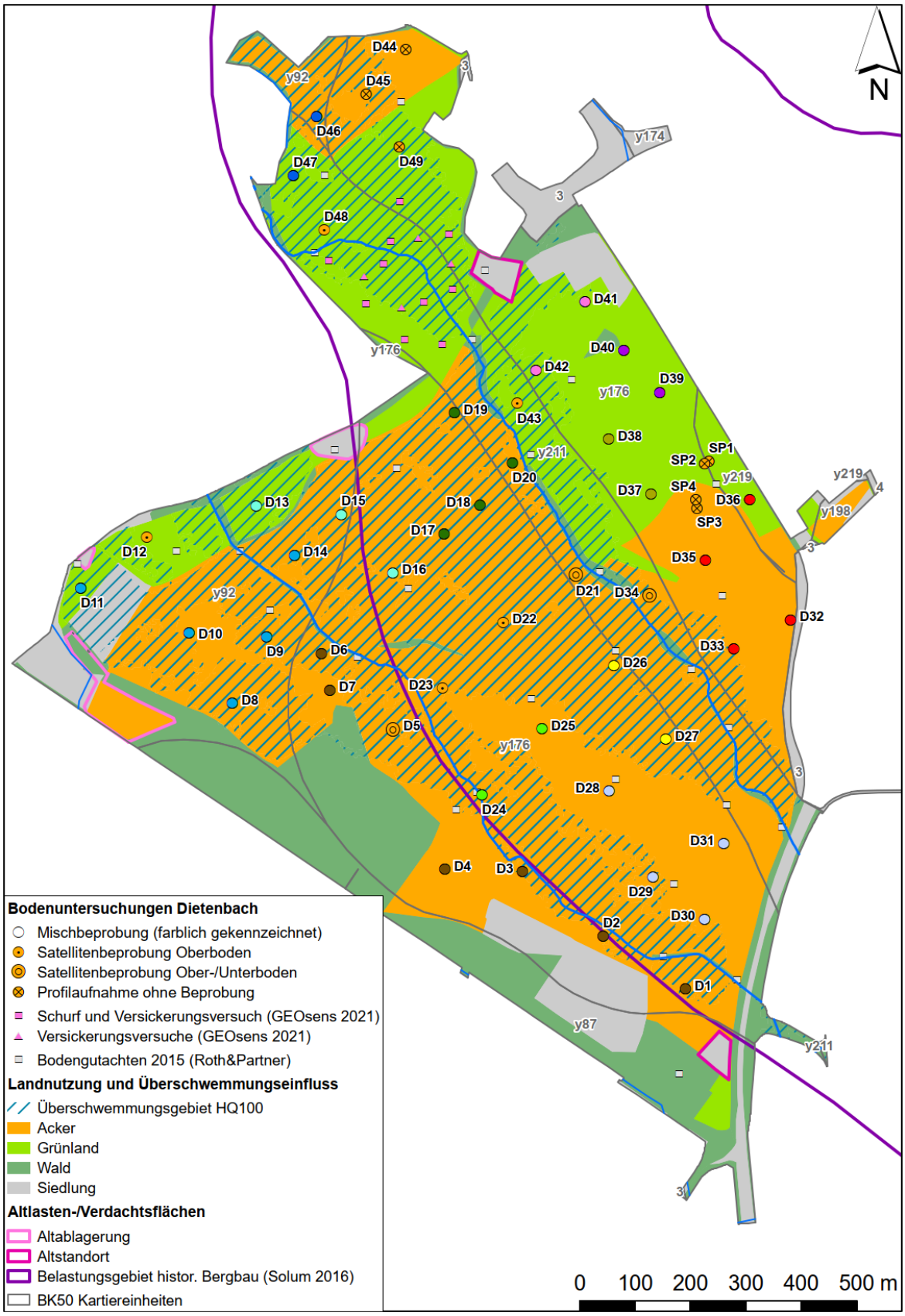


Abbildung 3: Übersichtslageplan der Profil- und Probenentnahmepunkte im Bebauungsgebiet Dietenbach

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 Sonder-bohrungen (Quelle: Google Earth, Zeitschnitt 2009).

5.3 Bodenbeprobung

Die bodenkundlichen Profilaufnahmen und die HRE dienten der Beprobung nach Anhang 1, Tabelle 1 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 Käsle- 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, Arbeitsgruppe 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 Homogen 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.

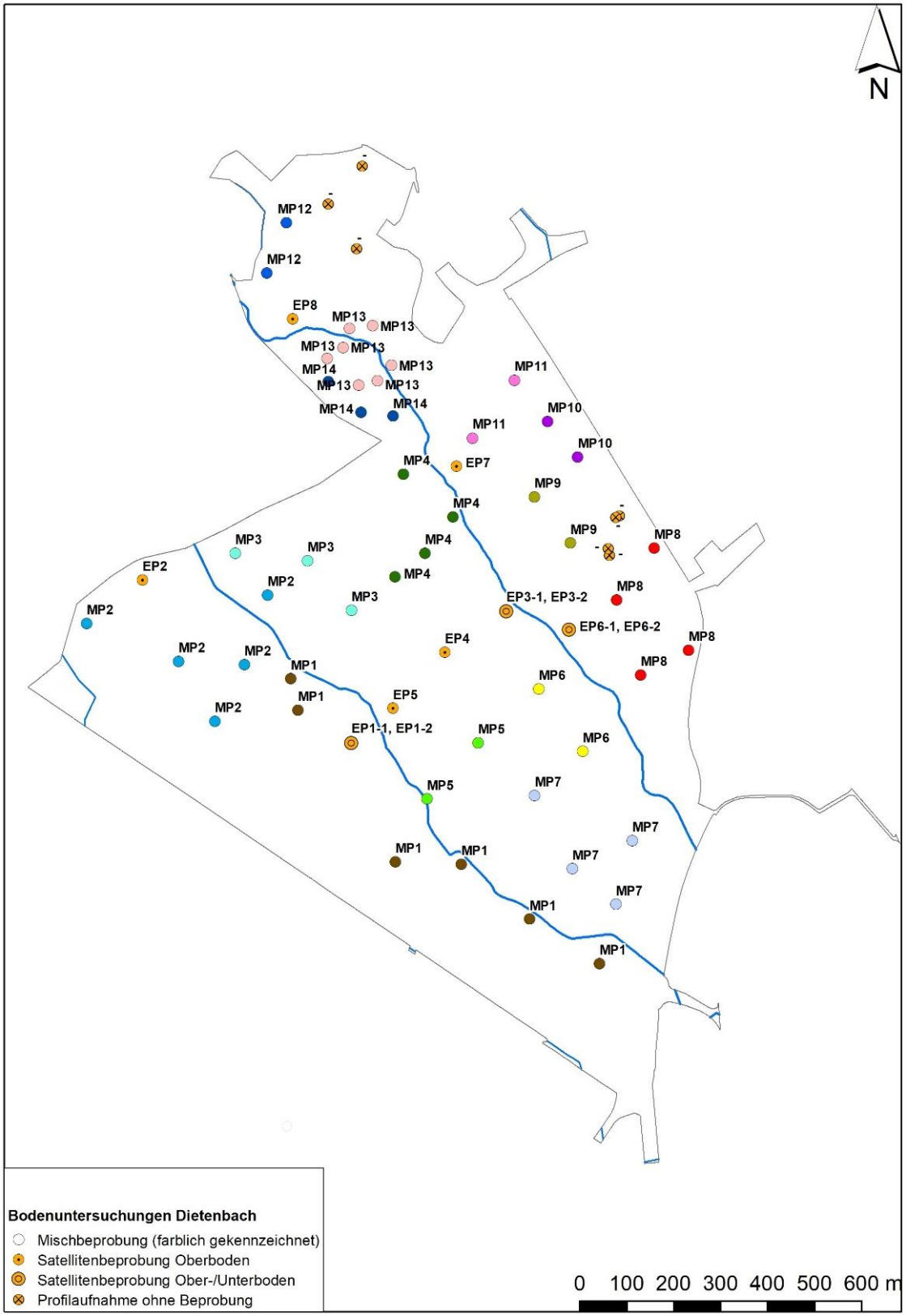


Abbildung 6: Lage und Zuordnung der Probeentnahmestellen zu den Misch-/Satellitenproben

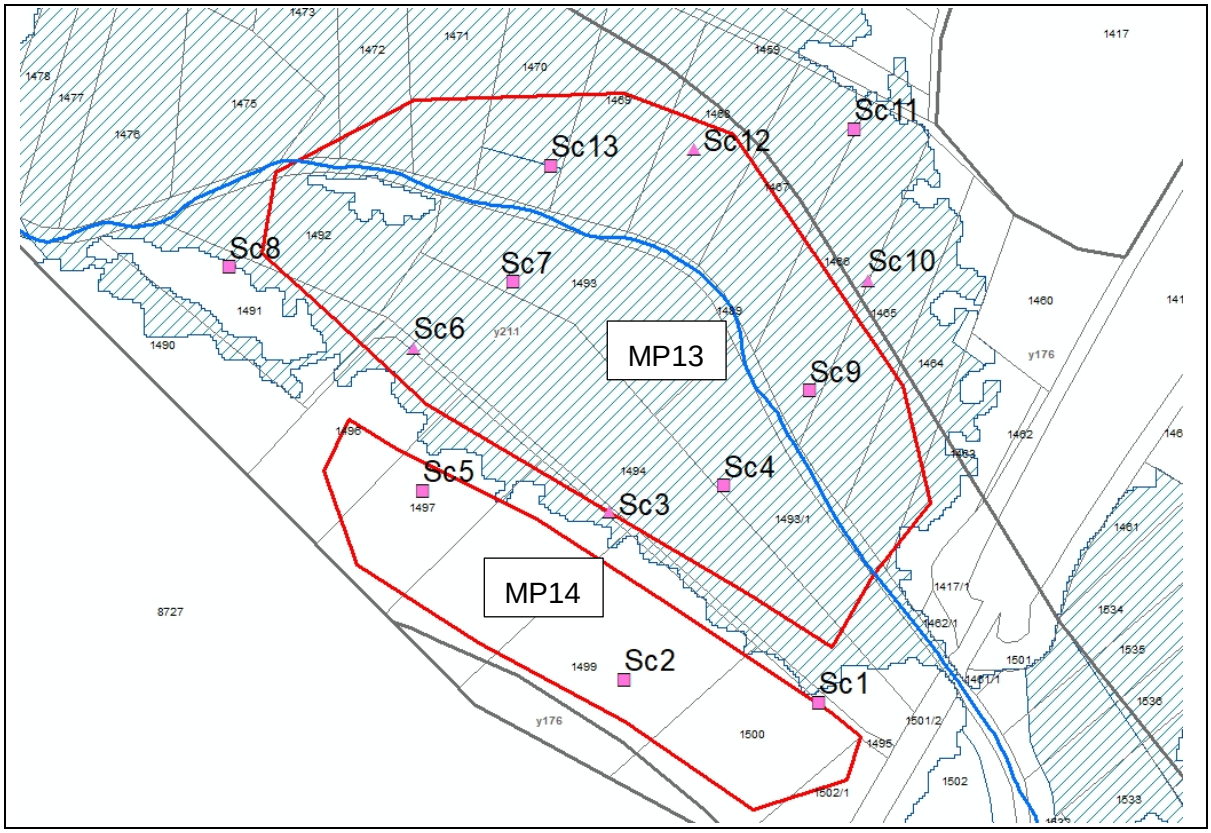


Abbildung 7: Mischprobenbereiche (rot umrandet) im Bereich des Schildkrötenkopfs (ergänzend zum Gutachten von GEOsens)

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.

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	
Grünland	8	9	9	
Parkplatz (temporär) auf Grünland	1	1	1	
Standorte innerhalb des HQ100-Überschwemmungsgebiets				
Acker	22	21	21	3
Grünland	6	12	13	
Parkplatz (temporär) auf Grünland	1	1	1	
Gesamt	53	56[3)]	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 BW 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 BW 2007

Parameter	Einheit	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
Kohlen-wasserstoffe[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 - lC gekennzeichnet.

Ah/Ap (Oberboden): Natürliches Substrat mit teils hohem Steingehalt. Der Ap-Horizont wird ackerbaulich regemäßig 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, grundwasser-beeinflusst, kein aktueller Wasseraustritt am Bohrstock (bis 1m), Sand und teilweise auch Kiesanteil, Letzterer nach unten hin zunehmend

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

Die genauen Profilbeschriebe sind dem Anhang 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 wurden ausschließlich die Mischproben mit Bezeichnung MP1 - MP12 sowie die Einzelproben EP1 - EP8 betrachtet. Die später

durchgeführten Mischbeprobungen mit Bezeichnungen MP13 + MP14 sind nicht in den folgenden statistischen Tabellen mit eingegangen, werden jedoch in der Auswertung und Darstellung im Kapitel 7 mitbetrachtet. Die nachanalysierten Werte können der Analytik-Tabelle im Anhang entnommen werden.

