
**Ergebnisbericht
Montanhydrologisches Monitoring Westsachsen/Thüringen**

**Monitoring
Messplatz Kippe Witznitz**

Beprobung August - September 2016

Projekt Nr.: 16-002-40

Auftraggeber:



LMBV mbH
Walter-Köhn-Straße 2
04356 Leipzig

Auftragnehmer:



Hubert Beyer
Umwelt Consult GmbH
Strümpellstraße 6
04289 Leipzig

Datum: überarbeitete Fassung vom 31.05.2017

Bearbeiter:



.....
Thomas Lawrenz
Dipl.-Geol.



.....
Thomas Kretschmer
Dipl.-Geogr.

Dieser Bericht besteht aus: 36 Seiten
5 Anlagen

INHALTSVERZEICHNIS	SEITE
1 VERANLASSUNG/AUFGABENSTELLUNG	6
2 KURZBESCHREIBUNG DES OBJEKTES	7
3 DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN	10
3.1 Zustandsprüfung	10
3.2 Probenahme	10
3.3 Laboranalytik	11
4 MONITORING MEHRFACH VERFILTERTE GWM	12
4.1 Zielstellung.....	12
4.2 Messstellenbestand	12
4.3 Zustandsprüfung	13
4.4 Analysenergebnisse.....	13
5 MONITORING RAMMPEGEL.....	21
5.1 Zielstellung.....	21
5.2 Messstellenbestand	21
5.3 Zustandsprüfung	22
5.4 Wasserspiegelmessung	22
5.5 Analysenergebnisse.....	25
6 ZUSAMMENFASSUNG/EMPFEHLUNGEN	33
7 QUELLEN- UND LITERATURVERZEICHNIS	36

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1 Lagepläne

- Anlage 1.1 Übersichtsplan mit Darstellung der untersuchten Messstellen;
M 1: 50.000
- Anlage 1.2 Lageplan mit Darstellung der Hydroisohypsen sowie der ermittelten Wasserstände vom 22.08./29.08.2016
M 1 : 10.000
- Anlage 1.3 Lageplan mit Darstellung ausgewählter Parameter
M 1 : 10.000
Blatt 1: pH-Werte (Feld)
Blatt 2: Eisen gelöst
Blatt 3: Sulfat

Anlage 2 Geländedokumentation

- Anlage 2.1 Zusammenstellung der ermittelten Wasserspiegel
- Anlage 2.2 Probenahmeprotokolle
- Anlage 2.3 Übersicht Probenahmeparameter

Anlage 3 Zusammenstellung der Analysenergebnisse im Vergleich zu den Schwellenwerten der LAWA

- Anlage 3.1 Mehrfachmessstellen
- Anlage 3.2 Rammpegel

Anlage 4 Vergleiche mit zurückliegenden Untersuchungen

- Anlage 4.1 Zeitreihen der Analysenergebnisse - Mehrfachmessstellen
- Anlage 4.2 Zeitreihen der Analysenergebnisse - Rammpegel
- Anlage 4.3 Ganglinien ausgewählter Parameter – Mehrfachmessstellen
- Anlage 4.4 Ganglinien ausgewählter Parameter – Rammpegel
- Anlage 4.5 Zeitreihen der Grundwasserstände

Anlage 5 Labordaten

- Anlage 5.1 Übernahme- /Übergabeprotokolle
- Anlage 5.2 Prüfberichte

TABELLENVERZEICHNIS

SEITE

Tabelle 1:	Kippenaufbau /5/	8
Tabelle 2:	Darstellung der kippschichtbezogenen Verteilung der untersuchten Messstellen	8
Tabelle 3:	Resultate der Probenahme.....	11
Tabelle 4:	Ausbaudaten der Multilevelmessstellen.....	13
Tabelle 5:	Wesentliche Vor-Ort-Ergebnisse der Multilevelmessstellen.....	14
Tabelle 6:	Auffällige Ergebnisse (Fe, SO ₄ und NA) der Multilevelmessstellen.....	15
Tabelle 7:	Vergleich mit dem bisherigen Messwertniveau	16
Tabelle 8:	Ausbaudaten der untersuchten Rammpegel.....	21
Tabelle 9:	Messwertniveau der wesentlichen Parameter (Rammpegel)	25
Tabelle 10:	Vergleich mit dem bisherigen Messwertniveau	31

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

SEITE

Abbildung 1:	Zonierung der 4 Kippzonen (aus /8/).....	9
Abbildung 2:	Lage der Multilevelmessstellen im UG	12
Abbildung 3:	Konzentrationsentwicklung für pH-Wert (M1 bis M3)	17
Abbildung 4:	Konzentrationsentwicklung für Eisen gelöst (M1 bis M3)	18
Abbildung 5:	Konzentrationsentwicklung für Sulfat (M1 bis M3)	19
Abbildung 6:	Lage der Profile I bis IV	23
Abbildung 7:	Wasserstände (min und max) im Profil I	24
Abbildung 8:	Wasserstände (min und max) im Profil II	24
Abbildung 9:	Wasserstände (min und max) im Profil III	24
Abbildung 10:	Konzentrationsverteilung im Profil I für pH, Fe, SO ₄ und Karbonathärte	26
Abbildung 11:	Konzentrationsverteilung im Profil II für pH, Fe, SO ₄ und Karbonathärte	27
Abbildung 12:	Konzentrationsverteilung im Profil III für pH, Fe, SO ₄ und Karbonathärte	28
Abbildung 13:	Konzentrationsverteilung im Profil IV (links- bzw. rechtsseitig des Pleißeufers) für pH, Fe, SO ₄ und Karbonathärte	29

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

FiOK	Filteroberkante
FiUK	Filterunterkante
GFS	Geringfügigkeitsschwelle
GK	Gauß-Krüger
GOK	Geländeoberkante
GWL	Grundwasserleiter
GWM	Grundwassermessstelle
Ki	Kippe
m NHN	Meter über Normalhöhenull
MHM	Montanhydrologisches Monitoring
MP	Messpunkt
OWM	Oberflächenwassermessstelle
ROK	Rohroberkante
UG	Untersuchungsgebiet
Wsp.	Wasserspiegel

1 VERANLASSUNG/AUFGABENSTELLUNG

Zur Überwachung der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse im Gebiet der ehemaligen Tagebaue und Veredlungsanlagen Mitteldeutschlands führt die LMBV mbH ein Montanhydrologisches Monitoring (MHM) durch. Zielstellung des Grundwassermonitorings ist die Erhebung von repräsentativen Mess- und Analysenwerten.

Auf der Grundlage des Vertrags zur Durchführung des Montanhydrologischen Monitorings Westsachsen/Thüringen - Grundwassermonitoring § 2 und § 3 (Los II) für die Jahresscheibe 2016 (Bestellnummer: 11008379) wurde die Beyer Umwelt Consult GmbH mit ergänzenden Arbeiten im Rahmen des MHM beauftragt. Dabei handelt es sich um ein Grundwassermonitoring im Teilobjekt „**Messplatz Kippe Witznitz**“. Das Teilobjekt ist Teil des Pilotprojekts „Untersuchung der Auswirkungen des GW-Wiederanstieges und der daraus folgenden Exfiltration der eisenbelasteten Grundwässer aus den Kippen des ehemaligen Tagebaues Witznitz in die Fließgewässer Pleiße und Wyhra“.

Das Untersuchungsgebiet (UG) Messplatz Kippe Witznitz liegt im Bereich des ehemaligen Braunkohleabbaugebietes Witznitz. Nach Einstellung des aktiven Tagebaus sind die Grundwasserstände im UG angestiegen und liegen über dem Niveau des Vorfluters. Vorfluter ist die Pleiße, die im Westen an das UG angrenzt und dieses im Bereich von der Einmündung der Wyhra bis Neukieritzsch überquert. Aus der Kippe erfolgt eine Exfiltration von eisenhaltigem Kippengrundwasser in das Fließgewässer. Besonders zu Zeiten von Niedrigwasser weist die Pleiße zwischen der Wyhra-Mündung (nördlich von Lobstädt) und dem Stadtgebiet von Leipzig eine auffällig gelb-braune bis orangefarbene Färbung auf.

Zur Ergänzung und Erweiterung der vorliegenden regulären MHM-Daten wurde in 2007 von der LMBV mbH im Kippengebiet Witznitz II ein spezieller Messplatz errichtet. Der Messplatz umfasst 3 mehrfach verfilterte Messstellen (stromlinienartige Anordnung in Richtung Pleiße), 2 Erosionsmessstellen, einen Bodensickermessplatz sowie mehrere Grundwassermessstellen (Rammpegel). Zudem gab es am Standort 7 temporäre Sickerwasserfassungen.

Im Zeitraum von 2007 bis 2013 wurde das Monitoring „Messplatz Kippe Witznitz“ durch die G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH durchgeführt. Seit 2015 führt das Ingenieurbüro H. Beyer Umwelt Consult GmbH das Monitoring durch. Mit den Erfahrungen der ersten Jahre sowie Empfehlungen aus /5/ und des vorhabenbegleitenden Arbeitskreises (VAK) wurden die Untersuchungen ab 2015 auf die mehrfach verfilterten Messstellen und die Rammpegel beschränkt. Ergänzt wurde das Monitoring im Jahr 2014 um 10 GW-Messstellen (GWM 1301 bis 1310) im Bereich der Hochkippe Neukieritzsch (südwestlicher GW-Anstrom zur Pleiße). Die Weiterführung des Monitorings wurde auf der 19. Sitzung des VAK beschlossen.

Die erhobenen Daten bilden die *Grundlage* für die Beschreibung des jeweiligen IST-Zustandes und der Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit auf der Kippe Witznitz und im Anstrom der Pleiße in diesem Bereich sowie für weiterführende Modellierungen des Stofftransports im Kippenkörper Witznitz und der Stoffeinträge aus dem Kippenkörper in die Pleiße. Die Modellierung war nicht Gegenstand der Beauftragung.

Gemäß Aufgabenstellung waren 2016 folgende Arbeiten durchzuführen:

- Entnahme von Wasserproben aus 25 Grundwassermessstellen (Rammpegeln) einschließlich Durchführung einer inneren und äußeren Zustandsprüfung sowie Ermittlung der Wasserspiegelhöhe und Lotung der Tiefe;
- Entnahme von Wasserproben aus 3 Mehrfachmessstellen (mit insgesamt 13 Filterstrecken);
- physikochemische Untersuchung der entnommenen Wasserproben;
- Eingabe der Messwerte/Prüfergebnisse in das Informationssystem des AG;
- Dokumentation und Bewertung der Ergebnisse und Übergabe als Bericht (gedruckt und auf Datenträger).

