

Projekt:

Hydrogeologische Untersuchung, Planung und Beratung im Stadtgebiet Oberursel Dokumentation und Bewertung der Erkundungsmaßnahmen im Jahr 2018

Auftraggeber:

Magistrat der Stadt Oberursel
Rathauplatz 1
61440 Oberursel

I. Inhaltsverzeichnis (Text)

	Seite
1. Auftrag	1
1.1 Ausgangslage	1
1.2 Aktuelle Aufgabenteilung	2
2. Geologisch-hydrogeologische Rahmenbedingungen	4
3. Durchgeführte Untersuchungen	6
4. Untersuchungsergebnisse	8
4.1 Grundwassergleichplan	8
4.2 Feldparametermessungen	9
4.3 Untersuchungen der LCKW	10
4.4 Untersuchungen der C- und Cl-Isotopen	11
4.4.1 Altstandort Borkenberg	11
4.4.2 Altstandorte im Portugal	13
4.4.3 Altstandorte in der oberen Feldbergstraße	14
4.4.4 Altlast Eppsteinerstraße und Bereich Strackgasse	15
4.4.5 Bereich Holzweg / Henchenstraße	17
4.4.6 Altstandort ██████████ KG	20
4.4.7 Bereich Adenauerallee	22
4.4.8 Bereich Wasserwerk Riedwiese	23
4.5 FCKW und SF ₆ -Untersuchungen	28
5. Zusammenfassung und gutachterliche Bewertung der bislang vorliegenden Daten	31
5.1 Ergebnisse der Isotopenuntersuchungen	31
5.2 Altstandort Borkenberg	32
5.3 Altstandorte im Portugal	32
5.4 Altstandorte in der oberen Feldbergstraße	33
5.5 Altlast Eppsteinerstraße und Bereich Strackgasse	34
5.6 Altstandort ██████████ KG	35
5.7 GWM Holzweg / Henchenstraße / Adenauerallee	36
5.8 Bewertung der Frachtabstätzungen	37
5.9 Beurteilung der Abbauprodukte	37
6. Empfehlung weiterer Maßnahmen	40
7. Kostenschätzung	43

> Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Beprobte GwMessestellen und durchgeführte Analytik	6
Tabelle 4-1: Im Rahmen der GwProbenahme gemessene Feldparameterdaten	9
Tabelle 4-2: LCKW-Konzentrationen und Frachten in GWM 8/2017 bis GWM 11/2017	20
Tabelle 4-3: Vergleich der LCKW-Konzentrationen in GWM 8/2017 und GWM 10/2017	21
Tabelle 4-4: LCKW-Summenkonzentrationen und Schadensspektren in den GwProben vom 11.07.2018 aus den Brunnen Riedwiese	24
Tabelle 4-5: Messergebnisse der FCKW-/SF ₆ -Analysen im Stadtgebiet von Oberursel, Labor Dr. Oster	26
Tabelle 4-6: Modellalter der GwProben, berechnet nach dem Piston-Flow-Modell (PFM)	29
Tabelle 5-1: Bewertung der Herkunft von LCKW an den untersuchten Messstellen im Stadtgebiet Oberursel inkl. hydrogeologischer Beurteilung	32
Tabelle 7-1: Vorschlag für die standortbezogene Verdichtung des GwMesseznetzes, GwMonitoring und Erkundungsmaßnahmen mit Kostenschätzung	43

II. Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Lagepläne
Blatt 1	Übersichtsplan des Stadtgebiets von Oberursel mit Kontaminations(verdachts)flächen, Aufschlusspunkten (Brunnen / GWM) und GwBahnlinien (Vorwärtsberechnung im GwModell) M = 1:6.000
Blatt 2	Detaillageplan des Stadtgebiets von Oberursel, Bereich Borkenberg, mit Ergebnissen der Isotopenuntersuchung und GwBahnlinien (Vorwärtsberechnung im GwModell) M = 1:2.000
Blatt 3	Detaillageplan des Stadtgebiets von Oberursel, Bereich Im Portugall, mit Ergebnissen der Isotopenuntersuchung und GwBahnlinien (Vorwärtsberechnung im GwModell) M = 1:2.000
Blatt 4	Detaillageplan des Stadtgebiets von Oberursel, Bereich Altstadt / Feldbergstraße, mit Ergebnissen der Isotopenuntersuchung und GwBahnlinien (Vorwärtsberechnung im GwModell) M = 1:2.000
Blatt 5	Detaillageplan des Stadtgebiets von Oberursel, Bereich Adenauerallee, mit Ergebnissen der Isotopenuntersuchung und GwBahnlinien (Vorwärtsberechnung im GwModell) M = 1:2.000
Blatt 6	Detaillageplan des Stadtgebiets von Oberursel, Bereich Riedwiese, mit Ergebnissen der Isotopenuntersuchung und GwBahnlinien (Vorwärtsberechnung im GwModell) M = 1:2.000
Blatt 7	Detaillageplan des Stadtgebiets von Oberursel, Bereich Innenstadt, mit GwGleichen und GwBahnlinien (Vorwärtsberechnung im GwModell) M = 1: 5.000
Blatt 8	Übersichtsplan des Stadtgebiets von Oberursel, mit Kontaminations(verdachts)flächen, Aufschlusspunkten (Brunnen/ GWM), LCKW- Konzentrationen und berechneten GwBahnlinien (Vorwärtsberechnung im GwModell) M = 1:3.000
Anlage 2	Hydrogeologisch-geohydraulischer Profilschnitt in GwFließrichtung (NW-SE) vom Taunusrand zum WW Riedwiese mit bekannten Eintragsbereichen von LCKW
Anlage 3	Grafische Aufbereitung der Fördermengen und des LCKW-Austrags der Brunnengruppe Riedwiese im Zeitraum 1990 - 2017
Anlage 4	Untersuchungsbericht Labor Isodetect Umweltmonitoring GmbH, Leipzig
Anlage 5	Untersuchungsbericht Spurenstofflabor Dr. Harald Oster, Wachenheim
Anlage 6	Probenahmeprotokolle

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Vergleich des Fließregimes und Absenkttrichters bei normaler Probenahme und Low-Flow-Sampling (Quelle: Kaulisky, A.: Innovative Methoden der Grundwasserbeobachtung)	3
Abbildung 4-1:	Grafische Umsetzung der von Synlab in GwProben gemessenen Stoffspektren, von links nach rechts tendenziell in GwFließrichtung	11
Abbildung 4-2:	Ganglinien der Summenkonzentration LCKW in den Brunnen des WW Riedwiese	24
Abbildung 4-3:	Ganglinien der GwEntnahmen aus den Brunnen des WW Riedwiese (2005- '17, Br. 1 in rot / unten bis Br. 7 in blau / oben)	24

III. Verzeichnis der verwendeten Unterlagen

- /1/ ALK – Automatisierte Liegenschaftskarte des Stadtgebietes Oberursel (Taunus), Stand April 2006
- /2/ Geologische Karte, M 1:25.000, Blatt 5717 Bad Homburg vor der Höhe mit Erläuterungen zur Geologischen Karte, H.Lf.B, Wiesbaden 1972
- /3/ Geologische Karte, M 1:25.000, Blatt 5817 Frankfurt am Main West / Faksimilierter Nachdruck der Ausgabe aus dem Jahre 1929, H.Lf.B, Wiesbaden 1994
- /4/ Gutachten zur Verbesserung des GwSchutzes im Einzugsgebiet des WW Riedwiese der Stadtwerke Oberursel GmbH im Hochtaunuskreis, Hess. Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden 26.01.1994
- /5/ Gutachten über die Grundwasserentnahme der Stadtwerke Oberursel GmbH im Hochtaunuskreis, Hess. Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden 26.01.1996
- /6/ Vertiefende umwelttechnische Erkundung zur Herkunft einer GwVerunreinigung durch LCKW im Bereich Borkenberg, Gutachten im Auftrag des WWA Friedberg, Büro HG GmbH, Lich, 11.03.1987
- /7/ Untersuchungen zum tertiären GwLeiter auf dem Gelände der [REDACTED] - Gutachten im Auftrag [REDACTED], HYDRODATA GmbH, Oberursel 25.02.1999
- /8/ GwSanierung mittels Funnel & Gate auf dem Gelände der [REDACTED] - Tischvorlage zur Besprechung beim RPAUWI am 30.03.1999, Arcadis GmbH, Darmstadt 19.03.1999
- /9/ Hydrogeologische Untersuchungen zum Aufbau eines Grundwassermodells für das Stadtgebiet von Oberursel, 2. Zwischenbericht, Büro HG GmbH, Gießen, Juni 2000
- /10/ Dokumentation und Bewertung eines Pumpversuchs an der tiefen GWM "Adenauerallee" in Oberursel zur Erkundung der LCKW-Belastung im Wasserwerk Riedwiese, Gutachten im Auftrag der Stadtwerke Oberursel GmbH, Büro HG GmbH, Gießen, 09.12.2002
- /11/ Dokumentation und Bewertung von GwUntersuchungen im Stadtgebiet von Oberursel zur Erkundung der Herkunft von LCKW-Belastungen im WW Riedwiese, Gutachten im Auftrag des RPAUWI, Büro HG GmbH, Gießen, 29.04.2004
- /12/ GwMonitoring im Rahmen des BV [REDACTED] - Gutachterliche Bewertung der Daten zur LCKW-Belastung des Grundwassers, Gutachten im Auftrag der Stadtwerke Oberursel, Büro HG GmbH, Gießen 04.03.2005
- /13/ Ausarbeitung eines numerischen GwModells für die Erkundung der Herkunft von LCKW-Belastungen des WW Riedwiese der SW Oberursel GmbH sowie einer GwBilanz für das Stadtgebiet, Abschlussbericht im Auftrag des RPAU WI und der Stadtwerke Oberursel, Büro HG GmbH, Gießen, 25.07.2005
- /14/ GwMonitoring im Rahmen des BV [REDACTED] - Abschließende gutachterliche Bewertung der Daten zur LCKW-Belastung des Grundwassers, Gutachten im Auftrag der Stadtwerke Oberursel, Büro HG GmbH, Gießen, 30.01.2006
- /15/ Antragsunterlagen zur Bewilligung der Wasserrechte zur GwEntnahme im WW Riedwiese, Büro HG GmbH, Gießen, 12.05.2006

- /16/ Dokumentation umwelttechnischer Untersuchungen zum Nachweis der Herkunft von LCKW-Verunreinigungen des Grundwassers im Stadtgebiet von Oberursel mit Interpretation der Ergebnisse und Empfehlungen zum weiteren Vorgehen, PNr. 03041/2, Gutachten im Auftrag des RPAUWI, Büro HG, Gießen, 31.10.2007
- /17/ Bewilligung nach §8 WHG zur Entnahme von Grundwasser aus den TwGA Brunnen 1, 2, 4 und 7 Riedwiese sowie aus den Brunnen 5 „Gnade Gottes“ und 6 „Wallstraße“, Bescheid RPAU Wiesbaden, 15.01.2008
- /18/ Leitfaden Natürlicher Schadstoffminderung bei LCKW-kontaminierten Standorten KORAThemenverbund 3; Chemische Industrie, Metallverarbeitung, S. Grandel, A. Dahmke, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, 2008
- /19/ Leitfaden LCKW – Stoffeigenschaften, (www.bafu.admin.ch) - ChloroNet, Bundesamt für Umwelt Bern, 09/2009
- /20/ Sicherung der Trinkwasser-Versorgung für die Stadt Oberursel, Stellungnahme zu Untersuchungen im Bereich des Altstandorts Feldbergstraße [REDACTED], Büro HG GmbH, Gießen 05.01.2009
- /21/ Grundwasser-Monitoring im Zustrombereich des WW Riedwiese der Stadtwerke Oberursel, Gutachterliche Bewertung der Daten zur Grundwasserbeschaffenheit mit Empfehlungen für den Ausbau und zukünftigen Betrieb des Messnetzes, PNr. 03049/6, Gutachten im Auftrag der SW Oberursel, Büro HG GmbH, Gießen, 20.10.2010
- /22/ Ermittlung von Schadstofffrachten in Grund- und Sickerwasser – Handbuch Altlasten Bd. 3 Teil 6, H.LUG Wiesbaden 2008
- /23/ Verwaltungsvorschrift zur Erfassung, Bewertung und Sanierung von Grundwasserunreinigungen „GWS-VwV“ – HMUKLV, Wiesbaden 26.09.2016
- /24/ Arbeitshilfe zur Sanierung von GwVerunreinigungen – Handbuch Altlasten Bd. 3, Teil 7, H.LUG Wiesbaden 2013
- /25/ Einzelfallrecherche Feldbergstraße/Eckardtstraße in 61440 Oberursel – Ergebnisbericht, HYDRODATA GmbH, 08.12.2014
- /26/ LHKW-Sanierung Alltalentfläche Eppsteiner Straße, Oberursel, Information Bau- und Umweltausschuss der Stadt Oberursel (Taunus) – CDM Smith Consult GmbH, Alsbach, 06.05.2015
- /27/ Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV vom 12.07.1999), BGBl. I, Bonn 1999, zuletzt geändert am 31.08.2015
- /28/ Gefährdungsmaßnahmen in Oberursel und Steinbach, Feldbergstraße [REDACTED] Oberursel - Orientierende Untersuchung, HYDRODATA GmbH, Oberursel, 18.12.2015
- /29/ Gefährdungsmaßnahmen in Oberursel und Steinbach, Strackgasse [REDACTED] Oberursel - Orientierende Untersuchung, HYDRODATA GmbH, Oberursel, 18.12.2015
- /30/ Sachstandsbericht Bodensanierung Eppsteiner Straße, CDM Smith Consult GmbH, Alsbach, Stand 31.12.2015
- /31/ Altersbestimmung an Grundwässern im Stadtgebiet von Oberursel, Bericht Spurenstofflabor Dr. H. Oster, Wachenheim, 18.05.2016
- /32/ Badin et. al.: Perchloroethen-Quellendifferenzierung mittels Kohlenstoff-Chlor-Isotopenanalyse - Felduntersuchungen zur Beurteilung der Variabilität der Isotopensignatur-Grundwasser Bd.20, H.4, S. 263-270; Springer-Verlag, Berlin 12/2015

- /33/ Grundwasseruntersuchung in Oberursel, Feldbergstraße
PNr. 16008/1, Gutachten im Auftrag des RPAUWI, Büro HG, Gießen, 07.07.2016
- /34/ Grundwassermonitoring im Raum Bad Homburg v. d. H. und Oberursel, 10. Bericht: Aktualisierung und installierte Kalibrierung des numerischen GwModells
Büro HG GmbH, Gutachten PNr. 14026/3 im Auftrag der Stadt Bad Homburg, Gießen, Januar 2018
- /35/ Grundwassermonitoring im Stadtgebiet Oberursel – Gutachten zur Erkundung und Bewertung der LCKW-Belastung des Grundwassers im Stadtgebiet, PNr. 14013/1, Büro HG GmbH, Gießen, 06.09.2016
- /36/ Hydrogeologische Untersuchung, Planung und Beratung im Stadtgebiet Oberursel, Planung und Fachbauleitung der Erkundungsmaßnahmen im Jahr 2017,
Büro HG GmbH, Gutachten PNr. 14013/8 im Auftrag der Stadt Oberursel, Gießen, 09.01.2018
- /37/ Störversuche im Rahmen der Erkundung von LCKW-Verunreinigungen in Oberursel,
Büro HG, PNr. Gutachten 16008/4 im Auftrag des RPAU WI, Büro HG, Gießen, 27.11.2018

IV. Verzeichnis verwendeter Abkürzungen

BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
Bl...	Bodenluft...
CIS	cis-1,2-Dichlorethen
CR	Chemische Reinigung
DNAPL	Dense non aqueous phase liquid / nicht mischbare Schwerphase aus Fluiden mit einem spezifischen Gewicht >1g/ml
DP-...	Direct-Push-Sondierungen
DU	Detailuntersuchung
EFR	Einzelfallrecherche
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe
GFS	Geringfügigkeitsschwellenwert
GOK	Geländeoberkante
Gw...	Grundwasser...
GWM	Grundwasser-Messstelle
HLfB	Hess. Landesamt für Bodenforschung
HLNUG	Hess. Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
HLUG	Hess. Landesamt für Umwelt und Geologie
IPV	Immissions-Pumpversuch
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LCKW	Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe
m u. GOK	Meter unter Geländeoberkante
m ü. NN	Meter über Normalnull
m u. POK	Meter unter Pegeloberkante
N, E, S, W	Himmelsrichtungen
ne'	nordöstlich
OU	Orientierende Untersuchung
PER/PE	Per-/Tetrachlorethen
RPAU WI	Regierungspräsidium Darmstadt, Abt. Arbeitsschutz und Umwelt Wiesbaden
SF6	Schwefelhexafluorid
sw'	südwestlich
SWO	Stadtwerke Oberursel
TRANS	trans-1,2-Dichlorethen
TRIT/CE	Trichlorethen
UG	Untersuchungsgebiet
VC	Vinylchlorid

1. Auftrag

1.1 Ausgangslage

Die Stadtwerke Oberursel (SWO) betreiben im Gewinnungsgebiet Vortaunus das **Wasserwerk Riedwiese**. An den dort genutzten 5 Brunnen werden **seit Anfang der 1980er Jahre Verunreinigungen durch LCKW** festgestellt, wobei das Konzentrationsniveau im Rohwasser an einigen Brunnen den aktuellen Grenzwert der Trinkwasser-Verordnung von 10 µg/l seit mehreren Jahrzehnten bis um den Faktor 5 überschreitet. Daher ergibt sich ein Handlungsbedarf im Hinblick auf die Lokalisierung der Eintragsbereiche und deren Sanierung, um langfristig wieder ein Rohwasser in der gewünschten Qualität fördern zu können.

Im Stadtgebiet Oberursel wurden in der Vergangenheit mehrere LCKW-Schadenfälle bekannt, die z. T. saniert werden bzw. wurden. Ein Zusammenhang zwischen der Verunreinigung im WW Riedwiese und einem Teil dieser Schadenfälle ist zumindest seit Abschluss der Erkundungsphase 2007 erkannt worden /16/.

Vor dem Hintergrund der Ursachenerforschung für die Herkunft der Verunreinigungen hatte das Regierungspräsidium Darmstadt (Abt. Arbeitsschutz und Umwelt Wiesbaden) das Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH (Büro HG) ab 1999 beauftragt, ein hydrogeologisches Modell für das Stadtgebiet zu entwickeln und auf dieser Grundlage ein numerisches GwStrömungsmodell auszuwerten, das in 2005 vorgelegt /13/ und sukzessiv weiterentwickelt wurde.

Parallel wurden in den Jahren 2002 bis 2004, z. T. in Zusammenarbeit mit der Stadt Oberursel und den Stadtwerken Oberursel, weitere Untersuchungen durchgeführt, die wesentliche Erkenntnisse zu den Strömungsverhältnissen sowie zur LCKW-Belastung des Bodens und Grundwassers in Oberursel brachten /10/, /11/. Ergänzend wurden Messungen ausgewertet, die im Zusammenhang mit einem Bauvorhaben der Fa. IBM Deutschland im unmittelbaren Oberstrom des WW vorgenommen wurden /12/.

Die im Jahr 2007 errichteten GWM und die Durchführung von Immissionspumpversuchen (IPV) ergaben erstmals ein differenziertes Bild im Hinblick auf die räumliche Verteilung von Schadstofffrachten im Abstrombereich von mutmaßlichen LCKW-Emissionen sowie auf deren Schadstoffspektrum (PER- oder TRI-Dominanz) und -frachten /16/. Hieraus wurden für einzelne Altstandorte vertiefende Untersuchungen bzw. ein Sanierungsbedarf abgeleitet. Die Umsetzung dieser Maßnahmen erfolgt seit einigen Jahren verstärkt. Hierzu gehören insbesondere die Konzeption und der Beginn der Sanierung auf dem Altstandort Eppsteiner Straße /26/, /30/ sowie orientierende Untersuchungen im Bereich der Feldbergstraße und der Strackgasse /28/, /29/. Weitere Untersuchungen (z. B. Grundwasserpfad in der Feldbergstraße) erfolgten in 2016 /33/.

Im Hinblick auf die im WW Riedwiese seit mehr als 25 Jahren nachgewiesenen steigenden LCKW-Frachten sind, bedingt durch lange Fließwege, die langen Fließzeiten von Bedeutung. Auch wenn sich seit etwa 2010 eine Stagnation der Frachtraten im WW andeutete, kann weiterhin nicht zweifelsfrei davon ausgegangen werden, dass das Konzentrationsmaximum der LCKW-Frachten, die vom Bereich der Kernstadt ausgehen, das WW bereits erreicht haben. Da in diesem Bereich Flurabstände des Grundwassers von >5 ->15 m zu verzeichnen sind, muss außerdem davon ausgegangen werden, dass ohne eine Sanierung der

Eintragsbereiche aus den LCKW-Reservoiren in der teil-/ungesättigten Zone noch über Jahrzehnte LCKW in das Grundwasser eingetragen werden. Vor diesem Hintergrund sind vertiefende Untersuchungen als Grundlage zur Sicherung der Rohwasser-Qualität im WW Riedwiese erforderlich.

Die Stadt Oberursel hatte daher das Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH (Büro HG) 2018 im Hinblick auf eine Zuordnung der einzelnen LCKW-Fahnen zu bestimmten Eintragsbereichen / Verdachtsflächen mit der Durchführung von Isotopenuntersuchungen beauftragt.

Parallel hierzu hatte das Regierungspräsidium Darmstadt (Abt. Arbeitsschutz und Umwelt Wiesbaden) das Büro HG 2017 im Hinblick auf die Störersuche mit den Ingenieurlösungen zur Errichtung von insgesamt 7 GwMessstellen und Durchführung von insgesamt 8 Immissionspumpversuchen im Bereich der Albersstraße und Eckardtstraße beauftragt /37/.

1.2 Aktuelle Aufgabenstellung

Im Hinblick auf eine Zuordnung der einzelnen LCKW-Fahnen zu bestimmten Eintragsbereichen / Verdachtsflächen sollten an allen maßgeblichen Brunnen und GWM im Stadtgebiet Untersuchungen der C- und H-Isotope der LCKW zur Identifizierung der Ströber durchgeführt werden. Wie in /32/ beschrieben, ermöglichen diese "altlastenforensischen Methoden" in vielen Fällen nicht nur eine Quantifizierung der Abbauprodukte, sondern auch eine beweiskräftige Zuordnung von LCKW-Belastungen zu bestimmten Quellen mittels "isotopischem Fingerabdruck".

Nähere Informationen zu den Einsatzmöglichkeiten der Messtechnik finden sich u. a. auf den Seiten der in Frage kommenden Unternehmen! Grundsätzlich ermöglichen die Isotopenspektren die Differenzierung unterschiedlicher LCKW-Varietäten und deren Verfolgung über große Entfernungen, auch wenn eine Dehalogenierung z. B. der Ethene von Tetra- über Tri- zu Dichloethen stattgefunden hat. Soweit sich die an den verschiedenen Altstandorten eingetragenen LCKW hinreichend unterscheiden (was zu prüfen bleibt), kann deren Weg entlang der Fließstrecke bis zum WW Riedwiese und ggf. darüber hinaus verfolgt werden.

An Gw-Proben aus den folgenden Messstellen sollten Isotopenuntersuchungen durchgeführt werden:

- | | |
|---|--------|
| 1) Br. 1, 2, 3a, 4 und 7 WW Riedwiese | 5 Stk. |
| 2) GWM 2 tief Adenauerallee (tiefenzoniert, um die unterschiedlichen Stoffströme zu erfassen) | 2 Stk. |
| 3) GWM 9/2017 tief und GWM 10/2017 tief | 2 Stk. |
| 4) GWM 9/2017 flach und GWM 10/2017 flach | 2 Stk. |
| 5) GWM 2/2007 und GWM 13/2017 Eckardtstraße | 2 Stk. |
| 6) GWM 3 flach und tief Henchenstraße | 2 Stk. |
| 7) GWM 6 Strackgasse | 1 Stk. |
| 8) GWM 5/2007 Eppsteinerstraße | 1 Stk. |
| 9) GWM 1/2007 Poststraße Ost | 1 Stk. |
| 10) GWM 4/2007 Im Portugal | 1 Stk. |
| 11) GW 4 Industriebetrieb Hohemarkstraße | 1 Stk. |

Summe: 20 Stk.

Weiterhin sollten in den folgenden vier GWM Proben zur Untersuchung auf FCKW und SF₆ im Hinblick auf eine Alters-/Herkunftsbestimmung entnommen werden:

- 1) GWM 1/2007 Portstraße Ost
- 2) GW 4 Industriebetrieb Hohemarkstraße
- 3) GWM 5/2007 Eppsteinerstraße
- 4) GWM 8/2017 tief

Bei der GWM 2 tief Adenauerallee ist die Aussagekraft aufgrund der durchgehenden Verkieisung des Ringraumes (hydraulischer Kurzschluss) eingeschränkt, durch die es zur Tiefenverlagerung von LCKW vom oberen, quartären in den tieferen, tertiären Aquifer kommt. Diese vertikalen Ausgleichsströmungen führen zu einer Homogenisierung der Wassersäule und zu einer Verfälschung des Belastungsbildes /10/. Um diese Verfälschungen zu vermeiden, sollte die Beprobung dieser GWM tiefenorientiert (obere und untere Filterstrecke) im Low-Flow-Sampling-Verfahren durchgeführt werden.

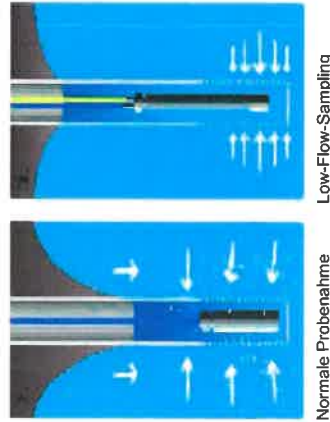


Abbildung 1-1: Vergleich des Fließregimes und Absenktichters bei normaler Probenahme und Low-Flow-Sampling (Quelle: Kaulisky, A.: Innovative Methoden der Grundwasserbe-
bung)

2. Geologisch-hydrogeologische Rahmenbedingungen

Die geologisch-hydrogeologische Situation im Stadtgebiet von Oberursel wurde in früheren Gutachten sowohl im Überblick /4/ - /6/ als auch im Detail (z. B. /7/, /8/, /12/, /14/, /34/) beschrieben. Die Kenntnis dieser Berichte wird hier vorausgesetzt und daher nur noch im notwendigen Umfang auf die Grundlagen eingegangen.

Hervorzuheben ist, dass sich alle GWM se' der Taunus-Randstörung befinden, d. h. auf Tiefschollen, in denen das Grundgebirge in Tiefen >10 - >100 m abgesunken ist. Im untersuchten Teil des Stadtgebiets wird der hier relevante Tiefenbereich des Untergrunds (<50 – max. 100 m u. GOK) i. wes. von tertiären Lockergesteinen gebildet. Dabei handelt es sich um klastische Sedimente, die als Erosionsschutt aus dem Taunus stammen, der sich während des Tertiärs als Gebirge hob, während das Vorland der Hessischen Senke (Weiterau) absank.

Aufgrund der geringen Transportentfernung und des starken Reliefs treten in den Hauptschüttungsachsen dieser Schuttfächer sehr grobe Kiese mit Blöcken aus Taunus-Quarzit auf, die bohrtechnisch hohe Anforderungen stellen. Es handelt sich um gering sortierte Ablagerungen, in denen auf geringer Entfernung stark wechselnde Korngrößenverteilungen zu beobachten sind. Wie die DP-Sondierungen in 2004 zeigten, treten etwa in dem Bereich zwischen Feldberg- / Hohemarkstraße im NE und Altkönigsstraße im SW verbreitet quarzitisches Blockschuttlagen auf, die das Erreichen des GwSpiegels verhindern /11/.

Im Allgemeinen nimmt die Korngröße der Sedimente mit zunehmender Entfernung zum Liefergebiet und quer zur Schüttungsrichtung ab (also etwa nach SE, SW und NE). Diese geologische Situation hat kleinräumig stark wechselnde Durchlässigkeiten und die Ausbildung lokaler, schwebender GwStockwerke zur Folge. Hohe Transmissivitäten sind entlang der Hauptschüttungsachse nachgewiesen, die etwa dem Verlauf des Urseibachs folgt; Brunnen und Messstellen, die entlang dieser Achse eingerichtet wurden (z. B. GWM Adenauerallee, ehem. [REDACTED], WW Riechweise) sind sehr ergiebig, zumal der Gw-Leiter etwa ab Höhe der GWM Adenauerallee aufgrund einer gering durchlässigen Trennschicht gespannt und weiter im Unterstrom sogar artesisch reagiert.

Generell ist entsprechend dem starken Relief der Erdoberfläche von einem steilen Gefälle der GwOberfläche in Richtung SE auszugehen, was in durchlässigen Schichten zu hohen GwFließgeschwindigkeiten führt. Aufgrund wechselnder Transmissivitäten ist kleinräumig mit Schwankungen von GwFließrichtung und -geschwindigkeit zu rechnen, da die inhomogenen Sedimente auch eine starke Anisotropie aufweisen; d. h. die Durchlässigkeiten sind je nach Schüttungsrichtung der Sedimentkörper bzw. Blockschuttströme unterschiedlich. Die Stromfäden folgen dann nicht notwendigerweise dem maximalen Gradienten / kürzesten Fließweg, sondern dem Weg des geringsten (Fließ-) Widerstands.

Die aus dem generellen GwGleichenplan abgeleitete lokale GwStrömung und die daraus ermittelten Zustrombereiche sind daher in allen Fällen mit Unsicherheiten behaftet. Die lokalen Fließrichtungen

1 Ein Beispiel dafür ist an dem tiefen Brunnen 4 des WW Riechweise dokumentiert, der in Ruhe eine starke, zur Brunnenschle gerichtete Ausgleichsströmung aufweist /10/. Dort wurde offenbar im Sohliveau ein hoch durchlässiger Horizont erbohrt, über den große Volumenströme abfließen.

werden sich deswegen ohne detailliertere Untersuchungen (z. B. mittels Phrealog-Messtechnik) nicht ermitteln lassen.

3. Durchgeführte Untersuchungen

Die Beprobung der in Kap. 1.2 genannten GwMessesstellen erfolgte am 10. und 11. Juli 2018. Aufgrund von über der GwMessesstelle parkender PKW an beiden Probennahmetermen konnte die GWM 1/2007 Portstraße Ost nicht beprobt werden. Ersatzweise wurde die GWM Holzweg beprobt.

Im Rahmen der Probenahme wurde festgestellt, dass in der GwMessesstelle GWM 5/2007 Eppsteinerstraße eine Pumpe zum Abpumpen von hoch mit LCKW belastetem Grundwasser installiert ist. Hierdurch war die vorgesehene Probenahme mittels U-Pumpe Grundfos MP1 nicht möglich. Hier wurde in Abstimmung mit dem Ing.-Büro CDM Smith Consult GmbH (Betreuendes Ing.-Büro der Sanierung der Altkanal Eppsteinerstraße) am 03.08.2018 eine GwProbe mittels Schöpfprobenheber entnommen.

Alle Wasserproben wurden auf Kohlenstoff-Isotope im Labor Isodetect Umweltmonitoring, Leipzig, untersucht. Nach Vorlage der Ergebnisse der C-Isotopen-Untersuchung wurden 7 Proben für die Untersuchung auf Chlor-Isotope ausgewählt.

Bezüglich der Untersuchung auf FCKW und SF₆ konnte die Probenahme nur an zwei von vier geplanten GWM durchgeführt werden. Die GWM 1/2007 Portstraße konnte wegen parkender PKW nicht beprobt werden. Bei der GWM 5/2007 Eppsteinerstraße reichte das in der Messstelle vorhandene Fluidvolumen nur für die Befüllung der Probengefäße zur Isotopenuntersuchung. Die vom Spurenstofflabor Oster vorge-schriebene Probenahme zur Untersuchung auf FCKW und SF₆ war hier nicht möglich.

Die folgende Tabelle zeigt die beprobten GwMessesstellen und die durchgeführte Analytik im Überblick:

Tabelle 3-1: Beprobte GwMessesstellen und durchgeführte Analytik

Nr.	GWM/Br.	C-Isotope	Cl-Isotope	FCKW/SF ₆
1	Br. 1	✓	✓	
2	Br. 2	✓	✓	
3	Br. 3a	✓	✓	
4	Br. 4	✓		
5	Br. 7	✓		
6	GWM 8/2017 flach	✓	✓	
7	GWM 8/2017 tief	✓		✓
8	GWM 10/2017 flach	✓		
9	GWM 10/2017 tief	✓		
10	GWM 2 Adenauer tief oben	✓	✓	
11	GWM 2 Adenauer tief unten	✓		
12	GWM 2/2007 Eckardstr.	✓		
13	GWM 13/2017 Eckardstr.	✓		
14	GWM 3/2007 Henchenstr. flach	✓		
15	GWM 3/2007 Henchenstr. tief	✓		
16	GWM 6 Strackgasse	✓		
17	GWM 5/2007 Eppsteinerstr.	✓	✓	✓
18	GWM Holzweg	✓		

Nr.	GWM/Br.	C-Isotope	CH-Isotope	FCKW/SF ₆
19	GWM 4/2007 Im Portugall	✓	✓	
20	GW 4 Rollis Royce	✓		✓

4. Untersuchungsergebnisse

4.1 Grundwassergleichenplan

Die Anlage 1 Blatt 7 zeigt die GwGleichen für den unteren, tertiären Aquifer zum Stichtag 11.07.2018, für den oberen, quartären Aquifer zum Stichtag 14.11.2018 sowie die GwBahnlagen einer Vorwärtsberechnung im GwModell (die Bahnlagen starten in bekannten Verdachtsbereichen).