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 6,3 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	48	5,4	7,8	6,3	5,6	6,1	7,3	0,7
Hauptnutzung								
Acker	25	5,4	7,5	6,3	5,6	6,1	7,4	0,7
Grünland	7	5,9	7,8	6,5	5,9	6,1	7,3	0,8
Acker/Grünland-Mix	16	5,5	7,1	6,2	5,6	6,1	6,9	0,6
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	5,6	7,5	6,5	5,7	6,5	7,4	0,6
außerhalb	13	5,7	7,8	6,5	5,8	6,1	7,4	0,7
Innerhalb/ außerhalb -Mix	26	5,4	6,5	5,9	5,5	5,8	6,4	0,4

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	48	1,5	6,7	3,7	2,0	3,4	5,4	1,3
Hauptnutzung								
Acker	25	1,9	5,7	3,7	2,0	3,4	5,5	1,2
Grünland	7	3,3	5,2	4,1	3,3	4,0	5,0	0,8
Acker/Grünland-Mix	16	2,6	6,7	3,9	2,8	3,3	5,7	1,4
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	1,5	5,7	3,5	1,8	3,4	5,5	1,5
außerhalb	13	3,3	6,7	4,2	3,3	3,4	5,8	1,2
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	2,6	4,6	3,4	2,8	3,3	4,2	0,6

Tabelle 8: Statistische Kennwerte der TOC-Gehalte

TOC (%)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	0,9	3,9	2,2	1,2	2,0	3,2	0,7
Hauptnutzung								
Acker	25	1,1	3,3	2,1	1,1	2,0	3,2	0,7
Grünland	7	1,9	3,0	2,4	1,9	2,3	2,9	0,4
Acker/Grünland-Mix	16	1,5	3,9	2,3	1,6	1,9	3,3	0,8
Überschwemmungsgebiet HQ100								
Innerhalb	10	0,9	3,3	2,1	1,1	2,0	3,2	0,9
außerhalb	13	1,9	3,9	2,5	1,9	2,0	3,4	0,7
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	1,5	2,7	2,0	1,6	1,9	2,5	0,4

Die Humusgehalte schwanken zwischen 1,5 % und 6,7 %, der Medianwert liegt bei 3,4 % und ist in die Humusgehaltsklasse h3 nach KA5 einzustufen. Die Humusgehalte steigen erwartungsgemäß in der Reihenfolge Acker- zu Grünlandböden an. Im Mittel weisen Ackerböden 3,7 % und Grünlandböden 4,1 % Humus auf.

6.3 Schadstoff-Parameter

6.3.1 Arsen

Für Arsen liegen insgesamt 48 valide Messwerte vor. Die Arsen-Feststoffgehalte schwanken zwischen 9,2 bis maximal 18,6 mg/kg, der Medianwert beträgt 13,9 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 ca. 2 bis 3 mg/kg höhere Gehalte aus.

In ähnlicher Weise sind die Arsengehalte außerhalb von Überschwemmungsgebieten etwas höher als innerhalb.

Bei den Arsen-Eluatgehalte ist der Unterschied im Hinblick auf den Nutzungs- und Überschwemmungseinfluss nicht eindeutig. 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	48	9,2	18,6	14,0	11,1	13,9	16,7	2,4
Hauptnutzung								
Acker	25	9,2	16,8	13,3	9,7	13,5	16,1	2,4
Grünland	7	11,8	17,3	15,4	13,1	16,2	17,0	2,1
Acker/Grünland-Mix	16	11,3	18,6	14,5	12,5	14,1	16,9	2,2
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	11,0	16,2	13,5	12,0	13,1	15,5	1,6
außerhalb	13	11,8	18,6	15,5	12,9	16,1	17,8	2,1
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	9,2	16,8	13,0	9,4	13,7	15,9	2,8

Arsen (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	0,5	4,0	1,3	0,5	1,0	2,0	1,0
Hauptnutzung								
Acker	25	0,5	2,0	1,2	0,5	1,0	2,0	0,6
Grünland	7	0,5	4,0	1,5	0,5	0,8	3,1	1,5
Acker/Grünland-Mix	16	0,5	4,0	1,3	0,5	1,0	2,5	1,2
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	0,5	2,0	1,2	0,5	1,0	2,0	0,6
außerhalb	13	0,5	4,0	1,6	0,5	1,0	4,0	1,5
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	0,5	2,0	1,0	0,5	1,0	1,4	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-östlichem Bereich sind tendenziell die etwas höheren Arsen-Feststoffgehalte zu beobachten.

6.3.2 Cadmium

Für die Auswertung der Cadmiumgehalte standen insgesamt 49 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	48	0,10	0,60	0,34	0,20	0,30	0,50	0,13
Hauptnutzung								
Acker	25	0,20	0,50	0,33	0,20	0,30	0,49	0,10
Grünland	7	0,10	0,50	0,33	0,16	0,35	0,47	0,15
Acker/Grünland-Mix	16	0,20	0,60	0,40	0,20	0,40	0,60	0,16
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	0,20	0,50	0,33	0,20	0,30	0,50	0,11
außerhalb	13	0,10	0,60	0,41	0,22	0,40	0,60	0,16
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	0,20	0,40	0,27	0,20	0,20	0,40	0,09

Cadmium (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00
Hauptnutzung								
Acker	25	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00
Grünland	7	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00
Acker/Grünland-Mix	16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00
außerhalb	13	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00

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. Mit Ausnahme von Thallium ist bei allen Analysen im Feststoff sogar das Gegenteil der Fall und die Analysewerte sind außerhalb des Überschwemmungsgebietes leicht erhöht im Gegensatz zu den Messwerten im Überschwemmungsgebiet.

Tabelle 11: Statistische Kennwerte der Chromgehalte

Chrom (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	41,0	63,0	51,3	44,0	51,0	59,6	6,3
Hauptnutzung								
Acker	25	41,0	61,0	50,3	44,0	49,5	59,7	6,4
Grünland	7	43,0	58,0	51,5	44,8	52,5	57,4	5,9
Acker/Grünland-Mix	16	45,0	63,0	52,0	46,5	50,5	59,0	5,8
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	44,0	61,0	51,6	44,8	51,0	60,2	6,2
außerhalb	13	43,0	63,0	53,1	46,0	55,0	60,0	6,3
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	41,0	57,0	49,0	42,8	49,0	55,8	5,5

Chrom (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	0,5	2,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4
Hauptnutzung								
Acker	25	0,5	2,0	0,8	0,5	0,5	1,9	0,6
Grünland	7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Acker/Grünland-Mix	16	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	0,5	2,0	0,7	0,5	0,5	0,8	0,5
außerhalb	13	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	0,5	2,0	0,7	0,5	0,5	1,1	0,5

Tabelle 12: Statistische Kennwerte der Kupfergehalte

Kupfer (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	18,0	41,0	26,7	21,0	24,0	36,6	6,6
Hauptnutzung								
Acker	25	21,0	37,0	26,0	21,1	23,0	34,7	5,5
Grünland	7	23,0	31,0	27,5	23,6	28,0	31,0	3,6
Acker/Grünland-Mix	16	18,0	41,0	28,8	19,5	26,5	40,5	8,9
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	19,0	37,0	25,2	20,6	22,0	35,4	6,0
außerhalb	13	23,0	41,0	30,7	23,6	31,0	40,4	6,9
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	18,0	32,0	24,6	19,8	22,0	30,2	4,9

Kupfer (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	2,5	13,0	7,2	2,5	9,0	11,6	3,6
Hauptnutzung								
Acker	25	2,5	12,0	7,3	2,5	9,0	10,0	3,2
Grünland	7	2,5	13,0	8,6	4,5	9,5	12,1	3,8
Acker/Grünland-Mix	16	2,5	12,0	7,0	2,5	7,5	11,0	3,8
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	2,5	9,0	5,7	2,5	5,0	9,0	3,1
außerhalb	13	2,5	13,0	9,5	6,4	10,0	12,4	3,1
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	2,5	12,0	7,0	2,5	7,0	10,8	3,5

Tabelle 13: Statistische Kennwerte der Quecksilbergehalte

Quecksilber (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	0,04	0,27	0,15	0,08	0,14	0,23	0,06
Hauptnutzung								
Acker	25	0,04	0,27	0,16	0,04	0,17	0,26	0,07
Grünland	7	0,08	0,14	0,12	0,09	0,12	0,13	0,02
Acker/Grünland-Mix	16	0,08	0,24	0,16	0,11	0,15	0,23	0,05
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	0,04	0,27	0,14	0,04	0,13	0,27	0,08
außerhalb	13	0,08	0,24	0,15	0,10	0,14	0,22	0,05
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	0,08	0,20	0,16	0,11	0,16	0,19	0,04

Quecksilber (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	0,0	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
Hauptnutzung								
Acker	25	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Grünland	7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Acker/Grünland-Mix	16	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
außerhalb	13	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	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	48	20,0	31,0	24,9	20,2	25,0	28,8	3,4
Hauptnutzung								
Acker	25	20,0	31,0	24,5	21,0	24,0	28,0	3,3
Grünland	7	20,0	28,0	25,0	21,5	26,0	27,7	3,1
Acker/Grünland-Mix	16	20,0	31,0	25,2	21,0	24,5	30,0	3,9
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	21,0	31,0	25,0	21,0	24,0	28,6	3,2
außerhalb	13	20,0	31,0	26,1	21,8	27,0	29,8	3,5
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	20,0	28,0	23,6	20,0	22,0	27,4	3,1

Nickel (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	0,5	4,0	1,5	0,5	1,0	2,0	1,0
Hauptnutzung								
Acker	25	0,5	4,0	1,8	0,5	2,0	3,8	1,2
Grünland	7	0,5	2,0	1,4	0,7	1,5	2,0	0,6
Acker/Grünland-Mix	16	0,5	2,0	1,0	0,5	1,0	1,5	0,5
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	0,5	2,0	1,2	0,5	1,0	2,0	0,7
außerhalb	13	0,5	2,0	1,3	0,5	1,0	2,0	0,6
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	0,5	4,0	2,1	0,8	2,0	4,0	1,3

Tabelle 15: Statistische Kennwerte der Thalliumgehalte

Thallium (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	0,1	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1
Hauptnutzung								
Acker	25	0,1	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1
Grünland	7	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1
Acker/Grünland-Mix	16	0,2	0,4	0,3	0,2	0,3	0,4	0,1
Überschwemmungsgebiet HQ100								
Innerhalb	10	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,0
außerhalb	13	0,2	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	0,1	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1

6.3.4 Blei

In der Grundgesamtheit schwanken die Blei-Feststoffgehalte zwischen 36 und 210 mg/kg, der Medianwert beträgt 121 mg/kg. 80 % der Messwerte liegen zwischen 46,2 und 175,4 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	48	36,0	210,0	113,3	46,2	121,0	175,4	51,1
Hauptnutzung								
Acker	25	59,0	210,0	109,6	65,9	86,0	156,3	45,4
Grünland	7	36,0	154,0	115,8	61,5	136,5	153,4	47,9
Acker/Grünland-Mix	16	40,0	201,0	130,8	57,0	145,0	190,5	56,6
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	43,0	210,0	110,4	67,8	82,0	167,6	50,1
außerhalb	13	36,0	201,0	141,3	87,0	152,0	188,4	49,1
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	40,0	150,0	89,0	51,4	74,0	147,0	39,6

Blei (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	2,0	19,0	7,9	3,0	7,0	11,8	4,2
Hauptnutzung								
Acker	25	3,0	15,0	7,9	3,1	8,0	11,9	3,5
Grünland	7	3,0	11,0	7,8	3,9	8,5	11,0	3,4
Acker/Grünland-Mix	16	2,0	19,0	8,3	2,5	7,5	15,0	5,8
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	3,0	15,0	8,1	3,8	9,0	12,6	3,6
außerhalb	13	2,0	19,0	9,0	2,6	11,0	14,2	5,4
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	3,0	11,0	6,4	3,0	6,0	10,4	2,9

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 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 103 und maximal 286 mg/kg.

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 keine Unterschiede nach den Haupteinflussfaktoren zu erkennen.

