**Projekt Speyer, Abstrom Industriegebiet West**

# Grundwassermonitoring 2016

# Jahresbericht

Projekt-Nr.: **112920** Exemplar 1/5

Erstellt im Auftrag von:

**Siemens AG**
**Otto-Hahn-Ring 6**
**81739 München**

Dr. Karsten Menschner
Dipl.-Geol. Gabriele Zech

2016-12-12 / 2017-01-03

Sämtliche Leistungen, insbesondere alle gefertigten Gutachten, Pläne, Berichte, Zeichnungen oder weiteren Dokumente, sind ausschließlich für die Siemens AG als Auftraggeber bestimmt. Bei Überlassung der Leistungen an Dritte („Empfänger“) sind die Leistungen ausschließlich für den internen Gebrauch des jeweiligen Empfängers bestimmt und von ihm allein für den vereinbarten Zweck zu verwenden. Ohne ausdrückliche schriftliche Zustimmung von CDM Smith ist der Empfänger nicht berechtigt, diese Leistungen weiteren Dritten zur Verfügung zu stellen, offen zu legen, zu veröffentlichen oder sonst wie zur Kenntnis zu bringen.

**INHALTSVERZEICHNIS**


Seite

**1 ZUSAMMENFASSUNG ..... 8**

**2 EINLEITUNG ..... 9**

**3 UNTERLAGEN ..... 9**

**4 STANDORTBESCHREIBUNG ..... 13**
4.1 Allgemeine Beschreibung des Untersuchungsgebietes ..... 13
4.2 Geologie und Hydrogeologie ..... 13
4.3 Oberflächengewässer bzw. relevante hydrodynamische Elemente ..... 17
4.4 Laufende Sanierungsmaßnahmen im UG ..... 17

**5 UNTERSUCHUNGSKONZEPT ..... 18**
5.1 Grundwasser ..... 18
5.1.1 Messstellennetz ..... 18
5.1.2 Probenahmestrategie ..... 20
5.1.3 Analytikprogramm ..... 22
5.2 Oberflächenwasser ..... 22

**6 DURCHFÜHRUNG DER FELDARBEITEN ..... 23**
6.1 Stichtagsmessung ..... 23
6.2 Probenahme ..... 23
6.2.1 Grundwasser ..... 23
6.2.2 Oberflächenwasser ..... 31
6.3 Chemische Analytik ..... 31
6.4 Einsatz von Datenloggern im UG ..... 31

**7 ERGEBNISSE ..... 33**
7.1 Wasserstände / Hydrodynamische Situation ..... 33
7.2 Grundwasserbeschaffenheit ..... 41
7.2.1 Vor-Ort-Parameter ..... 41
7.2.2 Überblick über die Analysenergebnisse Grundwasser ..... 44
7.2.3 LHKW-Gehalte im Untersuchungsgebiet ..... 53
7.2.4 Beurteilung des natürlichen Abbaus ..... 70
7.3 Analysenergebnisse Oberflächengewässer ..... 76
7.4 Messergebnisse Datenlogger ..... 81

**8 BEWERTUNG ..... 86**
8.1 Grundwasser ..... 86
8.1.1 Nördliche LHKW-Fahne ..... 87
8.1.2 Südliche LHKW-Fahne ..... 89
8.1.3 Frachtbetrachtung ..... 90

8.2 Oberflächenwasser ..... 94

**9 EMPFEHLUNGEN FÜR DAS WEITERE VORGEHEN ..... 95**

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS


| | | Seite |
|---|---|---|
| Abbildung 4-1: | Ausschnitt aus der Hydrogeologischen Karte [U25] Profillinie West - Ost. | 15 |
| Abbildung 7-1: | Entwicklung des Grundwasserstandes seit 2009 | 38 |
| Abbildung 7-2: | Wasserstände des Rheins am Pegel Speyer [U34] | 39 |
| Abbildung 7-3: | Entwicklung See- und Grundwasserstand für April 2014 - Okt. 2016 | 40 |
| Abbildung 7-4: | LHKW-Einzelkomponenten BE0 – BE1 | 60 |
| Abbildung 7-5: | LHKW-Einzelkomponenten BE1 – BE2 | 60 |
| Abbildung 7-6 | LHKW-Einzelkomponenten BE2 – BE3 | 61 |
| Abbildung 7-7: | LHKW-Einzelkomponenten BE3 / BE5 - Rhein | 61 |
| Abbildung 7-8: | Entwicklung der LHKW-Gehalte in der nördlichen Hauptfahne | 63 |
| Abbildung 7-9: | Entwicklung von Wasserstand und LHKW-Gehalt in GMS 4 | 64 |
| Abbildung 7-10: | Entwicklung der LHKW-Gehalte in der südlichen Hauptfahne | 65 |
| Abbildung 7-11: | Entwicklung von Wasserstand und LHKW-Gehalt in ML04 | 66 |
| Abbildung 7-12: | Entwicklung der LHKW-Gehalte außerhalb der Hauptfahnen | 68 |
| Abbildung 7-13: | Vertikale LHKW-Verteilung in den Messstellengruppen (3 Messstellen) | 69 |
| Abbildung 7-14: | Vertikale LHKW-Verteilung in den Messstellengruppen (2 Messstellen) | 70 |
| Abbildung 7-15: | Verlauf von Abbauparametern in der nördlichen LHKW-Fahne | 73 |
| Abbildung 7-16: | Verlauf von Abbauparametern in der südlichen LHKW-Fahne | 75 |
| Abbildung 7-17: | Vor-Ort-Parameter der Seebeprobung (Süd, TIBEAN 1) Mai / Okt. 2016 | 76 |
| Abbildung 7-18: | Vor-Ort-Parameter der Seebeprobung (Nord, TIBEAN 2) Mai / Okt. 2016 | 77 |
| Abbildung 7-19: | LHKW/VC-Gehalte im Steinhäuserwühlsee (Messst. Süd) seit 2011 | 79 |
| Abbildung 7-20: | LHKW/VC-Gehalte im Steinhäuserwühlsee (Messst. Nord) seit 2011 | 80 |
| Abbildung 7-21: | Teufenorientierte LHKW-Gehalte im Steinhäuserwühlsee Mai 2016 | 81 |
| Abbildung 7-22: | Wasserstandsganglinien der 12 DFÜ-Logger 2015/16 | 82 |
| Abbildung 7-23: | Wasserstandsganglinien der Logger RW 8/13, MP Tf. See-OF 2015/16 | 82 |
| Abbildung 7-24: | Wasserstandsganglinien der Logger im Testfeld, Mai – Okt. 2016 | 83 |
| Abbildung 7-25: | Temperaturverlauf, Aufzeichnung aller DFÜ-Logger 2015/16 | 84 |
| Abbildung 7-26: | Temperaturverlauf der Logger See / See-Anstrom 2015/16. | 84 |
| Abbildung 7-27: | Ganglinienverlauf der elektrischen Leitfähigkeit 2015/16 | 85 |
| Abbildung 8-1: | Bilanzebenen im Untersuchungsgebiet | 87 |
| Abbildung 8-2: | Entwicklung der Schadstofffrachten in der Nordfahne | 93 |
| Abbildung 8-3: | Entwicklung der Schadstofffrachten in der Südfahne | 93 |

## TABELLENVERZEICHNIS


| | | Seite |
|---|---|---|
| Tabelle 4-1: | Stratigraphische Untergliederung | 14 |
| Tabelle 4-2: | Übersicht hydraulischer Kenngrößen | 16 |
| Tabelle 5-1: | Messnetz und Untersuchungsprogramm Grundwasser 2016 | 18 |
| Tabelle 6-1: | Ergebnisse der Grundwasserprobenahme im Mai 2016 | 25 |
| Tabelle 6-2: | Ergebnisse der Grundwasserprobenahme im Oktober 2016 | 28 |
| Tabelle 7-1: | Ergebnisse der Stichtagsmessungen 2016 | 35 |
| Tabelle 7-2: | Vor-Ort-Parameter im Grundwasser Mai / Okt. 2016 | 41 |
| Tabelle 7-3: | Analysenergebnisse Grundwasser für Mai 2016 (außer LHKW) | 45 |
| Tabelle 7-4: | Analysenergebnisse Grundwasser für Oktober 2016 (außer LHKW) | 47 |
| Tabelle 7-5: | LHKW-Gehalte im Grundwasser Mai 2016 | 54 |
| Tabelle 7-6: | LHKW-Gehalte im Grundwasser (Oktober 2016) | 57 |
| Tabelle 7-7: | Messwertänderungen im Grundwasser bei Stoffumwandlungsprozessen mit LHKW (Quelle [U29]) | 71 |
| Tabelle 7-8: | Hydrochemisches Profil der nördlichen LHKW-Fahne (Mai/Okt.2016) | 72 |
| Tabelle 7-9: | Hydrochemisches Profil der südlichen LHKW-Fahne (Mai/Okt. 2016) | 74 |
| Tabelle 7-10: | LHKW-Gehalte im Steinhäuserwühlsee am 10.05.2016 | 78 |
| Tabelle 7-11: | LHKW-Gehalte im Steinhäuserwühlsee am 11.10.2016 | 78 |
| Tabelle 8-1: | Zusammenstellung der in die Frachtbetrachtung einbezogenen GWM | 90 |
| Tabelle 8-2: | Abschätzung der gelösten LHKW-Menge im Grundwasser in kg | 91 |
| Tabelle 8-3: | Abschätzung der Schadstofffrachten im Grundwasser (LHKW in kg/d) | 92 |

## ANLAGENVERZEICHNIS


**Anlage 1 Lagepläne**
Anlage 1.1 Übersichtslageplan
Anlage 1.2 Lageplan mit Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet
Anlage 1.3 Grundwassergleichenpläne
Anlage 1.3.1 Grundwassergleichenplan Stichtagsmessung 29.04.2016
Anlage 1.3.2 Grundwassergleichenplan Stichtagsmessung 14.10.2016
Anlage 1.3.3 Grundwassergleichenplan Stichtagsmessung 14.10.2016, Lupendarstellung SZ 3 Seeanstrom
Anlage 1.4 Flächenhafte Darstellung der Vor-Ort-Parameter
Anlage 1.4.1 Vor-Ort-Parameter Mai 2016
Anlage 1.4.2 Vor-Ort-Parameter Oktober 2016
Anlage 1.5 Flächenhafte Darstellung des rH-Wertes
Anlage 1.5.1 rH-Wert Mai 2016
Anlage 1.5.2 rH-Wert Oktober 2016
Anlage 1.6 Belastungskarten Grundwasser LHKW
Anlage 1.6.1 Belastungskarte Grundwasser LHKW Mai 2016
Anlage 1.6.2 Belastungskarte Grundwasser LHKW Oktober 2016

**Anlage 2 Protokolle**
Anlage 2.1 Protokolle Stichtagsmessung
Anlage 2.2 Probenahmeprotokolle Grundwasser
Anlage 2.3 Probenahmeprotokolle Oberflächenwasser

**Anlage 3 Analysenberichte**
Anlage 3.1 Grundwasser
Anlage 3.2 Oberflächenwasser

**Anlage 4 Tabellen und Auswertungen**
Anlage 4.1 Arbeitsplan zur Grundwasserprobenahme
Anlage 4.2 Zusammenstellung der Grundwasserstände
Anlage 4.3 Zusammenstellung der Analysenergebnisse Grundwasser
Anlage 4.4 Zusammenstellung der Analysenergebnisse Oberflächenwasser
Anlage 4.5 Frachtberechnungen

## ABKÜRZUNGEN

| | |
|---|---|
| AG | Auftraggeber |
| AKF | Aktivkohlefilter |
| BBodSchG | Bundesbodenschutzgesetz, 17.03.1998 |
| BBodSchV | Bundesbodenschutzverordnung, 12.07.1999 |
| CIS | cis-Dichlorethen |
| DGI | Direktgasinjektion |
| DOC | Dissolved Organic Carbon |
| Fi-OK | Filteroberkante |
| Fi-UK | Filterunterkante |
| GOK | Geländeoberkante |
| GSW | Geringfügigkeitsschwellenwert |
| GW/GWL | Grundwasser / Grundwasserleiter |
| GMS/GWM/GWMS | Grundwassermessstelle |
| GWOF | Grundwasseroberfläche |
| KSP | Kontaminationsschwerpunkt |
| LDO | Low-dropout linear regulators |
| LHKW | Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe |
| LUWG | Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht, Mainz |
| MLB | Multi-Level-Brunnen |
| MNA | monitored natural attenuation |
| MSW | Maßnahmenschwellenwert |
| NA | natural attenuation |
| n.b./n.n. | nicht bestimmt / nicht nachweisbar (unter der Nachweisgrenze) |
| n.q. | nicht quantifizierbar (alle Einzelkomponenten unterhalb NWG) |
| NWG | Nachweisgrenze |
| PER | Tetrachlorethen (LHKW-Einzelsubstanz) |
| POK | Pegeloberkante |
| P&T | Pump & Treat |
| ROK | Rohroberkante |
| STM | Stichtagsmessung |
| SZ | Sanierungszone |
| TIBEAN | Tiefenwasser-Belüftungsanlagen |
| TRI | Trichlorethen (LHKW-Einzelsubstanz) |
| RÜst | Rohrüberstand |
| UG | Untersuchungsgebiet |
| VC | Vinylchlorid, Monochlorethen |
| Wst | Wasserstand |

# 1 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Projektes Speyer, Abstrom Industriegebiet West, Grundwassermonitoring 2016 wurden zwei Beprobungskampagnen durchgeführt.

Sowohl in der Frühjahrs- als auch in der Herbstbeprobung wurden 73 Grundwasser- und 30 Oberflächenwasserproben entnommen und auf LHKW sowie ausgewählt auf Parameter zur Beurteilung von Abbauprozessen untersucht.

Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse von Mai und Oktober 2016 ergab LHKW-Belastungen im Grundwasser mit Gehalten bis maximal 2.168,9 µg/l bzw. 1087,7 µg/l.

Anhand der Schadstoffverteilung lassen sich zwei Hauptfahnen im Untersuchungsgebiet eingrenzen - eine nördliche und eine südliche LHKW-Fahne.

In der nördlichen LHKW-Fahne wurde im Oktober 2015 ein maximaler Gehalt von 335 µg/l (N7) ermittelt. Die Fahnenlänge mit Gehalten größer 100 µg/l beträgt ca. 1,45 km.

Seit Oktober 2013 ist ein Trend zur Verringerung der LHKW-Konzentrationen festzustellen. Für die nördliche Hauptfahne kann daher aktuell von einem leicht regressiven Zustand ausgegangen werden. Eine Forcierung der Schadstoffverringerung seit 2016 in der Nordfahne wird durch die Sanierungsmaßnahmen in den Sanierungszonen SZ2 (DGI-Pilotsanierung) und insbesondere SZ3 (P&T im Seeanstrom) erreicht. Während in den höchstbelasteten quellnahen Bereichen PER, CIS und VC als Einzelkomponenten auftreten, sind im Abstrom CIS und vor allem VC die Hauptkontaminanten. Ein natürlicher Schadstoffabbau ist aufgrund von Tendenzen zur Nitratreduktion, Ammonifikation, Sulfat- und Eisen-(III)-Reduzierung und Methanogenese zwar möglich, eine signifikante Verringerung der Schadstoffgehalte allein durch natürliche Abbauprozesse ist langfristig jedoch nicht zu erwarten.

In der südlichen LHKW-Fahne wurde im Oktober 2016 ein maximaler Gehalt von 1087,7 µg/l (ML06) festgestellt. Die Fahnenlänge mit Gehalten größer 100 µg/l beträgt ca. 1,6 km.

Für den Zeitraum seit Oktober 2013 sind auch für die Messstellen mit den höchsten Gehalten der südlichen Fahne Verringerungen der LHKW-Gehalte ablesbar, so dass auch die südliche Fahne im hochbelasteten Bereich als leicht regressiv eingeschätzt werden kann. In Grundwasser-bereichen mit hohen LHKW-Gehalten treten größere Schwankungen in den Belastungen auf. Im Fahnenrandbereich sind die LHKW-Gehalte gegenüber dem Vorjahr leicht ansteigend.

Auch in der südlichen Fahne sind Tendenzen zur Nitratreduktion, Ammonifikation, Eisen-(III)-Reduzierung und Methanogenese ableitbar. Eine signifikante Verringerung der Schadstoffgehalte allein durch natürliche Abbauprozesse ist aber auch hier langfristig nicht zu erwarten.

Die im Rahmen des Monitorings betrachteten Untersuchungen des Seewassers des Steinhäuserwühlsees vom 10.05.2016 wiesen im Vergleich zum Vorjahr in etwa gleichbleibende (Nord) bzw. abnehmende (Süd) LHKW-Konzentrationen auf, die Werte vom 11.10.2016 waren alle unterhalb der Nachweisgrenze von <0,1 µg/l LHKW. Die aus der obersten Wasserschicht

(0 – 3 m Tiefe) entnommenen Wasserproben für die betrachteten Stichtage lagen ausnahmslos unterhalb des durch das LUWG und das Gesundheitsamt benannten kritischen Werts von 1,5 µg/l VC.

Es ist festzustellen, dass seit März 2015 während dem TIBEAN Betrieb an beiden Messpunkten in den obersten 0,3-3 m Tiefe der Grenzwert von 1,5 µg/l VC ausnahmslos eingehalten wurde. Seit Juni 2016 wurden keine Gehalte >0,5 µg/l VC gemessen.

Eine Weiterführung des halbjährigen Grundwassermonitorings einschließlich Seebeprobung im bewährten Umfang wie 2016 wird empfohlen, unter Einbeziehung ausgewählter neu errichteter Messstellen.

## 2 EINLEITUNG

Im Abstrom des Betriebsgeländes der Fa. TE, eines ehemaligen Siemens-Areals, im Industriegebiet West in Speyer, sind Belastungen des Grundwassers durch Leichtflüchtige Halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) bekannt.

Bereits in den Jahren 2012 bis 2015 wurde durch die CDM Smith Consult GmbH im Rahmen des Projektes Speyer, Abstrom Industriegebiet West ein Grundwassermonitoring mit jeweils zwei Beprobungskampagnen durchgeführt.

Die Siemens AG beauftragte die CDM Smith Consult GmbH per 14.03.2016 mit der Fortsetzung des Grundwassermonitorings im Jahr 2016 mit einer Frühjahrs- und einer Herbstkampagne in einem festgelegten Umfang. Grundlage der Beauftragung ist das Angebot der CDM Smith vom 29.02.2016. Bestandteil des Grundwassermonitorings 2016 sind auch der Betrieb von 12 Mobilfunk-Datenloggern zur Verbesserung des hydrodynamischen Systemverständnisses.

Die Beprobungskampagne zum Frühjahrsmonitoring wurde in der Zeit vom 02.05. bis 17.05.2016 durchgeführt. Am 28.06.2016 wurde eine Kurzdokumentation zum Frühjahrsmonitoring übergeben. Die Feldarbeiten zum Herbstmonitoring fanden in der Zeit vom 14.10.2016 bis 26.10.2016 statt. Der vorliegende Jahresbericht beinhaltet die Darstellung und Auswertung der Frühjahrs- und der Herbstkampagne 2016.

## 3 UNTERLAGEN

[U1] Peschla + Rochmes GmbH (2004): Sanierungserkundung des CKW-Schadens im Stadtgebiet Speyer, Industriegebiet West. Mit: Abgrenzung, Erstellung eines Konzeptes für weitere Maßnahmen. 29.07.2004.

[U2] Umweltschutz UBP AG (2011): Gefährdungsbeurteilung.- 19.01.2011.

[U3] Umweltschutz UBP AG (2012): Grundwassermonitoring Industriegebiet West, Speyer, Jahresbericht 2011.- 03.04.2012. (Anm.: und vorherige GW-Monitoringberichte)

[U4] CDM Consult GmbH (2012): Grundwasser-Monitoring.- 03.04.2012.

[U5] CDM Consult GmbH (2012a): Sanierungsuntersuchung Arbeitsschritt 1: Grundlagenermittlung.- 27.08.2012.

[U6] CDM Smith Consult GmbH (2012): Projekt Speyer, Abstrom Industriegebiet West: Grundwassermonitoring 2012: Jahresbericht.- 03.12.2013.

[U7] CDM Smith Consult GmbH (2013a): Projekt Speyer, Abstrom Industriegebiet West: Sanierungsuntersuchung: Ergänzende Standortuntersuchungen / Sanierungstests: Bericht und Dokumentation.- 30.09.2013.

[U8] CDM Smith Consult GmbH (2013): Projekt Speyer, Abstrom Industriegebiet West: Grundwassermonitoring 2013: Jahresbericht.- 12.12.2013.

[U9] CDM Smith Consult GmbH (2014): Projekt Speyer, Abstrom Industriegebiet West: Grundwassermonitoring 2014: Jahresbericht.- 09.12.2014.

[U10] CDM Smith Consult GmbH (2014a): Projekt Speyer, Abstrom Industriegebiet West: Konzept zum Datenlogger-Einsatz zur Verbesserung des hydrodynamischen Systemverständnisses.- 19.12.2014.

[U11] CDM Smith Consult GmbH (2015): Projekt Speyer, Abstrom Industriegebiet West: Leistungspumpversuch (LPV) vom 26.01. – 30.01.2015 an GWM iSOC 2/13 zur Dimensionierung der Pump&Treat-Maßnahme in SZ3.- 04.03.2015.

[U12] CDM Smith Consult GmbH (2015a): Projekt Speyer, Abstrom Industriegebiet West: Grundwassermonitoring 2015: Jahresbericht.- 15.12.2015.

[U13] CDM Smith Consult GmbH (2015b): Projekt Speyer, Abstrom Industriegebiet West: Sanierungsuntersuchung Grundwasser: Sanierungskonzept, Arbeitsschritt 10.- 20.10.2015.

[U14] CDM Smith Consult GmbH (2016): Projekt Speyer, Abstrom Industriegebiet West Betrieb und Überwachung von 2 Seebelüftungsanlagen (TIBEAN) zur VC-Reduzierung im Steinhäuserwühlsee, 7. Technischer Monatsbericht: 3. Betriebsjahr: 01.10.- 31.10.2016. (und vorherige Berichte)

[U15] CDM Smith Consult GmbH (2016a): Grundwassermonitoring Mai 2016: Kurzdokumentation.- 28.06.2016.

[U16] CDM Smith Consult GmbH (2016b): Bau, Inbetriebnahme und Probebetrieb einer Grundwasserbehandlungsanlage mit Brunnengalerie und Rohrleitungen (Pump & Treat).- 30.09.2016.

[U17] CDM Smith Consult GmbH (2016c): Sanierungszone SZ 2 Fahnenbereich Pilotsanierung Direktgasinjektion zum VC-Abbau, Dokumentation der Bohr-, Brunnenbau- und Installationsarbeiten inkl. Nullbeprobung. – 23.09.2016.

[U18] Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung – GrWV); 09.11.2010:

[U19] LAWA, 2004: Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser (vgl. auch LAWA, LABO, LAGA (17. Juni 1998): Gefahrenbeurteilung von Bodenverunreinigungen/Altlasten als Gefahrenquelle für das Grundwasser.

[U20] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Länderarbeitsgemeinschaft Boden (LABO), Mainz, Mai 2006: Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen.

[U21] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA, Berlin, September 2006: LAWA-Hinweise für die Anwendung der Geringfügigkeitsschwellenwerte bei Benutzungen des Grundwassers in bestimmten Fallgestaltungen.

[U22] Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht, Mainz: Merkblatt ALEX 02; Orientierungswerte für die abfall- und wasserwirtschaftliche Beurteilung von Altablagerungen, Altstandorte und Grundwasserschäden. Stand Juli 1997 / November 2004

[U23] Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht, Mainz: Bodenschutz; Informationsblatt 16; Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten. Stand Juni 2009

[U24] Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz: Geologische Karte von Rheinland-Pfalz, 1:25.000, Blatt Speyer

[U25] Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Ministerium für Umwelt und Forsten, Rheinland-Pfalz: Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum, Fortschreibung 1983-1998

[U26] Umweltministerium Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt und Forsten, Rheinland-Pfalz: Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Raum Karlsruhe-Speyer, Fortschreibung 1986

[U27] „Richtlinie 2006/7/EG über die Qualität der Badegewässer …“, Abl. EG L 64 S. 37, geändert am 15.02.2006

[U28] Wöstmann, Ulrich (2007): Natürliche Selbstreinigung und Immobilisierung bei schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten.- Berlin: Erich-Schmidt-Verlag, 2007.

[U29] Stupp, H. (2002): Migration und Dechlorierung von LCKW in Grundwasserleitern Erkenntnisse aus der gutachterlichen Bearbeitung von Grundwasserschäden und Hinweise zur Anwendung von MNA.- altlasten spektrum, 03/2002, S. 129 – 139.

[U30] Wöstmann, Ulrich u. a. (2004): Natürlicher Abbau einer Dichlormethan-Belastung im Grundwasser.- altlasten spektrum, 05/2004, S. 267 – 275.

[U31] Hölting, Bernward (2005): Hydrogeologie.- 6. Auflage.- ELSEVIER/ Spektrum Akademischer Verlag, 2005.

[U32] Land Rheinland-Pfalz (2008): Landesverordnung über die Qualität und die Bewirtschaftung der Badegewässer (Badegewässerverordnung) Vom 22. Februar 2008.

[U33] Trinkwasserverordnung vom 21. 5. 2001 (BGBl. I S.959).

[U34] Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV) Ausfertigungsdatum: 20.07.2011 (BGBl. I S. 1429)

[U35] http://www.speyer.de/sv_speyer/de/Umwelt/Aktuelles/Badeverbot%20im%20Steinh%C3%A4userw%C3%BChlsee/Downloadbereich%20Grundwasserschaden/Allgemeinverf%C3%BCgung%20Steinh%C3%A4userw%C3%BChlsee.PDF (letzter Zugriff: 10.11.2016 16:30)

[U36] http://www.wetteronline.de/pegel/speyer (Zugriff: 03.11.2014)

[U37] https://www.pegelonline.wsv.de/webservices/files (letzter Zugriff: 11.11.2015 14:35)

[U38] Stadt Speyer, Umwelt und Forsten, 07.05.2015: Vollzug der Bodenschutzgesetze, CKW-Schaden im Industriegebiet Speyer-West – Behördenposition bzgl. der Randbedingungen und des weiteren Vorgehens für die Sanierungsplanung.

[U39] Stadt Speyer, Umwelt und Forsten, Protokoll zur Besprechung am 28.05.2015: CKW-Schaden im Industriegebiet Speyer-West – zur Behördenposition s. Schreiben vom 07.05.2015 bzgl. der Randbedingungen und des weiteren Vorgehens für die Sanierungsplanung.

# 4 STANDORTBESCHREIBUNG

## 4.1 Allgemeine Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet (UG) liegt in der Rheinebene ca. 2,5 km westlich des hier in nordöstliche Richtung fließenden regionalen Vorfluters Rhein.

Das UG umfasst ein ca. 500 x 2000 m großes Areal östlich des Industriegebiets West in der Stadt Speyer, ausgehend von der östlichen Werksgrenze des heutigen TE-Geländes an der Brunckstraße bis zur Rhein-Niederung und lässt sich wie folgt unterteilen:

- Westteil: Städtischer Friedhof, bis Wormser Landstraße
- Zentraler Teil: Mischgebiet Im Neudeck, bis Tullastraße,
  mit Gartenanlage Neudeck (im nördlichen zentralen Teil) und
  Gartenanlage Kuhweide südlich der Auestraße)
- Östlicher Teil: Ländliches Gebiet südlich des Steinhäuserwühlsees / Wammsees
  (mit Campingplatz), und nördlich der Auestraße,
  Bereich Nachtweide – Schlangenwühl – Rübsamenwühl bis Ludwigshof.

In den Anlagen 1.1 und 1.2 ist das Untersuchungsgebiet lagemäßig dargestellt.

## 4.2 Geologie und Hydrogeologie

Angaben zur regionalen Geologie und Hydrogeologie

Strukturgeologisch liegt das Untersuchungsgebiet im nördlichen Oberrheingraben.

Der einsinkende Oberrheingraben stellt das Hauptsedimentationsgebiet für das alpine Erosionsmaterial dar. Bei den mächtigen Ablagerungen des Pliozäns und des Quartärs handelt es sich um fluviatile und limnische Bildungen, die als Sande, Kiese, Schluffe und Tone vorliegen.

Die stratigraphische Gliederung dieser Schichten im nördlichen Oberrheingraben erfolgt nach lithologischer Ausbildung der Schichten und nach hydrogeologischen Gesichtspunkten.

Unter den überdeckenden holozänen Auenablagerungen der Rheinniederung folgen flächendeckend die sandigen, bunten bis grau-rötlichen Kiese des Oberen Kieslagers (OKL), die den Oberen Grundwasserleiter (OGWL) bilden. Regional sind Fein- und Mittelsandlagen eingeschaltet. Das Obere Kieslager erreicht regional Mächtigkeiten von 20 - 25 m.

Unterlagert wird der OGWL von Tonen und Schluffen des Oberen Zwischenhorizontes (OZH). Diese können lokal sandige Zwischenlagerungen enthalten. Die Tone und Schluffe sind meist

kalkhaltig, graugrün, dunkelgrau bis schwarz. Bei tonig-schluffiger Ausbildung bewirkt der OZH eine hydrogeologische Stockwerksgliederung zwischen dem OGWL und dem MGWL.

Unter dem Oberen Zwischenhorizont folgt die bis zu 100 m mächtige Mittlere sandig-kiesige Abfolge. Diese bildet den Mittleren Grundwasserleiter - MGWL. Die Abfolge ist bereichsweise durch schluffig-tonige, etwa 2 - 10 m mächtige Zwischenhorizonte (ZH2, ZH3) in einen oberen (MGWLo) und einen unten (MGWLu) Bereich getrennt.

Darunter folgen ein Unterer Zwischenhorizont (UZH) und ein Unterer Grundwasserleiter (UGWL).

In der folgenden Tabelle ist die stratigraphische Untergliederung zusammengefasst.

Tabelle 4-1: Stratigraphische Untergliederung

| **Chronostratigraphie** | | **Lithostratigraphische Gliederung** | **Hydrogeologische Gliederung** | |
|---|---|---|---|---|
| Quartär | Holozän | Deckschichten | Deckschichten | |
| | Pleistozän | Oberes Kieslager (OKL) | OGWLo | Oberer Grundwasserleiter (OGWL) |
| | | | ZH1 | |
| | | | OGWLu | |
| | | Oberer Zwischenhorizont (OZH) | OZH | Oberer Zwischenhorizont |
| | | Mittlere sandig-kiesige Abfolge | MGWLo | Mittlerer Grundwasserleiter (MGWL) |
| | | | ZH2 | |
| | | | MGWLm | |
| | | | ZH3 | |
| | | | MGWLu | |
| | | Unterer Zwischenhorizont | UZH | Unterer Zwischenhorizont |
| | | Untere sandig-schluffige Abfolge | UGWL | Unterer Grundwasserleiter (UGWL) |
| Tertiär | Pliozän | | | |
| | Miozän | | Aquifersohlschicht | |

Die folgende Abbildung zeigt einen schematischen Profilschnitt durch Speyer von West nach Ost.

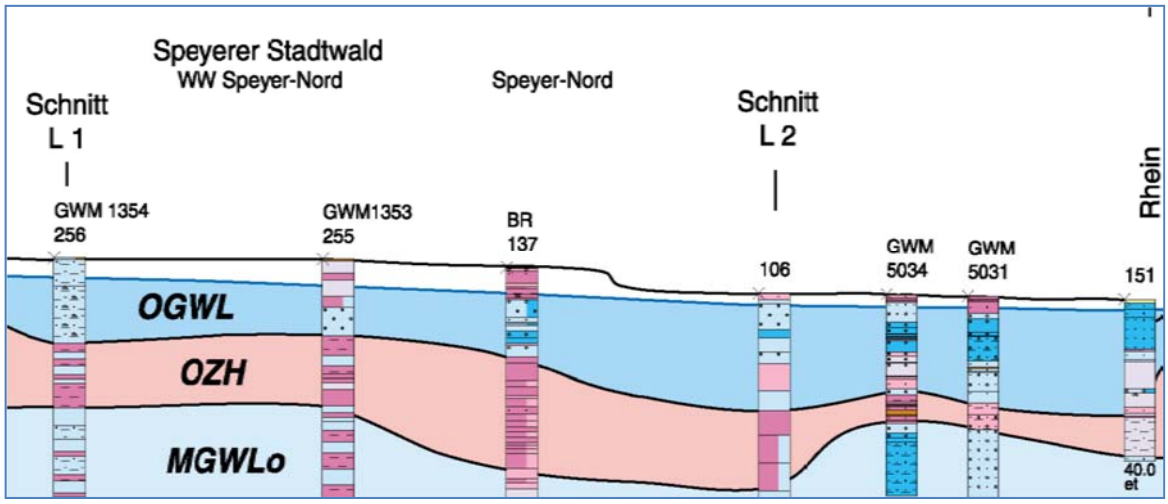



Abbildung 4-1: Ausschnitt aus der Hydrogeologischen Karte [U25] Profillinie West - Ost.

Lokale Verhältnisse

Das Gewerbegebiet Speyer-West (Fa. TE und benachbarte Industrieflächen) und der Friedhof liegen auf dem sogenannten Hochgestade. Entlang der östlichen Liegenschaftsgrenze des Friedhofs fällt das Relief um ca. 3 m ab und erstreckt sich dann ohne nennenswerte Höhendifferenzen als Talaue bis zum ca. 2-2,5 km entfernten Rhein.

Die Sedimente des Hochgestades sind charakterisiert durch oberflächennahe Auffüllungen, die auf dem Betriebsgelände von TE mehrere Meter umfassen können. Ab der Liegenschaftsgrenze und auf dem Friedhof erreichen die Auffüllungen wenige dm bis 1 m, vereinzelt auch 4,5 m (z.B. N11). Darunter stehen Grob- und Mittelsande an. Lokal sind Einschaltungen von Mittel- bis Feinsanden und Kieslagen vorhanden. Diese Schichten sind dem Oberen Grundwasserleiter (OGWL) zuzuordnen.

Östlich des Hochgestades im Bereich des „Campingplatz Bonnet“ wird der oberflächennahe Untergrundaufbau durch Schluffe und Sande gebildet. Darunter stehen Grob- und Mittelsande an. Generell sind die Sedimente im nördlichen Bereich tendenziell gröber und in die Sand-Kies-Fraktion einzuordnen. Der Grundwasserstauer (OZH) wird hier bei ca. 17 - 20 m u. GOK angetroffen, in Muldenstrukturen auch tiefer (in GWM 4/13 bei rd. 29 m u. GOK).

Weiter östlich sind die Deckschichten ebenfalls aus Wechselfolgen von Sand und Schluff aufgebaut. Darunter sind Wechselfolgen aus Sanden mit Einschaltungen von Kiesen und Schluffen anzutreffen. Der Ablagerungsraum ist maßgeblich durch die fluviatilen Sedimente des Rheins bestimmt. Der Grundwasserstauer (OZH) liegt hier bei ca. 21 m u. GOK. In der Kontrollmessstelle KRW12/16 sowie der Reichweitenmessstelle RW16/16 wurde der Grundwasserstauer bei der Bohrkampagne in 2016 erst bei rd. 31 m u. GOK erbohrt.

Allgemein ist durch die vorhandenen Aufschlüsse belegt, dass das Untersuchungsgebiet einen recht heterogenen sedimentpetrographischen Aufbau aufweist, der sich insbesondere im

relevanten OGWL aus Wechsellagen von Sanden, Kiesen und lokalen Schlufflagen zusammensetzt. Eine detailliertere Beschreibung der lokalen Geologie einschließlich der Bohrergebnisse aus dem Jahr 2013 ist in [U7] und für 2016 in [U16] enthalten.

Das Grundwasser im OGWL fließt in östliche Richtung durch das UG und biegt nahe dem Rhein in ostnordöstliche Richtung ab. Die Grundwasserstände im Untersuchungsgebiet liegen zwischen ca. 91 m NHN und ca. 94,6 m NHN (Okt. 2016). Der Durchlässigkeitsbeiwert liegt zwischen $k_f$ = $4*10^{-4}$ m/s und $1*10^{-3}$ m/s [U5]. Die Abstandsgeschwindigkeit $v_a$ lässt sich gemäß DARCY-Gesetz unter Berücksichtigung der effektiven Porosität $n_{eff}$ = 20% mit 0,4 m/d respektive 146 m/a angeben.

Bei einem Leistungspumpversuch (LPV) im Januar 2015 in GWM iSOC 2/13 am Südwestufer des Steinhäuserwühlsees wurde ein $k_f$-Wert von $2,35*10^{-3}$ m/s bzw. eine Abstandsgeschwindigkeit $v_a$ von ca. 500 m/a ermittelt (siehe auch [U11]). Mittels Laboruntersuchungen der Korngrößenverteilung (KGV) an halbmeterweisen Linerproben wurden im Jahr 2016 im Bereich der Tullastraße, Abzweig Camping Bonnet (Pilotversuch Direktgasinjektion s. [U17]) ein Durchlässigkeitsbeiwert im Mittel von $8,3*10^{-3}$ m/s nachgewiesen (GWM R2-01/16T). Die $k_f$-Wert Ermittlung mittels Thermo-Flow-Messung unter Einbezug aller befahrenen GWMS auf dem Pilotfeld ergab Durchlässigkeitsbeiwerte von $2,1*10^{-4}$ m/s bis $2,4*10^{-2}$ m/s [U17].

Tabelle 4-2: Übersicht hydraulischer Kenngrößen

| **Datenquelle** | **i** [‰] | **$k_f$** [m/s] | **$n_{eff}$** [%] | **$v_a$** [m/d] | **RF** [-] | **Bemerkungen** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CDM 2012 | 1,0 | $9*10^{-4}$ | 20 | 0,38 | 1 - 4 | Gesamtfahne |
| Hötzl 2008 | 0,2 | $1*10^{-3}$ | 20 | 0,86 | 10 | |
| Arcadis 2007 | 1,0 – 1,4 | $9*10^{-4}$ | 20 | 0,5 – 0,65 | | Bezogen auf den Auebereich |
| Peschla & Rochmes 2004 | 2,0 – 2,4 | $9*10^{-4}$ | 20 | 1 | | Angaben auf Hochgestade |
| IPV GWM 7/13F 2013 | | $4,21*10^{-4}$ | | | | Pumpversuch [U7] |
| IPV GWM 8/13F 2013 | | $1,36*10^{-3}$ | | | | Pumpversuch [U7] |
| IPV GWM 9/13F 2013 | | $8,0*10^{-4}$ | | | | Pumpversuch [U7] |
| IPV GWM 10/13F 2013 | | $5,67*10^{-4}$ | | | | Pumpversuch [U7] |
| GWM 5/13 (9,25-9,75m) | | $2*10^{-3}$ | 28 | | | Säulenversuch 2013 [U7] |
| GWM 10/13 (9,25-9,75m) | | $4*10^{-4}$ | 23 | | | Säulenversuch 2013 [U7] |
| iSOC 2/13 | | $2,35*10^{-3}$ | | 1,39 | | LPV [U11] |
| GWM R2-01/16T, Mittelwert | | $8,3*10^{-3}$ | | | | Linerbohrung [U17] |
| Doppel- GWM Pilotfeld Tullastr. | | $2,1*10^{-4}$ - $2,4*10^{-2}$ | | | | Thermoflow-messungen [U17] |

RF - Retardationsfaktor

## 4.3 Oberflächengewässer bzw. relevante hydrodynamische Elemente

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im linksrheinischen Teil des Oberrheingrabens.

