

**Lidl Immobilienservice West
GmbH & Co. KG
Gustav-Heinemann-Ufer 54
50968 Köln-Bayenthal**

**Geplante Baumaßnahme in Siegburg, Wilhelmstraße
(ehem. Lüghausen-Gelände);
Umwelttechnische Untersuchungen im Vorfeld
der geplanten Neunutzung**

**DR. TILLMANNS & PARTNER GMBH
Kopernikusstr. 5 • 50126 Bergheim
Tel.: 02271/801-0 • Fax: 02271/801-108**

MAPPENINHALT

- | | |
|--|--------------------------|
| 1. Übersichtskarte 1:5.000 | Anlage 1 |
| 2. Lageplan M 1:500 Ansatzpunkte
(Bodenluftmessstellen, Rammkernsondierungen,
Grundwassermessstellen) und Bodenbelastungen
gemäß Voruntersuchungen | Anlage 2 |
| 3. Lageplan M 1:500
Entsorgungstechnische Untersuchungen (Halden,
Anschüttungen, Beton- und Schwarzdeckenaufbruch)
mit Ausweisung der geplanten Nutzungen | Anlage 3 |
| 4. Lageplan M 1:250
Untersuchungen in 2011
(Ansatzpunkte MIP-Sondierung, DP-Sondierungen,
Rammkernsondierungen und Grundwassermessstellen)
mit derzeitiger Geländesituation
mit geplanten Nutzungen | Anlage 4/1
Anlage 4/2 |
| 5. Profilschnitte 1-1' und 2-2', M 1:250/1:100
im Bereich Wohnbebauung | Anlage 5 |
| 6. Bodenbelastungskarte | Anlage 6 |
| 7. Grundwasserbelastungskarte M 1:500 | Anlage 7 |
| 8. Lageplan M 1:250 mit Ausweisung der Belastungs-
bereiche gemäß Untersuchung in 2011 | Anlage 8 |
| 9. Schichtenverzeichnisse der Rammkernsondierungen | Anlage 9 |
| 10. Schichtenverzeichnisse und Ausbaupläne zu den
neu eingerichteten Grundwassermessstellen | Anlage 10 |
| 11. Rammprotokolle der Direct-Push-Sondierungen | Anlage 11 |
| 12. Diagramme der MIP-Sondierungen | Anlage 12 |
| 13. Probennahmeprotokolle zu den entsorgungstechnischen
Untersuchungen | Anlage 13 |
| 14. Grundwasserentnahmeprotokolle | Anlage 14 |
| 15. Vermessungsprotokolle zu den Grundwassermessstellen | Anlage 15 |
| 16. Analysenprotokolle | Anlage 16 |
| - Entsorgungstechnische Untersuchungen : Blatt 1-3 | |
| - Bodenuntersuchungen : Blatt 4-8 | |
| - Direct-Push-Grundwasseruntersuchungen : Blatt 9-12 | |
| - Grundwasseruntersuchungen : Blatt 13-17 | |

PROJEKT NR.:
7543-03-11

Inhaltsverzeichnis

1.	Allgemeines und Veranlassung.....	1
2.	Aufgabenstellung	2
3.	Untersuchungsgang	4
4.	Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse	6
5.	Untergrundverhältnisse / Befunde der Geländeuntersuchungen.....	7
5.1	Befunde der Rammkernsondierungen und Bohrungen zur Einrichtung von Grundwassermessstellen	7 7
5.2	Befunde der MIP-Sondierungen.....	10
5.3	Befunde der Direct-Push-Sondierungen	12
6.	Chemisch-physikalische Untersuchungen	13
6.1	Entsorgungstechnische Untersuchungen.....	13
6.2	Bodenuntersuchungen	15
6.3.	Grundwasseruntersuchungen	18
6.3.1	DP-Grundwasseruntersuchungen	18
6.2.	Befunde der Grundwassermessstellen	21
7.	Bewertung der Grundwasserbelastung	25
8.	Bewertung der Boden- und Grundwasserbelastungen im Hinblick auf eine.. Gefährdung des Menschen	27 27
9.	Zusammenfassung.....	29

**Geplante Baumaßnahme in Siegburg, Wilhelmstraße
(ehem. Lüghausen-Gelände);
Umwelttechnische Untersuchungen im Vorfeld
der geplanten Neunutzung**

1. Allgemeines und Veranlassung

Die Firma Lidl Immobilienservice West GmbH & Co. KG plant derzeit die Überbauung des von der Brückbergstraße, Wilhelmstraße, Augustastraße und dem Mühlengraben begrenzten Grundstücks in zentraler Lage von Siegburg (vgl. Übersichtskarte in Anlage 1). Die derzeit nicht genutzte Brachfläche soll einer gewerblichen Nutzung mit zugehörigen Parkplatzflächen und einer mehrgeschossigen Wohnbebauung zugeführt werden.

Die gewerblichen Bauten sind ohne Unterkellerung geplant, im Bereich der Wohnbebauung ist eine Tiefgarage vorgesehen. Die geplanten Neunutzungen zum derzeitigen Planungsstand sind in der Anlage 4/2 ausgewiesen.

Die ehem. gewerblich-industriellen Nutzungen im Bereich der heutigen Brachfläche

- von 1895 bis Ende der 20er Jahre durch einen Mühlenbetrieb
- von 1934 bis 1981 durch eine Maschinenfabrik mit Hammerwerk (Firma Walterscheid) im zentralen und nordöstlichen Bereich
- wahrscheinlich zeitgleich durch eine Spirituosenfabrik mit Wohnhaus (Firma Rückforst) im südwestlichen Bereich
- von 1981 bis 2001 durch eine Holzhandlung (Firma Lüghausen nutzt die Gebäude der ehem. Firma Walterscheid)

führten ausweislich umfangreicher, insbesondere in den Jahren 2001-2006 durchgeführter alllastentechnischer Untersuchungen zu nutzungsbedingten Bodenverunreinigungen mit leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (LCKW), mineralölähnlichen Kohlenwasserstoffen (MKW), polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und Schwermetallen, die insbesondere

im nördlichen Bereich des Betriebsgeländes der ehem. Firma Walterscheid festgestellt wurden. Die durchgeführten Voruntersuchungen und deren Befunde sind in der Anlage 2, die durchgeführten Grundwasseruntersuchungen zusätzlich in der Anlage 7 dokumentiert.

Ende 2003 erfolgte der Rückbau der vorhandenen Gebäudesubstanz mit Separierung belasteter Bausubstanz, die zumindest teilweise in Form gesicherter Haufwerke auf dem Gelände verblieb. Ferner verblieben aufgebrochene Platzbefestigungen aus Schwarzdecken und Hallenböden aus Beton auf dem Gelände. Abschließend erfolgten Geländeauffüllungen mit RCL-Material.

Anfang 2005 wurde versucht, die LCKW-Belastung und die davon ausgehende Grundwasserbelastung im nördlichen Bereich des ehem. Betriebsgeländes der Firma Walterscheid mittels eines Bodenaustauschs bis ca. 6 m u. OKG auf einer Fläche von 5 m x 5 m (im Bereich des Schadstoffherdes) zu sanieren.

In Anbetracht der im Rahmen eines Grundwasser-Monitorings anhaltend festgestellten, von dem ehem. Betriebsgelände der Firma Walterscheid ausgehenden LCKW-Belastung, der noch vorhandenen Halden, Anschüttungen und Aufbruchmaterialien aus Beton und Schwarzdecken sowie noch nicht abschließend erkundeter, vom Büro Geobek ausgewiesener Punktbelastungen waren zur Sicherstellung der geplanten Neunutzungen umwelttechnische Untersuchungen durchzuführen.

2. Aufgabenstellung

Im Vorfeld der jetzt geplanten Neubaumaßnahmen sollten die nachfolgend zusammengestellten, mit dem Umweltamt des Rhein-Sieg-Kreises abgestimmten Arbeiten durchgeführt werden:

1. Aufmaß, Beprobung und Untersuchung (Deklarationsanalytik) der im Plangebiet vorhandenen Halden, Anschüttungen sowie Beton- und Schwarzdeckenaufbrüche zur Sicherstellung einer sach- und fachgerechten Entsorgung;

2. Beprobung und Untersuchung der im Plangebiet vorhandenen Grundwassermessstellen auf LCKW, MKW, BTEX und PAK sowie der im Abstrom vorhandenen Grundwassermessstellen auf LCKW zur Erfassung des Ist-Zustandes;
3. Erkundung der LCKW-Restbelastungen im Bereich der geplanten Wohnbebauung;
4. Eingrenzung der vom Büro Geobek ausgewiesenen Punktbelastungen mit MKW, PAK und Schwermetallen.