Tabelle 17: Statistische Kennwerte der Zinkgehalte

Zink (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	103,0	286,0	186,9	120,2	191,0	263,0	55,7
Hauptnutzung								
Acker	25	120,0	259,0	180,6	122,6	172,5	241,8	48,1
Grünland	7	103,0	264,0	188,8	130,3	194,0	243,0	57,2
Acker/Grünland-Mix	16	112,0	286,0	205,8	121,5	218,0	278,0	65,4
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	137,0	259,0	184,4	140,2	163,0	245,4	47,1
außerhalb	13	103,0	286,0	220,6	157,6	233,0	276,4	58,6
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	112,0	225,0	156,3	116,8	131,0	211,8	42,6

Zink (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	5,0	40,0	10,0	5,0	5,0	20,0	8,1
Hauptnutzung								
Acker	25	5,0	20,0	9,2	5,0	7,5	19,0	5,3
Grünland	7	5,0	20,0	10,0	5,0	7,5	17,0	6,1
Acker/Grünland-Mix	16	5,0	40,0	12,5	5,0	7,5	25,0	12,5
Überschwemmungsgebiet HQ100								
innerhalb	10	5,0	20,0	7,8	5,0	5,0	12,0	4,8
außerhalb	13	5,0	20,0	8,6	5,0	5,0	14,0	5,2
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	5,0	40,0	14,3	5,0	10,0	28,0	11,5

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 Bestimmungs- bzw. 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	48	15,0	72,0	40,6	23,4	39,0	62,6	14,4
Hauptnutzung								
Acker	25	15,0	72,0	43,8	35,1	39,0	68,1	14,9
Grünland	7	19,0	53,0	34,5	22,3	33,0	47,9	12,3
Acker/Grünland-Mix	16	22,0	65,0	39,5	25,5	38,5	54,5	13,8
Überschwemmungsgebiet HQ100								
Innerhalb	10	15,0	70,0	39,9	28,6	39,0	54,8	14,0
außerhalb	13	19,0	53,0	33,3	20,8	30,0	47,6	11,2
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	33,0	72,0	48,7	35,4	44,0	67,8	13,7

Tabelle 19: Statistische Kennwerte der Chloridgehalte

Chlorid (mg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	0,5	3,1	0,8	0,5	0,5	1,5	0,6
Hauptnutzung								
Acker	25	0,5	3,1	0,9	0,5	0,5	1,5	0,8
Grünland	7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Acker/Grünland-Mix	16	0,5	1,5	0,7	0,5	0,5	1,0	0,4
Überschwemmungsgebiet HQ100								
Innerhalb	10	0,5	1,5	0,7	0,5	0,5	1,4	0,4
außerhalb	13	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	0,5	3,1	1,1	0,5	0,5	2,1	0,9

Tabelle 20: Statistische Kennwerte der Sulfatgehalte

Sulfat (mg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	0,5	4,7	2,0	0,5	1,5	4,5	1,5
Hauptnutzung								
Acker	25	0,5	4,7	2,7	0,5	3,2	4,7	1,7
Grünland	7	0,5	2,2	1,1	0,5	0,9	1,9	0,7
Acker/Grünland-Mix	16	0,5	3,1	1,4	0,5	0,9	2,9	1,1
Überschwemmungsgebiet HQ100								
Innerhalb	10	0,5	4,7	2,1	0,5	1,5	4,6	1,6
außerhalb	13	0,5	2,2	1,0	0,5	0,5	1,7	0,6
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	0,5	4,7	3,1	1,8	3,1	4,3	1,3

Tabelle 21: Statistische Kennwerte der Cyanidgehalte

Cyanide (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	0,3	1,6	0,8	0,3	0,9	1,2	0,4
Hauptnutzung								
Acker	25	0,3	1,6	0,9	0,3	1,0	1,4	0,4
Grünland	7	0,3	1,2	0,7	0,3	0,6	1,1	0,4
Acker/Grünland-Mix	16	0,3	1,1	0,7	0,3	0,9	1,1	0,3
Überschwemmungsgebiet HQ100								
Innerhalb	10	0,3	1,6	0,7	0,3	0,8	1,4	0,5
außerhalb	13	0,3	1,2	0,7	0,3	0,9	1,1	0,4
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	0,3	1,2	1,0	0,6	1,1	1,1	0,3

Cyanide (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,0
Hauptnutzung								
Acker	25	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,0
Grünland	7	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,0
Acker/Grünland-Mix	16	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
Innerhalb	10	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,0
außerhalb	13	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	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	48	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Hauptnutzung								
Acker	25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Grünland	7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Acker/Grünland-Mix	16	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
Innerhalb	10	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
außerhalb	13	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	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	48	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0
Hauptnutzung								
Acker	25	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0
Grünland	7	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0
Acker/Grünland-Mix	16	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
Innerhalb	10	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0
außerhalb	13	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	0,0

Tabelle 24: Statistische Kennwerte der BTX-Gehalte

BTX (mg/kg)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hauptnutzung								
Acker	25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Grünland	7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Acker/Grünland-Mix	16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
Innerhalb	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
außerhalb	13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	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	48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hauptnutzung								
Acker	25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Grünland	7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Acker/Grünland-Mix	16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
Innerhalb	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
außerhalb	13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	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	48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hauptnutzung								
Acker	25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Grünland	7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Acker/Grünland-Mix	16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
Innerhalb	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
außerhalb	13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	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	48	0,0	3,3	0,7	0,0	0,4	1,6	0,8
Hauptnutzung								
Acker	25	0,0	3,3	0,8	0,2	0,5	1,3	0,8
Grünland	7	0,0	1,1	0,3	0,0	0,1	0,8	0,4
Acker/Grünland-Mix	16	0,1	2,1	1,1	0,2	1,1	2,0	0,8
Überschwemmungsgebiet HQ100								
Innerhalb	10	0,0	3,3	0,7	0,0	0,3	1,7	1,0
außerhalb	13	0,0	2,1	0,7	0,0	0,2	1,8	0,8
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	0,0	1,1	0,5	0,0	0,5	0,9	0,4

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	48	0,0	0,3	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1
Hauptnutzung								
Acker	25	0,0	0,3	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
Grünland	7	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
Acker/Grünland-Mix	16	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1
Überschwemmungsgebiet HQ100								
Innerhalb	10	0,0	0,3	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1
außerhalb	13	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0

Tabelle 29: Statistische Kennwerte des Phenolinindex

Phenolinindex (µg/l)	N	Min	Max	Mittel	10. P	Median	90. P	St.abw
Gesamt	48	0,5	5,0	4,8	5,0	5,0	5,0	0,9
Hauptnutzung								
Acker	25	0,5	5,0	4,6	5,0	5,0	5,0	1,2
Grünland	7	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,0
Acker/Grünland-Mix	16	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,0
Überschwemmungsgebiet HQ100								
Innerhalb	10	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,0
außerhalb	13	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,0
Innerhalb/außerhalb-Mix	26	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,0

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 Käsle- 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.

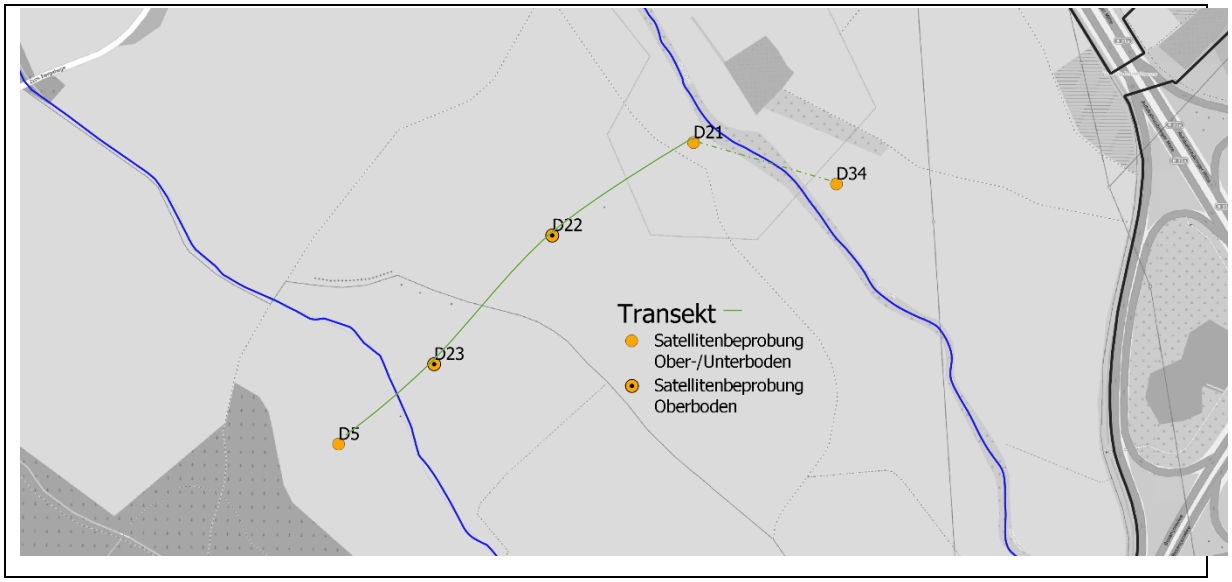


Abbildung 8: Transekt-Beprobungspunkte im Bebauungsgebiet Dietenbach

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 (vgl. Tabelle im Anhang 4). 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
		Käslebach			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 Käsle- 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 ≥ 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

Z1-Zuordnungswertüberschreitungen von Arsen und Blei im Oberboden sind vorwiegend zwischen dem Käsle- und dem Dietenbach sowie dem östlichen Teil des Dietenbachs zu finden (siehe Abbildung 9 und Abbildung 10). Lediglich auf den Flächenanteilen westlich des Käslebachs, mit Ausnahme der Satellitenbeprobung EP1-1, werden keine Zuordnungswerte ≥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 Käsle- 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 4 zu entnehmen.

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).Abbildung 12

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).

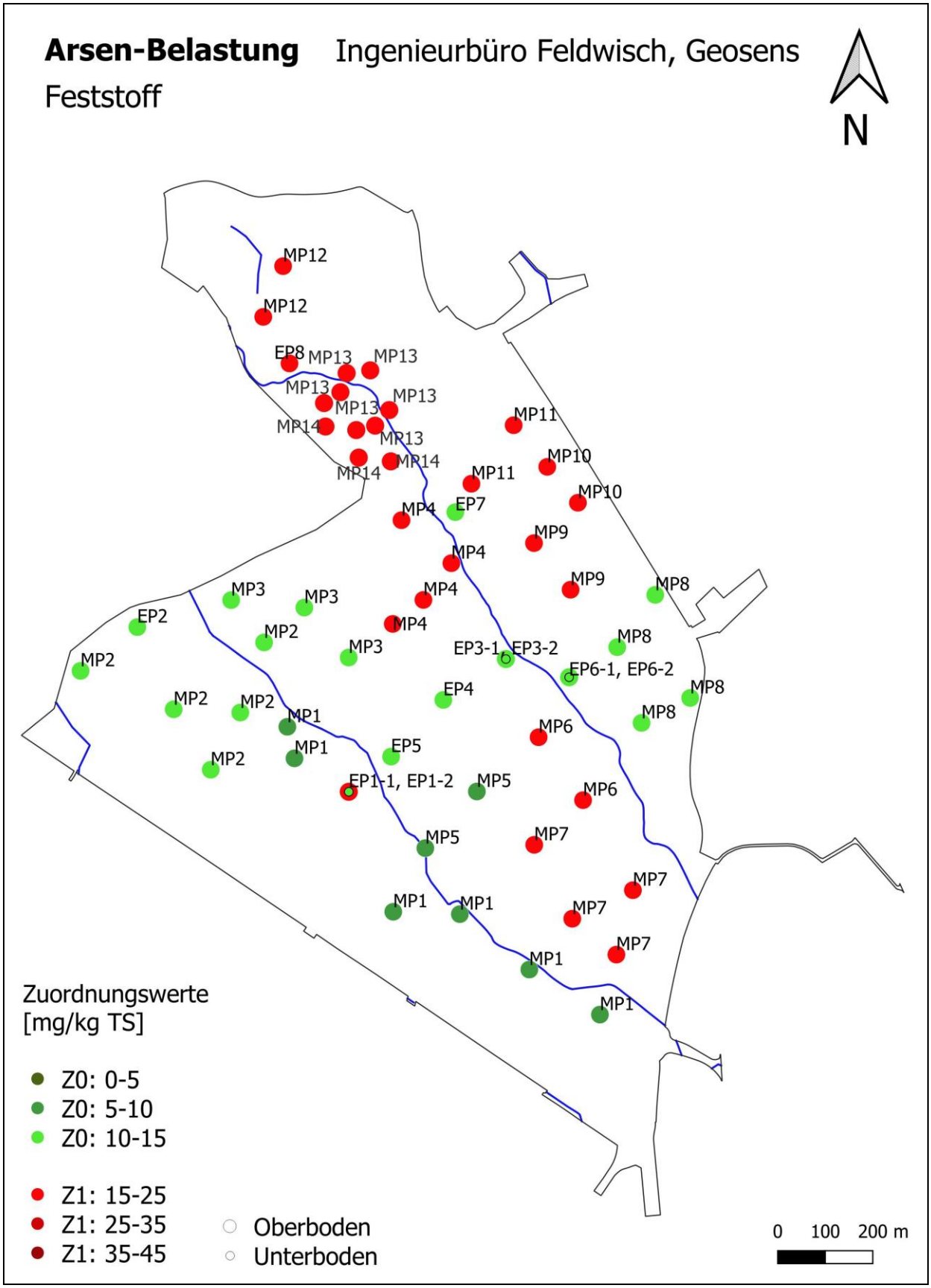


Abbildung 9: Arsen-Belastung der Oberböden im Dietenbachgelände, klassifiziert nach Zuordnungswerten VwV BW 2007