Der Rhein stellt mit einem Abstand von ca. 2,5 km von der bekannten Schadensquelle in Fließrichtung den regionalen Vorfluter für das Grundwasser dar.

In der Regel ist die Grundwassersituation effluent, d.h. das Grundwasser fließt dem Rhein zu und dieser hat Vorflut-Charakter. Zeitlich begrenzt könnten bei Hochwässern auch influente Grundwasserbedingungen herrschen, die sich aber nur räumlich und zeitlich begrenzt auswirken.

Die ostnordöstlich des ehemaligen Siemensgrundstückes gelegenen Oberflächengewässer Steinhäuserwühlsee und Wammsee sind grundwassergespeist.

## 4.4 Laufende Sanierungsmaßnahmen im UG

In Sanierungszone SZ3 Seeanstrom läuft seit 01.07.2016 eine Pump-&-Treat-Maßnahme im Regelbetrieb mit je 7 m³ Grundwasserentnahme an 13 Pumpbrunnen im Abstand von je ca. 35 m, Abreinigungsleistung < 0,5 µg/l VC in einer zentralen Behandlungsanlage und Einleitung in den Steinhäuserwühlsee [U16]. Dabei wurden auch 13 KRW (Kontroll- und Reichweitenmessstellen) und 6 RW errichtet (davon eine 3-fach-Messstellengruppe RW 16/16 F+M+T), die zu Kontrollzwecken bei der P&T-Maßnahme benutzt werden [U16] (siehe Anlage 1.3).

Im SZ2-Fahnenbereich wurde bei GMS 4 im Bereich Tullastraße Abzweig Campingplatz Bonnet ein Testfeld mit 11 Direktgasinjektionslanzen bis ca. 20 m Tiefe auf 50 m Länge quer zur Grundwasserfließrichtung eingerichtet, dass seit dem 18.05.2016 betrieben wird. Die Überwachung wird mit 5 Messstellengruppen à 2 GWM und 10 Multilevelbrunnen mit je 4 verfilterten Horizonten vorgenommen [U17].

# 5 UNTERSUCHUNGSKONZEPT

## 5.1 Grundwasser

### 5.1.1 Messstellennetz

Für die Durchführung des Grundwassermonitorings 2016 steht ein Messstellennetz von 70 Messstellen zur Verfügung. Für drei Messstellen ist eine Probenahme in zwei Tiefen vorgesehen, so dass eine Anzahl von insgesamt 73 Probenahmen geplant ist.

In Tabelle 5-1 sind die Messstellen sowie das jeweils geplante Untersuchungsprogramm im Mai und Oktober 2016 zusammengefasst.

Tabelle 5-1: Messnetz und Untersuchungsprogramm Grundwasser 2016

| Messstelle | Rechtswert | Hochwert | Stichtags-messung | Probenahme | Analytik LHKW / VC | Analytik NA-Parameter | Analytik Fe - Mn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4* | 3459738,03 | 5466742,07 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| B32 | 3458247,03 | 5466657,22 | 1 | 1 | 1 | | |
| B33 | 3458228,1 | 5466732,45 | 1 | 1 | 1 | | |
| B34 | 3458302,72 | 5466693,85 | 1 | 1 | 1 | | |
| Bs1 | 3458744,51 | 5466611,07 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Bs2 | 3458839,5 | 5466486,51 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GMS 2 | 3459126,72 | 5467301 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GMS 3 | 3459218,7 | 5467041,57 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GMS 4 | 3459158,74 | 5466864,1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GMS 5 | 3459193,45 | 5466965,07 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| LWMS 1129 | 3458595,94 | 5466687,32 | 1 | 1 | 1 | | |
| LWMS1131 | 3459725,16 | 5466315,73 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| LWMS1132 | 3460194,75 | 5466150,3 | 1 | | | | |
| MC N1f | 3459652,19 | 5466729,01 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| MC N1m | 3459652,66 | 5466730,81 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| MC N1t | 3459650,22 | 5466721,98 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| MC N2f | 3460364,78 | 5466732,66 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| MC N2m | 3460367,44 | 5466728,95 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| MC N2t | 3460366,05 | 5466730,75 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| MC N3f | 3459719,23 | 5466965,88 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| MC N3m | 3459718,6 | 5466963,66 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| MC N3t | 3459719,89 | 5466968,08 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| MC N4f | 3459748,86 | 5467221,9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| MC N4m | 3459749,82 | 5467223,6 | 1 | 1 | 1 | | 1 |

| Messstelle | Rechtswert | Hochwert | Stichtags-messung | Probenahme | Analytik LHKW / VC | Analytik NA-Parameter | Analytik Fe - Mn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MC N4t | 3459747,86 | 5467220,01 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| MC S1f | 3459612,31 | 5466498,27 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| MC S1m | 3459612,9 | 5466500,62 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| MC S1t | 3459611,59 | 5466495,87 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| MC S2f | 3460275,07 | 5466543,35 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| MC S2m | 3460276,42 | 5466541,14 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| MC S2t | 3460274,02 | 5466545,92 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| ML04 | 3458297,54 | 5466615,97 | 1 | 1 | 1 | | |
| ML05 | 3458504,43 | 5466871,16 | 1 | 1 | 1 | | |
| ML06 | 3458519,37 | 5466608,23 | 1 | 1 | 1 | | |
| ML07-7 | 3459313,29 | 5466768,59 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ML07-12 | 3459313,29 | 5466768,59 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ML08-7 | 3459620,17 | 5466766,87 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ML08-12 | 3459620,17 | 5466766,87 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| N2 | 3458920,62 | 5466772 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| N3 | 3458830,24 | 5466694,47 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| N4 | 3458879,39 | 5466859,77 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| N5 | 3458709,47 | 5466918,15 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| N6 | 3458703,43 | 5466867,11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| N7 | 3458705,07 | 5466782,33 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| N9 | 3458400,45 | 5466830,76 | 1 | 1 | 1 | | |
| N10 | 3458415,67 | 5466659,28 | 1 | 1 | 1 | | |
| N11 | 3458542,79 | 5466780,26 | 1 | 1 | 1 | | |
| P4 | 3460167,83 | 5467094,41 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| P9 | 3460159,14 | 5467101,99 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| P17 | 3458063,3 | 5466793,9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GWM 1/13F | 3458484,5 | 5466534,71 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GWM 1/13T | 3458484,61 | 5466533,29 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| GWM 2/13F | 3458705,41 | 5466716,64 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GWM 2/13T | 3458705,46 | 5466715,38 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| GWM 3/13F | 3458900,24 | 5466618,1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GWM 3/13T | 3458900,06 | 5466616,9 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| GWM 4/13F | 3459138,41 | 5466630,88 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GWM 4/13T | 3459138,19 | 5466629,3 | 1 | 2 | 2 | | 2 |
| GWM 5/13F | 3458976,96 | 5467026,81 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GWM 5/13T | 3458977,13 | 5467028,28 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| GWM 6/13F | 3459315,51 | 5467057,93 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GWM 6/13T | 3459316,44 | 5467059,09 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| GWM 7/13F | 3458198,94 | 5466707,53 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GWM 7/13T | 3458198,4 | 5466706,47 | 1 | 1 | 1 | | 1 |

| Messstelle | Rechtswert | Hochwert | Stichtags-messung | Probenahme | Analytik LHKW / VC | Analytik NA-Parameter | Analytik Fe - Mn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GWM 8/13F | 3458229,75 | 5466624,06 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GWM 8/13T | 3458230,15 | 5466622,94 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| GWM 9/13F | 3458244,87 | 5466567,27 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GWM 9/13T | 3458245,53 | 5466566,23 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| GWM 10/13F | 3458269,91 | 5466495,19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GWM 10/13T | 3458269,57 | 5466496,7 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| RW 3/13 | 3459533,07 | 5466911,55 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| RW 11/13 | 3459542,44 | 5466952,1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Ludwigshof TW | | | | 1 | 1 | | |
| Zusätzlich für STM aus SZ3 / SZ2 | | | | | | | |
| RW 12/16 | | | 1 | | | | |
| RW 13/16 | | | 1 | | | | |
| RW 15/16 | | | 1 | | | | |
| RW 17/16 | | | 1 | | | | |
| GWM-R1-01/16 F | | | 1 | | | | |
| Summe | | | 75 | 73 | 73 | 39 | 62 |

*) Koordinaten aus Lageplan

Alle Messstellen schließen Grundwasser des OGWL auf. Die Lage der Messstellen ist in Anlage 1.2 graphisch dargestellt.

### 5.1.2 Probenahmestrategie

Die Durchführung einer Stichtagsmessung der Grundwasserstände war jeweils vor der eigentlichen Probenahmekampagne geplant, um unbeeinflusste Grundwasseroberflächen zu messen.

Zur besseren Überwachung der hydrodynamischen Situation wurden Mobilfunk-Datenlogger in 12 Messstellen und zwei weitere Datenlogger am See eingebaut. Die Datenloggeraufzeichnungen werden in die Auswertung einbegezogen (vgl. Kap. 6.4).

Vor Probenahme wurde für jede Messstelle im Arbeitsplan das hydraulische Abbruchkriterium (soweit die Bohr- und Ausbaudaten zur Verfügung standen) berechnet, die Probenahme-Parameter wie Einhängetiefe, Pumpmenge, Pumpleistung und Pumpdauer sowie die Reihenfolge der Probenahme - nach ansteigenden LCKW-Gehalten - festgelegt (siehe auch Anlage 4.1).

Das hydraulische Abbruchkriterium beträgt mindestens das 1,5-fache des Volumens eines Kreiszylinders, der aus der Filterlänge und dem Bohrlochdurchmesser des zu beprobenden Grundwasseraufschlusses gebildet wird. Liegt der Wasserstand innerhalb der Filterlänge, wird die wassererfüllte Mächtigkeit anstatt der Filterlänge für die Berechnung verwendet. Da bei einigen Messstellen zum Zeitpunkt der Probenahme kein Ausbauplan vorlag, wurde für diese Messstellen zur Berechnung des Abbruchkriteriums jeweils ein für den Standort plausibler Bohrdurchmesser angenommen. Zur Vergleichbarkeit der Messungen wurde das Vorpumpvolumen zudem auf die Angaben aus früheren Monitoringkampagnen angepasst.

Die Proben aus den (mit fest installierten Pumpen versehenen) Brauchwasserbrunnen Bs 1, Bs 2, aus Messstelle 4 sowie die Probe vom Ludwigshof wurden am Wasserhahn gewonnen. Da hier eine Berechnung des hydraulischen Abbruchkriteriums wegen des unbekannten Ausbaus und der nicht zugänglichen Rohrstrecken nicht möglich ist, wurde als Abbruchkriterium allein die Konstanz der Feldparameter angesetzt.

Generell sollte die Pumpe bei Entnahme der Probe unmittelbar oberhalb der Filteroberkante angeordnet werden, um strömungsbedingte Verfälschungen und hydraulische Kurzschlüsse zu vermeiden. Auf Grund des realen Messstellenbestandes mit etlichen vollkommen verfilterten Messstellen wurden folgende Kriterien zur Festlegung der Entnahmetiefen im Arbeitsplan s. Anlage 4.1 verwendet:

- Standard: Einbau der Pumpe maximal 1 m oberhalb der Filteroberkante, wenn die GW-Oberfläche oberhalb der Filter-OK liegt.
- Wenn die GW-Oberfläche unterhalb der Filter-Oberkante liegt: Einbau der Pumpe ca. in der Mitte von GW-Oberfläche zu Filter-Unterkante.
- GW-Absenkung: Maximal 1 m , Pumpeneinbau ca. 2 m unter Ausgangs-GW-Oberfläche.
- Reproduzierbare Probenahme steht im Vordergrund, daher werden im Wesentlichen die gleiche Probenahmetiefen wie bei UBP verwendet (wenn die bisherige PN-Tiefe weit oberhalb der Filter-Oberkante lag, dann Festlegung Einbautiefe durch CDM)
- Bezüglich der Entnahmemenge ist bei ausschließlich unterhalb der GW-Oberfläche verfilterten Messstellen zu beachten, dass zusätzlich zur berechneten Entnahmemenge die Wassermenge im Standrohr oberhalb der Filter-Oberkante abgepumpt werden muss.
- Bei den Brauchwasserbrunnen Bs1, Bs 2 und 4 entfällt die Tiefenfestlegung, da die Proben am Wasserhahn nach Erreichen der Konstanz der Feldparameter gewonnen werden.

### 5.1.3 Analytikprogramm

Während der Probenahme waren die Feldparameter zu bestimmen. Das Parameterspektrum für die chemische Analytik der Wasserproben setzte sich in Anlehnung an die bisherigen Untersuchungen wie folgt zusammen (vgl. auch Anlage 4.1):

| Mai 2016 | Oktober 2016 |
|---|---|
| 73 Proben für LHKW-Analytik (einschl. VC) | 73 Proben für LHKW-Analytik (einschl. VC) |
| 39 Proben für NA-Redoxparameter | 39 Proben für NA-Redoxparameter |
| 62 Proben für Fe - Mn | 62 Proben für Fe - Mn |

## 5.2 Oberflächenwasser

Im Rahmen der seit Mai/Juni 2014 laufenden TIBEAN-Maßnahme (vgl. [U14] finden monatlich tiefenorientierte See-Beprobungen für die LHKW-Analyse statt. Zur Charakterisierung des Oberflächenwassers wurden die im Mai und Oktober durchgeführten Beprobungen an zwei Probenahmepunkten im Steinhäuserwühlsee herangezogen.

Hinsichtlich des Frühjahrsmonitoring wurde die Oberflächenwasserbeprobung am 10.05.2016 ausgewählt, die zeitgleich zur Grundwasserbeprobung stattfand. Für das Herbstmonitoring wurde die Messung am 11.10.2016 in die Betrachtung einbezogen, die eine Woche vor der Herbstbeprobungskampagne für das Grundwasser ausgeführt wurde.

Die ehemaligen Messpunkte Süd und Nord entsprechen im Wesentlichen den Standorten TIBEAN 1 und TIBEAN 2.

# 6 DURCHFÜHRUNG DER FELDARBEITEN

## 6.1 Stichtagsmessung

Die Stichtagsmessungen (STM) zu den Messkampagnen erfolgten vor Beginn der eigentlichen Beprobungskampagnen am 29.04.2016 und 14.10.2016.

Insgesamt 75 Messstellen inklusive der 6 neu errichteten RW 12/16 bis RW 17/16 und GWM-R1-01/16 F wurden in die Stichtagsmessung einbezogen. Diese wurden mit einem Lichtlot hinsichtlich des jeweiligen Ruhewasserspiegels sowie der Beprobbarkeit untersucht.

Die Messstellen RW 3/13 im April 2016 und RW 16/16 F im Oktober 2016 konnten nicht in die Monitoringkampagne einbezogen werden, da sie zum Zeitpunkt der Messung nicht zugänglich waren.

Die Protokolle der beiden Stichtagsmessungen sind in Anlage 2.1 erfasst.

## 6.2 Probenahme

### 6.2.1 Grundwasser

Die Grundwasserprobenahme des Frühjahrsmonitorings erfolgte im Zeitraum vom 02.05.2016 bis 17.05.2016 durch drei parallel eingesetzte CDM-Teams.

Die Herbstkampagne wurde in der Zeit vom 17.10.2016 bis 26.10.2016 ebenfalls durch drei Probenahmetrupps durchgeführt.

Die Probenahmen wurden nach einer zuvor festgelegten Reihenfolge realisiert. Die zeitliche Reihenfolge der Beprobung wurde in Anlehnung an die vorangegangenen Monitoring-Kampagnen und nach der aktuellen Vor-Ort-Situation (Befahrbarkeit mit Transporter oder Geländewagen) festgelegt. Vorrangig wurden die Messstellen, die in der letzten Messung geringe Schadstoffkonzentrationen aufwiesen, zuerst beprobt. Jede Grundwasserprobenahme wurde durch ein Protokoll dokumentiert (s. Anlage 2.2).

Im Rahmen der Kampagnen wurden jeweils 73 Proben aus 70 Messstellen entnommen und umgehend in das DAP-akkreditierte Labor Wessling zur Analytik auf LHKW sowie teilweise auf NA-charakterisierende Parameter sowie auf Eisen/Mangan transportiert (vgl. Tabelle 5-1).

Mit Ausnahme der Multilevelbrunnen (ML 04 bis ML 08) und der Brauchwasserbrunnen erfolgte die Probenahme durch eine Unterwasserpumpe Typ Grundfos MP 1. Die Grundwasserpumpprobe wurde entnommen, wenn das hydraulische Kriterium und das qualitative Kriterium (Konstanz der Feldparameter) erfüllt waren.

Die Beprobung der Multilevelbrunnen mit einer Minidruckpumpe erfolgte am 03.05.2016 bzw. 18.10.2016 durch die Fa. Innovative Messtechnik Weiß (IMW). Die Proben aus den Brauchwasserbrunnen Bs 1, Bs 2, 4 sowie Ludwigshof wurden am Wasserhahn gewonnen. Hierbei wurde als Abbruchkriterium allein die Konstanz der Feldparameter angesetzt.

Das gesamte Förderwasser wurde über mobile Aktivkohleeinheiten (Silcarbon-Aktivkohle Typ K835) gereinigt und vor Ort abgeschlagen.

Die Förderrate der Pumpe wurde einerseits an die Ergiebigkeit der Messstelle angepasst. Bei einer Abreinigung des Wassers am Ort der Probenahme wurde zur Einhaltung einer ausreichenden Verweilzeit auf der Aktivkohle mit reduzierter Förderrate gepumpt.

Über einen Bypass wurde eine Durchflusszelle mit geringer Förderrate mit Grundwasser beschickt. Vorort erfolgte die Bestimmung der organoleptischen Parameter Färbung, Trübung, Geruch, Bodensatz. Die Geländeparameter Temperatur [°C], elektrische Leitfähigkeit [µS/cm], pH-Wert [-], Redoxpotential [mV] und Sauerstoffgehalt [mg/l] wurden mit einem WTW-Multiline bestimmt.

Die Probenahme erfolgte jeweils in die vom Labor für die entsprechenden Parameter vorbereiteten Flaschensätze. Die Proben wurden arbeitstäglich vom Probenabholer des Labors in der Niederlassung Mannheim abgeholt und dem Labor zur zeitnahen Analytik überstellt.

In den folgenden zwei Tabellen (folgende Seiten) sind die Ergebnisse der Probenahme für jede Kampagne 2016 zusammengefasst. Die Beprobungsreihenfolge ist nach PN-Trupps getrennt erfasst.

Die vorher festgelegten Probenahmevorschriften, wie das festgelegte Abpumpvolumen bzw. das Erreichen der Konstanz der Vor-Ort-Parameter, wurden bei allen Probenahmen realisiert.

Bei der Bestimmung der Organoleptik des geförderten Grundwassers wurde bei avisierter LHKW-Belastung auf eine Geruchseinschätzung aus Arbeitsschutzgründen verzichtet. Eine Gesamtauswertung der Organoleptik ist daher nicht möglich.

Tabelle 6-1: Ergebnisse der Grundwasserprobenahme im Mai 2016

| Bezeichnung | Probenahmedatum/ -Uhrzeit | PN-Reihenfolge | Zustand bei Probenahme Oktober 2015 | PN-Vorschrift Pumpvolumen [m³] Hydraul. Kriterium | tatsächliche Abpumpmenge [m³] | Einschätzung | Bemerkungen / Besonderheiten |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 11.05.2016 09:40 | I-31 | beprobbar | Beschaffenheits-kriterium | Parameter-konstanz | Vorschrift erfüllt | Einbaupumpe, geschätzt 2,5 m³ |
| B32 | 04.05.2016 12:55 | I-12 | beprobbar | 0,826 | 0,826 | Vorschrift erfüllt | |
| B33 | 04.05.2016 11:35 | I-11 | beprobbar | 0,513 | 0,513 | Vorschrift erfüllt | |
| B34 | 04.05.2016 13:55 | I-13 | beprobbar | 0,513 | 0,513 | Vorschrift erfüllt | |
| Bs1 | 11.05.2016 09:15 | I-30 | beprobbar | Beschaffenheits-kriterium | Parameter-konstanz | Vorschrift erfüllt | Einbaupumpe |
| Bs2 | 11.05.2016 10:15 | I-32 | beprobbar | Beschaffenheits-kriterium | Parameter-konstanz | Vorschrift erfüllt | Einbaupumpe |
| GMS 2 | 09.05.2016 10:50 | II-3 | beprobbar | 0,865 | 0,865 | Vorschrift erfüllt | |
| GMS 3 | 11.05.2016 13:30 | II-22 | beprobbar | 1,582 | 1,582 | Vorschrift erfüllt | |
| GMS 4 | 17.05.2016 15:13 | I-39 | beprobbar | 1,194 | 1,200 | Vorschrift erfüllt | |
| GMS 5 | 11.05.2016 15:15 | III-2 | beprobbar | 1,229 | 1,233 | Vorschrift erfüllt | |
| LWMS 1129 | 11.05.2016 10:40 | II-19 | beprobbar | 0,019 | 0,025 | Vorschrift erfüllt | |
| LWMS 1131 | 09.05.2016 10:40 | I-14 | beprobbar | 0,094 | 0,101 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N1f | 10.05.2016 12:35 | I-24 | beprobbar | 0,989 | 0,990 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N1m | 10.05.2016 13:10 | I-25 | beprobbar | 0,470 | 0,470 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N1t | 10.05.2016 14:20 | I-26 | beprobbar | 0,618 | 0,620 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N2f | 09.05.2016 14:10 | I-18 | beprobbar | 0,427 | 0,433 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N2m | 09.05.2016 15:00 | I-19 | beprobbar | 0,684 | 0,685 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N2t | 09.05.2016 15:30 | I-20 | beprobbar | 0,427 | 0,430 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N3f | 10.05.2016 15:10 | I-28 | beprobbar | 0,342 | 0,345 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N3m | 10.05.2016 15:40 | I-29 | beprobbar | 0,342 | 0,348 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N3t | 10.05.2016 14:40 | I-27 | beprobbar | 0,399 | 0,402 | Vorschrift erfüllt | |

| Bezeichnung | Probenahmedatum/ -Uhrzeit | PN-Reihenfolge | Zustand bei Probenahme Oktober 2015 | PN-Vorschrift Pumpvolumen [m³] Hydraul. Kriterium | tatsächliche Abpumpmenge [m³] | Einschätzung | Bemerkungen / Besonderheiten |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MC N4f | 03.05.2016 11:45 | I-6 | beprobbar | 0,927 | 0,930 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N4m | 03.05.2016 12:15 | I-7 | beprobbar | 0,618 | 0,621 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N4t | 03.05.2016 12:40 | I-8 | beprobbar | 0,309 | 0,309 | Vorschrift erfüllt | |
| MC S1f | 10.05.2016 10:15 | I-21 | beprobbar | 0,456 | 0,460 | Vorschrift erfüllt | |
| MC S1m | 10.05.2016 10:40 | I-22 | beprobbar | 0,199 | 0,200 | Vorschrift erfüllt | |
| MC S1t | 10.05.2016 11:15 | I-23 | beprobbar | 0,313 | 0,315 | Vorschrift erfüllt | |
| MC S2f | 09.05.2016 11:45 | I-15 | beprobbar | 0,456 | 0,515 | Vorschrift erfüllt | |
| MC S2m | 09.05.2016 12:35 | I-16 | beprobbar | 0,600 | 0,630 | Vorschrift erfüllt | |
| MC S2t | 19.10.2016 13:25 | I-17 | beprobbar | 0,598 | 0,602 | Vorschrift erfüllt | |
| ML04 | 03.05.2016 09:45 | IV-1 | beprobbar | Abpumpen vor Probenahme mindestens 15 Minuten und/oder gleichzeitiger 3-minütiger Konstanz der Vor-Ort-Parameter | | Vorschrift erfüllt | |
| ML05 | 03.05.2016 10:25 | IV-2 | beprobbar | | | Vorschrift erfüllt | |
| ML06 | 03.05.2016 10:40 | IV-3 | beprobbar | | | Vorschrift erfüllt | |
| ML07-7 | 03.05.2016 11:25 | IV-4 | beprobbar | | | Vorschrift erfüllt | |
| ML07-12 | 03.05.2016 12:20 | IV-5 | beprobbar | | | Vorschrift erfüllt | |
| ML08-7 | 03.05.2016 13:05 | IV-6 | beprobbar | | | Vorschrift erfüllt | |
| ML08-12 | 03.05.2016 13:35 | IV-7 | beprobbar | | | Vorschrift erfüllt | |
| N2 | 11.05.2016 10:00 | II-18 | beprobbar | 2,349 | 2,350 | Vorschrift erfüllt | |
| N3 | 10.05.2016 18:00 | II-17 | beprobbar | 1,483 | 1,483 | Vorschrift erfüllt | |
| N4 | 17.05.2016 16:45 | I-40 | beprobbar | 1,483 | 1,483 | Vorschrift erfüllt | |
| N5 | 10.05.2016 14:20 | III-1 | beprobbar | 1,6 | 1,607 | Vorschrift erfüllt | |
| N6 | 10.05.2016 12:20 | II-13 | beprobbar | 1,731 | 1,731 | Vorschrift erfüllt | |
| N7 | 10.05.2016 11:00 | II-12 | beprobbar | 1,595 | 1,607 | Vorschrift erfüllt | |
| N9 | 09.05.2016 20:15 | II-10 | beprobbar | 1,978 | 1,980 | Vorschrift erfüllt | |
| N10 | 10.05.2016 17:05 | II-16 | beprobbar | 1,978 | 1,978 | Vorschrift erfüllt | |
| N11 | 12.05.2016 12:00 | II-24 | beprobbar | 0,858 | 0,862 | Vorschrift erfüllt | |
| P4 | 02.05.2016 14:45 | I-5 | beprobbar | 0,342 | 0,342 | Vorschrift erfüllt | |
| P9 | 02.05.2016 14:00 | I-4 | beprobbar | 0,494 | 0,500 | Vorschrift erfüllt | |
| P17 | 12.05.2016 10:45 | I-36 | beprobbar | 0,598 | 0,603 | Vorschrift erfüllt | |

| Bezeichnung | Probenahmedatum/ -Uhrzeit | PN-Reihenfolge | Zustand bei Probenahme Oktober 2015 | PN-Vorschrift Pumpvolumen [m³] Hydraul. Kriterium | tatsächliche Abpumpmenge [m³] | Einschätzung | Bemerkungen / Besonderheiten |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GWM1/13-F | 12.05.2016 14:10 | I-38 | beprobbar | 0,742 | 0,745 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM1/13-T | 12.05.2016 13:15 | I-37 | beprobbar | 0,742 | 0,743 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM2/13-F | 10.05.2016 15:00 | II-14 | beprobbar | 0,742 | 0,742 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM2/13-T | 10.05.2016 16:00 | II-15 | beprobbar | 0,618 | 0,618 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM3/13-F | 10.05.2016 09:10 | II-11 | beprobbar | 0,494 | 0,510 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM3/13-T | 11.05.2016 11:00 | II-20 | beprobbar | 0,618 | 0,620 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM4/13-F | 11.05.2016 13:00 | II-21 | beprobbar | 1,112 | 1,112 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM4/13-T1 | 11.05.2016 11:45 | I-33 | beprobbar | 0,742 | 0,745 | Vorschrift erfüllt | zeitgleicher Beginn mit GWM4/13-T2 |
| GWM4/13-T2 | 11.05.2016 11:45 | I-34 | beprobbar | 0,865 | 0,866 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM5/13-F | 03.05.2016 14:55 | I-10 | beprobbar | 0,865 | 0,870 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM5/13-T | 03.05.2016 14:10 | I-9 | beprobbar | 1,112 | 1,115 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM6/13-F | 26.04.2016 14:45 | I-1 | beprobbar | 1,112 | 1,112 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM6/13-T | 27.04.2016 10:30 | I-2 | beprobbar | 0,989 | 0,990 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM7/13-F | 09.05.2016 11:50 | II-4 | beprobbar | 0,618 | 0,628 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM7/13-T | 09.05.2016 10:45 | II-2 | beprobbar | 0,865 | 0,865 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM8/13-F | 09.05.2016 12:45 | II-5 | beprobbar | 0,618 | 0,618 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM8/13-T | 09.05.2016 13:40 | II-7 | beprobbar | 0,742 | 0,742 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM9/13-F | 09.05.2016 10:00 | II-1 | beprobbar | 0,618 | 0,622 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM9/13-T | 09.05.2016 15:45 | II-8 | beprobbar | 0,865 | 0,865 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM10/13-F | 09.05.2016 12:50 | II-6 | beprobbar | 0,618 | 0,618 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM10/13-T | 09.05.2016 17:50 | II-9 | beprobbar | 0,865 | 0,866 | Vorschrift erfüllt | |
| RW3/13 | 11.05.2016 14:45 | II-23 | beprobbar | 0,456 | 0,460 | Vorschrift erfüllt | |
| RW11/13 | 28.04.2016 10:10 | I-3 | beprobbar | 0,627 | 0,630 | Vorschrift erfüllt | |
| Ludwigshof | 11.05.2016 13:40 | I-35 | beprobbar | Beschaffenheits-kriterium | Parameter-konstanz | Vorschrift erfüllt | Beprobung am Hahn |

Tabelle 6-2: Ergebnisse der Grundwasserprobenahme im Oktober 2016

| Bezeichnung | Probenahmedatum/ -Uhrzeit | PN-Reihenfolge | Zustand bei Probenahme Oktober 2016 | PN-Vorschrift Pumpvolumen [m³] Hydraul. Kriterium | tatsächliche Abpumpmenge [m³] | Einschätzung | Bemerkungen / Besonderheiten |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 24.10.2016 13:45 | I-33 | beprobbar | Beschaffenheits-kriterium | Parameter-konstanz | Vorschrift erfüllt | Einbaupumpe, geschätzt 2,5 m³ |
| B32 | 21.10.2016 12:45 | I-27 | beprobbar | 0,826 | 0,826 | Vorschrift erfüllt | |
| B33 | 21.10.2016 11:20 | I-26 | beprobbar | 0,513 | 0,513 | Vorschrift erfüllt | |
| B34 | 24.10.2016 10:30 | I-30 | beprobbar | 0,513 | 0,513 | Vorschrift erfüllt | |
| Bs1 | 24.10.2016 14:45 | I-34 | beprobbar | Beschaffenheits-kriterium | Parameter-konstanz | Vorschrift erfüllt | Einbaupumpe |
| Bs2 | 18.10.2016 15:25 | I-11 | beprobbar | Beschaffenheits-kriterium | Parameter-konstanz | Vorschrift erfüllt | Einbaupumpe |
| GMS 2 | 17.10.2016 10:27 | I-1 | beprobbar | 0,865 | 0,865 | Vorschrift erfüllt | |
| GMS 3 | 19.10.2016 14:49 | II-13 | beprobbar | 1,582 | 1,582 | Vorschrift erfüllt | |
| GMS 4 | 26.10.2016 14:30 | I-37 | beprobbar | 1,229 | 1,229 | Vorschrift erfüllt | |
| GMS 5 | 20.10.2016 09:24 | II-15 | beprobbar | 1,229 | 1,229 | Vorschrift erfüllt | |
| LWMS 1129 | 18.10.2016 10:40 | I-6 | beprobbar | 0,019 | 0,019 | Vorschrift erfüllt | |
| LWMS 1131 | 18.10.2016 11:55 | I-7 | beprobbar | 0,094 | 0,094 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N1f | 20.10.2016 13:35 | I-22 | beprobbar | 0,989 | 0,989 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N1m | 20.10.2016 14:30 | I-23 | beprobbar | 0,470 | 0,470 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N1t | 20.10.2016 15:20 | I-24 | beprobbar | 0,618 | 0,618 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N2f | 19.10.2016 10:20 | I-12 | beprobbar | 0,427 | 0,427 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N2m | 19.10.2016 11:15 | I-13 | beprobbar | 0,684 | 0,684 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N2t | 19.10.2016 12:10 | I-14 | beprobbar | 0,427 | 0,427 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N3f | 19.10.2016 15:06 | III-3 | beprobbar | 0,342 | 0,342 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N3m | 19.10.2016 14:31 | III-2 | beprobbar | 0,342 | 0,342 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N3t | 19.10.2016 13:47 | III-1 | beprobbar | 0,399 | 0,399 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N4f | 18.10.2016 13:00 | I-8 | beprobbar | 0,927 | 0,927 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N4m | 18.10.2016 13:30 | I-9 | beprobbar | 0,618 | 0,618 | Vorschrift erfüllt | |
| MC N4t | 18.10.2016 14:00 | I-10 | beprobbar | 0,309 | 0,309 | Vorschrift erfüllt | |

| Bezeichnung | Probenahmedatum/ -Uhrzeit | PN-Reihenfolge | Zustand bei Probenahme Oktober 2016 | PN-Vorschrift Pumpvolumen [m³] Hydraul. Kriterium | tatsächliche Abpumpmenge [m³] | Einschätzung | Bemerkungen / Besonderheiten |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MC S1f | 19.10.2016 14:25 | I-16 | beprobbar | 0,456 | 0,456 | Vorschrift erfüllt | |
| MC S1m | 19.10.2016 15:50 | I-18 | beprobbar | 0,199 | 0,199 | Vorschrift erfüllt | |
| MC S1t | 19.10.2016 15:25 | I-17 | beprobbar | 0,313 | 0,313 | Vorschrift erfüllt | |
| MC S2f | 20.10.2016 10:20 | I-19 | beprobbar | 0,513 | 0,513 | Vorschrift erfüllt | |
| MC S2m | 20.10.2016 11:10 | I-20 | beprobbar | 0,600 | 0,627 | Vorschrift erfüllt | |
| MC S2t | 20.10.2016 12:00 | I-21 | beprobbar | 0,598 | 0,598 | Vorschrift erfüllt | |
| ML04 | 18.10.2016 09:30 | IV-1 | beprobbar | Abpumpen vor Probenahme mindestens 15 Minuten und/oder gleichzeitiger 3-minütiger Konstanz der Vor-Ort-Parameter | | Vorschrift erfüllt | |
| ML05 | 18.10.2016 10:00 | IV-2 | beprobbar | | | Vorschrift erfüllt | |
| ML06 | 18.10.2016 10:25 | IV-3 | beprobbar | | | Vorschrift erfüllt | |
| ML07-7 | 18.10.2016 11:30 | IV-4 | beprobbar | | | Vorschrift erfüllt | |
| ML07-12 | 18.10.2016 11:50 | IV-5 | beprobbar | | | Vorschrift erfüllt | |
| ML08-7 | 18.10.2016 12:30 | IV-6 | beprobbar | | | Vorschrift erfüllt | |
| ML08-12 | 18.10.2016 12:50 | IV-7 | beprobbar | | | Vorschrift erfüllt | |
| N2 | 19.10.2016 12:55 | II-12 | beprobbar | 2,225 | 2,225 | Vorschrift erfüllt | |
| N3 | 21.10.2016 13:45 | III-8 | beprobbar | 1,483 | 1,483 | Vorschrift erfüllt | |
| N4 | 21.10.2016 11:25 | III-7 | beprobbar | 1,483 | 1,483 | Vorschrift erfüllt | |
| N5 | 20.10.2016 11:45 | III-4 | beprobbar | 1,6 | 1,607 | Vorschrift erfüllt | |
| N6 | 20.10.2016 11:49 | II-16 | beprobbar | 1,731 | 1,731 | Vorschrift erfüllt | |
| N7 | 26.10.2016 11:00 | I-35 | beprobbar | 1,607 | 1,607 | Vorschrift erfüllt | |
| N9 | 18.10.2016 17:39 | II-9 | beprobbar | 1,978 | 1,978 | Vorschrift erfüllt | |
| N10 | 19.10.2016 17:58 | II-14 | beprobbar | 1,978 | 1,978 | Vorschrift erfüllt | |
| N11 | 26.10.2016 12:40 | I-36 | beprobbar | 0,858 | 0,858 | Vorschrift erfüllt | |
| P4 | 17.10.2016 12:30 | I-3 | beprobbar | 0,342 | 0,342 | Vorschrift erfüllt | |
| P9 | 17.10.2016 11:45 | I-2 | beprobbar | 0,494 | 0,494 | Vorschrift erfüllt | |
| P17 | 21.10.2016 10:00 | I-25 | beprobbar | 0,598 | 0,598 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM1/13-F | 24.10.2016 13:00 | I-32 | beprobbar | 0,742 | 0,742 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM1/13-T | 24.10.2016 12:00 | I-31 | beprobbar | 0,742 | 0,742 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM2/13-F | 20.10.2016 14:19 | III-6 | beprobbar | 0,742 | 0,742 | Vorschrift erfüllt | |

| Bezeichnung | Probenahmedatum/ -Uhrzeit | PN-Reihenfolge | Zustand bei Probenahme Oktober 2016 | PN-Vorschrift Pumpvolumen [m³] Hydraul. Kriterium | tatsächliche Abpumpmenge [m³] | Einschätzung | Bemerkungen / Besonderheiten |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GWM2/13-T | 20.10.2016 13:19 | III-5 | beprobbar | 0,618 | 0,618 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM3/13-F | 20.10.2016 13:23 | II-17 | beprobbar | 0,494 | 0,494 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM3/13-T | 20.10.2016 14:17 | II-18 | beprobbar | 0,618 | 0,618 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM4/13-F | 21.10.2016 14:20 | I-28 | beprobbar | 1,112 | 1,112 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM4/13-T1 | 21.10.2016 15:30 | III-9 | beprobbar | 0,742 | 0,742 | Vorschrift erfüllt | zeitgleiche PN mit GWM4/13-T2 |
| GWM4/13-T2 | 21.10.2016 15:30 | I-29 | beprobbar | 0,865 | 0,865 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM5/13-F | 17.10.2016 14:35 | I-5 | beprobbar | 0,865 | 0,865 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM5/13-T | 17.10.2016 13:55 | I-4 | beprobbar | 1,112 | 1,112 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM6/13-F | 17.10.2016 15:20 | II-2 | beprobbar | 1,112 | 1,112 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM6/13-T | 17.10.2016 14:04 | II-1 | beprobbar | 0,989 | 0,989 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM7/13-F | 18.10.2016 09:54 | II-4 | beprobbar | 0,618 | 0,618 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM7/13-T | 18.10.2016 08:58 | II-3 | beprobbar | 0,865 | 0,865 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM8/13-F | 19.10.2016 09:51 | II-11 | beprobbar | 0,618 | 0,618 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM8/13-T | 19.10.2016 08:55 | II-10 | beprobbar | 0,742 | 0,742 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM9/13-F | 18.10.2016 12:15 | II-6 | beprobbar | 0,618 | 0,618 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM9/13-T | 18.10.2016 11:23 | II-5 | beprobbar | 0,865 | 0,865 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM10/13-F | 18.10.2016 14:29 | II-8 | beprobbar | 0,618 | 0,618 | Vorschrift erfüllt | |
| GWM10/13-T | 18.10.2016 13:35 | II-7 | beprobbar | 0,865 | 0,865 | Vorschrift erfüllt | |
| RW3/13 | 26.10.2016 11:07 | III-10 | beprobbar | 0,456 | 0,456 | Vorschrift erfüllt | |
| RW11/13 | 26.10.2016 12:35 | III-11 | beprobbar | 0,627 | 0,627 | Vorschrift erfüllt | |
| Ludwigshof | 19.10.2016 12:30 | I-15 | beprobbar | Beschaffenheits-kriterium | Parameter-konstanz | Vorschrift erfüllt | Beprobung am Hahn |

### 6.2.2 Oberflächenwasser

Die tiefenorientierte Seebeprobung des Steinhäuserwühlsees erfolgt monatlich im Rahmen der seit 13.05.2014 laufenden Seeverbesserungsmaßnahme [U14]. Im Frühjahr fand die Seewasserbeprobung am 10.05.2016 zeitgleich zur Grundwasserprobenahme statt. Die Probenahme im Herbst erfolgte eine Woche vor dem Grundwassermonitoring (17.-26.10.2016).