Die o.g. GwGleichen korrelieren sehr gut mit dem Verlauf der berechneten Bahnlagen. Die GwGleichen im oberen, quartären Aquifer zeigen dieselbe Fließrichtung nach SE/SSE wie der untere, tertiäre Aquifer, weist aber ein ca. 5 – 6 m höheres Niveau auf. Dieser quartäre Aquifer bzw. der schluffig-tonige Trennhorizont im Legendensatz etwa in Höhe der GWM 7/2016 (Feidbergstraße 33a) ein, ist aber – wie die GWM Holzweg zeigt (kein Trennhorizont) – unregelmäßig ausgebildet. Die Isotopensignaturen sowohl der flachen als auch der tiefen Messstellen in der Albersstraße (GWM 8/2017 – GWM 11/2017) deuten auf dieselbe Quelle. Dies zeigt, dass die hydraulische Trennung im Bereich GWM 8/2017 bis GWM 11/2017 aufgrund von Sedimentationslücken / hydraulischen Fenstern nicht flächendeckend vorhanden ist.

Die GWM Holzweg (unterer, tertiärer Aquifer) weist, wie auch in vorherigen Untersuchungen in 2007 und 2015, einen Tiefpunkt der GwSpiegelage auf. Der GwSpiegel liegt hier ca. 0,44 m tiefer als in der abströmigen GWM 3/2007 Henchenstraße tief. Hierdurch bedingt weist die konstruierte Fließrichtung in diesem Bereich kleinräumig nach SW, im Bereich der GWM 9/2017 nach SE. Ursache hierfür kann eine GwAbsenkung infolge einer bisher nicht bekannten GwErtnahme sein. Wahrscheinlicher ist aber die Annahme, dass die GWM Holzweg im Bereich eines linienhaften, grobklastischen Schutzstromes liegt, der eine deutlich höhere Durchlässigkeit aufweist. Solche grobklastischen Schutzströme sind in Raum Oberursel bekannt (nachgewiesen z. B. bei dem [REDACTED] 2004 im Zimmersmühlenweg / Gablonzerstraße 112). Mangels Messstellen ober- und unterströmig der GWM Holzweg lässt sich dies jedoch derzeit nicht weiter verfolgen.

4.2 Feldparametermessungen

Im Rahmen der Probenahmen wurden folgende Feldparameter ermittelt:

Tabelle 4-1: Im Rahmen der GwProbenahme gemessene Feldparameterdaten

GWM/Br.	Datum	Temperatur (°C)	Leitfähigkeit (µS/cm)	pH	Sauerstoff (mg/l)	Redox (mV Ag/AgCl)	Redox Eh (mV)	rH
Br. 1	11.07.2018	14,9	385	5,7	3,6	72	265	21,5
Br. 2	11.07.2018	13,8	397	5,5	3,5	116	332	22,8
Br. 3a	11.07.2018	16,4	229	5,8	6,3	49	265	20,8
Br. 4	11.07.2018	17,3	833	8,7	8,2	137	351	26,8
Br. 7	11.07.2018	13,9	389	6,0	4,3	10	224	21,1
GWM 8/2017 flach	10.07.2018	13,6	1.029	5,7	8,6	233	447	27,1
GWM 8/2017 tief	10.07.2018	13,4	1.114	5,5	7,1	271	485	28,0
GWM 10/2017 flach	10.07.2018	13,9	862	5,6	9,7	285	489	28,5
GWM 10/2017 tief	10.07.2018	14,2	847	5,4	9,5	270	464	27,8
GWM 2 Adenauer tief oben	10.07.2018	16,3	494	6,2	1,2	165	309	26,4
GWM 2 Adenauer tief unten	10.07.2018	14,5	1.063	6,0	2,2	221	435	27,2
GWM 2/2007 Eckhardtstr.	10.07.2018	14,0	668	5,2	4,9	265	479	27,2
GWM 3/2007 Eckhardtstr.	10.07.2018	13,6	698	5,6	5,1	292	503	29,0
GWM 3/2007 Henchenstr. flach	10.07.2018	13,8	1.329	6,3	9,7	230	460	28,3
GWM 3/2007 Henchenstr. tief	10.07.2018	13,5	902	6,1	8,7	245	457	28,2
GWM 6/2007 Strackgasse	10.07.2018	14,2	2.450	6,8	1,4	157	371	26,8
GWM 5/2007 Eppsteinerstr.	03.08.2018	21,5	1.766	8,4		209	422	27,5
GWM 4/2007 Im Portugal	10.07.2018	13,9	842	5,6	4,0	232	443	26,8
GW 4 Rolls Royce	10.07.2018	11,9	860	5,1	0,6	192	409	26,4
GWM Holzweg	11.07.2018	14,5	754	5,9	5,7	237	451	27,6

Ag/AgCl mit einer Silber/Silberchlorid-Elektrode vor Ort gemessenes Redoxpotential

E_s: Redoxpotential umgerechnet auf die Normalwasserstoffelektrode

rH: rH = 2 x (E_s/E_h) + 2 pH

E_s: Nernst-Spannung (89,16 mV)



Die Temperaturen sind überwiegend jahreszeitlich und durch die Wärmeabstrahlung in Innenstädten bedingt leicht erhöht. Die GWM 5/2007 Eppsteinerstraße zeigt mit 21,5°C die höchste Temperatur, die auf die Sanierung des Untergrundes auf dem im unmittelbaren Oberstrom gelegenen Altlastengrundstück mittels der Sanierung in-situ-Sanierung (Dampf-Luft-Injektion) zurück zu führen ist. Die jenseits der Straße im Untergrund erreichten Temperaturen von bis zu 90°C machen sich in wenigen 10er m Entfernung aber bereits nur noch sehr gedämpft bemerkbar.

Die Leitfähigkeiten in den untersuchten Brunnen liegen im Normalbereich. Die in den urbanen GWM gemessenen Leitfähigkeiten sind dagegen (w. als deutlich erhöht einzustufen, wobei die GWM 6/2007 Strackgasse mit 2.450 µS/cm die höchste Leitfähigkeit aufweist). Dies deutet auf einen anthropogenen Einfluss (z. B. defekte Kanalisation), der sich vor allem in Bereichen geringer Durchlässigkeit / Verdünnung bemerkbar macht, wie etwa in der Strackgasse.

¹ Auch im Rahmen des IPV im November 2015 wurden in der GWM 6/2007 deutlich erhöhte Leitfähigkeiten gemessen (ca. 1.850 – 2.450 µS/cm).

Die gemessenen pH-Werte (5,2 – 6,8) liegen im schwach sauren Bereich, jedoch noch im Bereich natürlich vorkommender Grundwässer (5,0 – 7,5). Ein Zusammenhang mit der Produktion von HCO₃ durch den mikrobiologischen Abbau der ins Grundwasser eingetragenen organischen Stoffe ist wahrscheinlich.

Die Sauerstoff-Konzentrationen zeigen in den folgenden GWM/Brunnen ein sauerstoffarmes Milieu (<5 mg/l), was mit den Hinweisen aus den Messungen von pH- und Eh-Wert korreliert:

- (1) Br. 1
- (2) Br. 2
- (3) Br. 7
- (4) GWM 2 Adenauer tief (oben und unten)
- (5) GWM 6/2007 Strackgasse (1,4 mg/l → mikrobielle Abbauprozesse)
- (6) GWM 4/2007 Im Portugal
- (7) GW 4 Rolls Royce (0,6 mg/l → mikrobielle Abbauprozesse)

Die Sauerstoff-Konzentrationen in den übrigen GWM/Brunnen sind als grenzwertig zu bezeichnen (GWM 2/2007 und GWM 13/2017), oder zeigen ein sauerstoffreiches Milieu an.

Die Redox-Werte (rH) zeigen für Br. 1, Br. 2, Br. 3a und Br. 7 ein indifferentes Milieu an. Die übrigen rH-Werte zeigen schwach oxidierende Verhältnisse an, was bei den Messstellen mit sauerstoffarmem Milieu (GWM 2 Adenauer tief, GWM 6/2007 Strackgasse, GW 4 Rolls Royce) zunächst widersprüchlich erscheint. Bei erhöhten Nitratkonzentrationen im Grundwasser, die zumindest für die Bereiche der GWM 7/2016 bis GWM 14/2017 nachgewiesen sind (28 – 62 mg/l), können trotz niedriger Sauerstoffgehalte oxidierende Verhältnisse vorliegen.

4.3 Untersuchungen der LCKW

Zur Überprüfung der LCKW-Konzentrationen und -Stoffspektren wurden durch die Isodelect Umweltmonitoring GmbH (Leipzig) die durch Büro HG entnommenen Doppelproben im Labor Synlab (Marktleebberg) auf die 12 maßgeblichsten Vertreter dieser Stoffgruppe analysiert. Der Prüfbericht von Synlab ist dem Isodelect-Bericht in Anlage 4 als Anhang B beigelegt.

Die Ergebnisse von Synlab entsprechen den vorliegenden Messreihen (soweit vorhanden) früherer Untersuchungen an den Probenahmestellen. Eine grafische Umsetzung der von Synlab gemessenen Stoffspektren zeigt die folgende Abbildung 4-1.

Bei der Darstellung fällt die klare PER-Dominanz in den meisten GwProben auf. TRI ist nur in 7 der 20 untersuchten Proben mit einem Anteil von mehr als 10 % vertreten, wobei es sich in den meisten Fällen, insbesondere in GW 4-RR-am-Borkenberg und in GWM-5/2007 in der Eppsteiner Straße, überwiegend um das Ausgangsprodukt handelt, das an den beiden Standorten noch als Phase vorliegt (DNAPL).

In anderen GwProben tritt TRI teilweise als Abbauprodukt auf. Die weiteren Abbauprodukte der Ethene, also cis- / trans-1,2-Dichlorethen und Vinylchlorid (Ethen wurde nicht überprüft) sind lediglich an den Probenahmestellen mit Anteilen über 10 % vertreten, an denen eine längere Verweilzeit im Untergrund und

4.4.2 Altstandorte im Portugal

Das Grundstück der früheren [redacted] befindet sich an der Ecke Hohemarkstraße/ Im Portugal. Ein erster Befund aus dem Jahr 1990 zeigte, dass im Nahbereich ein relevanter LCKW-Eintrag bis in die gesättigte Bodenzone erfolgt sein muss. In GwProben oberstromig des Grundstücks wurden keine relevanten LCKW-Konzentrationen (10 – 20 µg/l) gemessen, während im Abstrom ca. 1.200 µg/l (PER >> CIS > TRI) auftraten. Ob dieser Eintrag auf dem Standort selbst erfolgte, ist allerdings nicht eindeutig nachgewiesen, weil die belastete GWM an der sw-Grenze des Grundstücks lag und Untersuchungen der Bodenluft auf dem Gelände (möglichweise aufgrund einer dort erfolgten BL-Absaugung) nur untergeordnete LCKW-Verunreinigungen nachweisen konnten. Diese GWM wurden im Rahmen des Abbruchs der Gebäude 1994 zerstört, so dass zur GwQualität / LCKW-Belastung lediglich die Ergebnisse einer einzigen Messung vorliegen.

Ein Eintrag / Reservoir auf dem w-angrenzenden Grundstück konnte ebenfalls nicht ausgeschlossen werden, da dort das Unternehmen [redacted] das später für die Altiast in der Eppsteiner Straße verantwortlich war, zeitweilig eine Betriebsstätte unterhalten haben soll. Der Altlastenverdacht für diesen ersten Standort "Im Portugal" [redacted] ist nach Auskunft des RPAUWI zwischenzeitlich aufgehoben, ohne dass dort Untersuchungen durchgeführt worden wären. Ohne eine Überprüfung dieses Sachverhalts ist kein Ausschluss der Verdachtsfläche aus gutachterlicher Sicht aber nicht gerechtfertigt.

In den Jahren 1994 – 2005 war das IWO-Grundstück eine unbefestigte Brachfläche, so dass eine ungehinderte Versickerung von Niederschlagswasser erfolgen konnte. Dadurch war eine Auswaschung eventuell unter den Gebäuden vorhandener LCKW-Reservoirs möglich, so dass in diesem Fall ein Abbau des „Quellterms“ und damit tendenziell ein Rückgang der GwBelastung zu erwarten wäre. Erst 2006 wurde das Grundstück mit einem mehrgeschossigen Wohn- und Geschäftshaus mit Tiefgarage neu bebaut, so dass die GWM 4/2007 auf der gegenüberliegenden Straßenseite errichtet werden musste.

Immissionspumpversuche in 2007 und 2015 zeigten in der GWM 4/2007 LCKW-Summenkonzentrationen von 5.870 bis 8.430 µg/l bzw. 1.310 bis 5.020 µg/l (vgl. Anlage 1 Blatt 8), die diesbezüglichen Frachten wurden auf ca. 35 g/d bzw. 6 - 28 g/d geschätzt (→ jeweils große Fracht), was mit einer Größenordnung von 11 kg/a einem wesentlichen Teil des damaligen Austrags im WW Riedwiese entspricht.

In den aktuellen Laboranalysen wurde in der GWM 4/2007 eine LCKW-Summenkonzentration von 1.204 µg/l ermittelt (> 99% PER, >60 x GFS), was einen weiteren Rückgang des Konzentrationsniveaus andeutet. Die Fracht kann auf ca. 5,5 g/d bzw. 2 kg/a (mittlere Fracht) geschätzt werden, was einem Rückgang gegenüber 2015 um ca. 80% entspricht. Auch in diesem Fall ist neben dem „Ausbluten“ der Quelle eine Folge des extrem trockenen Sommers 2018 möglich, durch den mit einem vernachlässigbaren Sickerwasseranfall aus der ungesättigten Zone sowie mit niedrigeren GwSpiegelanlagen und ggf. auch einer geänderten Anstromsituation der Probenahmestellen zu rechnen ist.

Die Isotopensignaturen deuten auf einen eigenständigen Schadenseintrag direkt oberstromig der GWM 4/2007, was die These des Schadstoffeintrags auf dem Grundstück [redacted] und/oder Grundstück [redacted] bestätigt.

Die Analysen bestätigen, dass im Zustrombereich der GWM 4/2007 weiterhin ein relevantes LCKW-Reservoir vorhanden ist. Der Schadenseintrag muss jedoch nicht zwingend auf dem Altstandort [redacted] liegen, dessen Abstrom aufgrund der Gwf-ileitfähigkeit nur randlich erfasst wird. Es deutet sich hier nämlich eine höher durchlässige Rinnestruktur etwa parallel zur Hohemarkstraße an, die auf einen Anstrom der GWM aus NW hinweist. Dies lässt in Übereinstimmung mit den früheren Untersuchungsergebnissen auf dem Gelände, darauf schließen, dass der Schadenseintrag auch auf dem w-angrenzenden Grundstück [redacted] liegen könnte.

Dies würde die o. g. Befunde in den beiden zerstörten GWM erklären. Für eine Lokalisierung und Abgrenzung des LCKW-Reservoirs wären weitere Bohrungen / DP-Sondierungen erforderlich, die angesichts der Bebauung nur eingeschränkt durchführbar sind. Bereits in unseren Gutachten vom 06.09.2016 /35/ und 09.01.2018 /36/ wurde zur Absicherung der Befunde bzw. zum Abschluss einer oberstromigen Quelle die Errichtung weiterer GWM (z. B. in der Philipp-Reis-Straße) vorgeschlagen.

4.4.3 Altstandorte in der oberen Feldbergstraße

Nordwestlich der Eckardt- und nordöstlich der Feldbergstraße befanden sich in der Vergangenheit mehrere metallverarbeitende Unternehmen, die LCKW eingesetzt haben dürften:

- (1) Feldbergstraße [redacted] u.a. Maschinenfabrik [redacted], Herstellung von Exzentriernpressen.
- (2) Feldbergstraße [redacted] Maschinenfabrik [redacted], Herstellung von Schuh- und Verpackungsmaschinen.
- (3) Eckardtstraße [redacted], Herstellung von Schuhmaschinen und Werkzeugzeugen).

Anhand der im Zeitraum 2004 – 2007 durchgeführten Untersuchungen ergaben sich folgende Erkenntnisse (vgl. Anlage 1 Blatt 8 / 11, / 16):

- (1) Es ist davon auszugehen, dass auf einem oder mehreren der betreffenden Grundstücke ne der Feldbergstraße ein Eintrag relevanter Mengen an PER erfolgte. Da oberstromig keine in Frage kommenden Betriebe oder Altstandorte bekannt sind, ist zu bezweifeln, dass die in der Eckardtstraße nachgewiesene LCKW-Belastung aus größerer Entfernung zuströmt. Mangels oberstromiger GWM kann diese Möglichkeit allerdings auch nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.
- (2) Konkrete Hinweise auf Lager- und Handhabungsbereiche liegen gemäß Ergebnisbericht der Einzelfallrecherche /25/ nicht vor. Lager für Betriebsmittel und Abfallprodukte, Umschlags- und Einsatzbereiche können grundsätzlich an verschiedenen / zeitlich wechselnden Teilflächen existiert haben. Außerdem ist erfahrungsgemäß ein Eintrag über die (frühere) Kanalisation zu besorgen, der ausgehend von den primären Eintragsbereichen zu sekundären linienhaften Untergrundbelastungen geführt haben kann.

Abz: [redacted]
LKW-! Lager!
Quelle: RP)

(3) Das Stoffspektrum im Grundwasser zeigt deutlich die Abbaukette PER - TRI - CIS, was auf hier bereits reichsweise geeignete Milieubedingungen hinweist¹. Dies deckt sich mit der Einschätzung, dass die industrielle Produktion auf den Flächen wahrscheinlich bereits Anfang der 1980er Jahre beendet war.

(4) Vor dem Hintergrund, dass über 20 Jahre nach dem Ende des vermuteten LCKW-Eintrags im Abstrom noch Konzentrationen gemessen wurden, die ein Mehrfaches der GFS-Werte nach [23] betragen (bis 470 µg/l), muss davon ausgegangen werden, dass auf der / den Fläche(n) in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone noch ein beträchtliches Reservoir an LCKW vorhanden ist.

Immissionspumpversuche in 2007 und 2015 zeigten LCKW-Summenkonzentrationen von 215 bis 470 µg/l bzw. 147 bis 186 µg/l, die diesbezüglichen Frachten wurden auf ca. 9 g/d bzw. 7,5 – 9,5 g/d geschätzt (→ jeweils mittlere Fracht).

In den aktuellen Laboranalysen wurde eine LCKW-Summenkonzentration von 40 µg/l (2 x GFS) in der GWM 2/2007 und 151 µg/l (>7,5 GFS) in der GWM 13/2017 ermittelt (>97% bzw. >86% PER), was einen LCKW-Rückgang in der GWM 2/2007 zeigt. Die diesbezügliche Fracht kann auf Basis des IPV in 2018 /37/ auf ca. 0,4 g/d (kleine Fracht) in der GWM 2/2007 und ca. 23 g/d (große Fracht) in der GWM 13/2017 geschätzt werden. Die Gesamtfracht dürfte bei einer angenommenen Gesamtabstrombreite von ca. 120 m zumindest 55 g/d (große Fracht) betragen, entsprechend ca. 20 kg/a.

Erwähnenswert ist, dass das Grundwasser aus der neu errichteten GWM 12/2017 (Feldbergstraße) im Verlauf des IPV im August 2018 /37/ ein völlig anderes Spektrum aufweist. Hier zeigt sich eine TRI-Dominanz (~ 60%). Der Anteil an PER beträgt etwa 35%. Das Abbauprodukt CIS weist einen Anteil von ca. 4% auf, VC wurde nicht nachgewiesen. TRI kann sowohl verwendetes Primärprodukt als auch Abbauprodukt von PER sein. Da die Milieubedingungen in der GWM 12/2017 denen der anderen beiden Messstellen gleichen und dort kein signifikanter Abbau von PER zu TRI festzustellen ist, ist davon auszugehen, dass auch im Zustrombereich der GWM 12/2017 keine signifikanten Abbauprozesse stattfinden. Vielmehr deuten die vorliegenden Analysedaten auf eine separate Quelle hin. Aufgrund der vorherrschenden Grundwasserfließrichtung von NW nach SE kommen als Quelle das ehem. Fabrikgebäude **[REDACTED]** und das Fabrikgebäude **[REDACTED]** in Frage. Allerdings liegen die vorgenannten Gebäude gemäß den Bahnlinien aus dem GWM-Modell eher im seitlichen Anstrom, so dass eine Ausdehnung dieser TRI-Fahne weiter nach NW wahrscheinlich ist. Mangels oberstromiger GWM kann auch die Möglichkeit des Zustroms aus größerer Entfernung nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

4.4.4 Altlast Eppsteinerstraße und Bereich Strackgasse

Der Standort befindet sich im Kern der Altstadt von Oberursel in der Eppsteiner Straße. In den Jahren 1953 - 1976 wurden im n. Teil des Grundstücks Korrosionsschutzmittel hergestellt und dazu auch eine Anlage zur Aufbereitung verunreinigter Lösemittel betrieben (i. wes. PER und TRI). Im Rahmen der Altlastsanierrung wurde die Liegenschaft von der Stadt Oberursel in den 1980er Jahren gekauft.

¹ Erfahrungsgemäß ist dafür ein biologisch besser abbaubares Cosubstrat erforderlich, z. B. Mineralölprodukte, Abwasser aus defekten Kanälen u. ä. In entsprechenden Reaktionszonen kann ein Abbau sehr rasch erfolgen, während sich anderenorts LCKW-Fahnen über große Entfernungen ohne Änderung des Stoffspektrums verfolgen lassen.

² <http://www.oberursel.de/index.php?id=1732>

Eine erste umwelttechnische Untersuchung in 2002 wies im Bereich des abgebrochenen Betriebsgebäudes des Verunreinigungen von Boden und Bodenluft durch LCKW und BTEX nach, wobei die maximalen LCKW-Konzentrationen den Verdacht einer GwVerunreinigung begründeten. Ein weiterer Handlungsbedarf ergab sich aus den relevanten LCKW-Konzentrationen, die in der Raumluft des vorhandenen Wohngebäudes nachgewiesen wurden /16/.

Im Jahr 2007 wurde im Abstrom des Altstandorts die GWM 5/2007 errichtet und in Folge ein 2-wöchiger IPV durchgeführt.

Die LCKW-Konzentration erreichte im Verlauf des IPV 2007 ein sehr hohes Niveau mit Werten um 16.000 µg/l und es wurde eine große Lösemittelfracht von >50 g/d ermittelt. Anhand der Analysen wurde nachgewiesen, dass auf dem Altstandort Eppsteiner Straße **[REDACTED]** und in dessen Umfeld ein sehr großes DNAPL-Reservoir vorhanden sein musste.

In der Folge wurde darauf hingewiesen, dass die Masse an LCKW-Phase (DNAPL) auf und im Umfeld des Altstandorts eine Größenordnung >10 t erreichen kann, die wahrscheinlich auch in Pflätzen an der Basis der Lockergesteinsauflage vorliegt, deren Lage / Ausdehnung und Migrationswege nur mittels ergänzender Untersuchungen nachweisbar sind, wobei die Möglichkeiten zur Erkundung des dafür maßgeblichen Reileits der Festgesteinsoberfläche durch die enge Bebauung in der Altstadt und den bohrtechnisch schwierigen Untergrund begrenzt sind.

Das Stoffspektrum veränderte sich im Verlauf des IPV 2007 nicht nennenswert. Es war geprägt von einer TRI-Dominanz (80%) mit ca. 15% PER und 2-3% CIS sowie VC-Konzentrationen bis zu 74 µg/l. Damit liegen Hinweise auf einen Abbau im Eintragsbereich vor, was vor dem Hintergrund des in den Untergrund gelangten Stoffgemischs plausibel ist.

In den aktuellen Laboranalysen wurde in der GWM 5/2007 eine LCKW-Summenkonzentration von 68.023 µg/l ermittelt (>3.400 x GFS mit >70% TRI), was eine deutliche LCKW-Zunahme darstellt. Die diesbezügliche Fracht kann auf >200 g/d bzw. >70 kg/a (große Fracht) geschätzt werden und belegt eine Zunahme der Fracht gegenüber 2015 um ca. 400%. Die Zunahme der LCKW-Konzentration und -Fracht dürfte mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die seit mehreren Jahren laufende Sanierung des Altlast-Grundstücks mittels Dampf-Luft-Injektion zurück zu führen sein, bei der es zur Mobilisation der Schadstoffreservoirs kommt. Die GWM 5/2007 ist in die Sanierungsmaßnahmen integriert (Abpumpen und Reinigen des hochkontaminierten Grundwassers), wodurch zumindest im Nahbereich der Altlast eine GwSicherung erfolgt. Aufgrund der vermachlässigbaren Pumpraten in der GWM 5/2007 dürfte jedoch nur ein eng begrenzter Teil der Schadstofffrache erfasst werden. Eine relevante Minderung des DNAPL-Reservoirs an der Basis des oberen GwLeiters ist dadurch nicht zu erwarten.

Die Isotopensignatur und die Schadstoffkonzentrationen deuten auf einen eigenständigen Schadenstherd direkt oberstromig der GWM 5/2007 hin. Dies bestätigt die bisherigen Erkenntnisse zum Standort Eppsteinerstraße

In der s' der GWM 5/2007 gelegenen GWM 6/2007 (Strackgasse) wurde eine LCKW-Summenkonzentration von 139 µg/l ermittelt (43% PER, 30% TRI, 20% TRANS und 7% CIS). Die Isotopensignatur

deutet auf einen Zustrom von der Allst Eppsteinerstraße. Aufgrund der hydrogeologischen Situation liegt die GWM 6/2007 wahrscheinlich im Randbereich der bereits in früheren Gutachten /95/ vermuteten Schadstofffahne der Allst Eppsteiner Straße, wobei eine Überlagerung mit Einflüssen einer näher gelegenen Eintragsstelle von PER () wahrscheinlich ist.

4.4.5 Bereich Holzweg / Henchenstraße

Seit 1994 die ersten Beobachtungen in der GWM 2_{ober} Adenauerallee zeigten, dass aus dem zentralen Stadtgebiet von Oberursel erhebliche LCKW-Frachten in Richtung des WW Riedwiese strömen, wurde die Suche nach möglichen Eintragsstellen intensiviert und vertiefende Untersuchungen durchgeführt.

Im Zustrombereich der GWM 2_{ober} und KB 1_{nah} in der Adenauerallee konnten 2002 mittels IPV, Bohrlochgeophysik und tiefenzonierter GwProbenahme zumindest zwei Fahnen identifiziert werden: eine oberflächennahe PER-Fahne mit Konzentrationen >1.000 µg/l und eine tiefere TRI-Fahne, deren Konzentrationsniveau im Verlauf von 10 Jahren von ca. 60 auf 300 µg/l anstieg /10/. Es wurde aufgrund der unterschiedlichen Tiefenlage von zwei Eintragsbereichen ausgegangen, wobei im Falle der TRI-Belastung ein Zusammenhang mit der bereits bekannten TRI-dominierten Allst in der Eppsteiner Straße vermutet wurde.

Mit den damaligen Untersuchungen wurde auch nachgewiesen, dass die tiefe GWM 2 aufgrund ihres Ausbaus einen hydraulischen Kurzschluss zwischen dem wasserwirtschaftlich irrelevanten oberen und dem genutzten unteren GwLeiter herstellt, durch den es zu einer kontinuierlichen Vertikalströmung von oben nach unten kommt. Die Hydrochemie der Wassersäule in der GWM wird dadurch von der oberen, PER-dominierten Zustromkomponente bestimmt, der maßgebliche Einfluss des unteren GwLeiters ist nur bei längerer und / oder stärkerer GwEntnahme erkennbar, im Rahmen üblicher GwProbenahmen jedoch nicht.

Bezüglich der PER-Quelle war ein Zusammenhang mit einem Eintrag in der näheren Umgebung wahrscheinlich, wobei 2007 anhand des Altstandort-Katasters eine ehem. chemische Reinigung (CR) in der Kumeliusstraße, eine ehem. Pelzhandlung an der Ecke Kumelius- / Henchenstraße sowie eine ehem. CR in der Feldbergstraße identifiziert wurden. Zwischenzeitlich muss als weiterer wahrscheinlicher Eintragsbereich für LCKW die ehemalige (Schuh-) Maschinenfabrik () berücksichtigt werden, die sich von ca. 1900 bis 1970 in der Feldbergstraße entlang der Kumeliusstraße befunden hat (Anlage 1 Blatt 4).

Der IPV in der GWM 2 tief Adenauerallee im Jahr 2002 belegte mit LCKW-Summenkonzentrationen zwischen 295 und 252 µg/l eine TRI-Dominanz (vgl. Anlage 1 Blatt 8). Im Gegensatz hierzu zeigte der IPV in 2015 mit LCKW-Summenkonzentrationen zwischen 95 und 66 µg/l eine deutliche PER-Dominanz, was auf den oben beschriebenen Zusammenhang zurückzuführen ist.

Die von 2003 – 2007 erfolgten Untersuchungen kamen zum Ergebnis, dass an den Standorten in der Henchenstraße keine relevanten Schadstoffeinträge stattgefunden haben. Als mögliche Eintragsstelle wurde der Bereich der ehem. () in der Feldbergstraße lokalisiert, da hier in GwProben aus einer DP-Sondierung LCKW-Summenkonzentrationen von 90 – 120 µg/l gemessen wurden, mit der gesuchten und erwarteten PER-Dominanz.

Diese Verdachtsfläche wurde 2015 einer Orientierenden Untersuchung unterzogen /28/. Dabei wurden im Boden und in der Bodenluft teilweise deutliche Belastungen durch LCKW nachgewiesen. Das Maximum wies eine Bodenprobe aus der Probenahmestelle KRB 3 se' des Gebäudes auf, wo in einer Tiefe >5 m ein PER-Gehalt von 290 mg/kg nachweisbar war, korrelierend mit einer Bodenluftkonzentration von 8,2 g/m³ in 0,5 - 4,0 m Tiefe. Die Ergebnisse belegen zweifelhaft den Eintrag von LCKW in das Schutzgut Boden auf dem untersuchten Grundstück, den vorliegenden Daten zufolge wahrscheinlich ganz oder tw. über die Kanalisation und nicht notwendigerweise an der Erdoberfläche. Im Ergebnis dieser OU wurde ein Gefährdungspotenzial über den Wirkungspfad Boden-Grundwasser gesehen.

Es wurde daher beschlossen, dort eine Messstelle (GWM 7/2016 flach und GWM 7/2016 tief) zu installieren, um die Annahme einer schwerwiegenden GwVerunreinigung an diesem Altstandort zu verifizieren. Die Ergebnisse der zwischenzeitlich erfolgten Untersuchung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Im Bereich des Standorts wurde in ca. 12 - 20 m uGOK eine tonig-schluffige Wechselfolge angetroffen, die sehr wahrscheinlich dem Trennhorizont entspricht, dessen Mächtigkeit nach SE bis auf >30 m im Bereich Riedwiese zunimmt. Es ist allerdings wahrscheinlich, dass diese hydraulische Barriere auf Höhe der Kumeliusstraße noch hydraulische Fenster aufweist.
- Über der Wechselfolge ist ein geringmächtiges schwebendes GwStockwerk ausgebildet, in dem eine LCKW-Belastung von ca. 530 µg/l (GWM 7/2016 flach) und damit ein Eintrag auf dem Standort nachgewiesen werden konnte.
- Aufgrund der geringen Wassersäule / Ergiebigkeit dieses oberen GwStockwerks war an der darin installierten flachen GWM kein PV durchführbar. Welche räumliche Ausdehnung diese Verunreinigung hat und wohin die LCKW-Fracht abfließt (GWM Adenauerallee?), lässt sich anhand des punktuellen Werts nicht beurteilen.
- In den Proben aus der GWM 7/2016 tief wurden lediglich Summenkonzentrationen von ca. 40 µg/l gemessen, was darauf zurückzuführen ist, dass sich der oberflächennahe LCKW-Eintrag zunächst dem schwebenden GwLeiter mittelt und den Kapillarsaum des Hauptstockwerks nicht notwendigerweise im Nahbereich des Standorts erreicht. Ob darin im Rahmen eines IPV höhere Konzentrationen / Frachten nachweisbar wären, sollte durch zukünftige Untersuchungen geklärt werden.
- Hauptkontaminant in beiden GwStockwerken ist, wie in der KB 1 Adenauerallee, Tetrachlorethen mit Anteilen von 90 - 95%, der TRI-Anteil beträgt ≤7%. Abbauprodukte wie CIS und VC treten nur in Anteilen <2% auf. Dieser Befund belegt zusammen mit den ermittelten hydrochemischen Milieubedingungen (aerob, indifferentes Redox-System), dass im Bereich der Messstelle GWM 7/2016 kein signifikanter Abbau (Dehalogenierung) stattfindet.
- Mittels der Untersuchung des Spurengases SF₆ konnte für die GwProbe aus dem Hauptstockwerk ein Modellalter von 25 Jahren ermittelt werden, was dem der GwProben im Umfeld entspricht, außerdem ist hier auch die F12-Anomalie nachweisbar, die sich erstmals in der oberstromigen GWM Eckardtstraße zeigt. Ein räumlicher Zusammenhang der F12-Fahne wurde angenommen.
- Ein in 2017 durchgeführter IPV in der GWM 7/2016 tief /37/ zeigte eine gleichbleibende, durchschnittliche LCKW-Summenkonzentration von ca. 35 µg/l (>97% PER). Die Schadstofffracht ist mit 0,75 g/d als klein einzustufen.