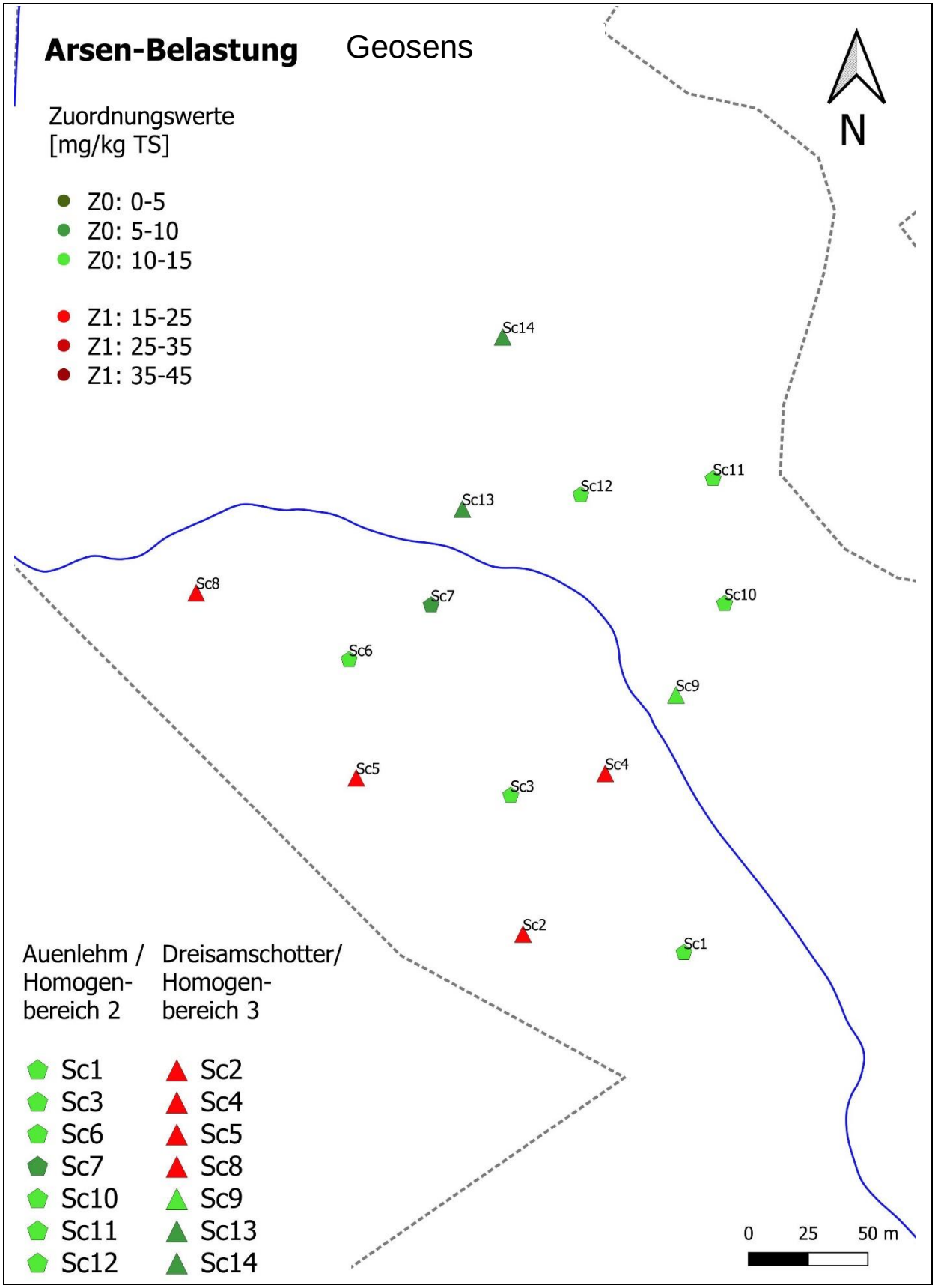


Abbildung 10: Arsen-Belastung der Unterböden des Schildkrötenkopfs, klassifiziert nach Zuordnungswerten VwV BW 2007. Bodenschürfe durch GEOsens GmbH

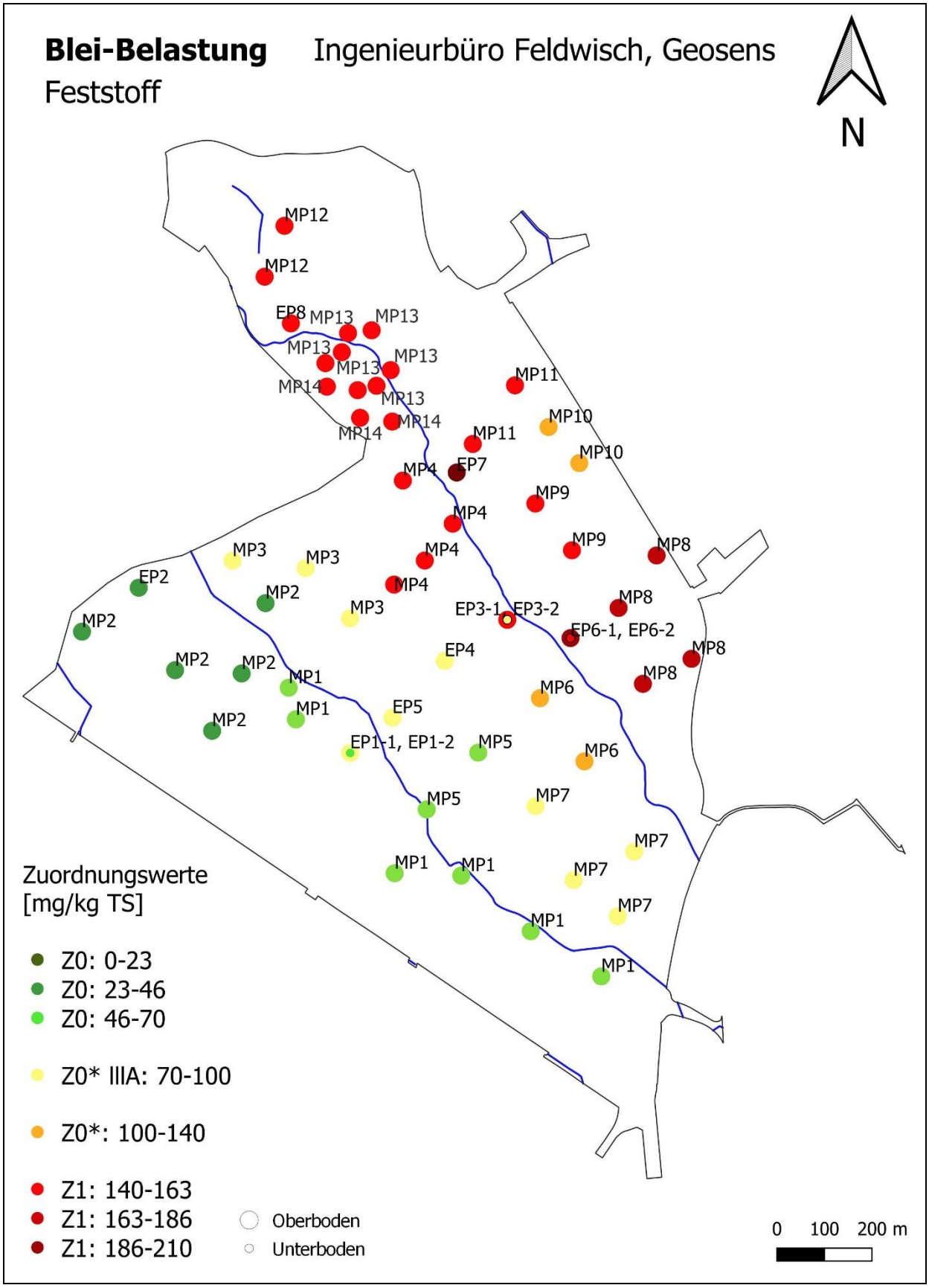


Abbildung 11: Blei-Belastung der Oberböden im Dietenbachgelände. Klassifiziert nach Zuordnungswerten VwV BW 2007

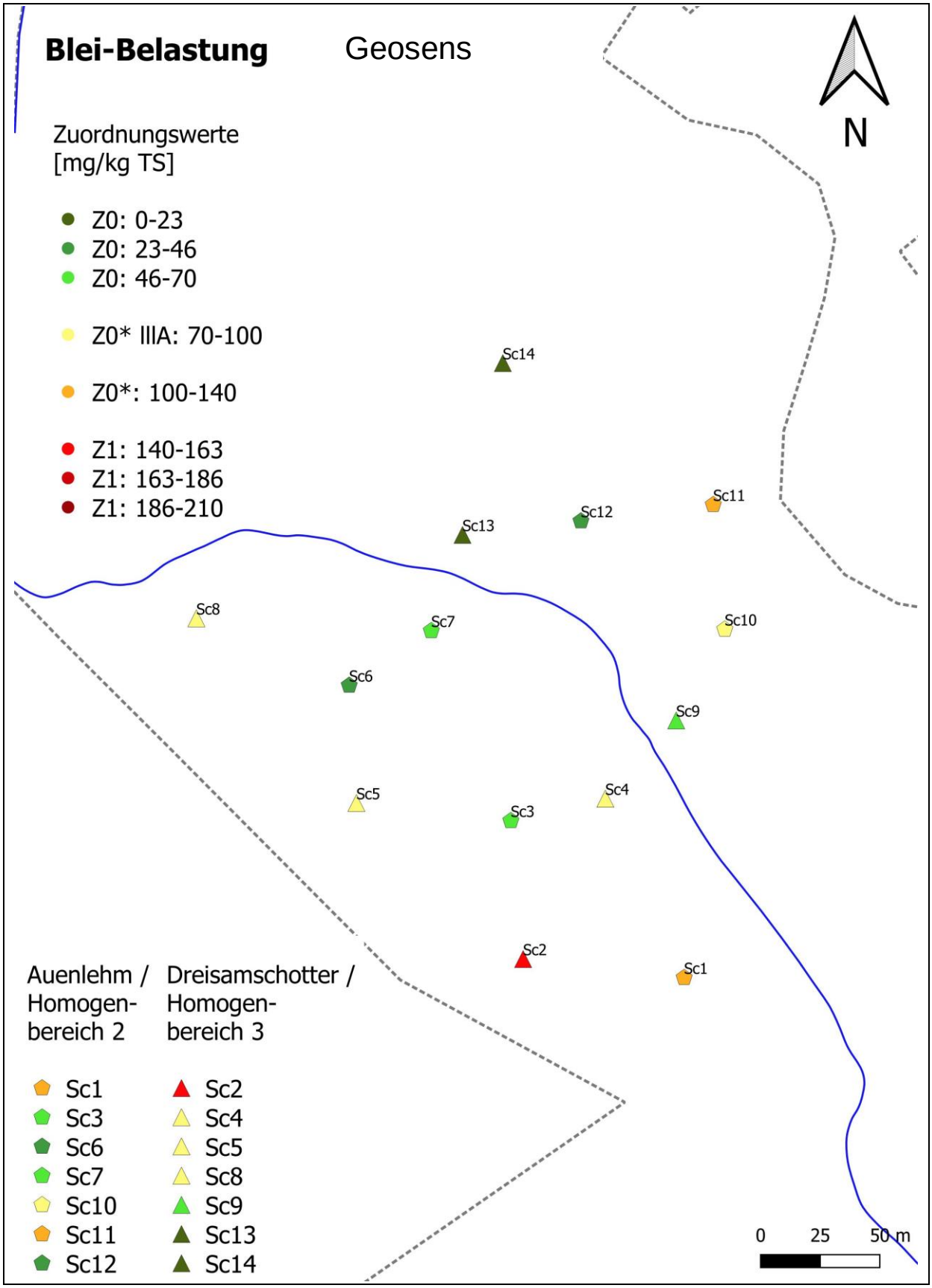


Abbildung 12: Blei-Belastung im Unterboden des Dietenbachgeländes, klassifiziert nach Zuordnungswerten VwV BW 2007. Bodenschürfe durch GEOsens GmbH

7.2 Vergleich der aktuellen Schadstoffanalysen 2021 mit denen des Baugrundgutachtens 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 6 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 zeigt 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 damalig 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.