Der vorliegende Bericht umfasst die Dokumentation und Bewertung der Beprobung und Analytik der 3 mehrfach verfilterten Messstellen sowie der 25 als Rammpegel ausgebauten Grundwassermessstellen (vgl. Anlage 1.1). Gegenüber der Vorjahresmonitoring wurde das Grundwassermonitoring um drei Rammpegel entlang der Pleiße reduziert (1301, 1302, 1309).

2 KURZBESCHREIBUNG DES OBJEKTES

Das UG gehört zum Kippenkomplex Kahnsdorf und befindet sich zwischen den Ortschaften Lobstädt, Neukieritzsch und Kahnsdorf. Bei dem UG handelt es sich um die verkippte Hohlform der ehemaligen Tagebaue Dora-Helene II und Witznitz II. Durch das UG fließt die umverlegte Pleiße (ab der Wyhramündung). Im Zuge der Vorflutverlegung erfolgte zwischen Lobstädt und dem Trachenauer Wehr eine Lehmdichtung des Flussbettes bis auf Höhe Mittelwasser, um eine Versickerung des Flusswassers während der Phase des aktiven Bergbaus und der maximalen Grundwasserabsenkung zu verhindern. Nach Einstellung des aktiven Bergbaus und der Grundwasserhaltung stieg das Grundwasser im Kippenbereich an. Östlich des UG befindet sich die Tagebaufolgeseen Hainer See mit Teilbereich Haubitz und Kahnsdorfer See, welche ihre Endwasserstände im Wesentlichen erreicht haben (+126,0 m NHN bzw. +126,5 m NHN). Weitere Standgewässer im Umfeld sind die Speicher Lobstädt und Witznitz sowie das Restloch Großzössen.

In den Bergbaukippen hat ein intensiver Vermischungsprozess der abgebaggerten Abraummassen stattgefunden, wodurch gut durchlässige, kiesige Bereiche neben schlecht durchlässigen, schluffigen Sanden sowie Tonen, Schluffen und kohligen Partien auftreten können. Die Kippenmischböden weisen einen mittleren Durchlässigkeitsbeiwert von 10^{-6} bis 10^{-7} m/s auf /8/.

Die Kippe weist gemäß /8/ einen hohen Anteil an Pyritoxidationsprodukten auf (Eisen, Sulfat), bei Luftzutritt treten Versauerungserscheinungen auf. Die wesentlichen Ergebnisse zum Aufbau der Kippe (Quantifizierung der Stoffmengen nach /8/) sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 1: Kippenaufbau /5/

Kippschicht	Bereich	Herkunft	Korngröße			chemische Zusammensetzung			
			Ton/Schluff	Sand	Kies	Schwefel ges.	Corgan.	Karbonat	hydr. Acidität
	+mNHN	%			Masse %			mmol/kg	
3	142-158	quartäres Material	41	34	25	0,3	2,7	0,21	12
2	120-142	Böhlener Schichten	17	81	2	1,6	8,1	0,02	162
1	100-120	Flözmittel/-verschnitt	51	40	9	1,5	25	0,01	62
	<100	Hainer Sande	-	-	-	-	-	-	-

Der Untergrund weist für die oberste Kippschicht (quartäres Material) eine ausgeglichene Korngrößenverteilung auf, Tone und Schluffe sind mit 41 % am häufigsten vertreten. Typisch für die quartäre Herkunft sind hier die relativ hohen Kiesanteile (25 %). Bei der mittleren Kippschicht (2) dominieren Sande (81 %), das Material stammt aus den tertiären Böhlener Schichten. Die unterste Kippschicht 1 (Flözmittel) besteht überwiegend aus Tonen/Schluffen (51 %) sowie Sanden (40 %). Der Großteil besteht aus tertiärem Mittelabraum (ca. 60 % Flözbegleiter) sowie den Hainer Sanden (ca. 20 %).

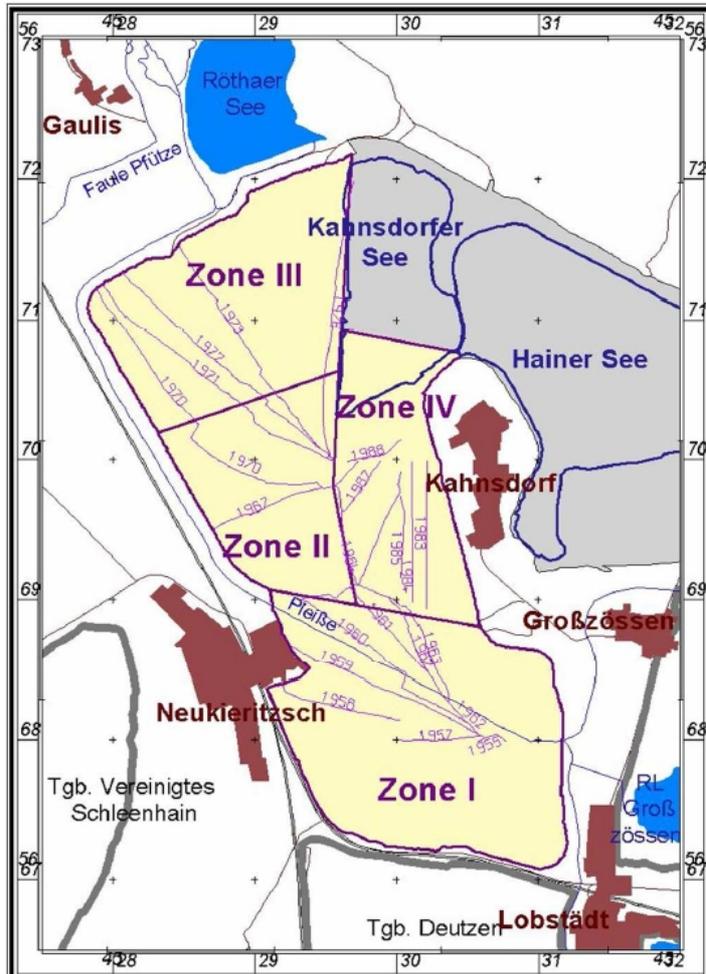
Eine Übersicht zu den einzelnen Kippschichten mit Angabe der Herkunft sowie zu den Teufenbereichen in Verbindung mit der Zuordnung der im UG vorhandenen Grundwasseraufschlüsse ist in der nachfolgenden Tabelle 2 enthalten.

Tabelle 2: Darstellung der kippschichtbezogenen Verteilung der untersuchten Messstellen

Kippschicht	Bereich	Herkunft	Filter OK	Messstellen	Anzahl
	+mNHN				
3	142-158	quartäres Material			
2	120-142	Böhlener Schichten	+130 bis +134	RKB Kippe (RKB11-14, RKB17-20)	8
			+126 bis +129	RKB Pleiße (RKB1-10; 1303-1308, 1310)	20
			+125 bis +126	M1-1, M2-1, M3-1	3
			+120 bis +121	M1-2, M2-2, M3-2	3
1	100-120	Flözmittel	+114 bis +115	M1-3, M2-3, M3-3	3
		Flözverschnitt	+107 bis +108	M1-4, M2-4, M3-4	3
	<100	Hainer Sande	+92,5 bis +93,5	M1-5	1

Gemäß /8/ (S. 35) lassen sich die Kippbereiche weiter in sogenannte Kippzonen unterteilen, beginnend im Süden mit der Zone I, nördlich davon im mittleren Teil die Zone II, östlich davon die an die Ortslage Kahnsdorf grenzende Zone IV sowie die im Norden/Nordwesten gelegene Zone III (vgl. Abbildung 1).

Abbildung 1: Zonierung der 4 Kippzonen (aus /8/)



Die Kippzone I ist die älteste Zone und mit Abraummassen vom Beginn der Kohleförderung gefüllt (Fertigstellung der Oberfläche bis 1963). Sie weist Mächtigkeiten bis ca. 70 m auf. Die Mächtigkeit der Kippzone II wird mit ca. 60 m angegeben. Die Mächtigkeit der Kippzone III beträgt nur noch ca. 50 m, die Fertigstellung erfolgte ca. 1976. Hinsichtlich der Zusammensetzung weisen die einzelnen Kippzonen Unterschiede auf. Der höchste Anteil an Flözbegleitern wurde in der Kippzone I mit ca. 35 % ermittelt, die Kippzone II (28 %) und III (21 %) weisen geringere Anteile auf. Demgegenüber wurden zunehmende Anteile von Hainer Sanden in der Kippzone I bis III ermittelt. Laut /8/ weisen die Flözbegleiter gegenüber den Hainer Sanden höhere Schwefelanteile auf (und damit auch höhere Eisengehalte, Pyritoxidation). Weiterhin ist die Gesamtacidität der Flözbegleiter höher als die der Hainer Sande.

3 DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

3.1 Zustandsprüfung

Vor der Grundwasserbeprobung erfolgten die innere und äußere Zustandsprüfung, eine Messung des Grundwasserstandes und die Lotung der Endtiefe der Messstellen.

Die Aufnahme eines Tiefenprofils (innere Zustandsprüfung) war bei keiner der Messstellen möglich, da der Innendurchmesser bei allen Rammpegeln lediglich 50 mm betrug (zu schmal für die von uns eingesetzte Multiparametersonde YSI 600 XL).

3.2 Probenahme

Die Entnahme der Grundwasserproben erfolgte im Zeitraum vom 23.08. bis 01.09.2016 unter Einhaltung der Vorgaben des Merkblattes zum Montanhydrologischen Monitoring der LMBV mbH (MHM) /9/. Die Beprobung der GWM 63631 erfolgte am 24.11.2016 (Freischneidung durch die LMBV erforderlich). Alle relevanten Daten sind in den Probenahmeprotokollen in Anlage 2.2 dokumentiert.

Für die Entnahme der Grundwasserproben aus den Rammpegeln wurde auf Grund des geringen Ausbaus sowie der geringen Wasserspiegel (geringer Messstelleninhalt) eine Kleinpumpe vom Typ Gigant eingesetzt. Eine reguläre Probenahme (Einhaltung des hydraulischen bzw. qualitativen Abbruchkriteriums) war wegen der geringen Ergiebigkeit bei keinem der Messpunkte möglich. Die Probenahmen erfolgten bei allen Rammpegeln nach dreimaligem Abpumpen am vierten Tag als Schöpfprobe. Zum Abpumpen wurde die Pumpe ca. 0,5 m über Endteufe positioniert.

Während des Abpumpens erfolgten die Aufzeichnung des Grundwasserstandes, die Messung der Vor-Ort-Parameter pH-Wert, Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt und Redoxpotential in einer Durchflussmesszelle sowie die Aufnahme der Wahrnehmungsparameter Geruch, Färbung, Trübung und Bodensatz (vgl. Anlage 2.2).