Auf der Grundlage des Angebotes vom 16.02.2011 wurde der Unterzeichnende von dem Grundstücksentwickler, der Firma Lidl Immobilienservice West GmbH & Co. KG in 03/2011 mit Schreiben vom 29.02.2011 mit der Durchführung nachfolgender Arbeiten beauftragt:

- Aufmaß, Beprobung und entsorgungstechnische Untersuchung der Halden, Anschüttungen sowie der Beton- und Schwarzdeckenaufbrüche;
- Auswertung der Untersuchungsbefunde zur umwelt- und abfalltechnischen Bewertung der untersuchten Materialien;
- Einrichtung von Grundwassermessstellen (2") im Bereich sowie im An- und Abstrom festgestellter Belastungen;
- Beprobung der vorhandenen und neu eingerichteten Grundwassermessstellen sowie Untersuchung auf die standortspezifischen Parameter MKW, BTEX, PAK, LCKW und Schwermetalle der KVO einschließlich Arsen;
- Darstellung und Auswertung der Grundwasseruntersuchungen unter Einbeziehung der Vorbefunde sowie der vom Rhein-Sieg-Kreis in 2009 durchgeführten Untersuchungen;
- Durchführung von Rammkernsondierungen, MIP-Sondierungen und Direct-Push-Sondierungen zur Eingrenzung insbesondere von LCKW-Restbelastungen im nördlichen Untersuchungsgebiet sowie zur Eingrenzung der punktuellen Bodenbelastungen gemäß den Voruntersuchungen;

- Dokumentation und Darstellung der Untersuchungsbefunde zur Eingrenzung der erkundeten Belastungen in Form von Lageplänen, Profilschnitten und Belastungskarten;
- Auswertung und Bewertung der Untersuchungsbefunde im Hinblick auf die aktuelle Belastungssituation und die daraus resultierende Gefährdung von Schutzgütern über die Gefährdungspfade Bodenluft, Boden und Grundwasser einschließlich Feststellung, ob unter Beachtung der geplanten Wohnnutzung Sanierungsmaßnahmen notwendig sind;
- Erstellung des Gutachtens in 5-facher Ausfertigung.

3. Untersuchungsgang

Die Beprobung der Halden, Anschüttungen sowie der Beton- und Schwarzdekenaufbrüche erfolgte am 10.03.2011. Die Beprobungspunkte sind in der Anlage 3 ausgewiesen.

Ebenfalls am 10.03.2011 erfolgte die Beprobung der im Abstrom des sanierten LCKW-Schadens sowie der im weiteren Abstrom des Untersuchungsgebietes vorhandenen Grundwassermessstellen 8430-038, 8430-041 und 8430-042.

Die MIP-Sondierungen zur Detailerkundung der gemäß den Befunden der Voruntersuchungen ausgewiesenen LCKW-Belastungen im Bereich des nördlichen Betriebsgeländes der ehem. Firma Walterscheid wurden in der 12. und 13. KW 2011 durchgeführt.

Nach den Befunden der MIP-Sondierungen sowie zur Eingrenzung der vom Büro Geobek ausgewiesenen MKW-, PAK- und Schwermetallbelastungen wurden in der Zeit vom 30.03. bis 01.04.2011 insgesamt 31 Rammkernsondierungen abgeteuft.

Ferner wurden im Bereich von mittels der MIP-Sondierungen erkannten Belastungen am 04.04. und 05.04.2011 gezielt 10 Direct-Push-Sondierungen zur horizontalen Entnahme von Grundwasserproben abgeteuft.

Die Neueinrichtung der Grundwassermessstellen GWMS 1 bis GWMS 7 erfolgte am 06.04. und 07.04.2011.

Die neu eingerichteten Grundwassermessstellen wurden nach Lage und Höhe eingemessen. Das Vermessungsprotokoll ist in der Anlage 15 dokumentiert.

Die neu eingerichteten Grundwassermessstellen sowie die bereits vorhandenen Grundwassermessstellen 8430-038 und 8430-049 wurden am 11.04.2011 beprobt.

Die Ansatzpunkte der im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführten MIP-Sondierungen, Rammkernsondierungen, Direct-Push-Sondierungen und Grundwassermessstellen sind in den Lageplänen in den Anlagen 4/1 mit Ausweisung der derzeitigen Geländesituation und 4/2 mit Ausweisung der geplanten Nutzung dargestellt.

Organoleptisch auffällige und repräsentative Bodenproben aus den Rammkernsondierungen und den Bohrungen zur Einrichtung der Grundwassermessstellen, die entnommenen Grundwasserproben aus den Direct-Push-Sondierungen sowie den vorhandenen und neu eingerichteten Grundwassermessstellen einschließlich der zur Sicherstellung einer sach- und fachgerechten Entsorgung entnommenen Materialproben wurden dem Labor Eurofins in 50389 Wesseling zur Untersuchung überstellt.

Die Untersuchungsbefunden lagen dem Unterzeichnenden Ender der 17. KW 2011 vollständig vor.

4. Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse

Ausweislich der Geologischen Karte Blatt Nr. 5109 Lohmar liegt das Untersuchungsgebiet im randlichen Verbreitungsgebiet von pleistozänen Niederterrasenablagerungen der Sieg, die bei anthropogen ungestörten Verhältnissen von geringmächtigen holozänen Hochflutlehmen überlagert werden. Im östlichen Bereich des Untersuchungsgebietes werden die Niederterrasenablagerungen von bis zu 5 m mächtigen holozänen Talbildungen des Mühlengrabens überlagert.

Die Mächtigkeit der gut bis stark durchlässigen, sandig-kiesig ausgebildeten Sieg-Niederterrasse liegt bei ca. 6 m. Die Durchlässigkeit und Mächtigkeit der Sieg-Niederterrasse nimmt zum Randbereich des Verbreitungsgebietes (= Untersuchungsgebiet) hin ab. Im Randbereich treten verstärkt Einschaltungen bindiger Sedimente auf.

Den tieferen Untergrund bilden tertiäre, tonig-schluffig ausgebildete Sedimente die dem Oligozän zugerechnet werden. Die Tertiär-/Quartär-Grenzfläche zeigt auch kleinräumig ein ausgeprägtes Relief (vgl. Profilschnitte in Anlage 5).

Der Grundwasserstand im Untersuchungsgebiet liegt bei ca. 54 m ü. NN. Bei einer mittleren Geländehöhe von ca. 56 m ü. NN beträgt der Grundwasserflurabstand im Bereich des engeren Untersuchungsgebietes ca. 2 m. Das Obere freie Grundwasserstockwerk wird im Liegenden durch die tertiären Tone begrenzt.

Die Grundwasserfließrichtung im Oberen freien Grundwasserstockwerk ist generell nach Südwesten zum Vorfluter Sieg hin gerichtet.

Das Untersuchungsgebiet liegt außerhalb von Wasserschutzonen.

Der das Untersuchungsgebiet am Süd-, Ost- und Nordrand umfließende Mühlengraben hat nach den durchgeführten Untersuchungen keine hydraulische Verbindung mit dem Grundwasser im engeren Untersuchungsgebiet.

In der Grundwasserbelastungskarte in Anlage 7 sind die zum Stand 02/2008 sowie die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung zum Stand 04/2011 ermittelten Grundwasserstände sowie die auf der Grundlage der Grundwasserstände ermittelten Grundwasserhöhengleichen und die Grundwasserfließrichtung ausgewiesen.

Zum Stand 02/2008 ist die aus den 3 Grundwassermessstellen 8430-038, 8430-041 und 8430-042 ermittelte Grundwasserfließrichtung bei einem um ca. 0,2 m höheren Grundwasserstand nach Südwesten gerichtet.

Zum Stand 04/2011 zeigt sich bei einem differenzierteren Grundwasserhöhengleichenbild im nördlichen Untersuchungsgebiet ebenfalls eine nach Südwesten gerichtete Grundwasserfließrichtung, die im weiteren Abstrombereich stärker nach Südsüdwesten gerichtet ist. Der hydraulische Gradient schwankt zwischen $i = 0,005$ und $i = 0,003$ (vgl. Anlage 7).

5. Untergrundverhältnisse / Befunde der Geländeuntersuchungen

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden die Untergrundverhältnisse vertiefend mittels 31 Rammkernsondierungen und den Bohrungen zur Neueinrichtung von 7 Grundwassermessstellen direkt durch die kontinuierliche Entnahme von Bodenproben sowie indirekt durch die Befunde von 21 MIP-Sondierungen und 10 Direct-Push-Sondierungen erkundet.

5.1 Befunde der Rammkernsondierungen und Bohrungen zur Einrichtung von Grundwassermessstellen

Die Schichtenverzeichnisse zu den Rammkernsondierungen sind in Anlage 9, die Schichtenverzeichnisse zu den Bohrungen für die Grundwassermessstellen in der Anlage 10 dokumentiert. In den Profilschnitten in Anlage 5 sind die Befunde in Form von Säulenprofilen für den Bereich der geplanten Wohnbebauung dargestellt. Die Lage der Profilschnitte zeigen die Lagepläne in den Anlagen 4/1 und 4/2.

In Übereinstimmung mit den Befunden der Voruntersuchungen wird der unmittelbare Untergrund von im Mittel 1 mächtigen Auffüllungsöbden aus Bodenaushub mit unterschiedlichen Anteilen an Bauschutt, Schlacken, Aschen, Schwarzdecken und Kohlepartikeln gebildet. Lokal größere Auffüllungsmächtigkeiten können durch die Altbebauung (z. B. Unterkellerung, Arbeitsraum von Fundamenten) oder in der RKS 25 durch den in 2003 durchgeführten Bodenaustausch im Bereich der nördlichen LCKW-Belastung bedingt sein.

Das Liegende der Auffüllungen wird in der Mehrzahl der Rammkernsondierungen von Hochflutsedimenten in Form von zumeist sandig-tonigen Schluffen und/oder stark schluffigen Sanden gebildet. Lokal stehen die Hochflutsedimente unmittelbar unter den Oberflächenversiegelungen aus Beton an.

Die holozänen Hochflutsedimente zeigten Mächtigkeiten zwischen 0,3 und 4,0 m. Im Mittel liegen die Mächtigkeiten um 1,5 m.

Bereichsweise wurden die Hochflutsedimente im Rahmen von Bau- oder Bodenverbesserungsmaßnahmen abgetragen.

Im Liegenden der Hochflutsedimente wurden die Sande und Kiese der pleistozänen Niederterrasse der Sieg erbohrt.