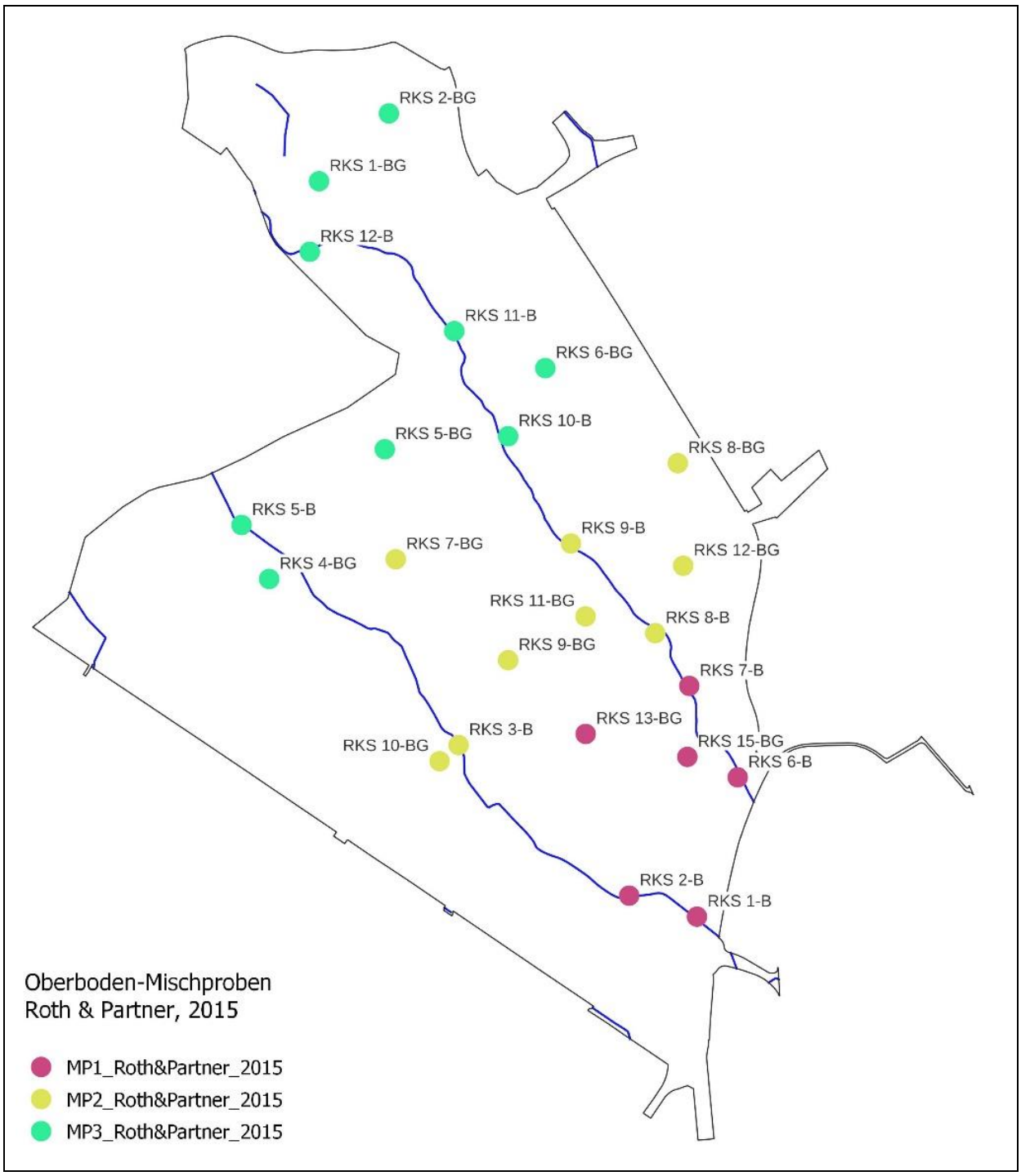


Abbildung 13: Oberboden-Beprobungspunkte Roth & Partner 2015

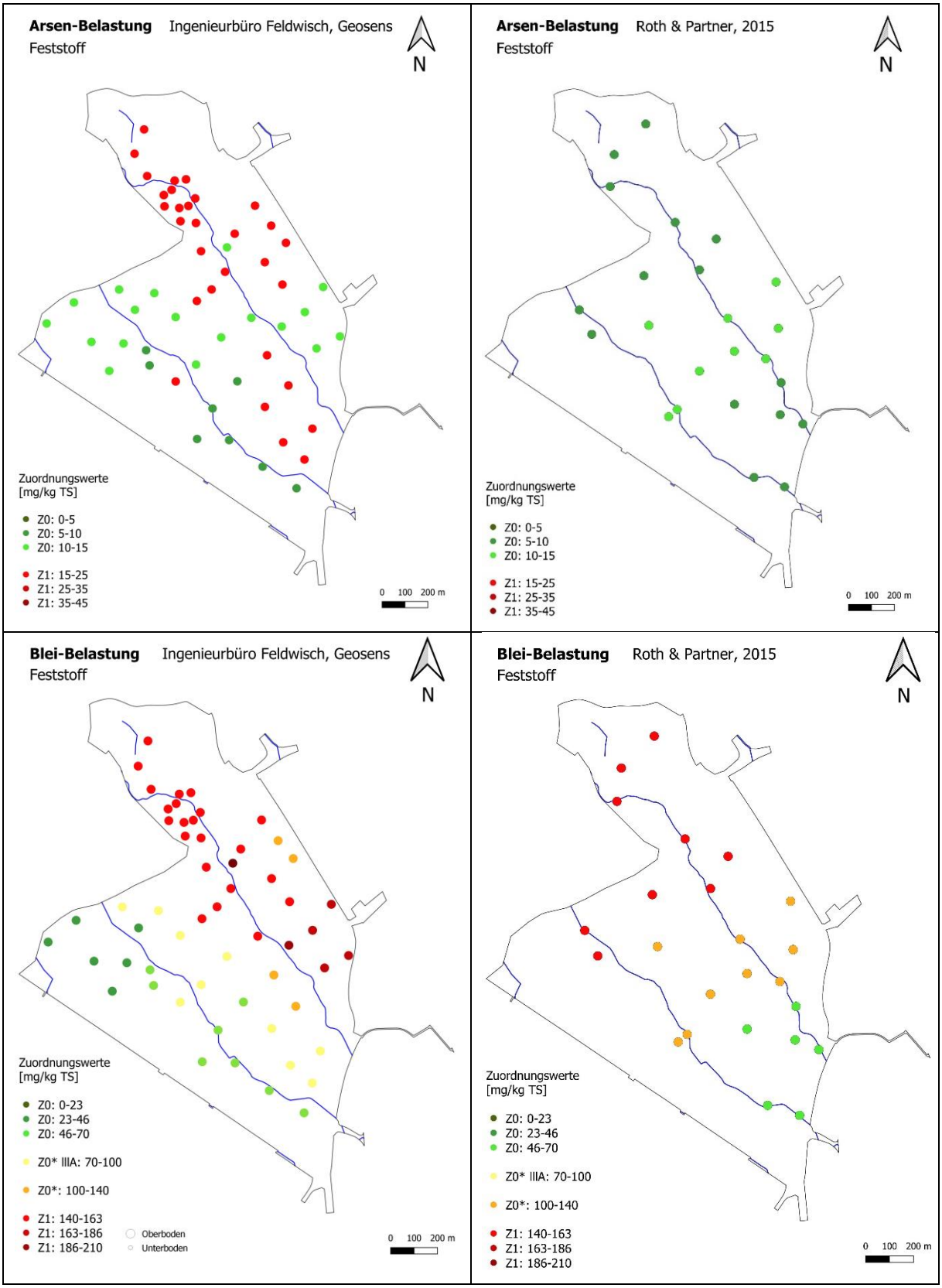


Abbildung 14: Vergleich der Arsen- und Blei-Feststoffgehalte in Oberböden nach Ingenieurbüro Feldwisch&Geosens 2021 (links) sowie Roth & Partner 2015 (rechts)

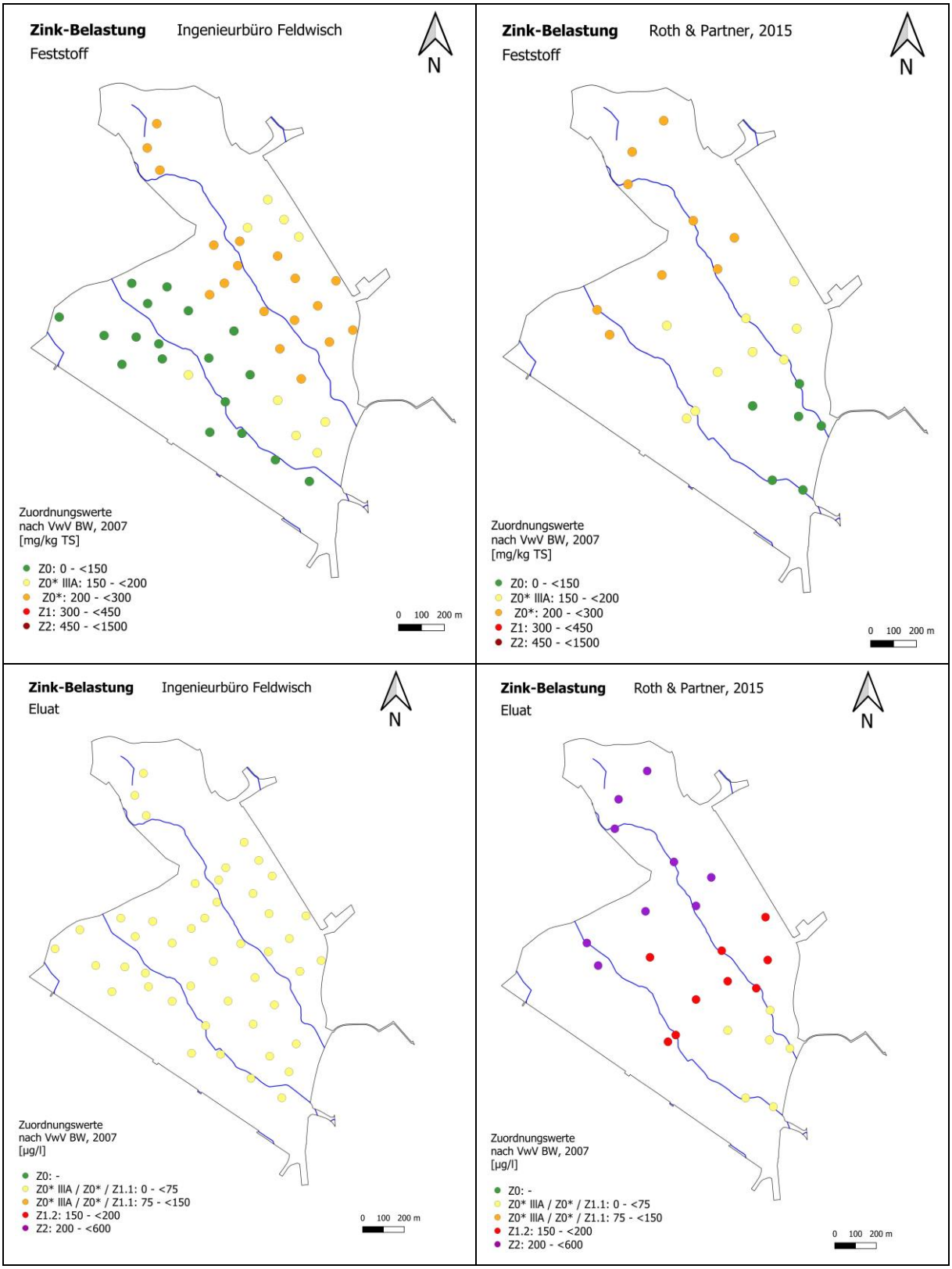


Abbildung 15: Vergleich der Zink-Feststoff- und Eluatgehalte in Oberböden nach Ingenieurbüro Feldwisch 2021 (links) sowie Roth & Partner 2015 (rechts)

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 diskret 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.

