



**Eppsteiner Str., Oberursel (Taunus)**

## **DLI Oberursel**

### **Dokumentation der Bohr- und Umbaumaßnahmen auf der Sanierungsfläche**

Projekt-Nr.: **104385**

Bericht-Nr.: **01**

Erstellt im Auftrag von:

**Magistrat der Stadt Oberursel**

**Rathausplatz 1**

**61440 Oberursel**

Dr.-Ing. Volker Schrenk  
Dipl.-Geol. Michael Glaser  
Dipl.-Geol. Dieter Baun  
Dipl.-Geol. Anja Desch  
2015-04-28

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<b>1</b>	<b>VERANLASSUNG UND AUFGABENSTELLUNG .....5</b>
<b>2</b>	<b>UNTERLAGEN .....7</b>
<b>3</b>	<b>STANDORTCHARAKTERISTIK .....8</b>
3.1	Standortbeschreibung .....8
3.2	Regionalgeologischer Überblick .....9
3.3	Hydrogeologischer Überblick .....9
<b>4</b>	<b>UNTERSUCHUNGSUMFANG .....11</b>
4.1	Arbeitsschutzmaßnahmen .....11
4.1.1	Messtechnische Bohrüberwachung .....12
4.1.2	Raumluftuntersuchungen .....13
4.2	Errichtung von Bodenluftbrunnen und Beobachtungspegel .....14
4.3	Entnahme von Bodenproben .....15
4.4	Analytik .....15
<b>5</b>	<b>UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE .....16</b>
5.1	Lokale Untergrundverhältnisse .....16
5.2	Lokale Grundwasserverhältnisse .....17
5.3	Ergebnisse der Bodenuntersuchungen .....18
5.3.1	Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) .....18
5.3.2	Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) .....20
5.3.3	Polychlorierten Biphenylen (PCB) .....20
5.3.4	Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol (BTEX) .....21
5.4	Ergebnisse der Raumluftuntersuchungen .....21
<b>6</b>	<b>ABSCHÄTZUNG DER IM BODEN VORLIEGENDEN LHKW-MENGE .....22</b>
6.1	Randbedingungen / Annahmen .....22
6.2	Abschätzung der im Untergrund noch vorhandenen LHKW-Menge .....23
<b>7</b>	<b>ANLAGENUMBAUARBEITEN .....25</b>
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE .....26</b>
<b>9</b>	<b>EMPFEHLUNGEN .....28</b>
<b>10</b>	<b>AUSBLICK .....29</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

	Seite
Abbildung 1: Sanierungsfläche Eppsteiner Straße.....	8
Abbildung 2: Bohrergerät mit Lutte (flexible Schlauchleitung).....	11
Abbildung 3: Einteilung des Bereichs Eppsteiner Straße zur Abschätzung der LHKW-Menge .....	22
Abbildung 4: Brunnenkopf (I), Zustand Sanierungsfläche mit den unterflur verlegten Leitungen, neuem Sichtschutzzaun und Schallschutzmaßnahmen / Containern.....	25

## TABELLENVERZEICHNIS

	Seite
Tabelle 4-1: Übersicht der niedergebrachten Bohrungen.....	14
Tabelle 5-1: Grundwasserstände .....	17
Tabelle 5-2: LHKW-Gehalte in Bodenproben.....	18
Tabelle 5-3: Ergebnisse der aktiven Raumlufuntersuchungen während der Bohrarbeiten.....	21

## **ANLAGENVERZEICHNIS**

### **Anlage 1      Lagepläne**

Anlage 1.1      Übersichtslageplan, M 1 : 25.000

Anlage 1.2      Lageplan, M 1 : 10.000

### **Anlage 2      Profilschnitte**

Anlage 2.1      Schnitt A-A

Anlage 2.2      Schnitt B-B

Anlage 2.3      Bohrprofile

### **Anlage 3      Schichtenverzeichnisse, Ausbaupläne, Fotodokumentation**

Anlage 3.1      Bohrung E 10

Anlage 3.2      Bohrung E 15

Anlage 3.3      Bohrung E 16

Anlage 3.4      Bohrung E 17

Anlage 3.5      Bohrung E 18

Anlage 3.6      Bohrung BP 1-15

Anlage 3.7      Bohrung BP 2-15

Anlage 3.8      Bohrung BP 3-15

Anlage 3.9      Produktdatenblätter

### **Anlage 4      Protokolle**

Anlage 4.1      Messtechnische Bohrüberwachung mittels PID

Anlage 4.2      Bautagebücher

Anlage 4.3      Probenahmeprotokolle Raumluftmessungen

### **Anlage 5      Laborberichte**

Anlage 5.1      Boden

Anlage 5.2      Raumluft

Anlage 5.3      Abfalltechnische Untersuchungen

### **Anlage 6      Zusammenstellung der durchgeführten Bohrarbeiten**

### **Anlage 7      Zusammenstellung der Bodenanalysenergebnisse**

### **Anlage 8      Abschätzung der verunreinigten Bodenkubatur**

### **Anlage 9      Entsorgungsnachweise**

## 1 VERANLASSUNG UND AUFGABENSTELLUNG

Auf dem Grundstück Eppsteiner Straße (Flurstück 167/1 und 167/2) wurde in den 1950er bis in die 1970er Jahre eine chemische Fabrik von der Fa. Dr. Büscher & Gausmann betrieben [U11]. Hierbei kamen halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW), vor allem Tetrachlorethen und Trichlorethen, als chemische Reinigungsmittel für die Reinigung von Fässern zum Einsatz. Daneben wurden verunreinigte Lösemittel zur Aufbereitung destilliert.

Aufgrund des unsachgemäßen Umgangs der LHKW kam es in der Folge zu einer massiven Kontamination des Untergrundes unterhalb der ehemaligen chemischen Fabrik sowie zu einer Ausbildung einer Schadstofffahne im Grundwasser.

Weiterhin wurden durch Voruntersuchungen stellenweise Verunreinigungen des Bodens mit Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol (BTEX), Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) und polychlorierten Biphenylen (PCB) nachgewiesen.

An LHKW-Konzentrationen wurden im Boden bis zu 120.000 mg/kg, BTEX bis zu 11 mg/kg, MKW bis zu 5.000 mg/kg und PCB bis zu 3 mg/kg festgestellt.

Der Magistrat der Stadt Oberursel saniert seit Januar 2013 den LHKW-Schadensfall mit dem Verfahren der thermisch unterstützten Bodenluftabsaugung mittels Dampf-Luft-Injektion (DLI), die durch die Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung VEGAS der Universität Stuttgart wissenschaftlich und technisch begleitet wird. CDM Smith hat im Jahr 2014 die Sanierungsanlage bewertet und angesichts einer überarbeiteten Schadstoffmengenabschätzung eine Reihe von Vorschlägen unterbreitet, damit die Sanierung – auch unter Zeit- und Kostengesichtspunkten – erfolgreich zum Abschluss geführt werden kann.

Zur Optimierung der laufenden Sanierung wurde vereinbart, den bestehenden, undichten Sanierungsbrunnen E 10 zu verpressen und neu zu erstellen. Weiterhin wurde die Einrichtung von vier Bodenluftabsaugbrunnen (E 15, E 16, E 17 und E 18, Bohrung > DN 220, bis ca. 20 m) auf der Sanierungsfläche sowie von drei Beobachtungspegeln (BP 1, BP 2 und BP 3, Bohrung > DN 80, ca. 17 m) im Umfeld des Grundstücks Eppsteiner Straße festgelegt. Durch die Neuerrichtung der Brunnen E 15, E 16, E 17 und E 18 soll das bestehende Bodenluftbrunnennetz verdichtet und der Hauptschadensbereich „Fassreinigung“ besser erschlossen werden. Dies soll zu einer effektiveren und schnelleren Sanierung des Bodens mit der DLI führen. Die Beobachtungspegel BP 1, BP 2 und BP 3 dienen der Beweissicherung und sollen einen weiteren Nachweis der Wirksamkeit der pneumatischen Sicherung erbringen.

Im Nachgang der Bohrarbeiten waren umfangreiche Umbauarbeiten an der Sanierungsanlage sowie den Sanierungsbrunnen vereinbart. Hierbei sollten u. a. Rohrleitungen unterflur verlegt, zusätzliche Grundwasserpumpen in den Sanierungsbrunnen installiert, das Sanierungsfeld neu strukturiert und eingerichtet werden. Darüber hinausgehend sollte die bisher eingesetzte Abluftreinigungsanlage durch eine selbstdesorbierende Aktivkohlereinigungseinheit ersetzt werden.