Die in größerer Tiefe verlaufende und deswegen aus größerer Entfernung stammende TRI-Fahne konnte 2004 mit Hilfe der GWM Holzweg lokalisiert und näher quantifiziert werden /14/. Zu Beginn wurden hier

LCKW-Summenkonzentrationen von 300 – 500 µg/l mit einer TRI-Dominanz von ca. 80% gemessen. In 2007 lagen die LCKW-Summenkonzentrationen bei 190 - 350 µg/l, in 2015 zwischen 56 und 71 µg/l, wobei die Analysedaten aus 2015 eine Änderung des Schadstoffspektrums zu einer PER-Dominanz belegen. In den aktuellen Laboranalysen wurde in der GWM Holzweg eine LCKW-Summenkonzentration von nur noch 42 µg/l (>2 x GFS, >80% PER) gemessen.

Die in 2018 überprüfte Isotopensignatur in der GWM Holzweg deutet auf einen Zustrom von den Altstandorten Eppsteinerstraße sowie im Portugall und/oder Eckhardtstraße. Aufgrund der hydrogeologischen Situation werden diese Befunde dahingehend interpretiert, dass die GWM im Randbereich der LCKW-Fahnen sowohl der TRI-dominierten Altlast Eppsteiner Straße liegt, als auch der PER-dominierten Altstandorte im Portugall (GWM 4/2007) und obere Feldbergstraße (GWM 12/2017). Welcher Schadstoff in der GWM Holzweg dominiert, hängt also davon ab, welche Quelle je nach GWF-Fließrichtung mehr im Zustrombereich liegt.

Dass sich der Einfluss der Eppsteinerstraße in 2004 noch deutlich stärker bemerkbar machte als in den folgenden Probenahmen dürfte überwiegend auf die Schwankungen der Anstromsituation dieser GWM zurückzuführen sein. Außerdem ist ein Einfluss der Sanierungsmaßnahmen nicht auszuschließen. Welche LCKW-Frachten im Zustrombereich der GWM Holzweg aktuell noch abfließen wäre mittels eines weiteren IPV zu überprüfen, der hier bislang noch nicht durchgeführt worden ist.

Zum Abschluss der ersten Erkundungsphase wurden zwischen der Feldbergstraße und der Adenauerallee die tiefe GWM 3/2007 und die flache GWM 3.2/2007 in der Henchenstraße errichtet¹. Während im oberflächennahen GwLeiter keine relevante LCKW-Belastung nachgewiesen wurde, stiegen die LCKW-Konzentrationen im tieferen GwLeiter im Rahmen des 2007 durchgeführten IPV von 40 auf >100 µg/l mit einer Dominanz von PER /16/, aber steigendem TRI-Anteil.

Aus heutiger Sicht werden die damaligen Befunde analog zur oberstromigen GWM Holzweg interpretiert. Auch die GWM Henchenstraße liegt im Randbereich der LCKW-Fahnen sowohl der TRI-dominierten Altlast Eppsteiner Straße, als auch der PER-dominierten Altstandorte im Portugall (GWM 4/2007) und obere Feldbergstraße (GWM 12/2017), wobei Konzentrationsniveau und Stoffspektrum stark von der Anstromsituation der GWM bei der jeweiligen Probenahme bestimmt werden.

In den aktuellen Laboranalysen wurden in der GWM 3.2/2007 flach nur eine LCKW-Summenkonzentration von 2,8 µg/l (< GFS, 100% PER) und in der GWM 3/2007 tief von 8,9 µg/l (<GFS, 100% PER) analysiert. Die zurückgehenden LCKW-Konzentrationen lassen auf eine abnehmende Fracht schließen, die allerdings analog zu den zuvor besprochenen GWM u. U. auch durch den extrem trockenen Sommer 2018 beeinflusst sein könnten.

Die Isotopensignaturen in der GWM 3/2007 tief Henchenstraße und GWM 3.2/2007 flach Henchenstraße deuten auf einen LCKW-Zustrom von den Verdachtsflächen im Portugall und Eckhardtstraße bzw. der Altlast Eppsteinerstraße. Ein eindeutiger Einfluss der Eppsteiner Straße ist hier aufgrund der in den aktuellen GwProben fehlenden TRI-Komponente nicht nachweisbar, der PER-Anteil könnte sowohl aus

¹ Da in diesem Bereich der nach SE mächtigere werdende hydraulische Trennhorizont einsetzt, wurde hier bereits ein geringmächtiger schwebendes GwStockwerk angebohrt und eine tiefengestaffelte GWM-Gruppe installiert.

hydrogeologischer Sicht, als auch anhand des Isotopen-Spektrums aus den Altstandorten im Portugall (GWM 4/2007) und obere Feldbergstraße (GWM 12/2017) stammen.

4.4.6 Altstandort [REDACTED]

Wie bereits beschrieben, wird als maßgebliche Quelle der oberflächennahen PER-Fahne in der GWM 2 tief Adenauerallee der Altstandort der ehemaligen (Schuh-) Maschinenfabrik [REDACTED] (Kumelius-, Feldberg-, Alberus-, Berlinerstraße) vermutet. Dieser Standort wurde in früheren Untersuchungen nicht berücksichtigt, weil er im ALTIS-Kataster des RPAUWI damals nicht erfasst war und deswegen unbekannt blieb. Im Gegensatz zu der ehemaligen chemischen Reinigung in der Feldbergstraße [REDACTED]

In 2017 wurden im Rahmen eines Auftrags des RPAUWI im Abstrom des Altstandortes [REDACTED] 4 Grundwasserstellen als Doppelwasserstellen errichtet (GWM 8/2017, GWM 9/2017, GWM 10/2017 und GWM 11/2017, jeweils Suffix „flach“ = oberer, quartärer Aquifer, Durchmesser DN 50; Suffix „tief“ = tieferer, tertiärer Aquifer, Durchmesser DN 100). In den tiefen GWM wurde im Zeitraum Oktober 2017 bis Februar 2018 nacheinander jeweils ein 20-tägiger IPV durchgeführt. In den flachen Messstellen konnte aufgrund der geringen Wassermenge in der Messstelle und des geringen Wassermachflusses jeweils nur eine Schöpfprobe entnommen werden. Die Ergebnisse der IPV und Probenahmen sind im Gutachten /37/ dokumentiert, sie werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 4-2: LCKW-Konzentrationen und Frachten in GWM 8/2017 bis GWM 11/2017

	GWM 8/2017		GWM 9/2017		GWM 10/2017		GWM 11/2017		GWM 11/2017	
	flach	tief	flach	tief	flach	tief	flach	tief	flach	tief
(%) Konzentration	28.03.2018	11/2017	28.03.2018	01/2018	28.03.2018	12/2017	28.03.2018	02/2018	28.03.2018	02/2018
LCKW-Summe [µg/l]	339	80	321	170	170	170	170	0,6	205	205
Fracht im Abstrom [g/d]	>91% PER	>80% PER	>74% PER	>88% PER	>81% PER	>88% PER	>88% PER	100% PER	>84% PER	>84% PER
	-	0,91	-	8,81	-	0,1	-	-	-	1,86

Die Gesamtfracht der vier GWM in der Alberusstraße beträgt ca. 12 g/d und ist somit als große Fracht einzustufen. Diese Gesamtfracht ergibt sich aus der Addition der Einzelfrachten. Hierbei wurden die rechnerisch ermittelten Zustrombereiche berücksichtigt, die von den einzelnen IPV erfasst wurden; in der Summe ergeben sich daraus zwar 170 m, aufgrund der Inhomogenität und Anisotropie der Lockergesteine kann aber trotzdem nicht als gesichert gelten, dass der gesamte Durchflussquerschnitt erfasst worden ist, obwohl die rechnerisch ermittelten Zustrombereiche sich teilweise überlagern (ca. 30 %).

Die tatsächliche Gesamtfracht im Durchflussquerschnitt unter der hydraulischen Barriere könnte tendenziell etwas geringer sein und bei einer angenommenen Gesamtabstrombreite von ca. 120 m auch weniger als 10 g/d bzw. 3,6 kg/a betragen (= mittlere Fracht).

Analog zur Situation in der Eckhardtstraße ist auch in diesem Fall keine Abgrenzung der Fahne nach W gelungen, so dass davon ausgegangen werden muss, dass in der unteren Feldbergstraße noch relevante LCKW-Konzentrationen nachweisbar wären (vgl. GWM 12/2017). Die Gesamtfracht aus dem Standort dürfte daher höher sein, zumal nicht als sicher gelten kann, dass die Kontamination des GwLeiters bereits tiefer reicht.

Tabelle 4-3: Vergleich der LCKW-Konzentrationen in GWM 8/2017 und GWM 10/2017

	GWM 8/2017 flach	GWM 8/2017 tief	GWM 10/2017 flach	GWM 10/2017 tief
(2) Konzentration LCKW-Summe [µg/l]	339	80	17,2	170
IPV 03/2017 - 12/2017	>91% PER	>95% PER	>91% PER	>83% PER
Konzentration LCKW-Summe [µg/l]	199	236	16	51
Probenahme 11.07.2018	>91% PER	>93% PER	>91% PER	>83% PER

Aus dem oben dargestellten Vergleich der LCKW-Konzentrationen in GWM 8/2017 und GWM 10/2017 können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- (1) Auf dem Altstandort [redacted] ist ein maßgeblicher LCKW-Eintrag in den Untergrund erfolgt, wobei es sich überwiegend um PER gehandelt hat.
- (2) Die große Breite der Fahne lässt darauf schließen, dass wie in anderen Schadenstufen ein wesentlicher Eintrag nicht nur in den Lager- und Handhabungsbereichen des Betriebs erfolgte, sondern auch über die damalige Kanalisation, so dass sich die offenbar auch Jahrzehnte nach Ende des Eintrags noch im Untergrund vorhandenen LCKW-Reservoirs über eine große Fläche verteilen.
- (3) Die im GwSchwankungsbereich vorhandenen Reservoirs teilen sich zwangsläufig zunächst dem oberen Gw-Leiter mit, wobei der Schwerpunkt in diesem geringmächtigen Tiefenbereich im W-Teil des Standorts zu liegen scheint. Wie bereits erwähnt, lassen die Maximalwerte in GWM 8/2017 flach darauf schließen, dass auch in der unteren Feldbergstraße noch relevante LCKW-Konzentrationen nachweisbar wären. Hier wird ein Zusammenhang mit den 2002 im IPV an der flachen GWM KB 1 Adenauerallee festgestellten Werten > 1 mg/l (i. wes. PER) gesehen. Diese Größenordnung wurde im IPV 2016 nicht erreicht, was allerdings auf die gegenüber 2002 deutlich geringere Förderate zurückzuführen sein dürfte (ca. 0,5 : 0,2 l/s) und den dadurch kleineren Zustrombereich, der den mutmaßlich etwas östlich von KB 1 verlaufenden Kern der PER-Fahne nicht erfasste.
- (4) Die Existenz kleinräumiger DNAPL-Reservoirs ist angesichts des als Indikator dafür dienenden Orientierungswerts der 1%-Sättigungskonzentration, die bei PER 1 mg/l beträgt, zumindest im oberflächennahen Bereich relativ wahrscheinlich und im Bereich des Trennhorizonts nicht auszuschließen.
- (5) Die LCKW-Konzentrationen in den tiefen GWM zeigen deutliche Unterschiede und damit eine erwartungsgemäß inhomogene Verteilung der Reservoirs und der Ausbreitung gelöster Anteil. Das macht sich auch in Veränderungen der Konzentrationsniveaus im Rahmen des IPV bemerkbar, insbesondere in GWM 8/2017. Diese Befunde bestätigen die Wichtigkeit von IPV, bei denen oftmals erst im Verlauf des Pumpbetriebs die tatsächliche Belastung ermittelt werden kann.

Die Isotopensignaturen der flachen und tiefen GWM deuten auf dieselbe Quelle auf der Verdachtsfläche [redacted]. Ein Zustrom von der Verdachtsfläche im Portugall (WO) ist nicht auszuschließen. Ein LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Obere Feldbergstraße zur GWM 8/2017 ist jedoch auszuschließen.

Aufgrund der hydrogeologischen Situation liegt die Verdachtsfläche im Portugall [redacted] aber nicht im Anstrom der GWM 8/2017 bis GWM 11/2017 und den Bahnlinien aus dem GwModell zufolge ist ein Einfluss des Abstroms vom Altstandort obere Feldbergstraße nur für die GWM 8/2017 möglich (vgl. GwGleichenplan Anlage 1 Blatt 7). Mangeln oberstromiger GWM in der Kumeliusstraße kann die Möglichkeit des Zustroms vom Altstandort Obere Feldbergstraße nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Unter Berücksichtigung der Tiefenverlagerung der von dort ausgehenden Stromfläden könnte ein solcher Einfluss allerdings nur von untergeordneter Bedeutung sein. Der für die GwKontamination in den GWM Abersusstraße maßgebliche LCKW-Eintrag ist auf dem Altstandort [redacted] erfolgt.

4.4.7 Bereich Adenauerallee

In früheren Untersuchungen /10/ wurde vermutet, dass die in 2002 ermittelten hohen LCKW-Konzentrationen bis über 1.000 µg/l in der KB 1 flach (Adenauerallee, vgl. /10/ und Anlage 1 Blatt 8) ihren Ursprung im Bereich der ehem. Chem. Reinigung [redacted] (Feldbergstraße) oder obere Feldbergstraße haben, weil die Verdachtsfläche [redacted] zu dieser Zeit noch nicht bekannt war. Die derzeitigen LCKW-Konzentrationen in der KB 1 flach wurden im Rahmen des vorliegenden Berichts nicht untersucht. Insofern ergeben sich aus den aktuell durchgeführten Untersuchungen keine Erkenntnisse, die der o.g. These widersprechen würden.

Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass insbesondere aus dem W-Teil des Altstandorts [redacted] eine maßgebliche PER-Fracht in den Bereich Adenauerallee abfließt und sich dort in den beiden GWM bemerkbar macht.

Bei der GWM 2 tief Adenauerallee ist aufgrund der durchgehenden Verkiesung des Ringraumes (hydraulischer Kurzschluss zwischen oberem und unterem Gw-Leiter), wodurch es zu Tiefenverlagerung von LCKW vom oberen, quartären Aquifer in den tieferen, tertiären Aquifer kommt, die Art der Probenahme ausschlaggebend für die Beschaffenheit der entnommenen GwProben. Die vertikalen Ausgleichsströmungen führen zu einer Homogenisierung der Wassersäule und zu einer Verfälschung des Belastungsbildes. Zur Verifizierung und Quantifizierung dieser Vertikalströmung wird die Messstellenbefahrung mittels Thermo-Flowmeter¹ empfohlen. Die aktuelle GwBeprobung erfolgte daher tiefenorientiert (obere und untere Filterstrecke) im Low-Flow-Sampling-Verfahren².

In den aktuellen Laboranalysen wurden LCKW-Summenkonzentrationen von 177 µg/l (oben) und 65 µg/l (unten) ermittelt. In beiden Niveaus zeigt sich in Übereinstimmung mit dem Ergebnis des IPV in 2015 eine PER-Dominanz (>90% bzw. >86%). Die in 2002 in der GWM 2 tief feststellbare, in größerer Tiefe verlaufende und deswegen aus größerer Entfernung stammende TRI-Fahne konnte 2007 noch in der GWM Holzweg lokalisiert werden. Zwischen 2007 und 2015 änderte sich das Schadstoffspektrum in der GWM Holzweg von einer TRI- zu einer PER-Dominanz. Auch in den aktuellen Analysen zeigt sich in beiden Probenahmehöhe der GWM 2 tief eine PER-Dominanz. Dies kann zwei mögliche Ursachen haben:

- > Zum einen kann der Spektrumwechsel auf ein Ausbluten der TRI-Quelle zurückgeführt werden.
- > Wahrscheinlicher ist unter Berücksichtigung der Änderungen auch in den GWM Holzweg und Henchenstraße sowie der seit 2010 rückläufigen TRI-Frachten im WW Riedwiese eine Änderung des Fließregimes (vgl. Kap. 4.1), wodurch sich die von der TRI-Quelle ausgehende Fahne nach W verlagert hat, so dass die o. g. GWM und die Brunnen im Randbereich liegen.

¹ Das Thermo-Flowmeter ist ein Messgerät zur hoch- auflösenden Messung vertikaler Grundwasserströmungen. Damit können selbst kleinste Fließbewegungen in Bohrungen, Grundwassermetrelen und Brunnen quantitativ zuverlässig gemessen werden.
² Probenahme mit geringstmöglicher Pumptrate → quasi-tiefenorientierte Probenahme.

Ursächlich hierfür könnte wiederum die seit 2010 rückläufige GwEntnahme aus dem WW Riedwiese sein, die insbesondere durch den Rückgang an Br. 1 bedingt ist und die erst durch die Inbetriebnahme des neuen Brunnens Br. 3a kompensiert werden konnte, der allerdings nicht den gleichen Zustrombereich erschließen dürfte.

Die Isotopensignaturen deuten auf verschiedene, eigenständige Quellen. Ein LCKW-Zustrom von der oberstromigen Verdachtsfläche Albersstraße nach GWM 2 tief und ein vertikaler Zustrom von GWM 2 tief oben nach GWM 2 tief unten sind auch anhand der Analysedaten wahrscheinlich. Gemäß Isodetect kann für GWM 2 oben ein Zustrom von allen bekannten oberstromigen Verdachtsflächen ausgeschlossen werden, was auf eine bisher unbekannte Quelle deutet und allen bisherigen Annahmen zur Schadstoffherkunft widerspricht. Diese unbekannte Quelle müsste sich aufgrund der hydrogeologischen Situation etwa zwischen der GWM 2 Adenauerallee und der GWM 3/2007 Henchenstraße befinden, da im Bereich der ehemaligen chemischen Reinigung (Kumellusstraße) keine signifikanten Belastungen gefunden wurden (max. 32 µg/l/1l). Die ehem. Fa. [redacted] (Kumellusstraße/Henchenstraße) war nicht untersucht worden, da hier nach Aussagen von Anwohnern nur Ladengeschäft und Wohnung, also keine Werkstatt mit evtl. Lösemittelinsatz, existierten (11). Zwischen der GWM 2 Adenauerallee und der GWM 3/2007 Henchenstraße ist jedoch laut Verdachtsflächenkartierung des RP bisher kein potenzieller Eintragsbereich bekannt. Wir empfehlen im Rahmen der Direct-Push-Sondierungen für die Kontrollebene Albersstraße – Rathaus auch einige DP-Sondierung im Bereich zwischen der GWM 2 Adenauerallee und der GWM 3/2007 Henchenstraße durchzuführen.

Die Isotopensignaturen belegen somit eine obere PER-Fahne, die aus dem oberen Aquifer stammt und aufgrund der durchgehenden Verkiesung des Ringraumes in den oberen Bereich des tieferen, tertären Aquifers verlagert wird. Die untere, in größerer Tiefe verlaufende und deswegen aus größerer Entfernung stammende TRI-Fahne konnte aufgrund der aktuellen Probenahme nicht zweifelsfrei zugeordnet werden.

4.4.8 Bereich Wasserwerk Riedwiese

Seit Beginn der Messungen im Jahr 1983 werden an den Brunnen des WW Riedwiese LCKW-Belastungen mit PER und TRI festgestellt. Die Entwicklung in den einzelnen Brunnen unterscheidet sich, vorzugsweise wohl aufgrund der unterschiedlichen Einzugsgebiete, die sich aus der Anordnung quer zur GwFließrichtung, den verschiedenen Ausbaulängen und den unterschiedlichen Fördermengen ergeben. Während die LCKW-Gehalte in Br. 1, Br. 4 und Br. 7 um das Jahr 2010 ein Maximum erreichten und in diesen Brunnen seither stagnieren oder abnehmen, ist die Konzentration in dem östlichsten Br. 2 nach einem Einbruch in 2012/13 wieder angestiegen, so dass dort zwischen 2014 und 2016 die höchsten Werte gemessen wurden. Seit 2016 zeigen alle Brunnen einen deutlichen, der Brunnen 3a einen leichten Abwärtstrend. Die aktuellen LCKW-Summenkonzentrationen und Schadstoffspektren sind in Tabelle 4-4 dargestellt.

1 Eine Ursache für den Rückgang ist nicht ersichtlich. Selbst die oberstromige Wasserhaltung im Rahmen des BV [redacted] sollte keinen vergleichbaren Effekt, obwohl dabei in 2004/05 relevante Massen von geschätzt ca. 65 kg LCKW entnommen worden sind. Die plausible Erklärung für den abgelenkten Anstieg ist der nach Osten erweiterte Zustrombereich des Brunnens durch die Inbetriebnahme von Br. 3a. Die bereits früher prognostizierte Ausdehnung der LCKW-Belastung über den vormaligen Zustrombereich des WW hinaus gelangt mit der Verlagerung der Trennlinie jetzt stärker in den Zustrom des östlichsten Brunnens.

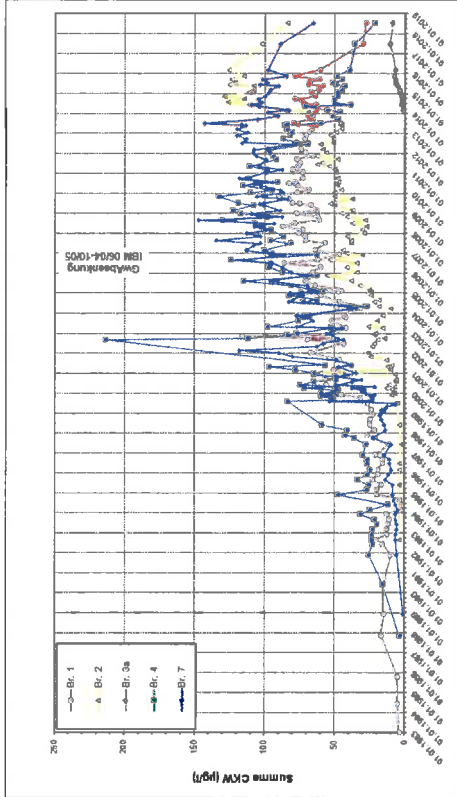


Abbildung 4-2: Ganglinien der Summenkonzentration LCKW in den Brunnen des WW Riedwiese

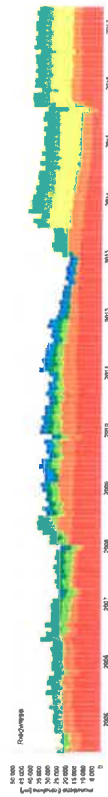


Abbildung 4-3: Ganglinien der GwEntnahmen aus den Brunnen des WW Riedwiese (2005-17, Br. 1 in rot/lunten bis Br. 7 in blau/oben)

Tabelle 4-4: LCKW-Summenkonzentrationen und Schadstoffspektren in den GwProben vom 11.07.2018 aus den Brunnen Riedwiese

Brunnen	Summe LCKW [µg/l]	PER [%]	TRI [%]	CIS [%]
1	28	57	32	11
2	84	80	15	5
3a	9	79	21	0
4	22	83	9	8
7	7	86	10	4

Eine Analyse der Zeitreihen zeigt, dass der Anteil von TRI seit 2010 insbesondere in den ergebnisreichsten Brunnen Br. 4 (ca. Faktor 10) und Br. 1 (ca. Faktor 2) abgenommen hat. Dies könnte darauf hinweisen, dass sich der Kern der TRI-Fahne weiter nach W oder in größere Tiefe verlagert hat.

Die Entwicklung in dem erst 2014 in Betrieb genommenen Brunnen 3a (1,4 – 10,8 µg/l) zeigt, dass im Zustrombereich dieses Brunnens noch gering belastete Stromröhren vorhanden sind, die jedoch räumlich eng begrenzt sein müssen. Denn mit Beginn der Förderung und Ausdehnung des Zustrombereichs werden kurzfristig LCKW-Frachten erfasst, die an den oberstromigen Brunnen vorbeifließen. In früheren Gutachten wurde befürchtet, dass das Konzentrationsniveau in Br. 3a sich dem in den übrigen Brunnen annähern

wird. Da die LCKW-Konzentrationen in Br. 3a leicht zurückgehen, scheint sich diese Befürchtung nicht zu bestätigen.

Trotzdem werden auch zukünftig noch relevante LCKW-Frachten am WW vorbei in Richtung Vorflut und WW Praunheim abfließen. Die Entwicklung der letzten Jahre lässt vermuten, dass der Zenit der LCKW-Belastung das WW mittlerweile passiert hat, tendenziell also mit weiter rückläufigen Konzentrationen zu rechnen ist, die allerdings noch über Jahrzehnte eine relevante Größenordnung haben werden. Außerdem muss davon ausgegangen werden, dass durch Änderungen der Förderleistungen und Baumaßnahmen in LCKW-Eintragsbereichen¹ auch zeitweilige Trendwenden möglich sind.

Das belastete Wasser wird im Wasserwerk Riedwiese über eine Riesieranlage aufbereitet. Die damit erreichten LCKW-Konzentrationen im Reinwasser entsprechen mit der bestehenden Aufbereitungstechnik den Anforderungen der TrinkwV.

Die Herkunft der LCKW-Belastung ist bisher nicht vollständig geklärt, denn im Stadtgebiet Oberursel sind mehrere LCKW-Schadensfälle bekannt, die z.T. bereits saniert werden (z. B. Alllast Eppsteiner Straße). Ein Zusammenhang zwischen der Verunreinigung im WW Riedwiese und zumindest einem Teil dieser Schadensfälle ist sehr wahrscheinlich.

Gemäß Isotopensignaturen ist ein Zustrom von den oberstromigen Verdachtsflächen im Portugall, Obere Feldbergstraße und [redacted] (mit Ausnahme von Br. 2) zu den Brunnen des Wasserwerks wahrscheinlich. Ein Zustrom von der Verdachtsfläche Borkenberg kann ausgeschlossen werden. Dass die LCKW in den Brunnen des WW Riedwiese von der Verdachtsfläche Obere Feldbergstraße stammen, ist für Br. 1, 3a und 4 wahrscheinlich, für Br. 2 und 7 eher unwahrscheinlich.

Bezüglich eines potenziellen Zustroms von der Alllast Eppsteinerstraße zu den Brunnen des WW Riedwiese sind die Isotopendaten widersprüchlich. Eine abschließende Bewertung ist daher nicht möglich. In Tabelle 2 des Berichtes von Isodetekt (Anlage 4) wird ein Zustrom von der Alllast Eppsteinerstraße zu den Brunnen des WW Riedwiese als „eher unwahrscheinlich“ dargestellt.

Dieser Befund stützt die Berechnungen mittels des GwModells, denn hiernach verlaufen Bahnlinien, die im Bereich der Alllast Eppsteinerstraße starten, im W des WW Riedwiese, so dass nur Br. 1 und 4 davon betroffen sein könnten.

Vermutlich werden sogar diese Brunnen von der Schadstoffahme unterströmt, denn die von einem DNAPL-Reservoir an der Basis des GwLeiters im Bereich der Altstadt in ca. 30 m uGOK ausgehenden kontaminierten Stromtäden sinken im weiteren Verlauf an den Störungsstellen des Taunusrands unmittelbar in größere Tiefe ab. Möglicherweise wird diese LCKW-Fracht in der hoch durchlässigen Schicht unterhalb des Sohlniveaus von Br. 4 abgeleitet, die im Rahmen der Untersuchungen an den GWM Adenauerallees mittels Bohrlochgeophysik nachgewiesen worden ist /10/.

¹ Erfahrungen an anderen Standorten zeigen, dass durch den Eintrag mechanischer Energie aus LCKW-Reservoiren in der ungesättigten und gesättigten Zone eine Mobilisierung möglich ist, also etwa durch Bohrungen und andere Erdarbeiten.

Trifft die Interpretation zu, dass die Brunnen des WW Riedwiese von der Schadstoffahme der Alllast Eppsteinerstraße, die nach bisherigen Erkenntnissen den Schadensfall mit dem größten Schadstoffpotential in Oberursel darstellt, nach heutigem Kenntnisstand wenig bis nicht beeinträchtigt werden, so stellt sich allerdings die Frage, welchen Weg die Schadstoffe nehmen.

4.5 FCKW und SF₆-Untersuchungen

Untersuchungen auf FCKW und SF₆ wurden bereits in vorherigen Untersuchungen durchgeführt /35/. Ergänzend hierzu wurden im Rahmen der Probenahmen im Juli 2018 zwei weitere Proben zur Spurenstoffanalyse entnommen. Die Proben wurden im Spurenstofflabor Dr. H. Oster, Wachenheim, auf FCKW (F11, F12, F113) sowie auf Schwefelhexafluorid (SF₆) analysiert; das Labor hat seinen Bericht Mitte September 2018 vorgelegt.

Die genannten Spurengase sind ausschließlich anthropogenen Ursprungs und werden seit ca. 70 bzw. 40 Jahren in die Atmosphäre und daraus mit Niederschlägen / GwNeubildung in Boden und Grundwasser emittiert¹. Da sie kaum einem Abbau unterliegen und keine relevanten Wechselwirkungen mit der Bodenmatrix und Grundwasser auftreten, weisen sie quasi ideale Tracer-Eigenschaften auf.

Die Ergebnisse der Spurenstoffanalytik sind als Anlage 5 beigefügt. Es wird auf die Dimension dieser Konzentrationangaben hingewiesen (pico- und femtomol), die um mehrere Größenordnungen unter den tologisch relevanten Konzentrationen der LCKW liegt. Diesbezüglich sind die FCKW also altlastenrechtlich nicht relevant, sondern sie dienen lediglich dem Nachweis geohydraulischer Zusammenhänge.

Die Ergebnisse der vorherigen und aktuellen FCKW-Analysen im Stadtgebiet von Oberursel sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt, wobei die Probenahmestellen in der Reihenfolge der tendenziellen GwFließrichtung angeordnet sind. Die jeweiligen Maxima, die als Tracerfunktion genutzt werden können, sind durch Fettdruck hervorgehoben.

Tabelle 4-5: Messergebnisse der FCKW-/SF₆-Analysen im Stadtgebiet von Oberursel, Labor Dr. Oster

Messstelle	Probenahmedatum	FCKW-Konzentration [pmol/l]			SF ₆ -Konzentration [fmol/l]
		F12	F11	F113	
GWM 4 Rolla Royce	10.07.2018	3,3 ±0,2	28 ±6	15 ±4	1,7 ±0,2
GWM 42007 Im Portugall	10.08.2015	11 ±3	53 ±16	ca. 150	2,6 ±0,3
GWM 22007 Eckhardtstraße	28.08.2015	17 ±4	72 ±22	34 ±11	0,6 ±0,1
GWM Holzweg	14.09.2015	34 ±7	38 ±12	36 ±11	0,8 ±0,1
GWM 62007 Strackgasse	04.12.2015	19 ±4	2,8 ±0,3	1,2 ±0,2	2,4 ±0,3

¹ FCKW wurden ab 1930 technisch hergestellt und bis ca. 1990 zunehmend als Kältemittel in Kältemaschinen, als Treibgas für Sprühdosen, als Treibmittel für Schaumstoffe, als Reinigungs- und Lösmittel eingesetzt. Da die unterschiedlichen Produktionszahlen für die einzelnen Stoffe und die Entwicklung der Konzentrationen in Atmosphäre und Niederschlagswasser bekannt sind, kann ohne sonstige Einträge das Alter des Grundwassers abgeschätzt werden, wobei es sich üblicherweise um eine Mischung verschiedener Zufüllkomponenten und somit um ein mittleres Alter handelt.

Messstelle	Probenahme- datum	FCKW-Konzentration [pmol/l]			SF ₆ - Konzentration [fmol/l]
		F12	F11	F113	
GWM 7/2016 tief Feldbergstr.33	08.06.2016	50 ±15	23 ±7	25 ±8	1,0 ±0,1
GWM 3/2007 Henchenstraße	03.11.2015	80 ±24	19 ±4	11 ±3	2,0 ±0,3
GWM 8/2017 tief Alberusstraße	10.07.2018	26 ±6	12 ±3	ca. 130	2,0 ±0,2
KB1 Aden. flach	14.10.2015	71 ±22	10 ±2	1,7 ±0,2	1,5 ±0,2
GWM 2 Aden. tief	29.09.2015	34 ±7	20 ±5	ca. 115	0,4 ±0,1
Br.4	27.11.2015	6,8 ±0,4	2,9 ±0,3	19 ±4	0,2 ±0,1
Br.1	27.11.2015	12 ±3	0,25 ±0,05	6 ±1	0,2 ±0,1
Br.3as	27.11.2015	1,2 ±0,1	0,09 ±0,05	0,7 ±0,1	<0,1
Br.7	27.11.2015	4,0 ±0,2	0,05 ±0,05	15 ±3	<0,1
Br.2	27.11.2015	6,8 ±0,4	0,28 ±0,05	14 ±3	<0,1
Br.6 Wallstraße	27.11.2015	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1
Br.5 Gnade Gottes	27.11.2015	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1

Aus diesen Laborbefunden können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- (1) In fast allen GwM-Messstellen wurden deutlich erhöhte FCKW-Gehalte analysiert, die in verschiedenen Bereichen zusätzliche anthropogen bedingte FCKW-Einträge in das Grundwasser belegen. Die SF₆-Konzentrationen hingegen sind scheinbar nur durch den FCKW-Eintrag aus der Atmosphäre erhöht, so dass dieser Stoff zur Abschätzung von Modellattem genutzt werden konnte; störende Einflüsse aus Sekundäreinträgen sind allerdings nicht völlig auszuschließen.
Die natürlichen Hintergrundwerte sind lediglich noch in GwProben aus den außenliegenden Brunnen 5 und 6 nachweisbar, die wegen der langen Aufenthaltsdauer im Untergrund weder einen Zustrom aus Stieglungsbereichen aufweisen, noch einen FCKW-Eintrag aus der Atmosphäre erkennen lassen.
- (2) Die räumliche Verteilung von F 12 zeigte 2015
 - den Maximalwert in der GWM 3/2007 Henchenstraße, der wahrscheinlich mit dem Befund in der flachen KB 1 Adenauerallee korreliert und dann in der tiefen GWM 2 auf dem Weg zu den Brunnen stark verdünnt wird.
 - Eine eindeutige Zuordnung zu einem potenziell oberstromigen Eintragsbereich ist nicht möglich, was auf die räumlich eng begrenzte Aussagekraft des jeweils beprobten Stromfadens und die Inhomogenität der Stoffverteilung innerhalb einer größeren Stromröhre zurückgeführt wird.
 - Die ebenfalls noch hohen F12-Konzentration in den GwProben aus den mutmaßlich oberstromigen GWM Holzweg und 7/2016 (Feldbergstraße) deutet allerdings auf eine Herkunft des F12 vom Alistandort obere Feldbergstraße, wo der Stromfaden mit der maximalen Konzentration in GWM 2/2007 bei der Probenahme 2015 nicht erfasst worden ist. Durch eine Kontrolle der dort installierten neuen GWM im Rahmen einer Wiederholungsmessung /GwMonitoring könnte dieser Zusammenhang überprüft werden.