Bei den drei Messpunkten 6179, 6180 und 6181 handelt es sich um Multilevelmessstellen mit jeweils 4 bzw. 5 Filterstrecken. Jeder Filterbereich ist mit einer fest installierten, druckluftbetriebenen Membranpumpe ausgerüstet. Für die Probenahme wird mittels eines Steuergerätes (Kompressor) Druckluft erzeugt und über einen separaten Luftschlauch in die Pumpe geleitet. Der Betriebsdruck bemisst sich gemäß /1/ nach der folgenden Formel:

$$P \text{ [bar]} = \text{Einbautiefe der Membranpumpe in m} / 10 + 1,5$$

Zum Erreichen des Abbruchkriteriums sind gemäß /1/ das dreifache Volumen der Pumpe sowie des Schlauches abzupumpen. Die Vor-Ort-Parameter waren hier ebenfalls zu erfassen.

An den entnommenen Wasserproben wurde vor Ort der K_S/K_B - Wert bestimmt sowie der Eisenschnelltest durchgeführt. Die Proben wurden gemäß den Vorgaben filtriert (Druckfiltration) und in die vom Labor vorgesehenen Probenahmegefäße blasenfrei abgefüllt. Bis zur Übergabe an das Labor wurden die Proben in Kühlboxen gelagert.

Hubert Beyer Umwelt Consult GmbH, Strümpellstraße 6, 04289 Leipzig, Telefon: 0341 98458 50

Die Übergabe der Proben erfolgte am Tag der Entnahme und wurde in Protokollen (vgl. Anlage 5.1) dokumentiert.

Die wesentlichen Resultate der Probenahme sind in nachfolgender Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Resultate der Probenahme

Markscheidernummer der Messstelle	Resultate der Probenahme
61591, 61601, 61611, 61621, 61631, 61641, 61651, 61661, 61681, 61701, 61711, 61751, 61771, 70611, 70621, 70631, 70641, 70651, 70661, 70681	Probenahme (Schöpfprobe) aus Rammpegeln nach 3 x Abpumpen
6179-1...5, 6180-1...4, 6181-1...4	Probenahme an Multilevelmessstellen
61691, 61761, 61781	keine PN, geringer Wasserspiegel
61721, 61671	keine PN, kein Nachlauf

3.3 Laboranalytik

Die chemischen Analysen wurden im Laboratorium der SGS Institut Fresenius GmbH durchgeführt. Die Prüfberichte sind in Anlage 5.2 des vorliegenden Gutachtens enthalten. An gleicher Stelle wurden die eingesetzten Messverfahren und Bestimmungsgrenzen dokumentiert.

Folgende Parameter/Parametergruppen wurden bestimmt:

Grundprogramm:

- pH-Wert, elektr. Leitfähigkeit, TIC, DOC, Ammonium-N, Nitrat-N, o-Phosphat-P, Phosphor_{gesamt}, Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Karbonathärte, Gesamthärte, Chlorid, Sulfat, Eisen_{gelöst}, Eisen (II), Mangan_{gelöst}.

Zusatzprogramm Versauerung (wenn pH-Wert < 5):

- Arsen, Silizium, Nickel, Cadmium, Chrom_{gesamt}, Zink, Kupfer, Blei, Aluminium.

weitere Parameter:

- Sulfid (bei Auffälligkeiten).

4 MONITORING MEHRFACH VERFILTERTE GWM

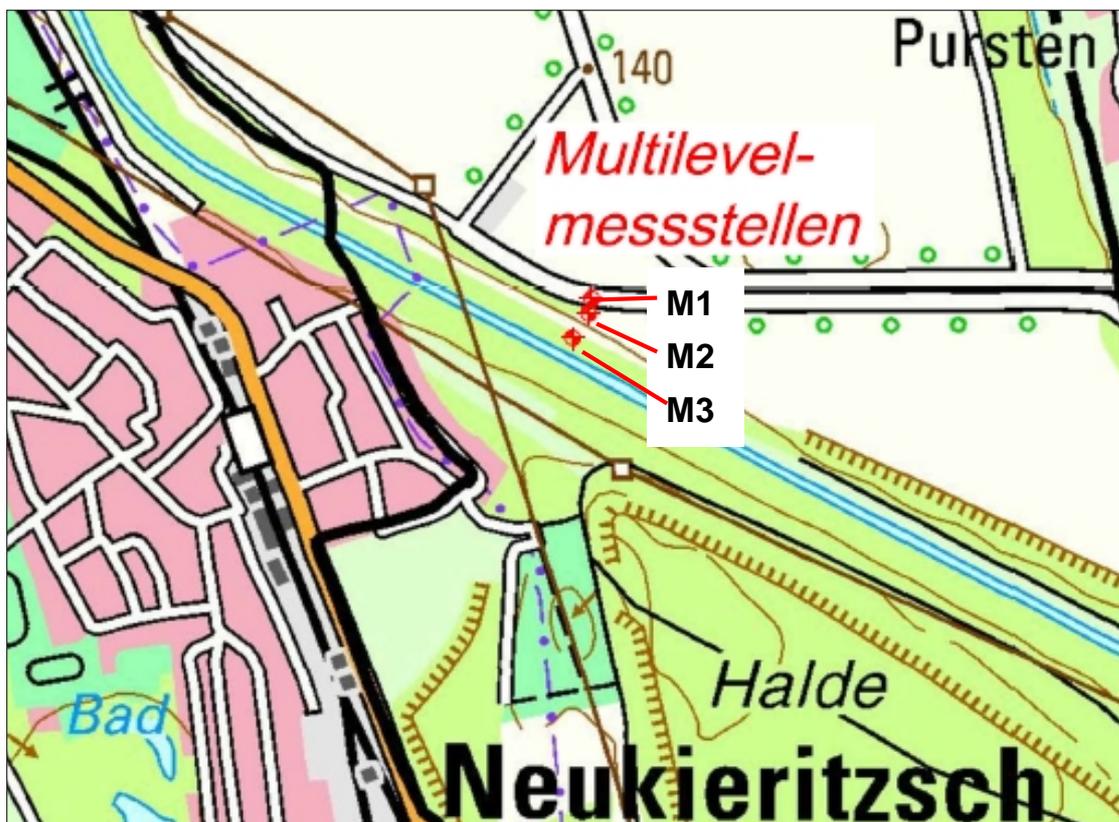
4.1 Zielstellung

Die Beprobung der mehrfach verfilterten Grundwassermessstellen (Multilevelmessstellen) soll Aufschluss über die räumliche und zeitliche Variation der Grundwasserzusammensetzung im Bereich des Messplatzes Kippe Witznitz geben.

4.2 Messstellenbestand

Bei den Messstellen M1 (6179), M2 (6180) und M3 (6181) handelt es sich um sogenannte Multilevelmessstellen mit Mehrfachverfilterung. Die drei Mehrfachmessstellen befinden sich auf dem Südwesthang der Kippe Witznitz. Sie liegen auf einem Profil, wobei die M1 im oberen, die M2 im mittleren und die M3 im unteren Hangbereich (nahe der Vorflut Pleiße) positioniert wurde. Die Lage der Messstellen ist in der Anlage 1.2 sowie schematisch in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 2: Lage der Multilevelmessstellen im UG



Die nachfolgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung zur Lage der Filterstrecken der Multilevelmessstellen. Die Filterbereiche der 3 Multilevelmessstellen sind nahezu identisch in der Teufe. Der oberste Filterbereich liegt dabei bei ca. +126 m NHN und damit knapp 4 m unter dem Wasserspiegel der Pleiße.

Tabelle 4: Ausbaudaten der Multilevelmessstellen

Messstelle	Markscheider-Nr.	Filterbereich [m u. ROK]		Filterbereich [+m NHN]	
		OK	UK	OK	UK
M 1-1	61791	20,8	21,8	126,5	125,5
M 1-2	61792	26,8	27,8	120,5	119,5
M 1-3	61793	32,8	33,8	114,5	113,5
M 1-4	61794	38,8	39,8	108,5	107,5
M 1-5	61795	53,8	54,8	93,5	92,5
M 2-1	61801	16,2	17,2	126,6	125,6
M 2-2	61802	22,2	23,2	120,6	119,6
M 2-3	61803	28,2	29,2	114,6	113,6
M 2-4	61804	34,2	35,2	108,6	107,6
M 3-1	61811	8,2	9,2	126,2	125,2
M 3-2	61812	14,2	15,2	120,2	119,2
M 3-3	61813	20,2	21,2	114,2	113,2
M 3-4	61814	26,2	27,2	108,2	107,2

4.3 Zustandsprüfung

Im Rahmen der Zustandsprüfung wurden bei den drei Multilevelmessstellen keine Auffälligkeiten festgestellt.

4.4 Analysenergebnisse

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen sind in der Anlage 3.1 zusammenfassend sowie im Prüfbericht des Labors in Anlage 5.2 enthalten. Ein Vergleich der aktuellen Ergebnisse mit den Ergebnissen zurückliegender Untersuchungen ist in Anlage 4.1 tabellarisch (Zeitreihen) und in Anlage 4.3 grafisch (Ganglinien) enthalten.

pH-Werte und elektr. Leitfähigkeit

In der nachfolgenden Tabelle sind die Messwerte für die pH-Werte sowie die Leitfähigkeiten teufenbezogen (Filterlagen der 3 Multilevelmessstellen vergleichbar) dargestellt. Für die Teufenbeschriftung wurde ein repräsentativer Mittelwert gewählt, die detaillierten Filterlagen sind in der Tabelle 4 enthalten. Besonders auffällige Messwerte wurden unterstrichen.

Tabelle 5: Wesentliche Vor-Ort-Ergebnisse der Multilevelmessstellen

Filterlage [+m NHN]	pH-Wert			elektr. Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
126	5,8	<u>4,3</u>	<u>4,4</u>	<u>6.230</u>	<u>6.371</u>	<u>7.840</u>
120	4,8	<u>4,3</u>	5,3	<u>6.710</u>	<u>8.700</u>	5.880
114	<u>4,4</u>	5,2	5,9	5.990	<u>7.590</u>	5.110
108	<u>4,4</u>	5,7	5,8	<u>7.530</u>	<u>6.710</u>	5.950
93	5,9			4.330		

Die pH-Werte schwanken in den 3 Multilevelmessstellen zwischen 4,3 und 5,9. Die Messwertverteilung ist dabei nicht einheitlich. In den Messpunkten M2 und M3 nimmt der pH-Werte nach unten hin zu. Bei der M1 weisen die mittleren Teufenbereiche sehr niedrige pH-Werte auf, während der oberste und unterste Teufenbereich davon deutlich abweichend höhere pH-Werte aufweisen. Auffällig ist die Veränderung gegenüber der letzten Messung in 2015, die mittleren Teufen der M1 (M1-2 bis M1-4) weisen dabei durchgängig niedrigere Messwerte auf. Bei den Messpunkten M2 und M3 waren solche Entwicklungen nicht erkennbar.