Auch sollten zusätzliche Maßnahmen zur Schallreduzierung im Bereich der Anlagencontainer vorgenommen werden und ein neuer Sichtschutzzaun war an der Grenze zum Nachbargrundstück zu installieren.

Für die Grundwassermessstelle GWM5 südlich der Sanierungsfläche in der Eppsteiner Straße wurde ein mehrwöchiger Pumpversuch geplant, um die Ergiebigkeit des Brunnens und die Schadstofffracht zu ermitteln. Dieser Pumpversuch wurde am 24.03.2015 begonnen. Die Ergebnisse werden in einem gesonderten Bericht dokumentiert.

Die CDM Smith Consult GmbH (CDM Smith) wurde vom Magistrat der Stadt Oberursel am 13.02.2015 mit der Begleitung der Bohrarbeiten beauftragt.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Bohrarbeiten einschließlich der Arbeitssicherheitskoordination nach BGR 128 und deren messtechnischer Begleitung sowie die Ergebnisse der laborchemischen Untersuchungen.

## 2 UNTERLAGEN

- [U1] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG, BGBl. I S. 502, 17. März 1998, zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 9. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3214).
- [U2] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), BGBl. I S. 1554, 12. Juli 1999.
- [U3] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden: Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades Boden - Grundwasser; Handbuch Altlasten, Band 3, Teil 3, 2001, 2. Aufl. 2002.
- [U4] Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln, Richtlinie 20, 4. erweiterte Auflage, Erich Schmidt Verlag, 6.11.1997
- [U5] Merkblatt „Entsorgung von Bauabfällen“, Regierungspräsidien Darmstadt, Gießen, Kassel, Abteilung Umwelt, Stand: 15. Mai 2009
- [U6] Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/ Beseitigung von Abfällen (LAGA PN 98) (StAnz. 23/2003, S. 2288)
- [U7] Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV) Ausfertigungsdatum: 27.04.2009 , Stand: Zuletzt geändert durch Art. 7 vom 02.05.2013
- [U8] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2005): Verwaltungsvorschrift zur Erfassung, Bewertung und Sanierung von Grundwasserverunreinigungen (GWS-VwV), 30. September 2005 (StAnz. Hess. S. 4243)
- [U9] TRGS 910: Technische Regeln für Gefahrstoffe. Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen. Ausgabe: Februar 2014
- [U10] Begründung zu Expositions-Risiko-Beziehung für Trichlorethylen in BekGS 910
- [U11] Dr. Hug Geoconsult GmbH: Eppsteiner Straße 13, Oberursel (Taunus), Detailuntersuchung, Historische Recherche und Untersuchungskonzept, 27.10.2005.
- [U12] Dr. Hug Geoconsult GmbH: Eppsteiner Straße 13, Oberursel (Taunus), Flurstück 167/2, Eppsteiner Straße 13, Oberursel (Taunus), Sanierungsvorbereitende Untersuchungen, 09.03.2009.
- [U13] Dr. Hug Geoconsult GmbH: Eppsteiner Straße 13, Oberursel (Taunus), Flurstücke 167/1 und 167/2, Eppsteiner Straße 13, Oberursel (Taunus), Ausführungsplanung, Phase 1, Bautechnik und Bohrarbeiten, 17. Februar 2012.

- [U14] Dr. Hug Geoconsult GmbH: Flurstücke 167/1 und 167/2, Eppsteiner Straße 13, Oberursel (Taunus), Sanierungsbericht Phase 1 Bautechnik und Bohrarbeiten mit Darstellung der Untergrundverhältnisse (Boden, Grundwasser, Kontaminationen), 30.09.2013.
- [U15] CDM Smith Consult GmbH: DLI Oberursel, „Eppsteiner Straße 13“, Oberursel, Arbeits- und Sicherheitsplan gem. TRGS 524 / BGR 128, Bericht 02, 30.10.2014.

### 3 STANDORTCHARAKTERISTIK

#### 3.1 Standortbeschreibung

Das Grundstückstück Eppsteiner Str. befindet sich in der Altstadt von Oberursel im Taunus (Anlage 1.1). Die eigentliche Sanierung wird auf dem 120 m<sup>2</sup> großen Flurstück 167/2 sowie auf dem südlich angrenzenden Flurstück 167/1 betrieben. Die Sanierungsanlage befindet sich auf der ehemaligen Hoffläche des Flurstücks 167/2. Auf dem Grundstück 167/1 ist ein teilunterkellertes Wohnhaus vorhanden [U14].

Die Grundstücke 167/1 und 167/2 werden im Süden durch die Eppsteiner Straße sowie im Osten, Westen und Norden durch Wohnhäuser begrenzt.

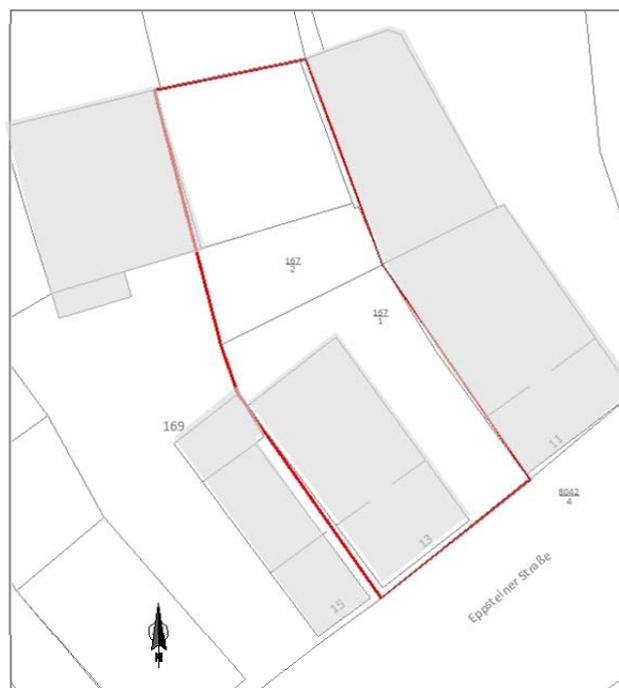


Abbildung 1: Sanierungsfläche Eppsteiner Straße

### 3.2 Regionalgeologischer Überblick

Oberursel liegt am südöstlichen Rand des Vordertaunus. Ungefähr 1 km südöstlich von Oberursel verläuft die Taunussüdrandstörung, entlang derer die Festgesteine des Vordertaunus stufenbruchartig nach Südosten absinken und von tertiären und quartären Sedimenten der Hessischen Senke in zunehmender Mächtigkeit überdeckt werden.

Im Stadtgebiet von Oberursel wird der Festgesteinsuntergrund von obersilurischen Grünschiefern aufgebaut. Im Hangenden der Gesteinsabfolge ist eine bis zu mehreren Metern mächtige Verwitterungszone ausgebildet, in der die Grünschiefer bis zur vollständigen Auflösung der Festgesteinsstruktur zersetzt wurden. Auf dem Sanierungsgrundstück Eppsteiner Straße wurde die Verwitterungszone der Grünschiefer zwischen ca. 12,30 m (E 15) und 18,50 m u. GOK (BP 3) erfasst. Die Gesteinsoberfläche fällt nach Süden in Richtung Eppsteiner Straße ein.

Oberhalb der Verwitterungszone kam es im Pleistozän zur Ablagerung von Flussschüttungen aus Kiesen und Schottermaterial des Vordertaunus (älteste und mittlere Talstufe). Diese fluviatilen Ablagerungen sind schlecht sortiert und bestehen aus mehr oder weniger abgerollten Gesteinsfragmenten des Festgesteinsuntergrundes (Quarz, Phyllite und Quarzite), die in eine sandige bis schluffige Bodenmatrix eingebettet sind. Die im hangenden anstehenden Taunusschotter der mittleren Talstufe sind vorwiegend grau bis grüngrau gefärbt. In den liegenden Taunusschotter der ältesten Talstufe ist eine Veränderung der Gesteinsfärbung zu vorwiegend Brauntönen zu beobachten. Die Taunusschotter der ältesten Talstufe liegen im Gegensatz zu denen der mittleren Talstufe zum Liegenden zunehmend in geringerer Korngröße vor. In den Kiesen und Sanden oder im Kontaktbereich zum unterlagernden Grünschiefer können geringmächtige Zwischenlagen aus Ton und Schluff ausgebildet sein.