Die Terrassensedimente zeigen Mächtigkeiten zwischen 2,3 und 6,0 m.

Im Bereich, in denen die Hochflutsedimente abgetragen wurden, stehen die Terrassensedimente unmittelbar im Liegenden der Auffüllungsböden an.

Das Liegende der Niederterrasse bilden tertiäre Tone mit unterschiedlichen Schluff- und Sandanteilen.

Nasse Bodenschichten als Hinweis auf Grundwasser wurden in Abhängigkeit von der Geländemorphologie zwischen 1,0 m und 2,7 m u. OKG erbohrt.

Die mehrheitlich erdfeucht ausgebildeten Auffüllungsböden zeigen bei nichtbindiger Ausbildung eine mitteldichte bis dichte Lagerung, bei bindiger Ausbildung eine weiche bis steife Konsistenz.

Die holozänen, bindigen Hochflutsedimente zeigen bei feuchter bis nasser Ausbildung mehrheitlich eine steife, lokal auch weiche Konsistenz.

Die Sande und Kiese der Niederterrasse sind überwiegend mitteldicht gelagert.

Die tertiären Tone und schluffigen Tone weisen eine steife bis halbfeste Konsistenz auf.

Organoleptische Auffälligkeiten wurden in den nachfolgend zusammengestellten Rammkernsondierungen und Bohrungen beobachtet:

RKS	Tiefe (m)	Schicht	Auffälligkeit
RKS 5	1,8-2,4	Auffüllung	KW-Geruch
RKS 6	1,6-2,5	Hochflutlehm	KW-Geruch
RKS 7	1,4-2,1	Hochflutlehm	Faulgeruch
RKS 8/1	1,1-2,6	Auffüllung	KW-Geruch
	2,6-3,5	Niederterrasse	KW-Geruch
RKS 11	0,6-0,9	Hochflutlehm	LCKW-Geruch
	2,0-3,0	Niederterrasse	LCKW-Geruch
RKS 12	2,0-3,0	Niederterrasse	KW-, LCKW-Geruch
RKS 13/2	1,6-3,0	Niederterrasse	KW-Geruch
RKS 14	0,6-0,9	Auffüllung	KW-, LCKW-Geruch
RKS 15	2,0-3,0	Niederterrasse	KW-Geruch
RKS 25	5,1-5,4	Niederterrasse	KW-Geruch
	5,7-6,0	Niederterrasse	KW-Geruch

GWMS	Tiefe (m)	Schicht	Auffälligkeit
2	1,8-2,5	Auffüllung	KW-Geruch
5	0,6-1,5	Auffüllung	Lösungsmittel-Geruch
	1,5-4,8	Niederterrasse	Lösungsmittel-Geruch

Organoleptisch auffällige Bodenschichten wurden nach obiger Zusammenstellung in nachfolgenden Bereichen festgestellt:

- KW- und Faul-Geruch in den Rammkernsondierungen RKS 5 bis RKS 8 und der Bohrung zur GWMS 2 im Grundwasserschwankungsbereich östlich des in 2003 sanierten LCKW-Schadens
- KW-Geruch im Grenzbereich Niederterrasse/Tertiär im Bereich des sanierten LCKW-Schadens
- KW- und LCKW-Geruch in den Rammkernsondierungen RKS 11 bis RKS 15 im Grundwasserschwankungsbereich südwestlich des sanierten LCKW-Schadens
- Lösungsmittel-Geruch in der Bohrung zur GWMS 5 (Auffüllungen und der Niederterrasse) im Bereich östlich eines vom Büro Geobek im nordöstlichen Untersuchungsgebiet ausgewiesenen LCKW-Schadens.

5.2 Befunde der MIP-Sondierungen

Zur Detailerkundung von LCKW-Belastungen bzw. LCKW-Restbelastungen wurden im Bereich und Umfeld der vom Büro Geobek ausgewiesenen LCKW-Belastungspunkte die MIP-Sondierungen A1-A13 (A-Bereich) und B1-B7 (B-Bereich) abgeteuft.

Die Sondierbefunde mit den praktisch kontinuierlich vor Ort bestimmten Parametern Leitfähigkeit, Eindringgeschwindigkeit und Aufheiztemperatur sowie den zur Erfassung organischer Substanzen durchgeführten FID-, PID- und DELCD-Messungen zeigen die Sondierdiagramme in der Anlage 11. Die Ansatzpunkte der MIP-Sondierungen sind in den Anlagen 4/1 und 4/2 ausgewiesen.

Erhöhte Leitfähigkeitswerte sind vorrangig an bindige Bodenschichten (hier Hochflutlehme und tertiäre Schluffe und Tone) gebunden.

Die Eindringgeschwindigkeiten sind bei dicht gelagerten Auffüllungsböden und insbesondere dicht gelagerten Terrassensedimenten deutlich reduziert. Auch konsolidierte Tertiärsedimente können zu reduzierten Eindringgeschwindigkeiten führen.

Der hinsichtlich LCKW-Boden- und Grundwasserbelastungen wenig sensitive FID zeigt in der Mehrzahl der Diagramme aus dem A-Bereich keine auffälligen Ausschläge oder folgt auf deutlich niedrigem Niveau dem PID und DELCD.

Deutliche Ausschläge in den Diagrammen A1, A9 a, A10 a, A11, A12 und A13 sind an den Grundwasserschwankungsbereich gebunden und zeigen insbesondere in den Diagrammen A9 a und A13 bei Fehlen von PID- und DELCD-Ausschlägen eine KW-Belastung an, die auf den unmittelbar östlich gelegenen KW-Belastungsschwerpunkt zurückzuführen ist.

Deutliche DELCD-Signale von größer 0,5 V als Hinweis auf eine LCKW-Belastung zeigt im A-Bereich die ungesättigte Bodenzone/Grundwasserschwankungsbereich im Bereich der Sondierungen A1, A4, A5, A6, A8, A10 a und A12 sowie die gesättigte Bodenzone im Grenzbereich Quartär/Tertiär und bis ins Tertiär hineinreichend (hier insbesondere A14) im Bereich der Sondierungen A1, A2, A6, A7, A8, A10 a und A14.

Die hinsichtlich der Dedektion von LCKW-Belastungen ebenfalls weniger sensitiven PID-Messungen korrelieren generell deutlich mit den DELCD-Messungen.

Im B-Bereich zeigen die MIP-Sondierungen keine auffälligen DELCD-Ausschläge als Hinweis auf eine LCKW-Belastung.

Deutliche PID-Ausschläge als Indikation für eine Belastung mit aromatischen Kohlenwasserstoffen und damit auf niedrigerem Niveau korrelierende FID-Ausschläge zeigt die gesättigte Bodenzone vorrangig im Bereich der Sondierungen B1, nachgeordnet in den Sondierungen B3 bis B7. Im Grundwasserschwankungsbereich zeigen die Sondierungen B4 und B7 eher geringe PID-Ausschläge.

Zusammenfassend kann zu den MIP-Sondierungen festgestellt werden, dass sie für den A-Bereich eine deutliche LCKW-Belastung zeigen, die vorrangig an den basalen Bereich der gesättigten Bodenzone gebunden ist. In der Sondierung A14 wurde die Belastung um 7 m u. OKG und damit deutlich im Tertiär festgestellt. Der LCKW-belastete Bereich ist in der Anlage 8 ausgewiesen. Darüber hinaus liegt eine an den Grundwasserschwankungsbereich gebundene LCKW-Belastung vor, die mit einer KW-Belastung zusammenfällt.

Der B-Bereich zeigt insbesondere in der Sondierung B1 deutliche Hinweise auf eine Aromatenbelastung, die hier vorrangig an die gesättigte Bodenzone im Grenzbereich Quartär/Tertiär gebunden ist.

5.3 Befunde der Direct-Push-Sondierungen

Die Direct-Push-Sondierungen (DP-Sondierungen) erlauben über die Ermittlung der Schlagzahlen pro 0,1 m Eindringtiefe eine stratigraphische Zuordnung der durchteuften Bodenschichten sowie eine horizontierte Entnahme von Grundwasserproben aus den sukzessive durchteuften Bodenschichten.

Die Rammdiagramme der DP-Sondierungen sind in der Anlage 11 dokumentiert. Die DP-Sondierungen wurden mehrheitlich unmittelbar neben auffälligen MIP-Sondierungen abgeteuft, um aus den gemäß den MIP-Sondierungen auffälligen Horizonten gezielt Grundwasserproben entnehmen zu können.

Die Ansatzpunkte der DP-Sondierungen zeigen die Anlagen 4/1 und 4/2.

In den DP-Sondierungen DP1, DP2 und DP10 kommt die Quartär/Tertiär-Grenze durch eine deutliche Erhöhung der Schlagzahlen auf Werte >20 zum Ausdruck. Innerhalb des Quartärs zeigen die deutlichen Schwankungen der Schlagzahlen stark unterschiedliche Lagerungsdichten sowie Korngrößensammensetzungen an.

Die hangenden, unterschiedlich dicht gelagerten Auffüllungsböden zeigen ebenfalls erhöhte Schlagzahlen.

6. Chemisch-physikalische Untersuchungen

Neben den entsorgungstechnischen Untersuchungen an Haldenproben, Beton- und Schwarzdeckenaufbruch sowie Proben von Anschüttungen wurden zur Quantifizierung der mittels der Geländuntersuchungen erkannten Schadensbilder Boden- und Grundwasseruntersuchungen durchgeführt.

6.1 Entsorgungstechnische Untersuchungen

Die Materialproben mit den Nummern 1 bis 9 wurden von den in der Anlage 3 ausgewiesenen Bereichen mittels repräsentativen Beprobungen (s. Probenahmeprotokolle in Anlage 13) entnommen.