Die elektrischen Leitfähigkeiten schwanken zwischen 4.330 und 8.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Der niedrigste Wert wurde dabei wie im Vorjahr in der M1-5 (bei +93 m NHN) und der höchste Wert in der M2-2 (+120 m NHN) festgestellt.

Die Ursachen für die starken Schwankungen innerhalb der Teufen liegen in der inhomogenen Zusammensetzung der Kippe begründet. Die Veränderungen bei den pH-Werten gegenüber 2015 lassen auf anhaltende Beeinflussungen durch die Kippe schließen.

Eisen gelöst, Sulfat, Nettoazidität

Die Ergebnisse zu den Parametern gelöstes Eisen, Sulfat und Nettoazidität wurden in gleicher Form wie oben in der Tabelle 6 dargestellt. Die Messwerte schwanken dabei bei Eisen gelöst von 790 bis 3.500 mg/l, bei Sulfat von 3.180 bis 9.010 mg/l sowie bei der Nettoazidität von 14,9 bis 52,5 mmol/l. Die Messwerte sind in nahezu allen Bereichen außerordentlich hoch und weisen eine ausgeprägte bergbauliche Beeinflussung auf. Die höchsten Messwerte wurden in den Messpunkten M1-4, M2-2 und M3-1 festgestellt. Die Ergebnisse lassen auf eine teufeninhomogene Verteilung schließen.

Tabelle 6: Auffällige Ergebnisse (Fe, SO₄ und NA) der Multilevelmessstellen

Filterlage [+m NHN]	Eisen gelöst [mg/l]			Sulfat [mg/l]			Nettoazidität [mmol/l]		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
126	<u>2.000</u>	<u>1.900</u>	<u>3.100</u>	<u>5.770</u>	<u>5.580</u>	<u>6.790</u>	25,0	23,7	<u>47,9</u>
120	<u>2.700</u>	<u>3.500</u>	<u>1.700</u>	<u>6.780</u>	<u>9.010</u>	4.470	25,8	<u>52,5</u>	21,6
114	<u>1.600</u>	<u>2.800</u>	<u>1.500</u>	<u>5.330</u>	<u>7.210</u>	3.890	19,9	<u>30,6</u>	14,9
108	<u>3.100</u>	<u>2.000</u>	<u>1.900</u>	<u>8.270</u>	<u>6.440</u>	4.850	<u>40,0</u>	23,2	19,1
93	790			3.180			21,2		

weitere auffällige Messwerte

Die Messwerte bei Karbonathärte lagen zwischen 0 und 67,9 mg/l (Mittelwert 24,8 mg/l). Niedrige Messwerte belegen geringe pH-Pufferkapazitäten im Grundwasser. Für einen Großteil der Messpunkte ist ein fallender Trend erkennbar.

Die TIC-Gehalte liegen zwischen 4,8 und 46 mg/l (Mittelwert 21,9 mg/l) und bestätigen damit im Wesentlichen die Ergebnisse aus 2015.

In Verbindung mit den niedrigen pH-Werten (Versauerung) waren bei 6 Messpunkten (M1-2, M1-3, M1-4, M2-1, M2-2 und M3-1) auch die Schwermetalle zu untersuchen. Auffällig waren dabei besonders Zink (2,1 bis 8,2 mg/l) und Nickel (bis max. 1,6 mg/l).

Auffällige Messwerte wurden weiterhin bei Ammonium-N festgestellt, welches im Schwankungsbereich von 2,0 bis 24 mg/l liegt. Die höchsten Messwerte wurden in M1-1 (24 mg/l), M1-2 (16 mg/l) und M2-3 (19 mg/l) ermittelt (Herkunft vermutlich Düngung).

Die Redoxpotentiale lagen zwischen 209 und 496 mV (schwach reduzierend bis schwach oxidierend). Die Calciumgehalte liegen im Bereich von 380 bis 496 mg/l.

Vergleich mit bisherigen Messungen

In der Anlage 4.1 sind die bisherigen Messwerte tabellarisch zusammengefasst. Die Anlage 4.3 enthält die grafische Auswertung zur Konzentrationsentwicklung wesentlicher Parameter. In der nachfolgenden Tabelle 7 sind die Veränderungen in der Konzentrationsentwicklung für ausgewählte Parameter dargestellt.

Vorbemerkung: Die ermittelten Messwerte werden mit den Ergebnissen der zurückliegenden Messungen verglichen. Dabei werden die aktuellen Messwerte dem bisherigen Schwankungsbereich/Konzentrationsniveau (= bisherige min/max Werte mit Eliminierung von Ausreißern) gegenübergestellt. Soweit möglich werden zudem Trends zur Entwicklung der Konzentrationen benannt.

Tabelle 7: Vergleich mit dem bisherigen Messwertniveau

Messtellename	pH	Lf	Redox	Karb.	Sulfat	Eisen	Nettoazid.		
M1	M1-1	+	-	+	-	↓	-		↓
	M1-2	-		+	-	↓	+	+	↑
	M1-3	-		+	-	↓	+	+	
	M1-4	-	+	+	-	↓	+	↑	↑
	M1-5				-				
M2	M2-1	-		+	-	↓		+	↑
	M2-2		↓	+		↓		↓	↓
	M2-3		+	+	-	↓	+	↑	↑
	M2-4		+		-		+	+	
M3	M3-1	-		+					
	M3-2	-		+					
	M3-3			+	-		-	↓	
	M3-4				-	↓	-		

leer Konzentration im Schwankungsbereich zurückliegender Jahre

+ Überschreitung des bisherigen Messwertniveaus

- Unterschreitung des bisherigen Messwertniveaus

↑ / ↓ Trends (wenn erkennbar)

Weiterhin wurden für die Parameter Sulfat, gelöstes Eisen und pH-Wert teufen- und messstellenbezogene Ganglinien erstellt (Abbildung 3 bis Abbildung 5).

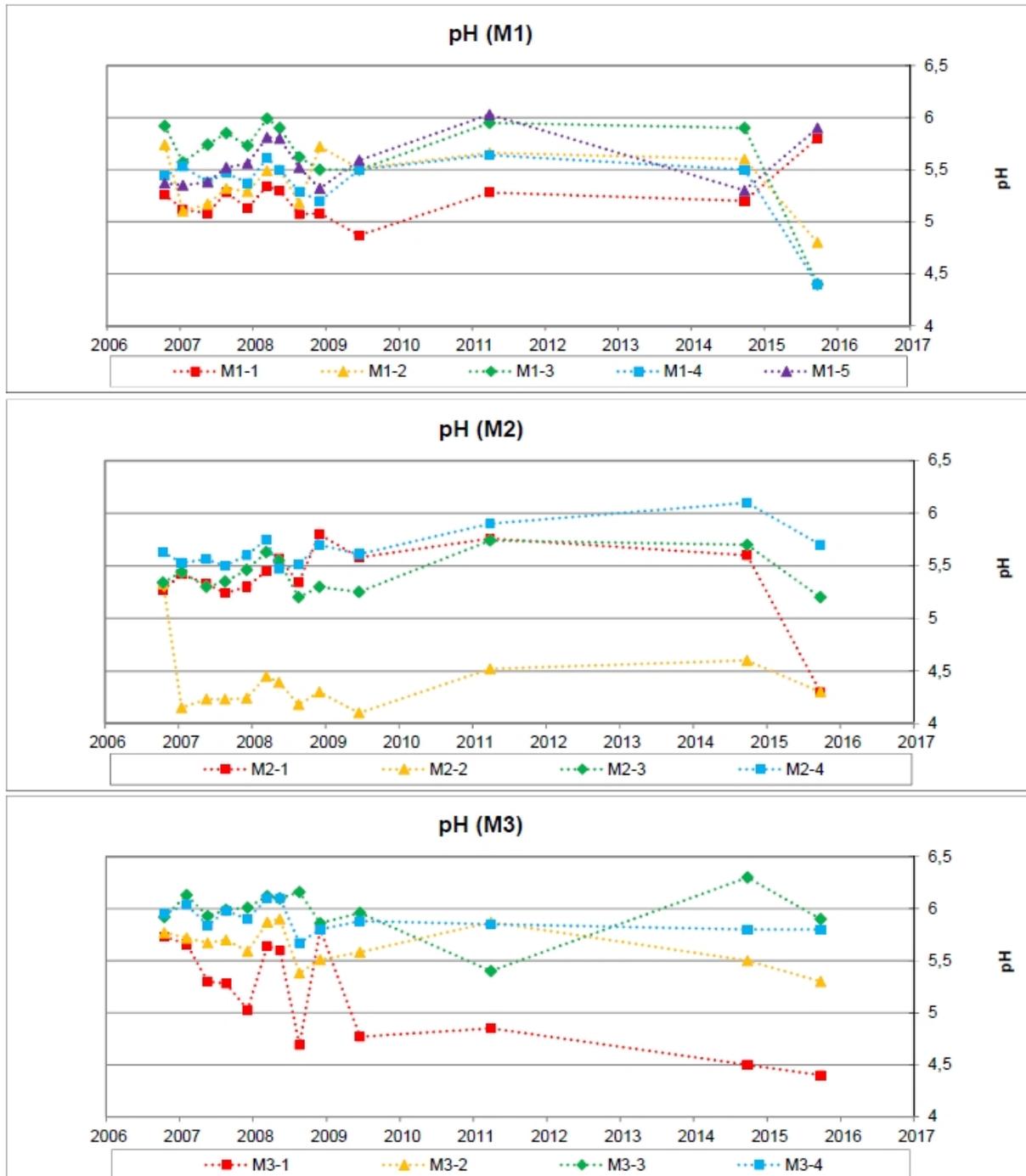


Abbildung 3: Konzentrationsentwicklung für pH-Wert (M1 bis M3)

Hubert Beyer Umwelt Consult GmbH, Strümpellstraße 6, 04289 Leipzig, Telefon: 0341 98458 50