Wie im gesamten rechtsmainischen Gebiet werden Festgesteine und Schotterterrassen großräumig und flächendeckend von äolischen Lößakkumulationen überdeckt. Diese Lößdecken sind oberflächennah solifluktiv umgelagert und verlehmt. Als jüngste Talfüllungen verläuft das Urselbachtal innerhalb der Ablagerungsbereiche der beiden älteren Talstufen.

### 3.3 Hydrogeologischer Überblick

Im Sanierungsgebiet sind zwei grundwasserführende Horizonte zu unterscheiden. In den obersilurischen Grünschiefern ist ein Kluffgrundwasserleiter ausgebildet. Der Kluffgrundwasserleiter führt ab einer Tiefe von > 18 m u. GOK gespanntes Grundwasser. Die Druckspiegelhöhe liegt bei rd. 12 – 13 m u. GOK.

Das Grundwasser zirkuliert entlang der sekundär entstandenen Trennfugen (Schichtfugen, Klüfte und Schieferungsfugen), die das Gestein in polygonale und unregelmäßige Blöcke zerlegen. Die Abflussrichtung des Grundwassers wird lokal durch die Orientierung der Trennfugen und

Dichte des Kluftnetzes bestimmt. In-situ Messungen der horizontalen Grundwasserfließrichtung verweisen lokal auf einen vorwiegend nach Norden gerichteten Grundwasserabfluss. Großräumig ist von einer südöstlichen Orientierung des Grundwasserabflusses auszugehen.

Oberhalb der Verwitterungszone des Grünschiefers wird ein 2. Grundwasserhorizont beschrieben. In der GWM 1/2008 wurde das Grundwasser in 12,8 m innerhalb der Kiese und Schotter der ältesten Talstufe mit einem freien Grundwasserspiegel angebohrt. Bei den in 2015 ausgeführten Erkundungsuntersuchungen wurde oberhalb der Verwitterungszone eine geringmächtige Wasserführung beobachtet.

Nach den vorliegenden Untersuchungsbefunden erscheint dieser 2. Grundwasserhorizont aber nur lokale Verbreitung zu besitzen. In der Messstelle GWM 4/2010 wurde er nicht angetroffen. Das Bohrgut wurde bis in den Kluftgrundwasserleiter als trocken bzw. erdfeucht beschrieben. In der GWM 2/2010 wurde gespanntes Grundwasser erst innerhalb der Verwitterungszone des Grünschiefers erbohrt.

Ein noch in den Voruntersuchungen ([U11] und [U12]) oberhalb einer zwischen der ältesten und der mittleren Talstufe ausgebildeten Schluff-/Tonschicht (ca. 8,5 – 9,0 m u. GOK) beschriebener Grundwasserhorizont konnte bei den aktuellen Untersuchungen nicht bestätigt werden. Das Bohrgut war bis in den Bereich des 2. Grundwasserhorizontes trocken.

Bodenfeststoffuntersuchungen belegen im Bereich des Sanierungsgrundstücks Eppsteiner Straße lokal Belastungen durch LHKW, die im Bereich der Messstelle GWM 2/2010 mit Konzentrationshöhen von max. 280 mg/kg bis in die wassergesättigte Verwitterungszone oberhalb des Kluftgrundwasserleiters reichen.

Die Bodeneinträge durch LHKW führten im oberen Grundwasserhorizont zu einer Grundwasserbeeinflussung in einer Größenordnung von rd. 200 - 440 mg/l LHKW [U12][U13].

Im 2. Grundwasserhorizont wurden im gleichen Zeitraum LHKW-Konzentrationen von rd. 350 - 650 mg/l ermittelt.

Im Kluftgrundwasserleiter wurde in 2010 ein Rückgang der Belastungshöhe auf LHKW-Gehalte von rd. 3,8 – 6,0 mg/l detektiert.

## 4 UNTERSUCHUNGSUMFANG

### 4.1 Arbeitsschutzmaßnahmen

Die Bohrarbeiten wurden größtenteils auf dem Schadenszentrum im Bereich der ehemaligen Fassreinigung nördlich des Gebäudes Eppsteiner Straße auf der Sanierungsfläche durchgeführt. Als wesentliche Kontaminanten sind Verbindungen aus der Stoffgruppe der leichtflüchtigen halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) Tetrachlorethen und Trichlorethen, BTEX (v.a. Benzol und Toluol) sowie PCB vorhanden. Daraufhin wurde durch die CDM Smith ein Arbeits- und Sicherheitsplan gem. TRGS 524 und BGR 128 erstellt und umgesetzt [U15].

Der Innenhof des Grundstücks Eppsteiner Straße wurde aufgrund der zu erwartenden Kontaminationen als „Schwarzbereich“ ausgewiesen. Das Betreten des Schwarzbereichs wurde nur Personen mit entsprechender Tauglichkeitsbescheinigung gewährt. Weiterhin war das Tragen der persönlichen Schutzausrüstung Pflicht. Als emissionsmindernde Maßnahme wurde während den Bohrarbeiten eine saugende Bewetterung betrieben. Zur Absaugung der flüchtigen Gefahrstoffe am Ort ihrer Entstehung wurde direkt am Bohrlochmund eine Lutte (mobile Absaugleitung) verlegt, die belastete Luft über einen Seitenkanalverdichter abgesaugt und über eine nachgeschaltete, auf den geförderten Luftstrom ausgelegte, Luftaktivkohle (bestehend aus Arbeits- und Polizeifilter) abgereinigt.



Abbildung 2: Bohrgerät mit Lutte (flexible Schlauchleitung)

Die Abnahme der Baustelleneinrichtung einschließlich der Einweisung und Unterweisung der Arbeitnehmer gemäß BGR 128 erfolgten am 03.02.2015. Die Bohrarbeiten im „Schwarzbereich“ erfolgten im Zeitraum vom 05.02.2015 bis zum 02.03.2015.

Zusätzlich wurden die Bohrarbeiten mit folgenden Arbeitssicherheitsmaßnahmen durchgeführt:

- Betrieb einer saugenden Bewetterung im Bereich des Bohrpunktes während der Bohrarbeiten,
- fachtechnische Begleitung und messtechnische Überwachung der Bohrarbeiten auf die zu erwartenden Gefahrstoffe durch den Koordinator für Arbeitssicherheit (ASi-Ko) (CDM Smith),
- Durchführung der Arbeiten nur mit entsprechender Schutzkleidung gemäß Arbeitssicherheitsplan (ASi-Plan) [U15] (Schutzhelm, Einwegschutzanzug, wasserdichte Handschuhe, Sicherheitsgummistiefel usw.).

Das Bohrgut wurde in verschließbare Deckelmulden überführt, arbeitstäglich abgefahren und bis zur Entsorgung in geschlossenen Deckelmulden auf dem Bauhof der Fa. Wendt gelagert.

#### **4.1.1 Messtechnische Bohrüberwachung**

Im Rahmen der durchzuführenden Arbeiten war die inhalative Aufnahme (Gas) als Hauptgefährdungspfad anzusehen. Als wesentliche Kontaminanten wurden die Verbindungen Trichlorethen und Tetrachlorethen aus der Stoffgruppe der leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe (LHKW) angenommen.

Die Bohrarbeiten wurden mit Hilfe eines Photoionisationsdetektors (PID) zur Erfassung von leichtflüchtigen Verbindungen in die Atmosphärenluft überwacht. Die Messungen erfolgten in der Umgebungsluft am Bohrpunkt in ca. 1,5 m Höhe, auf der Standfläche der Containermulde und in den Kernkisten des gewonnenen Bohrgutes.

Aufgrund der gegenüber Tetrachlorethen deutlich geringeren Akzeptanzschwelle von 6 ppm (parts per million) (33 mg/m<sup>3</sup>) und Toleranzschwelle von 11 ppm (60 mg/m<sup>3</sup>) [U9][U10], wurde die Verbindung Trichlorethen als Leitsubstanz der messtechnischen Begleitung herangezogen. Als Eingriffswert zur Veranlassung persönlicher Atemschutzmaßnahmen wurde von CDM Smith in Anlehnung an die Toleranzschwelle von 11 ppm eine dauerhaft in der Umgebungsluft zu detektierende PID-Summenkonzentration von 10 ppm festgelegt.