Die Beprobung von Oberflächenwasser in verschiedenen Tiefen des Sees und das Abfüllen der Seewasserproben für die LHKW-Analytik wurden durch Mitarbeiter der CDM Smith Consult GmbH realisiert. Die Probenahme an den zwei Messpunkten (Messstelle Nord und Süd) erfolgte analog zu den vorangegangenen Seeuntersuchungen.

Entsprechend den Vorberichten werden im Folgenden die Analysen der vergleichbaren Tiefenbereiche ausgewertet. Die Probenahmeprotokolle sind in Anlage 2.3 eingeordnet.

## 6.3 Chemische Analytik

Alle 73 jeweils entnommenen Grundwasserproben und die Oberflächenwasserproben wurden im DAP-akkreditierten Labor Wessling auf LHKW untersucht. Entsprechend des Untersuchungs-programms wurden zur Charakterisierung des Redoxmilieus für jeweils 39 (bzw. 62) Grundwasser-Proben redoxsensitive Parameter untersucht. Diese waren entsprechend des Untersuchungsprogramms Methan, Ethan, Ethen, Ammonium, Nitrit, Nitrat, Sulfat, DOC (gelöste organische Kohlenstoffverbindungen), Eisen (Eisen $_{gesamt}$, Fe-(II) und Fe-(III)) sowie Mangan (Mangan $_{gesamt}$, Mn-(II) und Mn-(IV)).

Die Prüfberichte der Analytik sind in der Anlage 3.1 (Grundwasser) und 3.2 (Oberflächenwasser) beigefügt.

## 6.4 Einsatz von Datenloggern im UG

Durch den Einsatz von Mobilfunk-Datenloggern ergibt sich eine flächige Abdeckung des Fahnenbereiches, so dass eine Bestimmung der aktuellen hydrodynamischen Verhältnisse inkl. See jederzeit möglich ist (vgl. Anl. 1.2). Die Datenlogger mit der Funktion zur Messung des Grundwasserstandes, der Leitfähigkeit und der Temperatur, sowie der Datenfernübertragung (DFÜ), wurden im April 2015 in 12 GWM eingebaut. Seit dem 29.04.2015 erfolgt die Datenaufzeichnung mit einem Messintervall von 1 Stunde und einer Datenübertragung von 24h. Die Messdaten können über die Internet-Plattform SENSOweb jederzeit online eingesehen werden.

In den folgenden Messstellen befindet sich ein Datenlogger mit DFÜ:

- GWM 8/13F (Fahnenanfang)
- N7 (Bilanzebene 1)
- GMS 4 (Bilanzebene 2)
- GWM 4/13F (Bilanzebene 2)
- MC-N1f (Bilanzebene 3)
- MC-S1f (Bilanzebene 3)
- MC-N2f (Nahbereich Rhein)
- LWMS 1132 (Nahbereich Rhein)
- GMS 2 (Ufer Steinhäuserwühlsee)
- GWM 6/13F (Ufer Steinhäuserwühlsee)
- RW 8/13 (Ufer Steinhäuserwühlsee)
- Seemessstelle 1 (Steinhäuserwühlsee)

Weitere 5 manuelle Datenlogger befinden sich im Einsatz (manuelle Auslesung), davon 3 kleinräumig im Pilotfeld Tullastraße und weitere zwei Logger im Seeuferbereich sowie im See selbst.

Der Logger im Seeuferbereich (RW 11/13) zeichnet seit dem 11.04.2014 Grundwasserstände auf, der manuelle Datenlogger im See (Seemessstelle 2) seit dem 25.09.2015.

Auf dem Testfeld der Pilotsanierung zur Direktgasinjektion (Sanierungszone 2) wurden am 12.05.2016 drei Datenlogger zur Grundwasserstandsmessung installiert, zzgl. einem barometrischen Logger für die Luftdruckkompensation der Daten. Diese zeichnen seither stündlich den Grundwasserstand und die Temperatur im Anstrom zum Testfeld (GWM R0 01/16F), in der 1. Kontrollreihe (GWM R1 01/16F) und der 4. Kontrollreihe (GWM R4 01/16F) der Sanierungszone auf.

In den folgenden Messstellen befindet sich ein Datenlogger ohne DFÜ:

- GWM R0 01/16F (Testfeld SZ2)
- GWM R1 01/16F (Testfeld SZ2)
- GWM R4 01/16F (Testfeld SZ2)
- RW 11/13 (Ufer Steinhäuserwühlsee)
- Seemessstelle 2 (Steinhäuserwühlsee)

# 7 ERGEBNISSE

## 7.1 Wasserstände / Hydrodynamische Situation

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Stichtagsmessungen der Grundwassermonitoring-kampagnen vom 29.04.2016 und 14.10.2016 dargestellt und ausgewertet.

Die Grundwasserstände des Oberen Grundwasserleiters (OGWL) lagen im April 2016 bei 94,44 m NHN (P17) im Westen bis 92,12 m NHN (MC N2) südlich des Wammsees im Nordosten des Untersuchungsgebietes. Im östlichen UG schwenkt die normalerweise nach Osten gerichtete Grundwasserströmung nach Nordosten ab. Dies deutet auf eine Hochwasserbeeinflussung durch den Rhein hin. Die hohen Grundwasserstände in LWMS 1132 von 92,73 m NHN im Nahbereich des Rheins stützen diese Einschätzung zusätzlich.

Der Grundwassergleichenplan für April 2016 (Anlage 1.3.1) zeigt deutlich den Einfluss der Hochwassersituation im Rhein (Rheinwasserstand 92,81 m NHN bei km 401,5). Die dokumentierte temporäre Strömungssituation spiegelt nicht die mittleren Fließverhältnisse wider. Allerdings ist bei Rheinhochwasser mit einer zeitlich begrenzten Beeinflussung der Stoffverteilung im Grundwasser vom Rhein bis zu der temporären Wasserscheide zu rechnen.

Für das westliche UG kann bis zur temporären Wasserscheide ein mittleres hydraulisches Gefälle (i) von 0,0015 abgeleitet werden. Der hydraulische Gradient im Osten des UG ist mit ca. 0,0008 deutlich flacher nach Norden gerichtet.

Im Oktober 2016 vergrößerte sich der Schwankungsbereich der STM-Grundwasserstände gegenüber April 2016 auf 94,58 m NHN (P17) im äußersten Westen des UG bis 90,80 m NHN (LWMS 1132) in Rheinnähe (Rheinwasserstand 90,52 m NHN). Das Grundwasser fließt entsprechend mittlerer Verhältnisse in östliche Richtung, da die geringen Wasserstände im Rhein eine starke Vorflutwirkung erzeugen.

Während im Frühjahr 2016 zum Tag der STM influente Abflussverhältnisse am Rhein herrschten, waren die Verhältnisse bei der Herbstmessung wieder effluent, also vom Grundwasserleiter in den Rhein gerichtet.

Im Anstrombereich des Steinhäuserwühlsees in SZ 3 bildet sich durch die seit Mai 2016 aktive Pumpmaßnahme ein deutlich ausgeprägter Absenktrichter mit einer Nordwest-Südost-Ausdehnung (KRW 00/16 bis ML 08) von ca. 500 m im Umfeld der Förderbrunnen aus (vgl. Anlage 1.3.3). Die Wasserstände liegen hier im Mittel um 0,2 bis 0,3 m niedriger, als es bei ungestörten Verhältnissen zu erwarten wäre.

Der mittlere Gradient für das westliche UG beträgt 0,0018. Im Anstrom zum Rhein ergibt sich ein etwas flacherer hydraulischer Gradient mit 0,0015. Die höchsten hydraulischen Gradienten werden im Nahbereich der Pumpbrunnen mit 0,0035 durch die aktive Pumpmaßnahme erzeugt.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Stichtagsmessungen in 2016 zusammengefasst. Die konstruierten Grundwassergleichenpläne sind in Anlage 1.3.1 (STM 29.04.2016) und Anlage 1.3.2 (STM 14.10.2016) dargestellt.

Tabelle 7-1: Ergebnisse der Stichtagsmessungen 2016

| Messstelle | POK | STM 29.04.2016 | | STM 14.10.2016 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Wasserstand | Grundwasserhöhe | Wasserstand | Grundwasserhöhe |
| | [m NHN] | [m u POK] | [m NHN] | [m u POK] | [m NHN] |
| B32 | 100,47 | 6,27 | 94,20 | 6,18 | 94,29 |
| B33 | 100,25 | 6,01 | 94,24 | 5,89 | 94,36 |
| B34 | 100,28 | 6,15 | 94,13 | 6,04 | 94,24 |
| GMS 2 | 95,08 | 2,33 | 92,75 | 2,33 | 92,75 |
| GMS 3 | 95,70 | 3,01 | 92,69 | 3,25 | 92,45 |
| GMS 4 | 96,59 | 3,74 | 92,85 | 3,95 | 92,64 |
| GMS 5 | 96,77 | 4,00 | 92,77 | 4,22 | 92,55 |
| LWMS 1129 | 102,12 | 8,42 | 93,70 | 8,37 | 93,75 |
| LWMS 1131 | 95,52 | 2,87 | 92,65 | 3,62 | 91,90 |
| LWMS 1132 | 96,30 | 3,57 | 92,73 | 5,50 | 90,80 |
| MC N1f | 96,16 | 3,76 | 92,40 | 3,95 | 92,21 |
| MC N1m | 96,06 | 3,66 | 92,40 | 3,85 | 92,21 |
| MC N1t | 96,17 | 3,76 | 92,41 | 3,97 | 92,20 |
| MC N2f | 95,57 | 3,45 | 92,12 | 4,13 | 91,44 |
| MC N2m | 95,62 | 3,23 | 92,39 | 4,25 | 91,37 |
| MC N2t | 95,38 | 3,39 | 91,99 | 4,04 | 91,34 |
| MC N3f | 96,14 | 3,89 | 92,25 | 3,85 | 92,29 |
| MC N3m | 96,11 | 3,86 | 92,25 | 3,81 | 92,30 |
| MC N3t | 96,09 | 3,84 | 92,25 | 3,80 | 92,29 |
| MC N4f | 95,42 | 3,21 | 92,21 | 3,04 | 92,38 |
| MC N4m | 95,54 | 3,33 | 92,21 | 3,16 | 92,38 |
| MC N4t | 95,48 | 3,28 | 92,20 | 3,11 | 92,37 |
| MC S1f | 96,39 | 3,81 | 92,58 | 4,24 | 92,15 |
| MC S1m | 96,43 | 3,85 | 92,58 | 4,28 | 92,15 |
| MC S1t | 96,41 | 3,82 | 92,59 | 4,25 | 92,16 |
| MC S2f | 95,19 | 2,75 | 92,44 | 3,95 | 91,24 |
| MC S2m | 95,26 | 2,82 | 92,44 | 4,02 | 91,24 |
| MC S2t | 95,37 | 2,94 | 92,43 | 4,16 | 91,21 |
| ML04 | 100,43 | 6,29 | 94,14 | 6,20 | 94,23 |
| ML05 | 100,17 | 6,10 | 94,07 | 6,17 | 94,00 |
| ML06 | 100,59 | 1,84 | 98,75[1] | 0,99 | 99,60[1] |
| ML07 | 93,30 | 0,58 | 92,72 | 0,86 | 92,44 |
| ML08 | 93,86 | 1,46 | 92,40 | 1,62 | 92,24 |
| N2 | 95,81 | 2,66 | 93,15 | 2,81 | 93,00 |
| N3 | 94,59 | 1,27 | 93,32 | 1,38 | 93,21 |
| N4 | 94,65 | 1,46 | 93,19 | 1,58 | 93,07 |
| N5 | 96,07 | 2,55 | 93,52 | 2,55 | 93,52 |
| N6 | 96,02 | 2,50 | 93,52 | 2,51 | 93,51 |
| N7 | 96,27 | 2,75 | 93,52 | 2,77 | 93,50 |

| Messstelle | POK [m NHN] | STM 29.04.2016 Wasserstand [m u POK] | STM 29.04.2016 Grundwasserhöhe [m NHN] | STM 14.10.2016 Wasserstand [m u POK] | STM 14.10.2016 Grundwasserhöhe [m NHN] |
|---|---|---|---|---|---|
| N9 | 100,49 | 6,51 | 93,98 | 6,39 | 94,10 |
| N10 | 100,58 | 6,59 | 93,99 | 6,49 | 94,09 |
| N11 | 100,49 | 6,72 | 93,77 | 6,64 | 93,85 |
| P4 | 94,57 | 2,38 | 92,19 | 2,28 | 92,29 |
| P9 | 95,70 | 3,60 | 92,10[1] | 4,20 | 91,50[1] |
| P17 | 102,18 | 7,74 | 94,44 | 7,60 | 94,58 |
| Bs1 | 95,32 | 2,96 | 92,36 | 3,05 | 92,27 |
| Bs2 | 94,08 | 2,77 | 91,31[1] | 2,61 | 91,47[1] |
| GWM 1/13F | 100,51 | 6,59 | 93,92 | 6,52 | 93,99 |
| GWM 1/13T | 100,49 | 6,57 | 93,92 | 6,51 | 93,98 |
| GWM 2/13F | 97,16 | 3,66 | 93,50 | 3,70 | 93,46 |
| GWM 2/13T | 97,06 | 3,56 | 93,50 | 3,60 | 93,46 |
| GWM 3/13F | 95,47 | 2,25 | 93,22 | 2,43 | 93,04 |
| GWM 3/13T | 95,46 | 2,25 | 93,21 | 2,43 | 93,03 |
| GWM 4/13F | 95,48 | 2,49 | 92,99 | 2,73 | 92,75 |
| GWM 4/13T | 95,44 | 2,47 | 92,97 | 2,73 | 92,71 |
| GWM 5/13F | 95,97 | 2,90 | 93,07 | 3,01 | 92,96 |
| GWM 5/13T | 95,93 | 2,87 | 93,06 | 2,97 | 92,96 |
| GWM 6/13F | 94,97 | 2,53 | 92,44 | 2,92 | 92,05 |
| GWM 6/13T | 94,96 | 2,51 | 92,45 | 2,92 | 92,04 |
| GWM 7/13F | 101,00 | 6,68 | 94,32 | 6,57 | 94,43 |
| GWM 7/13T | 100,85 | 6,54 | 94,31 | 6,42 | 94,43 |
| GWM 8/13F | 100,76 | 6,54 | 94,22 | 6,45 | 94,31 |
| GWM 8/13T | 101,02 | 6,80 | 94,22 | 6,71 | 94,31 |
| GWM 9/13F | 101,11 | 6,88 | 94,23 | 6,74 | 94,37 |
| GWM 9/13T | 101,05 | 6,83 | 94,22 | 6,74 | 94,31 |
| GWM 10/13F | 101,18 | 6,98 | 94,20 | 6,89 | 94,29 |
| GWM 10/13T | 101,19 | 6,89 | 94,30 | 6,90 | 94,29 |
| RW 3/13 | 94,48 | - | - | 2,31 | 92,17 |
| RW 11/13 | 93,77 | 1,47 | 92,30 | 1,59 | 92,18 |
| RW 12/16 | 93,91 | 1,58 | 92,33 | 1,78 | 92,13 |
| RW 13/16 | 94,18 | 1,81 | 92,37 | 2,11 | 92,07 |
| RW 15/16 | 94,52 | 2,14 | 92,38 | 2,26 | 92,26 |
| RW 16/16 F | 94,72 | 2,44 | 92,28 | - | - |
| RW 17/16 | 94,27 | 1,87 | 92,40 | 1,90 | 92,37 |
| GWM-R1-01/16 F | 97,35 | 4,51 | 92,84 | 4,71 | 92,64 |

[1]) Wert unplausibel, nicht für GW-Gleichenplan verwandt

Die Messstelle ML06 zeigt seit Jahren unplausible Werte beim Grundwasserstand und ist daher nicht als vollständig funktionstüchtig zu betrachten. Da die Messstelle im Kernbereich der

südlichen LHKW-Fahne liegt und im Projekt wichtige Daten liefert, wird sie im Jahr 2017 durch eine neu zu errichtende Güte-Messstelle ersetzt.

Für Anfang 2017 ist der Bau von insgesamt sechs Zweiter- und drei Dreier-Messstellengruppen geplant, um das bisherige GWM-Messnetz zu optimieren.

Bei der Messstelle Bs2 handelt es sich um einen bepumpten Brunnen, daher sind die ermittelten Grundwasserstände im Vergleich unplausibel.

Die Messstelle P9 östlich des Wammsees ist unterhalb des oGWL verfiltert und spiegelt damit nicht direkt die Verhältnisse in diesem GWL wider. Die Ergebnisse für diese GWM werden nachfolgend in Klammern gesetzt nicht bewertet. Die in unmittelbarer Nachbarschaft liegende GWM P4 reicht für die Charakterisierung dieses Bereiches aus.

Die Entwicklung der Grundwasserstände seit 2009 ist in der folgenden Abbildung graphisch dargestellt. Die Grundwasserstände schwanken zwischen 90,80 m NHN und 94,83 m NHN und haben aktuell einen niedrigen Stand im Verhältnis zum Betrachtungszeitraum. Die Grundwasserstände von Oktober 2016 sind im Mittel 0,17 m niedriger als im Frühjahr 2016.

(Anmerkung: Alle aktuellen Untersuchungsergebnisse zur Grundwasserdynamik und -beschaffenheit werden in die GeODin-Datenbank eingegeben und im Projekt-GIS dargestellt.)

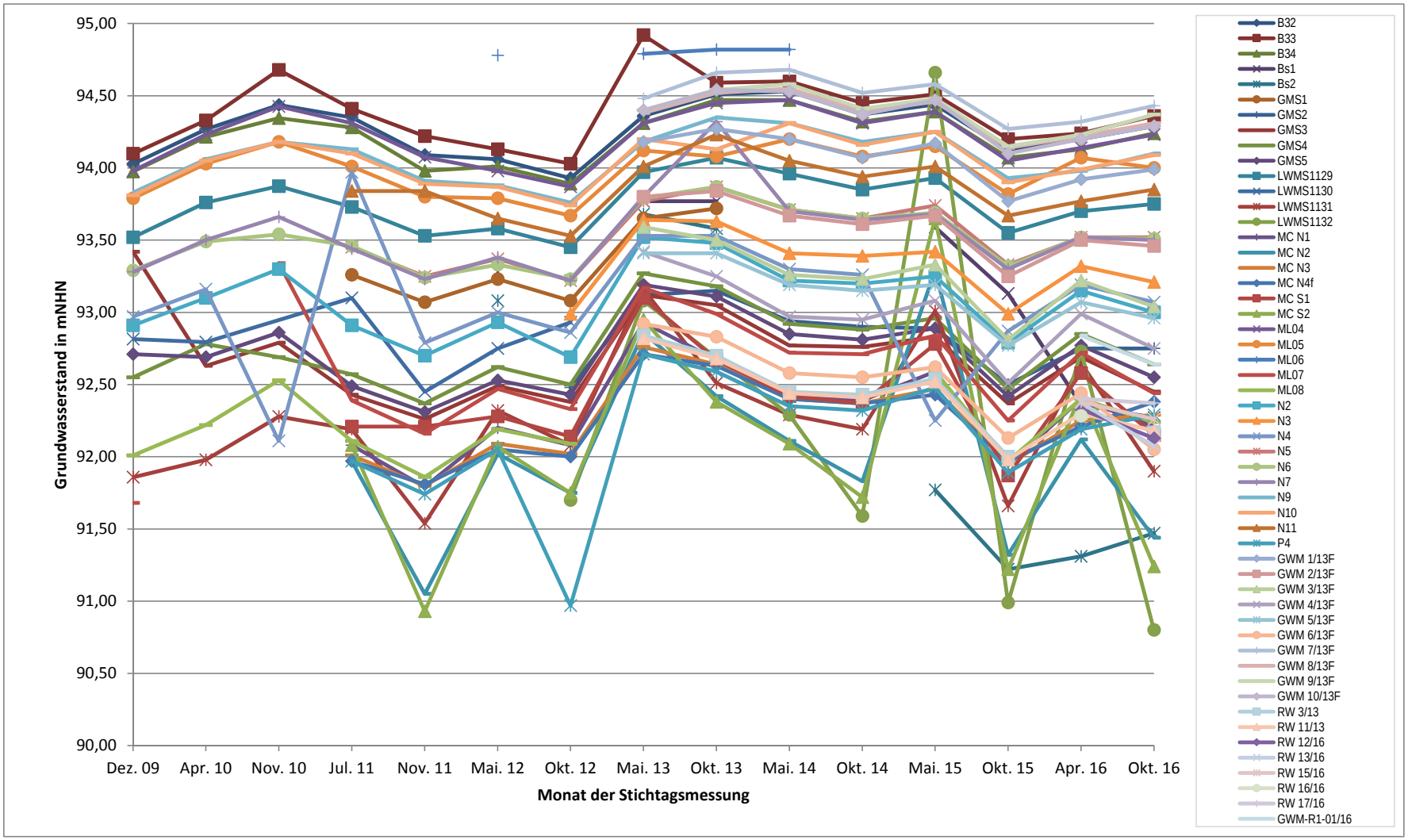



Abbildung 7-1: Entwicklung des Grundwasserstandes seit 2009

(Messstellengruppen nur einmal erfasst.)

Zur Zeit der Stichtagsmessung im April 2016 wies der östlich des UG gelegene Vorfluter Rhein (km 401,5) einen Wasserstand von 92,81m NHN (29.04.2016) und im Herbst von 90,52 m NHN (14.10.2016) auf. Wie bereits oben geschildert, beeinflussen die Wasserstände des Rheins die Grundwasserstände im östlichen UG. Der überwachte Rhein-Pegel in Speyer liegt südöstlich des UG bei km 400,6. Die Pegelstände seit November 2014 sind in Abbildung 7-2 dargestellt.

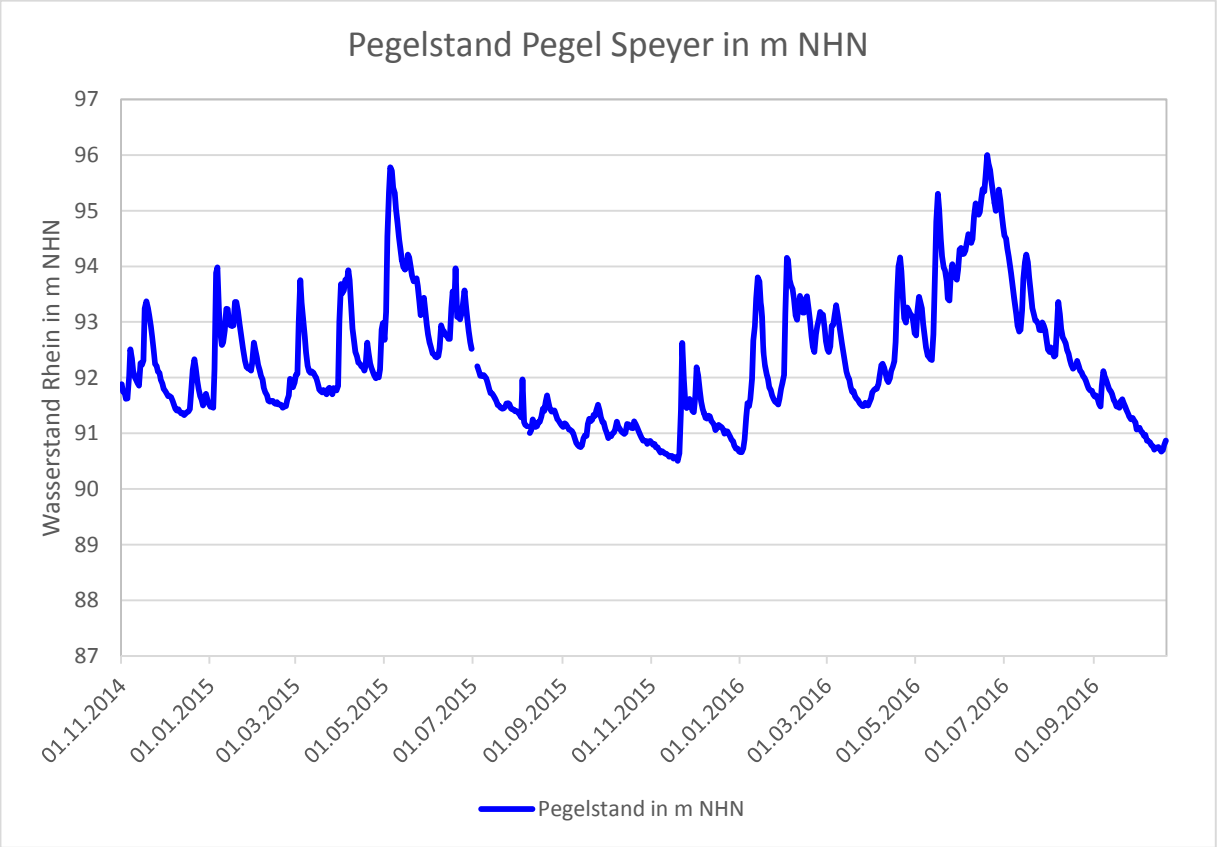



Abbildung 7-2: Wasserstände des Rheins am Pegel Speyer [U34]

Im Rahmen der TIBEAN-Maßnahme zur Sanierung des Steinhäuserwühlsees wurde sowohl der Seewasserstand als auch der Grundwasserstand in Seenähe mittels Datenloggern ermittelt. Die folgende Abbildung zeigt den Gang von Seewasser und Grundwasser (RW 11/13) von April 2014 bis Oktober 2016.

Die Ganglinien von See- und Grundwasser zeigen einen äquivalenten Verlauf, somit kann von einer guten hydraulischen Verbindung zwischen OGWL und Steinhäuserwühlsee ausgegangen werden. Die lokalen Niederschläge führen nur zu geringen Grundwasserstandserhöhungen.

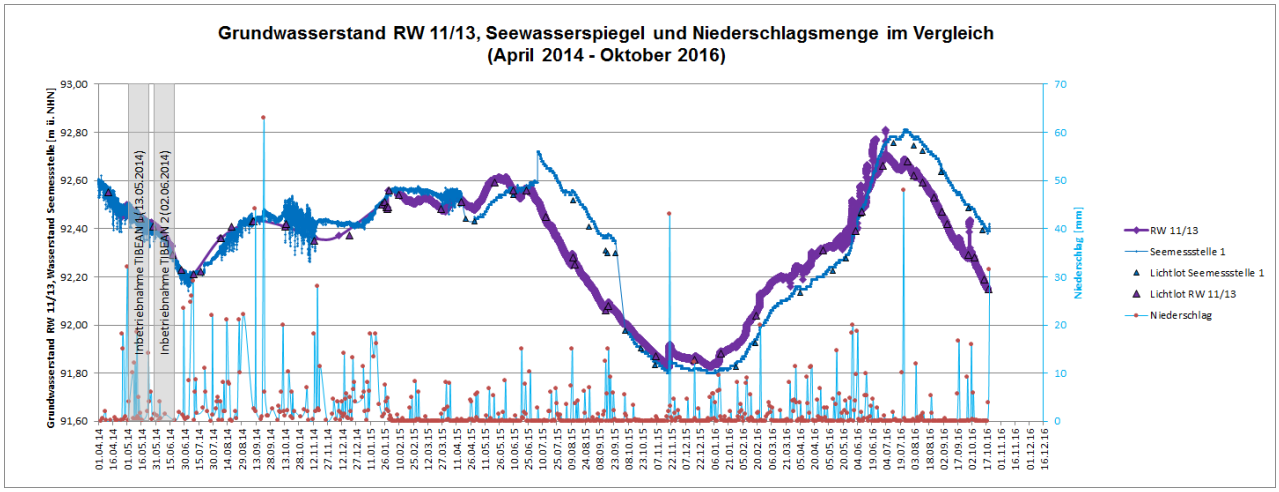



Abbildung 7-3: Entwicklung See- und Grundwasserstand für April 2014 - Okt. 2016

(Anmerkung: Die Messwerte der Seemessstelle sind von Juli bis September 2015 nur eingeschränkt nutzbar aufgrund einer wahrscheinlich gerätebedingten Messanomalie Anfang Juli (Sprung in der Ganglinie). Daher erfolgten ein Ausbau und die Prüfung der Datenloggereinheit. Der Wiedereinbau erfolgte am 05.10.2015. Der Logger zeichnet seit diesem Zeitpunkt wieder korrekte Wasserstände auf. Zur Gewährleistung der kontinuierlichen Datenaufzeichnung wurde seit dem 25.09.2015 eine zweite Messstelle mit Logger im See (unmittelbar neben der bisherigen Logger-Seemessstelle) errichtet.)

## 7.2 Grundwasserbeschaffenheit

### 7.2.1 Vor-Ort-Parameter

Die zum Zeitpunkt der Probenahme ermittelten Vor-Ort-Parameter sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst (Ergebnisse für Mai 2016 – blau, Ergebnisse für Oktober 2016 – schwarz).

Tabelle 7-2: Vor-Ort-Parameter im Grundwasser Mai / Okt. 2016

| Meßstelle | O2-Gehalt [mg/l] | | Elektr. Leitfähigk. (25°C) [µS/cm] | | pH-Wert | | Redoxpotential korrigiert [mV] | | Wasser-temperatur [°C] | | rH-Wert | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 1,00 | 0,70 | 863 | 833 | 7,15 | 7,11 | 154 | 215 | 13,50 | 13,6 | 19,7 | 21,8 |
| B32 | 0,30 | 0,35 | 817 | 801 | 7,18 | 7,06 | 194 | 257 | 13,80 | 13,8 | 21,2 | 23,1 |
| B33 | 0,20 | 0,07 | 1685 | 681 | 7,22 | 7,06 | 124 | 180 | 13,60 | 13,6 | 18,8 | 20,4 |
| B34 | 0,70 | 0,60 | 855 | 762 | 7,14 | 7,04 | 194 | 285 | 13,20 | 13,3 | 21,1 | 24,1 |
| Bs1 | 1,00 | 0,90 | 918 | 857 | 7,23 | 7,15 | 144 | 204 | 14,40 | 14,0 | 19,5 | 21,5 |
| Bs2 | 0,50 | 0,07 | 951 | 856 | 6,90 | 6,93 | 344 | 295 | 14,60 | 13,6 | 25,9 | 24,2 |
| GMS 2 | 0,25 | 0,00 | 743 | 746 | 7,43 | 7,04 | 206 | 175 | 11,80 | 12,7 | 22,2 | 20,3 |
| GMS 3 | 0,25 | 0,21 | 1047 | 1077 | 7,30 | 6,84 | 127 | 172 | 11,80 | 13,4 | 19,1 | 19,7 |
| GMS 4 | 0,03 | 3,40 | 1170 | 1190 | 6,90 | 6,67 | 172 | 274 | 13,00 | 15,3 | 19,9 | 22,9 |
| GMS 5 | 0,28 | 0,10 | 1218 | 1122 | 7,27 | 7,26 | 168 | 130 | 12,80 | 13,6 | 20,5 | 19,1 |
| LWMS 1129 | 1,70 | 0,30 | 784 | 672 | 7,04 | 6,94 | 409 | 435 | 13,90 | 13,2 | 28,5 | 29,2 |
| LWMS1131 | 0,30 | 0,00 | 950 | 904 | 6,92 | 6,87 | 129 | 183 | 14,80 | 15,4 | 18,4 | 20,2 |
| MC N1f | 0,05 | 0,00 | 901 | 881 | 7,07 | 6,92 | 107 | 180 | 12,40 | 12,7 | 17,9 | 20,2 |
| MC N1m | 0,10 | 0,02 | 760 | 893 | 7,19 | 6,95 | 102 | 181 | 12,50 | 11,9 | 18,0 | 20,3 |
| MC N1t | 0,10 | 0,00 | 689 | 660 | 7,29 | 7,13 | 97 | 156 | 12,20 | 11,8 | 18,0 | 19,8 |
| MC N2f | 0,10 | 0,00 | 741 | 750 | 7,12 | 7,05 | 132 | 153 | 12,70 | 12,6 | 18,9 | 19,5 |
| MC N2m | 0,10 | 0,02 | 757 | 738 | 7,12 | 7,11 | 117 | 131 | 12,80 | 12,1 | 18,4 | 18,8 |
| MC N2t | 0,10 | 0,00 | 786 | 739 | 7,12 | 7,11 | 117 | 126 | 12,50 | 12,0 | 18,4 | 18,7 |
| MC N3f | 0,20 | 0,70 | 1011 | 1001 | 6,97 | 5,75 | 137 | 165 | 12,00 | 13,1 | 18,8 | 17,3 |
| MC N3m | 0,10 | 0,80 | 847 | 786 | 7,12 | 6,00 | 122 | 146 | 12,60 | 12,3 | 18,5 | 17,1 |
| MC N3t | 0,10 | 0,70 | 678 | 705 | 7,28 | 6,60 | 112 | 136 | 12,60 | 12,4 | 18,5 | 18,0 |
| MC N4f | 0,10 | 0,00 | 589 | 575 | 7,43 | 7,40 | 72 | 131 | 12,10 | 12,4 | 17,4 | 19,4 |
| MC N4m | 0,10 | 0,00 | 660 | 640 | 7,43 | 7,37 | 72 | 126 | 12,30 | 12,2 | 17,4 | 19,2 |
| MC N4t | 0,20 | 0,00 | 696 | 657 | 7,47 | 7,45 | 72 | 136 | 12,10 | 12,1 | 17,5 | 19,7 |
| MC S1f | 0,20 | 0,01 | 1019 | 985 | 6,94 | 6,87 | 109 | 169 | 14,00 | 14,4 | 17,7 | 19,7 |
| MC S1m | 0,15 | 0,00 | 948 | 921 | 7,03 | 6,94 | 114 | 160 | 13,80 | 13,6 | 18,1 | 19,5 |
| MC S1t | 0,05 | 0,02 | 888 | 895 | 7,07 | 6,98 | 114 | 155 | 13,60 | 13,5 | 18,2 | 19,4 |
| MC S2f | 0,05 | 0,03 | 929 | 918 | 7,10 | 7,06 | 102 | 156 | 11,90 | 11,9 | 17,8 | 19,6 |
| MC S2m | 0,00 | 0,02 | 918 | 858 | 7,09 | 7,06 | 102 | 161 | 12,10 | 11,5 | 17,8 | 19,8 |
| MC S2t | 0,03 | 0,01 | 817 | 870 | 7,09 | 7,04 | 102 | 136 | 12,30 | 11,7 | 17,8 | 18,9 |
| ML04 | 0,66 | 0,98 | 976 | 980 | 6,92 | 6,93 | 322 | 280 | 12,1 | 15,3 | 25,2 | 23,7 |
| ML05 | 0,40 | 0,72 | 1057 | 1077 | 7,01 | 6,94 | 323 | 306 | 12,3 | 15,0 | 25,4 | 24,6 |
| ML06 | 0,46 | 0,92 | 947 | 972 | 7,05 | 7,00 | 150 | 124 | 12,1 | 14,8 | 19,4 | 18,3 |
| ML07-7 | 0,30 | 0,56 | 1020 | 1045 | 6,91 | 6,88 | 116 | 77 | 10,7 | 14,0 | 17,9 | 16,5 |

| Meßstelle | O2-Gehalt [mg/l] | | Elektr. Leitfähigk. (25°C) [µS/cm] | | pH-Wert | | Redoxpotential korrigiert [mV] | | Wasser-temperatur [°C] | | rH-Wert | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ML07-12 | 0,06 | 0,45 | 1059 | 1009 | 6,99 | 6,88 | 77 | 6 | 10,8 | 14,3 | 16,7 | 14,0 |
| ML08-7 | 0,26 | 0,21 | 1018 | 1035 | 7,04 | 7,38 | 101 | 14 | 10,9 | 14,1 | 17,7 | 15,2 |
| ML08-12 | 0,01 | 0,18 | 691 | 607 | 7,21 | 7,52 | 87 | 64 | 10,6 | 14,2 | 17,5 | 17,3 |
| N2 | 0,31 | 0,10 | 1208 | 999 | 7,25 | 6,82 | 251 | 309 | 12,4 | 13,5 | 23,4 | 24,5 |
| N3 | 0,18 | 0,00 | 942 | 809 | 7,28 | 7,90 | 190 | 315 | 13,1 | 13,7 | 21,3 | 26,9 |
| N4 | 0,00 | 0,00 | 1090 | 1012 | 6,90 | 7,45 | 156 | 334 | 12,6 | 14,0 | 19,3 | 26,7 |
| N5 | 0,40 | 0,00 | 1053 | 970 | 7,40 | 6,75 | 162 | 164 | 13,6 | 14,0 | 20,5 | 19,3 |
| N6 | 0,22 | 0,10 | 1007 | 948 | 7,40 | 8,85 | 174 | 119 | 14,1 | 14,7 | 20,9 | 21,9 |
| N7 | 0,23 | 0,00 | 950 | 827 | 7,38 | 7,05 | 172 | 186 | 13,4 | 14,1 | 20,8 | 20,6 |
| N9 | 0,48 | 0,40 | 890 | 918 | 7,38 | 6,90 | 170 | 179 | 13,1 | 13,4 | 20,8 | 20,1 |
| N10 | 0,55 | 0,60 | 790 | 799 | 7,48 | 7,11 | 180 | 161 | 13,4 | 13,8 | 21,3 | 19,9 |
| N11 | 0,30 | 0,00 | 975 | 893 | 6,89 | 6,87 | 264 | 285 | 13,0 | 12,9 | 23,1 | 23,8 |
| P4 | 0,05 | 0,00 | 572 | 542 | 7,47 | 7,38 | 104 | 204 | 13,9 | 14,6 | 18,6 | 21,9 |
| P9* | 0,05 | 0,00 | 428 | 454 | 7,25 | 7,21 | 92 | 178 | 12,5 | 12,3 | 17,8 | 20,7 |
| P17 | 0,90 | 1,00 | 1456 | 1340 | 6,83 | 6,74 | 184 | 249 | 15,4 | 14,9 | 20,1 | 22,2 |
| GWM1/13-F | 0,50 | 1,30 | 800 | 781 | 7,02 | 6,85 | 144 | 215 | 13,0 | 12,9 | 19,1 | 21,3 |
| GWM1/13-T | 0,00 | 0,00 | 750 | 680 | 7,23 | 7,26 | 99 | 170 | 13,3 | 12,9 | 17,9 | 20,5 |
| GWM2/13-F | 0,29 | 0,00 | 1201 | 1028 | 7,22 | 6,30 | 199 | 205 | 13,8 | 13,4 | 21,4 | 19,8 |
| GWM2/13-T | 0,29 | 0,00 | 801 | 821 | 7,44 | 6,50 | 156 | 165 | 13,6 | 13,1 | 20,4 | 18,8 |
| GWM3/13-F | 0,31 | 0,10 | 918 | 946 | 7,46 | 8,09 | 165 | 124 | 14,4 | 15,7 | 20,7 | 20,5 |
| GWM3/13-T | 0,28 | 0,10 | 816 | 912 | 7,26 | 8,37 | 122 | 97 | 14,6 | 14,9 | 18,8 | 20,1 |
| GWM4/13-F | 0,30 | 0,00 | 1170 | 1105 | 7,34 | 6,90 | 84 | 179 | 14,3 | 17,4 | 17,6 | 20,0 |
| GWM4/13-T1 | 0,00 | 0,30 | 731 | 756 | 7,25 | 7,15 | 104 | 234 | 15,0 | 14,5 | 18,1 | 22,5 |
| GWM4/13-T2 | 0,20 | 0,00 | 752 | 756 | 7,60 | 6,75 | 144 | 169 | 15,0 | 14,3 | 20,2 | 19,4 |
| GWM5/13-F | 0,20 | 0,00 | 1065 | 1110 | 6,94 | 6,85 | 154 | 212 | 13,7 | 14,9 | 19,3 | 21,1 |
| GWM5/13-T | 0,15 | 0,00 | 898 | 880 | 7,12 | 7,06 | 134 | 203 | 13,8 | 13,6 | 19,0 | 21,3 |
| GWM6/13-F | 0,10 | 0,10 | 1185 | 1158 | 6,80 | 6,73 | 87 | 101 | 12,6 | 13,6 | 16,7 | 17,0 |
| GWM6/13-T | 0,10 | 0,10 | 630 | 758 | 7,22 | 7,12 | 57 | 96 | 12,3 | 12,5 | 16,5 | 17,6 |
| GWM7/13-F | 0,35 | 0,20 | 883 | 946 | 7,43 | 6,85 | 169 | 116 | 13,9 | 14,3 | 20,8 | 17,8 |
| GWM7/13-T | 0,30 | 0,10 | 881 | 905 | 7,56 | 7,00 | 164 | 98 | 14,2 | 14,4 | 20,9 | 17,4 |
| GWM8/13-F | 0,35 | 0,20 | 840 | 825 | 7,47 | 7,06 | 192 | 176 | 14,0 | 14,4 | 21,7 | 20,3 |
| GWM8/13-T | 0,19 | 0,10 | 814 | 810 | 7,60 | 7,08 | 128 | 115 | 14,6 | 14,8 | 19,7 | 18,2 |
| GWM9/13-F | 0,29 | 0,10 | 860 | 857 | 7,40 | 6,74 | 176 | 90 | 14,8 | 15,1 | 21,0 | 16,6 |
| GWM9/13-T | 0,30 | 0,07 | 900 | 898 | 7,51 | 6,93 | 172 | 136 | 15,1 | 15,3 | 21,0 | 18,6 |
| GWM10/13-F | 0,35 | 0,10 | 819 | 787 | 7,41 | 6,92 | 178 | 156 | 14,3 | 14,4 | 21,1 | 19,3 |
| GWM10/13-T | 0,32 | 0,10 | 850 | 842 | 7,57 | 7,02 | 153 | 120 | 14,4 | 14,7 | 20,5 | 18,2 |
| RW3/13 | 0,10 | 0,90 | 987 | 621 | 7,00 | 7,50 | 137 | 113 | 12,6 | 16,2 | 18,8 | 18,9 |
| RW11/13 | 0,15 | 0,50 | 10 | 618 | 6,99 | 7,50 | 102 | 111 | 12,1 | 18,2 | 17,6 | 18,9 |
| Ludwigshof | 1,70 | 2,80 | 472 | 561 | 7,24 | 7,37 | 219 | 337 | 13,1 | 17,0 | 22,2 | 26,5 |

Anmerkung: Mai 2015 blau gekennzeichnet, P9* ist unterhalb des oGWL verfiltert, daher aus der weiteren Betrachtung ausgeklammert

Im Mai 2016 wurden Grundwassertemperaturen im OGWL zwischen 10,6°C (ML08-12) und 15,4°C (P17) ermittelt. Die gemessene Grundwassertemperatur im Oktober 2016 schwankt

zwischen 11,5°C (MC S2m) und 18,2°C (RW 11/13). Die mittlere Temperatur des Grundwassers war im Mai 2016 mit 13,15 C niedriger als im Oktober 2016 mit 13,83°C.