Die Materialproben 1 bis 3 und 6, 7 und 9 wurden auf die in den technischen Regeln der LAGA für Bauschutt festgelegten Parameter aus dem Feststoff und Eluat untersucht. Die Materialproben 4, 5 und 8 wurden ausschließlich auf PAK (EPA-Parameter) untersucht. Die Analysenprotokolle zeigt Anlage 16, Blatt 1-3.

Die untersuchten Materialproben sind nachfolgend nach Menge, Art, kennzeichnender Belastung und entsorgungstechnischer Zuordnung zusammengestellt:

1. Haufwerk (ca. 17 m³) aus Betonbruch mit Schwarzdeckenbruchstücken, Dachpappen und Gussasphalt, derzeit abgeplant (s. Probenahmeprotokoll in Anlage 13, Blatt 1 und Analysenprotokoll in Anlage 16, Blatt 1)
entsorgungstechn. Einordnung: >Z2
auffällige Parameter: KW = 8.200 mg/kg
PAK (EPA) = 4.350 mg/kg

2. Haufwerk (ca. 40 m³) aus Betonbruch mit Kantenlänge bis 1 m, derzeit teilabgeplant (s. Probenahmeprotokoll in Anlage 13, Blatt 2 und Analysenprotokoll in Anlage 16, Blatt 1)
entsorgungstechn. Einordnung: Z1
auffällige Parameter: KW = 400 mg/kg
PAK (EPA) = 10,7 mg/kg

3. Betonbruch (ehem. Hallenboden, ca. 300 m³), grobstückig (s. Probenahmeprotokoll in Anlage 13, Blatt 3 und Analysenprotokoll in Anlage 16, Blatt 1)
entsorgungstechn. Einordnung: >Z2
auffällige Parameter: KW = 2.200 mg/kg

4. Schwarzdeckenaufbruch (ehem. Flächebefestigung, ca. 40 m³), grobstückig (s. Probenahmeprotokoll in Anlage 13, Blatt 4 und Analysenprotokoll in Anlage 16, Blatt 3)
entsorgungstechn. Einordnung: ohne (PAK-frei)

5. Schwarzdeckenaufbruch (ehem. Flächebefestigung, ca. 150 m³), grobstückig (s. Entnahmeprotokoll in Anlage 13, Blatt 5 und Analysenprotokoll in Anlage 16, Blatt 3)
entsorgungstechn. Einordnung: ohne (PAK-frei)

- 6.+7. Anschüttung (ca. 650 m³) aus Schlacken, Aschen und Bodenaushub (sandig-kiesig), derzeit abgeplant (s. Probenentnahmeprotokolle in Anlage 13, Blatt 6 und 7 und Analysenprotokolle in Anlage 16, Blatt 1 und 2)

entsorgungstechn. Einordnungen: Z1

8. Haufwerk (ca. 10 m³) aus Schwarzdecken (carbostämmig) mit Bauschutt, derzeit abgeplant (s. Probenahmeprotokoll in Anlage 13, Blatt 8 und Analysenprotokoll in Anlage 16, Blatt 3)

entsorgungstechn. Einordnungen: >Z2

auffällige Parameter: PAK (EPA) = 13.300 mg/kg

9. Haufwerk (ca. 1.200 m³) aus Bodenaushub (stark schluffig-kiesig) mit ca. 25 % Bauschutt (s. Probenahmeprotokoll in Anlage 13, Blatt 9 und Analysenprotokoll in Anlage 16, Blatt 2)

entsorgungstechn. Einordnungen: Z1

Auf der Grundlage der oben beschriebenen Befunde wird derzeit die sach- und fachgerechte Entsorgung der beschriebenen Materialien eingeleitet. Vor Beginn der Neubaumaßnahmen wird das Baufeld von den Materialien befreit sein.

6.2 Bodenuntersuchungen

Die nachfolgend mit den analytischen Befunden zusammengestellten Bodenproben aus den Rammkernsondierungen und den Bohrungen zum Bau der Grundwassermessstellen wurden auf die ebenfalls nachfolgend ausgewiesenen Parameter untersucht. Die Analysenprotokolle zeigt Anlage 16, Blatt 4-8. Die KW- und LCKW-Summengehalte sind in der Bodenbelastungskarte in der Anlage 6 in Form von Balkendiagrammen dargestellt.

Probe		Auffälligkeit	Parameter	Befund (mg/kg)	
				KW-Index	Σ LCKW
RKS 5	(1,0-1,8 m)	ohne (Hangendprobe)	KW-Index	2300	-
	(1,8-2,4 m)	KW-Geruch	KW-Index	6300	-
	(3,0-4,0 m)	ohne (Liegendprobe)	KW-Index	60	-
RKS 6	(1,0-1,6 m)	ohne (Hangendprobe)	KW-Index	830	-
	(1,6-2,5 m)	KW-Geruch	KW-Index	1200	-
	(2,5-3,0 m)	ohne (Liegendprobe)	KW-Index	<40	-
RKS 8/1	(1,0-1,9 m)	ohne (Hangendprobe)	KW-Index	1400	-
	(1,9-2,6 m)	KW-Geruch	KW-Index	2100	-
	(2,6-3,5 m)	KW-Geruch	KW-Index	280	-
RKS 11	(0,6-0,9 m)	LCKW-Geruch	KW-Index, LCKW	6600	0,25
	(1,2-2,0 m)	ohne	KW-Index	<40	-
	(2,0-3,0 m)	LCKW-Geruch	KW-Index, LCKW	1800	n.n. ⁷⁾
RKS 12	(2,0-2,5 m)	KW-, LCKW-Geruch	KW-Index, LCKW	960	n.n.
	(2,5-3,0 m)	KW-, LCKW-Geruch	KW-Index, LCKW	6700	n.n.
RKS 13/2	(1,3-1,6 m)	ohne (Hangendprobe)	KW-Index	310	-
	(1,6-2,0 m)	KW-Geruch	KW-Index	1600	-
	(2,0-3,0 m)	KW-Geruch	KW-Index	190	-
RKS 14	(0,6-0,9 m)	KW-, LCKW-Geruch	KW-Index, LCKW	1800	0,59
	(1,2-2,0 m)	ohne (Liegendprobe)	KW-Index	<40	-
RKS 15	(0,9-2,0 m)	ohne (Hangendprobe)	KW-Index	<40	-
	(2,0-3,0 m)	KW-Geruch	KW-Index	1200	-
RKS 16/1	(0,8-1,9 m)	ohne	KW-Index	<40	-
	(1,9-3,0 m)	ohne	KW-Index	81	-
RKS 17	(2,2-3,0 m)	ohne	KW-Index, LCKW	58	n.n.
RKS 21	(1,7-2,1 m)	ohne	KW-Index	710	-
	(2,1-3,0 m)	ohne	KW-Index	<40	-

Probe	Auffälligkeit	Parameter	Befund (mg/kg)		
			KW-Index	Σ LCKW	
RKS 25	(5,1-5,4 m)	KW-Geruch	KW-Index, LCKW	100	0,32
	(5,7-6,0 m)	KW-Geruch	KW-Index, LCKW	83	0,73
GWMS 2	(1,8-2,5 m)	KW-Geruch	KW-Index, LCKW	6900	1,5
GWMS 5	(0,6-1,5 m)	Lösungsmittel-Geruch	KW-Index, LCKW	1200	0,26
	(1,5-2,5 m)	Lösungsmittel-Geruch	KW-Index, LCKW	900	0,17
	(3,5-4,8 m)	Lösungsmittel-Geruch	KW-Index, LCKW	310	0,14

² n.n. = nicht nachweisbar

Die Zusammenstellung belegt deutliche Belastungen mit mineralöhlähnlichen Kohlenwasserstoffen der Reihe C₁₀-C₄₀ von deutlich größer 1000 mg/kg für die auch organoleptisch auffälligen Bereiche um die Rammkernsondierungen RKS 5, RKS 6, RKS 8/1, RKS 11, RKS 12, RKS 13, RKS 14, RKS 15 sowie um die Bohrungen zur Einrichtung der Grundwassermessstellen GWMS 2 und GWMS 5. Die KW-Gehalte sind sowohl durch niedrigsiedende KW der Reihe C₁₀-C₂₂ als auch durch höhersiedende KW der Reihe C₂₂-C₄₀ bedingt, die beide mit unterschiedlichen Anteilen vertreten sind.

Mit einer Bandbreite von nicht nachweisbar bis 1,5 mg/kg zeigen die LCKW-Summengehalte aus Trichlorethen und cis-1,2-Dichlorethen keine Hinweise auf deutliche LCKW-Belastungen in den untersuchten Bodenproben. Die LCKW-Summengehalte liegen im unteren Bereich des von der LAWA (1994) aufgestellten Prüfwertebereichs für LCKW-Bodenbelastungen (1-5 mg/kg) . Bei Einhaltung der im Prüfwertebereich genannten Gehalte ist keine Gefährdung des Grundwassers zu besorgen.

Die deutlich bis massiv erhöhten KW-Gehalte sind an den Grundwasserschwankungsbereich gebunden. Sie wurden in den nachfolgenden Bereichen festgestellt:

1. Bereich östlich des teilsanierten LCKW-Schadens (RKS 5, RKS 6, RKS 8/1, GWMS 2)
2. Bereich südöstlich der Grundwassermessstelle 8430-038 (RKS 11, RKS 12, RKS 13, RKS 14)
3. Bereich und unmittelbares Umfeld der GWMS 5.