(3) Die räumliche Verteilung von F 11 zeigte 2015

- den Maximalwert in GWM 2/2007 in der Eckhardstraße. In Verbindung mit den F12-Befunden legt das einen Zusammenhang nahe, etwa durch den Betrieb einer Kälteanlage auf den Verdachtsflächen in der oberen Feldbergstraße, in der beide Stoffe eingesetzt worden sein könnten. Durch eine Kontrolle der dort installierten neuen GWM im Rahmen einer Wiederholungsmessung / GwMonitoring könnte dieser Zusammenhang überprüft werden.
 - Dies ist auch vor dem Hintergrund sinnvoll, dass schon in den beiden tendenziell oberstromigen Probenahmestellen GWM 4 RR und 4/2007 hohe Konzentrationen von F 11 nachweisbar sind, so dass auch diese Eintragsbereiche als relevante Quellen von F 11 nicht ausgeschlossen werden können.
 - Die Feststellung, dass die F 11-Konzentration in den Brunnen trotz einer mit F 12 vergleichbar hohen Grundlast aus dem Stadtgebiet um den Faktor 10 – 100 niedriger liegt, wird auf den leichten Abbau von F 11 zurückgeführt.
- (4) Die räumliche Verteilung von F 113 zeigt
- in den GWM 4/2007 (im Portugall) und GWM 8/2017 tief (untere Feldbergstraße) mit 150 und 130 pmol/l die höchste F113-Konzentration. Dies deutet auf zumindest zwei signifikante F113-Quellen im Bereich der Alistandorte [redacted].
 - Beide Signale sind so stark, dass sie auch bei Verdünnung um den Faktor 10 noch in unterstromig entnommenen GwProben erkennbar bleiben.
 - Auch in GWM 2/2007 ist das Niveau von F 113 noch erhöht, analog zu F 11 und F 12. Durch eine Kontrolle der dort installierten neuen GWM im Rahmen einer Wiederholungsmessung / GwMonitoring könnte der Zusammenhang zwischen den drei FCKW überprüft werden.
 - Unter Berücksichtigung der wahrscheinlichen Migrationspfade wird ein Zusammenhang des F 113-Eintrags im Portugall mit den Befunden in den GWM Holzweg und Henchenstraße sowie der tiefen GWM 2 Adenauerallee und in der Brunnengruppe 1 – 2 – 4 – 7 gesehen.
 - Der Eintrag von F 113 in der unteren Feldbergstraße überlagert diese Fahne, wobei nicht entschieden werden kann, in welchem Umfang der Migrationsweg über die Vertikalströmung in der tiefen GWM 2 Adenauerallee verläuft und welcher Anteil bereits im Eintragsbereich zwischen Kummellus- und Alberusstraße in den unteren GwL-eiter gelangt.

Tabelle 4-6: Modellalter der GwProben, berechnet nach dem Piston-Flow-Modell (PFM)

GWM/Brunnen	Verwendete Tracer	Modellansatz	Modellalter in Jahren	1σ-Standardabweichung in Jahren
GW 4 Rolfs Royce	SF ₆	PFM	ca. 22	-
GWM 4/2007 Im Portugall	SF ₆	PFM	ca. 11	-
GWM 2/2007 Eckendstraße	SF ₆	PFM	ca. 30	-
GWM Holzweg	SF ₆	PFM	ca. 28	-
GWM 6/2007 Strackgasse	SF ₆	PFM	ca. 13	-
GWM 7/2016 Feldbergstraße	SF ₆	PFM	ca. 25	-
GWM 3/2007 Henchenstraße	SF ₆	PFM	ca. 17	-
GWM 8/2017 tief Albersstraße	SF ₆	PFM	ca. 19	-
KB 1 flach Adenauerallee	SF ₆	PFM	ca. 21	-
GWM 2 tief Adenauerallee	SF ₆	PFM	ca. 33	-
Br. 1	F11, SF ₆	PFM	ca. 46	± 9
Br. 2	F11	PFM	ca. 54	-
Br. 2	SF ₆	PFM	>40	-
Br. 3a	F11	PFM	ca. 59	-
Br. 3a	SF ₆	PFM	>40	-
Br. 4	F11, SF ₆	PFM	ca. 39	± 2
Br. 7	F11	PFM	ca. 62	-
Br. 7	SF ₆	PFM	>40	-
Br. 5	F11	PFM	>70	-
Br. 5	SF ₆	PFM	>40	-
Br. 6	F11	PFM	>70	-
Br. 6	SF ₆	PFM	>40	-

- (6) Die theoretischen / mittleren Modellalter der untersuchten GwProben zeigen deutliche Unterschiede zwischen dem nw' Stadtgebiet oberhalb der Taunusrandstörung und dem Bereich se' der Altstadt, wo die Festgesteinsbasis von ca. 30 m uGOK auf >100 m uGOK absinkt. Grundsätzlich ist entlang der Fließstrecke von NW nach SE mit einer Zunahme der Modellalter zu rechnen, aufgrund der Inhomogenität und Anisotropie des Gebirges jedoch mit einer diskontinuierlichen Entwicklung.
- (6) In den GwProben aus den hangseitigen Probenahmestellen dominieren Modellalter von ca. 10 bis ca. 30 Jahren, wobei die Versiegelung der Erdoberfläche und die Durchlässigkeit der meist >10 m mächtigen teil- / ungesättigten Zone relevanten Einfluss haben. In den Bereichen mit weitgehender Versiegelung der Erdoberfläche und / oder der verbreitet auftretenden schwebenden Gw-Stockwerke / Stauwasserhorizonte ist mit einem reduzierten Anfall jungen Sickerwassers zum Hauptstockwerk zu rechnen, so dass sich die Mischungsverhältnisse und damit die Modellalter kleinräumig ändern. Einen Beitrag dazu wird auch die Einspeisung älteren Grundwassers aus dem liegenden KluffGwL-eiter leisten, die an durchlässigere Kluffzonen gebunden und deswegen ebenfalls nicht homogen verteilt ist.
- (7) In den auf Tiefschollen angeordneten Brunnen weisen die älteren Komponenten aus dem Neubildungsgebiet im Taunus einen größeren Anteil auf, wodurch das hier beprobte Grundwasser ein deutlich höheres mittleres Modellalter aufweist. In den gering durchlässigen Bereichen mit entsprechend langsamer Fließgeschwindigkeit / geringem GwUmsatz sind FCKW-freie Wässer mit Modellaltern bis >70 Jahre nachweisbar.

Wird diese Zuflusskomponente mit dem jüngeren oberflächennahen Anteil von der Hochscholle gemischt, das mittlere Modellalter von ca. 15 - 30 Jahren aufweist, so resultieren die ermittelten Werte von ca. 40 - 60 Jahren. Unter Berücksichtigung der damit verbundenen Verdünnung der mit LCKW beaufschlagten jungen Zuflusskomponenten muss deren Konzentration um den Faktor 2 - >10 über dem Konzentrationsniveau im Rohwasser der Brunnen liegen.

5. Zusammenfassung und gutachterliche Bewertung der bislang vorliegenden Daten

Im Hinblick auf eine Zuordnung der einzelnen LCKW-Fahnen zu bestimmten Eintragsbereichen / Verdachtsflächen wurden an 20 maßgeblichen Brunnen und GWM im Stadtgebiet Untersuchungen der C- und Cl-Isotope der LCKW zur Identifizierung der Stör durchgeföhrt. Weiterhin wurden in zwei GWM Proben zur Untersuchung auf FCKW und SF₆ im Hinblick auf eine Alters-/Herkunftsbestimmung entnommen.

Die Anlage 1 Blatt 7 zeigt die idealisierten GwGleichen für den unteren, tertiären Aquifer zum Stichtag 11.07.2018, für den oberen, quartären Aquifer zum Stichtag 14.11.2018 sowie die GwBahnlängen einer Vorwärtsberechnung im GwModell (die Bahnlängen starten in bekannten Verdachtsbereichen). Die GwGleichen im oberen, quartären Aquifer zeigen dieselbe Fließrichtung nach SE/SSE wie der untere, tertiäre Aquifer, weist aber ein mehrere Meter höheres Druckniveau auf.

Dabei ist in der GWM Holzweg (unterer, tertiärer Aquifer), wie in vorherigen Untersuchungen in 2007 und 2015, ein Tiefpunkt der GwSpiegelage festzustellen. Eine Überprüfung der Messpunkthöhe durch Büro wies zwar einen geringen Unterschied zum früheren Wert nach, der GwSpiegel liegt hier aber trotzdem ca. 0,44 m tiefer als in der abstromigen GWM 3/2007 Henchenstraße tief. Hierdurch bedingt weist die Fließrichtung in diesem Bereich kleinräumig nach SW.

Dies dürfte vermutlich darauf zurück zu führen sein, dass die GWM Holzweg im Bereich eines linienhaften, grobklastischen Schutzstromes liegt, der eine höhere Durchlässigkeit aufweist. Solche grobklastischen Schutzströme sind im Raum Oberursel bekannt (z.B. BV IBM 2004 im Zimmersmühlenweg / Gablonzstraße), mangels Messstellen ober- und unterstromig der GWM Holzweg lässt sich diese Struktur jedoch derzeit nicht weiterverfolgen.

Der Sachverhalt dokumentiert aber erneut die starke Inhomogenität und Anisotropie des Gebirges im Stadtgebiet, die nur eingeschränkt kleinräumige Aussagen zur GwFließrichtung erlaubt, weil die Stromfäden dem Weg des geringsten (Fließ-) Widerstands folgen und nicht dem maximalen Gradienten, der sich aus einem GwGleichenplan ergibt.

5.1 Ergebnisse der Isotopenuntersuchungen

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Isotopenuntersuchungen lassen sich die in der folgenden Matrix dargestellten Erkenntnisse zur Schadstoffquellencharakterisierung im Untersuchungsgebiet zusammenfassen. Die Matrix wurde dem Bericht der Isodetekt (Anlage 4) entnommen und dahingehend ergänzt, ob bei einer Bewertung der Herkunft von LCKW an den untersuchten Messstellen dies hydrogeologisch, d. h. aufgrund festgestellter GwFließrichtung, plausibel bzw. nicht plausibel ist.

Tabelle 5-1: Bewertung der Herkunft von LCKW an den untersuchten Messstellen im Stadtgebiet Oberursel inkl. hydrogeologischer Beurteilung

Gelb: wahrscheinlich, orange: eher unwahrscheinlich, rot: ausgeschlossen, +: hydrogeologisch plausibel, -: hydrogeologisch nicht plausibel

Verdachtsfläche / Eintragsbereich (einem relevanten Einzugsbereich)	Untersuchte GWM														
	GWM im räumlichen Bereich	407	207	1317	182007	1807	3007	817	1017	1017	VW Brüche				
		1807	1807	1807	1807	1807	1807	1807	1807	1807	Br. 1	Br. 2	Br. 3a	Br. 4	Br. 7
Eintragsbereich 11 (Müllverbrennung)	4 RR														
Horizontale 2/2/2/5 im Portugal 3 (MC; B & C)	42007														
Erpelerweg Str.13 (B & C)	52007														
Erkandorf oben (MAGU; S & B; S & S)	2/2007 1317 (Lobweg)														
Amering-Unter (A & B; K)	817, 1017														
Näherer Zuluftbereich von GWM 2 oben	2 oben														

5.2 Altstandort Borkenberg

Beim Altstandort Borkenberg handelt es sich um einen TRI-Schaden, wobei die geringen PER-Anteile als Beimengungen des Primärproduktes anzusehen sind. Die Laboraten in Anlage 3 lassen einen Abbau zu CIS erkennen, wobei eine Sauerstoffkonzentration von 0,6 mg/l in der abstromigen GW 4 RR eine deutliche Sauerstoffzehrung belegt. Der Abbau von CIS zu VC und eine vollständige reduktive Dechlorierung finden nicht statt, was korrelierend mit einem relativ hohen Redoxpotential (E_h: ca. 400 mV = schwach oxidierende Verhältnisse) zu einer Akkumulation von CIS führt.

Ob das in 2018 ermittelte, gegenüber den Untersuchungen in 2007 und 2015 deutlich geringere Niveau von LCKW-Konzentration und -Fracht einen anhaltenden Trend repräsentiert, oder auf das ausgeprägte Trockenjahr 2018 zurückzuführen ist, kann anhand zukünftiger Probenahmen überprüft werden.

Aufgrund der relativ geringen Fracht ist davon auszugehen, dass sich die von diesem Standort ausgehende TRI-Fahne rasch so stark verdünnt, dass sie sich im bestehenden Messnetz nicht mehr nachweisen lässt. Dies auch durch die geohydraulische Situation, die eine so weit im Oberstrom und auf der Hochscholle ansetzende kontaminierte Stromföhre im weiteren Verlauf am Bereich der Störungszone rasch in größere Tiefen zwingt (vgl. Anlage 2). Dadurch besteht eine große Wahrscheinlichkeit dafür, dass diese Fahne unter dem Niveau des bestehenden Messnetzes abfließt und selbst von dem tiefsten Brunnen Br. 4 nicht mehr erfasst wird.

5.3 Altstandorte im Portugal

Im Bereich der ehem. Industriewerke [redacted] und der ehem. Betriebsstätte [redacted] befindet sich das zweite bekannte und deutlich größere LCKW-Reservoir auf der Hochscholle. Es handelt es sich um einen PER-Schaden mit geringer Abbaupotentialität, weil PER unter anaeroben Bedingungen

abgebaut wird, die hier nicht vorliegen. Das für eine signifikante Sauerstoffzehrung benötigte Cosubstrat ist im vorliegenden Fall nicht vorhanden.

Wie für alle anderen Probenahmestellen in 2018 gilt auch für die GWM 4/2007, dass das gegenüber den Untersuchungen in 2007 und 2015 geringere Niveau von LCKW-Konzentration und -Fracht nicht notwendigerweise einen anhaltenden Trend repräsentiert, sondern auf das ausgeprägte Trockenjahr 2018 zurückzuführen sein kann.

Anhand der Isotopenspektren sind Zusammenhänge dieses PER-Schadens auf die tendenziell unterstromigen Probenahmestellen GWM Holzweg, Henchenstraße, GWM 2 Adenauerallee sowie auf die Brunnengruppe Riedwiese möglich und hydrogeologisch plausibel.

Bezogen auf das in den Jahren 2007 - '12 beobachtete bisherige Maximum des LCKW-Austrags im Rohwasser der Brunnen Riedwiese¹ von 20 – 25 kg/a repräsentieren die für die Stromröhre GWM 4/2007 im gleichen Zeitraum ermittelten LCKW-Frachten in der Größenordnung von 30 g/d, entsprechend ca. 11 kg/a, einen rechnerischen Anteil von etwa 50 %.

Analog zur TRI-Fahne Borkenberg ist aber auch in diesem Fall davon auszugehen, dass ein wesentlicher Teil der Fracht nicht von den Brunnen Riedwiese erfasst wird, sondern dazwischen vorbei oder darunter abfließt. Wie bereits in früheren Berichten erläutert, überschreitet die Summe der für die bekannten Altlasten ermittelten LCKW-Frachten ansonsten die Masse der aus dem WW Riedwiese ausgetragenen Lösemittel /35/.

Die ergänzenden Untersuchungen von FCKW lassen einen Eintrag von F13 auf diesem Standort vermuten, der sich unterstromig in den GWM Holzweg, Henchenstraße und Adenauerallee sowie den Brunnen des WW Riedwiese durch erhöhte Konzentrationen bemerkbar macht. Diese F13-Fahne überlagert sich der in der unteren Feldbergstraße festgestellten Belastung, wo ebenfalls eine stark erhöhte F13-Konzentration nachweisbar ist.

Der angenommene Zusammenhang mit der LCKW-Belastung kann durch zukünftige Kontrollen der als Markierungsstoff nutzbaren FCKW-Signale überprüft werden.

5.4 Altstandorte in der oberen Feldbergstraße

Die 2017 - '18 im Auftrag des [REDACTED] durchgeführten GwUntersuchungen im Abstrom dieses Bereichs lassen darauf schließen, dass von mehreren der dort [REDACTED] an verschiedenen Stellen auf dem ausgedehnten Gelände LCKW in den Untergrund eingetragen worden sind /37/, wobei erfahrungsgemäß auch Einträge über das Abwassersystem eine Rolle gespielt haben dürften. Dies ist die plausibelste Erklärung für die große Abstrombreite der nachgewiesenen Fahne(n) und die festgestellten Unterschiede in den Stoffspektren.

Während in den GWM 2/2007, GWM 13/2017 und GWM 14/2017 PER dominiert, überwiegt in GWM 12/2017 das TOE. Die gemessenen Sauerstoffkonzentrationen von 5 - 6 mg/l und Redoxpotentiale (Eh: ca.

¹ Berechnet aus den Jahresfördermengen der einzelnen Brunnen, multipliziert mit den Jahresmitteln der Summenkonzentration.

250 – 500 mV) lassen auf ein aerobes / oxidierendes Milieu schließen, bei dem kein Abbau von PER stattfindet. Es erfolgt ein geringer Abbau von TCE zu CIS, wobei die Analysedaten belegen, dass keine vollständige reduktive Dechlorinierung zu VC und Ethen stattfindet.

Anhand der Isotopenspektren sind Zusammenhänge auch dieses PER+TCE-Schadens auf die tendenziell unterstromigen Probenahmestellen GWM Holzweg, Henchenstraße, GWM 2 Adenauerallee sowie auf die Brunnengruppe Riedwiese möglich und hydrogeologisch plausibel.

Bezogen auf das in den Jahren 2007 - '12 beobachtete bisherige Maximum des LCKW-Austrags im Rohwasser der Brunnen Riedwiese¹ von 20 – 25 kg/a repräsentiert die 2018 durch IPV ermittelte LCKW-Fracht von >55 g/d, entsprechend einer Größenordnung von ca. 20 kg/a in der noch unvollständig abgegrenzten Stromröhre, einen rechnerischen Anteil von etwa 100 %.

Analog zu den beiden zuvor besprochenen Altstandorten ist daher auch in diesem Fall davon auszugehen, dass ein wesentlicher Teil der Fracht nicht von den Brunnen Riedwiese erfasst wird, sondern daran vorbei abfließt. Ansonsten überschreitet die Summe der für die bekannten Altlasten ermittelten LCKW-Frachten die Masse der aus dem WW Riedwiese ausgetragenen Lösemittel /35/.

Die ergänzenden Untersuchungen von FCKW lassen einen Eintrag von F12 auf diesem Standort vermuten, der sich in den tendenziell unterstromigen GWM Holzweg, Henchenstraße und 7/2016 durch deutlich erhöhte Konzentrationen bemerkbar macht. Diese Vermutung wird gestützt durch die in GWM 2/2007 ebenfalls stark erhöhte F11-Konzentration, wobei dieser Stoff allerdings auch im oberstrom bereits angereichert ist.

Der angenommene Zusammenhang mit der LCKW-Belastung kann durch zukünftige Kontrollen der als Markierungsstoff nutzbaren FCKW-Signale in den GWM der oberen Feldbergstraße überprüft werden.

5.5 Altlast Eppsteinerstraße und Bereich Strackgasse

Bei der Altlast Eppsteinerstraße handelt es sich überwiegend um einen TCE-Schaden mit untergeordneten Anteilen von PER und teilweise Abbau zu CIS. CIS wird jedoch nur gering zu VC abgebaut, was mit einem relativ hohen Redoxpotential (Eh: ca. 420 mV = schwach oxidierende Verhältnisse) korreliert. Eine vollständige reduktive Dechlorinierung findet nicht statt.

Der Altstandort Eppsteiner Straße wurde in den letzten Jahren mit erheblichem technischem und finanziellem Aufwand dekontaminiert. Wie bereits in verschiedenen früheren Berichten erläutert worden ist, zeigten die Messungen an der unterstromigen GWM 5/2007, dass sich dort an der Basis des oberen Gw Leiters in 25 – 30 m uGOK ein Phasenkörper ausgebildet hat, der über den Eintragsbereich hinausreicht.

Die räumliche Ausdehnung dieses DNAPL-Reservoirs und dessen Auswirkungen auf die GwBeschaffenheit im weiteren Umfeld sind bis dato nicht einzuschätzen, weil keine entsprechenden Untersuchungen durchgeführt worden sind. Es kann aber ausgeschlossen werden, dass dieses Reservoir von den

¹ Berechnet aus den Jahresfördermengen der einzelnen Brunnen, multipliziert mit den Jahresmitteln der Summenkonzentration.

Maßnahmen auf dem Standort nennenswert reduziert worden ist, weil weder deren Reichweite dafür konzipiert war, noch die Basis der quartären Deckschichten im Fokus stand.

Die aktuellen Untersuchungen von Isotopenspektren der LCKW lassen auf einen Zusammenhang mit den Probenahmestellen GWM Holzweg und 6/2007 Strackgasse schließen, wo sich allerdings jeweils auch andere Schadensfälle bemerkbar machen. Für die GWM Holzweg sind hier die Eintragsbereiche im Portugal und obere Feldbergstraße zu nennen, für die GWM 6/2007 die ehemalige chem. Reinigung an der Ecke Schlenker- / Strackgasse /29/.

Die beiden ca. 250 m voneinander entfernten GWM erfassen allenfalls die Randbereiche der von der Eppsteiner Straße und dem dort verbliebenen Reservoir ausgehenden LCKW-Fahne und deren Abbauprodukte. Der Kern dieser Fahne ist nach heutigem Kenntnisstand dazwischen und in Tiefen >30 m zu suchen, weil sich das maßgebliche Reservoir an der Basis des GwLeiters befindet.

Massen und Frachten der LCKW-Fahne aus diesem Bereich lassen sich anhand der vorliegenden Daten nicht abschätzen, weil im Gegensatz zu anderen Schadensfällen keine geeigneten GWM vorhanden sind, an denen z. B. IPV durchgeführt werden könnten.

5.6 Altstandort

Beim Altstandort [REDACTED] handelt es sich um einen PER-Schaden, mit PER-Anteilen >80/90%. Die Anteile an Abbauprodukten belegen mit <10/20%, dass ein mikrobiologischer Abbau nur in geringem Maße stattfindet. Die gemessenen Sauerstoffkonzentrationen von 5.5 - 9 mg/l und Redoxpotentiale (E_h ca. 200 - 500 mV) lassen auf ein aerobes/oxidierendes Milieu schließen, bei dem ein Abbau von PER nicht stattfindet. Der dominierende Abbau dürfte daher der von TRI zu CIS sein, wobei die Analysedaten belegen, dass CIS nicht weiter zu VC abgebaut wird. Eine vollständige reduktive Dechlorierung findet also nicht statt.

Die 2017 - '18 im Auftrag des RPAUWI durchgeführten GwUntersuchungen im Abstrom dieses Bereichs lassen darauf schließen, dass in dem früher dort ansässigen Unternehmen an verschiedenen Stellen auf dem ausgedehnten Gelände LCKW in den Untergrund eingetragen worden sind /37/, wobei erfahrungsgemäß auch Einträge über das Abwassersystem erfolgt sein dürften. Wie im Falle der oberen Feldbergstraße ist dadurch unterhalb der Bebauung mit räumlich ausgedehnten Reservoiren von LCKW zu rechnen, die aus der ungesättigten bis in die gesättigte Zone reichen, möglicherweise bis unter den hier bereits vorhandenen, aber lückenhaft ausgebildeten Trennhorizont zum unteren GwLeiter.

Die räumliche Ausdehnung der Reservoirs ist die plausibelste Erklärung für die große Abstrombreite der nachgewiesenen Fahne(n) und die festgestellten Unterschiede in den Stoffspektren, die von den kleinräumig wechselnden Milieubedingungen für den Abbau bestimmt werden.

Vorbehaltlich von GwUntersuchungen im e' Teil der Kumeliusstraße, oberhalb der Feldbergstraße, kann nicht ausgeschlossen werden, dass hier in Tiefen >15 m uGOK ein oberstromiger Einfluss aus den Altstandorten in der oberen Feldbergstraße vorhanden ist. Die oberflächennah nachgewiesenen hohen

Konzentrationen beweisen aber, dass die Masse der in den jüngsten Untersuchungen festgestellten LCKW unmittelbar oberstromig der installierten GWM eingetragen worden sein muss.

Bezogen auf das in den Jahren 2007 - '12 beobachtete bisherige Maximum des LCKW-Austrags im Rohwasser der Brunnen Riedwiese' von 20 - 25 kg/a repräsentiert die für den untersuchten Durchflussquerschnitt zwischen den GWM 8/2017 und 11/2017 ermittelte LCKW-Frachten in der Größenordnung von ca. 10 g/d, entsprechend ca. 4 kg/a, einen rechnerischen Anteil von etwa 20 %. Nach heutigem Kenntnisstand ist dieser Schadensfall somit von geringerer Bedeutung für das WW Riedwiese als die zuvor beschriebenen.

Die aktuelle Untersuchung der Isotopenspektren zeigt, dass LCKW von diesem Standort mit weitgehender Sicherheit in den GWM Adenauerallee und den Brunnen Riedwiese auftreten, wo sich allerdings Einflüsse oberstromiger Standorte überlagern, so dass keine belastbare Quantifizierung der jeweiligen Anteile möglich ist.

Die ergänzenden Untersuchungen von FCKW lassen einen Eintrag von F113 auf diesem Standort vermuten, der sich in der unterstromigen GWM Adenauerallee sowie den Brunnen des WW Riedwiese durch erhöhte Konzentrationen bemerkbar macht. Diese F113-Fahne überlagert eine in GWM 4/2007 im Portugal festgestellte Belastung, wo ebenfalls eine stark erhöhte F113-Konzentration nachweisbar ist.

Der angenommene Zusammenhang mit der CKW-Belastung kann durch zukünftige Kontrollen der als Markierungsstoff nutzbaren FCKW-Signale in den GWM der oberen Feldbergstraße überprüft werden.

5.7 GWM Holzweg / Henchenstraße / Adenauerallee

Diese Probenahmestellen befinden sich nicht im unmittelbaren Abstrom nahegelegener Eintragsbereiche, sondern kontrollieren jeweils Stromfäden, deren LCKW-Konzentration und -Stoffspektrum von den zuvor besprochenen, weiter entfernten Reservoiren bestimmt wird. Dadurch überlagern sich verschiedene Einflüsse und es muss davon ausgegangen werden, dass keine der GWM dauerhaft im Kern einer der Fahnen liegt, zumal aufgrund der Tiefenverlagerung der Stromfäden entlang der Fließstrecke ein nicht quantifizierbarer Teil der LCKW-Fracht wahrscheinlich unter dem Probenahmehöhe abfließt.

Die Einrichtung vollkommener GWM ist aufgrund der geologischen Struktur mit vertretbarem Aufwand nicht möglich, wie der Profilschnitt in Anlage 2 veranschaulicht. Selbst die fast 100 m tiefe GWM 2 Adenauerallee erfasst nur einen Teil des wasserwirtschaftlich genutzten GwLeiters. Die darin nachgewiesene Ausgleichsstromung macht deutlich, dass GWM mit langen Filterstrecken in diesem Gebirge nicht geeignet sind, weil sie hydraulische Kurzschlüsse zwischen gwführenden Schichten mit Unterschieden im Druckniveau und der GwBeschaffenheit herstellen, was zu schwer interpretierbaren Messwerten führt. Für eine differenzierte Beobachtung wären aufgrund dieser Untergrundverhältnisse GWM-Gruppen oder -Bündel erforderlich, deren Errichtung allerdings technisch und finanziell aufwändig ist.

¹ Berechnet aus den Jahresfördermengen der einzelnen Brunnen, multipliziert mit den Jahresmitteln der Summenkonzentration.

Die aktuellen Untersuchungen von Isotopenspektren der LCKW lassen einen Zusammenhang mit den zuvor genannten Schadensfällen erkennen, was auch hydrogeologisch plausibel ist.

5.8 Bewertung der Frachtababschätzungen

Wie aus den Daten der Untersuchungen hervorgeht, zeigt sich an den GWM, an denen Vergleichswerte aus 2007 und / oder 2015 vorliegen, ein genereller Rückgang des Konzentrationsniveaus und damit der mittels IPV erzielten Austragsraten.

Es ist unwahrscheinlich, dass dieser standortunabhängige und deutliche Effekt überall auf eine starke Mineralisierung der maßgeblichen LCKW-Reservoirs zurückzuführen ist. Vielmehr wird hier ein Zusammenhang mit dem nach bisherigen Maßstäben extremen Trockenjahr gesehen, das zu einer geringeren Mobilisierung mit Sicker- und Grundwasser geführt hat, etwa durch das Trockenfallen von Schicht- und Stauwasserhorizonten in der teilgesättigten Zone. Außerdem kann sich durch niedrige GwStände auch die Anstromsituation der Probenahmestellen ändern.

Aufgrund dieser Einschätzung werden die Ergebnisse früherer Versuche, soweit vorhanden, gegenüber den Daten aus 2018 als repräsentativer beurteilt bzw. besteht der Verdacht, dass die aktuell in oberer und unterer Feldbergstraße ermittelten Frachten in niederschlagsreicheren Perioden deutlich höher sein könnten. Nach heutigem Kenntnisstand ergibt sich bezüglich der LCKW-Frachten folgende Reihenfolge:

- (1) Alllast Eppsteinerstraße >70 kg/a
- (2) Altstandort obere Feldbergstraße ca. 20 kg/a
- (3) Altstandort [REDACTED] ca. 3,6 kg/a
- (4) Altstandort Im Portugall ca. 2 kg/a
- (5) Altstandort Borkenberg ca. 1 kg/a

In der Summe ergibt sich auf jeden Fall ein jährlicher Massenstrom, der deutlich über dem Austrag aus der Brunnengruppe Riedwiese liegt, dessen bisheriges Maximum um 2010 bei 20 – 25 kg/a lag. Wie aber bereits in früheren Berichten und aufgrund der Berechnungen mit dem numerischen GwModell erläutert, fließt ein wesentlicher Teil der LCKW-Fracht an den Brunnen vorbei und darunter hindurch, so dass diese rechnerische Differenz keinen Widerspruch beinhaltet.

Auch der mikrobiologische Abbau kommt als Erklärung für den Unterschied der Massenabschätzungen nicht in Frage, wie die folgenden Überlegungen zeigen sollen.

5.9 Beurteilung der Abbauprodukte

Die oben dargestellten Untersuchungsergebnisse von Erkundungsmaßnahmen in 2018 sowie von Erkundungsmaßnahmen im Auftrag [REDACTED] in 2017 und 2018 /37/ belegen in Oberursel für LCKW-Eintragsbereiche:

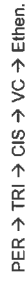
- (1) Altstandort Borkenberg TRI-Schaden
- (2) Altstandort Im Portugall PER-Schaden
- (3) Alllast Eppsteinerstraße überwiegend TRI, untergeordnet PER-Schaden
- (4) Altstandort obere Feldbergstraße überwiegend PER, untergeordnet TRI-Schaden
- (5) Altstandort [REDACTED] PER-Schaden

LCKW sind mikrobiologisch abbaubar. Die im Untergrund stattfindenden biologischen Prozesse werden in starkem Maße von den jeweils an den Standorten vorliegenden Milieubedingungen bestimmt. Es können vier verschiedene Abbauprozesse auftreten:

- Direkter aerober Abbau
- Indirekter aerober Abbau
- Direkter anaerober Abbau
- Indirekter/cometabolischer anaerober Abbau

Der Abbau von PER erfolgt nur anaerob, wogegen TRI, CIS und VC sowohl aerob, als auch anaerob abbaubar sind. Dabei sind CIS und VC besser aerob als anaerob abbaubar.