Bei Vorliegen von auffälligen vor Ort-Messergebnissen des PID kamen zusätzlich direktanzeigende Prüfröhrchen zur halbquantitativen Bestimmung der Konzentrationen der Leitsubstanz Trichlorethen zum Einsatz.

Die Messprotokolle der messtechnischen Begleitung sind dem Bericht als Anlage 4.1 beigelegt.

Die mittels PID erfassten und protokollierten Summenkonzentrationen ionisierbarer Luftbestandteile geben die jeweils kurzfristig detektierten Konzentrationsspitzen wider. Die günstigen Witterungsbedingungen mit Wind und geringen Temperaturen, die installierte saugende Bewetterung sowie das Überführen des belasteten Bohrgutes in verschleißbare Deckelmulden haben zu einer schnellen Verdünnung der Stoffbelastungen in der Atmosphärenluft und zu einem direkten Rückgang der Konzentrationshöhen geführt. Die Hintergrundbelastung lag in Abhängigkeit zur Verkehrsdichte auf der Eppsteiner Straße bei bis zu 0,3 ppm.

Die Messergebnisse zeigen, dass vor allem im Bohrgut in den Kernkisten bereichsweise ausgasendes Trichlorethylen vorhanden war. In der Umgebungsluft von ca. 1,5 m ü GOK wurde Trichlorethylen meist soweit verdünnt, so dass eine Gefährdung nicht zu besorgen war.

Hiervon ausgenommen waren die PID-Messungen der Umgebungsluft der Bohrung E10 im Tiefenbereich von 4,0 m und 5,5 m u GOK, der Bohrung E16 (7,5 m u GOK) und der Bohrung E18 (10,0 m u GOK). In diesen Tiefenbereichen kam es kurzfristig zu erhöhten Konzentrationsnachweisen.

Lediglich am 13.02.2015 wurden im Zuge der Bohrarbeiten bis rd. 4,0 m u. GOK an E10 PID-Messbefunde z.T. >180 ppm detektiert, die am Bohrpunkt zu einer konstanten Belastung der Atmosphärenluft oberhalb der Eingriffsschwelle von 10 ppm führte. Es wurde kurzzeitig das Tragen der persönlichen Atemschutzausrüstung veranlasst.

Mit direktanzeigenden Prüfröhrchen erfolgten an keinem Messtermin Konzentrationsnachweise >0,0 ppm.

#### **4.1.2 Raumlufuntersuchungen**

Während der Bohrarbeiten erfolgten in den umliegenden Gebäuden und im Haus auf der Sanierungsfläche die routinemäßigen Raumlufuntersuchungen mit Passivsammlern auf LHKW. Zusätzlich wurden im Wohngebäude Eppsteiner Straße am 24.02.2015 und am 06.03.2015 aktive Raumlufmessungen durchgeführt, da mittels der Schrägbohrungen im Wesentlichen Bereiche unter diesem Gebäude erschlossen wurden. Die Aktivmessung am 24.02.2015 erfolgte unter einem worst-case-Szenario. Die Raumlufreinigungsgeräte wurden ausgeschaltet und keine Lüftung der Räume im Vorfeld durchgeführt. Die darauffolgende Messung am 06.03.2015 wurde unter Nutzungsbedingungen durchgeführt (Betrieb Raumlufreinigungsgeräte, Lüftung). Die Untersuchung der Raumlufproben der Aktivmessungen erfolgten auf LHKW und PCB. Die chemischen Analysen wurden durch das SGS Institut Fresenius, Taunusstein durchgeführt.

## 4.2 Errichtung von Bodenluftbrunnen und Beobachtungspegel

Die Leistungen zur Errichtung der Bodenluftbrunnen und Beobachtungspegel wurden durch die Bohrfirma Wendt Bohrgesellschaft mbH, Langgöns durchgeführt.

Im Zeitraum vom 05.02. – 12.03.2015 wurden die Schrägbrunnen E10, E16, E18, E17 und der Vertikalbrunnen E 15 sowie die Beobachtungspegel BP 1- BP 3 niedergebracht und anschließend zu Bodenluftbrunnen bzw. Grundwasserpegeln ausgebaut. Die Schrägbohrungen, die auch unter das bestehende Gebäude der Eppsteiner Straße auf der Sanierungsfläche reichen, wurden mit Winkeln von bis zu 37° aus der Lotrechten in südlicher Richtung abgeteuft. Der undichte Bodenluftabsaugbrunnen E10 wurde fachgerecht verpresst und neu erstellt.

Die Bohrungen für die Bodenluftbrunnen wurden im Trockenbohrverfahren ohne Spülung durchgeführt. Alle fünf Bodenluftbrunnen wurden mit DN 100 Vollrohrstrecken und Wickeldrahtfilter (Material V2A, Schlitzweite 0,5 mm) ausgebaut. Der Messstellenausbau erfolgte mit Abschluss einer Bodenkappe. Alle Bodenluftbrunnen wurden jeweils mit einem zusätzlichen Vollrohr DN 25 für eine Temperaturlanze ausgestattet.

Der Messstellenausbau an den drei Beobachtungspegeln im Umfeld der Sanierungsfläche erfolgte mit DN 50 Vollrohrstrecken und Wickeldrahtfilter (Material V2A, Schlitzweite 0,5 mm). Der Ausbau erfolgte jeweils unterflur mit Abschluss einer tagwasserdichten und schwerlastfähigen Straßenkappe.

In der Anlage 6 sowie in der nachfolgenden Tabelle 4-1 sind die durchgeführten Bohrarbeiten im Detail zusammengestellt.

Tabelle 4-1: Übersicht der niedergebrachten Bohrungen

Brunnen	Bohrendteufe (m)	Ausbautiefe (m)	Filterlänge (m)	Winkel (Abweichung von der Lotrechten)
<b>E 10-neu</b>	20,0	20,0	16	37°
<b>E 15</b>	13,5	13,2	10	-
<b>E 16</b>	14,55	14,2	11	13°
<b>E 17</b>	16,5	16,5	13	10°
<b>E 18</b>	16,0	15,3	12	12°
<b>BP 1</b>	14,5	14,4	10	-
<b>BP 2</b>	17,5	17,4	13	-
<b>BP 3</b>	20,0	19,4	15	-

Das Bohrgut wurde in Kernkisten tiefengetreu ausgelegt und durch CDM Smith fachtechnisch aufgenommen. Das überschüssige Bohrgut wurde in einer gas- und wasserdichten Mulde gelagert, arbeitstäglich abgefahren und zwischengelagert. Das Material wurde in Anlehnung an die Probenahmerichtlinie LAGA PN 98 [U6] beprobt. Die LAGA-Einstufung führte in die Zuordnungsklasse Z1.2 [U5]. Die Dokumentation der fachgerechten Entsorgung ist in der Anlage 9 hinterlegt.

Die im Zuge der Bohrarbeiten aufgenommenen Bohrprotokolle, Schichtenverzeichnisse und Ausbaudaten sind der Anlage 3 zu entnehmen. Die Bohransatzpunkte sind in Anlage 1.2 verzeichnet.

#### **4.3 Entnahme von Bodenproben**

Aus den Bohrkernen wurden je Meter laufender Bohrung sowie bei Schichtwechseln bzw. erhöhten PID-Messungen Bodenproben entnommen. Insgesamt wurden aus dem Bohrgut 168 Bodenproben zur Bestimmung schwerflüchtiger Stoffe entnommen. Zusätzlich wurden 149 Bodenproben zur Bestimmung leichtflüchtiger Stoffe gemäß HLUG-Methode entnommen und mit Methanol überschichtet.

Die entnommenen Proben sind jeweils den zugehörigen Bohrprofilen angetragen und in den Schichtenverzeichnissen aufgeführt (Anlage 2).

#### **4.4 Analytik**

Die überschichteten Bodenproben wurden auf LHKW und z. T. auf BTEX untersucht. In den schichtweise entnommenen Bodenproben wurden die Stoffgehalte an MKW und PCB bestimmt.

Zur abfalltechnischen Deklaration des Bohrgutes wurden eine Bodenmischprobe erstellt und gemäß LAGA-Boden [U4], ergänzt um den Parameterumfang der Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts (DepV [U7]), im Feststoff und im Eluat untersucht.