Die genannten Bereiche sind in der Anlage 8 als Bereiche mit oberflächennahen, an den Grundwasserschwankungsbereich gebundene KW-Belastungen ausgewiesen.

Für den KW-Belastungsbereich 1 konnte über die MIP-Sondierungen durch deutliche, an den Grundwasserschwankungsbereich gebundene FID-Ausschläge in den Sondierungen A1, A9 a, A10 a, A11, A12 und A13 gezeigt werden, dass die KW-Belastung im Bereich 1 über die im Bereich der RKS 5 und der Bohrung GWMS 2 analytisch nachgewiesenen KW-Belastungen hinaus weiter nach Westen reicht und sich hier mit der LCKW-Belastung im MIP-Sondierbereich A überlappt (vgl. Belastungsbereiche in Anlage 8).

Die an den Grundwasserschwankungsbereich gebundene KW-Belastung im Bereich 3 kommt in den benachbart abgeteufte MIP-Sondierungen und den mittels der DP-Sondierungen horizontiert gewonnenen Grundwasserproben DP 1 (5,7-6,2) und DP 2 (6,6-7,1 m) nicht zum Ausdruck.

Der erhöhte KW-Gehalt in der neu eingerichteten Grundwassermessstelle GWMS 5 belegt jedoch die lokale KW-Belastung.

6.3. Grundwasseruntersuchungen

Grundwasseruntersuchungen wurden an den vorhandenen Grundwassermessstellen 8430-038, 8430-041, 8430-042 und 8430-049, den neu eingerichteten Grundwassermessstellen GWMS 1-GWMS 7 und weiteren 10, mittels DP-Sondierungen entnommenen Grundwasserproben durchgeführt.

6.3.1 DP-Grundwasseruntersuchungen

Im Bereich auffälliger MIP-Sondierungen wurden zur Feststellung der lokalen Grundwasserbelastung gezielt Grundwasserproben horizontiert entnommen und auf die Parameter KW-Index, BTEX-Aromaten und LCKW untersucht. Die Analysenprotokolle zeigt Anlage 16, Blatt 9-12. Nachfolgend sind die Befunde

für die entnommenen Proben zusammen mit dem MIP-Befund für die jeweilige Beprobungstiefe tabellarisch zusammengestellt.

Probe		MIP-Sondierung: Befund	KW	Σ BTEX	Σ LCKW
DP 1	(5,7-6,2 m)	B1: PID-auffällig um 6 m (stark)	<0,01	n.n.	n.n.
DP 2	(6,6-7,1 m)	B3: PID-auffällig um 6,6 m (gering)	<0,01	0,004	n.n.
DP 3	(4,0-4,5 m)	A1: FID-, PID- u. DELCD-auffällig um 4,2 (mittel)	0,81	n.n.	0,0355
DP 4	(5,6-6,1 m)	A8: PID- u. DELCD-auffällig um 6 m (stark)	n.u.	0,002	6,320
DP 5	(2,5-3,2 m)	A8: PID- u. DELCD-auffällig um 2,8 (mittel)	n.u.	0,001	0,0418
DP 6	(5,0-6,0 m)	A10a PID- u. DELCD-auffällig um 5,8 (mittel-stark)	n.u.	n.n.	0,480
DP 7	(2,0-2,5 m)	A10 a: FID-, PID- u. DELCD-auffällig um 2,3 m (gering)	<0,01	n.n.	0,0658
DP 8	(5,0-6,0 m)	A7: PID- u. DELCD-auffällig um 5,8 m (stark)	n.u.	0,003	3,020
DP 9	(5,3-6,3 m)	A6:: PID- u. DELCD-auffällig um 6 m (mittel-stark)	0,24	n.n.	0,153
DP 10	(6,1-6,8 m)	A14: PID- u. DELCD-auffällig um 7 m (stark)	n.u.	n.n.	5,220

n. u. = nicht untersucht; n.n. = nicht nachweisbar
 alle Werte in mg/l

Mineralölähnliche Kohlenwasserstoffe konnten nur im MIP-Sondierbereich A in den DP-Sondierungen DP3 und DP9 im basalen Aquiferbereich mit max. 0,81 mg/l nachgewiesen werden. In der Probe DP3 (4,0-4,5 m) deckt sich der auffällige KW-Gehalt mit einem FID-Ausschlag in der MIP-Sondierung A1. Der eher geringe KW-Gehalt von 0,24 mg/l in der Probe DP9 (5,3-6,3 m) zeigt keinen entsprechenden FID-Ausschlag in der MIP-Sondierung A6.

BTEX-Aromaten konnten unbeschadet der deutlichen PID-Ausschläge in den MIP-Sondierungen nicht oder nur im Backgroundbereich (max. 0,004 mg/l) nachgewiesen werden.

Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass die PID-Ausschläge der MIP-Sondierungen korrelierend mit den LCKW-sensitiven DELCD-Ausschlägen praktisch ausschließlich durch leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe bedingt sind.

Die ausschließlich im Sondierbereich A nachgewiesenen LCKW zeigen für Summengehalte zeigen eine Bandbreite von 0,0355-6,320 mg/l. Mit Ausnahme der Probe DP10 (6,1-6,8 m) wird die Belastung nahezu ausschließlich von cis-1,2-Dichlorethen (um 90 %) bestimmt. In der Probe DP10 (6,1-6,8 m) dominiert Trichlorethen mit einem Anteil von 67 %.

Der hohe cis-1,2-Dichlorethen-Gehalt zeigt für die Mehrzahl der Beprobungspunkte einen nahezu vollständigen Trichlorethen-Abbau an, der wahrscheinlich durch die mineralölähnlichen Kohlenwasserstoffe als Co-Kontaminanten im KW-Belastungsbereich A (erhöhte Mikrobenpopulation) stimuliert wird.

Während im hangenden Aquiferbereich in den Proben DP5 (2,5-3,2 m) und DP7 (2,0-2,5 m) mit max. 0,0658 mg/l eher geringe LCKW-Gehalte festgestellt wurden, zeigt insbesondere der basale und bis ins liegende Tertiär reichende Aquiferbereich die höchsten LCKW-Gehalte. Die auch in diesem Aquiferbereich unterschiedlichen Gehalte dürften durch die kleinräumigen faziellen Unterschiede des Aquifersediments bedingt sein.

Der nachgewiesene, bis 7 m u. OKG reichende LCKW-Bodenbelastungsbereich ist in der Anlage 8 ausgewiesen.

6.2. Befunde der Grundwassermessstellen

Die Grundwasserentnahmeprotokolle zu den aus Grundwassermessstellen entnommenen Grundwasserproben mit den vor Ort bestimmten Parametern sind in der Anlage 14 dokumentiert.

Die Bandbreite für die vor Ort bestimmten Parameter sind nachfolgend zusammengestellt:

Temperatur (°C)	8,0 -12,6
pH-Wert	6,78- 7,71
O ₂ (mg/l)	0,6 - 6,1
EC (mS/m)	23,3- 64,8

Die um 10 °C liegenden Wassertemperaturen, die im Neutralbereich liegenden pH-Werte sowie die EC-Werte liegen im Normalbereich städtisch überprägter Grundwassermessstellen. Auffallend sind die in der Mehrzahl der Grundwassermessstellen deutlich reduzierten O₂-Gehalte als Ausdruck sauerstoffzehrender Abbauprozesse.

Organoleptisch fallen die Proben aus den Grundwassermessstellen GWMS 2, GWMS 3, GWMS 4 und GWMS 5 durch einen schwach ausgeprägten Mineralöl-Geruch auf.

In der Grundwasserbelastungskarte in Anlage 7 sind die untersuchten Parameter KW, Σ BTEX, Σ PAK (ohne Naphthalin) und Naphthalin in Form von Balkendiagrammen und die Σ LCKW in Form von Kreisdiagrammen dargestellt.

Mineralölähnliche Kohlenwasserstoffe (KW)

Mineralölähnliche Kohlenwasserstoffe (KW im Siedebereich von C₁₀-C₄₀) konnten ausschließlich in den neu eingerichteten Grundwassermessstellen GWMS 1 mit 1,1 mg/l, GWMS 2 mit 0,22 mg/l und in der GWMS 5 mit 0,41 mg/l nachgewiesen werden (vgl. Anlage 7). Die GWMS 1 liegt im unmittelbaren Abstrombereich des KW-Schadens im nördlichen Untersuchungsgebiet. Die GWMS 2 im

Überlagerungsbereich von KW- und LCKW-Schaden im nördlichen Untersuchungsgebiet.

Der erhöhte KW-Gehalt in der GWMS 5 markiert einen lokalen Schaden, der auch durch die KW-Bodenbelastungen in den Bohrproben aus der GWMS 5 belegt ist.

Die unmittelbar und weiter abstromig zu den oben genannten Grundwassermessstellen gelegenen Grundwassermessstellen zeigen keine über der relevanten Bestimmungsgrenze liegenden KW-Gehalte.

Entsprechend ist in Übereinstimmung mit den Befunden der DP-Untersuchungen festzustellen, dass die von den KW-Bodenbelastungen ausgehenden Grundwasserbelastungen kleinräumig auf die in Anlage 8 ausgewiesenen KW-Belastungsbereiche beschränkt sind.

BTEX

Über der relevanten Bestimmungsgrenze liegende BTEX-Gehalte wurden ausschließlich in den Grundwassermessstellen GWMS 1 und GWMS 3 mit 0,001 mg/l und insbesondere in der GWMS 5 mit 0,054 mg/l festgestellt. Bei dem erhöhten Gehalt in der GWMS 5 handelt es sich um eine lokale Belastung, die in der abstromig eingerichteten Messstelle GWMS 6 nicht mehr nachweisbar ist (vgl. Anlage 7).