Der indirekte anaerobe Abbau ist in Gw-Leitern am weitesten verbreitet und besitzt daher die größte Bedeutung. Der Abbau erfolgt cometabolisch, d. h. nur unter Präsenz eines weiteren organischen Substrates, das den abbaubereitenden Mikroorganismen als Energie- und Kohlenstofflieferant dient. Weiterhin werden auch die für den LCKW-Abbau benötigten Enzyme durch den Abbau einer anderen organischen Substanz bereitgestellt. Die LCKW fungieren hier in Konkurrenz zu anderen Elektronenakzeptoren (z. B. Sulfat) als „Nitelektronenakzeptor“. Da die meisten Grundwasserschäden auf den Einsatz der Primärprodukte PER und TRI zurückzuführen sind, steht der Abbau dieser Stoffe und damit folgende Abbaureihe im Vordergrund:



Geeignete Voraussetzungen für eine vollständige reduktive Dechlorierung – ohne die Akkumulation von Zwischenprodukten – bestehen unter stark reduzierenden Bedingungen. Dabei entsteht als Schlüsselsubstanz aus der Umsetzung organischer Verbindungen Wasserstoff. Der Abbau der LCKW ist um so effizienter, je mehr Wasserstoff zur Verfügung steht. Da Wasserstoff auch durch andere biochemische Prozesse gezeugt wird, laufen Konkurrenzreaktionen ab. Hierbei laufen prädestinierte Vorgänge ab, die eine höhere Affinität zu Wasserstoff aufweisen. Es muss also eine Schwellenkonzentration überschritten sein, damit die reduktive Dechlorierung abläuft. In vielen Fällen bleibt der Abbau bei CIS stehen, weshalb die dann nicht ablaufende Abbaureaktion CIS zu VC auch als „bottleneck of natural attenuation“ bezeichnet wird. Eine vollständige reduktive Dechlorierung kann nur unter sulfatreduzierenden und methanogenen Bedingungen (Redox-Potentiale $E_h < 0$ mV) ablaufen.

Beim Altstandort Borkenberg handelt es sich um einen TRI-Schaden, wobei die geringen PER-Anteile als PER-Beimengungen des Primärproduktes TRI anzusehen sind. Die Labordaten /37/ lassen einen dominanten Abbau von TRI zu CIS erkennen, wobei eine Sauerstoffkonzentration von 0,6 mg/l in der abströmigen GW 4 Rols Royce eine deutliche Sauerstoffzehrung belegt. Der Abbau von CIS zu VC und eine vollständige reduktive Dechlorierung finden nicht statt, was korrelierend mit einem relativ hohen

Redoxpotential (Eh: ca. 400 mV = schwach oxidierende Verhältnisse) eine Akkumulation von CIS bzw. einen „bottleneck“ belegt.

Beim **Altstandort Im Portugall** handelt es sich um einen PER-Schaden. Ein Abbau findet nur in sehr geringem Umfang statt. Der Sauerstoffgehalt von 4,0 mg/l belegt eine geringe Sauerstoffzehrung. PER wird jedoch nur unter anaeroben Bedingungen abgebaut, die hier nicht vorliegen. Das für eine signifikante Sauerstoffzehrung benötigte Cosubstrat ist im vorliegenden Fall nicht vorhanden.

Bei der **Altlast Eppsteinerstraße** handelt es sich überwiegend um einen TRI-Schaden, untergeordnet um einen PER-Schaden. Die dominante Abbaukette dürfte die vom TRI zum CIS sein. CIS wird jedoch nur gering zu VC abgebaut, was korrelierend mit einem relativ hohen Redoxpotential (Eh: ca. 420 mV = schwach oxidierende Verhältnisse) eine Akkumulation von CIS (bottleneck) belegt. Eine vollständige reduktive Dechlorierung findet nicht statt.

Beim **Altstandort obere Feldbergstraße** handelt es sich überwiegend um einen PER-Schaden (GWM 2/2007, GWM 13/2017 und GWM 14/2017), untergeordnet um einen TRI-Schaden (GWM 12/2017). TRI kann sowohl verwendetes Primärprodukt sein, als auch Abbauprodukt von PER. Die gemessenen Sauerstoffkonzentrationen (5-6 mg/l) und Redoxpotentiale (Eh: ca. 250 – 500 mV) lassen auf ein aerobes / oxidierendes Milieu schließen, bei dem ein Abbau von PER nicht stattfindet. Der dominierende Abbau dürfte daher der von TRI zu CIS sein, wobei die Analysedaten belegen, dass CIS nicht weiter zu VC abgebaut wird. Eine vollständige reduktive Dechlorierung findet auch hier nicht statt.

Beim **Altstandort** handelt es sich um einen PER-Schaden, die PER-Anteile liegen überwiegend bei >80/90%. Die Anteile an Abbauprodukten sind dementsprechend gering (<10/20%). Dies belegt, dass ein mikrobiologischer Abbau nur in geringem Maße stattfindet. Die gemessenen Sauerstoffkonzentrationen (5,5 - 9 mg/l) und Redoxpotentiale (Eh: ca. 200 – 500 mV) lassen auf ein aerobes / oxidierendes Milieu schließen, bei dem ein Abbau von PER nicht erfolgt. Der dominierende Abbau dürfte daher der von TRI zu CIS sein, wobei die Analysedaten belegen, dass CIS nicht weiter zu VC abgebaut wird. Eine vollständige reduktive Dechlorierung findet ebenfalls nicht statt.

Im weiteren Verlauf des GwFließweges von den o.g. Eintragsbereichen zum WW Riedwiese bzw. WW Praunheim ist nicht zu erwarten, dass dort sulfatreduzierende oder methanogene Bedingungen herrschen. Insofern ist nicht davon auszugehen, dass ein weiterer Abbau von CIS zu VC und somit eine vollständige reduktive Dechlorierung stattfinden wird. Es werden daher auch zukünftig noch relevante LCKW-Frachten in Richtung WW Riedwiese und WW Praunheim abfließen. Die Entwicklung der letzten Jahre lässt vermuten, dass der Zenit der LCKW-Belastung das WW mittlerweile passiert hat, tendenziell also mit weiter rückläufigen LCKW-Konzentrationen zu rechnen ist, die allerdings noch über Jahrzehnte eine relevante Größenordnung haben werden.

6. Empfehlung weiterer Maßnahmen

Alle Überlegungen zu weiteren Maßnahmen gehen von der Annahme aus, dass eine Dekontamination weiterer Altstandorte, etwa analog zur Eppsteiner Straße, zumindest auf absehbare Zeit nicht durchführbar sein wird. Aufgrund der Bebauung der relevanten Flächen ist selbst eine Lokalisierung und räumliche Abgrenzung der maßgeblichen LCKW-Reservoirs wahrscheinlich nicht, oder nur mit hohem technischem und finanziellem Aufwand möglich.

Unter dieser Voraussetzung kommt der Kontrolle des Gefährdungspfad Grundwasser im durch das WW Riedwiese genutzten Gw-Leiter große Bedeutung zu, weil das bisherige Gw-Monitoring sich im Wesentlichen auf die Brunnen selbst beschränkt, so dass im Falle unerwarteter Veränderungen der Gw-Beschaffenheit keine Vorwarnzeiten bestehen. Zur Verbesserung der Datenbasis und Schließung der Lücken im vorhandenen Messnetz wurden bereits Vorschläge unterbreitet /35/, /36/ und in einer Projektgruppe diskutiert, die sich aus Stadt, Stadtwerken, [redacted] zusammensetzt.

Die im vorliegenden Bericht dokumentierte Untersuchung der Isotopenspektren von LCKW stellen den ersten in diesem Rahmen vereinbarten Schritt dar. Aufwändiger und kostenintensiver ist die empfohlene Verdichtung des Messnetzes und dessen Betrieb. Diesbezüglich wird aus gutachterlicher Sicht folgende Priorisierung vorgenommen:

(1) Erkundung der Belastungssituation im Umfeld der Altlast Eppsteiner Straße

Hier kann zunächst der Versuch unternommen werden, die Basis des oberen Gw-Leiters mit der seit 2007 /16/ verbesserten Technik der DP-Sondierungen zu erreichen (Schritt 1a). Sofern das gelingt und die Entnahme tiefenzonierter Gw-Proben möglich ist, wäre auf diesem Weg eine rasche und kostengünstige Abgrenzung der Gw-Verunreinigung möglich, die von dem verbliebenen DNAPL-Reservoir in 25 – 30 m uGOK ausgeht. GWM könnten dann dort errichtet werden, wo dies aufgrund der Ergebnisse aus der Voruntersuchung sinnvoll ist.

Ohne diese Möglichkeit der „Fahnenkartierung“ beschränken sich die technischen Möglichkeiten auf die aufwändigeren Bohrungen mit Ausbau zu GWM, die dann allerdings „blind“ und dort positioniert werden müssten, wo der Einsatz geeigneter Maschinen in der engen Altstadt überhaupt machbar wäre. Grundsätzlich ist eine solche Kontrollebene „Altstadt“ etwa auf der Linie GWM 6/2007 Strackgasse zur GWM 2/2007 Eckhardtstraße vorzusehen (vgl. Übersichts- und Detailpläne in Anlage 1), konkrete Bohrpunkte können in diesem Bereich nur anhand einer Detailprüfung in der Örtlichkeit festgelegt werden (Schritt 1b).

Ziel ist es, vorzugsweise auf der Hochscholle zu verbleiben, um die Bohrtiefen zu begrenzen und eine starke Verdünnung im Rahmen der dann auch hier erforderlichen IPV zu vermeiden.

(2) Erkundung der Belastungssituation im weiteren Abstrom der Altlast Eppsteiner Straße

Unter der Annahme, dass auf der Hochscholle in der Kontrollebene „Altstadt“ relevante Gw-Verunreinigungen nachweisbar sind, sollten diese auf der Tiefscholle in einer Kontrollebene „Alberusstraße - Rathaus“ weiter verfolgt werden, wobei die Frage der Tiefenverlagerung entlang der Störungszonen

von großer Bedeutung und darum eine tiefenzierte Kontrollmöglichkeit erforderlich ist. Analog zu Schritt 1 kann auch hier versucht werden, sinnvolle Positionen für die geplanten GWM durch vorläufige GwSondierungen zu finden.

(3) Betrieb des GwMessnetzes

Vor der Installation weiterer GWM ist sicherzustellen, dass das GwMonitoringssystem auch langfristig gesichert / erhalten und sinnvoll genutzt wird. Ein erster Vorschlag dazu wurde bereits 2010 vorgelegt (21), aber nicht umgesetzt; eine Aktualisierung des Nutzungskonzepts auf der Grundlage des heutigen Kenntnisstands ist erforderlich, wobei eine regelmäßige Bewertung der Daten aus der Überwachung und eine flexible Anpassung der Maßnahmen an den Erkenntniszuwachs vorzusehen ist.

(4) Kontrolle der Belastungssituation im Bereich Adenauerallee

Aufgrund der Tiefenverlagerung der LOKW-Fähnen wird eine Verdichtung des Messnetzes in diesem Bereich als unverhältnismäßig beurteilt. Auch die prinzipiell sinnvolle Sanierung der bestehenden tiefen GWM 2, die einen hydraulischen Kurzschluss zwischen verschiedenen gwführenden Horizonten darstellt, wird wegen der damit verbundenen hohen Kosten nicht empfohlen.

Um an dieser GWM belastbarere Aussagen zur GwBeschaffenheit zu gewinnen, müsste die Installation einer Pumpe mit dauerhafter Entnahme und Ableitung / ggf. Aufbereitung des geförderten Grundwassers in Betracht gezogen werden, damit so der seit ca. 25 Jahren andauernde Zufluss oberflächennahen Grundwassers in Tiefen bis über 50 m uGOK unterbunden würde.


Sinnvoll wäre darüber hinaus die Durchführung von IPV an den flachen GWM KB 1 – 3, an denen bislang überwiegend normale Pumpproben mit begrenzter räumlicher Aussagekraft entnommen worden sind. Wie das Beispiel KB 1 zeigt, können durch IPV in Abhängigkeit von Entnahmerate und Förderdauer überraschende Erkenntnisse zur GwBeschaffenheit im oberen GwLeiter und damit Hinweis auf relevante Einträge von Schadstoffen gewonnen werden.

(5) Kontrolle der GwBeschaffenheit im Vorfeld der Brunnengruppe Riedwiese

Aus gutachterlicher Sicht wird eine Verdichtung des Messnetzes in der „Kontrollebene Tabaksmühlenweg“ als sinnvoll beurteilt. Unter Einbeziehung der bestehenden Kontrollmöglichkeiten an dem ehemaligen Brunnen TTD 11/1 und der GWM IBM 12/1 würde damit die Infrastruktur für eine umfassende Beobachtung des GwStroms auch in dem Bereich geschaffen, in dem durch den hydraulischen Grundbruch im Rahmen des BV IBM die hydraulische Barriere zwischen oberem und unterem GwStockwerk möglicherweise beeinträchtigt worden ist (12).

Aufgrund der notwendigen tiefendifferenzierten Beobachtung wären die dafür erforderlichen GWM-Bündel / -Gruppen je nach Ausföhrung aber kostenintensiv.

(6) Kontrolle der GwBeschaffenheit im Zustrom mitmaßlicher Altlasten

Wie oben beschrieben, geben die aktuell durchgeföhrten Untersuchungen Hinweise auf Schadstoffeinträge in den Bereichen der Altstandorte im Portugall, obere Feldbergstraße und  Allerdings kann der Zustrom oder teilweise Zustrom von weiter im Oberstrom gelegenen Altstandorten nicht mit

Sicherheit ausgeschlossen werden. Zur Absicherung des hier dargestellten Befundes empfehlen wir die Errichtung von jeweils zwei oberstromigen GWM in der Kumelius- und Freiligrathstraße. In diesen GWM sollten ebenfalls Immissions-Pumpversuche durchgeföhrt werden. Für den Bereich des Altstandorts Im Portugall wurde bereits in unseren Gutachten vom 06.09.2016 /35/ und 09.01.2018 /36/ zur Absicherung der Befunde bzw. zum Ausschluss einer oberstromigen Quelle die Errichtung weiterer GWM (z. B. in der Philipp-Reis-Straße) vorgeschlagen.

Weiterhin verwiesen wird auf die Wichtigkeit der Durchführung eines GwMonitoringprogramms, insbesondere von Stichtagsmessungen, das ebenfalls im Gutachten vom 09.01.2018 /36/ dargestellt ist. Die in /36/ dargestellte Kostenschätzung für vorgeschlagene Maßnahmen ist im folgenden Kapitel in aktualisierter Form dargestellt.

7. Kostenschätzung

Die geschätzten (Netto-) Kosten für die vorgeschlagenen Maßnahmen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 7-1: *Vorschlag für die standortbezogene Verdichtung des GwMessnetzes, GwMonitoring und Erkundungsmaßnahmen mit Kostenschätzung*

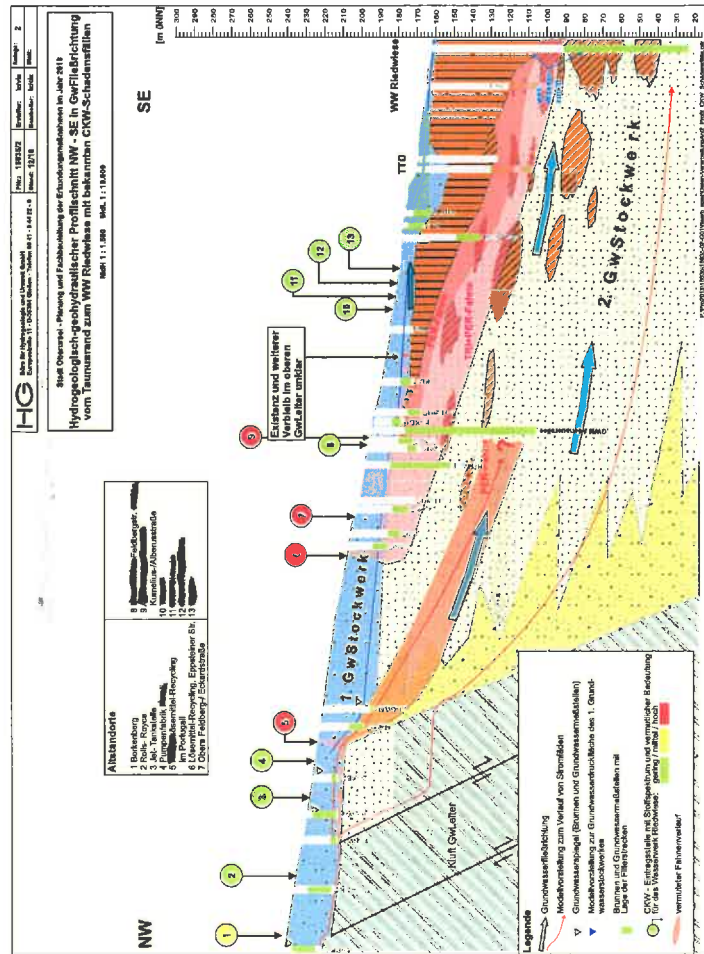
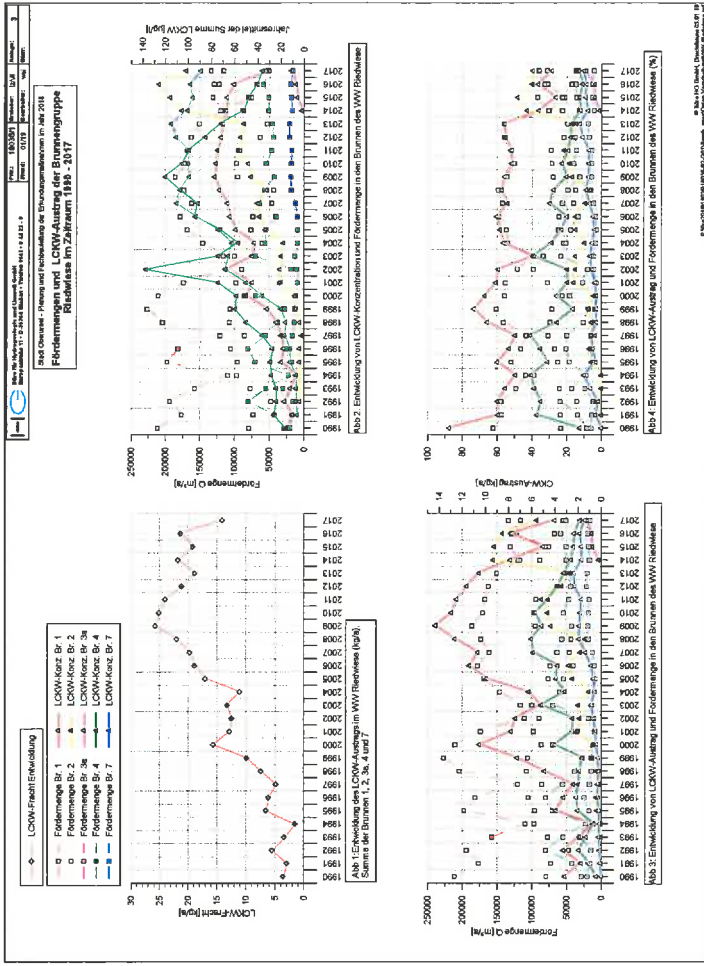
Priorität	Altstandort / GWM	Anzahl	Ausbau (mm)	Summe Bohrmeter (m)	EP (€)	Vsl. Kosten (€) gerundet
Untersuchung und Verdichtung des GwMessnetzes (Maßnahmenträger: Stadt Oberursel / RP DA)						
1a	Vorlaufende Direct-Push-Sondierungen im Abstrom Eppsteiner Straße	15		450	130	60.000
1b	GWM im Abstrom Eppsteiner Straße	4	125	100	500	50.000
1	Ing.-Leistungen inkl. Probenahme und LCKW-Analytik zu Abstromuntersuchung Eppsteiner Straße (Prio. 1.)	1			20.000	20.000
Summe Priorität 1:						130.000
2	GWM Anstrom Altstandort obere Feldbergstraße	2	125	60	500	30.000
2	GWM Anstrom Altstandort [Redacted]	2	125	60	500	30.000
2	Immissions-Pumpversuche (IPV) Kosten Drucksonden	10			8.000	80.000
2	10 GWM*12 Monate	120			50	6.000
2	Isotopenanalysen inkl. Probenahme	10			1.000	10.000
2	Thermo-Flowmeter	1			3.000	3.000
2	Ing.-Leistungen zu Prio. 2					30.000
Summe Priorität 2:						190.000
3	GWM Philipp-Reis-Straße	1	125	30	500	15.000
3	Ersatz defekter GWM im Bereich Schlackenschlagplatz	2	125	40	50	20.000
3	Ing.-Leistungen zu Prio. 3					5.000
Summe Priorität 3:						40.000
Geschätzte Kosten Prio. 1 + 3						360.000

Maßnahmen	Anzahl	Ausbau (mm)	Summe Bohrmeter (m)	EP (€)	Vsl. Kosten (€) gerundet
Bau von GwMessesteinen (Maßnahmenträger: Stadtwerke Oberursel GmbH)					
Vorlaufende Direct-Push-Sondierungen im Bereich Kontrollebene Albenstraße - Rathaus	10		300	130	40.000
Kontrollebene Albenstraße - Rathaus	2	125	60	500	30.000
Kontrollebene Tabaksmühlentweg	2	125	200	500	100.000
Kosten Ing.-Leistungen					20.000
Geschätzte Kosten (einmalig)					190.000
GwMonitoring					
Stichtagsmessung/Auslesen Datenlogger, Probenahme Grundwasser	125	Jährliche Kosten!		76	9.500
Analysen auf LCKW	111	Jährliche Kosten!		32	3.500
Analysen auf NA-Parameter	39	Alle 5 Jahre		90	3.500
Geochemische Übersichtsanalysen	6	Einmalige Kosten		350	2.000
Kosten Ing.-Leistungen		Erstes Jahr			15.000
Kosten Ing.-Leistungen		Folgejahre			5.000
Geschätzte Kosten (1. Jahr)					34.000
Geschätzte Kosten (2.-4., 6.-9., ...Jahr)		Jährliche Kosten!			18.000
Geschätzte Kosten (5., 10., ...Jahr)		alle 5 Jahre			22.000
Zukünftige Wasserversorgung (Maßnahmenträger: Stadtwerke Oberursel GmbH)					
Rückwärts-Berechnungen mittels GwModell	1			1.500	1.500
Geschätzte Kosten für den Bau von GWM	4	125	400	500	200.000
Leistungspumpversuch	4			10.000	40.000
Analysen nach Rohwasseruntersuchungsverordnung	4			350	1.500
Kosten Ing.-Leistungen					15.000
Geschätzte Kosten					258.000

Gießen, den 08.01.2019

Von der IHK öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger gemäß §18 BbbodSchG (Ss 2)

Von der IHK öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger
 - für Schaustoffe in Böden und Gewässern
 - für Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen
 - nach § 18 Bundesbodenschutzgesetz: Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Gewässer sowie Sanierung (Bodenschutz und Altlasten, Sachgebiete 2 und 5)





Leipzig, 21. Dezember 2018



Inhaltsverzeichnis

- 1 Veranlassung.....2
- 2 Grundlagen.....2
 - 2.1 Bewertungskriterien der Schadstoffquellenidentifizierung 3
 - 2.2 Mikrobieller Abbau..... 4
- 3 Methoden6
- 3.1 Probenahme und Schadstoffkonzentrationsbestimmung..... 6
- 3.2 Kohlenstoff- und Chlorisotopenanalyse der Schadstoffe..... 8
- 4 Ergebnisse und Interpretation8
- 4.1 Kohlenstoffisotopenverhältnisse der LCKW..... 9
- 4.2 Chlorisotopenverhältnisse der LCKW.....15
- 5 Zusammenfassung und Ausblick.....17
- 6 Quellenverzeichnis20
- AnhangI
 - A Grundlagen der Isotopenuntersuchung.....I
 - B Prüfbericht zu den LCKW-Konzentrationen für Grundwasserproben von Messstellen aus dem Stadtgebiet OberurselIII
 - C Kohlenstoff- und Chlorisotopenverhältnisse sowie Konzentrationen von LCKW für Grundwasserproben von Messstellen aus dem Stadtgebiet OberurselXV

Schadstoffquellenerkundung des LCKW-kontaminierten Grundwassers im Stadtgebiet Oberursel durch Kohlenstoff- und Chlorisotopenanalysen

Auftraggeber: HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH
Europastraße 11
D-35394 Gießen

Ansprechpartner: [REDACTED]

Auftragnehmer: Isodetect Umweltmonitoring GmbH
Deutscher Platz 5b · D-04103 Leipzig

Projektnummer: 18_2018_UF_HGH_Weil_Oberursel_13C-37Cl_LCKW

Prüfort: Stadtgebiet Oberursel

Bearbeitungszeitraum: Juli – Oktober 2018

Bearbeiter: [REDACTED]

Bearbeitungsumfang: 20 Seiten
2 Tabellen
5 Abbildungen
3 Anhänge



der Masse ^{37}Cl). Die Chlorisotopenverhältnisse werden gemäß Gleichung 2 in der δ -Notation [%] relativ zu dem internationalen SMOC-Standard (Standard Mean Ocean Chloride) (2) angegeben:

$$\delta^{37}\text{Cl} = \left(\frac{^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}}{^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}}_{\text{Standard}} - 1 \right) \quad [2]$$

Durch die Korrelation der Isotopenverhältnisse von Kohlenstoff und Chlor ($\delta^{13}\text{C}$ -Werte, $\delta^{37}\text{Cl}$ -Werte) kann potenziell eine präzisere Schadstoffquellenidentifizierung ermöglicht werden.

Organische Schadstoffe weisen je nach Herstellungsprozess und Isotopensignaturen ihrer Ausgangsprodukte verschiedene Primärisotopenverhältnisse auf. Somit besteht die Möglichkeit, die Schadstoffbelastung potenziellen Kontaminationsquellen zuzuordnen, Mischungsanteile verschiedener Eintragsherde abzuleiten bzw. Eintragszeiträume von Kontaminationen abzuschätzen.

Aufgrund des Abbaus kann sich die Ausgangsisotopensignatur eines Schadstoffs ändern (siehe Kap. 2.2), wodurch die Schadstoffquellenerkundung erschwert wird. Können die Kohlenstoffisotopenverhältnisse aller Abbauprodukte eines Primärschadstoffs erfasst werden, kann die Schadstoffquellencharakterisierung trotz Abbaus des Primärschadstoffs anhand der Summenkohlenstoffisotopensignatur ($\delta^{13}\text{C}_{\text{LCKW}}$) erfolgen. Dafür werden die ermittelten Kohlenstoffisotopenverhältnisse des Primärschadstoffs (PCE) und der Abbauprodukte (TCE, DCE, VC) ($\delta^{13}\text{C}$) mit ihrer jeweiligen molaren Konzentration (C_i) im Verhältnis zur molaren Gesamtkonzentration der chlorierten Ethene (C_{CE}) gewichtet (3):

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{CE}} [\text{‰}] = \frac{\sum C_i \cdot \delta^{13}\text{C}_i}{C_{\text{CE}}} \quad [3]$$

2.1 Bewertungskriterien der Schadstoffquellenidentifizierung

Zur Unterscheidung von zwei Kontaminationsquellen auf Basis von sowohl Kohlenstoff- als auch Chlorisotopenverhältnissen gibt es drei verschiedene Szenarien, welche in Tab. 1 aufgeführt sind (4).

Tab. 1: Szenarien für die Unterscheidung von Schadstoffquellen anhand von Kohlenstoff- bzw. Chlorisotopenverhältnissen.

	Oberstromige Quelle A	Unterstromige Quelle B	Unterscheidbarkeit
Quellisisotopensignatur	positiver	negativer	eindeutig
	negativer	positiver	wahrscheinlich
	gleich	gleich	bedingt

1 Veranlassung

Im Grundwasser des Stadtgebietes Oberursel wurden Kontaminationen durch leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW) festgestellt (1). Vorrangige Ziele der weiterführenden Untersuchungen sind die Identifizierung räumlicher Zusammenhänge zwischen den LCKW-Befunden in unterschiedlichen Bereichen bzw. Probenahmestellen und der Zuordnung der einzelnen LCKW-Fahnen, die in den Brunnen des Wasserwerkes Riedwiese ankommen.

Dafür hat die HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH die Firma

[REDACTED]

mit der Durchführung einer Schadstoffquellencharakterisierung auf Grundlage von Kohlenstoff- und Chlorisotopenanalysen an LCKW beauftragt.

2 Grundlagen

Isotope eines Elementes haben die gleiche Anzahl an Protonen, aber unterscheiden sich in der Anzahl der Neutronen, weshalb sie unterschiedliche Massen besitzen. Die meisten Elemente weisen mindestens zwei stabile Isotope auf. Der relative Unterschied von schweren zu leichten Isotopen eines Elementes wird als Isotopensignatur oder -verhältnis bezeichnet. Die genaue Bestimmung von Isotopensignaturen erfordert eine hochpräzise Analysetechnik, bei der spezielle Isotopenverhältnis-Massenspektrometer eingesetzt werden.

Zur Schadstoffquellencharakterisierung im Grundwasser des Stadtgebietes Oberursel wurden die Kohlenstoffisotopensignaturen von LCKW zu Grunde gelegt. Kohlenstoff besitzt zwei stabile Isotope, eines mit der Masse 12 (^{12}C) und eines mit der Masse 13 (^{13}C). Die Kohlenstoffisotopensignaturen werden gemäß Gleichung 1 in der δ -Notation [%] relativ zu dem internationalen V-PDB-Standard (Vienna Pee Dee Belemnite mit $^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = 0,0111802$) (2) angegeben:

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}}_{\text{Standard}} - 1 \right) \quad [1]$$

Aufgrund der geringen Unterschiede der $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnisse zwischen Probe und Standard werden die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in Promille (‰) angegeben.

Ergänzend zu den Kohlenstoffisotopensignaturen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ als $\delta^{13}\text{C}$ -Werte) wurden für ausgewählte Proben die Chlorisotopenverhältnisse ($^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ als $\delta^{37}\text{Cl}$ -Werte) von PCE und TOE bestimmt. Chlor besitzt zwei stabile Isotope, eines mit der Masse 35 (^{35}Cl) und eines mit



In der Regel ist eine eindeutige Erfassung zweier Eintragsherde möglich, wenn eine unterstromige Schadstoffquelle B eine negativere Quellsignatur als eine oberstromige Quelle A aufweist.

Falls in der Schadstoffanalyse eine Umsetzung zu isotopisch nicht erfassbaren Abbauprodukten ausgeschlossen werden kann, ist eine Unterscheidung einer oberstromigen Quelle A mit negativerer Quellsignatur gegenüber einer unterstromigen Quelle B mit positiverer Quellsignatur möglich.

Wenn die Quellsignaturen von zwei Schadstoffquellen gleich sind, kann eine Unterscheidung von zwei unabhängigen Eintragsherden nur bedingt erfolgen. Im Grundwasserabstrom der oberstromigen Quelle A findet ein signifikanter Abbau statt, bei dem das Quellsignaturverhältnis von Quelle A deutlich positiver wird. Erreicht der Schadstoff mit einem deutlich positiveren Isotopenverhältnis den potenziellen Einflussbereich von Quelle B, sollten im weiteren Grundwasserabstrom der Schadstoffquelle wieder negativere Isotopensignaturen bestimmbar sein. Da in Grundwasserleitern oftmals heterogene Abbauzonen und komplexe hydraulische Verhältnisse vorherrschen, ist eine Unterscheidung von Quellen mit gleicher Isotopensignatur meist nur eingeschränkt möglich. Grundvoraussetzung ist ein homogener Aquifer und/oder eine hohe Kenntnis der Grundwasserfließverhältnisse und mikrobiellen Schadstoffabbauprozesse.

2.2 Mikrobieller Abbau

Grundsätzlich können chlorierte Ethene unter anoxischen, speziell unter sulfatreduzierenden und methanogenen Bedingungen, als Elektronenakzeptoren von Mikroorganismen verwendet werden. Dieser Prozess wird als reduktive Dechlorierung (Abb. 1) bezeichnet.

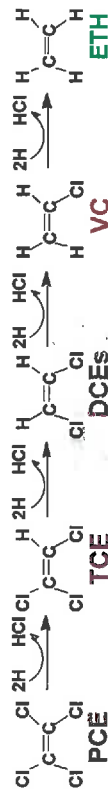


Abb. 1: Schema der reduktiven Dechlorierung von chlorierten Ethenen: PCE - Tetrachlorethen, TCE - Trichlorethen, DCE - Dichlorethen, VC - Vinylchlorid, ETH - Ethen.

Typische Zwischenprodukte der reduktiven Dechlorierung sind Dichlorethen (DCE) und Vinylchlorid (VC). Als Endprodukt der vollständigen reduktiven Dechlorierung entsteht Ethen. Ein Konzentrationsanstieg von Ethen gilt als Hinweis auf eine vollständige reduktive Dechlorierung in einem kontaminierten Grundwasserleiter. Gering chlorierte Ethene, wie

DCE und VC, können neben der reduktiven Dechlorierung auch unter oxidischen Milieubedingungen mineralisiert werden.

Infolge des mikrobiellen Abbaus verändert sich meist das Isotopenverhältnis eines Schadstoffs, da Mikroorganismen Schadstoffmoleküle, die leichte Isotopen (^{12}C , ^{35}Cl) in der reaktiven Position des initialen Reaktionsschrittes enthalten, schneller verwerten als Moleküle mit schweren Isotopen (^{13}C , ^{37}Cl). Dieser Prozess wird als Isotopenfraktionierung bezeichnet. Eine detaillierte Beschreibung zur mikrobiellen Kohlenstoffisotopenfraktionierung ist in Anhang A angeführt.