Die Durchführung der chemischen Analysen erfolgte durch die chemlab GmbH, Bensheim. Die jeweils angewandte Probenvorbereitung und Probenaufbereitung sowie messtechnische Realisierung wurden nach anerkannten Verfahren und Vorschriften durchgeführt. Die Ergebnisse der umwelttechnischen Laborversuche sind dem Anlagenteil 5.3 zu entnehmen.

## 5 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

### 5.1 Lokale Untergrundverhältnisse

Bei allen Bohrungen wurde Auffüllungsmaterial angetroffen. Die erfassten Mächtigkeiten der Auffüllungen liegen zwischen 0,5 m bis 2,5 m. Die Auffüllungen bestehen aus Steinen, Kiesen, Sanden als Hauptbodenart mit schluffigen Nebenbestandteilen. Auffüllungsspezifisches Fremdmaterial wurden in Form von Flies, Folie, Ziegelbruch und Betonreste angetroffen. In der Bohrung BP 1 wurden Ziegelbruchstücke eines Mauerwerkschachtes in einer Tiefe von 0,8-1,8 m u GOK angetroffen.

Daran schlossen sich Kiese bzw. Sande mit kiesigen, sandigen und schluffigen Nebenbestandteilen, die sog. Oberen Taunusschotter an. Die Taunusschotter sind schlecht sortiert, wenig gerundet und gekennzeichnet durch eine graue Farbe.

In einer Tiefe von ca. 8,5 m (E 15) bis 15,70 m (BP 3) wurde ein geringmächtiger Ton- bzw. Schluffhorizont mit Mächtigkeiten zwischen 0,5 m (E 15, E 18, BP 1) bis ca. 2 m (BP 3) erbohrt. Diese markante Schluff-/Tonlage trennt die Ablagerungen der ältesten (Untere Taunusschotter) und der mittleren Talstufe (Obere Taunusschotter). In den Bohrungen E 10, E 18, BP 1, BP 2 und BP 3 wurden im Liegenden weitere Ton- bzw. Schlufflagen angetroffen.

Im Liegenden stehen Kiese und Sande der Unteren Taunusschotter an. Die Unteren Taunusschotter weisen einen generell höheren Rundungsgrad auf. Die Färbung ist graubraun. Die Unteren Taunusschotter wurden bis in eine Tiefe von 20 m u GOK erbohrt.

Zwischen 12,30 m (E 13, BP 1) und 18,50 m u GOK (BP 3) wurde verwitterter Felszersatz aus Grünschiefer angetroffen. Die Grünschiefer sind z.T. plattig und teilweise entfestigt. In den Bohrungen E 10 und E 17 wurde der Grünschiefer mit den jeweiligen Bohrendteufe von 20 m bzw. 16,50 m nicht erreicht. Die Gesteinsoberfläche fällt nach Süden in Richtung Eppsteiner Straße ein.

Die von CDM Smith aufgenommenen Bodenprofile sind in der Anlage 2.3 dokumentiert. Zusätzlich verdeutlichen zwei Profilschnitte in der Anlage 2.1 und Anlage 2.2 die erbohrten Untergrundverhältnisse. Hierbei wurden die Schrägbohrung E 10 in die tatsächliche, vertikale Tiefe umgerechnet und im Profilschnitt dargestellt. Für die übrigen Bohrungen wurde auf die Darstellung der tatsächlichen vertikalen Tiefe verzichtet, da die Grad-Abweichungen hier sehr gering sind.

## 5.2 Lokale Grundwasserverhältnisse

Im Rahmen der Bohrarbeiten wurde Schichtwasser des 2. Grundwasserhorizonts in den Bohrungen E 15 bei 12,3 m u. GOK, in E 10 bei 19,4 m u GOK (15,5 m u GOK mit Korrektur zur Vertikalen) und in der BP 3 bei 15,70 m u GOK angetroffen.

Das Grundwasser im 2. Grundwasserhorizont fließt auf der Verwitterungsschicht des Grünschiefers nach Süden in Richtung der Eppsteiner Straße ab (s. Tabelle 5-1).

Das obere Schichtwasser sowie das gespannte Kluftgrundwasser wurden in keiner Bohrung angetroffen.

Nach den Bohrarbeiten wurden folgende Grundwasserstände eingemessen:

Tabelle 5-1: Grundwasserstände

Pegeloberkante/ Flansch [m ü. NN]		E 10	E 15	E 16	E 17	E 18	BP 1	BP 2	BP 3
		206,52	206,60	206,32	206,42	206,27	206,62	206,38	206,14
GW Stand m u.POK/Flansch	<b>März 2015</b>	16,2	12,3	12,2	16,2	13,2	12,92	13,2	15,7
GW Stand m u POK mit Korrektur zur Vertikalen		12,96	-	11,8	15,9	12,9	-	-	-
GW Stand m ü. NN		193,56	194,3	194,52	190,52	193,37	193,70	193,18	190,44

## 5.3 Ergebnisse der Bodenuntersuchungen

### 5.3.1 Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der laborchemischen Bodenuntersuchungen mit LHKW-Konzentrationen > 100 mg/kg dargestellt. Zur Einordnung der Ergebnisse wurde der stoffspezifische Beurteilungswert zur Bewertung des Expositionspfades Boden → Grundwasser nach HLUG heran gezogen [U3]. In der Tabelle sind die LHKW-Konzentrationen farbig dahingehend unterschieden, ob das Bezugsniveau 10-fach, 100-fach oder 1.000-fach überschritten wird.

Des Weiteren werden in der Tabelle die Analysenergebnisse der jeweiligen Tiefe und dem Bodenhorizont gegenübergestellt, aus denen die Proben entnommen wurden. Zur Darstellung der räumlichen Schadstoffverteilung der LHKW wurden in das geologische Profil (vgl. Anlage 2) die jeweiligen analysierten LHKW-Konzentrationen eingetragen. Die vollständigen Analysenergebnisse sind in der Anlage 5.1 dokumentiert.

Tabelle 5-2: LHKW-Gehalte in Bodenproben

Bohrung	LHKW <sub>ges.</sub> [mg/kg]	Tiefe	Bodenhorizont / Lage
E 10	1.024	2,10 m	Oberer Taunussschotter
	992	2,80 m	Oberer Taunussschotter
	1.051	3,20 m	Oberer Taunussschotter
	170	4,00 m	Oberer Taunussschotter
	448	4,30 m	Oberer Taunussschotter
	1.040	4,80 m	Oberer Taunussschotter
	1.372	5,40 m	Oberer Taunussschotter
	912	5,90 m	Oberer Taunussschotter
	514	17,70 m	Unterer Taunussschotter
E 15	299	19,30 m	Unterer Taunussschotter
	192	1,40 m	Auffüllung
	856	1,90 m	Oberer Taunussschotter
	121	3,40 m	Oberer Taunussschotter
	138	4,30 m	Oberer Taunussschotter
	173	4,80 m	Oberer Taunussschotter
	1.061	7,70 m	Oberer Taunussschotter
E 16	173	8,55 m	Ton
	2.542	1,50 m	Auffüllung
	2.064	4,20 m	Oberer Taunussschotter
	1.050	5,40 m	Oberer Taunussschotter

Bohrung	LHKW <sub>ges.</sub> [mg/kg]	Tiefe	Bodenhorizont / Lage
	320	5,90 m	Oberer Taunussschotter
	389	9,40 m	Oberer Taunussschotter
	343	9,80 m	Oberer Taunussschotter
	201	11,80 m	Ton
E 17	1.476	2,90 m	Oberer Taunussschotter
	504	3,25 m	Oberer Taunussschotter
	1.854	4,10 m	Oberer Taunussschotter
	1.751	4,90 m	Oberer Taunussschotter
	623	5,30 m	Oberer Taunussschotter
E 18	25.336	1,25 m	Auffüllung
	1.340	1,8 m	Oberer Taunussschotter
	9.623	2,40 m	Oberer Taunussschotter
	457	4,50 m	Oberer Taunussschotter
	807	5,40 m	Oberer Taunussschotter
	373	6,40 m	Oberer Taunussschotter
	695	8,20 m	Oberer Taunussschotter
BP 1	2.755	8,5 m	Ton
BP 2	420	11,8 m	Schluff

Legende:

	Beurteilungswert HLUG 1000-fach überschritten
	Beurteilungswert HLUG 100-fach überschritten
	Beurteilungswert HLUG 10-fach überschritten

Die Untersuchungsergebnisse belegen ein Konzentrationsmaximum von 25.336 mg/kg LHKW im Boden im Bereich der Auffüllungen der Bohrung E 18. Der Beurteilungswert nach HLUG [U3] ist hier >1.000-fach überschritten. In den übrigen Bohrungen wurden im Auffüllungsbereich bis rd. 1,5 m u GOK LHKW-Konzentrationen bis max. 2.542 mg/kg nachgewiesen (E 16).