PAK

In der Grundwasserbelastungskarte in Anlage 7 sind die PAK-Summengehalte ohne Naphthalin sowie die Naphthalin-Gehalte ausgewiesen.

Eine massive PAK-Belastung zeigt die GWMS 5 mit einem PAK-Summengehalt (ohne Naphthalin) von 0,069 mg/l und einem Naphthalin-Gehalt von 0,100 mg/l. Die abstromig eingerichtete GWMS 6 zeigt mit 0,0021 mg/l einen eher unauffälligen Naphthalin-Gehalt sowie mit 0,00054 µg/l einen ebenfalls eher unauffälligen PAK-Summengehalt (ohne Naphthalin). Die Gehalte in der GWMS 6

liegen um den Faktor 2 bzw. 2,5 über den für Naphthalin und den PAK-Summengehalt (ohne Naphthalin) von der LAWA in 2004 aufgestellten Geringfügigkeitsschwellenwerten.

Mit dem erhöhten KW-Gehalt in der Grundwassermessstelle GWMS 1 korrelieren ein leicht erhöhter Naphthalin-Gehalt von 0,0031 mg/l und ein PAK-Summengehalt (ohne Naphthalin) von 0,00149 mg/l.

Die GWMS 2 zeigt mit 0,0011 mg/l einen unproblematischen Naphthalin-Gehalt, mit 0,00103 mg/l aber noch einen erhöhten PAK-Summengehalt (ohne Naphthalin). Mit der GWMS 2 vergleichbare PAK-Gehalte zeigt die weiter abstromig gelegene GWMS 4.

Die GWMS 3 sowie die weiteren im näheren und entfernteren Abstrom der in der Anlage 8 ausgewiesenen Belastungsbereiche gelegenen Grundwassermessstellen zeigen keine auffälligen PAK-Gehalte als Ausdruck einer weiträumigen, über die ausgewiesenen Belastungsschwerpunkte hinausgehenden PAK-Belastung.

In Übereinstimmung mit den Parametern KW und BTEX bauen sich die in den Belastungsschwerpunkten erhöhten PAK-Gehalte nach kurzer Laufstrecke im Aquifer ab.

LCKW

Die südlich des LCKW-Belastungsbereichs gelagerten Grundwassermessstellen GWMS 5 und GWMS 6, die im südlichen Abstrombereich gelegenen Messstellen GWMS 7 und 8430-049 sowie die im weiteren südwestlichen Abstrombereich gelegenen Messstellen 8430-041 und 8430-042 zeigen keine oder im Bereich von <0,001 µg/l liegende LCKW-Gehalte.

Entsprechend beschränkt sich die LCKW-Grundwasserbelastung auf den in der Anlage 8 ausgewiesenen Bereich. Die im Bereich und unmittelbarer Nähe zum

LCKW-Schadensherd gelegenen Grundwassermessstellen zeigen zum Stand 04/2011 nachfolgende LCKW-Summengehalte (vgl. Anlage 7).

GWMS 1 = 52.400 µg/l

GWMS 2 = 665 µg/l

GWMS 3 = 2.380 µg/l

GWMS 4 = 536 µg/l

Die im näheren Abstrombereich gelegene Messstelle 8430-038 zeigt in 03/2011 einen LCKW-Summengehalt von 935 µg/l und in 04/2011 einen vergleichbaren, in der Größenordnung der Messstellen GWMS 2 und GWMS 4 liegenden LCKW-Summengehalt von 771 µg/l.

Es ist anzunehmen, dass der LCKW-Grundwasserbelastung über den in der Anlage 8 ausgewiesenen Belastungsbereich hinausgeht. Nachweislich reicht er aber nicht bis zu den an der Wilhelmstraße gelegenen Messstellen 8430-041 und 8430-042 sowie ebenfalls nicht bis in den mittleren und südlichen Bereich des überplanten Grundstücks (s. Befunde zu den Grundwassermessstellen GWMS 6 und 8430-049).

Im Gegensatz zu den mittels DP-Sondierungen entnommenen und untersuchten Grundwasserproben dominiert in den aus Messstellen untersuchten Grundwasserproben Trichlorethen. Der Anteil des Abbauproduktes cis-1,2-Dichlorethen beträgt in diesen Messstellen weniger als 10 %.

Schwermetalle

Im Abstrom einer vom Büro Gebeck ausgewiesenen Schwermetallbelastung, die innerhalb eines derzeit abgeplanten Bereiches mit Anschüttungen liegt, wurde gezielt die Grundwassermessstelle GWMS 7 eingerichtet und beprobt. Neben den vorbeschriebenen Parametern wurde das Grundwasser gezielt auf Schwermetalle (KVO-Parameter) sowie Arsen untersucht.

Ausweislich des in Anlage 16, Blatt 17 dokumentierten Analysenprotokolls liegen die Schwermetall- und Arsen-Gehalte im Bereich oder unterhalb der Bestimmungsgrenze. Eine das Grundwasser über den Transferpfad Boden → Sickerwasser → Grundwasser gefährdende Belastung ist somit nicht erkennbar.

Zusammenfassend kann zu den Grundwasseruntersuchungen festgestellt werden, dass im nördlichen Untersuchungsgebiet eine von LCKW dominierte Grundwasserbelastung mit lokalen KW- und PAK-Belastungen im Bereich des LCKW- und KW-Schadensherdes vorliegt.

Im Bereich der Grundwassermessstelle GWMS 5 konnte zudem eine kleinräumige KW-, BTEX- und PAK-Grundwasserbelastung nachgewiesen werden, die voraussichtlich auf eine ehemalige, undichte Abwasserleitung der Firma Walterscheid in den Mühlengraben zurückzuführen ist.

Die an die ungesättigte und gesättigte Bodenzone gebundenen Belastungsbereiche sind in der Anlage 8 ausgewiesen.

7. Bewertung der Grundwasserbelastung

Unstrittig ist, dass eine LCKW-Grundwasserbelastung vorliegt, die nach den jetzt vorliegenden Untersuchungen nach Art und Ausmaß bekannt ist. Die Grundwasserbelastung geht von einer lokalen Schadstoffquelle im nördlichen Untersuchungsgebiet aus, wobei die Schadstoffeinträge vorrangig aus der gesättigten Bodenzone erfolgen, der Schadstoffeintrag über den Sickerwasserpfad also abgeschlossen und entsprechend kein zusätzlicher Schadstoffeintrag mehr zu erwarten ist.

Für eine solche Fallgestaltung sieht die vom gemeinsamen Unterausschuss "Gefahrenabwehr bei Grundwasserverunreinigungen und Grundwassergefährdungen" der LAWA/LABO in 05/06 veröffentlichte Arbeitshilfe "Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen" hin-

sichtlich der Beurteilung, ob eine Sanierungsmaßnahme in Anbetracht des Ausmaßes der Grundwasserbelastung notwendig und verhältnismäßig ist, eine Abschätzung der Schadstoffmenge als Bewertungskriterium vor.

Beurteilungsrelevant sind die Konzentrationen und die Geringfügigkeitsschwellen des Schadstoffes (hier 20 µg/l für die Summe LCKW) sowie das Volumen der Grundwasserverunreinigung. Eine kleine Verunreinigung liegt vor, wenn das verunreinigte Volumen (= Grundwasser incl. Gesteinsmatrix) 100.000 m³ nicht überschreitet und die Schadstoffbelastung im Mittel nicht größer als die 10-fache Konzentration des Geringfügigkeitsschwellenwertes (GFS) ist.

Gemäß nachfolgender Abbildung sind bei kleineren Volumina höhere Schadstoffkonzentrationen sowie bei geringeren Schadstoffkonzentrationen größere Volumina zulässig.

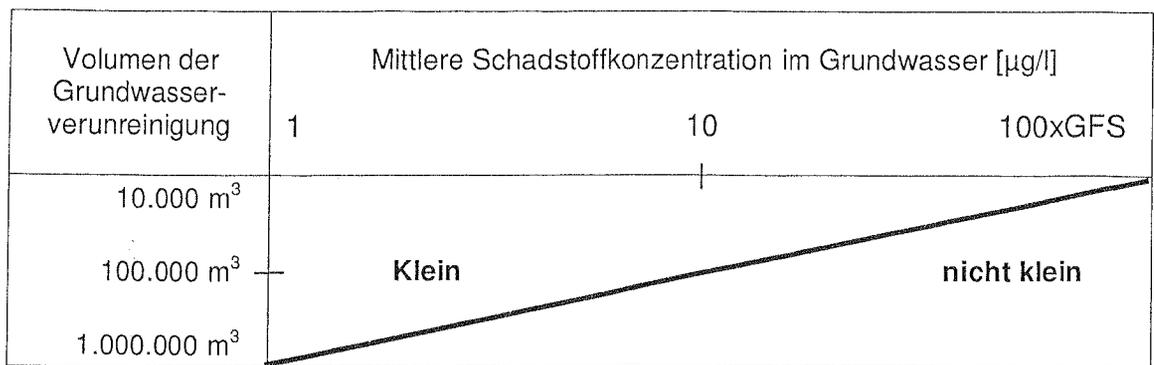


Abb.: Einstufung von Grundwasserverunreinigungen

Die Schadstoffmenge für LCKW sollte im betrachteten Volumen somit 20 kg nicht überschreiten.

Im vorliegenden Fall beträgt das verunreinigte Volumen aus belastetem Aquifer (im Mittel 4 m) und einer max. bis zur Wilhelmstraße reichenden kontaminierten Fläche (max. 7.000 m²) ca. 28.000 m³.