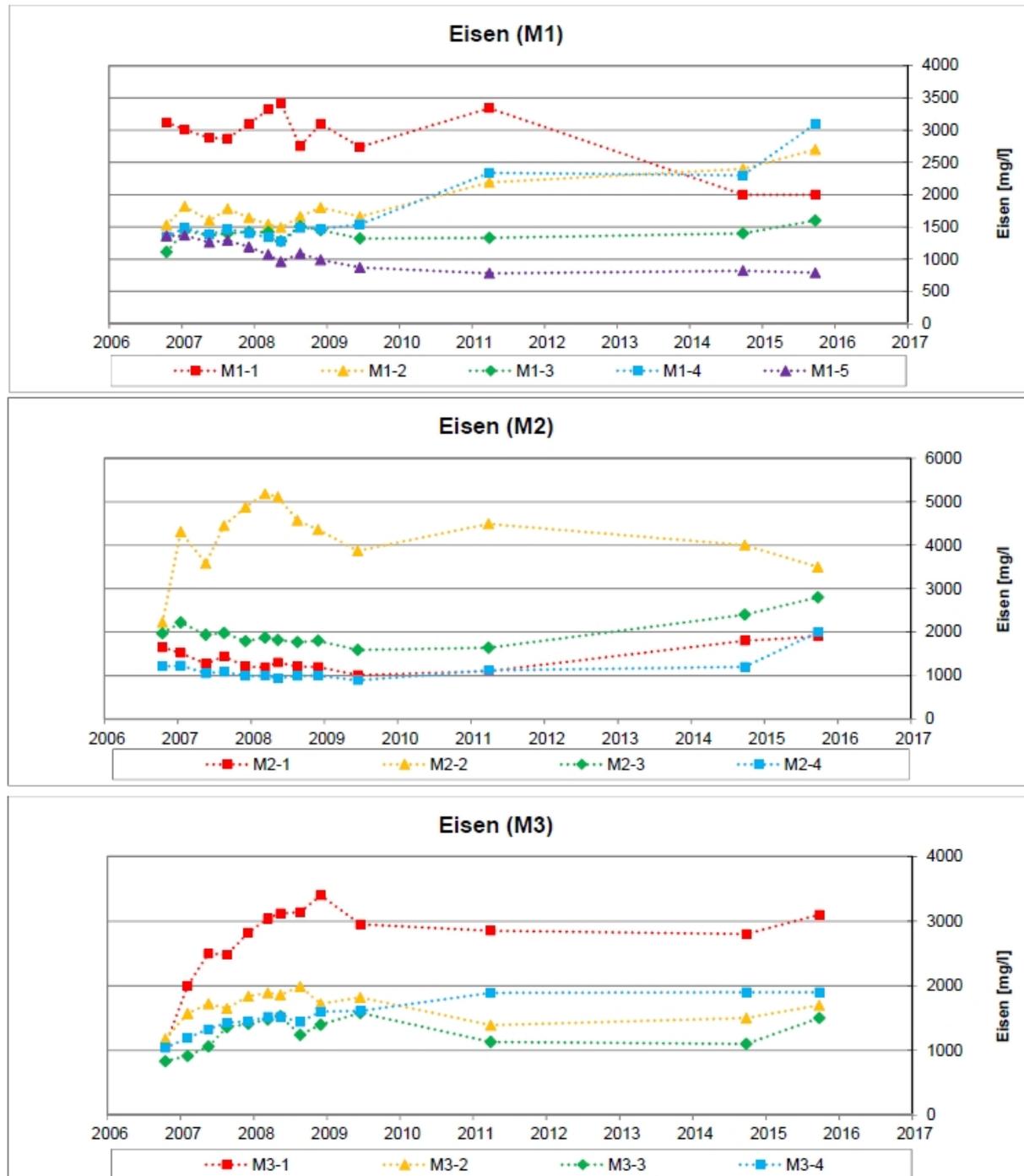


Abbildung 4: Konzentrationsentwicklung für Eisen gelöst (M1 bis M3)

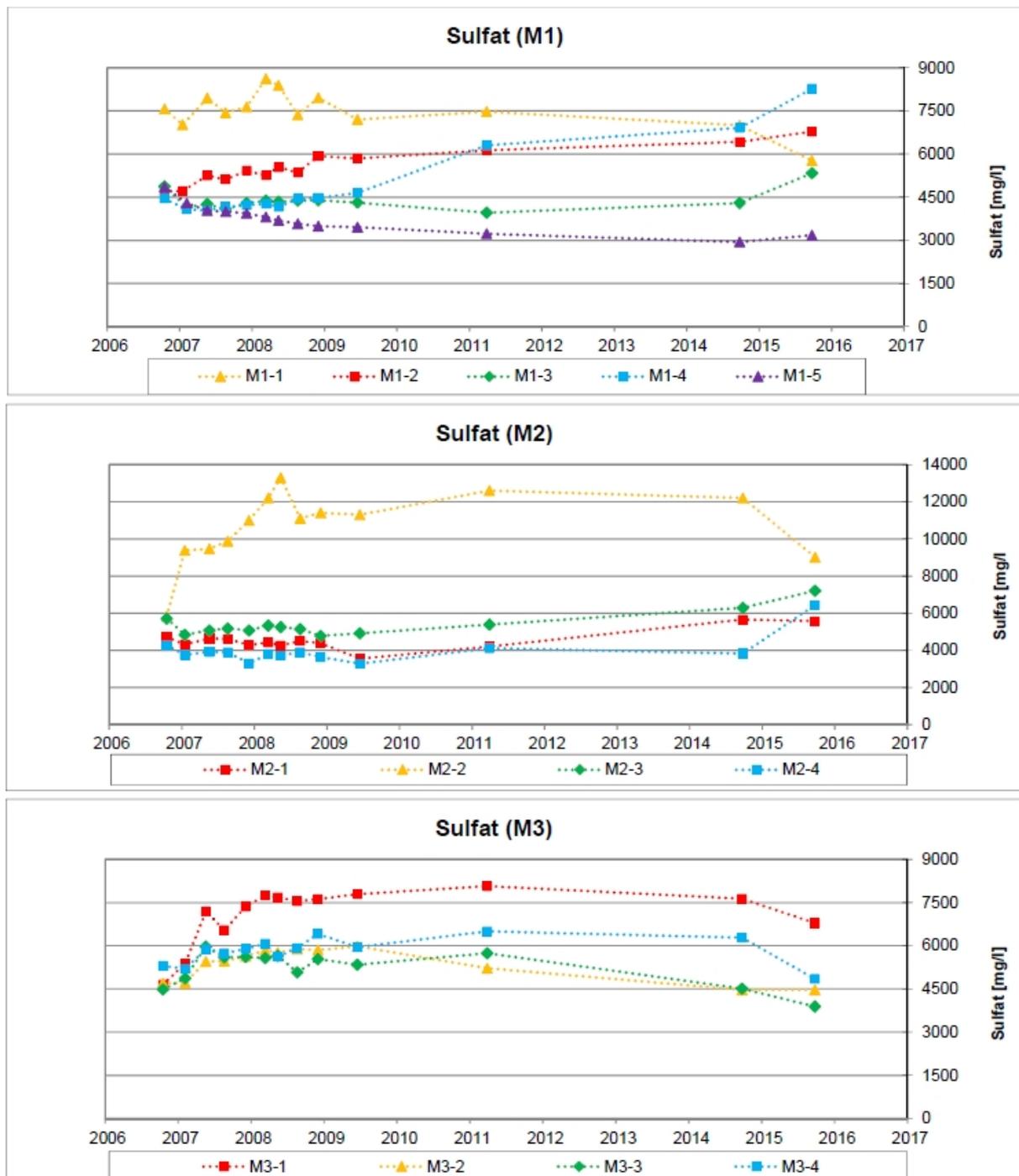


Abbildung 5: Konzentrationsentwicklung für Sulfat (M1 bis M3)

Hubert Beyer Umwelt Consult GmbH, Strümpellstraße 6, 04289 Leipzig, Telefon: 0341 98458 50

Wie auch im Vorjahr zeigt sich bei der Messwertentwicklung ein uneinheitliches Bild (vgl. auch Anlage 4.1 und Anlage 4.3). Die auffälligsten Messpunkte waren M1-4, M2-2 und M3-1.

Bei den pH-Werten wiesen in der M1 mehrere Filterlagen (M1-2 bis M1-4) sinkende Messwerte auf. Bei der M2 wiesen alle pH-Werte sinkende Messwerte auf. Bei der M3 wiesen nur die oberen beiden Teufen sinkende pH-Werte auf. In mehreren Fällen wurde sogar das bisherige Messwertniveau unterschritten (deutlich versauerte Bereiche).

Bei den Sulfat- und Eisenwerten zeigten sich parallele Entwicklungstendenzen insbesondere bei den Messstellen M1 und M2. Bei der M1-4 sowie der M2-3 wurden für beide Parameter deutlich steigende Trends beobachtet. Überschreitungen des bisherigen Messniveaus (M1 und M2) wurden noch in 3 weiteren Messpunkten ermittelt. Eine Unterschreitung gab es lediglich in der M1-1. Die Eisen- und Sulfatgehalte aller M3-Messpunkte wies tendenziell sinkende Messwerte auf.

Die Entwicklung bei Karbonathärte ist bemerkenswert. Bei der M1 und M2 wiesen nahezu alle Messpunkte sinkende Verhältnisse auf, bei der M3 war das nur bei den beiden tiefen Messpunkten M3-3 und M3-4 der Fall. Diese Entwicklung deutet auf eine abnehmende pH-Pufferkapazität.

Die Redoxwerte bei nahezu allen Messpunkten wiesen in der aktuellen Messung eine Überschreitung des bisherigen Messwertniveaus auf (Ausnahme: die jeweils tiefste Filterlage).

Die Messwertentwicklungen bei elektrischer Leitfähigkeit und Nettoazidität wiesen vergleichsweise geringe Veränderungen auf. Der Messpunkt M1-1 wies bei Nettoazidität eine sinkende Tendenz auf, die Leitfähigkeit wies in 3 Messpunkten steigende Werte auf.

Kurzzusammenfassung

Die Messwerte weisen insgesamt eine deutliche bergbauliche Beeinflussung auf. Sulfat und gelöstes Eisen sind in allen Messpunkten deutlich bis extrem erhöht. Zudem deutet sich in einzelnen Teufenbereichen ein weiteres Absinken der pH-Werte (bis 4,3) an. Die Karbonathärten deuten in der Großzahl der Messpunkte auf eine weiter abnehmende pH-Pufferkapazität (Abbau von Karbonaten). Die aktuelle Entwicklung deutet für die Zukunft auf eine weiterhin deutliche Beeinflussung des Grundwassers durch die Kippe. Neben hohen Eisen- und Sulfatfrachten im Grundwasser ist eine intensive Mobilisierung von Schwermetallen erkennbar.

5 MONITORING RAMMPEGEL

5.1 Zielstellung

Bei den Rammpegeln handelt es sich um insgesamt 25 Grundwassermessstellen, die im Umfeld der Pleiße positioniert wurden. Dabei wird weiter unterschieden in die Rammpegel im direkten Umfeld der Pleiße (17 Stück) sowie die Pegel auf dem Kippenkörper (8 Stück).

Ziel der Untersuchungen ist es, die Wasserinhaltsstoffe im Umfeld der Pleiße zu erfassen und deren Entwicklung zu überwachen. Im Ergebnis soll der Einfluss des der Pleiße zuströmenden Grundwassers charakterisiert und bewertet werden.