Für den Parameter elektrische Leitfähigkeit wurden im Mai 2016 Werte zwischen 572 (P4) und 1.685 µS/cm (B33) festgestellt. Der Mittelwert aller Messungen betrug 900 µS/cm.

Für die Herbstmessung wurden Werte zwischen 542 (P4) und 1.340 µS/cm (P17) ermittelt. Die Werte für die elektrische Leitfähigkeit sind im Mittel recht ausgeglichen (Herbst 857 µS/cm). Die höchsten Leitfähigkeiten weist das Grundwasser im mittleren Untersuchungsgebiet auf.

Die pH-Werte im OGWL befanden sich im Mai 2016 zwischen 6,8 (GWM 6/13F) und 7,60 (GWM 4/13Tu, GWM 8/13T). Der mittlere pH-Wert der Mai-Messung liegt bei 7,20 und damit im neutralen Bereich.

In der Herbstkampagne 2065 lagen die pH-Werte zwischen 5,75 (MC N3f) und 8,85 (N6). Im Mittel sind die pH-Werte im Oktober 2016 bei 7,06 im neutralen Bereich. Die pH-Werte zeigen im Oktober 2016 ein deutlich heterogeneres Bild als in den Jahren 2014/2015.

Im Untersuchungsgebiet wurden im Mai 2016 Sauerstoffgehalte zwischen 0,00 mg/l (4 Proben) und 1,70 mg/l (LWMS 1129) gemessen. Die Sauerstoffgehalte im Herbst 2016 befinden sich zwischen 0,00 mg/l (24 Proben) und 3,4 mg/l (GMS 4). Eine Tendenz in der flächenmäßigen Verteilung des Sauerstoffgehaltes ist für 2016 nicht erkennbar. Im Vergleich zum Frühjahr (Mittelwert 0,29 mg/l) sind die Sauerstoffgehalte im Herbst (Mittelwert 0,31 mg/l) insgesamt leicht gestiegen.

Der deutliche Anstieg des Sauerstoffgehaltes in GMS 4 von 0,03 auf 3,4 mg/l ist begründet durch eine laterale Beeinflussung bei der O2-Direktgasinjektion (vgl. [U17]).

Das korrigierte Redoxpotential schwankte im Mai 2016 zwischen 57 mV (GWM 6/13T) und 409 mV (LWMS 1129). Im Oktober 2016 liegt es zwischen 6 mV (ML07-12) und 435 mV (LWMS 1129). Die mittleren Werte für das Redoxpotential liegen im Mai 2016 bei ca. 150 mV und im Oktober 2016 leicht angestiegen bei ca. 175 mV.

Die Parameter Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert und Sauerstoffgehalt sind in den Anlagen 1.4.1 und 1.4.2 für das Untersuchungsgebiet flächenhaft dargestellt.

Eine besondere Bedeutung bei der Beurteilung der hydrochemischen Bedingungen wird dem rH-Wert beigemessen. Der rH-Wert ist ein Maß für das Redoxvermögen eines Systems. Er wird nach folgender Formel berechnet:

Formel 1:

$$rH = \frac{E_h + E_N * pH}{\frac{E_N}{2}}$$

$E_h$ Redoxpotenzial
$E_N$ Nernst-Spannung (2,3 [R*T/F]

Die (reduzierenden) Eigenschaften von Wässern lassen sich (nach HÖLTING [U31]) unter Verwendung des rH-Wertes wie folgt charakterisieren:

- rH = 0 bis 9: stark reduzierende Eigenschaften,
- rH = 9 bis 17: vorwiegend schwach reduzierend,
- rH = 17 bis 25: indifferente Systeme,
- rH = 25 bis 34: vorwiegend schwach oxidierend,
- rH = 34 bis 42: stark oxidierend.

Die für die einzelnen Messstellen berechneten rH-Werte sind getrennt für das Frühjahrs- und Herbstmonitoring flächenhaft in den Anlagen 1.5.1 und 1.5.2 dargestellt (Erstellung mittels Programm SURFER 11).

Folgende Aussagen lassen sich anhand der Darstellungen treffen:

Insgesamt sind die rH-Werte sowohl für Mai als auch für Oktober 2016 überwiegend als „indifferent“ zu bezeichnen. Sie bewegen sich vorwiegend in dem Wertebereich zwischen 17 und 25. Im mittleren UG sind sowohl im Mai als auch im Oktober 2016 Bereiche, die als „vorwiegend schwach oxidierend“ eingestuft werden können (dunkler dargestellt). Die „schwach oxidierenden“ Bereiche sind allerdings nicht gleich verteilt.

Innerhalb des Hauptwertebereichs von 17 - 25 ist eine leichte Verringerung der rH-Werte von West nach Ost, vom hochbelasteten Fahnenbeginn zum mittleren Fahnenbereich zu verzeichnen, also insgesamt eine Verschiebung des Systems in ein mehr reduzierendes Milieu (vgl. auch Kap. 7.2.4.).

### 7.2.2 Überblick über die Analysenergebnisse Grundwasser

In den folgenden zwei Tabellen sind die Analysenergebnisse der Grundwasseruntersuchungen der ausgewählten Grundwasserproben zusammengefasst. Die Ergebnisse der LHKW-Untersuchung einschließlich Einzelkomponenten und VC sind gesondert in Kapitel 7.2.3 dargestellt.

Tabelle 7-3: Analysenergebnisse Grundwasser für Mai 2016 (außer LHKW)

| Messstelle | Sulfat [mg/l] | Nitrat [mg/l] | Nitrit [mg/l] | NH4 [mg/l] | Eisen, ges. [mg/l] | Eisen (II) [mg/] | Eisen (III) [mg/l] | Mangan, ges. [mg/l] | Mangan (II) [mg/l] | Mangan (IV), ber. [mg/l] | DOC [mg/l] | Methan [mg/l] | Ethan [mg/l] | Ethen [mg/l] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 91 | <1 | <0,01 | 2,2 | 2,9 | 2,9 | <0,1 | 0,63 | 0,41 | 0,2 | 2,9 | 0,19 | <0,01 | <0,01 |
| Bs1 | 110 | <1 | <0,01 | 0,57 | 1,8 | 1,8 | <0,1 | 0,66 | 0,57 | <0,1 | 2,4 | 0,011 | <0,01 | <0,01 |
| Bs2 | 83 | 13 | 0,07 | <0,05 | 0,14 | 0,14 | <0,1 | 0,27 | 0,15 | 0,1 | 2,7 | 0,01 | <0,01 | <0,01 |
| GMS 2 | 71 | <1 | <0,01 | 0,32 | 0,75 | 0,75 | <0,1 | 0,35 | 0,34 | <0,1 | 3,3 | 0,024 | <0,01 | <0,01 |
| GMS 3 | 129 | <1 | <0,01 | 0,24 | 1,1 | 1,1 | <0,1 | 0,62 | 0,12 | 0,5 | 3,1 | 0,088 | <0,01 | <0,01 |
| GMS 4* | 141 | 1,7 | 0,15 | 5,2 | 1,6 | 1,6 | <0,1 | 0,52 | 0,43 | <0,1 | 8,6 | 0,087 | <0,01 | <0,01 |
| GMS 5 | 143 | <1 | <0,01 | 3,9 | 3,3 | 3,3 | <0,1 | 0,53 | 0,42 | 0,1 | 5,5 | 0,11 | <0,01 | <0,01 |
| LWMS1131 | 120 | <1 | <0,01 | 0,39 | 5,8 | 5,8 | <0,1 | 0,93 | 0,86 | <0,1 | 3,4 | 0,034 | <0,01 | <0,01 |
| MC N1f | 75 | <1 | <0,01 | 2,7 | 4,8 | 4,8 | <0,1 | 0,62 | 0,45 | 0,2 | 3,1 | 0,18 | <0,01 | <0,01 |
| MC N1m | | | | | 1,2 | 1,2 | <0,1 | 0,69 | 0,51 | 0,2 | | | | |
| MC N1t | | | | | 2,9 | 2,9 | <0,1 | 0,43 | 0,32 | 0,1 | | | | |
| MC N2f | 76 | <1 | <0,01 | 0,59 | 2,6 | 2,6 | <0,1 | 0,61 | 0,61 | <0,1 | 2,5 | 0,099 | <0,01 | <0,01 |
| MC N2m | | | | | 3,4 | 3,4 | <0,1 | 0,59 | 0,47 | 0,1 | | | | |
| MC N2t | | | | | 2,8 | 2,8 | <0,1 | 0,67 | 0,58 | <0,1 | | | | |
| MC N3f | 86 | <1 | <0,01 | 2,9 | 3,8 | 3,8 | <0,1 | 1,3 | 0,98 | 0,3 | 4,2 | 0,33 | <0,01 | <0,01 |
| MC N3m | | | | | 3,4 | 3,4 | <0,1 | 0,54 | 0,18 | 0,3 | | | | |
| MC N3t | | | | | 2,2 | 2,2 | <0,1 | 0,23 | 0,17 | <0,1 | | | | |
| MC N4f | 55 | <1 | <0,01 | 0,53 | 2,3 | 2,3 | <0,1 | 1 | 0,78 | 0,22 | 3,4 | 0,017 | <0,01 | <0,01 |
| MC N4m | | | | | 2,5 | 2,5 | <0,1 | 0,16 | 0,11 | 0,05 | | | | |
| MC N4t | | | | | 1,9 | 1,9 | <0,1 | 0,11 | 0,06 | 0,05 | | | | |
| MC S1f | 79 | <1 | <0,01 | 0,66 | 5,5 | 5,5 | <0,1 | 0,92 | 0,86 | <0,1 | 3,2 | 0,061 | <0,01 | <0,01 |
| MC S1m | | | | | 3 | 3 | <0,1 | 0,62 | 0,11 | 0,5 | | | | |
| MC S1t | | | | | 2,9 | 2,9 | <0,1 | 0,55 | 0,19 | 0,3 | | | | |
| MC S2f | 99 | <1 | <0,01 | 0,77 | 7,3 | 7,3 | <0,1 | 0,76 | 0,54 | 0,2 | 3 | 0,088 | <0,01 | <0,01 |
| MC S2m | | | | | 5,1 | 5,1 | <0,1 | 0,77 | 0,53 | 0,2 | | | | |
| MC S2t | | | | | 2,8 | 2,8 | <0,1 | 0,62 | 0,17 | 0,4 | | | | |
| ML07-7 | 73 | <1 | <0,01 | 2,9 | 0,95 | 0,95 | <0,1 | 0,45 | 0,32 | 0,13 | 3,9 | 0,016 | <0,01 | <0,01 |

| Messstelle | Sulfat [mg/l] | Nitrat [mg/l] | Nitrit [mg/l] | NH4 [mg/l] | Eisen, ges. [mg/l] | Eisen (II) [mg/l] | Eisen (III) [mg/l] | Mangan, ges. [mg/l] | Mangan (II) [mg/l] | Mangan (IV), ber. [mg/l] | DOC [mg/l] | Methan [mg/l] | Ethan [mg/l] | Ethen [mg/l] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ML07-12 | 87 | <1 | <0,01 | 5,3 | 1,9 | 1,9 | <0,1 | 0,43 | 0,16 | 0,27 | 4,6 | 0,5 | <0,01 | <0,01 |
| ML08-7 | 93 | <1 | <0,01 | 3,6 | 2,6 | 2,6 | <0,1 | 0,55 | 0,25 | 0,3 | 3,1 | 0,14 | <0,01 | <0,01 |
| ML08-12 | 61 | <1 | <0,01 | 2,3 | 1,3 | 1,3 | <0,1 | 0,27 | 0,11 | 0,16 | 2,7 | 0,29 | <0,01 | <0,01 |
| N2 | 167 | 5,3 | 0,31 | <0,05 | 0,054 | <0,1 | <0,1 | 0,083 | 0,08 | <0,1 | 4,6 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| N3 | 77 | 6,9 | 0,05 | 0,08 | 0,19 | 0,19 | <0,1 | 0,56 | 0,38 | 0,1 | 2,9 | 0,021 | <0,01 | <0,01 |
| N4* | 140 | 21 | <0,01 | 0,15 | 0,042 | <0,1 |  | 0,31 | 0,26 | <0,1 | 6,4 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| N5 | 115 | <1 | <0,01 | 0,3 | 2 | 2 | <0,1 | 0,58 | 0,58 | <0,1 | 2,6 | 0,078 | <0,01 | <0,01 |
| N6 | 97 | <1 | <0,01 | 0,6 | 1,7 | 1,7 | <0,1 | 0,57 | 0,54 | <0,1 | 2,9 | 0,064 | <0,01 | <0,01 |
| N7 | 85 | <1 | <0,01 | 0,37 | 1,4 | 1,4 | <0,1 | 0,98 | 0,9 | <0,1 | 2 | 0,011 | <0,01 | <0,01 |
| P4 | 94 | <1 | <0,01 | <0,05 | 0,21 | 0,21 | <0,1 | 0,17 | 0,15 | 0,02 | 1,8 | 0,017 | <0,01 | <0,01 |
| P9 | 5,7 | <1 | <0,01 | 0,43 | 1,6 | 1,6 | <0,1 | 0,24 | 0,17 | 0,07 | 3,1 | 1,7 | <0,01 | <0,01 |
| P17 | 166 | 22 | 0,12 | <0,05 | 1,1 | 1,1 | <0,1 | 0,39 | <0,1 | 0,34 | 2,1 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 1/13F | 53 | 1 | <0,01 | 0,14 | 0,9 | 0,9 | <0,1 | 0,6 | 0,2 | 0,43 | 1,9 | 0,017 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 1/13T |  |  |  |  | 1,5 | 1,5 | <0,1 | 0,6 | <0,1 | 0,52 |  |  |  |  |
| GWM 2/13F | 121 | 16 | 0,11 | 0,07 | 0,47 | 0,47 | <0,1 | 1,7 | 1,6 | <0,1 | 2,4 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 2/13T |  |  |  |  | 1,5 | 1,5 | <0,1 | 0,71 | 0,12 | 0,6 |  |  |  |  |
| GWM 3/13F | 83 | <1 | 0,01 | 0,2 | 1,9 | 1,9 | <0,1 | 0,26 | 0,14 | 0,1 | 2,5 | 0,037 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 3/13T |  |  |  |  | 1,6 | 1,6 | <0,1 | 0,59 | 0,53 | <0,1 |  |  |  |  |
| GWM 4/13F | 67 | <1 | <0,01 | 2,8 | 2,1 | 2,1 | <0,1 | 0,59 | 0,49 | <0,1 | 4,1 | 0,48 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 4/13To |  |  |  |  | 1,3 | 1,3 | <0,1 | 0,27 | 0,23 | <0,1 |  |  |  |  |
| GWM 4/13Tu |  |  |  |  | 1,6 | 1,6 | <0,1 | 0,29 | 0,19 | <0,1 |  |  |  |  |
| GWM 5/13F | 120 | <1 | <0,01 | 0,25 | 1,6 | 1,6 | <0,1 | 0,5 | 0,33 | 0,17 | 3,4 | 0,058 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 5/13T |  |  |  |  | 1,5 | 1,5 | <0,1 | 0,36 | 0,16 | 0,2 |  |  |  |  |
| GWM 6/13F* | 150 | <1 |  | 4,7 | 2,8 | 2,8 | <0,1 | 0,59 | 0,47 | 0,12 | 5,2 | 0,14 |  |  |
| GWM 6/13T* |  |  |  |  | 2,6 | 2,6 | <0,1 | 0,24 | 0,17 | 0,07 |  |  |  |  |
| GWM 7/13F | 75 | 1 | <0,01 | 0,25 | 1,1 | 1,1 | <0,1 | 0,64 | 0,38 | 0,3 | 2 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 7/13T |  |  |  |  | 1,9 | 0,42 | 1,5 | 0,52 | 0,49 | <0,1 |  |  |  |  |
| GWM 8/13F | 93 | <1 | <0,01 | 0,12 | 0,4 | 0,4 | <0,1 | 0,58 | 0,53 | <0,1 | 1,5 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |

| Messstelle | Sulfat [mg/l] | Nitrat [mg/l] | Nitrit [mg/l] | NH4 [mg/l] | Eisen, ges. [mg/l] | Eisen (II) [mg/l] | Eisen (III) [mg/l] | Mangan, ges. [mg/l] | Mangan (II) [mg/l] | Mangan (IV), ber. [mg/l] | DOC [mg/l] | Methan [mg/l] | Ethan [mg/l] | Ethen [mg/l] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GWM 8/13T | | | | | 0,92 | 0,92 | <0,1 | 0,57 | 0,52 | <0,1 | | | | |
| GWM 9/13F | 73 | <1 | <0,01 | 0,21 | 0,67 | 0,67 | <0,1 | 0,72 | 0,67 | <0,1 | 2 | 0,024 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 9/13T | 120 | <1 | <0,01 | 0,46 | 0,59 | 0,59 | <0,1 | 0,63 | 0,5 | 0,1 | 1,5 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 10/13F | 57 | <1 | <0,01 | 0,06 | 0,86 | 0,86 | <0,1 | 0,43 | 0,32 | 0,1 | 1,6 | 0,01 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 10/13T | | | | | 0,88 | 0,88 | <0,1 | 0,37 | 0,36 | <0,1 | | | | |
| RW 3/13 | 84 | <1 | <0,01 | 3,7 | 5 | 5 | <0,1 | 0,61 | 0,3 | 0,3 | 3,7 | 0,83 | <0,01 | <0,01 |
| RW 11/13* | 90 | <1 | | 3,6 | 3,7 | 3,7 | <0,1 | 0,55 | 0,34 | 0,21 | 3,6 | 2,6 | | |

*) Bei den gekennzeichneten Proben erfolgte die Probenahme im Rahmen der Monitoringkampagne Mai 2016, die Analytik allerdings im Rahmen der Überwachung der Sanierungszonen SZ 2 und SZ3. Für diese Proben (GMS 4, N 4, GWM 6/13F, GWM 6/13T und RW11/13) wurden die Ergebnisse für einige Parameter durch das Labor nicht geliefert. Fehlstellen bei GMS 4 und N 4 wurden durch Ergebnisse einer Beprobung am 19.04.2016 ergänzt.

Tabelle 7-4: Analysenergebnisse Grundwasser für Oktober 2016 (außer LHKW)

| Messstelle | Sulfat [mg/l] | Nitrat [mg/l] | Nitrit [mg/l] | NH4 [mg/l] | Eisen, ges. [mg/l] | Eisen (II) [mg/l] | Eisen (III) [mg/l] | Mangan, ges. [mg/l] | Mangan (II) [mg/l] | Mangan (IV), ber. [mg/l] | DOC [mg/l] | Methan [mg/l] | Ethan [mg/l] | Ethen [mg/l] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 78 | <1 | <0,01 | 2,10 | 2,83 | 3,20 | <0,05 | 0,61 | 0,55 | 0,06 | 2,6 | 0,10 | <0,01 | <0,01 |
| Bs1 | 95 | <1 | <0,01 | 0,59 | 2,00 | 2,30 | <0,05 | 0,63 | 0,55 | 0,08 | 2,0 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Bs2 | 88 | 11 | 0,08 | <0,05 | 0,03 | <0,05 | <0,05 | 0,20 | 0,07 | 0,13 | 2,1 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| GMS 2 | 84 | <1 | <0,01 | 0,36 | 1,61 | 1,80 | <0,05 | 0,40 | 0,38 | <0,1 | 2,7 | 0,03 | <0,01 | <0,01 |
| GMS 3 | 160 | <1 | <0,01 | 0,16 | 1,37 | 1,50 | <0,05 | 0,64 | 0,60 | 0,04 | 3,1 | 0,06 | <0,01 | <0,01 |
| GMS 4 | 170 | 57 | <0,01 | 2,40 | 1,50 | 1,30 | 0,20 | 0,45 | 0,41 | 0,04 | 9,9 | 0,02 | <0,01 | <0,01 |
| GMS 5 | 150 | <1 | <0,01 | 4,40 | 3,56 | 4,40 | <0,05 | 0,51 | 0,41 | 0,10 | 3,8 | 0,03 | <0,01 | <0,01 |
| LWMS1131 | 120 | <1 | <0,01 | 0,38 | 5,23 | 5,70 | <0,05 | 0,80 | 0,65 | 0,15 | 2,7 | 0,02 | <0,01 | <0,01 |
| MC N1f | 84 | <1 | <0,01 | 2,40 | 5,93 | 6,20 | <0,05 | 0,70 | 0,59 | 0,11 | 3,1 | 0,10 | <0,01 | <0,01 |
| MC N1m | | | | | 4,74 | 5,10 | <0,05 | 0,60 | 0,52 | 0,08 | | | | |
| MC N1t | | | | | 2,10 | 2,30 | <0,05 | 0,27 | 0,21 | 0,06 | | | | |
| MC N2f | 91 | <1 | <0,01 | 0,74 | 3,62 | 3,80 | <0,05 | 0,64 | 0,53 | 0,11 | 2,4 | 0,13 | <0,01 | <0,01 |
| MC N2m | | | | | 4,03 | 4,50 | <0,05 | 0,55 | 0,52 | 0,03 | | | | |

| Messstelle | Sulfat [mg/l] | Nitrat [mg/l] | Nitrit [mg/l] | NH4 [mg/l] | Eisen, ges. [mg/l] | Eisen (II) [mg/l] | Eisen (III) [mg/l] | Mangan, ges. [mg/l] | Mangan (II) [mg/l] | Mangan (IV), ber. [mg/l] | DOC [mg/l] | Methan [mg/l] | Ethan [mg/l] | Ethen [mg/l] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MC N2t | | | | | 3,55 | 4,10 | <0,05 | 0,59 | 0,58 | 0,01 | | | | |
| MC N3f | 100 | <1 | <0,01 | 2,40 | 3,01 | 3,30 | <0,05 | 1,30 | 1,20 | 0,10 | 3,8 | 0,28 | <0,01 | <0,01 |
| MC N3m | | | | | 3,13 | 3,60 | <0,05 | 0,43 | 0,41 | 0,02 | | | | |
| MC N3t | | | | | 2,26 | 2,70 | <0,05 | 0,23 | 0,16 | 0,07 | | | | |
| MC N4f | 60 | <1 | <0,01 | 0,57 | 3,21 | 3,50 | <0,05 | 0,99 | 0,69 | 0,30 | 2,8 | 0,01 | <0,01 | <0,01 |
| MC N4m | | | | | 2,47 | 2,70 | <0,05 | 0,17 | 0,11 | 0,06 | | | | |
| MC N4t | | | | | 2,29 | 2,60 | <0,05 | 0,12 | 0,07 | 0,04 | | | | |
| MC S1f | 100 | <1 | <0,01 | 0,85 | 5,93 | 6,50 | <0,05 | 0,87 | 0,82 | 0,05 | 3,1 | 0,06 | <0,01 | <0,01 |
| MC S1m | | | | | 3,24 | 3,70 | <0,05 | 0,56 | 0,55 | 0,01 | | | | |
| MC S1t | | | | | 2,76 | 3,30 | <0,05 | 0,50 | 0,29 | 0,21 | | | | |
| MC S2f | 91 | <1 | <0,01 | 0,74 | 3,62 | 3,80 | <0,05 | 0,64 | 0,53 | 0,11 | 2,4 | 0,13 | <0,01 | <0,01 |
| MC S2m | | | | | 4,03 | 4,50 | <0,05 | 0,55 | 0,52 | 0,03 | | | | |
| MC S2t | | | | | 3,55 | 4,10 | <0,05 | 0,59 | 0,58 | 0,01 | | | | |
| ML07-7 | 85 | <1 | <0,01 | 2,40 | 1,60 | 1,60 | <0,05 | 0,46 | 0,30 | 0,16 | 3,3 | 0,18 | <0,01 | <0,01 |
| ML07-12 | 88 | <1 | <0,01 | 4,20 | 1,73 | 1,90 | <0,05 | 0,41 | 0,30 | 0,11 | 4,4 | 0,55 | <0,01 | <0,01 |
| ML08-7 | 100 | <1 | <0,01 | 2,40 | 6,33 | 6,70 | <0,05 | 0,71 | 0,57 | 0,14 | 2,8 | 0,10 | <0,01 | <0,01 |
| ML08-12 | 59 | <1 | <0,01 | 1,60 | 1,95 | 2,10 | <0,05 | 0,28 | 0,14 | 0,13 | 2,6 | 0,39 | <0,01 | <0,01 |
| N2 | 130 | <1 | 0,11 | <0,05 | < 0,01 | <0,05 | <0,05 | 0,37 | 0,37 | <0,01 | 3,4 | 0,03 | <0,01 | <0,01 |
| N3 | 92 | 4 | 0,07 | 0,13 | 0,26 | 0,20 | 0,06 | 0,47 | 0,36 | 0,11 | 3,0 | 0,08 | <0,01 | <0,01 |
| N4 | 130 | 14 | 0,08 | 0,22 | 0,22 | 0,17 | 0,05 | 0,57 | 0,47 | 0,10 | 4,7 | 0,0 | <0,01 | <0,01 |
| N5 | 140 | <1 | <0,01 | 0,35 | 2,05 | 2,20 | <0,05 | 0,61 | 0,61 | <0,01 | 2,6 | 0,06 | <0,01 | <0,01 |
| N6 | 110 | <1 | <0,01 | 0,74 | 2,03 | 2,30 | <0,05 | 0,58 | 0,48 | 0,10 | 2,6 | 0,05 | <0,01 | <0,01 |
| N7 | 75 | <1 | <0,01 | 0,31 | 1,18 | 1,30 | <0,05 | 0,91 | 0,80 | 0,11 | 2,1 | 0,01 | <0,01 | <0,01 |
| P4 | 110 | <1 | <0,01 | <0,05 | 0,25 | 0,28 | <0,05 | 0,16 | 0,14 | <0,1 | 1,8 | 0,02 | <0,01 | <0,01 |
| P9 | 23 | <1 | <0,01 | 0,46 | 1,80 | 1,90 | <0,05 | 0,25 | 0,23 | <0,1 | 3,0 | 2,40 | <0,01 | <0,01 |
| P17 | 170 | 29 | 0,12 | <0,05 | 1,06 | 1,30 | <0,05 | 0,34 | 0,33 | 0,01 | 1,6 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 1/13F | 50 | 1 | <0,01 | 0,13 | 0,87 | 1,10 | <0,05 | 0,54 | 0,52 | 0,02 | 5,4 | 0,03 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 1/13T | | | | | 1,40 | 1,70 | <0,05 | 0,51 | 0,44 | 0,07 | | | | |

| Messstelle | Sulfat [mg/l] | Nitrat [mg/l] | Nitrit [mg/l] | NH4 [mg/l] | Eisen, ges. [mg/l] | Eisen (II) [mg/l] | Eisen (III) [mg/l] | Mangan, ges. [mg/l] | Mangan (II) [mg/l] | Mangan (IV), ber. [mg/l] | DOC [mg/l] | Methan [mg/l] | Ethan [mg/l] | Ethen [mg/l] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GWM 2/13F | 110 | 11 | 0,09 | 0,07 | 1,37 | 1,40 | <0,05 | 1,78 | 1,60 | 0,18 | 2,3 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 2/13T | | | | | 2,70 | 2,90 | <0,05 | 0,84 | 0,73 | 0,11 | | | | |
| GWM 3/13F | 99 | <1 | <0,01 | 0,25 | 2,47 | 1,80 | 0,67 | 0,75 | 0,57 | 0,19 | 2,6 | 0,04 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 3/13T | | | | | 2,40 | 2,70 | <0,05 | 0,72 | 0,64 | 0,08 | | | | |
| GWM 4/13F | 80 | 1 | <0,01 | 5,60 | 2,81 | 2,90 | <0,05 | 0,66 | 0,56 | 0,10 | 4,2 | 0,49 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 4/13To | | | | | 1,48 | 1,70 | <0,05 | 0,29 | 0,21 | 0,08 | | | | |
| GWM 4/13Tu | | | | | 1,61 | 1,80 | <0,05 | 0,32 | 0,22 | 0,10 | | | | |
| GWM 5/13F | 150 | <1 | <0,01 | 0,27 | 1,97 | 2,20 | <0,05 | 0,58 | 0,51 | <0,1 | 3,8 | 0,09 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 5/13T | | | | | 1,71 | 1,90 | <0,05 | 0,38 | 0,26 | 0,10 | | | | |
| GWM 6/13F | 150 | <1 | <0,01 | 3,80 | 7,00 | 2,30 | 4,70 | 0,70 | 0,67 | <0,1 | 4,8 | 0,15 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 6/13T | | | | | 2,11 | 1,90 | 0,21 | 0,30 | 0,27 | <0,1 | | | | |
| GWM 7/13F | 88 | 2 | <0,01 | 0,25 | 1,88 | 2,10 | <0,05 | 0,67 | 0,47 | 0,20 | 1,6 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 7/13T | | | | | 1,98 | 2,20 | <0,05 | 0,56 | 0,45 | 0,11 | | | | |
| GWM 8/13F | 110 | <1 | <0,01 | 0,11 | 0,44 | 0,41 | 0,03 | 0,55 | 0,45 | 0,10 | <1 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 8/13T | | | | | 1,87 | 1,50 | 0,37 | 0,53 | 0,48 | 0,05 | | | | |
| GWM 9/13F | 78 | <1 | <0,01 | 0,18 | 0,91 | 1,00 | <0,05 | 0,67 | 0,57 | 0,10 | 1,6 | 0,03 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 9/13T | | | | | 0,98 | 0,77 | 0,21 | 0,65 | 0,49 | 0,16 | | | | |
| GWM 10/13F | 56 | <1 | <0,01 | 0,06 | 0,80 | 0,80 | <0,05 | 0,44 | 0,29 | 0,15 | 1,3 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| GWM 10/13T | | | | | 1,38 | 1,30 | 0,08 | 0,38 | 0,26 | 0,12 | | | | |
| RW 3/13 | 91 | <1 | <0,01 | 2,30 | 3,49 | 4,00 | <0,05 | 0,44 | 0,37 | 0,07 | 3,2 | 0,14 | <0,01 | <0,01 |
| RW 11/13 | 88 | <1 | <0,01 | 2,00 | 2,45 | 2,80 | <0,05 | 0,38 | 0,26 | 0,12 | 3,6 | 0,53 | <0,01 | <0,01 |

Im Folgenden wird eine kurze Zusammenfassung der Analysenergebnisse für Mai bzw. Oktober 2016 gegeben. Die Wertung der Ergebnisse im Hinblick auf im Grundwasser ablaufende natürliche Abbauprozesse ist dann in Kapitel 7.2.4 enthalten.

**Analysenergebnisse Mai 2016**

Eisen

Der $Eisen_{ges}$-Gehalt im Grundwasser schwankt zwischen 0,042 mg/l und 7,3 mg/l. Der höchste $Eisen_{ges}$-Wert wurde im Bereich des östlichen UG in MC S2f mit 7,3 mg/l $Fe_{ges}$ ermittelt. Ein Gehalt größer als 5 mg/l $Fe_{ges}$ wurde in 5 Proben im östlichen UG analysiert.

Eisen-(II)-Gehalte wurden von <0,01 mg/l bis 7,3 mg/l analysiert. Eisen-(III) wurde in geringeren Mengen von <0,01 mg/l (60 Proben) bis 1,5 mg/l ermittelt. Während vergleichsweise hohe Eisen-(II)-Gehalte im mittleren bis östlichen UG (Fahnen- bzw. Fahnenrandbereiche) auftreten, ist ein Eisen-(III)-Gehalt größer 0,1 mg/l nur in GWM 7/13T nachgewiesen.

Mangan

Der $Mangan_{ges}$-Gehalt im Grundwasser schwankt zwischen 0,083 mg/l und 1,7 mg/l. Der höchste $Mangan_{ges}$-Wert wurde in GWM 2/13F mit 1,7 mg/l $Mn_{ges}$ ermittelt. Eine deutliche Zonierung der $Mangan_{ges}$-Gehalte im UG ist nicht erkennbar.

Mangan-(II)-Gehalte wurden von < 0,01 mg/l bis 1,6 mg/l analysiert. Die Mangan-(IV)-Gehalte wurden aus den ermittelten Mangangehalten berechnet. Eine Tendenz in der flächenhaften Verbreitung der Mangan-(II)-Gehalte ist nicht erkennbar.

Methan

Methan tritt im Grundwasser des UG in Gehalten zwischen < 0,01 mg/l (7 Proben) und 2,6 mg/l auf. Der höchste Methan-Gehalt wurde in Messstelle RW11/13 in unmittelbarer Nähe des Steinhäuserwühlsees ermittelt. Vergleichsweise hohe Methangehalte treten im Anstrom des Steinhäuserwühlsees auf (früher abwasserbeeinflusstes Gebiet).

Ethan / Ethen

In allen untersuchten Proben lagen sowohl die Ethan- als auch die Ethen-Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze von < 0,01 mg/l.

Gelöster Organischer Kohlenstoff (DOC)

Die DOC-Werte im Grundwasser schwanken im UG zwischen 1,5 mg/l und 8,6 mg/l. Der maximale DOC-Gehalt wurde im Messstelle GMS4 im Bereich der Sanierungszone SZ2 festgestellt (Deponie beeinflusst). Die höchsten DOC-Werte wurden überwiegend im mittleren UG ermittelt. Ein direkter Zusammenhang zwischen DOC-Gehalt und Fahnenentwicklung kann nicht hergestellt werden (vgl. Kap. 7.2.4).