Ohne Berücksichtigung der Maximalbelastungen im Bereich des Schadensherdes (= LCKW-Bodenbelastungsbereich in Anlage 8) ist für den LCKW-Grundwasserbelastungsbereich mit einer konservativ angenommenen mittleren Belastung von 500 mg/m³ eine Schadstoffmenge von ca. 14 kg anzunehmen. Es handelt sich somit um eine "kleine Verunreinigung".

Unter Berücksichtigung obiger Ausführungen, eines in Anbetracht der hydrogeologischen Randbedingungen fehlenden Schadstoffaustrags in den Vorfluter Sieg, des fehlenden Schadstoffpotentials in der ungesättigten Bodenzone sowie des nachgewiesenen LCKW-Abbaus wären Maßnahmen zur Dekontamination des Grundwassers somit unverhältnismäßig.

8. Bewertung der Boden- und Grundwasserbelastungen im Hinblick auf eine Gefährdung des Menschen

Von dem derzeit nicht genutzten Brachgelände geht über die Wirkungs- und Transferpfade Grundwasser → Bodenluft → Atmosphäre, Boden → Mensch und Boden → Bodenluft → Atmosphäre → Mensch keine Gefährdung aus.

Im Rahmen der geplanten Neunutzung soll das Gelände gewerblich sowie im nördlichen und nordöstlichen Bereich durch eine Wohnbebauung mit Tiefgarage, Gärten, Grünflächen und einem Spielplatz genutzt werden (vgl. Anlage 4/2).

Da es sich bei den vom Büro Geobek herausgearbeiteten oberflächennahen Bodenbelastungen mit mineralölähnlichen Kohlenwasserstoffen (KW), polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen und Schwermetallen im zentralen und östlichen Untersuchungsgebiet ausweislich der eingrenzenden Untersuchungen nicht um flächige Belastungen handelt und diese im Rahmen der gewerblichen Nutzung als Parkplatzflächen versiegelt werden, kann eine von diesen Punktbelastungen ausgehende Gefährdung des Menschen wegen fehlender Kontaktmöglichkeiten ausgeschlossen werden.

Die an die ungesättigte Bodenzone gebundene KW-Belastung südöstlich der GWMS 8430-038 im nordwestlichen Untersuchungsgebiet stellt eine flächige Belastung dar, die im Bereich der geplanten Wohnbebauung mit Gärten und Grünflächen liegt. Im Bereich der eigentlichen Wohnbebauung wird der Schaden zwangsläufig im Rahmen des Tiefgaragenbaus aufgenommen und einer sach- und fachgerechten Entsorgung zugeführt. Im Bereich der Gärten und Grünflächen sollte der KW-belastete Boden bis 0,6 m u. OKG ausgetauscht oder mit einer 0,6 m mächtigen, unbelasteten Bodenschicht abgedeckt werden.

Die lokale, wahrscheinlich durch einen ehem. undichten Abwasserkanal bedingte KW-, BTEX- und PAK-Belastung im Bereich der Grundwassermessstelle 5 liegt im Bereich der Zufahrtstraße zur Wohnbebauung und wird durch die Straßenversiegelung gesichert.

Der LCKW- und KW-Schadensbereich im nördlichen Untersuchungsgebiet liegt nach dem derzeitigen Planungsstand weitestgehend im Bereich der geplanten Zuwegung zur Wohnbebauung. Auch hier findet zwangsläufig eine Versiegelung statt, die einen Direktkontakt mit belasteten Böden verhindert.

Sofern die geplante Tiefgarage in diesem Bereich eingreift, ist der belastete Bodenaushub sach- und fachgerecht zu entsorgen.

Im Bereich der Wohnbebauung führen die teilweise offen liegenden und damit belüfteten Tiefgaragen zwangsläufig zu einer Unterbrechung des Transferpfades belasteter Boden/Grundwasser → Bodenluft → Atmosphäre. Bei Übertritt der Bodenluft durch die Bodenplatte und/oder Arbeitsräume der Tiefgarage kommt es zwangsläufig zu einer mehr als tausendfachen Verdünnung, die wiederum eine Gefährdung des Menschen durch leichtflüchtige Schadstoffe ausschließt.

9. Zusammenfassung

Das von der Brückbergstraße, Wilhelmstraße, Augustastraße und dem Mühlengraben begrenzte Untersuchungsgebiet soll einer Neunutzung zugeführt werden. Neben der ebenerdigen gewerblichen Nutzung mit zugehörigen Parkplatzebenen ist im nördlichen Bereich eine mehrgeschossige Wohnbebauung mit Tiefgaragen geplant.

Von 1895-2001 wurde die heutige Brachfläche gewerblich-industriell genutzt. Ausweislich der umfangreichen altlastentechnischen Voruntersuchungen kam es insbesondere auf dem Betriebsgelände der ehem. Firma Walterscheid (Maschinenfabrik mit Hammerwerk) zu nutzungsbedingten Bodenverunreinigungen mit leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (LCKW), mineralölähnlichen Kohlenwasserstoffen (MKW), polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und Schwermetallen.

Ende 2003 erfolgte der Rückbau der vorhandenen Gebäudesubstanz mit Separierung belasteter Bausubstanz in Form gesicherter Haufwerke. Hallenböden aus Beton und Platzbefestigungen wurden aufgebrochen und verblieben zumindest teilweise auf dem Gelände.

Anfang 2005 wurde versucht, die LCKW-Belastung und die davon ausgehende Grundwasserbelastung im nördlichen Bereich des ehem. Betriebsgeländes der Firma Walterscheid mittels eines Bodenaustauschs zu sanieren.

In Anbetracht der im Rahmen des nachfolgenden Grundwasser-Monitorings anhaltend festgestellten, von dem ehem. Betriebsgelände der Firma Walterscheid ausgehenden LCKW-Belastung, der noch vorhandenen Halden, Anschüttungen und Aufbruchmaterialien aus Beton und Schwarzdecken sowie noch nicht abschließend erkundeter Punktbelastungen waren zur Sicherstellung der geplanten Neunutzungen umwelttechnische Untersuchungen durchzuführen.

Im Vorfeld der geplanten Neubaumaßnahmen sollten die nachfolgend zusammengestellten, mit dem Umweltamt des Rhein-Sieg-Kreises abgestimmten Arbeiten durchgeführt werden:

1. Aufmaß, Beprobung und Untersuchung (Deklarationsanalytik) der im Plangebiet vorhandenen Halden, Anschüttungen sowie Beton- und Schwarzdeckenaufbrüche zur Sicherstellung einer sach- und fachgerechten Entsorgung;
2. Beprobung und Untersuchung der im Plangebiet und dessen Abstrom vorhandenen Grundwassermessstellen auf LCKW, MKW, BTEX und PAK zur Erfassung des Ist-Zustandes;
3. Erkundung der LCKW-Restbelastungen im Bereich der geplanten Wohnbebauung;
4. Eingrenzung der vom Büro Geobek ausgewiesenen MKW-, PAK- und Schwermetallbelastungen.

Ausweislich der umfangreichen Geländeuntersuchungen besteht der unmittelbare Untergrund aus im Mittel 1 m mächtigen Auffüllungsböden aus Bodenaushub, Bauschutt, Schlacken und Aschen. Das Liegende der Auffüllungen bilden im Mittel 4 m mächtige, quartäre Sande und Kiese der Sieg-Niederterrasse, die von Hochflutbildungen und im nordöstlichen Untersuchungsgebiet von Bachablagerungen des Mühlengrabens überlagert werden. Der tiefere Untergrund wird von tertiären, tonig-schluffig ausgebildeten Sedimenten gebildet. Die Tertiär-/Quartär-Grenzfläche zeigt ein ausgeprägtes Relief.

Der mittlere Grundwasserflurabstand beträgt im Untersuchungsgebiet 2 m. Die Grundwasserfließrichtung ist im Oberen freien Grundwasserstockwerk, das von den Sanden und Kiesen der Niederterrasse gebildet wird, generell nach Südwesten bis Südsüdwesten auf den Vorfluter Sieg ausgerichtet.

Die zur Eingrenzung der bekannten Belastungen durchgeführten Rammkernsondierungen sowie Bohrungen zur Einrichtung von Grundwassermessstellen zeigten im nördlichen und nordöstlichen Untersuchungsgebiet organoleptische Auffälligkeiten in Form eines KW-, Faul-, LCKW- und Lösungsmittel-Geruchs.

Mittels MIP-Sondierungen konnte gezeigt werden, dass im nördlichen Untersuchungsgebiet im Bereich des ehem. LCKW-Sanierungsgebietes (= A-Bereich) eine LCKW-Restbelastung im Grenzbereich Quartär/Tertiär und bis ins Tertiär hinreichend vorliegt. Darüber hinaus wurde eine an den Grundwasserschwankungsbereich gebundene LCKW- und KW-Belastung festgestellt.

Mittels der MIP-Sondierungen konnte die im nordöstlichen Untersuchungsgebiet (= B-Bereich) vermutete LCKW-Belastung nicht nachgewiesen werden. Hier ergaben sich Hinweise auf eine lokale Aromatenbelastung.

Die Schlagzahlen der DP-Sondierungen zeigten für die Niederterrasse starke Schwankungen als Hinweis auf stark unterschiedliche Lagerungsdichten und Korngrößenzusammensetzungen, die wiederum auf ein lokal sehr unterschiedliches Schadstoffrückhaltevermögen schließen lassen.