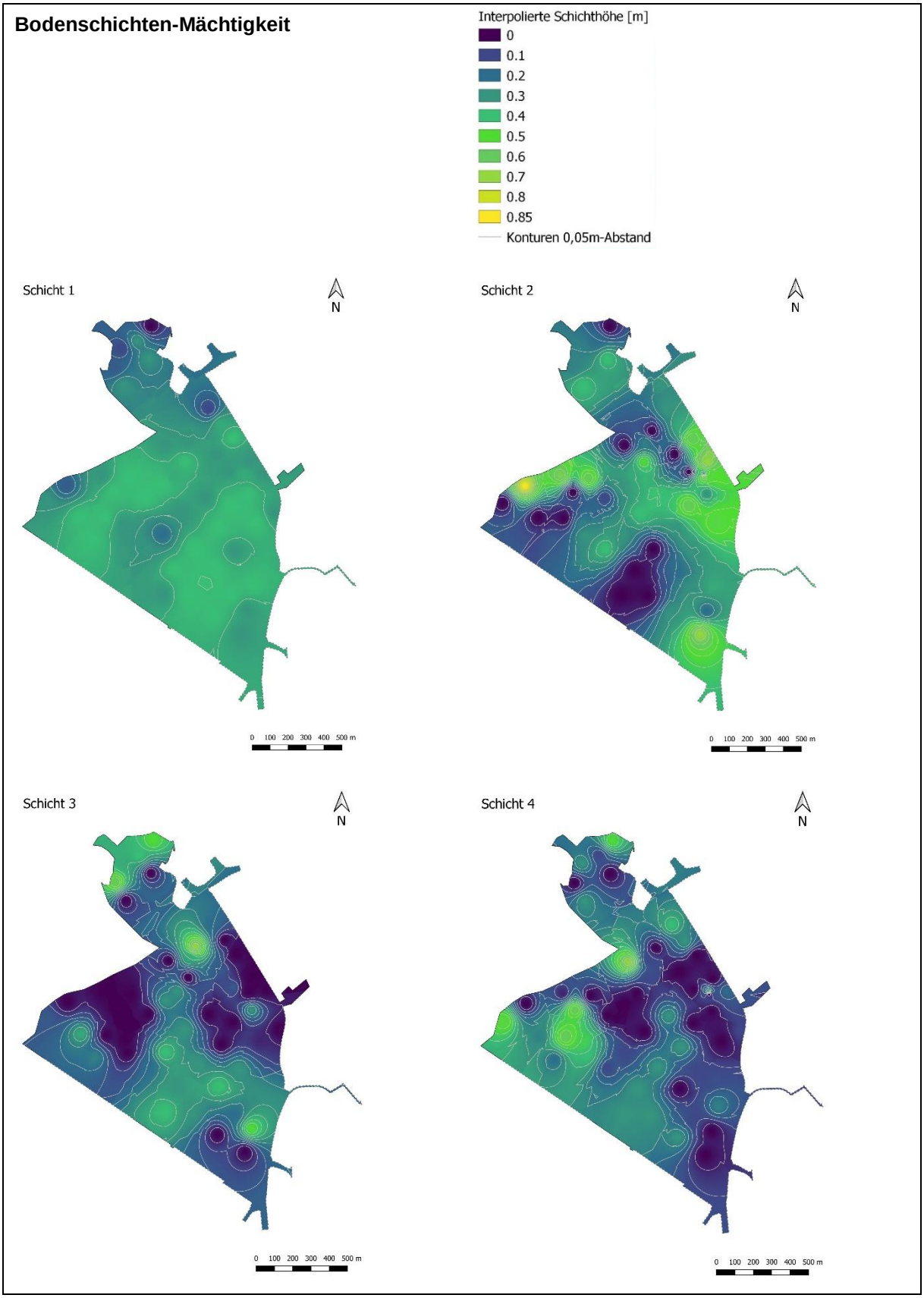


Abbildung 16: Interpolierte Mächtigkeiten der Bodenschichten im gesamten Bebauungsgebiet Dietenbach. Schicht 1: Oberbodenhorizonte; Schichten 2, 3 und 4 getrennt nach Substratgruppen Schluff, Lehm, Sand/Kies

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)

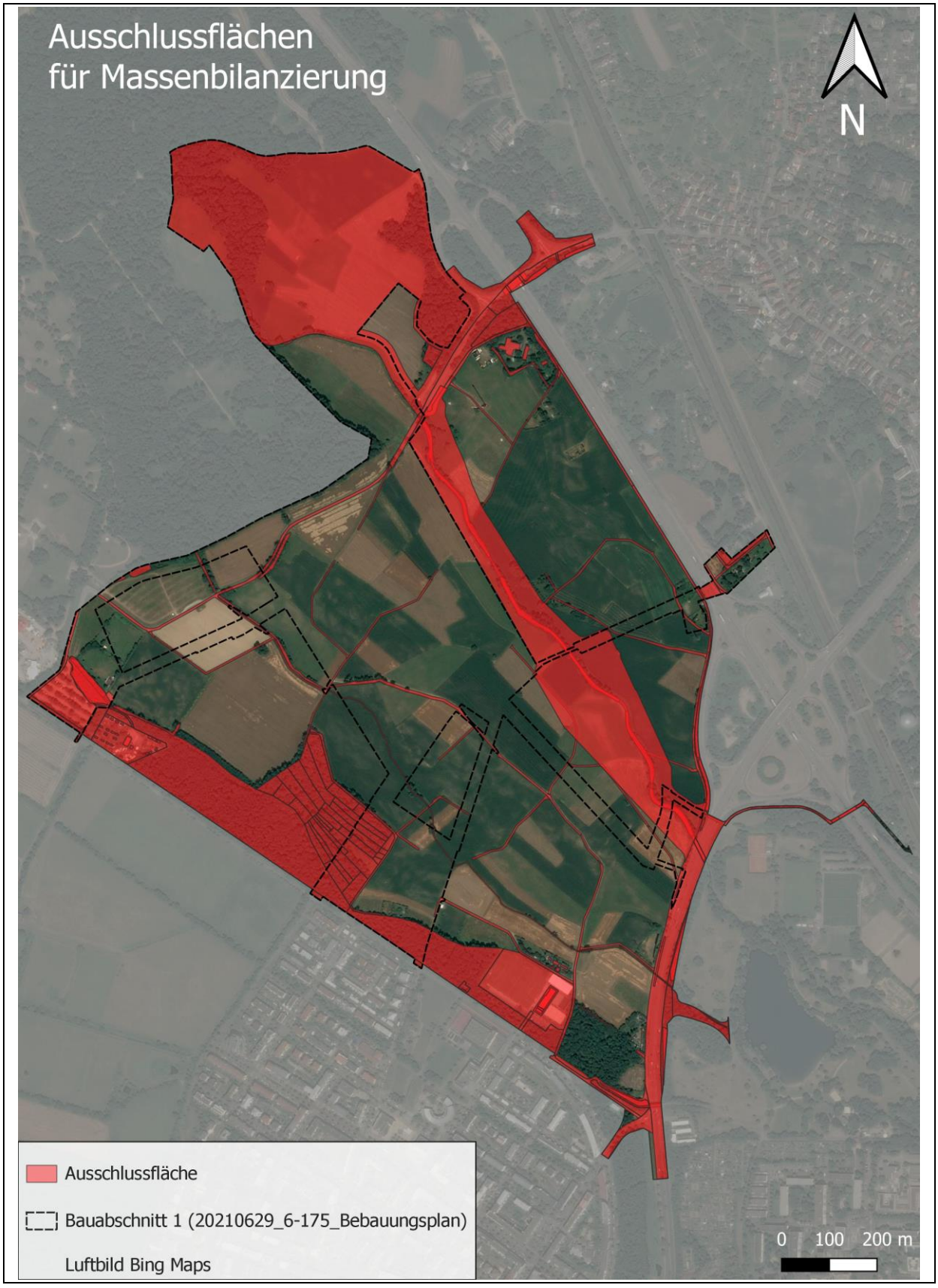


Abbildung 17: Gebietskulisse für Bodenmassenbilanzierung im gesamten Bebauungsgebiet Dietenbach

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 Käslebachs 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.

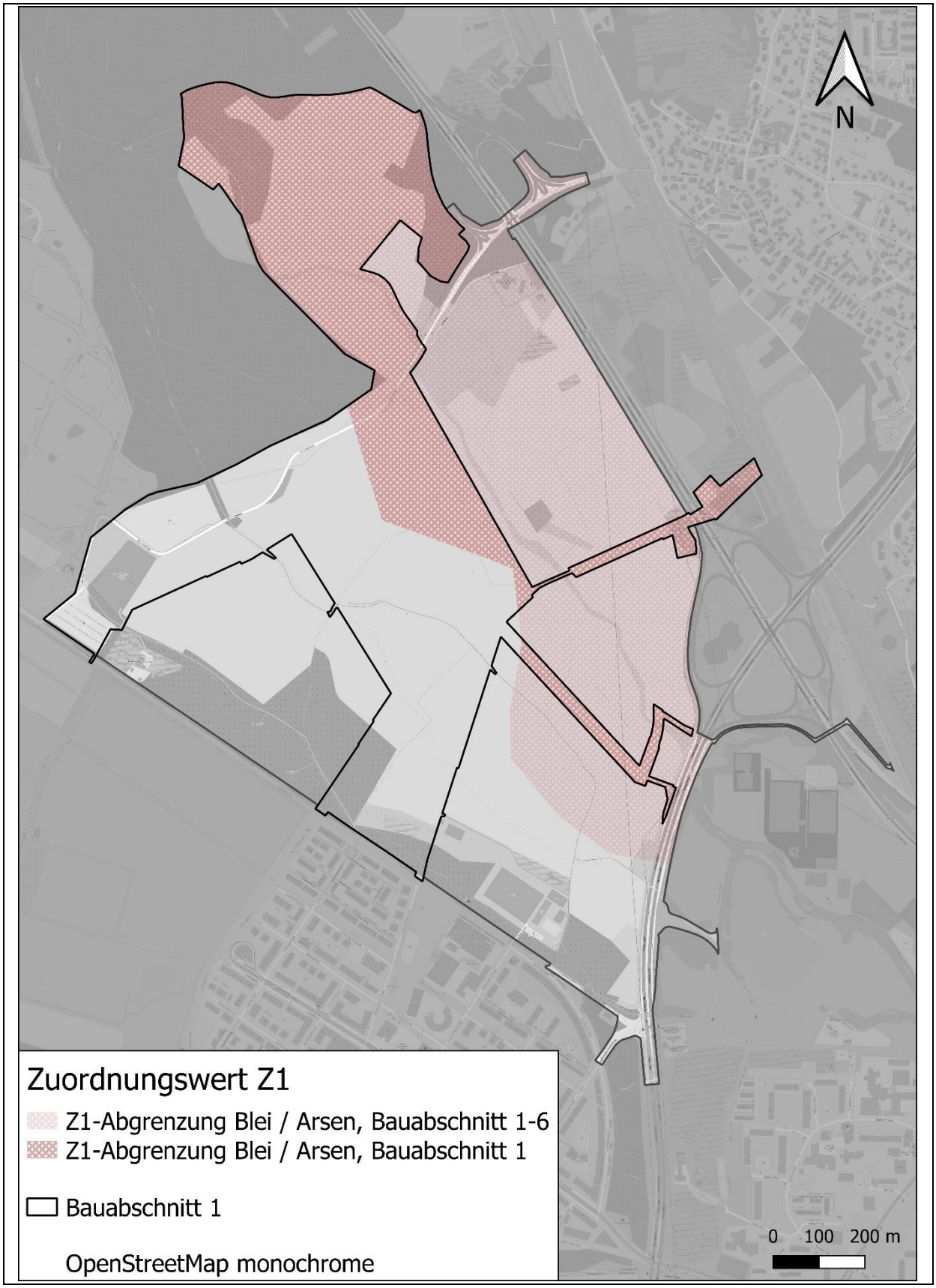


Abbildung 18: Abgrenzung des Bauabschnitts1 nach Zuordnungswert Z1

8.4 Bodenmassen-Berechnung

Die je Schicht berechneten Bodenmassen in Kubikmetern wurden durch die Berücksichtigung zweier praxistypischer Auflockerungsfaktoren dargestellt (Tabelle 33). Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass beim Aushub des Bodens das Volumen zunimmt, was für die temporäre Zwischenlagerung und den Massentransport bedeutsam ist. Differenziert wird zwischen Auflockerungsfaktoren 1,2 und 1,3, um die Bandbreite der zu erwartenden Auflockerungen abzubilden. Die Änderung des Auflockerungsfaktors von 1,2 zu 1,3 ergibt eine Erhöhung des Bodenmassevolumens um etwa 7,7 %. Beim Wiedereinbau der Aushubmassen ist zum Erhalt des tatsächlichen Bodenvolumens der Auflockerungsfaktor wieder zurückzurechnen.

Tabelle 33: Schichtbezogene potenziell anfallende Bodenmassen im Bauabschnitt 1 des neuen Stadtteils Dietenbach

	Bauabschnitt 1 gesamt	Bauabschnitt 1 gesamt		Bauabschnitt 1 Z1-Gebiet	Bauabschnitt 1 Z1-Gebiet
Fläche abzgl. Ausschlussfläche: 436.052 m²			Fläche Z1 abzgl. Ausschlussfläche: 139.419 m²		
Auflockerungsfaktor	1,2	1,3		1,2	1,3
Schicht bis 1m					
1 (Oberboden)	173.780 [m³]	188.262 [m³]		52.112 [m³]	56.455 [m³]
2 (Schluff-dominiert)	141.872 [m³]	153.695 [m³]		n.b.	n.b.
3 (Lehm-dominiert)	88.538 [m³]	95.917 [m³]		n.b.	n.b.
4 (Sand-dominiert)	104.173 [m³]	112.854 [m³]		n.b.	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 zu einem erheblichen Anteil planextern verwertet werden muss.