In den darunter liegenden Taunussschottern wurden weiterhin hohe Konzentrationen bis max. 9.623 mg/kg (E 18) an LHKW nachgewiesen. Generell nehmen die LHKW-Gehalte mit zunehmender Tiefe ab. LHKW-Gehalte >1.000 mg/kg reichen bis zu der trennenden Tonschicht zwischen Oberen und Unteren Taunussschottern. In den Unteren Taunussschottern liegt ein verringertes Belastungsniveau vor, wobei LHKW-Nachweise von z.T.>100 mg/kg bis in den wasser-gesättigten Bereich oberhalb des verwitterten Grünschiefers (2. GW-Leiter) geführt werden konnten.

In den Beobachtungspegeln außerhalb des Schadenszentrums wurden im oberflächennahen Bereich keine erhöhten LHKW-Konzentrationen festgestellt. Erst in tieferen Schichten ab 8,0 m (BP 1) bzw. ca. 12,0 m (BP 2) und ab 16,0 m u GOK in der BP 3 wurde der Nachweis an

LHKW-Konzentrationen > 10 mg/kg im Boden erbracht. Die Gehalte an LHKW im Bohrgut der Beobachtungspegel liegen im Vergleich deutlich unterhalb der Bohrungen auf dem Sanierungsfeld.

Damit zeigt sich, dass die Kontaminanten vom Schadenszentrum nicht nur vertikal, sondern auch lateral migriert sind. Hierbei ist anzunehmen, dass auf den geringer durchlässigen Tonhorizonten sich die LHKW lateral ausgebreitet haben. Die nach Süden abfallenden Tonschichten verstärken hierbei den Prozess der lateralen Migration.

Im Projektgebiet bilden die Verbindungen Tetrachlorethen (PCE) mit zwischen 60% und 80% sowie Trichlorethen (TCE) (20 % – 40 %) die Hauptschadstoffkomponente. In geringerem Umfang erfolgen Nachweise der Verbindungen cis-1,2-DCE und Dichlormethan.

### **5.3.2 Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)**

Aufgrund organoleptischer Auffälligkeiten wurden die oberen Bodenhorizonte bis max. 6 m u GOK der Bohrungen E 10, E 16, E 17 und E 18 zusätzlich auf MKW untersucht. Der Beurteilungswert nach HLUG liegt bei 2.500 mg/kg [U3].

Die MKW-Gehalte in den untersuchten Bohrungen sind erhöht, liegen jedoch überwiegend unterhalb des Beurteilungswertes. Lediglich in der Bohrung E 18 wurden Konzentrationen im Tiefenbereich von 1,0-1,5 m u GOK von 5.290 mg/kg nachgewiesen. Die Analyseergebnisse sind in der Anlage 5.1 hinterlegt.

### **5.3.3 Polychlorierte Biphenyle (PCB)**

Das Bohrgut der Bohrungen E 10, E 16, E 17, E 18 sowie BP 1, BP 2 und BP 3 wurde zusätzlich auf PCB analytisch untersucht. Der Beurteilungswert nach HLUG [U3] von 5 mg/kg wird bei allen Bohrungen durchweg unterschritten. Die analysierten PCB-Konzentrationen liegen in der Größenordnung zwischen rd. 0,4 mg/kg und 0,8 mg/kg (Anlage 5.1).

Eine Abnahme der PCB-Konzentration mit zunehmender Tiefe ist teilweise zu beobachten. In der Bohrung E18 wurden jedoch im Tiefenbereich zwischen 8,0 und 9,0 m u GOK noch PCB-Konzentrationen bis zu 0,372 mg/kg nachgewiesen.

### 5.3.4 Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole (BTEX)

Die untersuchten Bodenschichten in den Bohrung E 10, E 15, E 16, E 17 und E 18 erbrachten Nachweise auf BTEX. Der Beurteilungswert von BTEX (25 mg/kg) wurde einmalig in der Bohrung E 18 bei 1,25 m mit 68,2 mg/kg BTEX deutlich überschritten. Der übrigen ermittelten BTEX-Gehalte liegen unterhalb des Beurteilungswertes von 25 mg/kg. Die Analysenergebnisse sind in der Anlage 5.1 hinterlegt.

### 5.4 Ergebnisse der Raumlufuntersuchungen

Die Ergebnisse der aktiven Raumlufuntersuchungen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 5-3: Ergebnisse der aktiven Raumlufuntersuchungen während der Bohrarbeiten

LHKW ges. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]				
Datum	Wohnzimmer	Schlafzimmer	Keller	Blindwert
24.02.2015	147,6	223,7	n.b.	n.n.
06.03.2015	6,3	11,6	3,3	n.n.
PCB ges. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]				
24.02.2015	n.n.	n.n.	n.b.	n.n.

n.n. = nicht nachweisbar n.b. = nicht bestimmt

Die Aktivmessung am 24.02.2015 im Wohnzimmer und im Schlafzimmer wurde unter einem worst-case-Szenario durchgeführt. Die Raumlufreinigungsgeseräte wurden ausgeschaltet und keine Lüftung durchgeführt. Die darauffolgende Messung am 06.03.2015 erfolgte unter Nutzungsbedingungen. Dabei wurden max. 223,7  $\mu\text{g}$  Summe LHKW/ $\text{m}^3$  im Schlafzimmer (EG) gemessen. PCB wurden nicht nachgewiesen.

Die zweite Messung am 06.03.2015 erfolgte unter Nutzungsbedingung mit eingeschalteten Raumlufreinigungsgeseräten, bei der max. 11,6  $\mu\text{g}$  LHKW/ $\text{m}^3$  im EG (Schlafzimmer) bestimmt wurde.

Während der Bohrarbeiten erfolgten auch die routinemäßigen Raumlufmessungen mit Passivsammlern. Dabei zeigten sich im Vergleich zu Messungen vor und nach den Bohrarbeiten höhere Konzentrationen an LHKW in den untersuchten Räumen, aber der Eingreifwert von 100  $\mu\text{g}$  Summe LHKW /  $\text{m}^3$  wurde nicht überschritten.

## 6 ABSCHÄTZUNG DER IM BODEN VORLIEGENDEN LHKW-MENGE

### 6.1 Randbedingungen / Annahmen

Zur Abschätzung der im Boden noch vorhandenen LHKW-Menge wird der Untergrundbereich, der durch die vorhandenen und neuen Sanierungsbrunnen sowie die Beobachtungspegel erschlossen ist, in zwei Flächen unterteilt. Für diese Flächen gelten auf Grund des unterschiedlichen Untersuchungs- und Sanierungsstandes unterschiedliche Voraussetzungen.

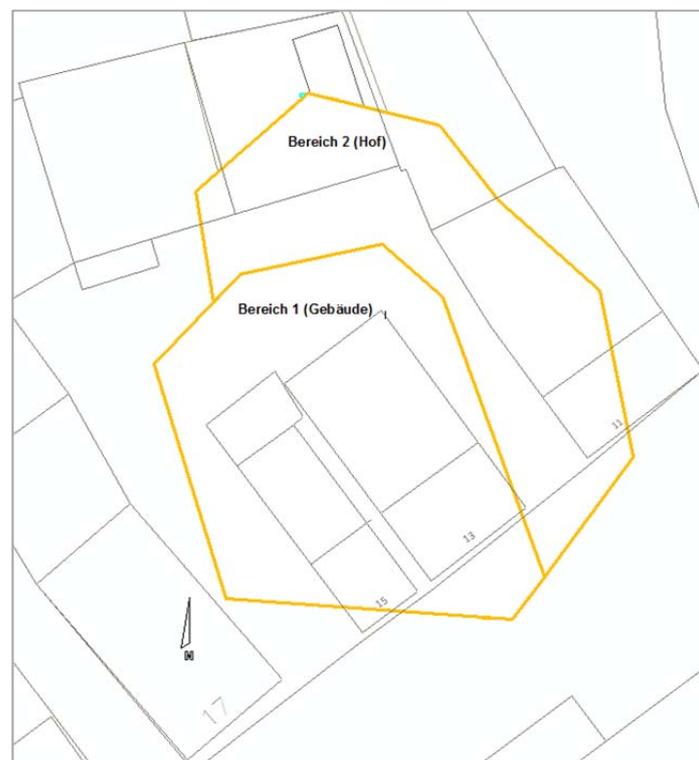


Abbildung 3: Einteilung des Bereichs Eppsteiner Straße zur Abschätzung der LHKW-Menge