Das Isotopenverhältnis eines Schadstoffes wird im Grundwasser fast ausschließlich durch mikrobielle Abbauprozesse beeinflusst. Physikalische Effekte wie Verdünnung, Verflüchtigung oder Sorption sind in nahezu allen Fällen vernachlässigbar. Die Veränderung der Isotopensignatur von Schadstoffen in einem Grundwasserleiter ist deshalb zur Erfassung des in situ-Schadstoffabbaus geeignet (4,5).

Der Nachweis des Schadstoffabbaus anhand von Kohlenstoff- bzw. Chlorisotopendaten lässt sich unter Bezugnahme des typischen Messfehlers der verwendeten Analyseverfahren (GC-IRMS; $\pm 0,5 \text{ ‰}$ für $\delta^{13}\text{C}$ -Werte (4), $\pm 0,2 \text{ ‰}$ für $\delta^{37}\text{Cl}$ -Werte (6)) folgendermaßen erbringen:

- Auf dem Fließweg zwischen zwei Messstellen ist ein signifikant positiverer $\delta^{13}\text{C}$ - bzw. $\delta^{37}\text{Cl}$ -Wert feststellbar. In diesem Fall kann ein Unterschied der $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{37}\text{Cl}$ -Werte von $>+2,0 \text{ ‰}$ bzw. $>+0,8 \text{ ‰}$ (4 x typischer Messfehler entsprechend (5)) als Nachweis für den Abbau gewertet werden, wenn sich der Einfluss von Schadstoffquellen mit positiverer Quellsignatur ausschließen lässt. Geringere Unterschiede ($>+1,0$ bis $\leq+2,0 \text{ ‰}$ für $\delta^{13}\text{C}$ -Werte; $>+0,4$ bis $\leq+0,8 \text{ ‰}$ für $\delta^{37}\text{Cl}$ -Werte) können als Hinweis auf die Umsetzung des Schadstoffes gewertet werden.

Weiterhin kann eine Bewertung des Schadstoffabbaus in Bezug zu deren herstellungsbedingten Primärkohlenstoff- bzw. $\delta^{37}\text{Cl}$ -Wert eines Schadstoffs ist an einer beliebigen Messstelle eindeutig:

- Der $\delta^{13}\text{C}$ - bzw. $\delta^{37}\text{Cl}$ -Wert eines Schadstoffs ist an einer beliebigen Messstelle eindeutig positiver als es seine durch die Produktion resultierende Ausgangsisotopensignatur sein kann. Die primären $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{37}\text{Cl}$ -Werte von Schadstoffen sind meist negativer als $-22,0 \text{ ‰}$ bzw. $+5,0 \text{ ‰}$. Daher können $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{37}\text{Cl}$ -Werte positiver als $-20,0 \text{ ‰}$ bzw. $+5,8 \text{ ‰}$ auf Abbauprozesse zurückgeführt werden.

3 Methoden

3.1 Probenahme und Schadstoffkonzentrationsbestimmung

Die Grundwasserprobenahme wurde durch den Auftraggeber vom 10.07. bis 11.07.2018 sowie am 03.08.2018 durchgeführt. Die Bestimmung der Schadstoffkonzentrationen erfolgte durch die [REDACTED] (Anhang B).

Für die Kohlenstoff- und Chlorisotopenanalysen wurde pro Messstelle drei 0,5L-Glasflaschen (1 Rückstellprobe) mit Grundwasser befüllt und mit NaOH-Pellets fixiert. Die Proben wurden der Isodetect GmbH übergeben und bis zur Isotopenanalyse im Dunklen bei 4°C gelagert.

Anhand der Kontaminationsverteilung wurden die nachfolgend aufgeführten 20 Grundwassermessstellen für die Kohlenstoffisotopenanalysen der LCKW sowie 7 Grundwassermessstellen für die Chlorisotopenanalysen von PCE und TCE (mit * gekennzeichnet) in Absprache mit dem Auftraggeber ausgewählt. Die untersuchten Messstellen können den folgenden Beobachtungszonen zugeordnet werden (Abb. 2):

- [REDACTED] mit LCKW-Zustrom von Verdachtsfläche Borkenberg ●
- GW 4 RR
- Verdachtsfläche Im Portugal:
 - GWM 4/07*
- Altiast Eppsteinerstraße und deren potenzieller Grundwasserabstrom:
 - GWM 5/2007*, GWM 6/07
- Verdachtsfläche Eckardtstraße:
 - GWM 2/07, GWM 13/17
- Potenzieller Grundwasserabstrom der Verdachtsflächen Borkenberg ● Im Portugal, Eppsteinerstraße und/oder Eckardtstraße:
 - GWM Holzweg, GWM 3/07 flach, GWM 3/07 tief
- Verdachtsfläche Albersstraße:
 - GWM 8/17 flach*, GWM 8/17 tief, GWM 10/17 flach, GWM 10/17 tief
- Potenzieller Grundwasserabstrom der Verdachtsflächen Borkenberg ● Im Portugal, Eppsteinerstraße, Eckardtstraße und/oder Albersstraße:
 - GWM 2 oben*, GWM 2 unten
- Wasserwerk (WW) Riedwiese:
 - Br 1*, Br 2*, Br 3a*, Br 4, Br 7

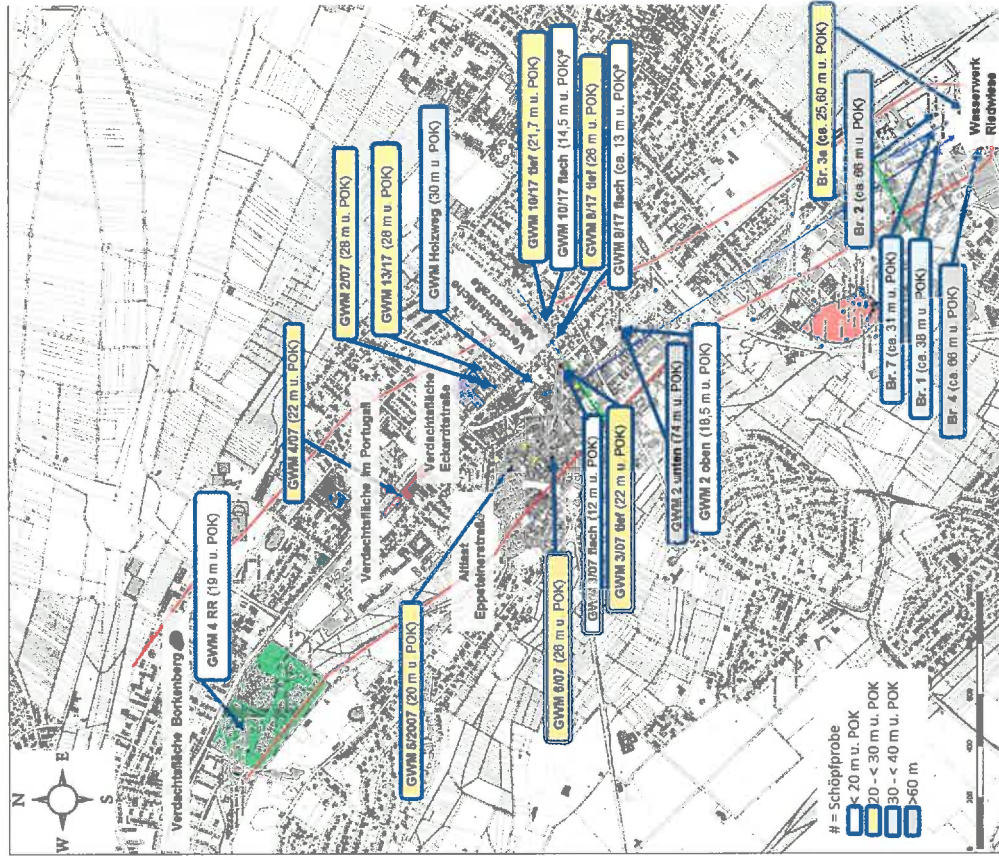


Abb. 2: Messstellenplan des Untersuchungsgebietes. Die im Rahmen der Isotopenuntersuchung beprobten Grundwassermessstellen sind mit blauen Pfeilen gekennzeichnet. Die Probenahmehorizonte sind farblich differenziert. m u. POK – Meter unter Pegeloberkante. Die Karte wurde durch den Auftraggeber bereitgestellt und ist modifiziert dargestellt.



3.2 Kohlenstoff- und Chlorisotopenanalyse der Schadstoffe

Zur Bestimmung der Kohlenstoffisotopenverhältnisse ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ als $\delta^{13}\text{C}$ -Werte) von LCKW wurde ein GC-C-IRMS-System (gas chromatography/ combustion/isotope ratio mass spectrometry) verwendet. Die Aufkonzentrierung der Analyten von der wässrigen in die Gasphase erfolgte mittels Purge&Trap. Die Trennung der Analyten erfolgte mit einer geeigneten GC-Säule unter Anwendung eines speziellen Temperaturprogrammes. Für die Identifizierung der Analyten sowie Kontrolle der Messgenauigkeit wurden Standards mit bekannten Kohlenstoffisotopenverhältnissen verwendet.

Die Chlorisotopenverhältnisse ($^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ als $\delta^{37}\text{Cl}$ -Werte) für PCE und TCE wurden mit einem GC-IRMS-System (gas chromatography - isotope ratio mass spectrometry) bestimmt. Die Analyten wurden mittels Headspace-Injektion in den Gaschromatographen (GC) überführt und mit einer geeigneten GC-Säule unter Anwendung eines speziellen Temperaturprogrammes getrennt. Für die Identifizierung der Analyten sowie Kontrolle der Messgenauigkeit wurden Standards mit bekannten Chlorisotopenverhältnissen verwendet.

Die Reproduzierbarkeit der $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{37}\text{Cl}$ -Werte betragen $\pm 0,5\%$ bzw. $\pm 0,3\%$ (überwiegend $\pm 0,2\%$) (Anhang C). Für gewöhnlich liegen die Messfehler der Kohlenstoff- und Chlorisotopenanalyse organischer Schadstoffe mittels GC-IRMS bei $\pm 0,5\%$ bzw. $\pm 0,2\%$ (5,6). Somit waren die Messschwankungen der ermittelten $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{37}\text{Cl}$ -Werte im Bereich des zu erwartenden Analysefehlers.

Für die Probe von GWM 5/2007 lagen ausreichende hohe Konzentrationen für *trans*-DCE und VC ($>5\ \mu\text{g/l}$) für die Bestimmung von $\delta^{13}\text{C}$ -Werten der beide Schadstoffe vor. Da jedoch die Konzentrationen der anderen chlorierten Ethene deutlich größer waren und für die Kohlenstoffisotopenanalyse verdünnt werden mussten, waren die Messsignale für *trans*-DCE und VC zu niedrig, um verlässliche $\delta^{13}\text{C}$ -Werte messen zu können.

4 Ergebnisse und Interpretation

Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte sowie Konzentrationen der LCKW für die untersuchten Grundwasserproben sind in Anlage C zusammengefasst und in Bezug zur Topographie des Standorts in Abb. 3 dargestellt. Entsprechend der Einzelstoffkonzentrationen konnten $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von Tetrachlorethen (PCE), Trichlorethen (TCE) und *cis*-Dichlorethen (*cis*-DCE) gemessen werden. Die Konzentrationen von Vinylchlorid (VC) waren zu gering um verlässliche Kohlenstoffisotopenverhältnisse für diesen Schadstoff zu ermitteln. Ergänzend wurden $\delta^{37}\text{Cl}$ -Werte für PCE und TCE an Br 1, Br 2, Br 3a, GWM 8/17 flach, GWM 2 oben, GWM 5/2007 und GWM 4/07 bestimmt.

4.1 Kohlenstoffisotopenverhältnisse der LCKW

Ein Großteil der untersuchten Messstellen (GWM 5/2007, GWM 13/17, GWM Holzweg, GWM 10/17 tief, GWM 2 oben, GWM 2 unten, Br 1, Br 2, Br 3a, Br 4, Br 7) weist Kohlenstoffisotopenverhältnisse von PCE ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte) auf, die negativer als deren Kohlenstoffsummenisotopensignaturen ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CE}}$ -Werte) sind. Dies deutet darauf hin, dass es trotz der vollständigen Umsetzung der chlorierten Ethene einen Zufluss von geringer abgebautem PCE möglicherweise durch Rebound-Effekte gibt. Weiterhin kann das geringere abgebaute PCE mit dem Grundwasserstrom in oxische Bereiche verlagert werden, wo es im Vergleich zu den anderen chlorierten Ethenen deutlich persistenter ist. Dadurch würden die geringer chlorierten Ethene aerob abgebaut und deren Kohlenstoffisotopenverhältnisse positiver, während PCE nicht umgesetzt und deren $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Wert sich nicht ändern würde. Dementsprechend scheinen die $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte an GWM 5/2007, GWM 13/17, GWM Holzweg, GWM 8/17 flach, GWM 8/17 tief, GWM 10/17 tief, GWM 2 oben, GWM 2 unten, Br 1, Br 2, Br 3a, Br 4 und Br 7 einen präziseren Anhaltspunkt der Ausgangskohlenstoffisotopensignatur als die ermittelten $\delta^{13}\text{C}_{\text{CE}}$ -Werte zu geben. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass vor allem die positiveren $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte durch Abbauprozesse bedingt sein könnten und damit als Bezugswerte evtl. zu einer unpräziseren Schadstoffquellencharakterisierung im Untersuchungsgebiet führen könnten. Somit empfiehlt es sich, in weiterführenden Untersuchungen die Quellisotopensignatur für potenzielle Verdachtsflächen durch Isotopenanalysen an weiteren Messstellen zu prüfen.

Im Grundwasserabstrom der Verdachtsfläche Borkenberg wurde die negativste Summenkohlenstoffisotopensignatur ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CE}}$ -Wert) an GW 4 RR ($-31,0\%$) bestimmt. Dies deutet auf einen eigenständigen Schadensfall hin, der sich von den anderen Verdachtsflächen abgrenzt.

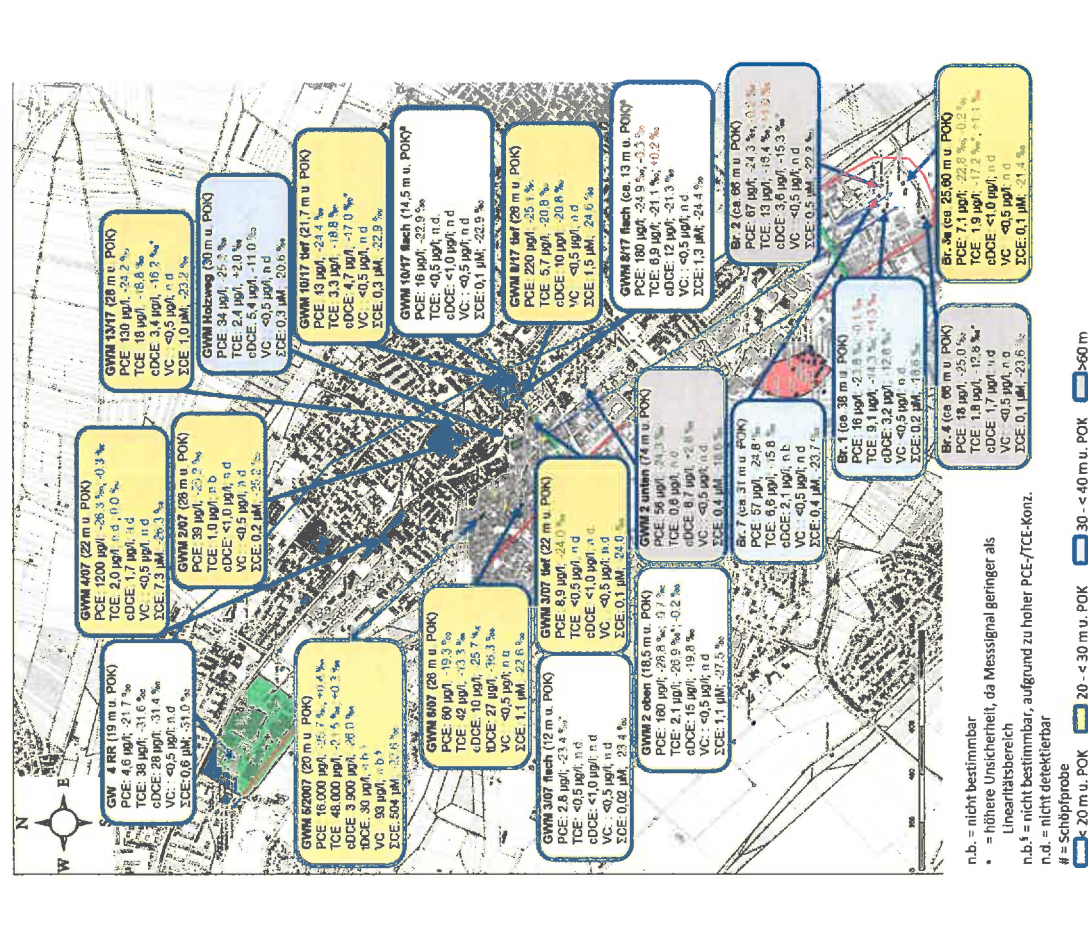
Die Grundwasser messstellen im potenziellen, unmittelbaren Grundwasserabstrom von GW 4 RR weisen positivere $\delta^{13}\text{C}_{\text{CE}}$ -Werte auf (GWM 4/07 im nahen Zustrombereich der Verdachtsfläche Im Portugall: $-26,3\%$; GWM 5/2007 im nahen Zustrombereich der Verdachtsfläche Eppsteinerstraße: $-22,6\%$). Dies kann zum einen auf einen LCKW-Zustrom von GW 4 RR nach GWM 4/07 bzw. GWM 5/2007 unter der Voraussetzung einer Umsetzung der chlorierten Ethene zu nicht-chlorierten Abbauprodukten zurückgeführt werden. Zum anderen ist ein LCKW-Zustrom von anderen Verdachtsflächen mit positiverer Quellisotopensignatur als an GW 4 RR nach GWM 4/07 bzw. GWM 5/2007 denkbar. Da die LCKW-Gehalte an GWM 4/07 bzw. GWM 5/2007 deutlich höher sind als die $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte negativer als an GW 4 RR sind, ist ein LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Borkenberg nach GWM 4/07 bzw. GWM 5/2007 auszuschließen. Wahrscheinlicher erscheint, dass die LCKW-Belastungen an GWM 4/07 von der Verdachtsfläche Im Portugall sowie an GWM 5/2007 von der Altlast Eppsteinerstraße stammen.

Ein LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche im Portugal zur Alltast Eppsteinerstraße ist eher auszuschließen, da die Konzentrationen und Verteilungsmuster der chlorierten Ethene an GWM 5/2007 deutlich höher bzw. unterschiedlich als an GWM 4/07 sind. Die $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte an GWM 4/07 und GWM 5/2007 sind ähnlich. Somit wäre ein vernachlässigbarer PCE-Abbau bei einem LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche im Portugal zur Alltast Eppsteinerstraße anzunehmen. Da an GWM 5/2007 jedoch sehr hohe TCE-Gehalte vorliegen, müsste PCE zu TCE auf dem vermuteten Fließweg von der Verdachtsfläche im Portugal zur Alltast Eppsteinerstraße umgesetzt werden. Dies steht aber im Widerspruch zu den $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werten an GWM 4/07 und GWM 5/2007.

Im potenziellen Grundwasserabstrom von GWM 5/2007 (Alltast Eppsteinerstraße) lag an GWM 6/07 ein gleicher $\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_{2\text{E}}}$ -Wert (-22,6 %) wie an GWM 5/2007 vor, was auf einen LCKW-Zustrom von der Alltast Eppsteinerstraße nach GWM 6/07 hindeutet. Dieser müsste jedoch mit einem Abbau von PCE und TCE einhergehen, da die $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ - und $\delta^{13}\text{C}_{\text{TCE}}$ -Werte an GWM 6/07 positiver als an GWM 5/2007 sind. Aufgrund des im Vergleich zu GWM 4/07 positiveren $\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_{2\text{E}}}$ -Wertes an GWM 6/07 ist ein LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche im Portugal wahrscheinlich, wenn dabei eine Umsetzung zu nicht-chlorierten Abbauprodukten stattfindet.

Die im unmittelbaren Grundwasserabstrom der Verdachtsfläche Eckardtstraße befindlichen GWM 2/07 und GWM 13/17 zeigen im Vergleich zu der im Grundwasseranstrom gelegenen GWM 4/07 (Verdachtsfläche im Portugal) geringere LCKW-Gehalte sowie positivere $\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_{2\text{E}}}$ -Werte (GWM 2/07: -25,2 %; GWM 13/17: -23,2 %). Somit kann anhand der $\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_{2\text{E}}}$ -Werte von einem LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche im Portugal nach GWM 2/07 und GWM 13/17 (Verdachtsfläche Eckardtstraße) ausgegangen werden, unter der Voraussetzung einer Umsetzung der chlorierten Ethene zu nicht-chlorierten Abbauprodukten. Die $\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_{2\text{E}}}$ -Werte für GWM 2/07 und GWM 13/17 geben keine Hinweise auf einen eigenständigen LCKW-Schadensherd auf der Verdachtsfläche Eckardtstraße.

GWM Holzweg liegt im potenziellen Grundwasserabstrom mehrerer Verdachtsflächen/Alltast (Borkenberg, Im Portugal, Eppsteinerstraße und/oder Eckardtstraße). Gegenüber diesen ist der an GWM Holzweg ermittelte $\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_{2\text{E}}}$ -Wert (-20,6 %) positiver. Somit kann entsprechend der $\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_{2\text{E}}}$ -Werte ein LCKW-Zustrom von den oberstromigen Verdachtsflächen/Alltast (Borkenberg, Im Portugal, Eppsteinerstraße und/oder Eckardtstraße) nach GWM Holzweg vermutet werden, wenn eine Umsetzung der chlorierten Ethene zu nicht-chlorierten Abbauprodukten stattfindet. Der $\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_{2\text{E}}}$ -Wert an GWM Holzweg war tendenziell positiver als herstellungsbedingte Primärkohlenstoffisotopensignaturen für LCKW ($\leq -22,0 \%$) und indiziert die Umsetzung der chlorierten Ethene zu nicht-chlorierten Abbauprodukten. Eher auszuschließen ist der LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Borkenberg zu GWM Holzweg, da die PCE-Konzentration an dieser Messstelle höher als an GW 4 RR (Verdachtsfläche Borkenberg) ist. Aufgrund der im Vergleich zu





GWM Holzweg geringeren LCKW-Konzentration an GWM 2/07 sowie des positiveren $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Wertes an GWM 13/17 ist ein LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Eckardtstraße nach GWM Holzweg eher unplausibel. Der LCKW-Zustrom von der Alltlast Eppsteinerstraße zur GWM Holzweg ist wahrscheinlich, wenn PCE einen vernachlässigbaren Abbau unterliegt, was durch die relativ ähnlichen $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte an GWM 5/2007 (-25,7 %) und an GWM Holzweg (-25,2 %) bestätigt werden würde. Für TCE und *cis*-DCE müsste aber eine signifikante Umsetzung stattfinden, weil die Kohlenstoffisotopenverhältnisse dieser beiden chlorierten Ethene ($\delta^{13}\text{C}_{\text{TCE}}$ -Wert bzw. $\delta^{13}\text{C}_{\text{cis-DCE}}$ -Wert) an GWM Holzweg positiver als an GWM 5/2007 sind. Ein verminderter PCE- und höherer TCE- bzw. *cis*-DCE-Abbau ist unter oxischen Milieubedingungen zu erwarten. Ein LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Im Portugall nach GWM Holzweg ist möglich, wenn dieser mit der Umsetzung von PCE einhergeht und die Transformationsprodukte TCE und *cis*-DCE auch abgebaut werden. Diese Voraussetzung ergibt sich anhand des im Vergleich zu GWM 4/07 (Verdachtsfläche Im Portugall) positiveren $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Wertes an GWM Holzweg sowie den gegenüber den herstellungsbedingten Primärkohlenstoffisotopensignaturen für LCKW ($\leq -22,0$ %) positiveren $\delta^{13}\text{C}_{\text{TCE}}$ - und $\delta^{13}\text{C}_{\text{cis-DCE}}$ -Werten an GWM Holzweg.

Die im unmittelbaren Grundwasserabstrom von GWM Holzweg gelegenen GWM 3/07 flach und GWM 3/07 tief wiesen alleinig PCE in bestimmbarer Konzentrationen (2,8 µg/l bzw. 8,9 µg/l) auf. Demzufolge ergeben sich die $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte an beiden Messstellen nur aus dem jeweiligen $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Wert. Damit ist die Quellidentifizierung für GWM 3/07 flach und GWM 3/07 tief durch die $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte eingeschränkt. Spezifischere Aussagen lassen sich anhand der $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte ableiten. GWM 3/07 flach und GWM 3/07 tief wiesen $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte von -23,4 % bzw. -24,0 % auf. Diese sind positiver als an GWM 4/07 (Verdachtsfläche Im Portugall), GWM 2/07 (Verdachtsfläche Eckardtstraße) und GWM 5/2007 (Alltlast Eppsteinerstraße). Somit ist ein LCKW-Zustrom von den Verdachtsflächen Im Portugall und Eckardtstraße bzw. der Alltlast Eppsteinerstraße wahrscheinlich. Dieser müsste jedoch mit einer Umsetzung zu nicht-chlorierten Abbauprodukten einhergehen, da die Gehalte von TCE, *cis*-DCE und VC an GWM 3/07 flach und GWM 3/07 unterhalb der Bestimmungsgrenzen liegen.

Die im unmittelbaren Grundwasserabstrom der Verdachtsfläche Albersstraße befindlichen GWM 8/17 flach und GWM 8/17 tief weisen nahezu identische LCKW-Konzentrationen und $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte (-24,4 % bzw. -24,6 %) auf. Die ebenfalls im unmittelbaren Grundwasserabstrom der Verdachtsfläche Albersstraße gelegenen GWM 10/17 flach und GWM 10/17 tief haben zueinander auch gleiche $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte (-22,9 %) auf. Aufgrund der übereinstimmenden $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte im oberen und unteren Tiefenbereich von sowohl GWM 8/17 als auch GWM 10/17 ist davon auszugehen, dass die LCKW an den jeweiligen Messstellen vertikal von dem gleichen Schadstoffeintrag stammen. Aufgrund der im Vergleich zu GW 4 RR höheren PCE-Gehalte und negativeren $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte an GWM 8/17 flach, GWM 8/17 tief, GWM 10/17 flach und GWM 10/17 tief ist ein LCKW-



Zustrom von der Verdachtsfläche Borkenberg zu diesen Messstellen auszuschließen. GWM 8/17 flach und GWM 8/17 tief (Verdachtsfläche Albersstraße) haben höhere LCKW-Gehalte als die im Grundwasseranstrom gelegenen GWM 2/07 und GWM 13/17 (Verdachtsfläche Eckardtstraße), was auf der Verdachtsfläche Albersstraße einen eigenständigen LCKW-Eintrag suggeriert sowie einen LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Eckardtstraße zur GWM 8/17 ausschließt. Die im Vergleich zur GWM 13/17 (-23,2 %) negativeren $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte an GWM 8/17 (-24,4 % bzw. -24,6 %) indizieren ebenfalls einen eigenständigen Eintragsherd auf der Verdachtsfläche Albersstraße, von dem ein LCKW-Zustrom nach GWM 8/17 vermutet werden kann. Die $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte an GWM 8/17 flach und GWM 8/17 tief (Verdachtsfläche Albersstraße) sind dennoch tendenziell positiver als die an GWM 4/07 (Verdachtsfläche Im Portugall). Demzufolge ist ein LCKW-Zustrom von der oberstromigen Verdachtsfläche Im Portugall zur Verdachtsfläche Albersstraße anhand der $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte wahrscheinlich. Da der $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Wert an GWM 5/2007 (Verdachtsfläche Eppsteinerstraße) positiver als an GWM 8/17 flach und GWM 8/17 tief ist, ist ein LCKW-Zustrom von Verdachtsfläche Eppsteinerstraße zur Verdachtsfläche Albersstraße auszuschließen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte, wäre ein PCE-Zustrom von GWM 5/2007 (Verdachtsfläche Eppsteinerstraße) nach GWM 8/17 flach und GWM 8/17 tief theoretisch möglich, da die $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte an diesen Messstellen ähnlich bzw. tendenziell positiver sind. Jedoch lassen die höheren Verhältnisse von PCE zu TCE für GWM 8/17 flach (26) und GWM 8/17 tief (39) im Vergleich zu GWM 5/2007 (0,3) sowie die ähnlichen $\delta^{13}\text{C}_{\text{TCE}}$ -Werte von GWM 5/2007 (-21,5 %), GWM 8/17 flach (-21,1 %) und GWM 8/17 tief (-20,8 %) einen LCKW-Zustrom von GWM 5/2007 nach GWM 8/17 flach bzw. tief als unplausibel erscheinen. Die Unterschiede der Verhältnisse von PCE zu TCE zwischen GWM 5/2007 und GWM 8/17 flach sowie GWM 8/17 tief wären nur im Zusammenhang mit einem starken TCE-Abbau erklärbar. Dieser würde aber mit deutlich positiveren $\delta^{13}\text{C}_{\text{TCE}}$ -Werten an GWM 8/17 flach sowie GWM 8/17 tief als an GWM 5/2007 einhergehen. Die $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte an GWM 10/17 flach und GWM 10/17 tief sind positiver als an GWM 4/07 (Verdachtsfläche Im Portugall). Somit ist ein LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Im Portugall nach GWM 10/17 flach und GWM 10/17 tief wahrscheinlich, wenn dabei eine Umsetzung zu nicht-chlorierten Abbauprodukten stattfindet. An GWM 10/17 flach und GWM 10/17 tief wurden im Vergleich zu GWM 5/2007 ähnliche $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte bestimmt. Der $\delta^{13}\text{C}_{\text{cis-DCE}}$ -Wert an GWM 10/17 tief ist positiver als an GWM 5/2007. Demnach sollte bei einem LCKW-Zustrom von der Alltlast Eppsteinerstraße zur GWM 10/17 ein *cis*-DCE-Abbau stattfinden. Ein aerober Abbau von *cis*-DCE zu nicht-chlorierten Abbauprodukten wäre aufgrund der ähnlichen $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte an GWM 5/2007 und GWM 10/17 eher auszuschließen. Eine reduktive Dechlorierung von *cis*-DCE zu VC ist unwahrscheinlich, da die VC-Konzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze liegt. Deshalb erscheint ein LCKW-Zustrom von der Alltlast Eppsteinerstraße nach GWM 10/17 unplausibel. Aufgrund der im Vergleich zu GWM 13/17

ähnlichen $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DCE-}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{cis-DCE}}$ -Werte an GWM 10/17 tief ist ein LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Eckardtstraße nach GWM 10/17 wahrscheinlich.

Die im potenziellen Grundwasserabstrom der Verdachtsflächen Borkenberg, Im Portugall, Alberusstraße, Eckardtstraße und/oder der Alltast Eppsteinerstraße befindlichen GWM 2 oben und GWM 2 unten zeigen deutlich unterschiedliche $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ -Werte (-27,5 ‰ bzw. -18,6 ‰). Der im Vergleich zu den oberstromigen Verdachtsflächen/Alltast (mit Ausnahme der Verdachtsfläche Borkenberg) negativere $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ -Wert an GWM 2 oben suggeriert einen LCKW-Zustrom von einem im Rahmen dieser Untersuchung unberücksichtigten Eintragsherd. Somit kann ein LCKW-Zustrom von den Verdachtsflächen Im Portugall, Alberusstraße, Eckardtstraße und/oder der Alltast Eppsteinerstraße ausgeschlossen werden. Der $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ -Wert an GWM 2 oben ist negativer als an GW 4 RR, was einen LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Borkenberg nach GWM 2 oben ausschließt. Dies wird anhand der negativen $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{TCE-}}$ -Werte bestätigt. An GWM 2 unten belegt der $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ -Wert, der positiver als herstellungsbedingte Primärkohlenstoffisotopensignaturen für LCKW ($\leq -22,0$ ‰) ist, die Umsetzung der chlorierten Ethene zu nicht-chlorierten Abbauprodukten. Ein LCKW-Zustrom von den oberstromigen Verdachtsflächen/Alltast nach GWM 2 unten ist anhand des im Vergleich zu den Messstellen bei den Verdachtsflächen bzw. Alltast positiveren $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ -Wertes zu vermuten, wenn dabei eine Umsetzung zu nicht-chlorierten Abbauprodukten stattfindet. Der $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ -Wert an GWM 2 unten ist negativer als an GW 4 RR, was einen LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Borkenberg nach GWM 2 unten ausschließt. Eine weitere Ursache für die LCKW-Belastung an GWM 2 unten könnte eine vertikale Schadstoffverlagerung aus einem im näheren Zustrombereich befindlichen Eintragsherd, wie anhand der $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{DCE-}}$ -Werte an GWM 2 oben angenommen werden kann, sein, wenn PCE auf diesen potenziellen Fließweg abgebaut wird bzw. es zu einer Umsetzung der chlorierten Ethene zu nicht-chlorierten Abbauprodukten kommt.