Für den Bauabschnitt 1 des neuen Stadtteils Dietenbach ist von einer Spannweite zwischen rund 174.000 bis 188.000 m³ auszuhebenden Oberboden im aufgelockerten Zustand auszugehen (Tabelle 33).

In den Grünflächen des B-Plangebietes können wiederum rund 24.300 m³ Oberboden < Z0 rückverdichtet eingebaut werden (Fläche der Grünflächen 60.780 m² außerhalb der Ausschlussflächen x 0,4 m Oberboden rückverdichtet). Dieses Oberbodenvolumen 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 in einem Arbeitsschritt abgetragen und zwischengelagert werden soll, dann wird dafür eine ungefähre Mietenlagerfläche von ca. 20.600 m² benötigt (Annahmen: Auflockerungsfaktor 1,3; Streifenmieten mit einer Höhe von 2 m und Länge von 100 m; Böschungsflanken von 60 Grad Neigung; Sohlbreite von 8 m; Abstand zwischen den Böschungsfüßen der Streifenmieten von 1 m).

Es verbleiben rund 100.000 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 Mietenlagerfläche von ca. 65.600 m² benötigt (gleiche Kalkulations-Annahmen wie oben).

Vom gesamten auszuhebenden Oberboden weisen rund 52.000 bis 56.000 m³ erhöhte Schadstoffgehalte 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 Schadstoffgehalte von stofflich unbelasteten Oberböden zu achten. Ist wiederum ein vollständiger Abtrag der stofflich belasteten Oberböden in einem Arbeitsgang geplant, dann muss dafür eine ungefähre Mietenlagerfläche von ca. 36.800 m² (Faktor 1,3 angenommen) bereitgestellt werden, die räumlich eindeutig von den unbelasteten Oberbodenmieten zu trennen sind.

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

8.5.2 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 Maschinentechnik 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 Bodenmieten oder deren Nutzung als Lagerfläche ist nicht zulässig.
- Eine Vermischung von Bodenmaterial mit Fremdmaterialien und Bauabfällen ist zu vermeiden. Eventuelle Fremdmaterialeinträge sind rückstandslos zu entfernen.

8.5.3 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. Dazu ist der ausgehobene Oberboden in Streifenmieten mit einer Höhe von 2 m, Böschungsflanken von 60 Grad Neigung, einer Sohlbreite von 8 m und einem Abstand zwischen den Böschungsfüßen der Streifenmieten von 1 m zwischenzulagern.
- Im Rahmen der Ausführungsplanung sind die Flächeneinteilung und das Befahrungskonzept im Bereich der Mietenlagerflächen inkl. Angabe der geeigneten Maschinentechnik detailliert auszuarbeiten.
- Bodenmieten sollten nicht in Senkenlagen angelegt werden, um Schäden durch Staunässe vorzubeugen. Ein gegebenenfalls entstehender Wasserrückstau an

Bodenmieten außerhalb des Arbeitsbereichs ist zu unterbinden bzw. abzuleiten, Wasserrückstau innerhalb des Arbeitsbereichs ist schadlos abzuleiten.

- Der Oberboden wird in einer maximal 2 m hohen separaten Miete gelagert. Die Oberbodenmiete ist allseitig zu profilieren. Dabei ist raue Oberfläche der Miete zu erhalten, um eine Ansaat und Begrünung erfolgreich umsetzen zu können.
- Bei Zwischenlagerungen länger als 2 Monate sind die Oberbodenmieten unmittelbar nach Aufmietung aktiv zu begrünen, wenn die Witterung und Jahreszeit eine Begrünung zulassen. Die Begrünung ist mit der BBB abzustimmen und ist während der gesamten Aufmietungszeit zu pflegen (Abmulchen, Nachsaat). Die Bodenmieten sind von Verunkrautung freizuhalten (Mähen).

8.5.4 Maßnahmen zum Umgang mit Neophyten

Im Bauabschnitt 1 ist insgesamt eine Fläche von 1.947 m² gekennzeichnet, auf der japanischer Staudenknöterich ansteht. Die Pflanze ist ein Neophyt mit invasiver Ausbereitung. Nach naturschutzfachlichen Anforderungen ist deren Verbreitung verboten.

Der Staudenknöterich kommt insbesondere an den Gewässerverläufen des Dietenbachs und Käslebachs vor. Die gekennzeichneten Flächen am Dietenbach liegen überwiegend außerhalb der B-Planfläche des BA1. Am Käslebach liegen alle gekennzeichneten Flächen innerhalb des BA1, weil am Käslebach kein Gewässerentwicklungskorridor vom B-Plangebiet ausgeschlossen ist.

Nach Datenlage liegen 747 m² Staudenknöterich-Fläche innerhalb des BA1; die Flächenangabe bezieht sich auf die Geometrie des BA1 abzgl. der Ausschlussflächen. Der überwiegende Anteil der Knöterichflächen liegt im Bereich des Schildkrötenkopfs (vgl. Abbildung 19).

Die bereitgestellt Kartenkennzeichnung der Staudenknöterich-Fläche ist nicht flächenscharf; es sind lediglich Streckenlängen mit Hilfe von groben Polygonen markiert (vgl. Abbildung 19). 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.

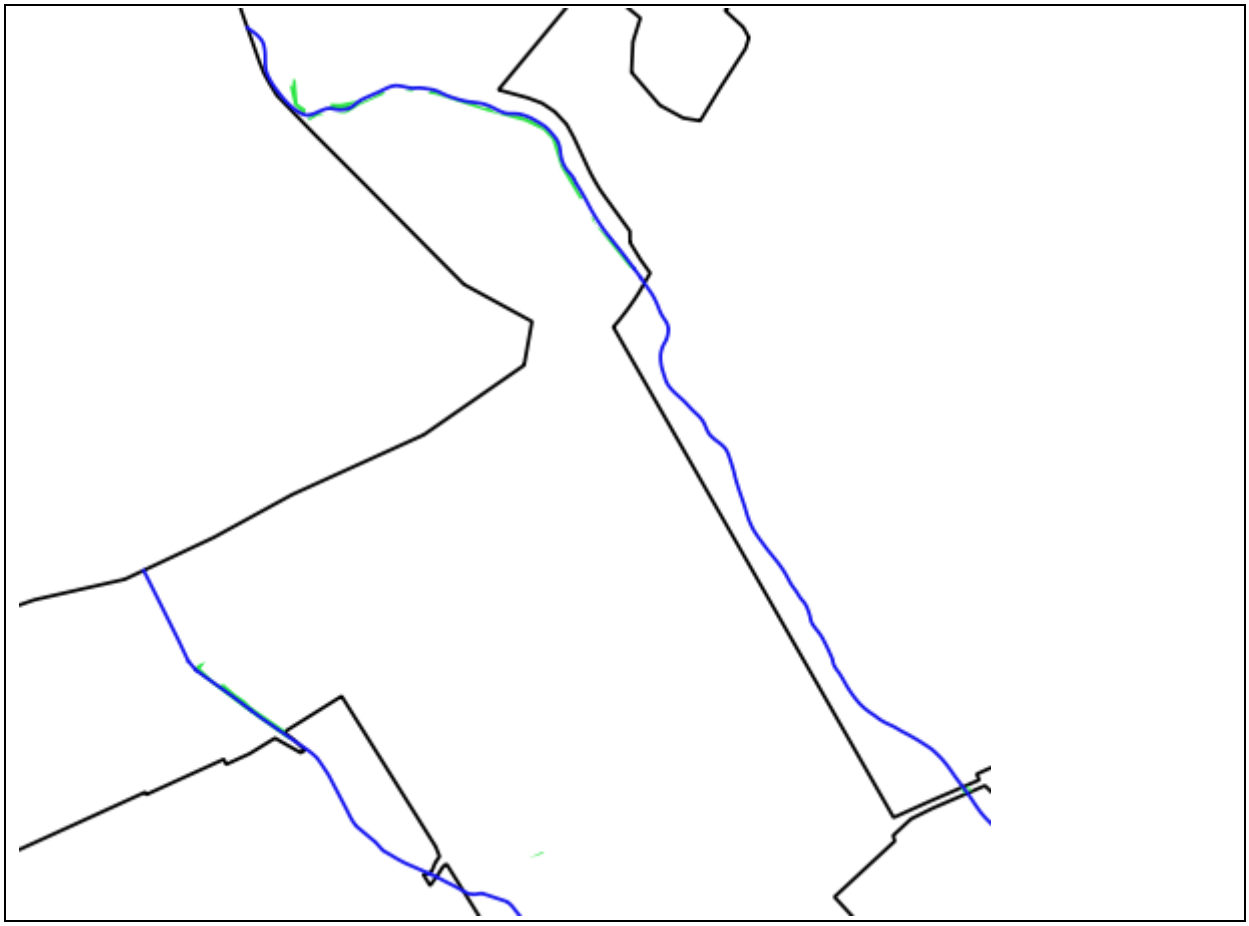


Abbildung 19: Kartenausschnitt der Verbreitung des Staudenknöterichs im BA1; grün dargestellt

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.

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

8.5.5 Formulierungsvorschläge für textliche Festsetzungen

noch mit AG abzustimmen im Hinblick auf Bedarf

8.6 Kostenschätzungen

noch näher auszuführen

Die 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.

Zur ersten Schätzung wird mit einem Auflockerungsfaktor 1,3 gerechnet. Mengen/Volumen vorläufig.

Tabelle 34: Kostenschätzung (Spannweite) anhand von geschätzten Einheitspreisen für die zu verwertenden unterschiedlichen Bodenmassen ENTWURF

Bodenkategorien	Kosten, minimal € / m³	Kosten, maximal € / m³	Boden-volumen aufgelockert m³	Kosten-spanne €	Bemerkungen
Oberboden < Z0 zur planinternen Wiederverwertung • Lösen, Transportieren innerhalb des Gebietes, Zwischenlagern inkl. Begrünung, Wiederandecken	20,00	40,00	31.606	632.120 bis 1.264.240	
Oberboden < Z0 zur planexternen Verwertung Lösen, Transportieren zum Zwischenlager, Zwischenlagern, Aufnehmen und Abfahren, Andecken am Verwertungsort	40,00	80,00	101.201	4.48.040 bis 8.086.080	
Oberboden Z1 zur planexternen Verwertung Lösen, Transportieren zum Zwischenlager, Zwischenlagern, Aufnehmen und Abfahren, Andecken am Verwertungsort	50,00	90,00	56.455	2.822.750 bis 5.080.950	
##					

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

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.

Datengrundlage (LGRB, 2018):

- Boden
  - Bodenschätzung (Version ALK-ALB, Stand 2010) als Standardinformation
  - Bodenkarte von Baden-Württemberg BK50 (Stand Dez. 2016) für Lücken in der Bodenschätzung (für ca. 20% der Ackerflächen)
- Landnutzung
  - Ackerkulisse (ATKIS-NORA, Stand April 2017)
- Überschwemmungsgebiete
  - HQ100 (Stand Dez. 2016)
- Wasserschutzgebiete
  - WSG (Stand Dez. 2017)
- Naturschutz
  - Naturschutzgebiete, Nationalpark, Biosphärengebiete, Natura 2000 Gebiete, gesetzlich geschützte Biotope, Naturdenkmale (Stand Jan. 2018)

Im B-Plangebiet Dietenbach Bauabschnitt 1 fallen rund 100.000 m³ unbelasteter Oberboden (< Z0) an (ohne Auflockerungsfaktor). Für eine Verwertung auf Ackerflächen wird bei diesem Bodenvolumen aufgrund der maximalen Aufbringungshöhe von 20 cm eine Mindestfläche von 70 ha benötigt.

Die Auswertung der Karte der Bodenauftragsflächen des LGRB 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

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 (Bodenformgrupp 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 Z0-Bodenmaterial 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 PAK_{16} 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 PCB_6 (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 erforderlich. Für die konkrete Verwendung ist ebenfalls eine genauere Prüfung der Feinbodenarten, Humusgehalte und Steingehalte anzuraten, da die BK50-Daten zu grob aufgelöst sind.