**Bereich 1 (Gebäude):** Im Bereich des Wohnhauses Eppsteiner Straße auf der Sanierungsfläche wurden im Frühjahr 2015 Untersuchungen bis in Tiefen von bis zu ca. 20 m unter Gelände vorgenommen, so dass hier aktuelle Analysenergebnisse mit LHKW-Gehalten im Feststoff vorliegen. Für diesen Bereich werden die neuen Schadstoffgehalte angesetzt. Die Ermittlung der zu berücksichtigenden Bodenkubatur erfolgte über die Lage der betreffenden Bohrpunkte. Bei Schrägbohrungen wurde sowohl der Bohransatzpunkt als auch der Endpunkt herangezogen. Die Ergebnisse des beprobten Bodenmaterials wurden in der Fläche auf angrenzende Bereiche mit einem Radius von 2,50 m übertragen und die abgegrenzte Fläche um diesen Randstreifen erweitert. Diese Entfernung von 2,5 m wird aus gutachterlicher Sicht für angemessen angesehen.

hen (siehe Abbildung 3). Damit erstreckt sich die betrachtete Fläche über die Sanierungsfläche hinaus.

Für den Bereich 1 ergibt sich damit eine Fläche von ca. 270 m<sup>2</sup>, als Tiefe des Bodenkörpers wurde das arithmetische Mittel der Bohrtiefen bzw. der tiefsten Probenahme mit 15,8 m verwendet, um dem nach Süden hin abfallenden Grünschiefer bzw. Stauhorizont im Untergrund Rechnung zu tragen. Für den Bodenkörper Bereich 1 errechnet sich nach Abzug der Keller und des obersten Bodenmeters eine Menge von ca. 3.900 m<sup>3</sup>.

Der oberste Bodenmeter bleibt bei der Abschätzung weitgehend unberücksichtigt, da hier u.a. in Teilbereichen bereits eine Sanierung durch Bodenaustausch statt gefunden hat (Hofbereich). Im Bereich des Gebäudes sind insbesondere die Bodenplatte sowie die Fundamente und der Unterbau herauszurechnen. Da der Schadstoffeintrag in den Untergrund außerhalb des Wohngebäudes erfolgt ist, wird angenommen, dass nur im äußeren Rand des Gebäudes Verunreinigungen vorliegen. Bei einer angenommenen Bodendichte von 1,8 t/m<sup>3</sup> Boden ergibt sich somit für den Bereich 1 ein Gesamtgewicht von ca. 7.000 t.

**Bereich 2 (Hof):** Der Teilbereich umfasst die Bohrungen der Bohrkampagne 2012 auf der Hoffläche und in der Zufahrt bis unter das Nachbargebäude östlich der Sanierungsfläche. Analog zur Vorgehensweise im Bereich 1 wurde zusätzlich ein Randstreifen von 2,5 m berücksichtigt. An der Grenze zu Bereich 1 wurde dieser Randstreifen auf Grund der aktuelleren Analyseergebnisse dem Bereich 1 zugeschlagen.

Für den Bereich 2 ergibt sich so eine Fläche von ca. 205 m<sup>2</sup> mit einer mittleren Tiefe von 12,4 m. Nach Abzug der Keller und des obersten Bodenmeters der auf der Sanierungsfläche im Rahmen von Sanierungsarbeiten bereits ausgetauscht wurde, errechnet sich eine Kubatur von 2.260 m<sup>3</sup> mit einem Gesamtgewicht von ca. 4.070 t.

## 6.2 Abschätzung der im Untergrund noch vorhandenen LHKW-Menge

Zur Abschätzung der LHKW-Gehalte im Boden wurden in der **Variante 1** die jeweiligen Analyseergebnisse des Bodenfeststoffs mit der entsprechenden untersuchten Bodenmenge gewichtet. Hierzu wurde der LHKW-Gehalt einer Bodenanalyse der jeweiligen Schichtdicke des betreffenden Horizontes zwischen zwei Bodenproben und eine Fläche von einem Quadratmeter zugesprochen (z.B. 125 mg/kg x 0,75 m x 1,0 m<sup>2</sup>). Nach anschließender Aufsummierung der differenzierten Boden- und LHKW-Teilmenge je Bohrung ergibt sich eine tatsächlich untersuchte Bodenkubatur mit einem nachgewiesenen LHKW-Gehalt.

Diese Schadstoffmenge wird über den Verhältniswert der Gesamtkubatur zur untersuchten Bodenkubatur hochgerechnet.

Für die beiden Bereiche ist zudem noch der Stand der Sanierung zu berücksichtigen. Während es sich bei den Analyseergebnissen in Bereich 2 um LHKW-Gehalte vor Sanierungsbeginn handelt, repräsentieren die Analyseergebnisse in Bereich 1 die LHKW-Gehalte nach ca. 1,5 Jahren Sanierungsdauer. Bislang wurden aus dem Boden insgesamt ca. 1.200 kg LHKW entfernt.

Für die Abschätzung der im Untergrund (siehe Anlage 8) aktuell noch vorhandenen LHKW-Gesamtmenge wird in der Berechnung davon ausgegangen, dass ca. 1/3 der entfernten LHKW aus Bereich 1 und die verbleibenden 2/3 aus Bereich 2 (Hauptschadensbereich) ausgetragen wurden.

Für den Bodenkörper lässt sich nun eine LHKW-Menge vor Sanierungsbeginn und eine aktuelle nach 1,5 Jahren Sanierung abschätzen:

LHKW vor Beginn Sanierung, Bereich 1 inkl. bereits entfernter Schadstoffe (400 kg):	3.310 kg
LHKW vor Beginn Sanierung, Bereich 2:	4.150 kg
<b>Gesamtsumme vor Sanierungsbeginn:</b>	<b>7.460 kg</b>

LHKW mit Sanierung Stand 2015, Bereich 1:	2.910 kg
LHKW mit Sanierung Stand 2015, Bereich 2:	3.350 kg
<b>Gesamtsumme Stand 2015:</b>	<b>6.260 kg</b>

**Die im Bodenkörper aktuell noch vorhandene LHKW-Menge kann auf Grundlage der Analyseergebnisse im Bodenfeststoff zu ca. 6.300 kg abgeschätzt werden. Hinsichtlich des Parameters PCB wurde für den Bereich 1 (Haus) auf Basis der aktuellen Analyseergebnisse eine Menge von rd. 0,4 kg abgeschätzt. Die Sanierung wird auf Grundlage dieser Ergebnisse noch bis in das Jahr 2017 laufen.**

Neben der vorgenannten detaillierten Abschätzung der im Untergrund vorhandenen Schadstoffmenge wurden zur Überprüfung zwei vereinfachte Berechnungen angestellt (siehe Anlage 8).

Für die **Variante 2** wurden drei Bodenschichten von 0 – 5 m, 5 – 10 m und von 10 – 15,8 m jeweils mit den sich errechneten Mittelwerten multipliziert.

Der einfachste Ansatz der **Variante 3** berechnet sich aus der Gesamtkubatur und dem errechneten Mittelwert der Schadstoffgehalte.

Gemäß dem Berechnungsschema der Variante 2 ergibt sich aktuell eine im Untergrund verbliebene LHKW-Menge von rd. 6.800 kg, für Variante 3 ca. 8.150 kg. Da aus dem Untersuchungsprogramm von 2012 nur selektive Bodenuntersuchungen vorliegen, ist zu erwarten, dass die abgeschätzte Menge insbesondere der Variante 3 etwas zu hoch ist.

## 7 ANLAGENUMBAUARBEITEN

Im Nachgang der Bohrarbeiten auf dem Grundstück Eppsteiner Straße erfolgte der Anschluss der neu errichteten Brunnen an die Sanierungsanlage. Hierzu wurden von VEGAS Brunnenköpfe auf die neu erstellten Brunnen montiert und an die Sanierungsanlage angeschlossen. Alle Rohrleitungen wurden in unterflurigen Kanälen verlegt. Anschließend wurde die Fläche auf ein einheitliches Niveau aufgeschottert. Die Anlagenkomponenten in den Kanälen sind so vor Witterungseinflüssen geschützt und die Fläche besser begehbar. Die im Zuge der Bohrarbeiten in die Bohrlöcher eingestellten Temperaturmesslanzen wurden von VEGAS mit Messfühlern ausgestattet und an das Temperatur-Messsystem angeschlossen.