Im Rahmen der **entsorgungstechnischen Untersuchungen** wurden im überplanten Gebiet 3 mittels Planen gesicherte Haufwerke, eine Fläche mit Betonaufbruch, 2 Flächen mit Schwarzdeckenaufbruch, eine ungesicherte Halde aus Erdaushub sowie eine abgeplante Anschüttung zur Sicherstellung einer sach- und fachgerechten Entsorgung der Materialien repräsentativ beprobt und gezielt hinsichtlich ihrer Belastung untersucht.

Deutliche Belastungen mit mineralölähnlichen Kohlenwasserstoffen und/oder polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe zeigten 2 mittels Planen gesicherte Haufwerke sowie der Betonaufbruch. Diese Materialien müssen einer Beseitigung zugeführt werden.

Der Schwarzdeckenaufbruch, die abgeplante Anschüttung, ein abgeplantes Haufwerk sowie die ungesicherte Halde aus Erdaushub können auf der Grundlage der vorliegenden Befunde einer Verwertung zugeführt werden.

Auf der Grundlage der durchgeführten Untersuchungen wird die Entsorgung der beschriebenen Materialien zeitnah und vor Beginn der Neubaumaßnahmen durchgeführt.

Bodenuntersuchungen wurden an organoleptisch auffälligen Bodenproben sowie deren Liegend- und Hangendproben aus den Rammkernsondierungen sowie den Bohrungen zur Einrichtung von Grundwassermessstellen durchgeführt. Die Proben wurden auf den KW-Index und LCKW untersucht. Die aus den Rammkernsondierungen untersuchten Proben repräsentieren vorrangig die ungesättigte Bodenzone und den Grundwasserschwankungsbereich.

Mit max. 1,5 mg/kg zeigen die untersuchten Bodenproben keine Hinweise auf eine schutzgutgefährdende Belastung durch LCKW.

Deutlich bis massiv erhöhte, an den Grundwasserschwankungsbereich gebundene KW-Gehalte wurden in den nachfolgend beschriebenen Bereichen festgestellt (vgl. Anlage 8):

1. Bereich östlich des teilsanierten LCKW-Schadens (RKS 5, RKS 6, RKS 8/1, GWMS 2)
2. Bereich südöstlich der Grundwassermessstelle 8430-038 (RKS 11, RKS 12, RKS 13, RKS 14)
3. Bereich und unmittelbares Umfeld der GWMS 5.

Ausweislich der MIP-Sondierungen reicht die KW-Belastung im Bereich 1 über die im Bereich der RKS 5 und der Bohrung GWMS 2 analytisch nachgewiesenen KW-Belastungen hinaus weiter nach Westen bis in den Bereich der LCKW-Belastung (vgl. Belastungsbereich in Anlage 8).

Die an den Grundwasserschwankungsbereich gebundene KW-Belastung im Bereich 3 kommt in den benachbart abgeteufte MIP-Sondierungen und den mittels der DP-Sondierungen horizontiert gewonnenen Grundwasserproben DP 1 (5,7-6,2) und DP 2 (6,6-7,1 m) nicht zum Ausdruck.

Der erhöhte KW-Gehalt in der neu eingerichteten Grundwassermessstelle GWMS 5 belegt jedoch die lokale KW-Belastung.

Grundwasseruntersuchungen wurden an 10 mittels DP-Sondierungen entnommenen Grundwasserproben sowie an 4 vorhandenen und 7 neu eingerichteten Grundwassermessstellen durchgeführt.

Die mittels DP-Sondierungen gezielt aus den MIP-Sondierungsbereichen A und B entnommen und auf KW, BTEX und LCKW untersuchten Grundwasserproben zeigten für den B-Bereich keine Belastungen, für den A-Bereich eine deutliche, von cis-1,2-Dichlorethen dominierte LCKW-Belastung. Die Belastung ist vorrangig an den basalen Aquiferbereich gebunden und reicht bis in die bindigen tertiären Sedimente.

Der hohe cis-1,2-Dichlorethen-Gehalt zeigt für die Mehrzahl der im Schadensherd gelegenen Beprobungspunkte einen nahezu vollständigen Trichlorethen-Abbau an, der wahrscheinlich durch die mineralölähnlichen Kohlenwasserstoffe als Co-Kontaminanten im KW-Belastungsbereich A stimuliert wird.

Die aus den Grundwassermessstellen entnommenen Grundwasserproben wurden neben den Vor-Ort-Parametern auf die standortspezifischen Schadstoffe LCKW, MKW, PAK, BTEX und die Grundwassermessstelle GWMS 7 zusätzlich auf Schwermetalle untersucht.

Organoleptisch fielen die aus den Grundwassermessstellen GWMS 2, GWMS 3, GWMS 4 und GWMS 5 entnommenen Proben durch einen schwachen Mineralöl-Geruch auf.

Die überwiegend unauffälligen Vor-Ort-Parameter zeigen für die Mehrzahl der Messstellen ein ausgeprägtes O₂-Defizit als Ausdruck eines sauerstoffzehrenden Abbaus der organischen Kontaminanten.

Im Ergebnis zeigen die umfangreichen seit 2001 durchgeführten Grundwasseruntersuchungen, dass im nördlichen Untersuchungsgebiet eine von LCKW dominierte Grundwasserbelastung mit lokalen KW- und PAK-Belastungen im Bereich des LCKW- und KW-Schadensherdes vorliegt.

Im Bereich der Grundwassermessstelle GWMS 5 konnte zudem eine kleinräumige KW-, BTEX- und PAK-Grundwasserbelastung nachgewiesen werden, die wahrscheinlich auf eine ehemalige, undichte Abwasserleitung der Firma Walterscheid in den Mühlengraben zurückzuführen ist.

Im Abstrom einer vom Büro Geobek ausgewiesenen Schwermetallbelastung, die innerhalb eines derzeit abgeplanten Bereiches mit Anschüttungen liegt, wurde gezielt die Grundwassermessstelle GWMS 7 eingerichtet und beprobt.

Die Schwermetall- und Arsen-Gehalte liegen im Bereich oder unterhalb der Bestimmungsgrenze. Eine das Grundwasser über den Transferpfad Boden → Sickerwasser → Grundwasser gefährdende Schwermetall-Belastung ist somit nicht erkennbar.

Die ermittelten, an die ungesättigte und gesättigte Bodenzone gebundenen Belastungsbereiche sind in der Anlage 8 ausgewiesen.

Bei den ermittelten Grundwasserbelastungen handelt es sich um nutzungsbedingte lokale Schäden, die keine großräumigen Schadstofffahnen ausgebildet. Die Grundwasserbelastung ist weitestgehend auf das Betriebsgelände beschränkt und wird durch natürliche Abbauprozesse gemindert oder völlig abgebaut.

Gemäß der von der LAWA/LABO in 05/2006 veröffentlichte Arbeitshilfe "Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen" ist die untersuchte Grundwasserbelastung als "kleine Verunreinigung" zu bewerten, für die Maßnahmen zur Dekontamination des Grundwasser als unverhältnismäßig einzustufen sind.

Die vom Büro Geobek im zentralen und südwestlichen Untersuchungsgebiet ausgewiesenen MKW- und PAK-Belastungen konnten durch die vertiefenden Untersuchung nicht als flächige Belastungen bestätigt werden. Sie sind wahrscheinlich auf Punktbelastungen zurückzuführen, die im Rahmen der Neunutzung im Bereich der gewerblich genutzten Flächen zwangsläufig versiegelt und damit gesichert werden. Entsprechend kann eine Gefährdung des Menschen wegen fehlender Kontaktmöglichkeiten ausgeschlossen werden.

Die an die ungesättigte Bodenzone gebundene, eine Fläche von ca. 350 m² einnehmende KW-Belastung südöstlich der GWMS 8430-038 liegt im Bereich der geplanten Wohnbebauung mit Gärten und Grünflächen. Im Bereich der eigentlichen Wohnbebauung wird der belastete Boden im Rahmen des Tiefgaragenbaus entfernt. Im Bereich von Gärten und Grünflächen sollte der KW-belastete Boden bis 0,6 m u. OKG ausgetauscht oder mit einer 0,6 m mächtigen, unbelasteten Bodenschicht abgedeckt werden.

Die lokale, wahrscheinlich durch einen ehem. undichten Abwasserkanal bedingte KW-, BTEX- und PAK-Belastung im Bereich der Grundwassermessstelle 5 liegt im Bereich der Zufahrtstraße zur Wohnbebauung und wird durch die Straßenversiegelung gesichert.

Der eine Fläche von ca. 300 m² umfassende LCKW- und KW-Schadensherd im nördlichen Untersuchungsgebiet liegt nach derzeitigem Planungsstand weitestgehend im Bereich der geplanten Zuwegung zur Wohnbebauung. Auch hier findet zwangsläufig eine Versiegelung statt, die einen Direktkontakt mit belasteten Böden verhindert.

Die unter der Wohnbebauung geplanten Tiefgaragen stellen eine Barriere zwischen der in der gesättigten Bodenzone verbleibenden Restbelastung und der aufgehenden Wohnbebauung dar. Ein direkter Übergang leichtflüchtiger Schadstoffe aus der gesättigten Bodenzone in den Bereich der Wohnbebauung kann somit ausgeschlossen werden. Im Bereich der Tiefgarage tritt zudem eine Verdünnung der Bodenluft bei Übertritt in die Atmosphäre um den Faktor 1.000 ein.

Eine Gefährdung des Menschen über den Wirkungspfad Boden → Bodenluft → Atmosphäre kann nach obigen Ausführungen ausgeschlossen werden.

Bergheim, den 13.12.2011

(Dr. rer. nat. habil. W. Tillmanns)

Von der IHK zu Köln öffentl. best. und vereid. Sachverständiger
für Bodenschutz und Altlasten, Sachgebiete 2 und 5