Nitrat / Nitrit / Ammonium

Nitrat wurde in 31 der 39 untersuchten Grundwasserproben unterhalb der Nachweisgrenze von 1 mg/l ermittelt. Der höchste Nitratgehalt wurde in P17 mit 22 mg/l ermittelt. Gehalte oberhalb der NWG wurden im westlichen und mittleren UG ermittelt.

Nitritgehalte oberhalb der NWG von 0,01 mg/l wurden in 6 Grundwasserproben festgestellt. Die Messstelle GWM 2/13-F weist mit 0,1 mg/l den höchsten Nitritgehalt auf. Die Nitritgehalte oberhalb der Nachweisgrenze liegen im westlichen und mittleren UG.

Ammonium wurde im UG mit Gehalten zwischen < 0,05 mg/l und 5,3 mg/l im Grundwasser ermittelt. Die höchsten Gehalte wurden im mittleren bis nördlichen UG festgestellt, Maximalgehalt von 5,3 mg/l in ML 07-12. Insgesamt nehmen die Ammoniumgehalte im Fahnenverlauf (nahen Abstrom) zu.

Sulfat

Die Sulfatgehalte im Grundwasser schwanken zwischen 53 mg/l (5,7 mg/l in P9) und 167 mg/l. Die vergleichsweise hohen Sulfatgehalte verteilen sich im gesamten UG. Eine Tendenz über die gesamte Fahne kann für diese Messung nicht ermittelt werden.

**Analysenergebnisse Oktober 2016**

Eisen

Der $Eisen_{ges}$-Gehalt im Grundwasser schwankt zwischen < 0,01 mg/l und 7,0 mg/l. Der höchste $Eisen_{ges}$-Wert wurde in GWM 6/13F nahe des Steinhäuserwühlsees ermittelt. Ein Gehalt größer als 5 mg/l $Fe_{ges}$ wurde in 5 Proben verteilt über das UG analysiert.

Eisen-(II)-Gehalte wurden von < 0,01 mg/l bis 6,33 mg/l analysiert. Eisen-(III) wurde in geringeren Mengen von < 0,01 mg/l (52 Proben) bis 4,7 mg/l ermittelt. Vergleichsweise hohe Eisen-(II)-Gehalte wurden im mittleren bzw. westlichen UG (Fahnenbereiche) ermittelt. Eisen-(III)-Gehalte oberhalb der NWG treten im Oktober 2016 vorrangig im mittleren bis südlichen Bereich auf.

(Anmerkung: Die Systematik der Fe-(II)- und Fe-(III)-Analytik wird derzeit intensiv mit dem Labor diskutiert.)

Mangan

Der $Mangan_{ges}$-Gehalt im Grundwasser schwankt zwischen 0,12 mg/l und 1,78 mg/l. Der höchste $Mangan_{ges}$-Wert wurde 2015 in GWM 2/13F ermittelt. Eine Zonierung der $Mangan_{ges}$-Gehalte im UG ist nicht erkennbar.

Mangan-(II)-Gehalte wurden von 0,7 mg/l bis 1,6 mg/l analysiert. Die Mangan-(IV)-Gehalte wurden aus den ermittelten Mangangehalten berechnet. Eine Tendenz in der flächenhaften Verbreitung der Mangan-(II)-Gehalte ist ebenfalls nicht erkennbar.

Methan

Methan tritt im Grundwasser des UG in Gehalten zwischen < 0,01 mg/l und 2,4 mg/l (nächst höchster 0,55 mg/l) auf. Der höchste Methan-Gehalt wurde in der Messstelle P 9 (unterhalb des oGWL) ermittelt. Der höchste Gehalt für den oGWL wurde in ML 07-12 mit 0,55 mg/l Methan analysiert. Vergleichsweise hohe Methangehalte treten im mittleren und östlichen Untersuchungsgebiet bzw. am Steinhäuserwühlsee auf. Die Methangehalte nehmen im Fahnenverlauf also zu.

Ethan / Ethen

Die Parameter Ethan und Ethen wurden bei der Herbstkampagne 2016 in keiner Grundwasserprobe oberhalb der Nachweisgrenze von 0,01 mg/l ermittelt.

Gelöster Organischer Kohlenstoff (DOC)

Die DOC-Werte im Grundwasser schwanken im UG zwischen <1,0 mg/l und 9,9 mg/l. Der höchste DOC-Gehalt wurde im Messstelle GMS4 im mittleren UG (ehem. Deponiebereich) festgestellt. Die DOC-Werte sind insgesamt im mittleren UG (naher Abstrom) höher als im östlichen Randbereich.

Nitrat / Nitrit / Ammonium

Nitrat wurde in 9 der 39 untersuchten Grundwasserproben oberhalb der Nachweisgrenze von 1 mg/l ermittelt. Der höchste Nitratgehalt wurde in GMS4 mit 57 mg/l ermittelt. Die ermittelten Nitratgehalte oberhalb der Nachweisgrenze liegen im mittleren UG.

Nitritgehalte oberhalb der NWG von 0,01 mg/l wurden in 6 Grundwasserproben festgestellt. Die Messstelle P17 weist mit 0,12 mg/l den höchsten Nitritgehalt auf. Die Nitritgehalte oberhalb der Nachweisgrenze liegen bis auf P17 im mittleren UG.

Ammonium wurde im UG mit Gehalten zwischen < 0,05 mg/l und 5,6 mg/l im Grundwasser ermittelt. Vergleichsweise hohe Gehalte wurden vorrangig im mittleren UG festgestellt, der Maximalgehalt von 5,6 mg/l in GWM 4/13F. Die Ammoniumgehalte steigen im nahen Abstrom an.

Sulfat

Die Sulfatgehalte im Grundwasser schwanken zwischen 50 mg/l (23 mg/l in P9) und 170 mg/l. Für Oktober 2016 können keine signifikanten Tendenzen bei der Verteilung der Sulfatgehalte ermittelt werden.

### 7.2.3 LHKW-Gehalte im Untersuchungsgebiet

In der folgenden Tabelle sind die Analysenergebnisse der Mai-Beprobung für die wichtigsten LHKW zusammengefasst. Eine Auflistung aller bisherigen Ergebnisse ist in Anlage 4.3 erfasst.

Zur Hervorhebung der Höhe der Schadstoffgehalte sind farbige Datenbalken in den Tabellen integriert.

Tabelle 7-5: LHKW-Gehalte im Grundwasser Mai 2016

| Messstelle | Summe LHKW | Tetrachlor-ethen | Trichlorethen | trans-1,2-DCE | cis-1,2-DCE | Vinylchlorid |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l |
| 4 | 180,8 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,8 | 180 |
| Bs1 | 1213,1 | <0,1 | <0,1 | 1,1 | 12 | 1200 |
| Bs2 | 114,6 | <0,1 | 0,4 | 2,2 | 110 | 2 |
| B32 | 16,7 | 7,9 | 1,4 | 0,2 | 4,8 | 2,4 |
| B33 | 38,4 | 17 | 2,6 | 0,6 | 11 | 7,2 |
| B34 | 46,2 | 20 | 1,9 | 0,3 | 12 | 12 |
| GMS2 | 0,4 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,3 | 0,1 |
| GMS3 | 81 | <0,1 | <0,1 | 0,8 | 6,2 | 74 |
| GMS4 | 243 | 1,2 | 0,8 | | 0,8 | 240 |
| GMS5 | 111,7 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1,7 | 110 |
| LWMS 1129 | 17,7 | 2,7 | 0,5 | <0,1 | 13,9 | 0,6 |
| LWMS1131 | 11,7 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,7 | 11 |
| MC N1f | 200,6 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,6 | 200 |
| MC N1m | 274,5 | 0,3 | 0,2 | 0,6 | 3,4 | 270 |
| MC N1t | 281 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1 | 280 |
| MC N2f | 17,7 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,7 | 17 |
| MC N2m | 24,9 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,9 | 24 |
| MC N2t | 42,9 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1,9 | 41 |
| MC N3f | 170,9 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,9 | 170 |
| MC N3m | 280,6 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,6 | 280 |
| MC N3t | 13,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,1 | 13 |
| MC N4f | 0,8 | 0,2 | 0,1 | <0,1 | 0,3 | 0,2 |
| MC N4m | 0,5 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,1 | 0,4 |
| MC N4t | 2,7 | 0,9 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,9 |
| MC S1f | 47,7 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,7 | 47 |
| MC S1m | 102,3 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 2,3 | 100 |
| MC S1t | 84 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 2 | 82 |
| MC S2f | 18,3 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 2,3 | 16 |
| MC S2m | 17,3 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 2,3 | 15 |
| MC S2t | 25,2 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,2 | 25 |
| ML04 | 152 | 43 | 40 | 2,2 | 66 | 0,8 |
| ML05 | 61,7 | 1,4 | 7 | 0,9 | 52 | 0,4 |
| ML06 | 2168,9 | 0,3 | 0,6 | 8 | 560 | 1.600 |
| ML07-7 | 20,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 1,7 | 18 |
| ML07-12 | 101,2 | <0,1 | <0,1 | 0,6 | 0,6 | 100 |
| ML08-7 | 500,8 | <0,1 | <0,1 | 0,4 | 0,4 | 500 |
| ML08-12 | 241,4 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1,4 | 240 |

| Messstelle | Summe LHKW | Tetrachlor-ethen | Trichlorethen | trans-1,2-DCE | cis-1,2-DCE | Vinylchlorid |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l |
| N2 | 68,9 | 4 | 0,9 | 1 | 15 | 48 |
| N3 | 73,2 | 23 | 1,6 | 0,6 | 13 | 35 |
| N4 | 123 | 0,1 | <0,1 | | 2,7 | 120 |
| N5 | 36,4 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 3,4 | 33 |
| N6 | 97,8 | <0,1 | <0,1 | 0,9 | 1,9 | 95 |
| N7 | 258,3 | <0,1 | <0,1 | 3,3 | 75 | 180 |
| N9 | 19,4 | 2,6 | 1,7 | 0,6 | 5,5 | 9 |
| N10 | 13,9 | 1,1 | 0,2 | <0,1 | 1,6 | 11 |
| N11 | 287 | 120 | 15 | 3 | 130 | 19 |
| P4 | n.n. | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| P9 | n.n. | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| P17 | 12,9 | 6 | 4,5 | <0,1 | 2,4 | <0,1 |
| GWM 1/13F | 944,3 | 0,5 | 0,3 | 3,5 | 800 | 140 |
| GWM 1/13T | 520,8 | 0,8 | <0,1 | <0,1 | 180 | 340 |
| GWM 2/13F | 117,1 | 24 | 8,9 | 1,2 | 57 | 26 |
| GWM 2/13T | 88,7 | 0,4 | <0,1 | 0,5 | 3,8 | 84 |
| GWM 3/13F | 321 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1 | 320 |
| GWM 3/13T | 593,6 | <0,1 | <0,1 | 0,7 | 2,9 | 590 |
| GWM 4/13F | 48,3 | 0,2 | 0,1 | <0,1 | 1 | 47 |
| GWM 4/13T o | 562,8 | <0,1 | <0,1 | 0,6 | 2,2 | 560 |
| GWM 4/13T u | 421,8 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1,8 | 420 |
| GWM 5/13F | 12,8 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,8 | 12 |
| GWM 5/13T | 6,7 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 1,6 | 4,2 |
| GWM 6/13F | 132 | <0,1 | <0,1 | | 1,5 | 130 |
| GWM 6/13T | 1,6 | <0,1 | <0,1 | | 0,5 | 1,1 |
| GWM 7/13F | 23,7 | 14 | 1,1 | <0,1 | 6,6 | 2 |
| GWM 7/13T | 1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,5 | 0,5 |
| GWM 8/13F | 9,9 | 2,5 | 0,4 | <0,1 | 3 | 4 |
| GWM 8/13T | 4,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1,4 | 2,7 |
| GWM 9/13F | 7,2 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 2,1 | 5,1 |
| GWM 9/13T | 0,7 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,5 | 0,2 |
| GWM 10/13F | 1098 | 9,1 | 3,7 | 5 | 1060 | 20 |
| GWM 10/13T | 34 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 19 | 15 |
| RW 3/13 | 341,4 | <0,1 | <0,1 | 0,7 | 0,7 | 340 |
| RW 11/13 | 601 | <0,1 | <0,1 | | 0,7 | 600 |
| Ludwigshof | n.n. | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |

Im Mai 2016 wurden im Untersuchungsgebiet LHKW-Gehalte von nicht nachweisbar (n.n. alle Einzelparameter liegen unterhalb der Nachweisgrenze) bis 2.168,9 µg/l (ML06) ermittelt. Die

höchsten Gehalte wurden in den Messstellen ML06 mit 2.168,9 µg/l, Bs1 mit 1.213,1 µg/l, GWM 10/13F mit 1.098 µg/l und GWM 1/13F mit 944,3 µg/l LHKW festgestellt.

Im Vergleich zur Geringfügigkeitsschwelle (GFS) von 20 µg/l LHKW liegen 49 der 73 auf LHKW untersuchten Grundwasserproben oberhalb der GFS.

In der folgenden Tabelle sind die Analysenergebnisse Oktober 2016 für LHKW zusammengefasst.

Tabelle 7-6: LHKW-Gehalte im Grundwasser (Oktober 2016)

| Messstelle | Summe LHKW | Tetrachlor-ethen | Trichlorethen | trans-1,2-Dichlorethen | cis-1,2-Dichlorethen | Vinylchlorid |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l |
| 4 | 131,4 | <0,1 | <0,1 | 0,3 | 1,1 | 130 |
| Bs1 | 1041,1 | <0,1 | <0,1 | 1,1 | 40 | 1000 |
| Bs2 | 204 | <0,1 | 0,6 | 3,4 | 200 | <0,1 |
| B 32 | 18 | 10 | 1,3 | <0,1 | 5,4 | 1,3 |
| B 33 | 33,2 | 15 | 2,6 | 0,7 | 11 | 3,9 |
| B 34 | 61,1 | 32 | 2,3 | 0,3 | 18 | 8,5 |
| GMS 2 | 0,3 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,3 | <0,1 |
| GMS 3 | 85 | 0,2 | 0,2 | 0,5 | 6,1 | 78 |
| GMS 4 | 153,2 | 1,1 | 0,3 | 1,3 | 0,5 | 150 |
| GMS 5 | 131,3 | <0,1 | <0,1 | 0,2 | 1,1 | 130 |
| LWMS 1129 | 34,1 | 2,2 | 0,4 | 0,2 | 31 | 0,3 |
| LWMS 1131 | 10,8 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,9 | 9,9 |
| MC N1f | 160,7 | <0,1 | <0,1 | 0,2 | 0,5 | 160 |
| MC N1m | 290,9 | <0,1 | <0,1 | 0,2 | 0,7 | 290 |
| MC N1t | 411,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1,1 | 410 |
| MC N2f | 17,6 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,6 | 17 |
| MC N2m | 25,9 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,9 | 25 |
| MC N2t | 46,9 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1,9 | 45 |
| MC N3f | 101 | <0,1 | <0,1 | 0,2 | 0,8 | 100 |
| MC N3m | 231 | <0,1 | <0,1 | 0,2 | 0,8 | 230 |
| MC N3t | 84,4 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,4 | 84 |
| MC N4f | n.n. | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| MC N4m | 0,3 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,2 | 0,1 |
| MC N4t | 0,2 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,2 |
| MC S1f | 61,6 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,6 | 61 |
| MC S1m | 112,3 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 2,3 | 110 |
| MC S1t | 89,2 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 2,2 | 87 |
| MC S2f | 17,6 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,6 | 17 |
| MC S2m | 25,9 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,9 | 25 |
| MC S2t | 46,9 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1,9 | 45 |
| ML 04 | 129,9 | 23 | 36 | 2,6 | 68 | 0,3 |
| ML 05 | 63,1 | 0,9 | 7,1 | 0,9 | 54 | 0,2 |
| ML 06 | 1087,7 | 0,1 | 0,2 | 7,4 | 480 | 600 |
| ML07-7 | 93,9 | <0,1 | <0,1 | 0,6 | 2,3 | 91 |
| ML07-12 | 74,7 | <0,1 | <0,1 | 0,9 | 0,8 | 73 |
| ML08-7 | 120,5 | <0,1 | <0,1 | 0,2 | 0,3 | 120 |
| ML08-12 | 121,7 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1,7 | 120 |

| Messstelle | Summe LHKW | Tetrachlor-ethen | Trichlorethen | trans-1,2-Dichlorethen | cis-1,2-Dichlorethen | Vinylchlorid |
|---|---|---|---|---|---|---|
| N2 | 113,1 | 4 | 0,8 | 1,3 | 14 | 93 |
| N3 | 113,3 | 47 | 2,7 | 0,6 | 21 | 42 |
| N4 | 113,8 | <0,1 | <0,1 | 1 | 2,8 | 110 |
| N5 | 42,6 | <0,1 | <0,1 | 0,3 | 3,3 | 39 |
| N6 | 112,7 | <0,1 | <0,1 | 1,1 | 1,6 | 110 |
| N 7 | 235 | <0,1 | <0,1 | 3 | 62 | 170 |
| N 9 | 26 | 3,5 | 2,3 | 0,7 | 7,5 | 12 |
| N10 | 15,5 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 1,8 | 12 |
| N 11 | 321,4 | 120 | 19 | 3,4 | 160 | 19 |
| P 4 | n.n. | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| P 9 | n.n. | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| P17 | 13,9 | 7 | 4,8 | <0,1 | 2,1 | <0,1 |
| GWM 1/13F | 850,4 | 0,1 | 0,3 | 4 | 770 | 76 |
| GWM 1/13T | 430,6 | 0,2 | <0,1 | 0,4 | 140 | 290 |
| GWM 2/13F | 108,7 | 19 | 6,7 | 1 | 49 | 33 |
| GWM 2/13T | 91,9 | 0,1 | <0,1 | 0,5 | 4,3 | 87 |
| GWM 3/13F | 315,5 | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 4,5 | 310 |
| GWM 3/13T | 764,1 | <0,1 | <0,1 | 1 | 3,1 | 760 |
| GWM 4/13F | 50,2 | 0,3 | 0,2 | <0,1 | 0,7 | 49 |
| GWM 4/13To | 487,5 | 0,7 | <0,1 | 0,7 | 6,1 | 480 |
| GWM 4/13Tu | 512,9 | <0,1 | <0,1 | 0,3 | 2,6 | 510 |
| GWM 5/13 F | 11,8 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,8 | 11 |
| GWM 5/13T | 5,2 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1,5 | 3,7 |
| GWM 6/13F | 66,5 | <0,1 | <0,1 | 0,2 | 1,3 | 65 |
| GWM 6/13T | 31,6 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,6 | 31 |
| GWM 7/13 F | 35 | 22 | 1,3 | 0,3 | 8,1 | 3,3 |
| GWM 7/13T | 0,8 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,8 | <0,1 |
| GWM 8/13 F | 11,8 | 3,2 | 0,4 | 0,2 | 2,6 | 5,4 |
| GWM 8/13T | 6 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1,9 | 4,1 |
| GWM 9/13F | 7,7 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 2,8 | 4,9 |
| GWM 9/13T | 0,5 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,5 | <0,1 |
| GWM 10/13F | 661,9 | 8,5 | 3,6 | 2,8 | 630 | 17 |
| GWM 10/13T | 25 | <0,1 | <0,1 | 0,2 | 16 | 8,8 |
| RW 3/13 | 110,3 | <0,1 | <0,1 | 0,1 | 0,2 | 110 |
| RW 11/13 | 170,5 | <0,1 | <0,1 | 0,2 | 0,3 | 170 |
| Ludwigshof TW | 0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,1 |

Im Oktober 2016 wurden insgesamt geringere LHKW-Gehalte ermittelt als im Mai 2016.

Die analysierten LHKW-Gehalte reichen von nicht nachweisbar (n.n.) bis zu 1.087,7 µg/l LHKW. LHKW-Werte oberhalb von 1.000 µg/l wurden nur in zwei Proben in ML06 mit 1.087,7 µg/l und Bs1 mit 1.041,1 µg/l in der südlichen Fahne festgestellt.

Im Vergleich zur Geringfügigkeitsschwelle (GFS) von 20 µg/l LHKW liegen 53 der 73 auf LHKW untersuchten Grundwasserproben oberhalb der GFS.

Die flächenhafte Verteilung der LHKW ist für Mai und Oktober 2016 in den Anlagen 1.6.1 und 1.6.2 dargestellt. Gemäß den vorliegenden Ergebnissen und in Kenntnis der Voruntersuchungen wurden zwei LHKW-Fahnen - eine nördliche und eine südliche Fahne - im UG modellhaft dargestellt.

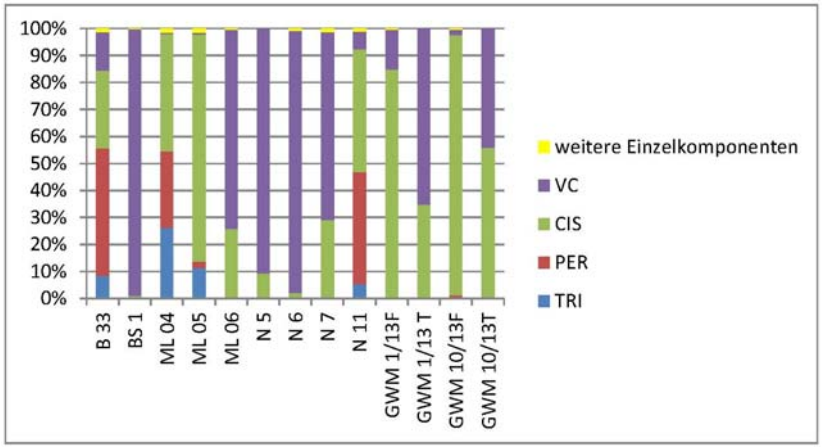
In der nördlichen LHKW-Fahne wurde im Oktober 2016 ein maximaler Gehalt von 235 µg/l (N7) ermittelt. Die Fahnenlänge mit Gehalten größer 100 µg/l beträgt ca. 1,45 km.

In der südlichen LHKW-Fahne wurde ein maximaler Gehalt von 1.087,7 µg/l (ML06) festgestellt. Die Fahnenlänge hier beträgt ca. 1,6 km (Gehalte > 100 µg/l).

Im östlichen Fahnenrandbereich sind beide Fahnen vereinigt, so dass eine Unterteilung nicht mehr sinnvoll ist.

Die Verteilung der Einzelkomponenten (TRI, PER und CIS) sowie der Anteil VC geben Aufschluss zu Verteilung und Abbau der Einzel-LHKW. Die folgenden Abbildungen sind daher in vier Bereiche im UG aufgeteilt. Die Bereiche sind in der flächenhaften Verteilung der LHKW in den Anlagen 1.6.1 und 1.6.2 visualisiert. Die relative Einteilung wird wie folgt vorgenommen:

- BE0 - BE1: höchstbelasteter Fahnenbereich
- BE1 - BE2: hochbelasteter Fahnenbereich
- BE2 - BE3: belasteter Fahnenbereich
- BE3 /BE5 - Rhein: Fahnenrand



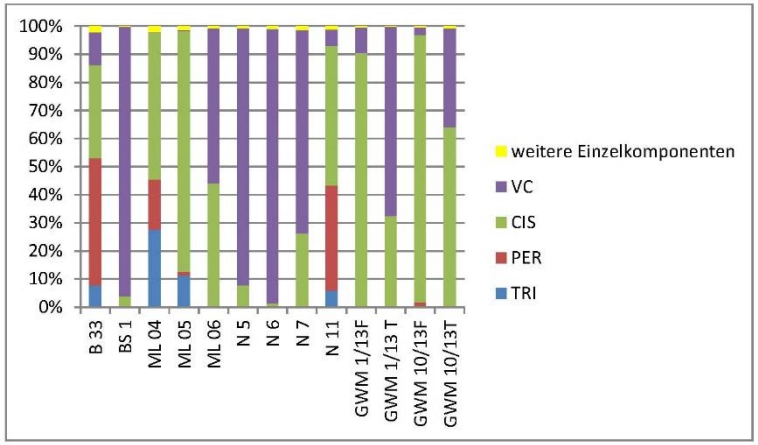
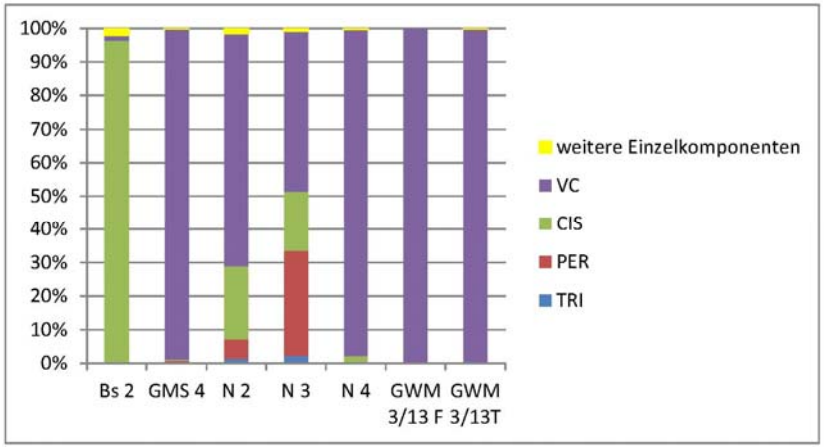




Abbildung 7-4: LHKW-Einzelkomponenten BE0 – BE1
(links: Mai 2016, rechts: Oktober 2016)



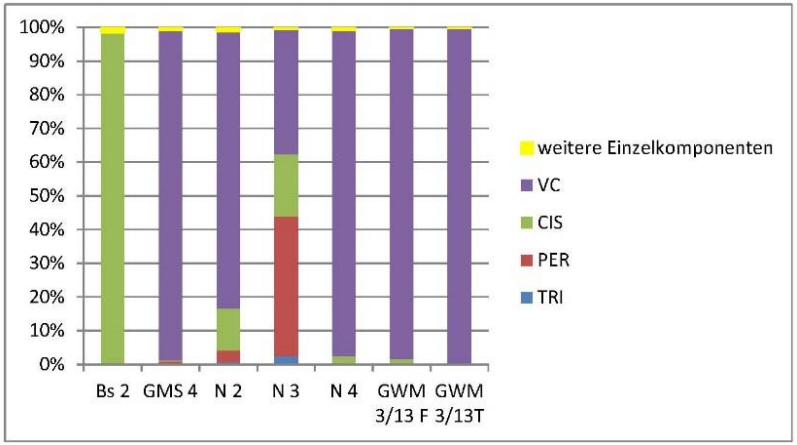
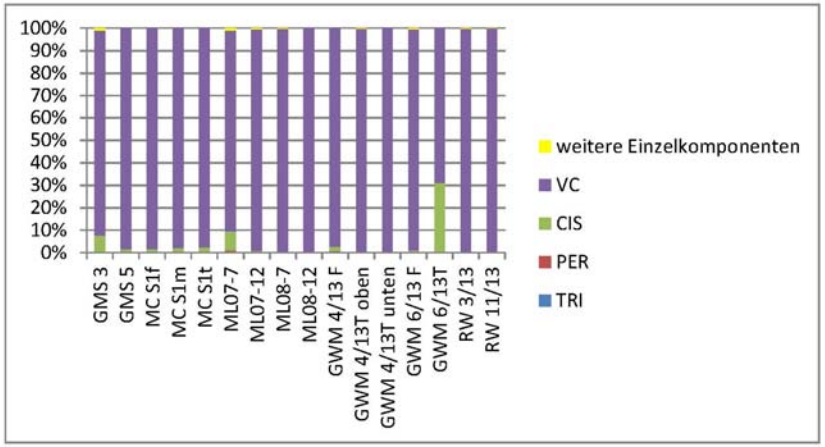




Abbildung 7-5: LHKW-Einzelkomponenten BE1 – BE2
(links: Mai 2016, rechts: Oktober 2016)



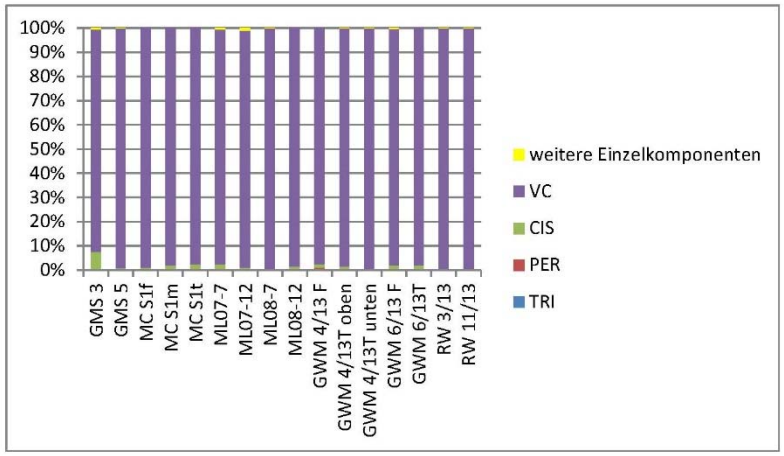
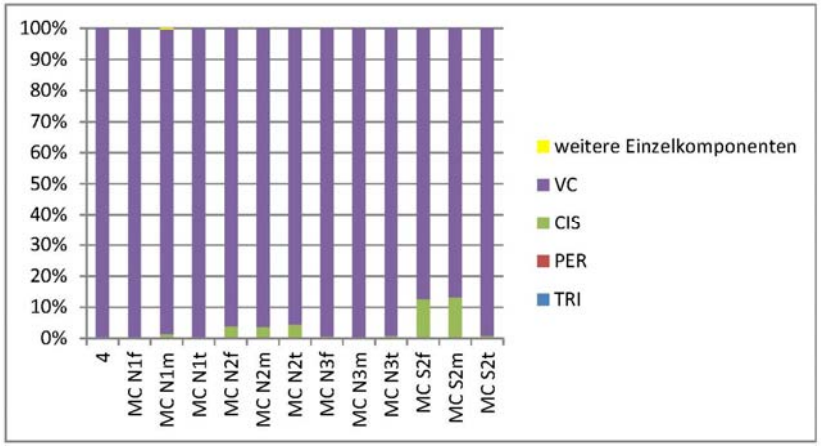




Abbildung 7-6 LHKW-Einzelkomponenten BE2 – BE3
(links: Mai 2016, rechts: Oktober 2016)



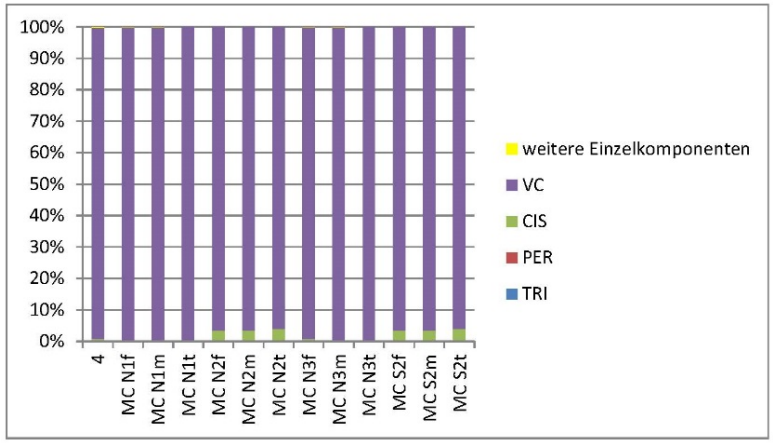




Abbildung 7-7: LHKW-Einzelkomponenten BE3 / BE5 - Rhein
(links: Mai 2016, rechts: Oktober 2016)

Aus den vier Einzeldarstellungen ist ersichtlich, dass es in Richtung Abstrom im Untersuchungsgebiet grundsätzlich zu einer Verschiebung der prozentualen Zusammensetzung der LHKW kommt. Am Fahnenanfang (BE0 – BE1) sind PER, TRI, CIS und VC vorhanden. Im nahen Abstrom (BE1 - BE2) sind vorrangig die Komponenten CIS und VC sowie in N2 und N3 Per vorhanden. Im Bereich des weiteren Abstromes (BE2 – BE3) sowie Fahnenrandes (BE3 / BE5–Rhein) werden die LHKW fast ausschließlich durch VC repräsentiert. Die Änderung der Hauptkomponenten von PER / TRI über CIS zu VC zeigt eine Reduzierung der Primärschadstoffe und ein Ansteigen der Metabolite und somit natürliche Dehalogenierungsprozesse an.

Die zeitliche Entwicklung der LHKW-Gehalte im UG ist ebenfalls nach Fahnen getrennt dargestellt. Die Darstellung erfolgt für Messstellen mit mehrjährigen Daten. Die Messstellen, die keiner Fahne zugeordnet werden können, sind gesondert dargestellt.

Im Folgenden ist die Entwicklung der LHKW-Gehalte für die nördliche Hauptfahne dargestellt.

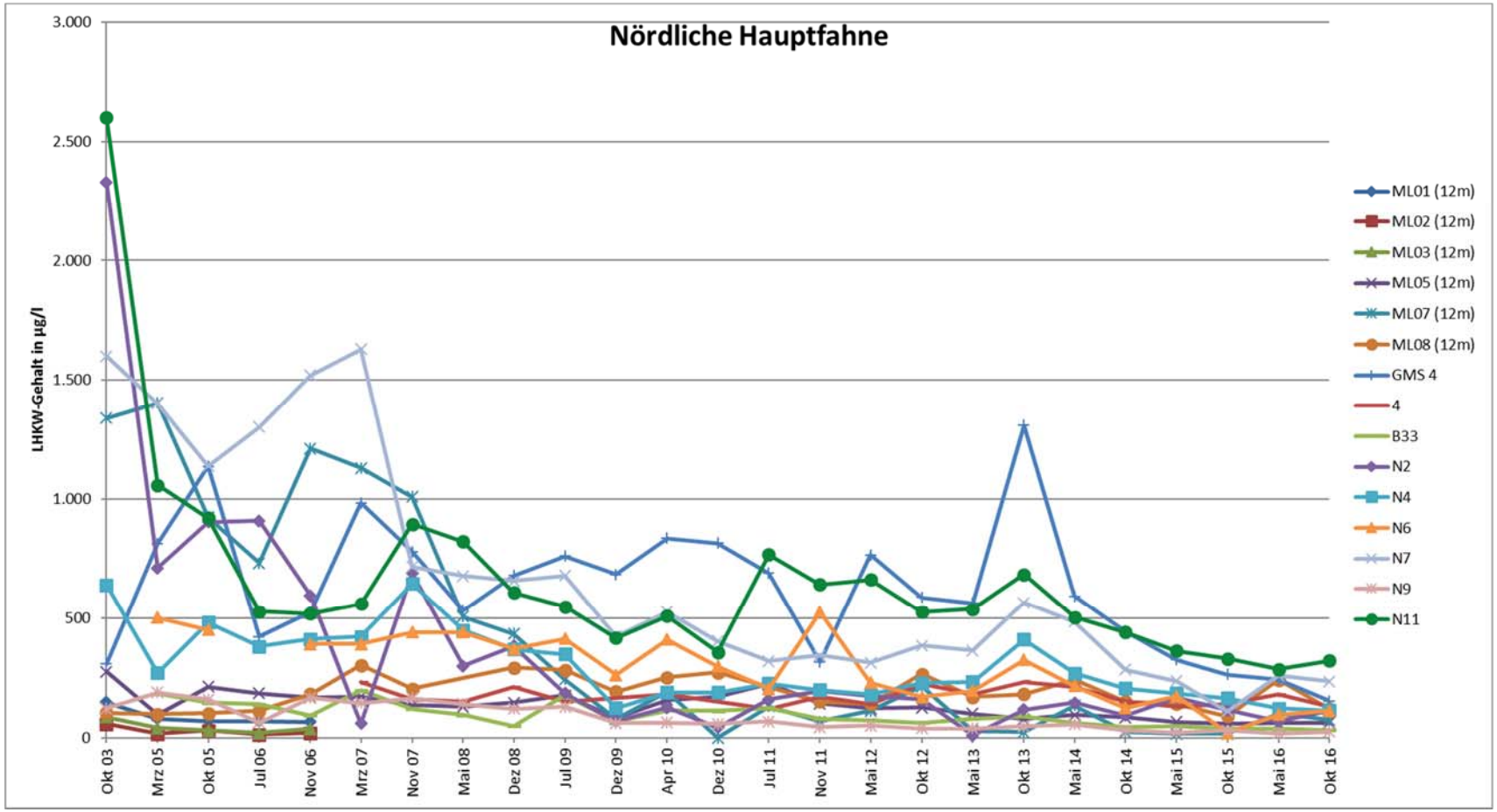



Abbildung 7-8: Entwicklung der LHKW-Gehalte in der nördlichen Hauptfahne

Aus den Ganglinien ist ersichtlich, dass sich die Schadstoffgehalte von Mai 2008 bis Oktober 2013 auf einem etwa vergleichbaren Niveau befanden. Im Oktober 2013 zeigten die Messstellen mit hohen LHKW-Gehalten eine vergleichsweise Erhöhung zur vorherigen Messung an. Seit Oktober 2013 ist eine Verringerung der LHKW-Konzentrationen festzustellen. Für die nördliche Hauptfahne kann daher von einem leicht regressiven Zustand ausgegangen werden.

Für die Messstelle GMS 4 ist die Entwicklung der LHKW-Gehalte vergleichend mit der Entwicklung des Grundwasserstandes dargestellt.

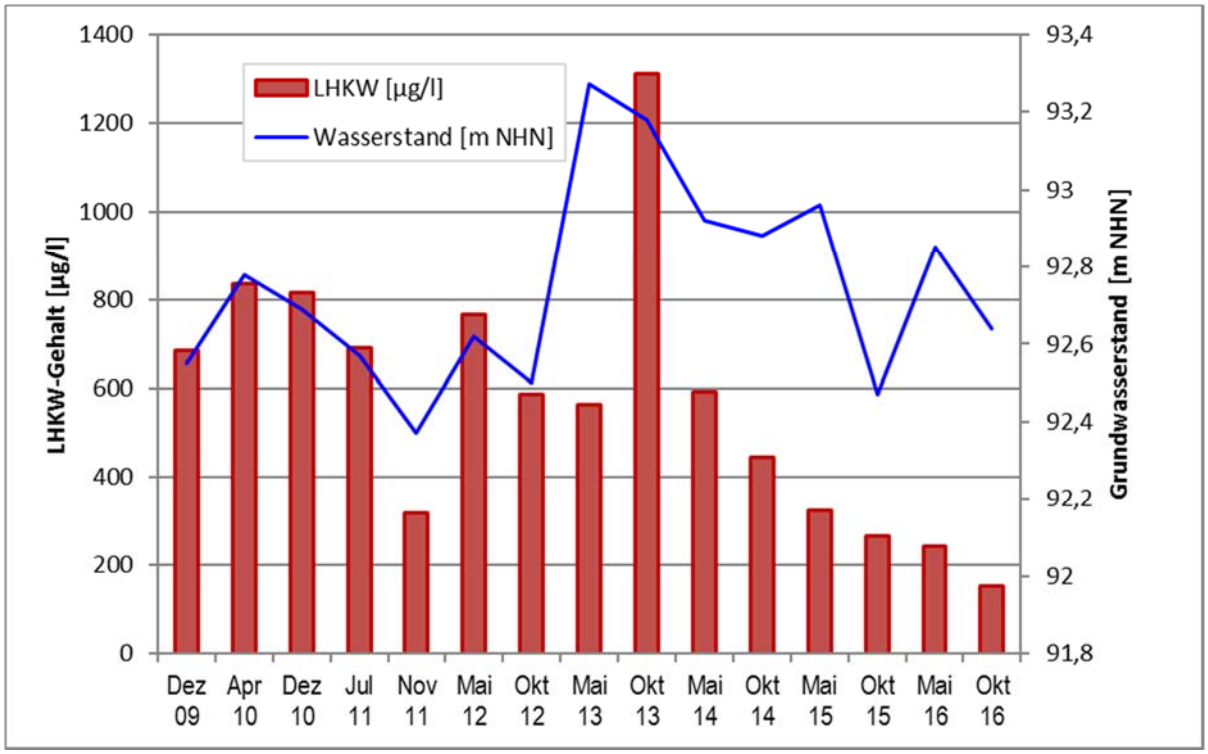



Abbildung 7-9: Entwicklung von Wasserstand und LHKW-Gehalt in GMS 4

Die Abbildung zeigt, dass der LHKW-Gehalt in GMS 4 bei den Höchstwerten mit dem Grundwasserstand korrespondiert. Nach dem sehr hohen Wasserstand im Mai /Okt. 2013 war auch der höchste ermittelte LHKW-Gehalte zu verzeichnen. Ab der Frühjahrskampagne 2014 sinken die LHKW-Gehalte trotz Schwankungen im Grundwasserstand.