Die $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ -Werte an den Brunnen im Bereich des WW Riedwiese schwanken zwischen -23,7 und -18,6 ‰. GW 4 RR weist zwar einen negativeren $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ -Wert als an den Brunnen WW Riedwiese auf und lässt somit einen LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Borkenberg vermuten. Dies kann jedoch anhand der im Vergleich zu GW 4 RR negativeren $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ -Werte an den Brunnen von WW Riedwiese ausgeschlossen werden. Die $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{DCE-}}$ -Werte an den Brunnen von WW Riedwiese sind positiver als an GWM 4/07 (Verdachtsfläche Im Portugall). Somit ist ein LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Im Portugall möglich, wenn eine Umsetzung von PCE bis hin zu nicht chlorierten Abbauprodukten stattfindet. Im Vergleich zu den GWM 2/07 und GWM 13/17 (Verdachtsfläche Eckardtstraße) sind die $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{DCE-}}$ -Werte an den Brunnen WW Riedwiese ähnlich bis positiver, was einen LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Eckardtstraße zum WW Riedwiese vermuten lässt. Dies wäre im Bezug zu GWM 13/17 plausibel, wenn ein Abbau von TCE und *cis*-DCE stattfindet, da die $\delta^{13}\text{C}_{\text{TCE-}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{cis-DCE-}}$

Werte an den Brunnen WW Riedwiese positiver als an GWM 13/17 sind. Aufgrund des geringen PCE-Gehaltes an GWM 2/07 im Vergleich zu Br 2 und Br 7 ist ein LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Eckardtstraße nach Br 2 und Br 7 unwahrscheinlich. Anhand der im Vergleich zu GWM 8/17 flach und GWM 8/17 tief (Verdachtsfläche Alberusstraße) positiveren $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{TCE-}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{cis-DCE}}$ -Werte an den Brunnen von WW Riedwiese scheint ein LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Alberusstraße zum WW Riedwiese wahrscheinlich zu sein, wenn die chlorierten Ethene abgebaut werden. Der TCE-Gehalt an Br 2 ist höher als an GWM 8/17 flach und GWM 8/17 tief (Verdachtsfläche Alberusstraße). Eine TCE-Zunahme auf einem potenziellen Fließweg von GWM 8/17 flach und GWM 8/17 tief zu Br 2 wäre durch die Umsetzung von PCE erklärbar. Jedoch ist aufgrund der ähnlichen $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ -Werte an Br 2 und GWM 8/17 flach bzw. GWM 8/17 tief von einem vernachlässigbaren PCE-Abbau auszugehen. Für diesen Fall wäre ein LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Alberusstraße nach Br 2 am WW Riedwiese eher unwahrscheinlich. Anhand der im Vergleich zu GWM 5/2007 (Alltast Eppsteinerstraße) positiveren bzw. ähnlichen $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ -Werte sowie positiveren $\delta^{13}\text{C}_{\text{DCE-}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{TCE-}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{cis-DCE}}$ -Werte an Br 1, Br 2 und Br 3a ist ein LCKW-Zustrom von der Alltast Eppsteinerstraße nach WW Riedwiese wahrscheinlich, wenn eine Umsetzung von PCE, TCE und *cis*-DCE sowie teilweise zu nicht chlorierten Abbauprodukten (zutreffend für Br 1 und Br 3a) stattfindet. An Br 4 und Br 7 wurden $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ -Werte (-23,6 ‰ bzw. -23,7 ‰) ermittelt, die negativer als an GWM 5/2007 sind. Demzufolge ist ein LCKW-Zustrom von der Alltast Eppsteinerstraße zu Br 4 und Br 7 anhand der $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ -Werte eher unwahrscheinlich. Jedoch ist an GWM 5/2007 der $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ -Wert negativer bzw. ähnlich sowie die $\delta^{13}\text{C}_{\text{TCE-}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{cis-DCE}}$ -Werte negativer als an Br 4 und Br 7, was einen LCKW-Zustrom von der Alltast Eppsteinerstraße zu Br 4 und Br 7 plausibel erscheinen lässt und somit in Widerspruch zu den $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$ -Werten steht. Im nahen Zustrombereich von GWM 2 oben ist mit einem bisher unbekanntem LCKW-Eintragsbereich zu rechnen. Ein LCKW-Zustrom von GWM 2 oben nach WW Riedwiese ist plausibel, wenn dieser mit einem Abbau von PCE, TCE und *cis*-DCE einhergeht, da die $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE-}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DCE-}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{TCE-}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{cis-DCE}}$ -Werte an den Brunnen von WW Riedwiese positiver als an GWM 2 oben sind.

Im potenziellen, näheren Grundwasseranstrom des WW Riedwiese befindet sich die Verdachtsfläche „Bostik“, von der keine Proben für die Isotopenuntersuchung zur Verfügung standen. Deshalb war eine Bewertung des LCKW-Zustroms von dieser Verdachtsfläche zum WW Riedwiese nicht möglich.

4.2 Chlorisotopenverhältnisse der LCKW

Für sieben ausgewählte Messstellen (GWM 5/2007, GWM 4/07, GWM 8/17 flach, GWM 2 oben, Br 1, Br 2, Br 3a) wurden Chlorisotopenverhältnisse von PCE ($\delta^{37}\text{Cl}_{\text{PCE}}$ -Werte) zwischen -0,7 und +0,4 ‰ gemessen. Der negativste $\delta^{37}\text{Cl}_{\text{PCE}}$ -Wert wurde an GWM 2 oben (-

0,7 %) bestimmt, wo der negativste $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Wert (-28,8 ‰) zu verzeichnen war (Abb. 4). Damit wird der eigenständige Schadensherd im nahen Zustrombereich dieser Messstelle bestätigt.

Anhand der $\delta^{37}\text{Cl}_{\text{PCE}}$ - und $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte ist ein LCKW-Zustrom von den Verdachtsflächen Albersstrasse (GWM 8/17 flach), Im Portugall (GWM 4/07) sowie bei GWM 2 oben zum WW Riedwiese (Br 1, Br 2, Br 3a) wahrscheinlich, wenn auf den potenziellen Fließwegen eine Umsetzung von PCE stattfindet (Abb. 4). Dies wird für GWM 8/17 flach und GWM 2 oben durch die Chlorisotopenverhältnisse von TCE ($\delta^{37}\text{Cl}_{\text{TCE}}$ -Werte) sowie $\delta^{13}\text{C}_{\text{TCE}}$ -Werte (Abb. 5) bekräftigt. Jedoch ist aufgrund der ähnlichen $\delta^{37}\text{Cl}_{\text{PCE}}$ - und $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte an GWM 8/17 flach und Br 2 mit keinem PCE-Abbau zu rechnen. Somit erscheint ein LCKW-Zustrom unplausibel, was anhand des im Vergleich zu Br 2 geringeren TCE-Gehaltes an GWM 8/17 flach bestätigt wird. Da der $\delta^{37}\text{Cl}$ -Wert an GWM 5/2007 positiver als an Br 1, Br 2 und Br 3a ist, ist ein PCE-Zustrom von der Altlast Eppsteinerstraße zum WW Riedwiese eher unwahrscheinlich. Jedoch lassen die im Vergleich zu GWM 5/2007 positiveren Chlorisotopenverhältnisse von TCE ($\delta^{37}\text{Cl}_{\text{TCE}}$ -Werte) an Br 1, Br 2 und Br 3a einen TCE-Zustrom von der Altlast Eppsteinerstraße zum WW Riedwiese als möglich erscheinen (Abb. 5), wenn dieser mit einem TCE-Abbau einhergeht. Der potenzielle TCE-Zustrom von der Altlast Eppsteinerstraße zum WW Riedwiese wird durch die im Vergleich zu GWM 5/2007 positiveren $\delta^{13}\text{C}_{\text{TCE}}$ -Werte an Br 1, Br 2 und Br 3a bekräftigt (Abb. 5).

Abb. 4: Kohlenstoff- und Chlorisotopenverhältnisse ($\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{37}\text{Cl}$ -Werte) von PCE. Blau – WW-Riedwiese, Gelb – Verdachtsfläche Albersstrasse, Grün – Verdachtsfläche Im Portugall, Grau – Verdachtsfläche Eppsteinerstraße, Rot – Grundwasserabstrom der Verdachtsflächen.

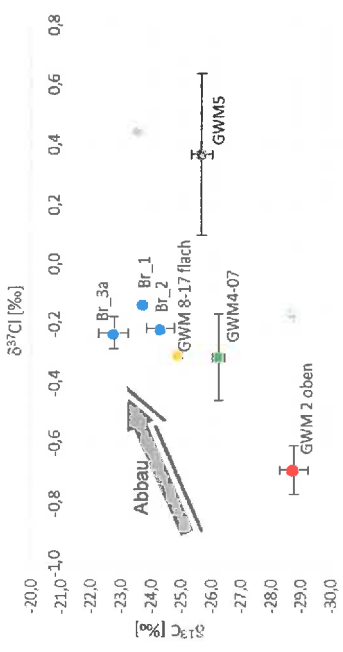
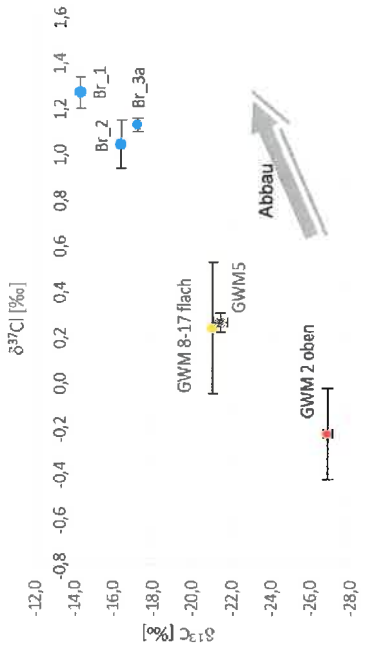


Abb. 5: Kohlenstoff- und Chlorisotopenverhältnisse ($\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{37}\text{Cl}$ -Werte) von TCE. Blau – WW-Riedwiese, Gelb – Verdachtsfläche Albersstrasse, Grau – Verdachtsfläche Eppsteinerstraße, Rot – Grundwasserabstrom der Verdachtsflächen.



5 Zusammenfassung und Ausblick

Die negativen Kohlenstoff- und Chlorisotopenverhältnisse an GWM 2 oben indizieren einen eigenständigen LCKW-Eintrag im nahen Zustrombereich dieser Messstelle. Auf Grundlage der ermittelten $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von LCKW sowie der ergänzend bestimmten $\delta^{37}\text{Cl}$ -Werte von PCE und TCE lassen sich die in Tab. 2 zusammengefassten Erkenntnisse zur Schadstoffquellencharakterisierung im Untersuchungsgebiet zusammenfassen. Für die in den Brunnen des WW Riedwiese vorhandenen LCKW sind die Verdachtsflächen Im Portugall, Albersstrasse (mit Ausnahme von Br 2) und des näheren Zustrombereiches von GWM 2 oben als potenzielle Quellen wahrscheinlich. Ein LCKW-Zustrom von der Verdachtsfläche Borkenberg zum WW Riedwiese kann ausgeschlossen werden. Dass die LCKW an den Brunnen des WW Riedwiese von der Verdachtsfläche Eckardtstraße stammen, ist für Br 1, Br 3a und Br 4 wahrscheinlich und für Br. 2 und Br. 7 eher unwahrscheinlich. Für einen LCKW-Zustrom von der Altlast Eppsteinerstraße zu den Brunnen des WW Riedwiese gibt es Hinweise, die dafür und dagegen sprechen:

- Dafür:
 - $\delta^{13}\text{C}_{\text{PCE}}$ -Werte, wenn PCE-Abbau;
 - $\delta^{13}\text{C}_{\text{TCE}}$ -Werte, wenn TCE-Abbau;
 - $\delta^{37}\text{Cl}_{\text{TCE}}$ -Werte, wenn TCE-Abbau;



6 Quellenverzeichnis

- (1) HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH (2016) GwMonitoring im Stadtgebiet Oberursel - Gutachten zur Erkundung und Bewertung der CKW-Belastung des Grundwassers im Stadtgebiet.
- (2) Coplen T.B. (2011) Guidelines and recommended terms for expression of stable-isotope-ratio and gas-ratio measurement results. *Rapid Commun. Mass. Spectrom.* 25: 2538-2560.
- (3) Höhener P., Eisner M., Eisenmann H., Atteia I. (2015) Improved constraints on in situ rates and on quantification of complete chloroethene degradation from stable carbon isotope mass balances in groundwater plumes. *J. Cont. Hydrol.* 182: 173-182.
- (4) Eisenmann H., Fischer A. (2010) Isotopenuntersuchungen in der Altlastenbewertung. In: Handbuch Altlastensanierung und Flächenmanagement. Franzius, V.; Altenbockum, M.; Gerhold, T. Eds.; Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm.
- (5) US EPA - Hunkeler D., Meckenstock R.U., Sherwood-Lollar B., Schmidt T.C., Wilson J.T. (2008) A Guide for Assessing Biodegradation and Source Identification of Organic Ground Water Contaminants using Compound Specific Isotope Analysis (CSIA). United States Environmental Protection Agency, EPA 600/R-08/148.
- (6) Cretnik S., Thoreson K. A., Bernstein A., Ebert K., Buchner D., Laskov C., Haderlein S. B., Shouakar-Stash O., Kliegman S., McNeill K., Eisner M. (2013) Reductive dechlorination of TCE by chemical model systems in comparison to dehalogenating bacteria: Insights from dual element isotope analysis ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$). *Environ. Sci. Technol.* 47: 6855-6863.
- (7) Thullner M., Centler F., Richnow H.H., Fischer A. (2012) Quantification of organic pollutant degradation in contaminated aquifers using compound specific stable isotope analysis - Review of recent developments. *Org. Geochem.* 42: 1440-1460.

Anhang

A Grundlagen der Isotopenuntersuchung

Isotope eines Elementes besitzen die gleiche Anzahl an Protonen, unterscheiden sich aber in der Anzahl der Neutronen, weshalb sie unterschiedliche Massen besitzen. Kohlenstoff weist zwei stabile Isotope auf; eines mit der Masse 12 (^{12}C) und eines mit der Masse 13 (^{13}C). Das Verhältnis von schweren zu leichten Isotopen eines Elementes wird als Isotopensignatur oder Isotopenverhältnis bezeichnet (z.B. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) und im Allgemeinen als delta-Notation (δ ‰) angegeben. Die genaue Bestimmung von Isotopenverhältnissen erfordert eine hochpräzise Analysetechnik, bei der spezielle Isotopenverhältnis-Massenspektrometer eingesetzt werden (An1, An2).

Infolge des biologischen Abbaus verändert sich meist das Isotopenverhältnis eines Schadstoffs, weil Mikroorganismen die Verbindung aus leichten Isotopen schneller verwerten. Dieser Prozess wird als Isotopenfraktionierung bezeichnet. Während der biologischen Umsetzung kommt es zu einer Anreicherung von schweren Isotopen (^{13}C ; δ -Wert wird größer) beim noch nicht abgebauten Schadstoff (Abb. A1). Das Abbauprodukt (Endprodukt) zeigt in der Anfangsphase des Abbaus einen besonders leichten Isotopenwert (δ -Wert ist kleiner als der des Ausgangssubstrats). Im Verlauf der Umsetzung setzt eine Anreicherung von ^{13}C ein, bis schließlich das Abbauprodukt (Endprodukt) den Isotopenwert des mikrobiell nicht umgesetzten Ausgangssubstrats erreicht (Abb. A1-A). Kommt es zu einer weiteren Umsetzung des Abbauprodukts, welches somit zu einem Zwischenprodukt wird, kann dessen Isotopensignatur auch schwerer (^{13}C -Anreicherung) als die Anfangsisotopensignatur des primären Ausgangssubstrats werden (Abb. A1-B).

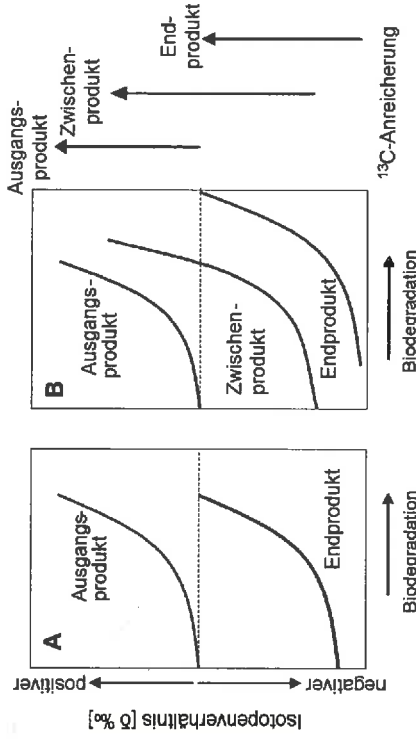


Abb. A1: Schematische Darstellung der Entwicklung der Isotopensignaturen von Primärsubstrat (Ausgangsprodukt) und Abbauprodukt (End- bzw. Zwischenprodukt) während der mikrobiellen Umsetzung. A: Das Abbauprodukt akkumuliert zum Endprodukt. B: Das Abbauprodukt wird weiter zu einem Endprodukt abgebaut.



Prüfbericht Nr.: ULE-18-0094239-01
Seite 2 von 11

Probenbezeichnung: Br. 1
Probe Nr.: ULE-18-0094239-01
Probenahmedatum: 11.07.2018

Laboruntersuchungen

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
1,1-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
1,2-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
1,1,1-Trichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
1,1-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Trichlorethan	µg/l	9,1	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Tetrachlorethan	µg/l	16,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
cis-1,2-Dichlorethan	µg/l	3,2	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
trans-1,2-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Summe LHKW	µg/l	28,3	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08

Probenbezeichnung: Br. 2
Probe Nr.: ULE-18-0094239-02
Probenahmedatum: 11.07.2018

Laboruntersuchungen

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
1,1-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
1,2-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
1,1,1-Trichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
1,1-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Trichlorethan	µg/l	13,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Tetrachlorethan	µg/l	67,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
cis-1,2-Dichlorethan	µg/l	3,5	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
trans-1,2-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Summe LHKW	µg/l	83,6	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08



Prüfbericht Nr.: ULE-18-0094239-01-1
Seite 3 von 11

Probenbezeichnung: Br. 3a
Probe Nr.: ULE-18-0094239-03
Probenahmedatum: 11.07.2018

Laboruntersuchungen

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
1,1-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
1,2-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
1,1,1-Trichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
1,1-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Trichlorethan	µg/l	1,9	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Tetrachlorethan	µg/l	7,1	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
cis-1,2-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
trans-1,2-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Summe LHKW	µg/l	9,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08

Probenbezeichnung: Br. 4
Probe Nr.: ULE-18-0094239-04
Probenahmedatum: 11.07.2018

Laboruntersuchungen

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
1,1-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
1,2-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
1,1,1-Trichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
1,1-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Trichlorethan	µg/l	1,8	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Tetrachlorethan	µg/l	18,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
cis-1,2-Dichlorethan	µg/l	1,7	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
trans-1,2-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08
Summe LHKW	µg/l	21,5	DIN EN ISO 10301 (F.4):1997-08



Prüfbericht Nr.: ULE-18-0094239-05
Seite 4 von 11

Prüfbericht Nr.: ULE-18-0094239-01-1
Seite 5 von 11

Probenbezeichnung: Br. 7
Probe Nr.: ULE-18-0094239-05
Probenahmedatum: 11.07.2018

Probenbezeichnung: GWM 8/17 tief
Probe Nr.: ULE-18-0054239-07
Probenahmedatum: 10.07.2018

Labormessungen

Labormessungen

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-09
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
1,1,1-Trichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Trichlorethen	µg/l	6,8	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Tetrachlorethen	µg/l	57,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	2,1	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
trans-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Summe LHKW	µg/l	65,7	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
1,1,1-Trichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Trichlorethen	µg/l	5,7	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Tetrachlorethen	µg/l	220	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	10,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
trans-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Summe LHKW	µg/l	235,7	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08

Probenbezeichnung: GWM 8/17 flach
Probe Nr.: ULE-18-0094239-06
Probenahmedatum: 10.07.2018

Probenbezeichnung: GWM 10/17 flach
Probe Nr.: ULE-18-0094239-06
Probenahmedatum: 10.07.2018

Labormessungen

Labormessungen

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
1,1,1-Trichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Trichlorethen	µg/l	6,9	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Tetrachlorethen	µg/l	180	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	12,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
trans-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Summe LHKW	µg/l	198,9	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
1,1,1-Trichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Trichlorethen	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Tetrachlorethen	µg/l	16,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
trans-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08
Summe LHKW	µg/l	16,0	DIN EN ISO 10301 (F 4); 1997-08



Probierfisch Nr.: ULE-18-0094239/01-1
Seite 7 von 11

Probierfisch Nr.: ULE-18-0094239/01-1
Seite 8 von 11

Probenbezeichnung:
GWM 2 unten
Probe Nr.: ULE-18-0094239-11
Probenahmedatum: 10.07.2018

Probenbezeichnung:
GWM 10/17 tief
Probe Nr.: ULE-18-0094239-19
Probenahmedatum: 10.07.2018

Laboruntersuchungen
Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1,1-Trichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Trichlorethen	µg/l	0,6	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Tetrachlorethen	µg/l	56,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	8,7	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
trans-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Summe LHKW	µg/l	66,3	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1,1-Trichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Trichlorethen	µg/l	3,3	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Tetrachlorethen	µg/l	43,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	4,7	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
trans-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Summe LHKW	µg/l	54,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08

Probenbezeichnung:
GWM 2/07
Probe Nr.: ULE-18-0094239-12
Probenahmedatum: 10.07.2018

Probenbezeichnung:
GWM 2 oben
Probe Nr.: ULE-18-0094239-10
Probenahmedatum: 10.07.2018

Laboruntersuchungen
Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1,1-Trichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Trichlorethen	µg/l	1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Tetrachlorethen	µg/l	39,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
trans-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Summe LHKW	µg/l	40,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1,1-Trichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	2,1	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Trichlorethen	µg/l	16,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Tetrachlorethen	µg/l	15,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
trans-1,2-Dichlorethen	µg/l	0,77,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08



Prüfbericht Nr.: ULE-18-0094239/01-1
Seite 8 von 11

Prüfbericht Nr.: ULE-18-0094239/01-1
Seite 9 von 11

Probenbezeichnung: GWM 13/17
Probe Nr.: ULE-18-0094239-13
Probenahmedatum: 10.07.2018

Probenbezeichnung: GWM 3/07 tief
Probe Nr.: ULE-18-0094238-15
Probenahmedatum: 10.07.2018

Laboruntersuchungen

Laboruntersuchungen

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
1,1,1-Trichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	1,3	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Trichlorethen	µg/l	130	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	3,4	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
trans-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Summe LHKW	µg/l	152,7	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
1,1,1-Trichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Trichlorethen	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Tetrachlorethen	µg/l	8,9	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
trans-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Summe LHKW	µg/l	8,9	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08

Probenbezeichnung: GWM 3/07 flach
Probe Nr.: ULE-18-0094239-14
Probenahmedatum: 10.07.2018

Probenbezeichnung: GWM 6/07
Probe Nr.: ULE-18-0094238-16
Probenahmedatum: 10.07.2018

Laboruntersuchungen

Laboruntersuchungen

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
1,1,1-Trichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Trichlorethen	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Tetrachlorethen	µg/l	2,8	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
trans-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Summe LHKW	µg/l	2,8	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
1,1,1-Trichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
1,1-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Trichlorethen	µg/l	42,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Tetrachlorethen	µg/l	60,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	10,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
trans-1,2-Dichlorethen	µg/l	27,0	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08
Summe LHKW	µg/l	139	DIN EN ISO 10301 (F 4);1997-08



Probenbezeichnung: GWM Holzweg
Probe Nr.: ULE-18-0084239-18
Probenahmedatum: 10.07.2018

Laboruntersuchungen

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,2-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1,1-Trichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1,2-Trichlorethan	µg/l	2,4	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Tetrachlorethan	µg/l	34,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	5,4	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
trans-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Summe LHKW	µg/l	41,8	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08

Eine ausgetriggerte Veröffentlichung bedarf der Zustimmung des SYNLAB Analytik & Services Germany GmbH
Die Probenanalyse bezieht sich ausschließlich auf die im Prüfbericht spezifizierten Prüfgegenstände.

Der Prüfbericht wurde am 02.08.2018 um 12:49 Uhr durch [redacted] elektronisch freigegeben und ist ohne Unterschrift gültig.



Probenbezeichnung: GWM 4/07
Probe Nr.: ULE-18-0084239-17
Probenahmedatum: 10.07.2018

Laboruntersuchungen

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,2-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1,1-Trichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1,2-Trichlorethan	µg/l	2,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Tetrachlorethan	µg/l	1200	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	1,7	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
trans-1,2-Dichlorethen	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Summe LHKW	µg/l	1203,7	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08

Probenbezeichnung: GWM 4 RR
Probe Nr.: ULE-18-0084239-16
Probenahmedatum: 10.07.2018

Laboruntersuchungen

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	<0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Dichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Trichlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,2-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1,1-Trichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
1,1,2-Dichlorethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Tetrachlorethan	µg/l	38,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	4,6	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
trans-1,2-Dichlorethen	µg/l	28,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08
Summe LHKW	µg/l	70,6	DIN EN ISO 10301 (F 4):1997-08



Prüfer/icht-Nr.: ULE-18-0104438/01-1
Seite 2 von 2

Probenbezeichnung: GWM 5/2007

Probe Nr.: ULE-18-0104438-01

Laboruntersuchungen

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
Vinylchlorid	µg/l	93,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1987-08
Dichlormethan	µg/l	38,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1987-08
Trichlormethan	µg/l	1400	DIN EN ISO 10301 (F 4):1987-08
Tetrachlormethan	µg/l	<1,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1987-08
1,1-Dichlorethan	µg/l	20,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1987-08
1,2-Dichlorethan	µg/l	17,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1987-08
1,1,1-Trichlorethan	µg/l	18,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1987-08
1,1,2-Trichlorethan	µg/l	38,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1987-08
1,1-Dichlorethan	µg/l	78,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1987-08
Trichlorethan	µg/l	48000	DIN EN ISO 10301 (F 4):1987-08
Tetrachlorethan	µg/l	19000	DIN EN ISO 10301 (F 4):1987-08
cis-1,2-Dichlorethan	µg/l	3800	DIN EN ISO 10301 (F 4):1987-08
trans-1,2-Dichlorethan	µg/l	30,0	DIN EN ISO 10301 (F 4):1987-08
Summe LHKW	µg/l	89828	DIN EN ISO 10301 (F 4):1987-08

Eine auszugswaige Veröffentlichung bedarf der Zustimmung der SYNLAB Analytics & Services Germany GmbH.
Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Prüfbericht spezifizierten Probenmengen.

Der Prüfbericht wurde am 14.08.2018 um 15:15 Uhr durch [redacted] (Kundenbetreuer/in) elektronisch freigegeben und ist ohne Unterschrift gültig.

C Kohlenstoff- und Chlorisotopenverhältnisse sowie Konzentrationen von LCKW für Grundwasserproben von Messstellen aus dem Stadtgebiet Oberursel

Messstelle	Br. 1		Br. 2		Br. 3a		Br. 4		Br. 7	
	16_2018_01	16_2018_02	16_2018_03	16_2018_04	16_2018_04	16_2018_04	16_2018_05	16_2018_05	16_2018_05	
Tetrachlorethan (PCE)	¹³ C/ ¹² C	-23,8	-24,3	-22,8	-25,0	-24,8	0,5	0,4	0,4	
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Trichlorethan (TCE)	¹³ C/ ¹² C	-14,3	-16,4	12,2	12,8	15,8	0,1	0,1	n.b.	
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
1,2-Dichlorethan (cis-DCE)	¹³ C/ ¹² C	12,8	15,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	0,1	0,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
1,2-Dichlorethan (trans-DCE)	¹³ C/ ¹² C	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
Vinylchlorid (VC)	¹³ C/ ¹² C	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
ΣCE	¹³ C/ ¹² C	-18,6	-22,2	-21,4	-23,8	-23,7	0,0	0,0		
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	0,0		
Tetrachlorethan (PCE)	³⁷ Cl/ ³⁵ Cl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
	s.d. ³⁷ Cl/ ³⁵ Cl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Trichlorethan (TCE)	³⁷ Cl/ ³⁵ Cl	1,3	1,0	1,1	1,1	1,1	0,0	0,0		
	s.d. ³⁷ Cl/ ³⁵ Cl	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Tetrachlorethan (PCE)	Konzentration	16	67	7	18	57	1,9	1,8		
	µg/l	9,1	13	7	1,7	6,6	0,1	0,1		
Trichlorethan (TCE)	Konzentration	3,2	3,6	<1,0	<1,0	2,1	2,1	2,1		
	µg/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0		
1,2-Dichlorethan (cis-DCE)	Konzentration	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5		
	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5		
1,2-Dichlorethan (trans-DCE)	Konzentration	28	84	9	22	85	2,2	2,2		
	µg/l	28	84	9	22	85	2,2	2,2		
Vinylchlorid (VC)	Konzentration	0,2	0,5	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1		
	µM	0,2	0,5	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1		
ΣCE	Konzentration	16	67	7	18	57	1,9	1,8		
	µg/l	9,1	13	7	1,7	6,6	0,1	0,1		
Tetrachlorethan (PCE)	Konzentration	0,1	0,3	<0,5	<0,5	0,6	0,6	0,6		
	µg/l	0,1	0,3	<0,5	<0,5	0,6	0,6	0,6		
Trichlorethan (TCE)	Konzentration	-21,1	-20,8	n.d.	-18,8	26,9	0,2	0,2		
	µg/l	0,1	0,4	n.d.	0,2	0,2	0,2	0,2		
1,2-Dichlorethan (cis-DCE)	Konzentration	-21,3	-20,8	n.d.	-17,0	-19,8	0,1	0,1		
	µg/l	0,4	0,5	n.d.	0,1	0,4	0,1	0,1		
1,2-Dichlorethan (trans-DCE)	Konzentration	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
Vinylchlorid (VC)	Konzentration	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
	µM	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
ΣCE	Konzentration	-24,4	-24,6	-22,9	-22,9	-27,5	-24,4	-24,4		
	µg/l	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2		
Tetrachlorethan (PCE)	Konzentration	180	220	16	43	160	2,1	2,1		
	µg/l	6,9	5,7	<0,5	3,3	4,7	15	15		
Trichlorethan (TCE)	Konzentration	12	10,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0		
	µg/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0		
1,2-Dichlorethan (cis-DCE)	Konzentration	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5		
	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5		
1,2-Dichlorethan (trans-DCE)	Konzentration	199	236	16	51	177	1,1	1,1		
	µM	1,3	1,5	0,1	0,3	1,1	0,3	0,3		
ΣCE	Konzentration	1,3	1,5	0,1	0,3	1,1	0,3	0,3		
	µM	1,3	1,5	0,1	0,3	1,1	0,3	0,3		

n.b. = nicht bestimmbar
Orange Werte = höhere Unsicherheit, da Messsignal geringer als Linearitätsbereich
n.b. = nicht bestimmbar, aufgrund von hoher PCE-/TCE-Konz.
n.d. = nicht detektierbar



Isodetect
Umweltanalytik GmbH



SPURENSTOFFLABOR

Dr. Harald Oster
Bornweg 10
67157 Wechenheim
Telefon 0 63 22 794 38 0
eMail: harald.oester@t-online.de

Messstoffe	GWM 2 unten		GWM 207		GWM 1317		GWM 307 flach		GWM 307 tief	
	16_2018_11	18_2018_12	16_2018_12	18_2018_13	16_2018_14	18_2018_15	16_2018_14	18_2018_15	16_2018_14	18_2018_15
Tetrachloorethen (PCE)	¹³ C/ ¹² C	-24,3	-26,2	-24,2	-24,2	-23,4	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	δ % VPDB	n.d.	n.b.	-16,8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Trichloorethen (TCE)	¹³ C/ ¹² C	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	δ % VPDB	n.d.	n.d.	-16,2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,2-Dichloorethen (cis-DCE)	¹³ C/ ¹² C	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	δ % VPDB	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,2-Dichloorethen (trans-DCE)	¹³ C/ ¹² C	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	δ % VPDB	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Vinylchlorid (VC)	¹³ C/ ¹² C	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	δ % VPDB	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
ΣCE	¹³ C/ ¹² C	-18,6	-25,2	-23,2	-23,4	-23,4	-24,0	-24,0	-24,0	-24,0
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	δ % VPDB	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Tetrachloorethen (PCE)	³⁷ Cl/ ³⁵ Cl	56	39	130	130	2,8	8,9	2,8	8,9	8,9
	s.d. ³⁷ Cl/ ³⁵ Cl	0,6	1,0	18	18	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	δ % SMOG	8,7	<1,0	3,4	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Trichloorethen (TCE)	³⁷ Cl/ ³⁵ Cl	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
	s.d. ³⁷ Cl/ ³⁵ Cl	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	δ % SMOG	65	40	151	151	2,8	8,9	2,8	8,9	8,9
Tetrachloorethen (PCE)	Konzentration	56	39	130	130	2,8	8,9	2,8	8,9	8,9
	μg/l	0,6	1,0	18	18	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	μg/l	8,7	<1,0	3,4	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
1,2-Dichloorethen (cis-DCE)	Konzentration	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
	μg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	μg/l	65	40	151	151	2,8	8,9	2,8	8,9	8,9
1,2-Dichloorethen (trans-DCE)	Konzentration	65	40	151	151	2,8	8,9	2,8	8,9	8,9
	μg/l	0,4	0,2	1,0	1,0	0,02	0,1	0,02	0,1	0,1
	μM	0,4	0,2	1,0	1,0	0,02	0,1	0,02	0,1	0,1

Messstoffe	GWM 407		GWM 4 RR		GWM 407		GWM 4 RR		GWM 5 / 2007	
	16_2018_18	18_2018_17	16_2018_18	18_2018_18	16_2018_19	18_2018_20	16_2018_19	18_2018_20	16_2018_20	18_2018_20
Tetrachloorethen (PCE)	¹³ C/ ¹² C	-19,3	-26,3	-21,7	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	0,1	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	δ % VPDB	-13,3	n.d.	-31,6	2,0	-21,5	-21,5	-21,5	-21,5	-21,5
Trichloorethen (TCE)	¹³ C/ ¹² C	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	δ % VPDB	-23,7	n.d.	-31,4	-11,0	-26,0	-26,0	-26,0	-26,0	-26,0
1,2-Dichloorethen (cis-DCE)	¹³ C/ ¹² C	0,2	0,2	0,4	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	0,2	0,2	0,4	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	δ % VPDB	-36,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.b. ¹	n.b. ¹	n.b. ¹	n.b. ¹	n.b. ¹
1,2-Dichloorethen (trans-DCE)	¹³ C/ ¹² C	0,4	0,4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	0,4	0,4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	δ % VPDB	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.b. ¹	n.b. ¹	n.b. ¹	n.b. ¹	n.b. ¹
Vinylchlorid (VC)	¹³ C/ ¹² C	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	s.d. ¹³ C/ ¹² C	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	δ % VPDB	-22,6	-26,3	-31,0	-26,6	-22,6	-22,6	-22,6	-22,6	-22,6
ΣCE	³⁷ Cl/ ³⁵ Cl	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	s.d. ³⁷ Cl/ ³⁵ Cl	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	δ % SMOG	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Tetrachloorethen (PCE)	³⁷ Cl/ ³⁵ Cl	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	s.d. ³⁷ Cl/ ³⁵ Cl	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	δ % SMOG	60	1200	4,6	34	16000	16000	16000	16000	16000
Trichloorethen (TCE)	Konzentration	42	2,0	36	2,4	46000	46000	46000	46000	46000
	μg/l	10	1,7	28	5,4	3900	3900	3900	3900	3900
	μg/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
1,2-Dichloorethen (cis-DCE)	Konzentration	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	μg/l	139	1204	71	42	68023	68023	68023	68023	68023
	μg/l	1,1	7,3	0,6	0,3	504	504	504	504	504
1,2-Dichloorethen (trans-DCE)	Konzentration	1,1	7,3	0,6	0,3	504	504	504	504	504
	μM	1,1	7,3	0,6	0,3	504	504	504	504	504
	μM	1,1	7,3	0,6	0,3	504	504	504	504	504

n.b. = nicht bestimmbar
 Orange Werte = höhere Unsicherheit, da Messsignal geringer als Linearitätsbereich
 n.b.¹ = nicht bestimmbar, aufgrund zu hoher PCE-/TCE-Konz.
 n.d. = nicht detektierbar

2. Fortschreibung: Altersbestimmung an Grundwässern
 im Stadtgebiet von Oberursel (Hessen)

Berichtersteller: [Redacted]

Auftraggeber: HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH
 35394 Gießen

Datum: 23.09.2018

2. Fortschreibung:

**Altersbestimmung an Grundwässern
im Stadtgebiet von Oberursel (Hessen)**

Der folgende Bericht beruht auf den Prämissen und den Randbedingungen, wie sie im Laborbericht vom 18.05.2016 getroffen worden sind.