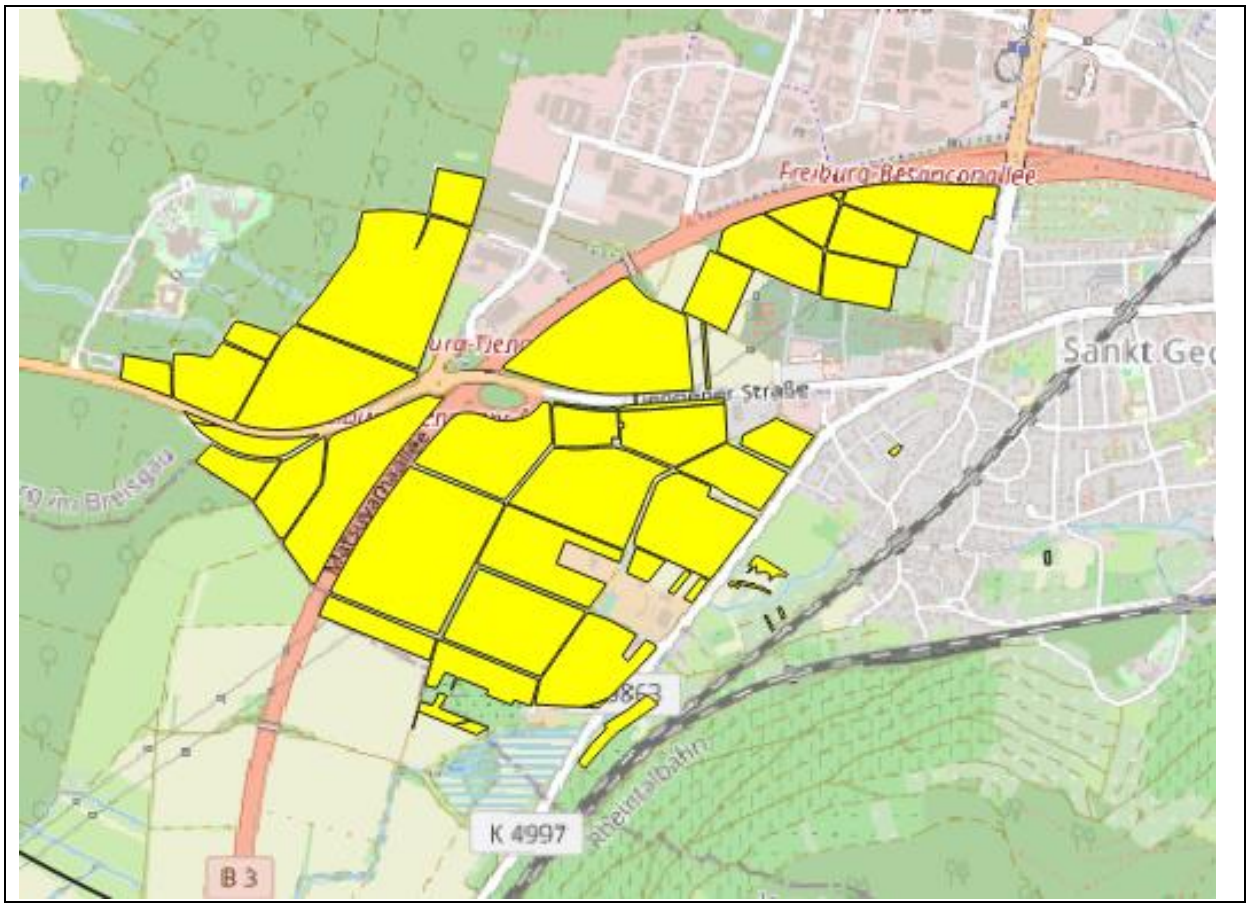


Abbildung 20: Potenzielle Flächen westlich von St. Georgen für die Verwertung des überschüssigen Oberbodens < Z0-Klasse aus Bauabschnitt 1 des B-Plan-Gebiets Dietenbach

9.2.2 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 Deponieklasse Z0 erfüllt werden. Für die Verfüllung sind insbesondere Unterböden geeignet, weil sie humusfrei oder humusarm sind und somit keine Faulgasbildung zu erwarten ist.

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. 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 vier als altlastenverdächtig eingestufte Flächen orientierend untersucht worden.

Es handelt sich um folgende Flächen (vgl. Abbildung 21):

- AS Fackelfabrik (2656)
- AA Bombentrichter (2907)
- AA Grube Lehener Winkel (2905)
- AS PFC Holzschuppenbrand (Toms Ranch, 7514)

Die orientierende Untersuchung dieser 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.

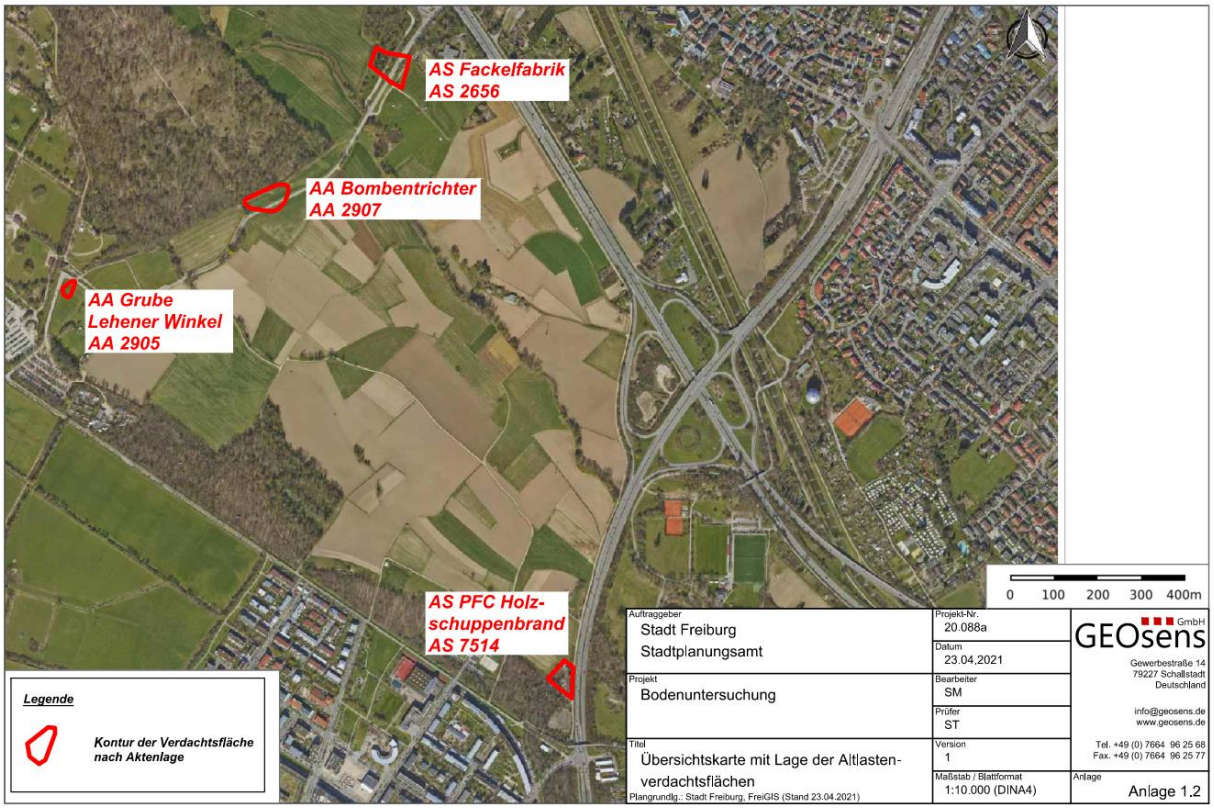


Abbildung 21: Lage der Verdachtsflächen im B-Plan-Gebiet Dietenbach

Eine detaillierte Beschreibung der Untersuchungen und Ergebnisse können Anhang 7 entnommen werden. 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 angetroffen 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.

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 22) wurden im Unterauftrag durch die Firma GEOsens GmbH aus Schallstadt untersucht.

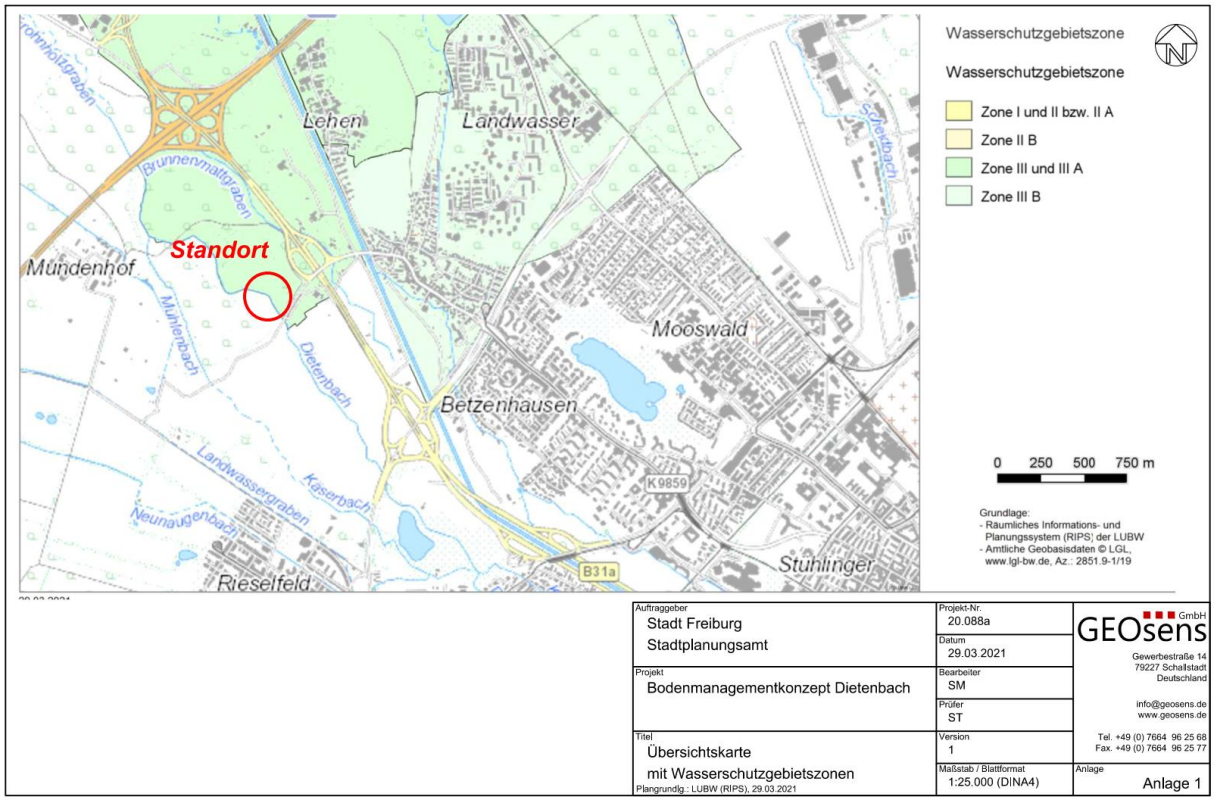


Abbildung 22: Lage der geplanten Versickerungsanlage am Schildkrötenkopf

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 8). 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 (kf $\leqslant$ 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 Gründungtiefen von $\geqslant$ 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 x 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:

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

Median $k_{f,u}$ = 1 x 10^{-6} 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 x 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 x 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 x 10^{-3} m/s bis 1 x 10^{-4} m/s. Aus den Testdaten errechnen sich damit folgender Mittelwert bzw. Median:

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

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

Als Bemessungswert für den hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwert in den grundwasserungesättigten Dreisamschottern wird empfohlen, konservativ den Median mit $k_{f,u}$ = 1 x 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 Ev2-Wert von ≥ 45 MN/m², EV2/EV1 ≤ 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 Ev2-Wert von ≥ 45 MN/m² 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 ≥ 35 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 Baugrund-untersuchung 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 abzuböschen 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 kf-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 ersetzten. 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 Bodenaufbaus 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 geogen 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 anderweitige 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.

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.

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.

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.

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

12 Anhänge

Anhang 1 - Koordinaten der Bohrpunkte:

„Anhang1_Bohrpunkte_Koordinaten_Freiburg-Dietenbach_210722.pdf“

Anhang 2 - Analyseprotokolle mit Zuordnungswerten nach VwV BW 2007:

„Anhang2_Analytik_Beprobung_Freiburg-Dietenbach_210831.xlsx“

Anhang 3 - Bodenkundlicher Beschreibung der Pürckhauerprofile nach KA5:

„Anhang3_Feldprotokolle-Freiburg-Dietenbach_210901.xlsx“

Anhang 4 - Fotos der Pürckhauerprofile

„Anhang4_Fotos_Puerchauer.pdf“

Anhang 5 - Analytik-Ergebnisse von Eurofins GmbH

„Anhang5_Analytik.pdf“

Anhang 6 - Analyseprotokolle Baugrunduntersuchung Roth & Partner, 2015

„Anhang6_Analytik_Baugrunduntersuchung_2015.xlsx“

Anhang 7 - Orientierende Untersuchungen Altlastenflächen (GEOsens GmbH)

„Anhang7_2021-05-11_AltlastenuntersuchungDietenbach_mitAnlagen.pdf“

Anhang 8 - Untersuchungen Versickerungseignung Schildkrötenkopf (GEOsens GmbH)

„Anhang8_2021-06 22_BaugrunduntersuchungVersickerungsbecken

_mitAnlagen.pdf“