Aus den Daten kann abgeleitet werden, dass das Hochwasser vom Juni 2013, das den höchsten Grundwasserstand nach sich zog, zu einer Mobilisierung der Schadstoffe mit späterer Aufkonzentration bei wieder gesunkenen Grundwasserständen geführt hat.

In der folgenden Abbildung ist die Entwicklung der LHKW-Gehalte im Grundwasser der südlichen Hauptfahne graphisch darstellt (Daten bis 2011 aus [U3]). Auch hier erfolgt die Darstellung für Messstellen mit mehrjährigen Daten im Monitoring.

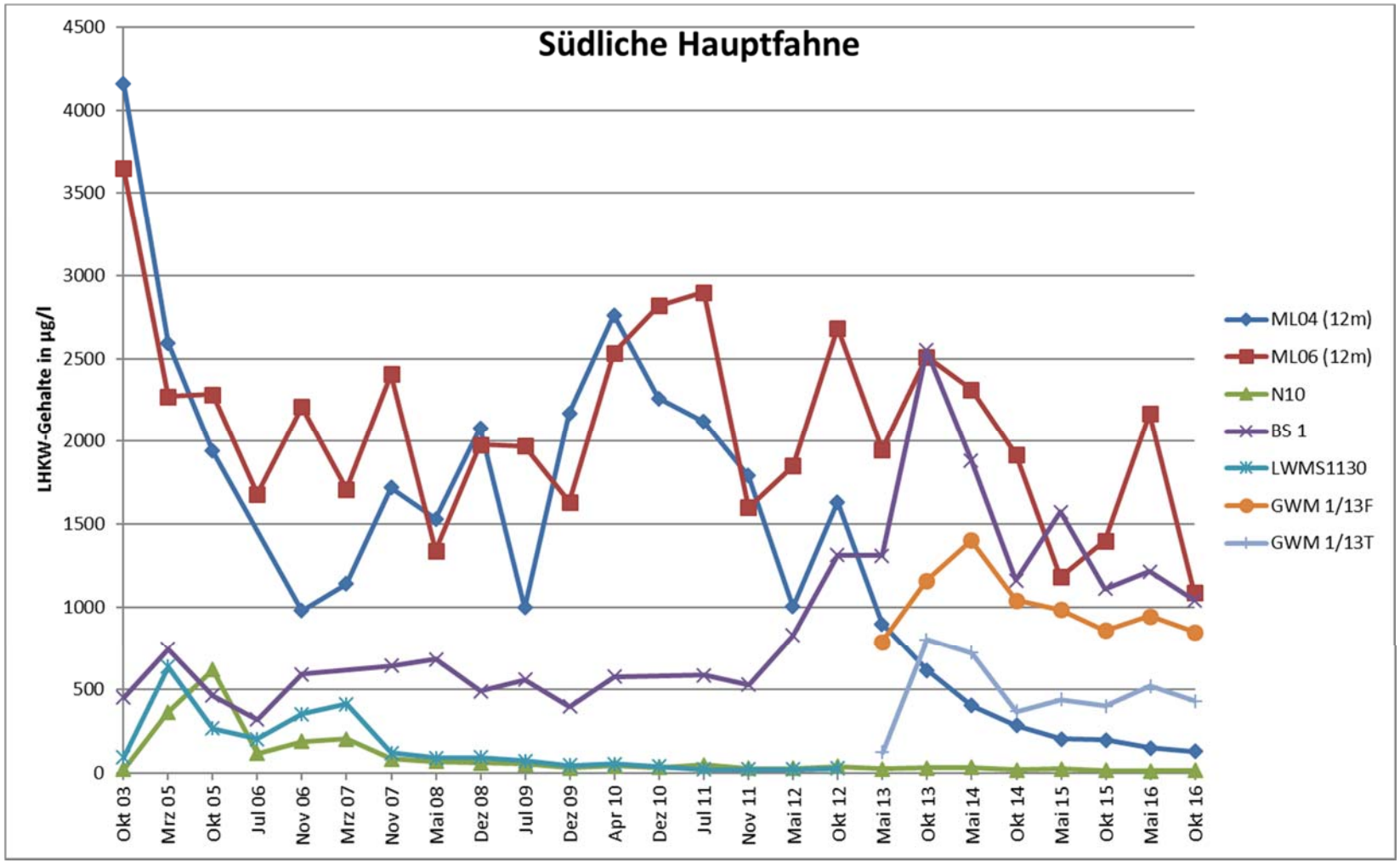



Abbildung 7-10: Entwicklung der LHKW-Gehalte in der südlichen Hauptfahne

Die Abbildung zeigt, dass für den Betrachtungszeitraum von 2005 bis 2013 trotz größerer Schwankungen weder eine signifikante Verringerung noch eine Erhöhung der Gehalte zu verzeichnen ist. Für die Messstelle Bs1 ist eine deutliche Erhöhung des LHKW-Gehaltes seit Nov. 2011 bis Okt. 2013 zu verzeichnen. Für den Zeitraum seit Oktober 2013 bzw. Mai 2014 sind auch für die Messstellen der südlichen Fahne Verringerungen der LHKW-Gehalte ablesbar.

Die Messstellen N10, LWMS 1130 (bis Okt.12) und ML04 (ab 2010) zeigen einen langjährigen Trend zur allmählichen Verringerung der Schadstoffgehalte.

Für die Messstellen Bs1 und ML06 kann ein Vergleich von Wasserstand und LHKW-Gehalt nicht sinnvoll vorgenommen werden, da der Wasserstand nur für ausgewählte Messungen vorliegt, bzw. bei ML06 der Wasserstand nicht mit den Umgebungsmessstellen korrespondiert. Im Folgenden ist die Entwicklung von Wasserstand und LHKW-Gehalt für die Messstelle ML04 dargestellt.

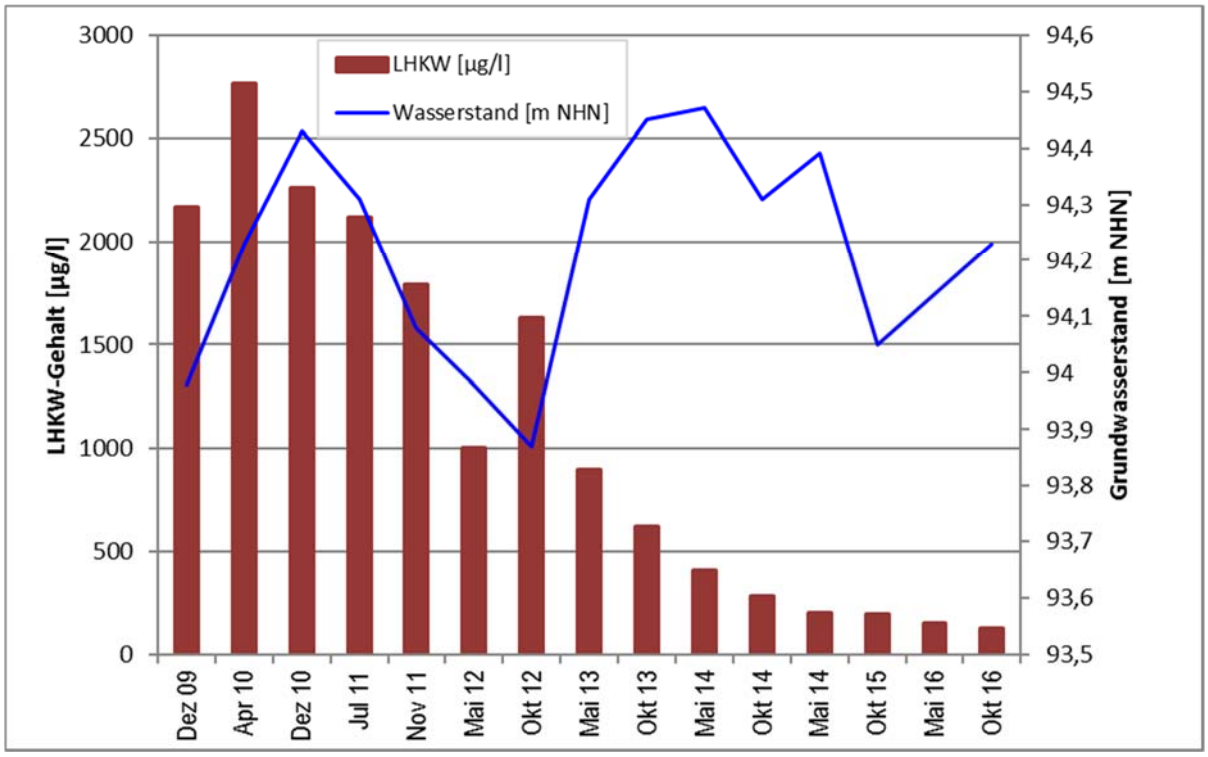



Abbildung 7-11: Entwicklung von Wasserstand und LHKW-Gehalt in ML04

Bei Multilevel-Messstelle ML04 kann ein Zusammenhang zwischen Grundwasserstand und LHKW-Gehalt nicht hinreichend genau belegt werden. Bei hohen Wasserständen sind die LHKW-Gehalte zum Teil hoch. Im Jahr 2013 sind die Wasserstände vergleichsweise sehr hoch, die LHKW-Gehalte aber gesunken.

Die Graphik zeigt auch, dass die LHKW-Gehalte in der Multilevel-Messstelle ML04 seit April 2010 (mit Ausnahme von Oktober 2012) kontinuierlich sinken. Im April 2010 wurden noch 2.763 µg/l LHKW in ML04 ermittelt. Im Oktober 2016 sind es noch 129,9 µg/l LHKW.

In der folgenden Abbildung sind die Verläufe der Messstellen außerhalb der Hauptfahnen visualisiert (Daten bis 2011 aus [U3]). Die Darstellung erfolgt für Messstellen mit mehrjährigen Datensätzen.

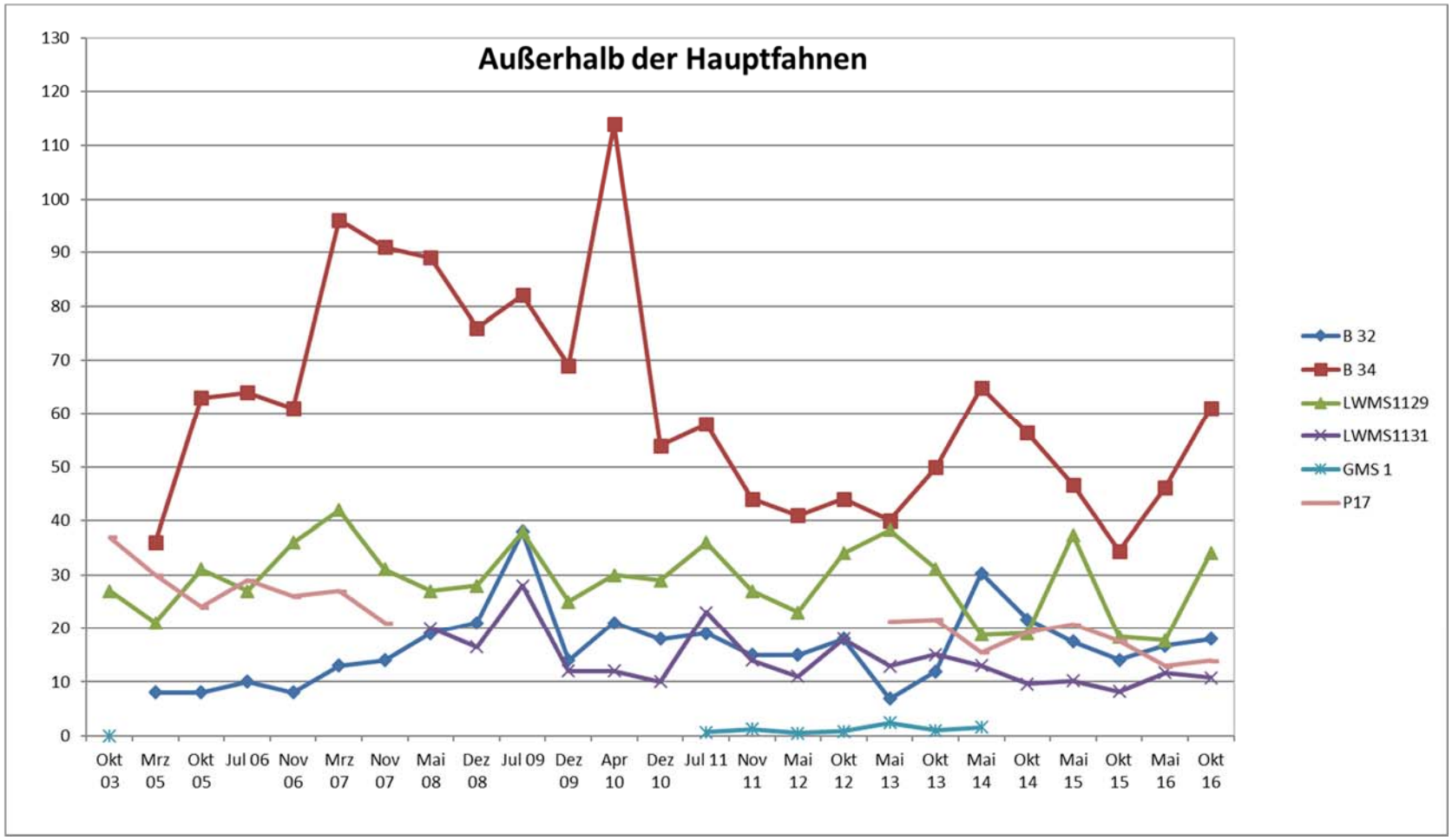



Abbildung 7-12: Entwicklung der LHKW-Gehalte außerhalb der Hauptfahnen

Abnahmetendenzen bei den LHKW-Gehalten sind bei den Messstellen zwischen bzw. außerhalb der Hauptfahnen aufgrund einer Erhöhung in 2016 nicht mehr ableitbar. Vor allem die Messstellen B 34 und LWMS 1129 weisen aktuell eine Erhöhung der Gehalte auf, die allerdings unterhalb der Höchstwerte liegt.

Aussagen zur vertikalen, fahnenunabhängigen Schadstoffverteilung können mittels der Messstellengruppen getroffen werden.

Die Ergebnisse von Oktober 2016 sind exemplarisch im Folgenden als Graphik zusammengefasst.

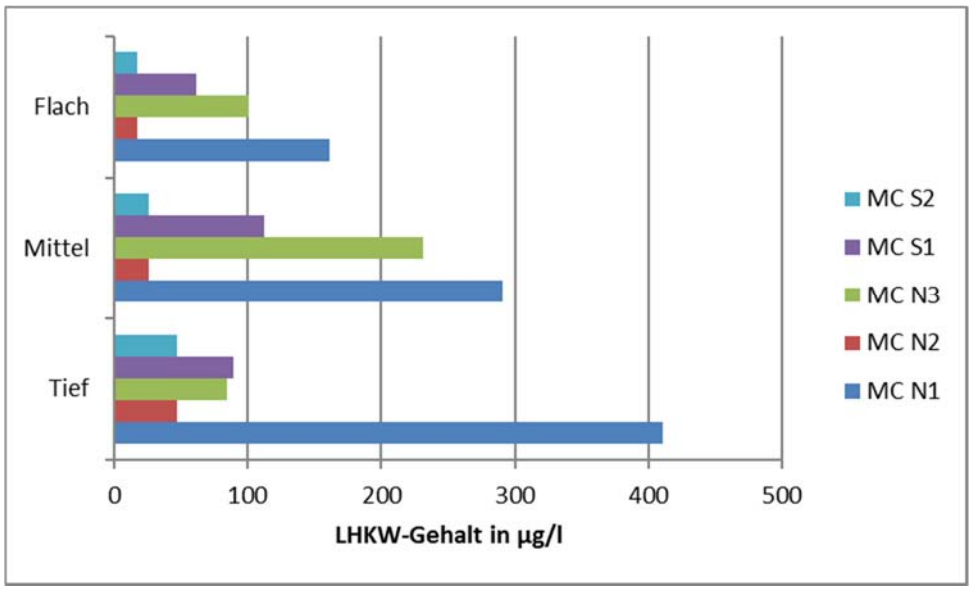



Abbildung 7-13: Vertikale LHKW-Verteilung in den Messstellengruppen (3 Messstellen)

Eine vertikale Zonierung der LHKW-Gehalte in den Messstellengruppen mit 3 Messstellen ist bei den dargestellten Ergebnissen erkennbar.

In den drei Messstellen MC N1, MC N2 und MC S2 nehmen die Gehalte mit der Tiefe zu.

Zwei Messstellen (MC N3, MC S1) weisen die höchsten Gehalte im mittleren Bereich des Grundwasserleiters auf.

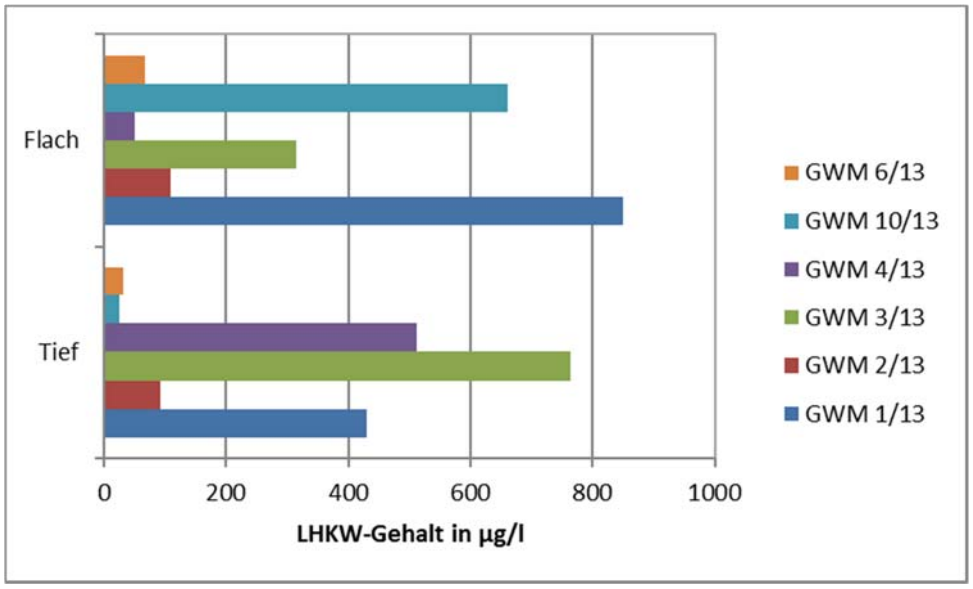



Abbildung 7-14: Vertikale LHKW-Verteilung in den Messstellengruppen (2 Messstellen)

Bei den Messstellengruppen mit jeweils zwei Messstellen (und Gehalten größer 50 µg/l) weisen nur GWM 3/13 und GWM 4/13 eine vertikale Zunahme mit Erhöhung von oben nach unten in den LHKW-Gehalten auf. Die anderen 4 dargestellten Messstellen weisen jeweils im oberen Aquifer die höheren Gehalte auf.

Insgesamt ist festzustellen, dass ein eindeutiger Trend in der Teufenorientierung der LHKW-Belastung im Grundwasser für das UG aus den Ergebnissen nicht ableitbar ist.

### 7.2.4 Beurteilung des natürlichen Abbaus

Der Kenntnis natürlicher Schadstoffminderungsprozesse, deren Beurteilung und anschließender Berücksichtigung bei der Entscheidung über Sanierungsmaßnahmen kommt gerade bei LHKW-Schadensfällen im Grundwasser große Bedeutung zu. Maßnahmen zur Überwachung des natürlichen Abbaus (Monitored Natural Attenuation - MNA) dienen der Kontrolle der Wirksamkeit von natürlichen Schadstoffminderungsprozessen.

Die Änderung der prozentualen Zusammensetzung der Einzelkomponenten PER, TRI und CIS im Fahnenverlauf beider Fahnen (siehe Abbildung 7-4 bis Abbildung 7-7) zeigt das Stattfinden eines mikrobiellen Abbauprozesses unter anaeroben Bedingungen an. Im Folgenden werden die Milieu- und Reaktionsparameter im Hinblick auf einen natürlichen Schadstoffabbau näher betrachtet.

Mögliche Veränderungen der Hydrochemie im Zusammenhang mit ablaufenden Abbauprozessen sind in der folgenden Tabelle exemplarisch und als Tendenz für die Schadstoffgruppe einschließlich relevanter Reaktionspartner und sonstiger Indikatoren dargestellt.

Tabelle 7-7: Messwertänderungen im Grundwasser bei Stoffumwandlungsprozessen mit LHKW (Quelle [U29])

| Parameter | Teilprozess | Tendenz der Konzentration |
|---|---|---|
| LHKW – PER, TRI, CIS, VC (Elektronenakzeptoren) | Reduktive Dechlorierung (cometabolischer Abbau) | Reduzierung der Primär-schadstoffe, Ansteigen der Metabolite, Reduzierung bzw. Ansteigen der Redoxpartner |
| LHKW – CIS, VC (Elektronendonatoren) | Aerober/anaerober metabolischer Abbau, Nitratreduktion, Manganreduktion, Eisenreduktion, Sulfatreduktion, Methanogenese | Reduzierung der Primärschadstoffe, Reduzierung bzw. Ansteigen der Redoxpartner |
| Gelöster Sauerstoff (Elektronenakzeptor) | Aerobe Veratmung | sinkt |
| Nitrat (Elektronenakzeptor) | Nitratreduktion | sinkt |
| Ammonium (Reaktionspartner) | Nitratreduktion/Ammonifikation | steigt |
| Mangan (II) (Reaktionspartner) | Mangan (IV)-Reduktion | steigt |
| Eisen (II) (Reaktionspartner) | Eisen (III)-Reduktion | steigt |
| Sulfat (Elektronenakzeptor) | Sulfatreduktion | sinkt |
| Sulfid/Schwefelwasserstoff (Elektronenakzeptor) | Sulfatreduktion | steigt |
| Methan (Reaktionspartner) | Methanogenese | steigt |
| DOC | Kohlenstoff- und Energiequelle, hoher DOC beschleunigt die mikrobielle Dechlorierung | sinkt |
| Redoxpotential | Summe der Redoxprozesse | sinkt |

In Anlehnung an Tabelle 7-7 sind in der folgenden Tabelle die Gehalte der Milieu- und Reaktionsparameter jeweils für die nördliche und südliche LHKW-Fahne zu einem hydrochemischen Profil zusammenfasst. Die jeweilige Fahne wurde dabei in Bereiche zwischen den Betrachtungsebenen unterteilt.

Die Betrachtungsebenen sind in den Anlagen 1.6.1 und 1.6.2 ersichtlich. Sie sind wie folgt charakterisiert (gemäß [U5]):

- BE0 - BE1: höchstbelasteter Fahnenbereich
- BE1 - BE2: hochbelasteter Fahnenbereich
- BE2 - BE3: belasteter Fahnenbereich
- BE3 /BE5 - Rhein: Fahnenrand

Bei Ableitbarkeit von Tendenzen für den Ablauf von Abbauprozessen wurden diese erfasst. Die Ergebnisse der Mai-Beprobung sind blau dargestellt, die der Oktober-Beprobung schwarz.

Tabelle 7-8: Hydrochemisches Profil der nördlichen LHKW-Fahne (Mai/Okt.2016)

| Milieu-/ Reaktions-parameter | | BE0 – BE1 | BE1 – BE2 | BE2 – BE3 | BE3 / BE5 – Rhein | Tendenz/Prozess (gemäß Tabelle 7-7) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Temperatur | °C | 12,3 – 14,1<br>12,9 - 15,0 | 12,4 – 13,0<br>13,5 - 15,3 | 10,7 – 12,8<br>13,4 - 18,2 | 12,0 – 13,5<br>12,6 - 13,6 | Temperaturerhöhung im Abstrom (Okt.2016), ggfs. Hinweis auf mikrobiologische Aktivität (auch jahreszeitbedingt) |
| Leitfähigkeit | µS/cm | 817 – 1.057<br>681 – 1.077 | 1.090 – 1.208<br>999 – 1.190 | 699 – 1.218<br>618 - 1.158 | 741 – 1.011<br>750 – 1.001 | erhöhte Leitfähigkeit im nahen und weiteren Abstrom, Anzeichen für vermehrte Ionenfreisetzung durch mikrobiolog. Abbau |
| pH-Wert | | 6,89 – 7,40<br>6,75 – 8,85 | 6,90 – 7,25<br>6,67 – 7,45 | 6,80 – 9,52<br>6,73 - 7,50 | 6,97 – 7,15<br>5,75 - 7,11 | pH-Wert überwiegend im Toleranzbereich bei reduktiver Dechlorierung, |
| Redoxpotenzial | mV | 162 – 323<br>119 - 306 | 156 – 251<br>274 - 334 | 87 - 168<br>14 - 172 | 132 – 154<br>153 – 215 | Tendenz zur Verringerung im nahen und weiteren Abstrom, schwach reduzierend |
| rH-Wert | | 20,5 – 25,4<br>19,3 - 24,6 | 19,3 – 23,4<br>22,9 – 26,7 | 16,7 – 20,5<br>15,2 – 19,7 | 18,8 – 19,7<br>17,3 – 21,8 | |
| Sauerstoffgehalt | mg/l | 0,22 – 0,40<br>0,00 - 0,72 | 0,00 – 0,31<br>0,00 - 3,40 | 0,10 – 0,30<br>0,10 - 0,90 | 0,10 – 1,00<br>0,00 - 0,70 | Überwiegend leichter Sauerstoffabbau, und anaerobe Verhältnisse |
| Nitrat | mg/l | < 1<br>< 1 | 2 – 21<br>< 1 – 57 | < 1<br>< 1 | < 1<br>< 1 | Nitratreduktion |
| Nitrit | mg/l | < 0,01<br>< 0,01 | < 0,01 – 0,31<br>< 0,01 - 0,11 | < 0,01<br>< 0,01 | < 0,01<br>< 0,01 | geringe Erhöhung im nahen Abstrom, keine signifikante Tendenz |
| Ammonium | mg/l | 0,30 – 0,60<br>0,31 - 0,74 | < 0,05 – 5,20<br>< 0,05 – 2,40 | 0,24 – 4,70<br>0,16 - 4,40 | 0,59 – 2,90<br>0,74 - 2,40 | steigende Gehalte im Abstrom, Ammonifikation, Hinweis auf Abbauaktivität, Einfluss von Altdeponie |
| Sulfat | mg/l | 85 - 115<br>75 – 140 | 140 – 167<br>130 - 170 | 73 – 150<br>85 - 160 | 76 - 91<br>78 – 100 | erhöhte Sulfatgehalte im nahen Abstrom (Fahnenbereich), Sulfatreduktion im weiteren Abstrom (Fahnenrand) |
| Eisen-(II) | mg/l | 1,4 - 2,0<br>1,3 - 2,3 | < 0,1 – 1,6<br>< 0,1 - 1,3 | 0,95 - 5,0<br>1,5 - 6,7 | 2,6 – 3,8<br>3,2 - 3,8 | Zunahme der Gehalte, Eisen-(III)-Reduktion im Abstrom, Hinweis auf Abbauaktivität |
| Mangan-(II) | mg/l | 0,54 - 0,90<br>0,48 - 0,80 | 0,08 - 0,43<br>0,37 - 0,47 | 0,12 - 0,47<br>0,26 - 0,67 | 0,41 – 0,98<br>0,53 - 1,20 | keine signifikante Tendenz, geringfügige Zunahme im weiteren Abstrom (Fahnenrand) |
| Methan | mg/l | 0,01 - 0,08<br>< 0,01 - 0,06 | < 0,01 – 0,09<br>< 0,01 - 0,03 | 0,02 – 2,60<br>0,03 – 0,53 | 0,10 - 0,33<br>0,10 - 0,28 | Zunahme im Abstrom, leichte Methanogenese, Abbauprodukt |
| DOC | mg/l | 2,0 – 2,9<br>2,1 - 2,6 | 4,6 – 8,6<br>3,4 – 9,9 | 3,1 – 5,5<br>2,8 – 4,8 | 2,5 – 4,2<br>2,4 – 3,8 | Zunahme im nahen Abstrom, eventuell Beeinflussung durch andere Nutzungen (Friedhof, ehem. Deponie) |

Betrachtete Messstellen:

| | |
|---|---|
| BE0 – BE1 | N11, N7,ML 05, N5, N6, B33 |
| BE1 – BE2 | N2, N4, GMS 4 |
| BE2 – BE3 | ML 07, ML 08, GMS 5, GMS 3, RW 11/13, RW 3/13, GWM 6/13 |
| BE3 – Rhein | MC N3, MC N2, 4 |

Mai 2016 blau gekennzeichnet

In der Tendenz sind für den Fahnenverlauf der nördlichen LHKW-Fahne die folgenden Prozesse gemäß der Werte des Grundwassermonitorings 2016 ableitbar:

- Indifferente Milieuverhältnisse mit Tendenz zu schwach reduzierenden Bedingungen
- leichter Sauerstoffabbau, überwiegend schwach anaerobe Verhältnisse
- Nitratreduktion und Ammonifikation im Abstrom
- Sulfat- und Eisen-(III)-Reduktion im weiteren Abstrom (Fahnenrand)
- Methanogenese

In der folgenden Abbildung ist für die nördliche Fahnenachse der Verlauf einiger Abbauparameter in Abstromrichtung graphisch dargestellt.

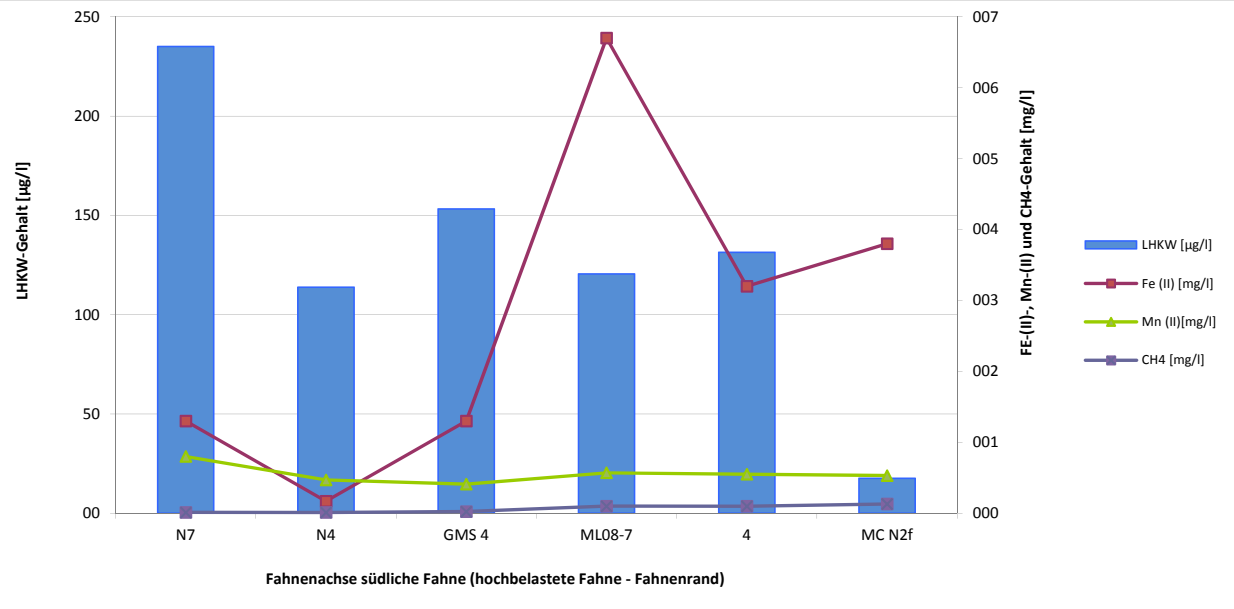



Abbildung 7-15: Verlauf von Abbauparametern in der nördlichen LHKW-Fahne

Die Abbildung zeigt eine deutliche Zunahme von Eisen-(II) in der Abstromfahne. In diesem Bereich findet eine Eisen-(III)-Reduzierung statt. Aus dieser Reaktion wird die Energie für den natürlichen Abbau gewonnen. Bei diesen wachstumsfördernden Reaktionen werden Elektronen von Elektronendonatoren (diese werden oxidiert) zu Elektronenakzeptoren (diese werden reduziert) transportiert.

Ein weiterer Trend im Fahnenverlauf ist die Zunahme von Methan im nahen Abstrom. Die Bildung von Methan erfolgt bei der reduktiven Dechlorierung und zeigt an, dass Fermentation stattfindet.

In der folgenden Tabelle ist ein hydrochemisches Profil für die südliche LHKW-Fahne betrachtet.

Tabelle 7-9: Hydrochemisches Profil der südlichen LHKW-Fahne (Mai/Okt. 2016)

| Milieu-/ Reaktions-parameter | | BE0 – BE1 | BE1 – BE2 | BE2 – BE3 | BE3/BE5 – Rhein | Tendenz/Prozess (gemäß Tabelle 7-7) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Temperatur | °C | 12,1 – 14,4<br>12,9 - 15,3 | 13,1 – 14,6<br>13,6 – 15,7 | 11,9 – 14,3<br>14,4 – 17,4 | 11,9 – 12,4<br>11,9 – 12,7 | Temperaturerhöhung im Abstrom, Hinweis auf mikrobiologischer Aktivität und jahreszeitbedingt |
| Leitfähigkeit | µS/cm | 800 - 976<br>781 - 980 | 918 – 951<br>809 – 946 | 929 – 1.170<br>985 – 1.105 | 901 – 929<br>881 – 918 | erhöhte Leitfähigkeit, Anzeichen für vermehrte Ionenfreisetzung durch mikrobiolog. Aktivität |
| pH-Wert | | 6,92 – 7,41<br>6,85 – 7,15 | 6,90 – 7,46<br>6,93 – 8,09 | (7,04) 7,10 – 7,34<br>6,87 - 6,90 (7,38) | 7,07 – 7,10<br>6,92 - 7,06 | pH-Wert im Toleranzbereich bei reduktiver Dechlorierung |
| Redoxpotential | mV | 144 – 322<br>124 – 280 | 165 - 344<br>124 - 315 | 84 – 102<br>(14) 169 – 179 | 102 – 107<br>156 – 180 | Tendenz zur Verringerung im Abstrom, schwach reduzierend |
| rH-Wert | | 19,1 – 25,2<br>18,3 - 23,7 | 20,7 – 25,9<br>20,5 – 26,9 | 17,6 – 17,8<br>(15,2) 19,7 – 20,0 | 17,8 – 17,9<br>19,6 – 20,2 | |
| Sauerstoffgehalt | mg/l | 0,35 – 1,00<br>0,10 – 1,30 | 0,18 – 0,50<br>0,00 – 0,10 | 0,05 – 0,30<br>0,00 – 0,01 (0,21) | 0,05<br>0,00 – 0,03 | Sauerstoffabnahme im Abstrom, anaerobe Verhältnisse |
| Nitrat | mg/l | < 1 –1,0<br>< 1 – 1,0 | < 1 – 13,0<br>< 1 – 11,0 | < 1<br>< 1 – 1,0 | < 1<br>< 1 | Nitratreduktion (Ursache für teilw. Erhöhung im nahen Abstrom unklar) |
| Nitrit | mg/l | < 0,01<br>< 0,01 | 0,01 - 0,07<br>< 0,01 - 0,08 | < 0,01<br>< 0,01 | < 0,01<br>< 0,01 | geringe Erhöhung im nahen Abstrom, keine signifikante Tendenz |
| Ammonium | mg/l | 0,06 - 0,57<br>0,06 - 0,54 | < 0,05 – 0,20<br>< 0,05 - 0,25 | 0,66 – 2,80 (3,60)<br>0,85 – 5,60 | 0,77 – 2,70<br>0,74 – 2,40 | steigende Gehalte im Abstrom, Ammonifikation, Hinweis auf Abbauaktivität |
| Sulfat | mg/l | 53 – 110<br>50 - 95 | 77 – 83<br>88 - 99 | 67 – 79 (93)<br>80 – 100 | 75 - 99<br>84 – 91 | Mai 2016: geringfügige Sulfat-Reduktion im Abstrom<br>Okt. 2016: keine signifikante Tendenz |
| Eisen-(II) | mg/l | 0,86 – 1,8<br>0,8 – 2,3 | 0,14 – 1,9<br>< 0,05 – 1,8 | 2,1 – 5,5<br>2,9 – 6,5 (6,7) | 4,8 – 7,3<br>3,8 – 6,2 | Zunahme der Gehalte im weiteren Abstrom, Eisen-(III)-Reduktion, Hinweis auf Abbauaktivität |
| Mangan-(II) | mg/l | 0,20 – 0,57<br>0,29 - 0,55 | 0,14 – 0,38<br>0,07 - 0,57 | (0,25) 0,49 –0,86<br>0,58 – 0,82 | 0,45 – 0,54<br>0,53 – 0,59 | leichte Zunahme im Abstrom |
| Methan | mg/l | 0,01 – 0,02<br>< 0,01 – 0,03 | 0,01 – 0,04<br>< 0,01 - 0,08 | 0,06 - 0,48<br>0,06 – 0,49 | 0,09 – 0,18<br>0,10 – 0,13 | Zunahme im Abstrom, Methanogenese, Abbauprodukt |
| DOC | mg/l | 1,6 – 2,4<br>1,3 – 5,4 | 2,5 – 2,9<br>2,1 – 3,0 | (3,1) 3,2 – 4,1<br>(2,8) 3,1 – 4,2 | 3,0 – 3,1<br>2,4 – 3,1 | keine signifikante Tendenz, Zunahme im nahen Abstrom, eventuell Beeinflussung durch andere Nutzungen (Friedhof) |

Betrachtete Messstellen:

| | |
|---|---|
| BE0 – BE1 | ML 04, ML 06, Bs 1, GWM 1/13, GWM 10/13 |
| BE1 – BE2 | N3, Bs 2, GWM 3/13 |
| BE2 – BE3 | MC S1, GWM 4/13, (ML 08) |
| BE3 – Rhein | MC S2, MC N1 |

Mai 2016 blau gekennzeichnet

In der Tendenz sind für den Fahnenverlauf der südlichen LHKW-Fahne die folgenden Prozesse gemäß der Werte des Monitorings 2016 ableitbar:

- Indifferente Milieuverhältnisse mit Tendenz zu schwach reduzierenden Bedingungen,
- leichte Sauerstoffzehrung, anaerobe Verhältnisse im Abstrom
- Nitratreduktion, Ammonifikation im Abstrom
- Eisen-(III)-Reduktion im weiteren Abstrom
- Methanogenese

In der folgenden Abbildung ist die Verteilung der am mikrobiologischen Abbau beteiligten Reaktionsparameter im Verlauf der südlichen LHKW-Fahne graphisch dargestellt.