5.2 Messstellenbestand

Insgesamt wurden 25 Messstellen untersucht. Ein Teil der 17 Pegel im direkten Umfeld der Pleiße sind als Unterflurmessstellen ausgebaut (RKB 1 – 10).

Weiterhin sind 8 Pegel auf dem Kippenkörper positioniert. Die Pegel sind Überflur ausgebaut.

Eine Zusammenstellung zu den Kenndaten der untersuchten Rammpegel ist in der nachfolgenden Tabelle 8 enthalten. Alle Rammpegel haben einen Innendurchmesser von 50 mm.

Tabelle 8: Ausbaudaten der untersuchten Rammpegel

Bereich	Mark-scheidernr.	Messstellen-name	RW	HW	Messpunkthöhe [+ m NHN]	Teufe [m u. MP]	Filter [m u. MP]
Pleiße	61591	RKB1	4531020	5668020	130,44	4,04	3,0 - 4,0
	61601	RKB2	4530880	5668045	130,55	4,15	3,2 - 4,2
	61611	RKB3	4529544	5668746	129,86	4,16	3,2 - 4,2
	61621	RKB4	4529799	5668613	130,20	4,10	3,1 - 4,1
	61631	RKB5	4528419	5669791	129,11	4,01	3,0 - 4,0
	61641	RKB6	4528258	5670078	129,02	2,12	1,1 - 2,1
	61651	RKB7	4528204	5671479	129,07	3,47	2,5 - 3,5
	61661	RKB8	4530999	5667979	130,83	4,13	3,1 - 4,1
	61671	RKB9	4530715	5668080	130,29	4,09	3,1 - 4,1
	61681	RKB10	4529390	5668786	129,54	4,04	3,0 - 4,0
	70611	1303	4529715	5668589	136,21	8,01	7,0 - 8,0
	70621	1304	4529886	5668509	133,51	6,01	5,0 - 6,0
	70631	1305	4530052	5668419	134,20	6,00	5,0 - 6,0
	70641	1306	4530219	5668333	133,96	5,96	5,0 - 6,0
	70651	1307	4530380	5668239	135,04	7,04	6,0 - 7,0
	70661	1308	4530547	5668160	133,83	6,03	5,0 - 6,0
	70681	1310	4531095	5667962	135,75	6,95	5,9 - 6,9

Fortsetzung:

Tabelle 8: Ausbaudaten der untersuchten Rammpegel

Bereich	Mark-scheidernr.	Messstellen-name	RW	HW	Messpunkthöhe [+ m NHN]	Teufe [m u. MP]	Filter [m u. MP]
Kippe	61691	RKB11	4528200	5670616	137,71	6,01	5,0 - 6,0
	61701	RKB12	4528394	5670248	138,23	6,03	5,0 - 6,0
	61711	RKB13	4528542	5671179	134,82	6,02	5,0 - 6,0
	61721	RKB14	4528808	5670709	135,73	6,03	5,0 - 6,0
	61751	RKB17	4528811	5670392	137,95	5,75	4,8 - 5,8
	61761	RKB18	4530869	5667795	138,51	6,11	5,1 - 6,1
	61771	RKB19	4530835	5667468	137,64	5,94	4,9 - 5,9
	61781	RKB20	4530776	5667370	138,37	4,97	4,0 - 5,0

5.3 Zustandsprüfung

Im Rahmen der Zustandsprüfung wurde bei der RKB4 eine zerbrochene Straßenkappe festgestellt. Die SEBA-Kappen der RKB2 und 3 standen auf Grund geringer Flurabstände unter Wasser. Die RKB4 musste freigeschnitten werden. Wie im Vorjahr wurde bei der RKB3 eine größere Teufenabweichung von 60 cm festgestellt.

5.4 Wasserspiegelmessung

Die Messung der Wasserspiegel erfolgte vor der Probenahme im Zeitraum vom 22.08. bis 29.08.2016. Die Ergebnisse der Wasserspiegelmessungen sind in der Anlage 2.1 enthalten.

Die pleißenahen Pegel (RKB1-10) wiesen oberflächennahe Wasserspiegel im Bereich von +128,71 m NHN bis +130,78 m NHN auf. Die Pegel auf dem Kippenkörper schwanken zwischen +131,96 m NHN und +135,02 m NHN.

Im Vergleich mit den zurückliegenden Messungen liegen die Wasserspiegel der pleißenahen Pegel auf dem Niveau der Vorjahre. Die Wasserspiegelschwankungen sind hier maßgeblich durch die Pleiße geprägt.

Bei den Pegeln auf der Kippe weisen die Wasserstände im Großteil der Messpunkte den bisherigen Minimalwasserstand auf. Nach 2015 war auch 2016 ein vergleichsweise trockenes Jahr.

Zur Berücksichtigung vorherrschender GW-Fließrichtungen wurde der im Rahmen der Hydrodynamischen Jahresberichte 2015 erstellte Hydroisohypsenplan (4. Quartal 2015) für den Hangendgrundwasserleiter (1.1/1.5/1.8/2.5) einschließlich Kippen herangezogen. Neben den Hydroisohypsen in Anlage 1.2 sind vergleichend die ermittelten Wasserspiegel angetragen.

Aus den Hydroisohypsen ist die aktuelle Fließrichtung zu entnehmen. Die Grundwasserfließrichtung ist im Süden im Bereich der Hochhalde Neukieritzsch nach Norden zur Pleiße orientiert, im Osten schwenkt das Grundwasser nach Osten hin ein, im Westen nach Westen. Für den Kippenbereich westlich von Kahnsdorf ist von einem Plateau ausgehend ein Abströmen in alle Richtungen zu erkennen. Im Süden, Westen und Nordwesten fließt das Grundwasser

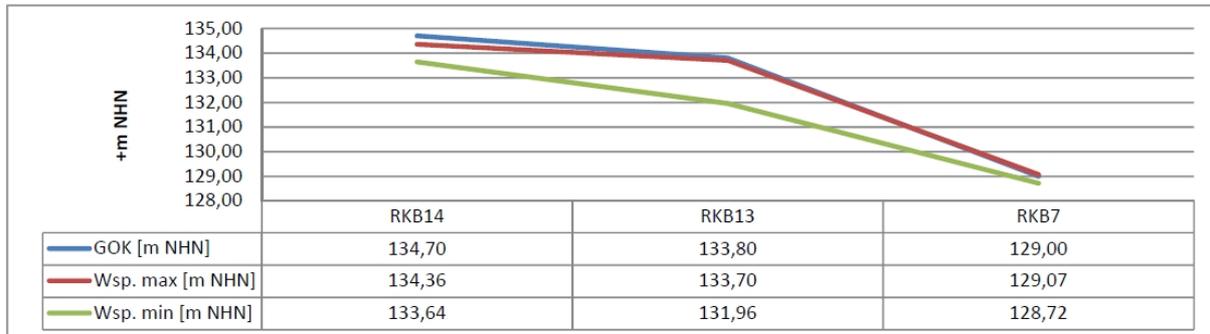


Abbildung 7: Wasserstände (min und max) im Profil I

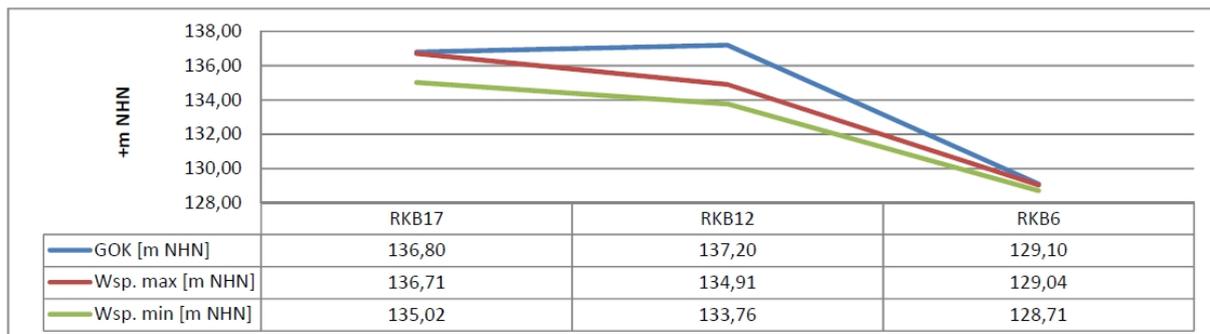


Abbildung 8: Wasserstände (min und max) im Profil II

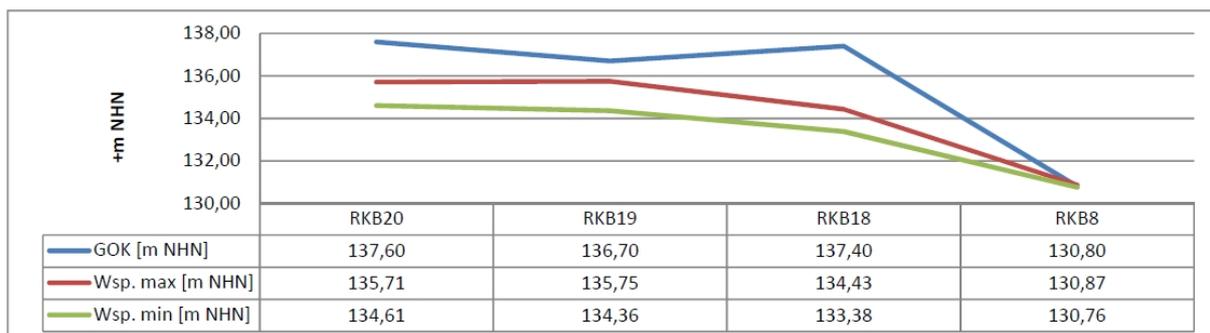


Abbildung 9: Wasserstände (min und max) im Profil III

Die maximalen Wasserstände in den Profil I bis III wurden in 2008 bzw. 2010. Die aktuellen Wasserstände entsprechen im Wesentlichen den Minimalwasserständen. In Richtung der Vorflut ist eine Abnahme der Flurabstände erkennbar.

In der Anlage 4.5 wurden die Zeitreihen zu den bisherigen Wasserspiegelmessungen dargestellt.

5.5 Analysenergebnisse

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen sind in der Anlage 3.2 zusammenfassend sowie im Prüfbericht des Labors in Anlage 5.2 enthalten. Ein Vergleich der aktuellen Ergebnisse mit den Ergebnissen zurückliegender Untersuchungen ist in Anlage 4.2 tabellarisch (Zeitreihen) und in Anlage 4.4 grafisch (Ganglinien) enthalten.