Abbildung 4: Brunnenkopf (I), Zustand Sanierungsfläche mit den unterflur verlegten Leitungen, neuem Sichtschutzzaun und Schallschutzmaßnahmen / Containern

Zur Grundwassersicherung hat VEGAS in den auf der Fläche vorhandenen Brunnen - sofern bautechnisch möglich - zusätzliche Schlauchpumpen eingebaut. Insgesamt sind nun auf der Fläche 17 Brunnen mit Pumpen für eine Grundwasserhaltung ausgestattet. Das geförderte Wasser wird in der Sanierungsanlage mit zwei Wasseraktivkohlefiltern abgereinigt und das aufbereitete Wasser in die Kanalisation abgeleitet.

Zum Nachbargrundstück wurde ein Sichtschutzzaun aus Holz installiert. Zwischen den beiden Anlagencontainern der Sanierungsanlage wurde ein neues Dach errichtet und der Zwischenraum mit einer Zugangstür versehen. Diese Maßnahmen dienen der Reduzierung der Lärmemissionen für das Umfeld.

Zur Steigerung der Absaugleistung bei der Bodenluftsanierung und als redundantes System wurde in die Sanierungsanlage ein zweiter Verdichter eingebaut.

Am 27. April 2015 erfolgte die Lieferung und die Montage der neuen Abluftreinigungsanlage (selbstregenerierende Doppelbettaktivkohlefiltereinheit). Zur Sicherheit wird ein Aktivkohlefilterfass nach der Abluftreinigungsanlage als „Polizeifilter“ vorgehalten. Die übrigen bisher verwendeten Aktivkohlefilterfässer werden anschließend von der Fläche entfernt. Die bei der Regene-

ration der Aktivkohle in der Abluftreinigungsanlage anfallenden LHKW werden in zwei doppelwandigen Sicherheitsbehältern für flüssige Gefahrstoffe gesammelt. Sobald ein Behälter befüllt ist, wird der Tausch bzw. die Abholung veranlasst. Die LHKW werden dann über eine Fachfirma einer ordnungsgemäßen Entsorgung zugeführt. Für den Tausch des Sammel tanks wird die Zuwegung zum Anlagencontainer ertüchtigt.

## 8 ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Im Zuge der Bohrarbeiten auf dem ehem. Betriebsgelände der Fa. Dr. Büscher & Gausmann wurden deutlich erhöhte LHKW-Konzentrationen im Boden vorgefunden. Die Hauptschadstoffkomponenten bilden die Verbindungen Tetrachlorethen (PCE) und Trichlorethen (TCE). Die Hauptschadstoffbelastungen reichen bis zu einer Tonschicht im Tiefenbereich von rd. 8,5 - 9,0 m u. GOK. Mit zunehmender Tiefe ist generell eine Abnahme der LHKW-Gehalte zu beobachten.

Die maximale oberflächennahe LHKW-Belastung mit 25.336 mg/kg wurde in der Bohrung E 18 ermittelt. Vergleichsweise geringe Schadstoffbelastungen wurden in den Bohrungen der Beobachtungspegel BP 1, BP 2 und BP 3 nachgewiesen. Erst in tieferen Schichten wurde der Nachweis an erhöhten LHKW-Konzentrationen im Boden erbracht. Hierbei ist anzunehmen, dass auf den geringer durchlässigen Tonhorizonten sich die LHKW lateral ausgebreitet haben. Die nach Süden abfallenden Tonschichten verstärken hierbei den Prozess der lateralen Migration.

Mit zunehmendem Abstand vom Hauptschadensbereich Eppsteiner Straße befinden sich tendenziell hohe LHKW-Konzentrationen in größeren Tiefen, bei gleichzeitiger Abnahme der oberflächennahen LHKW-Konzentrationen. Dieses Belastungsmuster weist neben einer vertikalen auf eine laterale Verteilung hin.

Die ermittelten MKW-, PCB- und BTEX-Konzentrationen lagen überwiegend deutlich unterhalb der jeweiligen Beurteilungswerte nach HLUG [U3]. Einmalig wurden die entsprechenden Beurteilungswerte für MKW und BTEX in der Bohrung E 18 überschritten. PCB lag durchweg unterhalb des Beurteilungswertes.

Eine Abschätzung der LHKW-Gesamtmenge auf Grundlage der aktuellen Untersuchungsergebnisse sowie Ergebnisse der Voruntersuchungen ergibt ein LHKW-Schadstoffinventar von ca. 6.300 kg. Auf Basis dieser Schadstoffmenge ist eine Sanierungsdauer bis in das Jahr 2017 zu erwarten.

Bei den während der Bohrarbeiten durchgeführten PID-Messungen wurden kurzzeitig erhöhte Schadstoffkonzentrationen in der Umgebungsluft am Bohrloch festgestellt. Durch die ergriffenen Schutzmaßnahmen wurde das Gefährdungspotential durch gasförmige Emissionen minimiert.

Während der Bohrarbeiten wurden in den Gebäuden um und auf der Sanierungsfläche die routinemäßigen Raumlufmessungen mit Passivsammlern weiter geführt – bei diesen Messungen wurde der Eingreifwert von 100 µg Summe LHKW / m<sup>3</sup> in allen untersuchten Räumen unterschritten. Die aktiven Raumlufmessungen im Wohngebäude auf der Sanierungsfläche Eppsteiner Straße während der Bohrarbeiten unter worst-case-Bedingungen ergaben eine Überschreitung des Eingreifwertes – die Folgemessung unter Nutzungsbedingungen zeigte wieder eine deutliche Unterschreitung des Eingreifwertes.

## 9 EMPFEHLUNGEN

Durch die Bohrarbeiten wurden die Bereiche der ehemaligen Fassreinigung und der Abschnitt unter dem Wohngebäude auf der Sanierungsfläche besser erschlossen. Die Verdichtung der Brunnen in diesem Bereich sollte zu einer besseren Sanierungsleistung führen.

Die Bohrungen haben gezeigt, dass es zu einer lateralen Ausbreitung von LHKW auf der Ton-schicht in größerer Tiefe gekommen ist, das auch das westlich der Sanierungsfläche liegende Grundstück betrifft. Dies zeigt sich in den LHKW-Konzentrationen auf diesem Grundstück, die sich in einer Tiefe von 8,50 m u GOK (BP 1) bzw. 11,20 m u GOK (BP 2) befindet.

Infolge der vollständigen Versiegelung der Hofoberfläche ist der Direktpfad Boden  $\Rightarrow$  Mensch unterbrochen sowie eine Migration von Schadstoffen in die Atmosphärenluft ausgeschlossen. Überprüfungen der Druckverhältnisse an den drei Beobachtungspegeln haben bereits gezeigt, dass in den Beobachtungspegeln ein Unterdruck existiert und somit die Bodenluft zur Sanierungsfläche gesaugt wird.

Inwieweit eine Migration der LHKW in umliegende Kellerräume erfolgt, müsste über entsprechende Untersuchungen festgestellt werden bzw. wird empfohlen in den Kellern der Gebäude auf dem Grundstück entsprechende Raumluftmessungen durchzuführen.

Eine Sanierung der kontaminierten, geringmächtigen Schichten auf dem westlich der Sanierungsfläche gelegenen Nachbargrundstück ist auf Grundlage des aktuellen Kenntnisstandes als unverhältnismäßig zu bewerten.

Nach Abschluss der Umbauarbeiten wird empfohlen, die Sanierung mittels des Verfahrens der Dampf-Luft-Injektion wieder in Betrieb zu nehmen.

## 10 AUSBLICK

Die neu errichteten Sanierungsbrunnen werden mit der DLI nach der bisherigen Planung voraussichtlich Anfang Mai wieder in Betrieb genommen.

Die Anlagenüberwachung und das Raumluftmonitoring sollte im bestehenden Umfang fortgesetzt werden.

CDM Smith Consult GmbH  
2015-04-28



Dr.-Ing. Volker Schrenk



Dipl.-Geol. Michael Glaser



Dipl.-Geol. Anja Desch



Dipl.-Geol. Dieter Baun