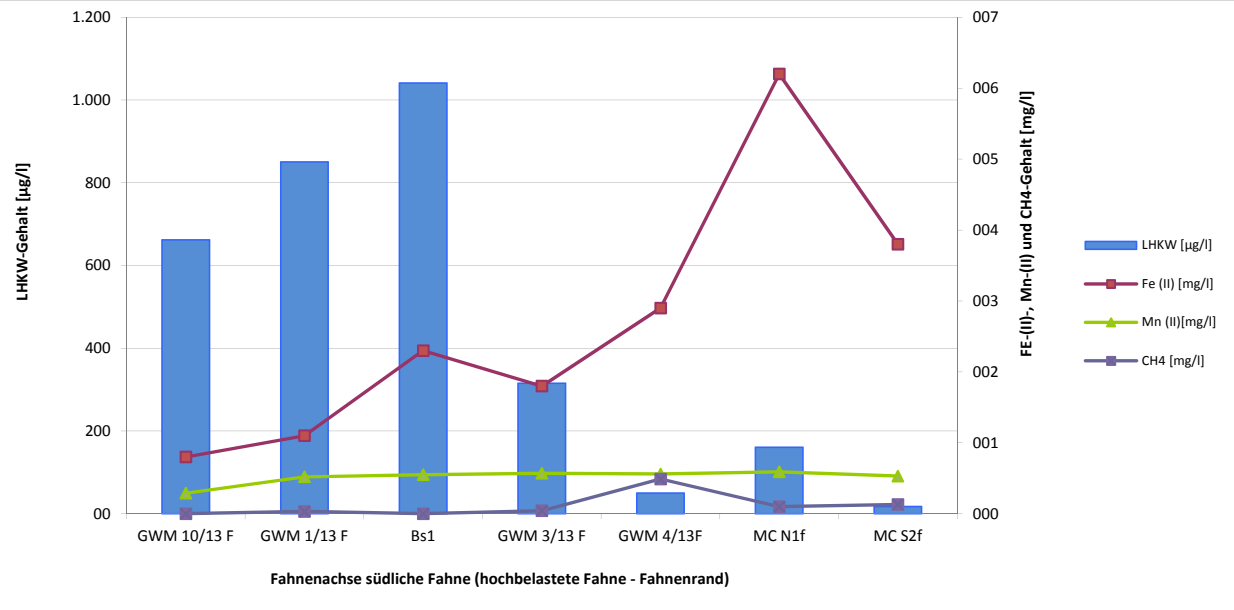



Abbildung 7-16: Verlauf von Abbauparametern in der südlichen LHKW-Fahne

Die Verteilung von Eisen-(II) in der Fahnentransekte der südlichen LHKW-Fahne zeigt das Ablaufen einer Eisen-(III)-Reduktion an. Ebenfalls erkennbar ist ein leichtes Ansteigen von Methan im Fahnenverlauf (reduktive Dechlorierung). Auch in der südlichen Fahne ist das Ablaufen eines natürlichen LHKW-Abbaus erkennbar (vgl. Aussagen zur nördlichen Fahne).

## 7.3 Analysenergebnisse Oberflächengewässer

Im Bereich der Messstellen Nord (TIBEAN 2) und Süd (TIBEAN 1) werden jeweils im Zuge der Wasserprobenahme die Temperatur und der Sauerstoffgehalt meterweise gemessen.

In nachfolgender Abbildung sind die Temperatur-und Sauerstoffkonzentrationen vom Messpunkt Süd (TIBEAN 1) für die Beprobungen im Mai und Oktober 2016 dargestellt.

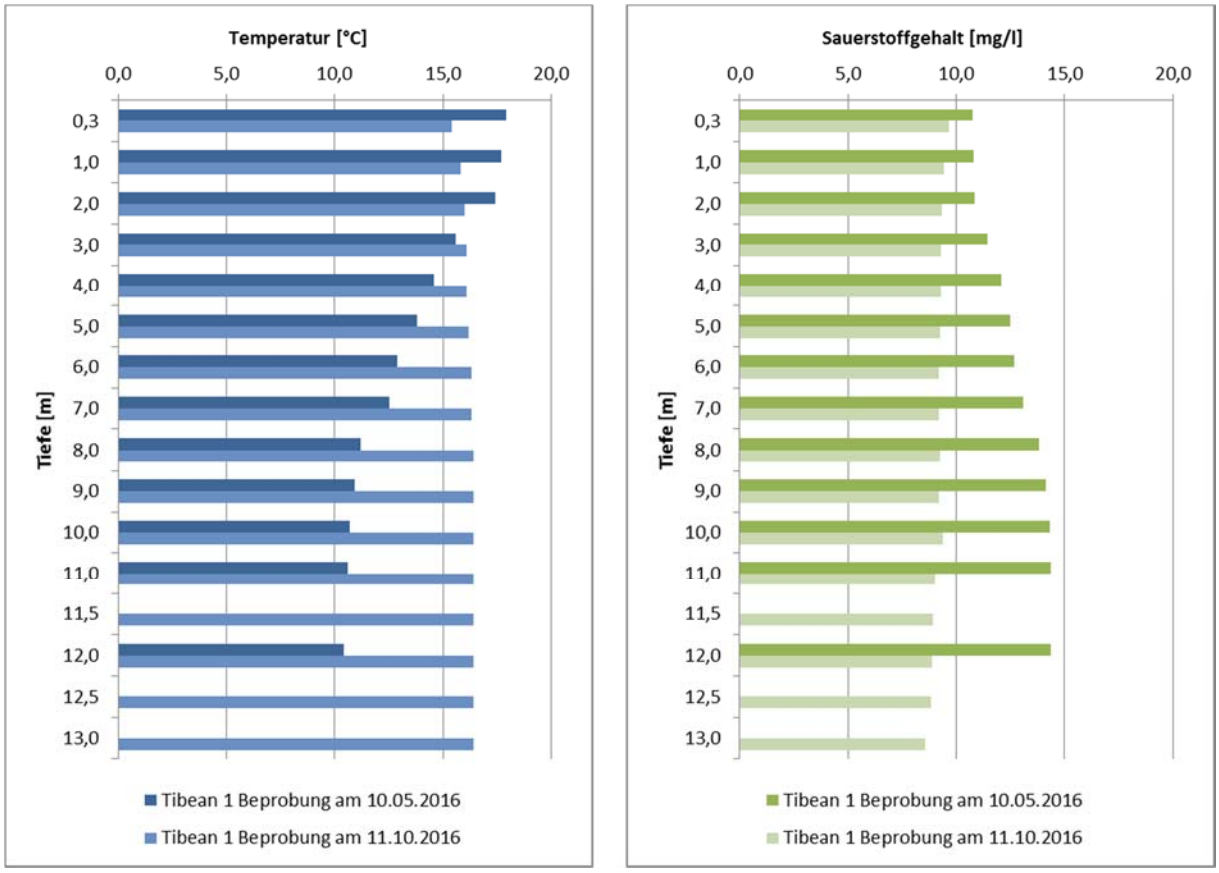



Abbildung 7-17: Vor-Ort-Parameter der Seebeprobung (Süd, TIBEAN 1) Mai / Okt. 2016

Bei der Probenkampagne im Mai 2016 wurde im Steinhäuserwühlsee eine Temperatur-Schichtung des Wasserkörpers nachgewiesen, wie dies ab dem Frühjahr/Sommer für dimiktische Seen typisch ist. Während in den oberen Seeschichten (Epilimnion) Temperaturen von maximal 17,9°C erreicht wurden, fallen diese in der Sprungschicht (Metalimnion) deutlich ab und erreichen in den tiefen Seeschichten (Hypolimnion) ihr Minimum bei 10,4°C. Im Oktober 2016 hingegen war diese Temperaturschichtung, aufgrund der jahreszeitlich bedingten Seezirkulation (Mixis), nicht mehr feststellbar. Die Temperaturen reichen von 15,4°C im oberen Bereich des Sees bis 16,4°C im Tiefenbereich.

Die Sauerstoffkonzentration am Messpunkt Süd lag im Mai 2016 bei 10,8-14,4 mg/l $O_2$. Damit war eine sehr gute Sauerstoffsättigung über das Seeprofil bis ins Hypolimnion gegeben, was auf die Wirksamkeit der TIBEAN zurückzuführen ist. Im Oktober 2016 zeigte sich aufgrund der Durchmischung des Sees eine einheitliche Sauerstoffverteilung mit Konzentrationen von 8,6 - 9,7 mg/l Sauerstoffgehalt.

In nachfolgender Abbildung sind die Temperatur-und Sauerstoffkonzentrationen vom Messpunkt Nord bzw. TIBEAN 2 für die Seebeprobungen im Mai und Oktober 2016 dargestellt.

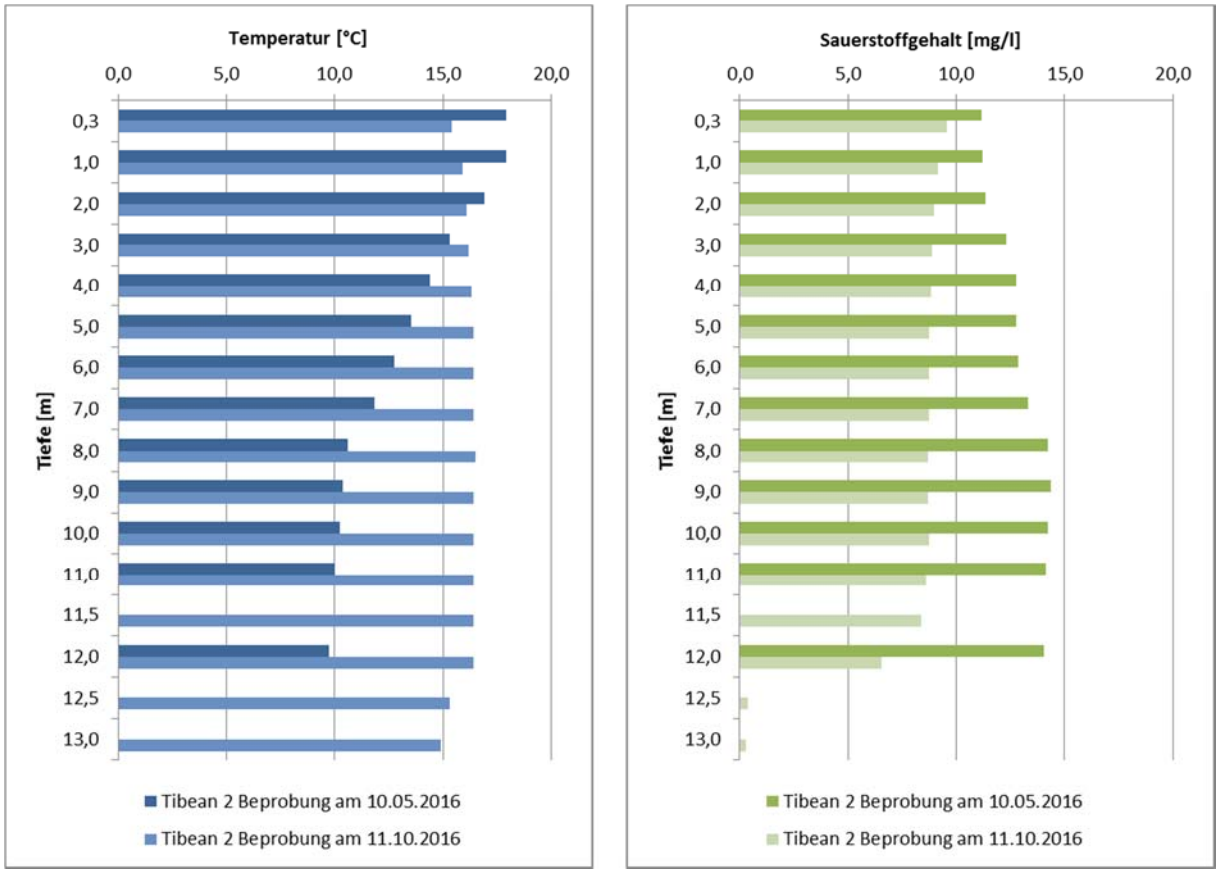



Abbildung 7-18: Vor-Ort-Parameter der Seebeprobung (Nord, TIBEAN 2) Mai / Okt. 2016

Im Temperaturprofil Nord zeigt sich ein ähnlicher Temperaturverlauf wie an Messpunkt Süd, mit einer deutlichen Teufenzonierung im Mai 2016 und zunehmenden Temperaturen in den oberen Seewasserschichten. Im Oktober 2016 ist auch hier eine gleichmäßige Temperaturverteilung zu beobachten. In den Monaten Mai und Oktober war ebenfalls eine durchgängige Sauerstoff-sättigung bis in 12 m Messtiefe zu verzeichnen.

Im Folgenden werden die LHKW-Analysenergebnisse exemplarisch aus 4 Tiefenniveaus der Seewasserbeprobung von Mai und Oktober 2016 aufgeführt. Die Beprobung dokumentiert den Seewasserzustand bei laufender Seeverbesserungsmaßnahme.

Die Analysenergebnisse der Beprobung im Mai 2016 zeigen, dass in allen Seewasser-Proben LHKW nachgewiesen wurde. Die LHKW-Gehalte liegen für alle betrachteten Tiefenbereiche unterhalb von 5 µg/l. Im Gesamtprofil wurden an der Messstelle Nord maximal 3,2 µg/l LHKW (6 m Tiefe) und an der Messstelle Süd maximal 4,1 µg/l LHKW (14 m Tiefe) gemessen. Der Summenparameter LHKW bestand ausschließlich aus VC. An der Messstelle Nord konnte in 6 m Tiefe eine leichte VC-Anreicherung nachgewiesen werden. In der Messstelle Süd nehmen die VC-Konzentrationen leicht mit der Tiefe zu. Die folgende Tabelle enthält die Analysenergebnisse der tiefenorientierten Seebeprobung am 10.05.2016 mit Summe LHKW und Gehalte der Einzelstoffe.

Tabelle 7-10: LHKW-Gehalte im Steinhäuserwühlsee am 10.05.2016

| Messstelle | LHKW [µg/l] | Tetrachlorethen [µg/l] | Trichlorethen [µg/l] | cis-1,2-Dichlor-ethen [µg/l] | Chlorethen (VC) [µg/l] |
|---|---|---|---|---|---|
| Nord 0,3m | 0,6 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,6 |
| Nord 6 m | 3,2 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 3,2 |
| Nord 10,0m | 2,2 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 2,2 |
| Nord 12,5m | 1,9 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1,9 |
| Süd 0,3m | 0,7 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,7 |
| Süd 6 m | 2,2 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 2,2 |
| Süd 10,0m | 3,5 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 3,5 |
| Süd 14 m | 4,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 4,1 |

Die im Zuge des Monitorings im Herbst 2016 ermittelten LHKW-Gehalte vom 11.10.2016 sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 7-11: LHKW-Gehalte im Steinhäuserwühlsee am 11.10.2016

| Messstelle | LHKW [µg/l] | Tetrachlor-ethen [µg/l] | Trichlorethen [µg/l] | cis-1,2-Dichlor-ethen [µg/l] | Chlorethen (VC) [µg/l] |
|---|---|---|---|---|---|
| Nord 0,3 m | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| Nord 6 m | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| Nord 10 m | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| Nord 13 m | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| Süd 0,3 m | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| Süd 6 m | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| Süd 10 m | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| Süd 14,5 m | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |

Die LHKW-Gehalte der Probenahme im Oktober 2016 liegen für alle Tiefenbereiche unterhalb der Nachweisgrenze von < 0,1 µg/l. Damit waren erstmals seit Messbeginn der See-Überwachung keine LHKW Gehalte im Oberflächenwasser des Steinhäuserwühlsees nachweisbar. Die Nicht-Befunde sind auf die Auswirkungen der am 01.07.2016 in den Regelbetrieb gegangenen Pump-& Treat-Maßnahme im Seeanstrom des Steinhäuserwühlsees zurückzuführen.

Ergänzend ist anzumerken, dass im Rahmen der TIBEAN-Maßnahme mehr Tiefenbereiche untersucht werden, als hier tabellarisch dargestellt sind. Die Ergebnisse aller Tiefenschichten sind im jeweiligen Monatsbericht zur Maßnahme einsehbar (vgl. [U 14]). Zusätzlich sind alle Ergebnisse auch in Anlage 4.4 enthalten.

Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung der LHKW-Gehalte seit 2011 im südlichen Bereich des Steinhäuserwühlsees. Es lässt sich eine deutliche Abnahme der VC-Konzentration bis 2016 im Messpunkt Süd erkennen. Eine Abnahme der VC-Konzentration ist mit dem Einsatz der Tiefenbelüftungsanlagen (TIBEAN) ab Mai 2014 besonders in den Tiefen zwischen 12,5 m und 15 m in den ausgewählten Probenahmen nachweisbar. Aus dem Verlauf ist erkennbar, dass besonders in Seebodennähe die LHKW-Konzentrationen jeweils über den Sommer (Stratifikation) zunahmen und im weiteren Verlauf des Jahres, mit Einsetzen der Durchmischung, wieder abnahmen. Bei der Oktoberbeprobung 2016 waren erstmalig seit Überwachungsbeginn über das gesamte Seeprofil keinerlei LHKW-Belastungen nachweisbar.

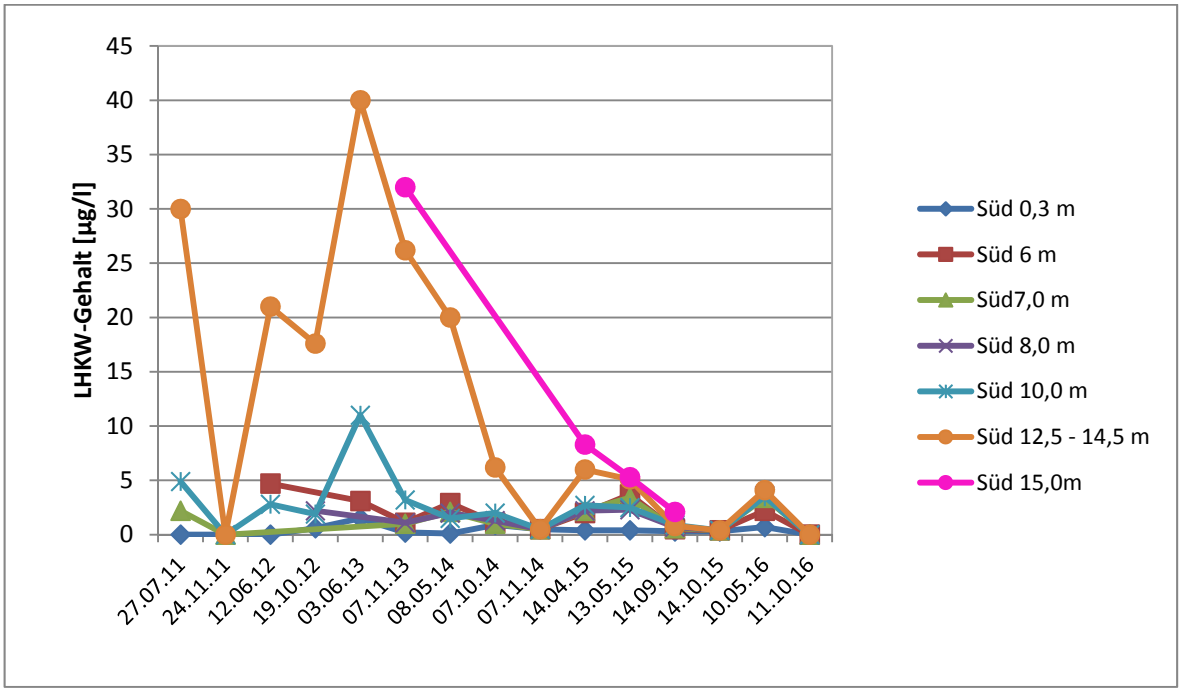



Abbildung 7-19: LHKW/VC-Gehalte im Steinhäuserwühlsee (Messst. Süd) seit 2011

Anmerkung: Für den Tiefenbereich 12,5-14,5 m ist der Maximalwert dargestellt.

Am Messpunkt Nord waren die LHKW-Konzentrationen zu Beginn der Überwachung im Vergleich deutlich geringer. Hier schwankten die LHKW-Gehalte auf einem niedrigen Niveau, mit kurzzeitiger Zunahme der LHKW-Konzentration, besonders in 6 m Tiefe, über die Sommer-monate. Bei der Oktober-Beprobung 2016 wurden auch am Messpunkt Süd über das gesamte Seeprofil keine Gehalte an LHKW ermittelt.

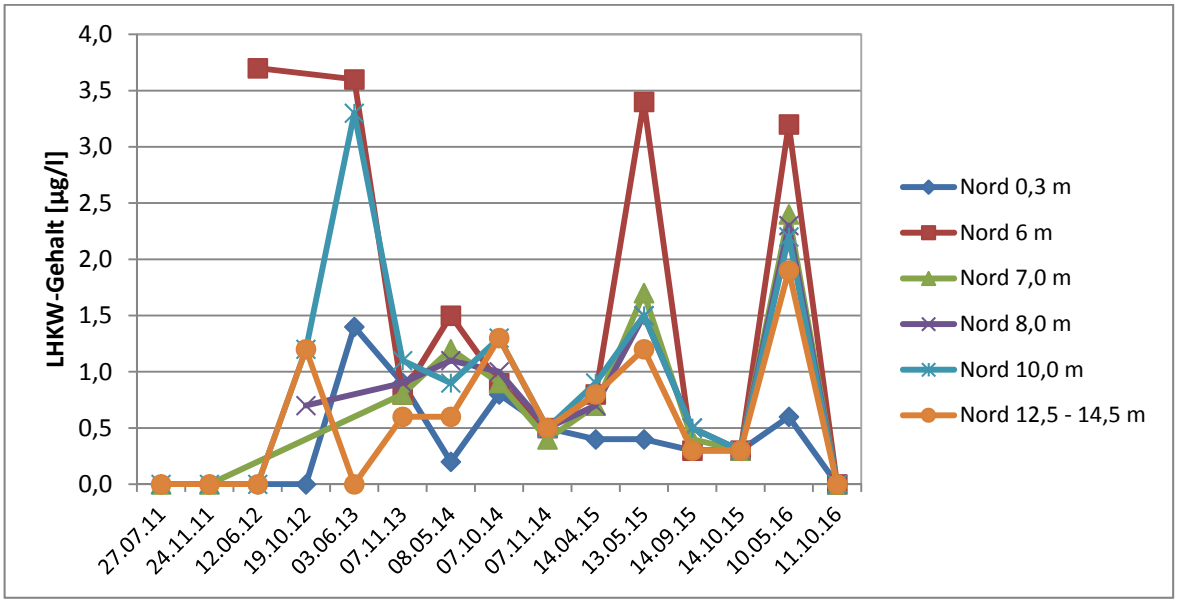



Abbildung 7-20: LHKW/VC-Gehalte im Steinhäuserwühlsee (Messst. Nord) seit 2011

Anmerkung: Für den Tiefenbereich 12,5-14,5 m wird der Maximalwert dargestellt.

Es ist festzustellen, dass ausnahmslos seit März 2015 während dem TIBEAN Betrieb an beiden Messpunkten in den obersten 0,3-3 m Tiefe der Grenzwert von 1,5 µg/l VC eingehalten wurde. Seit Juni 2016 wurden keine Gehalte >0,5 µg/l VC gemessen.

In der folgenden Abbildung sind die Ergebnisse für Mai 2016 tiefenorientiert dargestellt, auf die Darstellung für Oktober 2016 wurde aufgrund nicht nachweisbarer LHKW-Gehalte verzichtet. Im Mai 2016 wurde an der Seemessstelle Süd der Maximalgehalt mit 4,1 µg/l VC in 14 m Seetiefe gemessen. Insgesamt zeigten die Konzentrationen am Messpunkt Süd eine leichte Zunahme mit der Tiefe. Am Messpunkt Nord war im Mai 2016 eine Anreicherung im Bereich der 6 m-Schicht messbar. Grundsätzlich waren die VC-Konzentrationen von max. 4,1 µg/l im Vergleich zu 2013/2014 deutlich geringer.

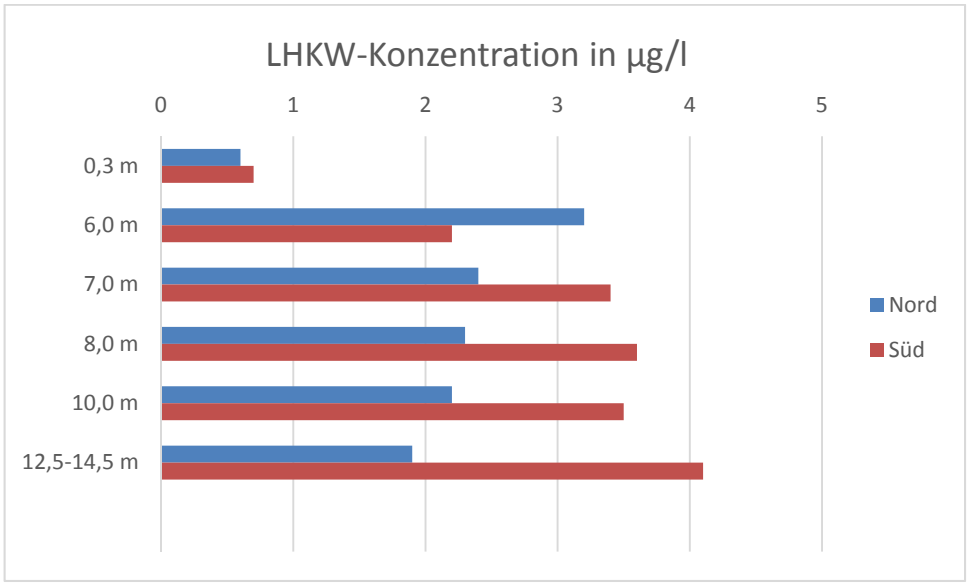



Abbildung 7-21: Teufenorientierte LHKW-Gehalte im Steinhäuserwühlsee Mai 2016

Anmerkung: Für den Tiefenbereich 12,5-14,5 m wird der Maximalwert dargestellt.

## 7.4 Messergebnisse Datenlogger

Im Folgenden werden die Messergebnisse der Datenlogger kurz dargestellt und ausgewertet. Eingegangen wird auf die Parameter Wasserstand (m NHN), Temperatur (°C) und Leitfähigkeit (µS/cm).

Hydraulische Verhältnisse:

Der Grundwasserstand lag in den 12 GWM mit DFÜ-Loggern im Zeitraum Mai bis Oktober 2016 bei einem Maximum von ca. 95,2 m NHN und einem Minimum von ca. 90,5 m NHN (s. Abbildung 7-22). Über den Messzeitraum betrachtet liegen im Fahnenbereich weitgehend ausgeglichene Grundwasserverhältnisse vor, mit Ausnahme der beiden Rhein-nahen GWM LWMS 1132 und MCN2F, die grundsätzlich größeren GW-Schwankungen unterworfen sind. Während die niedrigsten Wasserstände im Herbst zu verzeichnen waren, stiegen diese ab Jahresbeginn kontinuierlich an. In den Sommermonaten war, bis auf kurzzeitige Anstiege infolge von Starkregenereignissen, eine kontinuierliche Abnahme der GW-Stände erkennbar.

Allgemein höhere Wasserstände sind in GWM 8/13 (Fahnenanfang) und N7 (Bilanzebene BE1) sowie zeitweise in LWMS 1132 (Nahbereich Rhein) sichtbar, was sich im lokalen GW-Fließverhalten widerspiegelt.

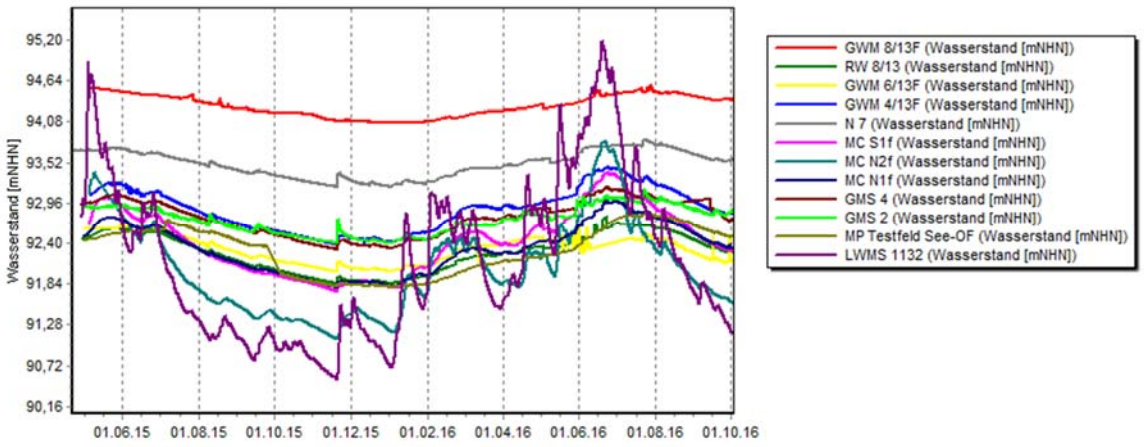



Abbildung 7-22: Wasserstandsganglinien der 12 DFÜ-Logger 2015/16

Hinsichtlich der Wasserstandsaufzeichnung werden über eine kleinere Messskala exemplarisch die grafische Auswertung der seeufernahen Messstelle RW 8/13 und des Seepegels MP Testfeld See-OF (Seemessstelle 1) ausgewählt. Bei den ausgewählten Pegeln im Seebereich zeigt sich die hydraulische Verbindung zwischen Grund- und Oberflächenwasser (siehe Abbildung 7-23).

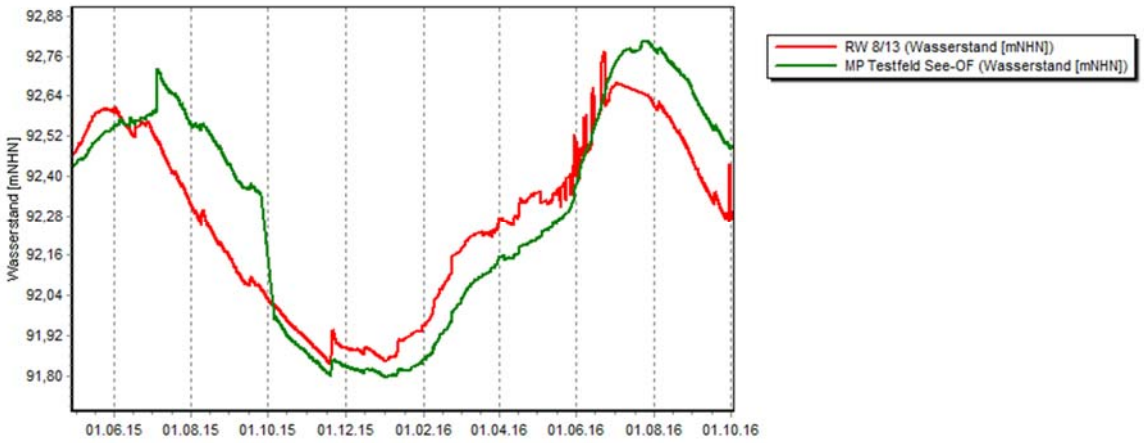



Abbildung 7-23: Wasserstandsganglinien der Logger RW 8/13, MP Tf. See-OF 2015/16

Anmerkung: Gerätebedingte Messanomalie beim Seepegel zwischen Juli-Sept. 2015, Logger wurde ausgetauscht. Die sprunghaften Wasserstands-Änderungen im Mai und Juni 2016, sowie einmalig Ende September 2016, sind auf Umstellungen der Pumpleistung in der Sanierungsanlage („Pump & Treat“) in Sanierungszone SZ3 zurückzuführen.

Auf dem Testfeld der Pilotsanierung zur Direktgasinjektion (Sanierungszone SZ2) sind seit dem 12.05.2016 drei weitere Grundwasserstand-Logger im Einsatz. Die Messwerte sind in der folgenden Grafik dargestellt (Abbildung 7-24). Der Grundwasserspiegel der im Anstrom zum Testfeld befindlichen GWM R0 01/16F liegt im Mittel ca. 5 cm höher als in der ca. 35 m abstromigen GWM R4 01/16F.

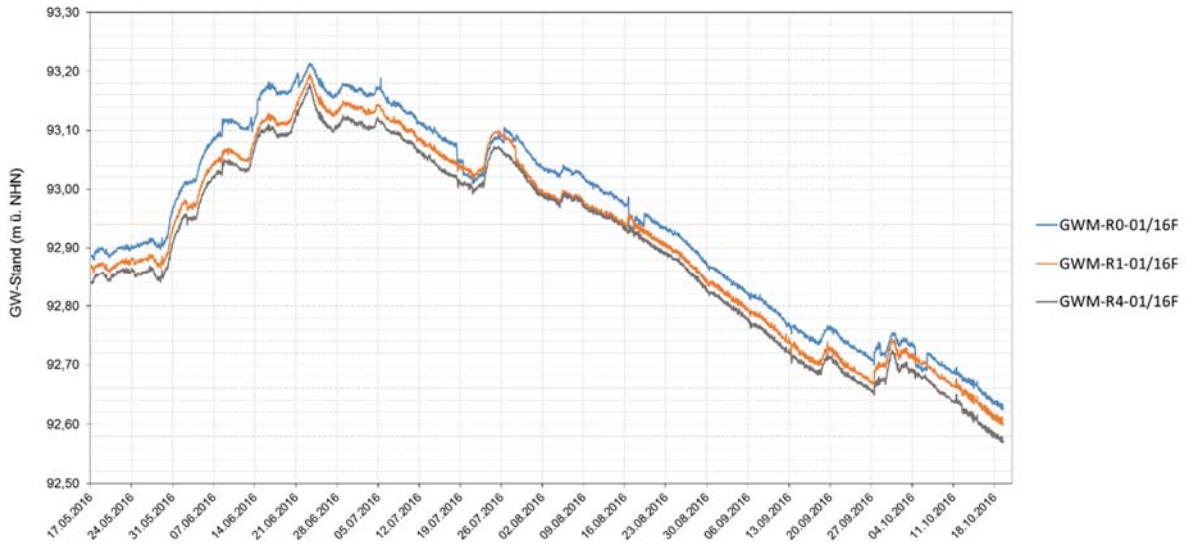



Abbildung 7-24: Wasserstandsganglinien der Logger im Testfeld, Mai – Okt. 2016

Temperatur:

Nachfolgende Grafik der Temperaturaufzeichnung (Abbildung 7-25) zeigt die Veränderung der Temperaturen im Oberflächenwasser (Messpunkt ca. 1 m u. Wasserspiegel) gegenüber der sich vergleichsweise geringfügig verändernden Grundwassertemperatur.

Im Zeitraum Oktober 2015 bis Oktober 2016 lag die Wassertemperatur des Oberflächenwassers, durch die jahreszeitlich bedingte Zunahme der Lufttemperatur, zwischen mindestens 4,0°C und maximal 26,5°C. Die Grundwassertemperaturen lagen im betrachteten Zeitraum zwischen 11,0°C am nördlichen Fahnenrand (GMS 2) und 16,5°C in Rheinnähe (LWMS 1132). Die höchsten GW-Temperaturen traten mit ca. 14-16°C in der GWM 4/13F und LWMS 1132 auf. Dieser Temperaturbereich ist für Grundwasser eher unüblich und kann bspw. auf einen verstärkten Austausch mit Oberflächenwasser (bei LWMS 1132 bspw. der Rhein) oder auch anthropogenen Einfluss (Industrie) zurückgeführt werden.

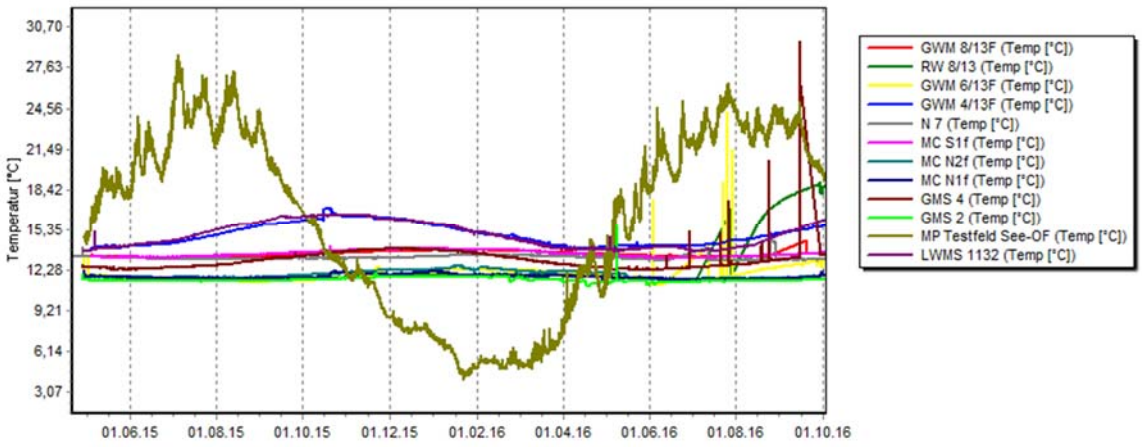



Abbildung 7-25: Temperaturverlauf, Aufzeichnung aller DFÜ-Logger 2015/16

Ebenfalls erhöhte GW-Temperaturen sind seit August 2016 in den im Anstrom zum See befindlichen Messstellen RW 8/13 und in geringerem Maße in GWM 6/13F messbar (Abbildung 7-26). Dies ist vermutlich durch die seit Mitte Juni 2016 vorherrschenden influenten GW-Verhältnisse bedingt, welche durch die GW-Absenkung der nahegelegenen Pumpbrunnen der Pump-&-Treat-Maßnahme verstärkt wurden.