Zur Übersicht wurden in der nachfolgenden Tabelle 9 zunächst die jeweiligen Spannweiten bei den Konzentrationen dargestellt. Demnach weisen die Rammpegel im Untersuchungsgebiet (UG) ein überwiegend stark saures Millieu (Median pH=4,4) auf. Lediglich 5 Messstellen weisen pH-Werte >5 auf (Kippen-Nordbereich und Nähe der Wyhramündung). Mit den niedrigen pH-Werten einhergehen verhältnismäßig hohe Eisen- (Median 1.200 mg/l) und Sulfatgehalte (Median 3.790 mg/l) sowie elektr. Leitfähigkeiten (Median 4.260 µS/cm). Die Nettoaziditäten sind in nahezu allen Fällen positiv (bis 84,7 mmol/l). Bei der Mehrzahl der Messpunkte (16 von 21) ist kein pH-Puffervermögen mehr vorhanden (Karbonathärte = 0 mgCaO/l). In diesem Zusammenhang wurden zum Teil deutlich erhöhte Schwermetallkonzentrationen ermittelt. Für Nickel wurden Werte bis 3,4 mg/l und bei Zink bis 9,3 mg/l gemessen.

Tabelle 9: Messwertniveau der wesentlichen Parameter (Rammpegel)

Parameter	Minimum	Maximum	Median	Mittelwert	Anzahl
pH-Wert	3,9	6,6	4,4	4,7	21
elektr. Leitfähigkeit [µS/cm]	1.372	9.650	4.260	4.548	
Redox [mV]	195	510	406	383	
Eisen gelöst [mg/l]	12	4.800	1.200	1.372	
Sulfat [mg/l]	652	11.100	3.790	4.117	
Nettoazidität [mmol/l]	-4,1	84,7	21,1	23,7	
Karbonathärte [mgCaO/l]	0	161	0	14	16
Nickel [mg/l]	0,02	3,4	0,1	0,4	
Zink [mg/l]	0,5	9,3	2,5	3,3	

Die Auswertung der chemischen Analysen wird sich im Wesentlichen auf die in Abbildung 6 dargestellten Querprofile (Profile I bis III) und die Parameter pH-Wert, Eisen_{gelöst}, Sulfat und Karbonathärte beziehen.

Zudem wurden zwei Längsprofile (Profile IVa und IVb, links- und rechtsseitig des Pleißeflusses) analog den Querprofilen ausgewertet.

Profilschnitt I

In Abbildung 10 sind für das Profil I (westlich des Kahnsdorfer Sees) die Konzentrationen der Parameter pH-Wert, Eisen, Sulfat und Karbonathärte im Längsschnitt dargestellt. Die RKB14 konnte nicht beprobt werden, die Messwerte wurden aus dem Vorjahr übernommen.

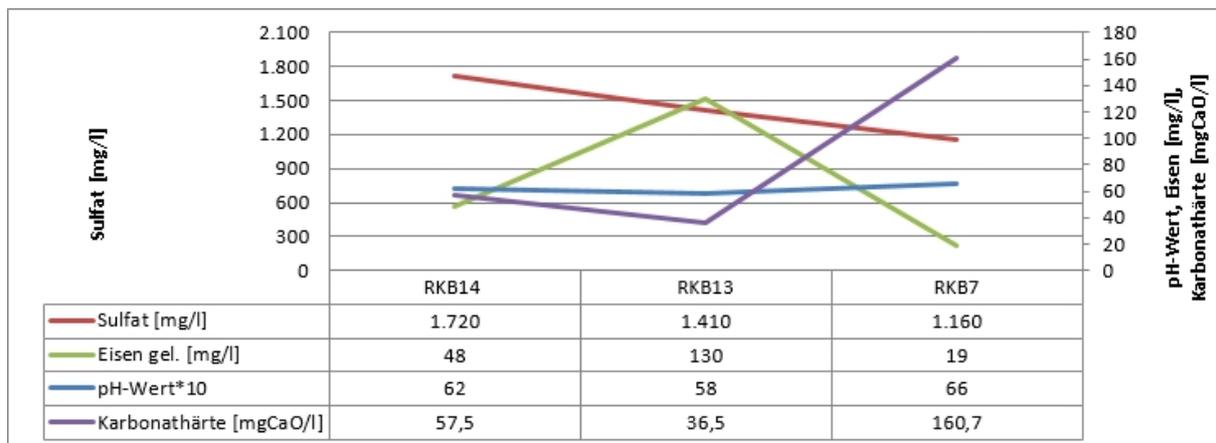


Abbildung 10: Konzentrationsverteilung im Profil I für pH, Fe, SO₄ und Karbonathärte

Die Messwerte bei pH und Sulfat schwanken über das Längsprofil betrachtet vergleichsweise geringfügig. Die pH-Werte nehmen in Richtung Vorflut tendenziell zu (5,8 bis 6,6), die Sulfatgehalte ab (1.720 bis 1.160 mg/l). Bei gelösten Eisen gilt dies ebenso mit der Einschränkung, dass der höchste Messwert hier in der RKB13 (am Mittelhang) ermittelt wurde (19 bis 130 mg/l). Gegenüber den Vormessungen fällt auf, dass die beiden bisher gemessenen oberhalb am Hang gelegenen GWM (RKB15 und 16, in Abbildung 6 grau dargestellt) deutlich höhere Eisengehalte (um 1.000 mg/l) aufwiesen. Die Ursache wird hier im variablen Kippenaufbau gesehen. Dies wird durch die Messwerte bei Karbonathärte bekräftigt, hier wurde eine deutliche Messwertzunahme in Richtung der Pleiße festgestellt. Zudem könnten Verdünnungsprozesse (z. B durch Sickerwässer) eine Rolle spielen. Weitere Parameter sind elektr. Leitfähigkeit (2.083 bis 2.700 µS/cm), Redoxpotential (195 bis 256 mV) und Calcium (421 bis 593 mg/l).

Im Vergleich mit den bisherigen Messungen zeigten sich lediglich geringe Veränderungen, die Messstelle am Mittelhang wies tendenziell sinkende Sulfat- und Eisengehalte auf.

Profilschnitt II

In Abbildung 11 sind für das Profil II die Konzentrationen der wesentlichen Parameter (pH-Wert, Eisen, Sulfat und Karbonathärte) im Längsschnitt dargestellt.

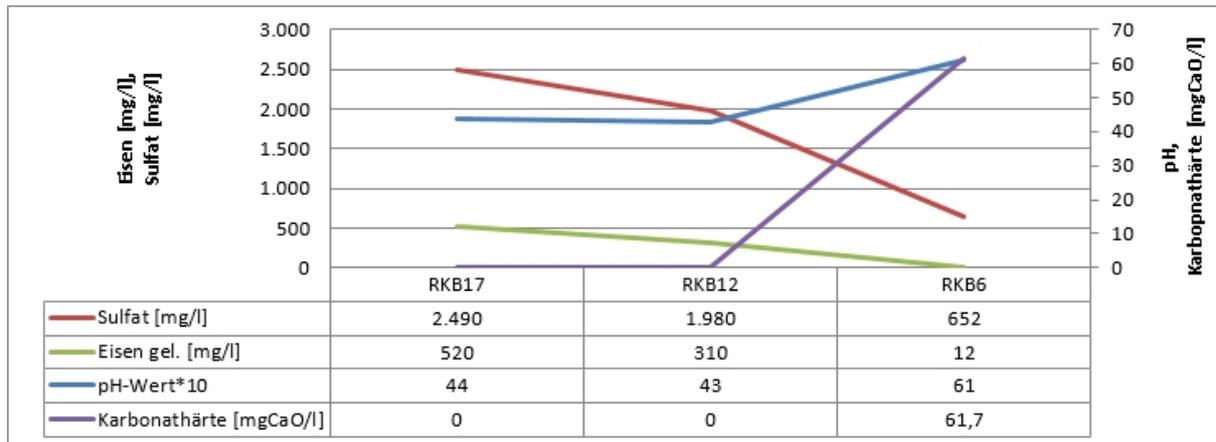


Abbildung 11: Konzentrationsverteilung im Profil II für pH, Fe, SO₄ und Karbonathärte

Das Längsprofil am Westhang des Messplatzes Kippe Witznitz ist im Wesentlichen identisch mit dem Vorjahr. Für Eisen und Sulfat sind im Längsverlauf zur Pleiße hin deutliche Messwertrückgänge erkennbar. Die höchsten Messwerte wurden jeweils in der RKB 17 bei Sulfat mit 2.490 mg/l und Eisen mit 520 mg/l ermittelt. Am Pleißeufer betragen die jeweiligen Messwerte nur noch einen Bruchteil davon. Bei pH-Wert ist zur Pleiße hin eine Zunahme erkennbar. Die beiden Messpunkte am Ober- und Mittelhang haben mit Werten unter 4,5 einen sehr sauren Charakter. Die Karbonathärten zeigen lediglich für die Messstelle am Pleißeufer eine verbleibende Karbonatpufferkapazität. Die weiteren Messpunkte sind schon länger nicht mehr gepuffert. Die Messwerte bei elektr. Leitfähigkeit liegen im Bereich von 1.372 und 3.290 $\mu\text{S}/\text{cm}$, bei Redoxpotential zwischen 275 und 461 mV und bei Calcium zwischen 260 und 508 mg/l.

Die Parameterentwicklung im Profilverlauf lässt auf Verdünnungsprozesse durch Sickerwässer schließen.

Im Vergleich mit den früheren Untersuchungen zeigen nur die beiden GWM am Oberhang sowie an der Pleiße relevante Veränderungen. In der RKB17 wurden sinkende Messwerte für Sulfat (mit Trend) sowie sinkende elektr. Leitfähigkeiten festgestellt. Die RKB6 wies ebenfalls sinkende Sulfatgehalte auf. Zudem wurde bei pH eine Unterschreitung des bisherigen Messniveaus festgestellt. Die Karbonathärte wies einen sinkenden Trend auf. Beide GWM zeigten steigende Redoxwerte. Die Entwicklung könnte darauf hin deuten, dass die Messstelle zunehmend durch den Einfluss zufließenden bergbaulicher Wässer überprägt wird.

Profilschnitt III (Hochhalde Neukieritzsch)

In Abbildung 12 sind für das Profil III die Konzentrationen der wesentlichen Parameter (pH-Wert, Eisen, Sulfat und Karbonathärte) im Längsschnitt dargestellt. Die beiden RKB18 und RKB20 konnten nicht beprobt werden, hier wurden die Messwerte aus dem Jahr 2015 für die graphische Darstellung verwendet.