1 Messergebnisse

Tabelle 1: Messergebnisse der FCKW-/SF₆-Analysen der Wasserproben im Projekt 'Oberursel'. Die Probenahme erfolgte durch den Auftraggeber.

Bezeichnung	Probenahme- datum	FCKW-Konz. [pmol/l]			SF ₆ -Konz. in fmol/l
		F12	F11	F113	
GWM 8/17 tief	10.07.2018	26 ±6	12 ±3	ca. 130	2,0 ±0,2
GWM 4 RR	10.07.2018	3,3 ±0,2	28 ±6	15 ±4	1,7 ±0,2

1.1 FCKW-Überhöhung im Grundwasser

Tabelle 2: Überhöhte FCKW-Konzentrationen sind fett gedruckt.

Bezeichnung	Probenahme- datum	FCKW-Konz. [pmol/l]			SF ₆ -Konz. in fmol/l
		F12	F11	F113	
GWM 8/17 tief	10.07.2018	26 ±6	12 ±3	ca. 130	2,0 ±0,2
GWM 4 RR	10.07.2018	3,3 ±0,2	28 ±6	15 ±4	1,7 ±0,2

Wie bei den vorausgegangenen Probenkampagnen ist auch aktuell keine SF₆-Überhöhung festzustellen. Es wird also davon ausgegangen, dass das SF₆-Signal unbeeinflusst ist und eine Datierung erlaubt.

Dagegen zeigen die beiden Proben eine Überhöhung im F11 und F113. Die Probe GWM 8/17 tief weist zusätzlich eine F12-Überhöhung auf.

1.2 Altersbestimmung des Wassers

Tabelle 3: Modellalter berechnet mit dem Piston-Flow Modell (PFM), Temperatur 9°C; Bildungshöhe von 300m NN (Erläuterungen hierzu siehe im Text).

Bezeichnung	verwendete Tracer	Modellansatz	Modellalter in Jahren	1σ-Stdabw. in Jahren
GWM 8/17 tief	SF ₆	PFM	ca. 19	—
GWM 4 RR	SF ₆	PFM	ca. 22	—

Weiterführende Betrachtung zum Modellalter siehe im nächsten Abschnitt.

1.3 Korrelation zwischen F12 und SF₆

In dem folgenden Diagramm sind die (meist überhöhten) F12-Gehalte gegen die SF₆-Gehalte der Wasser aufgetragen. Die aktuellen Werte sind eingekreist.

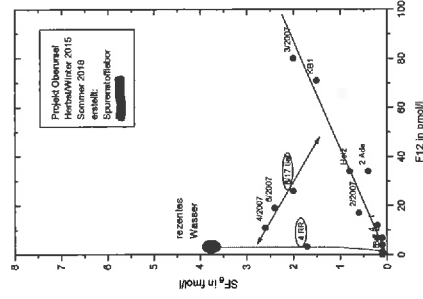


Bild 1: In dem nebenstehenden Diagramm ist der F12-Gehalt gegen den SF₆-Gehalt aufgetragen. Die aktuellen Werte sind eingekreist.

Aus dem Diagramm lassen sich folgende Strukturen ableiten:

1. Die Probe 4 RR liegt auf der erwarteten Eintragsfunktion (gestrichelte Linie), d.h. es ist keine (größere) F12-Kontamination vorhanden.
2. Die meisten der Proben liegen auf einer Korrelationsgeraden (durchgezogene Linie).
3. Die Proben 4/2007, 6/2007 und 8/17 tief können als eine Mischung von jungen, unbeeinflusstem Wasser und einem belasteten Wasser angesehen werden. Dies bedarf einer hydrogeologischen Plausibilitätsbetrachtung. Möglicherweise sind drei Proben ein Sonderfall einer Zwei-Komponenten-Mischung. Bei der folgenden Datierung mit dem Piston-Flow-Modell, das definitionsgemäß eine homogene Wasserkomponente voraussetzt nicht weiter betrachtet.

1.4 Einbeziehung der FCKW-Konzentration

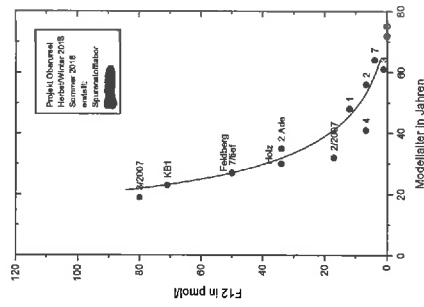


Bild 2: In dem nebenstehenden Diagramm ist der F12-Gehalt gegen das Modellalter der Wasser aufgetragen.

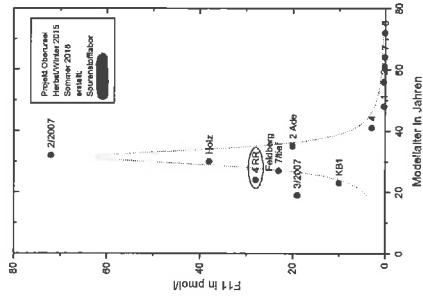


Bild 3: In dem nebenstehenden Diagramm ist der F11-Gehalt gegen das Modellalter der Wasser aufgetragen. Die aktuellen Werte sind eingekreist.

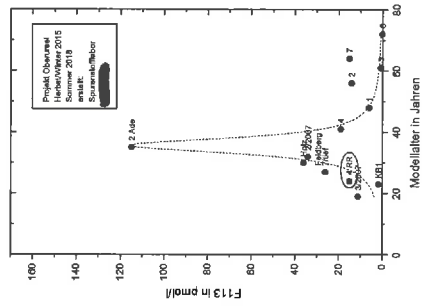


Bild 4: Analoges Bild für F13.

Aus den FCKW/SF₆-Daten deuten sich zwei Strukturen an:

1. Das Modellalter/F11- und Modellalter/F113-Diagramm haben die gleiche zeitliche Struktur (siehe Bild 3 und 4). Der gemeinsame Peak liegt bei einem Modellalter von ca. 30 bis 35 Jahren

2. Das Modellalter gegen F12 zeigt dagegen eine andere Struktur (siehe Bild 2). Hier ist ein Anstieg der F12-Konzentration mit jünger werdendem Modellalter offensichtlich. Ein peakartiges Maximum ist nicht zu erkennen.

An der Unterschiedlichkeit dieser beiden Punkte deutet sich an, dass die Stoffe F11/F113 einerseits und F12 andererseits ein unterschiedliches Eintragszenario beschreiben.

Vielleicht gelingt es mit dieser Betrachtung Kenntnisse über die jeweiligen Eintragsherde zu erlangen.

erstellt:

Dr. rer. nat. Harald Oster

A Anhang

Anhang 1: Methodische Grundlagen

FCKW und SF₆

Grundlage für den Einsatz der Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) als Datierung- bzw. Transporttracer ist der globale zeitliche Anstieg der FCKW-Konzentration in der Atmosphäre. Das Vorkommen der FCKW in der Atmosphäre ist mit dem Beginn der industriellen FCKW-Produktion in den dreißiger Jahren verknüpft. Die FCKW werden als Treib-, Kühl- und Lösungsmittel verwendet und letztlich in die Atmosphäre freigesetzt. Seitdem steigt die atmosphärische Konzentration der beiden FCKW-Spezies F12 (CCl₂F₂) und F11 (CCl₃F) aufgrund ihrer vergleichsweise großen atmosphärischen Lebensdauer von 50-100 Jahren monoton an. Eine signifikante Emission der FCKW-Spezies F113 (C₂Cl₃F₃) erfolgt dagegen erst seit rund 30 Jahren.

Als einzig bekannte Senke der FCKW gelten photokatalytische Prozesse in der Stratosphäre. Die damit verbundene Bildung von reaktivem Chlor in der Stratosphäre führte zu einer dramatischen Veränderung des (polaren) Ozonhaushalts. Neben den atmosphärischen Spurengasen CO₂, CH₄ und N₂O tragen die FCKW auch zum Treibhauseffekt der Atmosphäre bei. Diese ernste Beeinflussung der globalen Atmosphäre führte zu einem weltweiten Überkommen zur Reduzierung der Produktion von vollhalogenierten FCKW.

Die dominierende SF₆-Emission beruht auf der Verwendung als elektrisches Isolationsgas in der Hochspannungstechnik. Weitere Freisetzungen in die Atmosphäre erfolgen bei der Aluminium- und Magnesiumproduktion. Die atmosphärische Lebensdauer dieses Gases beträgt mehr als 3000 Jahre. Seit den Siebziger Jahren steigt die globale atmosphärische SF₆-Konzentration stark an (über 5%/Jahr). Aktuell wird eine globale Konzentration von rund 7 ppt gemessen.

Ausgehend von dem Reservoir 'Atmosphäre' dringt das zeitabhängige Signal der FCKW bzw. SF₆ durch Gasaustausch und interne Transportprozesse in das Grundwasser ein. Abhängig von der atmosphärischen Gas-Konzentration wird das Grundwasser in der ungesättigten Bodenzone durch Gasaustausch mit FCKW und SF₆ beladen. Nach der Grundwasserneubildung ist das derart markierte Grundwasser von weiterem Gasaustausch mit der Atmosphäre isoliert. D.h. vergleichsweise altes Grundwasser enthält weniger gelöste FCKW/SF₆, weil bei dessen Bildung der atmosphärische Pegel niedriger war. Bei bekanntem zeitlichem Verlauf der Konzentration in der Atmosphäre ist also eine Datierung des Grundwassers möglich.

Neben diesem natürlich zustande gekommenen FCKW-Gehalt im Wasser, der eine Datierung erlaubt, lassen sich aus überhöhten FCKW-Gehalten anthropogene Beeinflussungen z.B. durch Deponien, Leckagen in Abwasserkanälen usw. empfindlich identifizieren.

Tritium

Das radioaktive Wasserstoffisotop Tritium (^3H oder T) wird durch Wechselwirkung der Höhenstrahlung mit den 'Luftmolekülen' der oberen Atmosphäre gebildet. Mit einer radioaktiven Lebensdauer von 17,9 Jahren zerfällt Tritium in das stabile Edelgas Helium-3 (^3He). Tritium wird nach seiner Bildung zu Wasser oxidiert und nimmt als HTO -Molekül am irdischen Wasserkreislauf teil. Der natürliche Tritiumpegel ist ca. 3 bis 5 TU. Die Tritiumeinheit von 1 TU entspricht einem T/H-Isotopenverhältnis von 10^{-18} . Ungerechnet ergibt 1 TU eine spezifische Aktivität von 0,119 Bq/L.

Neben der natürlichen Tritiumkomponente wurde in den fünfziger und sechziger Jahren bei den oberirdischen Kernwaffentests zusätzlich Tritium, sogenanntes 'Bombentritium', freigesetzt. Dieses Bomben-Tritium führte zeitweise zu einem um 3 Größenordnungen über dem natürlichen Pegel liegenden Tritium-Gehalt im Niederschlag. Dadurch erfolgte eine scharfe zeitliche Markierung des Wassers im irdischen Wasserkreislauf.

Der Eintrag des radioaktiven Tritium in das Grundwasser erfolgt über den Pfad Niederschlag-Sickerwasser-Grundwasser. Für die Interpretation der Tritiumkonzentration im Grundwasser wird deshalb die mittlere jährliche Tritium-Aktivität des Niederschlags aus den letzten 4 Jahrzehnten zugrunde gelegt. Auf dem Höhepunkt der oberirdischen Kernwaffentests Anfang der sechziger Jahre stieg die Tritiumkonzentration im Niederschlag auf das 1000fache des natürlichen Pegels an. Seit dem Teststopp nimmt die Konzentration ab. Heute beträgt der Tritiumgehalt im Niederschlag ca. 7 TU.

Stabile Isotope

Die isotopische Zusammensetzung der Wassermoleküle ($^1\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$; $^2\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$; $^1\text{H}^1\text{H}^{18}\text{O}$; usw.) bestimmt die physikalischen Eigenschaften des Wassers (z.B. Dampfdruck, Gefrierpunkt). Dies führt zu einer räumlichen und zeitlichen Variation der Gehalte der stabilen Isotope Deuterium (^2H) und Sauerstoff-18 (^{18}O) in den verschiedenen Teilen des hydrologischen Kreislaufs. Der Isotopengehalt eines jungen, flachen Grundwasserleiters wird hauptsächlich vom langfristigen, mittleren Gehalt im Niederschlagswasser bestimmt. Abweichungen von dem gebietstypischen Isotopengehalt können Auskunft über die hydrologischen Bedingungen bei der Infiltration oder die

Genese des Wassers geben. Damit sind also aus dem gemessenen Isotopengehalt Kenntnisse über die Herkunft des Wassers ableitbar.

Die Isotopenverhältnisse R ($=^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ bzw. $^2\text{H}/^1\text{H}$) werden wegen ihrer geringen Schwankungsbreite im allgemeinen als Promille-Abweichung (δ -Notation) von einem Meerwasser-Standard (SMOW) angegeben:

$$\delta_{\text{Probe}} = \frac{R_{\text{Probe}} - R_{\text{SMOW}}}{R_{\text{SMOW}}} \cdot 1000 \quad [\text{in } \text{‰}]$$

Messdaten eines weltweiten Messnetzes zeigen, dass die ^2H und ^{18}O -Gehalte der Niederschlagswässer im Mittel auf einer Geraden mit der Steigung 8 liegen (Niederschlagsgerade):

$$\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$$

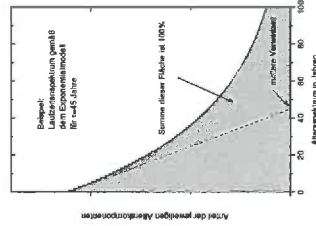
Anhang 2: Standardmodelle

Um von der gemessenen FCKW-Konzentration im Wasser zu einer Altersbestimmung zu gelangen, muß eine Modellvorstellung über das Strömungsverhalten im Grundwassersystem benutzt werden. Es wird im Folgenden das Exponentialmodell und das Piston-Flow Modell angewandt.

Exponentialmodell (EM)

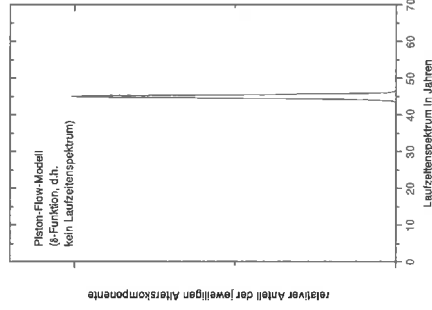
Das **Exponentialmodell** unterstellt eine scheinbar vollständige Mischung im Reservoir. Äquivalent und realistischer bedeutet dies eine exponentielle Verteilung der Länge der Laufzeiten des Wassers vom Ort der Infiltration bis zur Quelle/Brunnen. Das Exponentialalter entspricht der *mittleren Verweildauer* des Wassers im Grundwasserreservoir.

Zur Veranschaulichung des Exponentialmodells wurde für eine mittlere Verweilzeit von 45 Jahren das Altersspektrum des gefördertten Mischwassers berechnet und graphisch dargestellt (siehe nebenstehendes Bild). Wesentlich hierbei ist, dass der Anteil der Wasserkomponenten mit dem Alter t exponentiell abnimmt ($\sim \exp(-t/\tau)$), wobei die mittlere Verweilzeit τ ist. D.h. je kleiner die mittlere Verweilzeit ist, desto größer sind die Anteile von jungen Wässern. Umgekehrt, mit zunehmender mittlerer Verweilzeit wird der Anteil von älteren Wässern größer. Da diese alten Wasserkomponenten geringe FCKW Gehalte aufweisen oder sogar FCKW-frei sind, wird der FCKW-Gehalt im Brunnenmischwasser zu kleineren Werten verschoben.



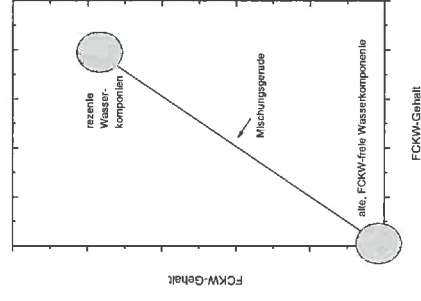
Piston-Flow-Modell (PFM)

Unter dem Aspekt der Mischung im Aquifer stellt das sogenannte Piston-Flow-Modell genau das Gegenteil zum Exponentialmodell dar. Anstelle einer scheinbar vollständigen Mischung im Reservoir, unterstellt das Piston-Flow-Modell keinerlei Mischungsvorgänge. Diese Modellvorstellung kann mit einem Wasserpaket, das sich ohne Stoffaustausch mit den benachbarten Wasserpaketen durch den Aquifer bewegt, veranschaulicht werden.



Zwei-Komponenten-Modell (ZKM)

Bei dem Zwei-Komponenten-Modell wird davon ausgegangen, dass es sich bei dem untersuchten Wasser um ein Mischwasser handelt, das aus einer alten, FCKW-freien Komponente (Alter >70 Jahre) und einer rezenten Komponente (angenommene mittlere Verweilzeit wenige Jahre) besteht.



Anhang 3: Randbedingungen

Die FCKW-/SF₆-Datierungsmethode umfasst im Idealfall vier voneinander unabhängige Tracer (F12, F11, F113 und SF₆). Dies führt einerseits zu vier unabhängig bestimmbarer Modellaltern und liefert andererseits Hinweise, welches der Standardmodelle am Besten für die Interpretation geeignet ist. Mögliche Störungen sind:

- FCKW-Abbau
- FCKW-Überhöhungen
- SF₆-Überhöhungen
- Entgasungseffekte


Da insgesamt vier voneinander unabhängige Tracer zur Verfügung stehen (F12, F11, F113, SF₆), die unterschiedliches Eintragsverhalten haben, besteht selbst bei 'schwierigen' Untersuchungsgebieten unter Umständen die Möglichkeit eine Datierung durchzuführen. Dafür müssen folgende Kriterien erfüllt sein:

- Methodisch bedingt muß der Tracergehalt im Grundwasser unterhalb der maximal möglichen Gleichgewichtskonzentration liegen.
- Es müssen mindestens 2 Tracer zum gleichen/ähnlichen Alter des Grundwassers führen (Kontrollfunktion). Im anderen Falle gibt es eine nicht-spezififizierbare Restunsicherheit.


Anhang 4: Umrechentabellen

Bezeichnung	Name	chemische Formel	Umrechen-tabelle
Dichlordifluormethan	F12	CCl ₂ F ₂	1 pmol/l = 121 pg/l = 121 · 10 ⁻⁶ µg/l
Trichlorfluormethan	F11	CCl ₃ F	1 pmol/l = 137 pg/l = 137 · 10 ⁻⁶ µg/l
1,1,2-Trichlor-1,2,2-trifluorethan	F113	C ₂ Cl ₃ F ₃	1 pmol/l = 187 pg/l = 187 · 10 ⁻⁶ µg/l
Schwefelhexafluorid	—	SF ₆	1 fmol/l = 146 fg/l = 146 · 10 ⁻⁹ µg/l


Bezeichnung	Abkürzung	Wert
Milli	m	10 ⁻³
Mikro	µ	10 ⁻⁶
Nano	n	10 ⁻⁹
Piko	p	10 ⁻¹²
Femto	f	10 ⁻¹⁵

 Büro HG GmbH		HG-Management-System, Formblatt zum Prozess 5 Probenahmeprotokoll Wasser		Vers.1.1 Erst./geänd.: bh Seite 1/1				
Probenahmeprotokoll				PNr.: 18035/2 Anlage: 6 Blatt: 3				
Projektbezeichnung: Stadt Oberursel: Erkundungsmaßnahmen 2018								
Datum	11.07.2018	Witterung	sonnig					
Messstellenbezeichnung	Br. 3a Riedwiese	Art der Probenahme	Pumpprobe					
GOK (m üNN)	166,50	Schlauchmaterial						
POK (m üNN)	164,90	Pumptyp (SQ, MP1, Comet) / Frequenz						
Ausbau (unter/über GOK, m)	-1,60	Ruhewasserspiegel (m u. ROK / m u. NN)						
Ausbau durchmesser (m)	0,15	Abgesenkter Wasserspiegel (m u. POK)						
Bohrdurchmesser (m)	0,52/1,0/4,45/0,35/0,22	Entnahmetiefe (m u. POK)	ca. 25,60					
Filterstrecke (von-bis, m u. POK)	38,00 - 142,00	Zählerstand Wasseruhr (m³)						
Ausbaufiefe lt. Plan (m u. POK)	142,00	Ausbaufiefe gelötet (m u. POK)						
Messstelleneinhalt (m³)	13,6000	Pumpe ein (Uhrzeit)	laufender Pumpbetrieb					
Förderdauer (h)	-	Pumpe aus (Uhrzeit)	laufender Pumpbetrieb					
Fördermenge (m³/h)	-	Förderrate (l/s)						
Fördermenge (m³)	-	Feldmessgeräte (WTW 1. 2. 3 / MB 1. 2)	MB1					
Zeit (min)		Wsp. (m u. ROK)	Temp. (°C)	LF (µS/cm)	pH	O ₂ (mg/l)	Redox (mV)	Bemerkungen
-	-	-	15,4	229	5,8	5,6	49	
Uhrzeit PN	9:40	Förderrate (l/s)						
Farbe	fl							
Geruch	-							
		Trübung		Bodensatz				
Probenbehälter	Volumen	Filtration	Konservierung	Untersuchungsparameter				
1 Headspace	10 ml	-	-	LCKW				
1 Braunglas	100 ml	-	-	"				
3 Weißglas	500 ml	-	NaOH - Pellets	C13/C12 Isotopenanalyse				
Labor	ISODETECT	Anlieferung (Datum)		13.07.2018				
Unterschrift PN	U. Villnow							


P:\Proz2018\18035\18035-02-G01\Bearb_spez\Daten-Verarbeitung\Probenahme\Br_3a_Riedwiese_FB_Probenahmeprotokoll_Wasser_V1.1.klx\Vorlage GwPN

 Büro HG GmbH		HG-Management-System, Formblatt zum Prozess 5 Probenahmeprotokoll Wasser		Vers.1.1 Erst./geänd.: bh Seite 1/1				
Probenahmeprotokoll				PNr.: 18035/2 Anlage: 6 Blatt: 4				
Projektbezeichnung: Stadt Oberursel: Erkundungsmaßnahmen 2018								
Datum	11.07.2018	Witterung	sonnig					
Messstellenbezeichnung	Br. 4 Riedwiese	Art der Probenahme	Pumpprobe					
GOK (m üNN)	167,00	Schlauchmaterial						
POK (m üNN)	165,26	Pumptyp (SQ, MP1, Comet) / Frequenz						
Ausbau (unter/über GOK, m)	-1,74	Ruhewasserspiegel (m u. ROK / m u. NN)						
Ausbau durchmesser (m)	0,2	Abgesenkter Wasserspiegel (m u. POK)						
Bohrdurchmesser (m)	1,3/1,0/0,8/0,6/0,5	Entnahmetiefe (m u. POK)	ca. 86					
Filterstrecke (von-bis, m u. POK)	22,00 - 128,00	Zählerstand Wasseruhr (m³)						
Ausbaufiefe lt. Plan (m u. POK)	142,00	Ausbaufiefe gelötet (m u. POK)						
Messstelleneinhalt (m³)	64,3000	Pumpe ein (Uhrzeit)	laufender Pumpbetrieb					
Förderdauer (h)	-	Pumpe aus (Uhrzeit)	laufender Pumpbetrieb					
Fördermenge (m³/h)	-	Förderrate (l/s)						
Fördermenge (m³)	-	Feldmessgeräte (WTW 1. 2. 3 / MB 1. 2)	MB 1					
Zeit (min)		Wsp. (m u. ROK)	Temp. (°C)	LF (µS/cm)	pH	O ₂ (mg/l)	Redox (mV)	Bemerkungen
-	-	-	17,3	633	6,7	6,2	137	
Uhrzeit PN	9:25	Förderrate (l/s)						
Farbe	fl							
Geruch	-							
		Trübung		Bodensatz				
Probenbehälter	Volumen	Filtration	Konservierung	Untersuchungsparameter				
1 Headspace	10 ml	-	-	LCKW				
1 Braunglas	100 ml	-	-	"				
3 Weißglas	500 ml	-	NaOH - Pellets	C13/C12 Isotopenanalyse				
Labor	ISODETECT	Anlieferung (Datum)		13.07.2018				
Unterschrift PN	U. Villnow							

P:\Proz2018\18035\18035-02-G01\Bearb_spez\Daten-Verarbeitung\Probenahme\Br_4_Riedwiese_FB_Probenahmeprotokoll_Wasser_V1.1.klx\Vorlage GwPN

 Büro HG GmbH	HG-Management-System, Formblatt zum Prozess 5 Probenahmeprotokoll Wasser		Vers.1.1 Erst./geänd.: bh Seite 1/1					
	Probenahmeprotokoll							
PNr.: 18035/2 Anlage: 6 Blatt: 15								
Projektbezeichnung: Stadt Oberursel: Erkundungsmaßnahmen 2018								
Datum	10.07.2018	Witterung	sonnig					
Messstellenbezeichnung	GWM 6/2007 Strackgasse	Art der Probenahme	Pumpprobe					
GOK (m ü.NN)	203,09	Schlauchmaterial	PVC					
POK (m ü.NN)	202,94	Pumpentyp (SQ, MP1, Comet) / Frequenz	MP 1 / 200					
Ausbau (unter/über GOK, m)	-0,15	Ruhewasserspiegel (m u. ROK / m ü. NN)	19,03					
Ausbaudurchmesser (m)	0,125	Abgesenkter Wasserspiegel (m u. POK)	21,19					
Bohrdurchmesser (m)	0,273	Entnahmetiefe (m u. POK)	26,00					
Filterstrecke (von-bis, m u. POK)	20,20	Zählerstand Wasseruhr (m³)						
Ausbautiefe lt. Plan (m u. POK)	27,20	Ausbautiefe gelötet (m u. POK)						
Messstelleneinrichtung (m²)	0,10	Pumpe ein (Uhrzeit)	13:56					
Förderrate (m³/h)	0,75	Pumpe aus (Uhrzeit)	14:41					
Fördermenge (m³)	0,18 / 0,468	Förderrate (l/s)	0,05 / 0,13					
	0,30	Feldmessgeräte (WTW 1, 2, 3 / MB 1, 2)	MB 1					
Zeit (min)	Wsp. (m u. ROK)	Förderrate (l/s)	Temp. (°C)	LF (µs/cm)	pH	O ₂ (mg/l)	Redox (mV)	Bemerkungen
5		0,06	14,5	2560	6,8	1,0	197	Ableitung über 50-L-
10		0,06	14,6	2360	6,8	0,5	176	Aktivkohlefilter in
20		0,13	14,3	2360	6,8	0,7	162	Kanal
30		0,13	14,1	2360	6,8	1,9	159	
40		0,13	14,1	2400	6,8	1,7	156	
45		0,13	14,2	2450	6,8	1,4	157	
Uhrzeit PN	Farbe	Geruch	14:41	grü	Trübung	Bodensatz		
fl: farblos, gr: grau, bn: braun, sw: schwarz, ro: rot, -li: -lich, +++: stark, ++ mittel, + schwach, - kein								
Probenbehälter	Volumen	Filtration	Konservierung	Untersuchungsparameter				
1 Headspace	10 ml	-	-	LCKW				
1 Braunglas	100 ml	-	-	"				
3 Weißglas	500 ml	-	-	NaOH - Pellets C13/C12 Isotopenanalyse				
Labor	ISODETECT	Anlieferung (Datum)	13.07.2018					
Unterschrift PN	R. Visarius							

P:\Proz1\1818035\18035-02-G01\Bearb_spez\Daten_Verarbeitung\Probenahme\GWM 6-2007_Strackgasse_FB_Probenahmeprotokoll Wasser_V1.1.xlsx\Vorlage C

 Büro HG GmbH	HG-Management-System, Formblatt zum Prozess 5 Probenahmeprotokoll Wasser		Vers.1.1 Erst./geänd.: bh Seite 1/1					
	Probenahmeprotokoll							
PNr.: 18035/2 Anlage: 6 Blatt: 16								
Projektbezeichnung: Stadt Oberursel: Erkundungsmaßnahmen 2018								
Datum	10.07.2018	Witterung	bedeckt					
Messstellenbezeichnung	GWM 8/2017 flach	Art der Probenahme	Schöpfprobe					
GOK (m ü.NN)	199,27	Schlauchmaterial	PVC					
POK (m ü.NN)	199,18	Pumpentyp (SQ, MP1, Comet) / Frequenz	Pumpprobe nicht möglich					
Ausbau (unter/über GOK, m)	-0,09	Ruhewasserspiegel (m u. ROK / m ü. NN)	12,18					
Ausbaudurchmesser (m)	0,05	Abgesenkter Wasserspiegel (m u. POK)						
Bohrdurchmesser (m)	0,273	Entnahmetiefe (m u. POK)						
Filterstrecke (von-bis, m u. POK)	12,00	Zählerstand Wasseruhr (m³)						
Ausbautiefe lt. Plan (m u. POK)	14,00	Ausbautiefe gelötet (m u. POK)						
Messstelleneinrichtung (m²)	0,004	Pumpe ein (Uhrzeit)						
Förderrate (m³/h)	-	Pumpe aus (Uhrzeit)						
Fördermenge (m³)	-	Förderrate (l/s)						
	-	Feldmessgeräte (WTW 1, 2, 3 / MB 1, 2)	MB 2					
Zeit (min)	Wsp. (m u. ROK)	Förderrate (l/s)	Temp. (°C)	LF (µs/cm)	pH	O ₂ (mg/l)	Redox (mV)	Bemerkungen
-	-	-	13,6	1029	5,7	8,6	233	Ableitung über 50-L-
								Aktivkohlefilter in
								Kanal
Uhrzeit PN	Farbe	Geruch	14:55	sw-braun	Trübung	Bodensatz		
fl: farblos, gr: grau, bn: braun, sw: schwarz, ro: rot, -li: -lich, +++: stark, ++ mittel, + schwach, - kein								
Probenbehälter	Volumen	Filtration	Konservierung	Untersuchungsparameter				
1 Headspace	10 ml	-	-	LCKW				
1 Braunglas	100 ml	-	-	"				
3 Weißglas	500 ml	-	-	NaOH - Pellets C13/C12 Isotopenanalyse				
Labor	ISODETECT	Anlieferung (Datum)	13.07.2018					
Unterschrift PN	A. Villnow							

P:\Proz1\1818035\18035-02-G01\Bearb_spez\Daten_Verarbeitung\Probenahme\GWM 8-2017_flach_FB_Probenahmeprotokoll Wasser_V1.1.xlsx\Vorlage GWP