Abbildung 7-26: Temperaturverlauf der Logger See / See-Anstrom 2015/16.

Elektrische Leitfähigkeit:

Die elektrische Leitfähigkeit im Einsatzbereich der Logger liegt im Grundwasser ähnlich wie im Vorjahr zwischen ca. 500 µS/cm (GMS 2) und 1.000 µS/cm (GWM 6/13F) und damit im üblichen Schwankungsbereich. Das Oberflächengewässer Steinhäuserwühlsee wies Anfang 2016 eine geringere Leitfähigkeiten als das Grundwasser auf, stieg aber ab Mai etwa bis auf den durchschnittlichen Wert des Grundwassers an. Grund hierfür können Regenarmut und die

Einleitung von ca. 90 m³/h im Seeanstrom abgepumptem Grundwasser (elektr. Leitfähigkeit rd. 800 mS/cm) durch die Reinwasserleitung der seit 01.07.2016 in den Regelbetrieb gegangenen Sanierungsanlage (Pump&Treat) im See-Anstrom sein. Auffällige Schwankungen der Leitfähigkeit konnten in der GMS 2 bobachtet werden, die aber im Oktober wieder annähernd das Ausgangsniveau von rd. 500 mS/cm erreicht. Die Messstelle wird fortlaufend genauer beobachtet.

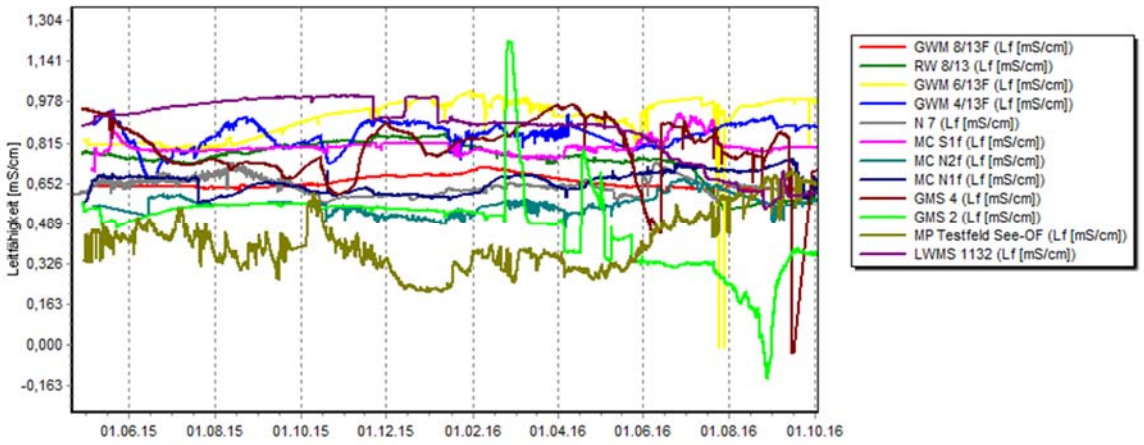



Abbildung 7-27: Ganglinienverlauf der elektrischen Leitfähigkeit 2015/16

# 8 BEWERTUNG

## 8.1 Grundwasser

Im Folgenden wird eine prozessbezogene Bewertung der Ergebnisse des Grundwasser-Monitorings 2016, unter besonderer Berücksichtigung der aktuellen Oktober-2016-Messdaten, mit Hilfe einer Beurteilung der LHKW-Kontamination innerhalb von festgelegten Bilanzebenen vorgenommen. Die Bilanzebenen wurden im Rahmen der Grundlagenermittlung zur Sanierungsuntersuchung [U5] eingeführt. Mit Hilfe der Bilanzebenen kann besser eingeschätzt werden, ob die Fahne sich progressiv, regressiv oder quasi stationär verhält.

Die Schadstoffkontamination wird in folgende Bilanzebenen eingeteilt:

- Fahnenanfang BE0 („Fahneninput“)
- höchstbelasteter Fahnenbereich BE0 - BE 1 („Reaktionsraum“)
- hochbelasteter Fahnenbereich BE1 - BE2 („Reaktionsraum“)
- belasteter Fahnenbereich BE2 - BE3 („Reaktionsraum“)
- Fahnenrand BE3 – BE5 („Pufferzone“)
- äußerer Fahnenrand BE5 – Rhein („Pufferzone“)

(Anmerkung: BE = Bilanzebene)

(Die Bilanzebenen BE4 und BE5 wurden 2015 im Rahmen der Erstellung des Sanierungs-konzeptes [U13] eingeführt. Die Bilanzebene BE4 entspricht der Uferlinie des Steinhäuserwühl-sees. Diese Bilanzebene wurde speziell zur Sanierungsüberwachung dieses Bereiches eingeführt. Für die Charakterisierung des Frachttransports im Rahmen des Monitorings wird diese Bilanzebene daher nicht betrachtet.)

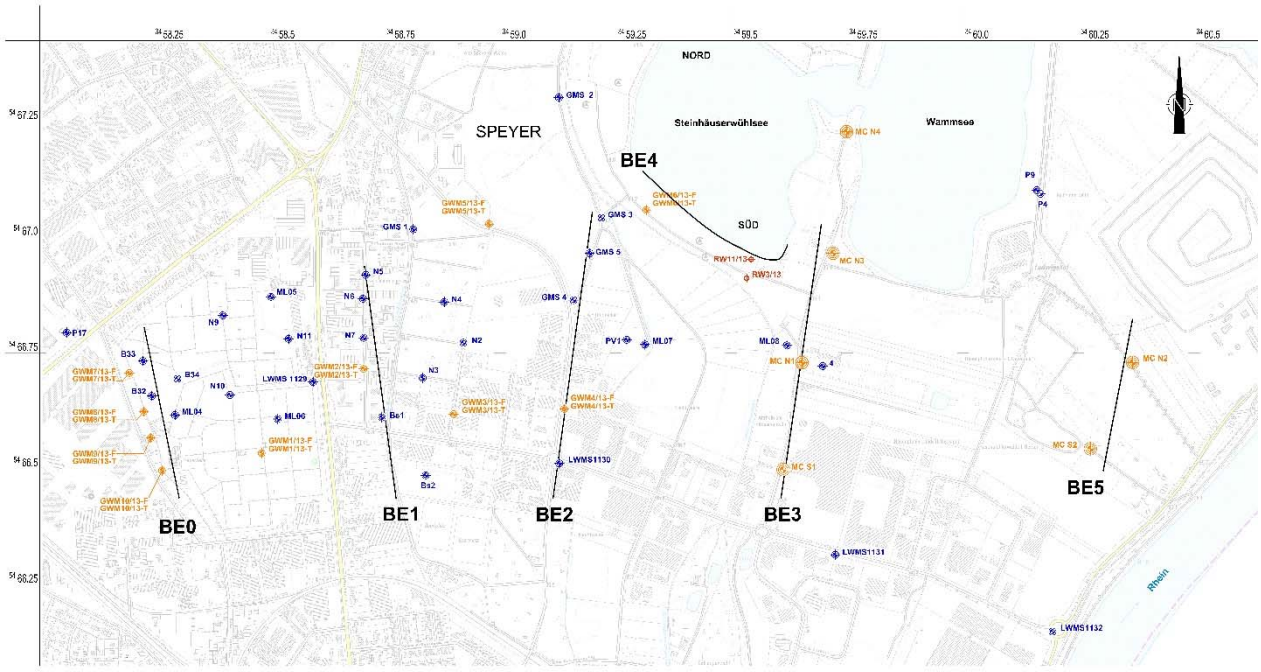



Abbildung 8-1: Bilanzebenen im Untersuchungsgebiet

### 8.1.1 Nördliche LHKW-Fahne

Der abgekoppelte Fahnenanfang in der nördlichen Hauptfahne wird von der Messstelle B33 repräsentiert. Hier wurde im Oktober 2015 ein LHKW-Gehalt von 33,2 µg/l ermittelt. Dieser Wert liegt oberhalb des GSW (von 20 µg/l Summe LHKW). Die Entwicklung der LHKW-Gehalte in dieser Zone bewegt sich seit 2009 etwa auf einem Niveau zwischen 33,2 und 120 µg/l LHKW. Seit November 2011 ist tendenziell eine leichte Verringerung des LHKW-Gehaltes zu verzeichnen. Noch muss aber von einer geringen Nachlieferung von LHKW ausgegangen werden.

In der nördlichen Fahne zwischen den Bilanzebenen BE0 und BE1 wurden im Oktober 2016 LHKW-Gehalte zwischen 26 und 321,4 µg/l ermittelt. Der Maximalwert entspricht dem ca. 16-fachen der GFS für LHKW. Der Summenparameter LHKW setzt sich hier vorrangig aus PER, CIS und VC zusammen. Die LHKW-Anteile lagen von 2009 bis 2013 auf einem vergleichbaren Konzentrationsniveau (siehe Anlage 4.3). Seit 2014 ist eine Verringerung der LHKW-Gehalte in den Messstellen mit den höchsten Gehalten zu verzeichnen. Messstellen mit geringeren Gehalten weisen z.T. eine leichte Erhöhung auf. Daher ist von einer sich leicht erhöhenden lateralen Verteilung der LHKW mit Verringerung der Spitzenwerte im Bereich BE0 – BE1 auszugehen, so dass die LHKW-Werte als regressiv, die Fracht aber als leicht steigend einzuschätzen ist (vgl. Kap. 8.1.3).

Zwischen den Bilanzebenen BE1 und BE2 wurden im Oktober 2016 LHKW-Gehalte zwischen 42,6 µg/l und 153,2 µg/l LHKW ermittelt. Dabei wurde das Maximum in der Messstelle GMS 4

analysiert. Auch auf dieser Betrachtungsebene ist in der nördlichen Fahne seit 2014 eine Verringerung der LHKW-Gehalte zu verzeichnen, so dass dieser Fahnenbereich nicht mehr als progressiv, sondern als quasi stationär bis leicht regressiv einzuschätzen ist. Als Einzelkomponenten der LHKW treten neben einem geringen Anteil PER vor allem VC und CIS auf. (Aufgrund des vorrangig aus VC zusammengesetzten LHKW-Summenwertes in den östlichen Fahnenbereichen wird auf ein Vergleich mit der GFS für LHKW-Summe verzichtet.)

Anmerkung: Bei der laufenden Pilotsanierung in SZ2 wurden aber auch deutlich höhere LHKW-/ VC-Gehalte gemessen (max. 783,6 µg/l LHKW in GWM-R4-01/16 in ca. 40 m Entfernung zu GMS 4). Dies zeigt die kleinräumig heterogene LHKW-Verteilung im Grundwasser der Nordfahne.

Im Fahnenbereich zwischen BE2 und BE3 wurden im Oktober 2016 LHKW-Gehalte zwischen 49 µg/l und 170 µg/l ermittelt. In dieser Betrachtungsebene der nördlichen Fahne sind die höchsten LHKW-Gehalte im Jahr 2016 deutlich gesunken. Der Bereich weist daher nicht mehr die Höchstwerte der nördlichen Fahne auf. Grund für die deutliche Verringerung sind die Sanierungsmaßnahmen in den Sanierungszonen SZ2 und SZ3. Der Bereich wird vorrangig mittels der im Jahr 2013 neu errichteten Messstellen charakterisiert. Seit 2014 (mit Forcierung im Jahr 2016) sind auch in diesem Bereich abnehmende Schadstoffgehalte zu konstatieren. Das im Abstrom vorrangig auftretende VC ist ein deutlicher Hinweis auf eine natürliche Dehalogenierung (bis zum VC).

Anmerkung: Auch bei der laufenden P&T-Maßnahme in SZ3 werden relativ starke LHKW-/ VC-Schwankungen beobachtet, mit einem Maximalwert von 1.402,6 µg/l LHKW in PB08/16 am 18.08.2016. Am 13.10.2016 wurden zwischen 6,5 µg/l (PB00/16) und 521,3 µg/l LHKW (PB05/16) gemessen (Lage siehe Anlage 1.3.3).

Im Fahnenrandbereich (BE3 / BE5 – Rhein) wurden LHKW-Gehalte zwischen 30,1 µg/l (MC N2) und 138,8 µg/l (MC N3) analysiert. In diesem Bereich zeigt die Entwicklung der Schadstoffgehalte keine langjährige Tendenz zur Verringerung. Die nördliche Hauptfahne ist im Fahnenrand als „quasistationär“ zu bezeichnen. Dieser Bereich des OGWL ist durch den Einfluss des Rheins wechselnden Grundwasserfließrichtungen unterworfen. Im Mai 2015 wurde eine Hochwassersituation mit der Messung dokumentiert (vgl.[U12]).

Die nördliche LHKW-Fahne kann insgesamt als leicht regressiv eingeschätzt werden. Hauptursache dafür sind die laufenden Sanierungsmaßnahmen in SZ2 und vor allem in SZ3.

Ein potenzieller natürlicher Schadstoffabbau ist aufgrund von Tendenzen zur Ammonifikation, Sulfat- und Eisen-(III)-Reduzierung und Methanogenese ableitbar. Eine signifikante Verringerung der Schadstoffgehalte ist allein durch den zurzeit ablaufenden natürlichen Abbau langfristig jedoch nicht zu erwarten, da dieser bei VC stagniert.

### 8.1.2 Südliche LHKW-Fahne

Der Fahneninput in der südlichen Hauptfahne wird seit 2013 durch die Messstelle GWM 10/13 belegt. Im oberen Bereich des GWL wurde im Oktober 2016 ein LHKW-Gehalt von 661,9 µg/l ermittelt (GWM 10/13F). Dieser Wert entspricht dem ca. 33-fachen der GFS. Seit 2013 schwanken die Werte in dieser Messstelle auf hohem Niveau (zwischen 661,9 und 1.640 µg/l LHKW) und haben bei der aktuellen Kampagne den niedrigsten Wert erreicht. Die langjährige Entwicklung der LHKW-Gehalte in dieser Zone kann mittels der Messstelle ML 04 verfolgt werden. In dieser GWM ist seit 2010 eine deutliche Verringerung der LHKW-Gehalte zu verzeichnen. Das Nachlieferungspotential für den südlichen Teil der Südfahne aus einem noch ungesicherten LHKW-Quellbereich auf dem TE-Gelände ist aber als hoch einzuschätzen.

Zwischen den Bilanzebenen BE0 und BE1 wurden im Oktober 2016 LHKW-Gehalte zwischen 129,9 und 1.087,7 µg/l ermittelt. Der Maximalwert entspricht dem ca. 55-fachen der GFS. Dieser Wert (ML06) stellt den höchsten Gehalt der südlichen Fahne und des gesamten Untersuchungsgebietes dar. (Jedoch ist zu berücksichtigen, dass die Repräsentanz der Messstelle ML06 als eingeschränkt beurteilt wird und sie daher in 2017 durch eine neue GWM ersetzt wird.) In Bs1 ist mit 1041,1 µg/l LHKW der zweithöchste Wert des UG festgestellt worden. Der Summenparameter LHKW setzt sich hier aus CIS und VC sowie untergeordnet aus TRI und PER zusammen. Die Gesamtkonzentrationen befinden sich für die Messstelle ML 06 seit 2005 auf einem vergleichbaren Niveau jedoch mit stärkeren Schwankungen (siehe Abbildung 7-10). Seit 2013 ist in dieser Messstelle eine leicht abnehmende Tendenz ablesbar. Bei Messstelle Bs1 war von 2011 bis 2013 ein Anstieg der LHKW-Konzentration zu verzeichnen, der seit 2014 wieder abnimmt.

Insgesamt ist in Bilanzebene BE0 – BE1 in der südlichen Fahne eine Verringerung der Konzentrationen zu verzeichnen.

Zwischen den Bilanzebenen BE1 und BE2 wurden im Oktober 2016 LHKW-Gehalte von 113,3 bis 539,8 µg/l ermittelt. Die langjährig betrachtete Messstelle Bs2 zeigt seit 2013 eine kontinuierliche Verringerung von 401 µg/l auf 114,8 µg/l. Die aktuelle Beprobung zeigt allerdings eine Erhöhung auf 204 µg/l LHKW in Bs2. Die in der Centerline der Fahne gelegene neue GWM 3/13 zeigt von 2013 bis 2015 eine Abnahme der Konzentrationen. Im Jahr 2016 sind allerdings auch hier die LHKW-Gehalte angestiegen. Die Fahnenentwicklung auf dieser Bilanzebene kann daher nicht mehr als regressiv, sondern aktuell als leicht progressiv eingeschätzt werden.

Im Fahnenbereich zwischen BE2 und BE3 wurden im Oktober 2016 LHKW-Gehalte zwischen 84,3 µg/l und 287,6 µg/l ermittelt. Für die Messstelle MC S1 am südlichen Fahnenrand ist eine leichte Zunahme der LHKW-Gehalte seit 2015 zu postulieren. Diese Betrachtungsebene kann als quasistationär bis leicht progressiv eingeschätzt werden. Als Einzelkomponente tritt überwiegend VC auf.

Im Fahnenrandbereich (BE3 / BE5 – Rhein) wurden im Oktober 2015 LHKW-Gehalte zwischen 30,1 µg/l und 87,7 µg/l analysiert. Am östlichen Fahnenrandbereich (MC S2) ist von quasi

stationären Verhältnissen auszugehen (vgl. Werteentwicklung in Anlage 4.3). Im Fahnenrandbereich überwiegt der Einzelparameter VC. Auch der Fahnenrand der südlichen Hauptfahne ist durch die Abflussverhältnisse des Rheins maßgeblich beeinflusst. Die Fließrichtung im Grundwasserleiter schwankt zwischen Südost bei effluenten Verhältnissen und Nordwest bei influenten Verhältnissen.

Die südliche LHKW-Fahne ist insgesamt im hochbelasteten Fahnenbereich als quasi stationär bis leicht regressiv einzuschätzen, wobei in den Grundwasserbereichen mit hohen LHKW-Gehalten größere Schwankungen in den Belastungen auftreten. Im belasteten Fahnenbereich bis Fahnenrand ist eine leicht progressive Schadstoffentwicklung zu verzeichnen.

Ein natürlicher Schadstoffabbau ist aufgrund von Tendenzen zur Ammonifikation, Eisen-(III)-Reduzierung und Methanogenese potenziell ableitbar. Eine signifikante Verringerung der Schadstoffgehalte allein durch den zurzeit ablaufenden natürlichen Abbau ist auch in der südlichen Fahne langfristig nicht zu erwarten.

### 8.1.3 Frachtbetrachtung

Für eine Frachtbetrachtung innerhalb der zwei LHKW-Fahnen im UG wurden die bereits definierten Bilanzebenen als Grundlage genommen (vgl. Kap. 8.1).

Die Frachtbetrachtung wird seit 2013 durchgeführt. Für den Zeitraum ab 2015 wurde zusätzlich die BE5 berücksichtigt. In der folgenden Tabelle sind die in die Frachtberechnung einbezogenen Messstellen zusammen-gefasst.

Tabelle 8-1: Zusammenstellung der in die Frachtbetrachtung einbezogenen GWM

| Ebenen | Lage im UG | Vorhandene GWM |
|---|---|---|
| BE0 „Fahnenanfang“ | Direkter Abstrom TYCO (ohne nachströmende Quell-Belastungen von TYCO) | GWM 7/13+8/13+9/13+10/13, RW 1/13, RW 2/13, B33 - B32 - ML04 |
| BE1 „belastete Fahne“ | Westlicher mittlerer Fahnenbereich, Im Neudeck | N5 - N6 - N7 - GWM 2/13 - BS1(-BS2) |
| BE2 „belastete Fahne“ | Westlicher mittlerer Fahnenbereich, Tullastraße | GMS3 –GMS5 – GMS4 – GWM 4/13 – LWMS1130 |
| BE3 „Fahnenrand“ | Geringer belasteter Fahnenendbereich | (MC N4 -) MC N3 – ML08 – MC N1 – MC S1 – RW 3-11 |
| BE5 „äußerer Fahnen-rand“ | äußerer östlicher Fahnenrand (Fahnenspitze) | MC N2, MC S2 |

(In Klammern: Bereits außerhalb der Fahnenbereiche liegende Messstellen)

In der Anlage 1.6 sind die Bilanzebenen in den Lageplan eingezeichnet.

Im Folgenden werden die aktuellen Berechnungen für Mai und Oktober 2016 sowie der Trend seit 2013 wiedergegeben. Da im Bereich von BE5 Nord- und Südfahne räumlich kaum voneinander zu trennen sind und durch Hochwassereinflüsse des Rheins zum Teil variable Fließrichtungen auftreten, sind die berechneten Frachten an BE5 im Zusammenhang mit den bisherigen Frachtbetrachtungen von untergeordneter Bedeutung und werden nur informativ in Anlage 4.5 dokumentiert.

Die Schadstoffmengen- und Frachtberechnungen (Berechnungsgrundlagen in Anlage 4.5) der folgenden Tabellen wurden auf Basis der Fahnenausbreitungsrichtung und der LHKW-Gehalte repräsentativer GWM aus dem aktuellen GW-Monitoring Mai und Oktober 2016 durchgeführt. Zusätzlich wurden zum Vergleich noch die Daten aus dem Vorjahr Mai und Oktober 2015 mit dargestellt.

Diese rechnerischen Abschätzungen sind als mittleres Szenario nach jetziger Kenntnislage anzusehen (LHKW-Gehalt als Mittelwert über den jeweiligen gesamten Fahnenteilbereich angenommen).

Tabelle 8-2 zeigt die Schadstoffmengen und Tabelle 8-3 die Schadstofffrachten jeweils für Messzeitpunkte Mai 2015, Oktober 2015, Mai 2016 und Oktober 2016.

Tabelle 8-2: Abschätzung der gelösten LHKW-Menge im Grundwasser in kg

| **Fahnenteilbereich / Bilanzebene BE** | **Nordfahne Mai 2015** | **Südfahne Mai 2015** | **Nordfahne Okt. 2015** | **Südfahne Okt. 2015** |
|---|---|---|---|---|
| Fahnenanfang / TYCO-Grenze bis BE0 | 2,4 | 9,5 | 1,5 | 17,1 |
| Fahne / BE0 bis BE1 | 88,8 | 609,9 | 40,1 | 416,6 |
| Fahne / BE1 bis BE2 | 85,5 | 182,0 | 66,7 | 128,2 |
| Fahnenrand / BE2 bis BE3 | 71,8 | 58,3 | 44,5 | 70,9 |
| **Gesamtmenge:** | **248,5** | **859,7** | **152,8** | **632,7** |
| **Gesamtmenge Nord- und Südfahne:** | **1108,2** | | **785,6** | |
| **Fahnenteilbereich / Bilanzebene BE** | **Nordfahne Mai 2016** | **Südfahne Mai 2016** | **Nordfahne Okt. 2016** | **Südfahne Okt. 2016** |
| Fahnenanfang / TYCO-Grenze bis BE0 | 1,1 | 11,7 | 1,6 | 7,2 |
| Fahne / BE0 bis BE1 | 95,5 | 428,5 | 86,7 | 365,1 |
| Fahne / BE1 bis BE2 | 63,4 | 181,9 | 39,2 | 183,2 |
| Fahnenrand / BE2 bis BE3 | 51,9 | 66,2 | 46,6 | 74,8 |
| **Gesamtmenge:** | **211,8** | **688,3** | **174,2** | **630,2** |
| **Gesamtmenge Nord- und Südfahne:** | **900,1** | | **804,4** | |

Tabelle 8-3: Abschätzung der Schadstofffrachten im Grundwasser (LHKW in kg/d)

| Fahnenteilbereich / Bilanzebene BE | Nordfahne Mai 2015 | Südfahne Mai 2015 | Nordfahne Okt. 2015 | Südfahne Okt. 2015 |
|---|---|---|---|---|
| Fahnenanfang / TYCO-Grenze bis BE0 | 0,005 | 0,016 | 0,003 | 0,029 |
| Fahne / BE0 bis BE1 | 0,026 | 0,239 | 0,012 | 0,163 |
| Fahne / BE1 bis BE2 | 0,041 | 0,098 | 0,032 | 0,069 |
| Fahnenrand / BE2 bis BE3 | 0,048 | 0,046 | 0,030 | 0,056 |
| **Fahnenteilbereich / Bilanzebene BE** | **Nordfahne Mai 2016** | **Südfahne Mai 2016** | **Nordfahne Okt. 2016** | **Südfahne Okt. 2016** |
| Fahnenanfang / TYCO-Grenze bis BE-0 | 0,002 | 0,020 | 0,003 | 0,012 |
| Fahne / BE0 bis BE1 | 0,027 | 0,168 | 0,025 | 0,143 |
| Fahne / BE1 bis BE2 | 0,030 | 0,098 | 0,019 | 0,099 |
| Fahnenrand / BE2 bis BE3 | 0,034 | 0,052 | 0,031 | 0,059 |

Mit den Erkenntnissen zu Geologie, Hydrogeologie und den ermittelten Schadstoff-konzentrationen aus dem GW-Monitoring 2016 wurde die Berechnung der Schadstoffmengen und -frachten im UG präzisiert und fortgeführt.

Die prinzipielle Ausbreitung der LHKW findet entsprechend der Fließrichtung nach Osten statt und konnte durch die Analysenergebnisse vom Mai und Oktober 2016 erneut bestätigt werden.

Insbesondere im nördlichen Fahnenanfangsbereich (abgekoppelter Fahneninput) sind nur noch geringere LHKW-Mengen und -Frachten anzutreffen, im Vergleich mit der weiteren Fahne. Im Bereich der Nordfahne wurde im Mai 2016 die größte Schadstoffmenge rechnerisch zwischen BE0 und BE1 ermittelt. Innerhalb der Fahne nehmen die LHKW-Mengen in Richtung Osten ab (Ausnahme Okt. 2016 BE1 bis BE2). Die LHKW-Frachten steigen zum Fahnenrand hin leicht an bzw. verhalten sich stationär bei mittleren LHKW-Frachten von ca. 0,028 kg/d in der Nordfahne.

Der Vergleich zwischen 2015 und 2016 ergibt mehrheitlich leicht absinkende Frachten in der Nordfahne, wenngleich in Teilbereichen auch eine Erhöhung beobachtet werden konnte.

Im Fahnenanfang der Südfahne UG Brunckstraße (nicht abgekoppelter Fahneninput) findet unter Beachtung der relativ kleinen Bilanzfläche, nach wie vor eine relevante Schadstoffnachlieferung in die Fahne statt (im Okt. 2016 - 12 g/d).

Die aktuell nachgewiesenen Schadstoffgehalte bestätigen erneut eine anhaltende Befrachtung durch abströmende Schadstoffe aus einer Schadensquelle im südwestlichen TE-Betriebsgelände. Im Jahr 2016 konnten die größten Schadstoffmengen im Bereich BE0 bis BE1 der Südfahne lokalisiert werden. Im Oktober 2016 zeigt sich gegenüber Mai 2016 eine Abnahme bzw. teilweise Stagnation der Schadstoffmenge und -fracht innerhalb der Südfahne.

Die berechneten Schadstofffrachten in der Südfahne sind im Jahr 2016 niedriger bzw. teilweise gleichbleibend gegenüber 2015. Die höchsten LHKW-Frachten in der Südfahne wurden für den Bereich BE0 bis BE1 im Mai 2016 mit 0,17 kg/d berechnet.

Generell kann für Nord- und Südfahne in 2016 eine überwiegend leicht regressive Schadstofffahnenentwicklung mit sinkenden Schadstofffrachten abgeschätzt werden.

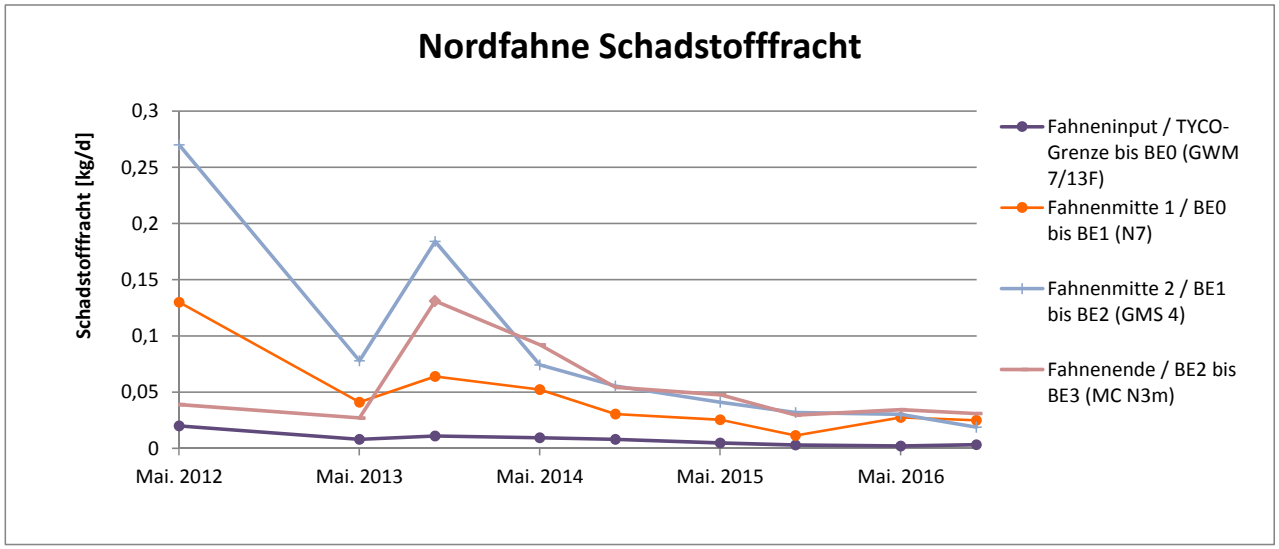



Abbildung 8-2: Entwicklung der Schadstofffrachten in der Nordfahne

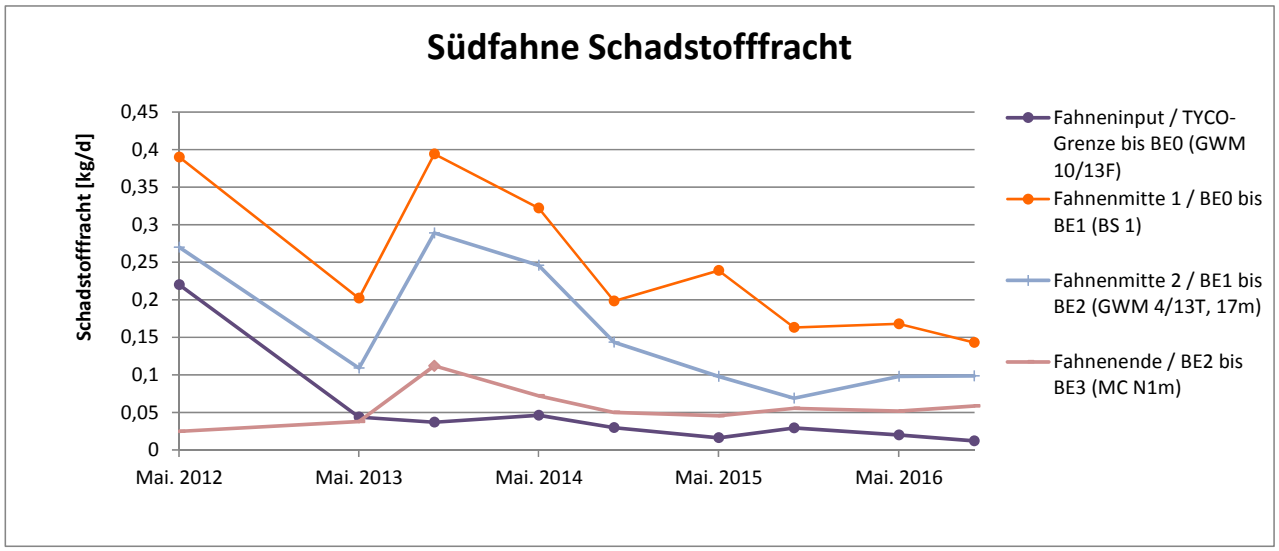



Abbildung 8-3: Entwicklung der Schadstofffrachten in der Südfahne

Auch zukünftig ist die Entwicklung der Schadstofffrachtraten in den verschiedenen Fahnenteilbereichen, charakterisiert durch die Bilanzebenen zu verfolgen, um die Fahnendynamik detailliert beurteilen zu können.

## 8.2 Oberflächenwasser

Zur Bewertung des Oberflächenwassers des Steinhäuserwühlsees werden jeweils vier teufenorientierte Proben aus dem Nord- und Südbereich für das Frühjahrs- und Herbstmonitoring 2016 herangezogen.

Beim Steinhäuserwühlsee handelt es sich um ein öffentliches Badegewässer. Beurteilungskriterium für den relevanten Parameter VC stellt ein durch das LUWG und das Gesundheitsamt benannter kritischer Wert von > 1,5 µg/l VC im Badebereich von 0 – 3 m Tiefe dar [U35]. Auch für 2016 blieb der Badebetrieb im See durch das Umweltamt der Stadt Speyer untersagt [U35].

Für den Badebetrieb im See ist die im Sommer ausgebildete obere Deckschicht (Epilimnion) des Wassers relevant. Im Mai 2016 wurden innerhalb dieses Tiefenbereiches (0-3m) max. 0,9 µg/l VC (Messpunkt Nord) und max. 1,1 µg/l VC (Messpunkt Süd) gemessen. Im Oktober 2016 wurden an beiden Messstellen keine LHKW-Gehalte oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1µg/l mehr nachgewiesen (vgl. Tabelle 7-10, Tabelle 7-11).

Beurteilungskriterien für den relevanten Parameter VC sind in der Badegewässerverordnung Rheinland-Pfalz nicht vorgegeben. Daher wird die Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OGewV) als weitere Orientierungshilfe herangezogen. Gemäß der OGewV ist die Qualitätsnorm bereits dann eingehalten, wenn das arithmetische Mittel der in einem Jahr gemessenen Konzentrationen kleiner oder gleich der Norm sind (vgl. Anlage 8 Ziff. 3.2.2 OGewV). Der VC-Wert (Qualitätsnorm) liegt hier bei 2 µg/l. Dieser Orientierungswert blieb in den Proben der oberen Deckschicht im Nord- und Südbereich neben 2014 und 2015 auch 2016 jeweils unterschritten.

Gemäß dem Protokoll der Behördenberatung zur Grundwassersanierung [U36] auf der Basis des Schreibens [U39] wurden für Seen behördliche Maßnahmenziele zur Gewährleistung der Nutzbarkeit der Seen (Steinhäuserwühlsee/ Wammsee) als Badegewässer festgelegt. Bei den Maßnahmenzielen handelt es sich um die Gewährleistung einer uneingeschränkten Nutzung der Seen auf mittlere Sicht (ohne gesonderte Behandlung des Seewassers) sowie die Einhaltung der Umweltqualitätsnorm für flussgebietsspezifische Schadstoffe. Die Maßnahmenzielwerte zur Gewährleistung einer uneingeschränkten Nutzung der Seen auf mittlere Sicht wurden festgelegt mit 0,5 µg/l Chlorethen (VC) in allen Tiefenbereichen (wegen der Gefahr der Durchmischung) und 2 µg/l Chlorethen Ökotox-Wert JD UQN (Jahresdurchschnitt) als absolute Obergrenze der Belastung in tieferen Schichten (> 3m), falls der genannte Zielwert dort mittelfristig nicht erreichbar sein sollte.

Der Maßnahmenzielwert von 0,5 µg/l VC konnte in Verbindung mit der im Mai 2016 angelaufenen und seit Ende Juni im Regelbetrieb laufenden Grundwassersanierung in SZ3 („Pump & Treat“) im September und Oktober 2016 bereits erreicht werden.

Die TIBEAN Maßnahme trug bisher zu einer erfolgreichen Reduzierung der LHKW-Konzentrationen bei. Die perspektivisch uneingeschränkte Einhaltung der Maßnahmenzielwerte wird durch die Grundwassersanierungsmaßnahme im Anstrom des Steinhäuserwühlsees gewährleistet werden.

Eine monatliche Weiterführung der Seewasseruntersuchungen im Steinhäuserwühlsee wird zum Nachweis der Einhaltung der Maßnahmenzielwerte für das Jahr 2017, im Rahmen der fachtechnischen Überwachung der Grundwassersanierungsanlage (im Projekt SZ3 sind bisher 7 Monate zur Überwachung der Seewasserqualität für das Jahr 2017 vorgesehen) empfohlen, wenn die TIBEAN-Maßnahme in 2017 nicht fortgeführt wird.

# 9 EMPFEHLUNGEN FÜR DAS WEITERE VORGEHEN

Zur weiteren Überwachung der vorliegenden LHKW-Kontamination im Grundwasser des OGWL sowie zur Erfolgskontrolle von Sanierungsmaßnahmen ist auch im Jahr 2017 ein Grundwasser-Monitoring durchzuführen.

In Auswertung der Ganglinien des Grundwasserstandes (wechselnde Fließverhältnisse in Rheinnähe), der Verläufe der Schadstoffkonzentrationen in den GWM innerhalb der Messkampagnen 2011 bis 2016 wird die Weiterführung des Monitorings analog zu 2016 mit zwei Beprobungen (Frühjahr, Herbst) auch für Jahr 2017 vorgeschlagen.

Das Grundwasser-Monitoring ist so auszulegen, dass es der Erfassung des hydrodynamischen und hydrochemischen Zustandes über Raum und Zeit sowie der Kontrolle und fortlaufenden Beurteilung der Entwicklung der Abbaupotentiale und biologischen Abbauraten, d.h. der Bilanzierung des Stoffumsatzes in der kontaminierten Zone, dient. Besonderes Augenmerk ist zudem weiterhin auf die Verfolgung der reaktiven Fahnenränder zu legen, um in Zukunft beurteilen zu können, ob die Fahne sich progressiv, regressiv oder quasi stationär verhält.

Die oben genannten Anforderungen an das Grundwasser-Monitoring wurden bei den Messkampagnen 2011 - 2016 mit den festgelegten Messintervallen und Parameterspektren erfüllt.

Das vorhandene Messstellennetz ist prinzipiell geeignet, die LHKW-Fahne im OGWL in ihrer horizontalen und vertikalen Ausdehnung zu erfassen. Auf den Fahnenachsen und im Fahnenrandbereich wird eine Erweiterung des Messnetzes empfohlen.

Die Betrachtung des Steinhäuserwühlsees sollte aufgrund der ermittelten LHKW-Gehalte auch weiterhin Teil des Monitoringprogrammes (Auswertung) sein.

CDM Smith Consult GmbH

Dr. Karsten Menschner
Senior Consultant

Dipl. Geol. Gabriele Zech
Projektbearbeitung

Verteiler
Siemens AG, Frau Zemlin (1 Exemplar)
Siemens AG, Herr Reichardt (1 Exemplar - digital)
Stadt Speyer, Frau Bösel (3 Exemplare)
CDM Smith (1 Exemplar)