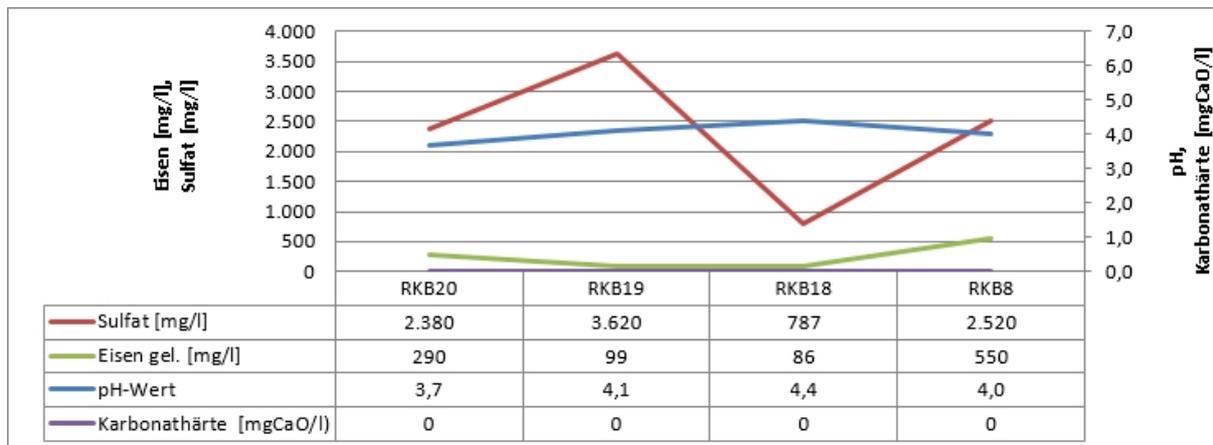


Abbildung 12: Konzentrationsverteilung im Profil III für pH, Fe, SO₄ und Karbonathärte

Der Profilschnitt III erfasst das Längsprofil der Hochhalde Neukieritzsch im Südosten des UG. Alle Messwerte weisen stark saure Verhältnisse auf (pH 3,7 bis 4,4). Die Karbonathärten bekräftigen dies, Karbonatpufferkapazitäten sind an keinem der Messpunkte vorhanden. Demgegenüber wurden im Längsprofil ungleich verteilte Eisen- und Sulfatgehalte ermittelt. Bei Sulfat weisen drei Messpunkte erhöhte Sulfatgehalte (2.380 bis 3.650 mg/l) auf. Hiervon weicht die RKB18 mit 787 mg/l deutlich ab. Bei gelösten Eisen wurde der höchste Messwert am Pleißeufer mit 550 mg/l ermittelt. Die beiden anstromigen Messpunkte weisen mit 86 bzw. 99 mg/l vergleichsweise geringe Eisengehalte auf. Am Oberhang wurde Eisen mit 290 mg/l ermittelt. Die elektr. Leitfähigkeiten liegen bei 1.350 und 4.090 $\mu\text{S}/\text{cm}$, die Redoxwerte bei 471 bis 574 mV und die Calciumgehalte bei 218 bis 547 mg/l.

Gemäß den Ausführungen in Kap. 2 ist die Kippzone 1 die Älteste der Kippzonen im UG und weist mit einem Anteil von 35 % den höchsten Anteil an Flözbegleitern auf. Demnach deuten die Messergebnisse auf eine intensive Auswaschung des Untergrundes hin. Zudem sind die Messwertverteilungen vermutlich mit größeren Unterschieden in der Zusammensetzung des Kippensubstrates zu begründen (stark schwankende Anteile tertiärer Sedimente).

Im Vergleich mit früheren Untersuchungen war in RKB8 und RKB 19 eine Überschreitung des bisherigen Messniveaus bei gelösten Eisen sowie bei Zink erkennbar. Puffernde Karbonate sind in allen 4 GWM schon seit Beginn der Messungen 2007 praktisch nicht mehr vorhanden.

Hubert Beyer Umwelt Consult GmbH, Strümpellstraße 6, 04289 Leipzig, Telefon: 0341 98458 50

Profilschnitt IV (Pleißeufer)

Für den Profilschnitt IV, beginnend im Südosten an der Wyhramündung, der Pleiße folgend zeigt die Abbildung 13 die Konzentrationen der wesentlichen Parameter (pH-Wert, Eisen und Sulfat) im Längsschnitt. Dabei wurde je ein Längsprofil für die Messpunkte linksseitig (IVa) und rechtsseitig (IVb) der Pleiße erstellt. Die erfassten Messpunkte liegen entlang des Pleißeufer und repräsentieren damit den direkten Grundwasserzustrom zur Pleiße.

Das Profil linksseitig (IVa) repräsentiert den Zustrom aus der Hochhalde Neukieritzsch im Süden und endet im Bereich der Ortslage Neukieritzsch. Das Profil IVb erfasst den Zustrom zur Pleiße von Norden sowie im weiteren Verlauf von Osten. Das Profil IVb ist somit wesentlich länger. Die RKB3 markiert hier den Bereich der Ortslage Neukieritzsch (vgl. Abbildung 6).

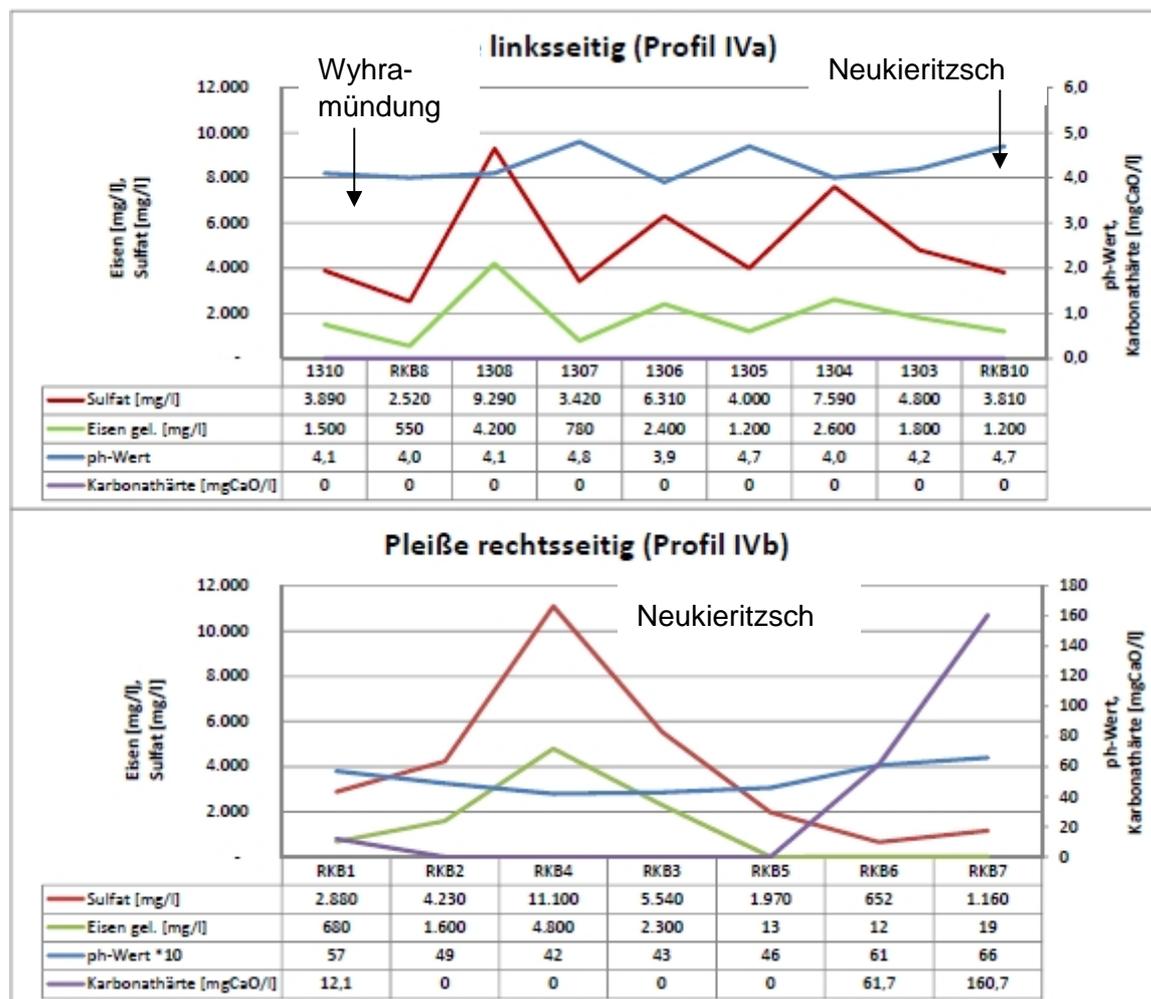


Abbildung 13: Konzentrationsverteilung im Profil IV (links- bzw. rechtsseitig des Pleißeufer) für pH, Fe, SO₄ und Karbonathärte

Der linksseitige Zustrom weist erhöhte Sulfat- (2.520 bis 9.290 mg/l) und Eisengehalte (550 bis 4.200 mg/l) auf. Wie im Vorjahr korrelieren die Eisen- und Sulfatgehalte und schwanken über das Längsprofil stark. Die höchsten Gehalte wurden an der GWM1308 ermittelt. Die pH-Werte liegen über das gesamte Profil im deutlich sauren Bereich zwischen 3,9 und 4,7. Puffernde Karbonate sind an keinem der Messpunkte verfügbar. Die Leitfähigkeiten liegen zwischen 3.320 und 8.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, die Redoxpotentiale zwischen 368 und 510 mV und die Calciumgehalte zwischen 376 und 491 mg/l. An nahezu allen Messpunkten wurden erhöhte Schwermetalle gemessen, Nickel (bis 3,4 mg/l) und Zink (bis 9,3 mg/l) sind besonders erhöht. Der Vergleich mit den bisherigen Messwerten zeigt in mehreren Fällen eine Überschreitung des bisherigen Messwertniveaus bei elektrischer Leitfähigkeit (8x), Eisen gelöst (6x), Sulfat (3x) und Zink (2x). Unterschreitungen wurden für Calcium in 5 Fällen ermittelt. Karbonate sind seit Beginn der Messungen nahezu überall nicht mehr vorhanden. Die Messwerte deuten auch für die Zukunft auf hohe bergbaugeprägte Frachten im Grundwasserzustrom zur Pleiße.

Der rechtsseitige Zustrom zeigt ab der Ortslage Neukieritzsch eine deutliche Änderung in der chemischen Zusammensetzung. Für den Bereich von der Wyhramündung bis Neukieritzsch wurden hohe Sulfat- (2.880 bis 11.100 mg/l) und Eisengehalte (680 bis 4.800 mg/l) ermittelt. Die pH-Werte schwanken zwischen 4,2 und 5,7. Karbonate waren nur noch im Bereich der Wyhramündung minimal vorhanden. Die Leitfähigkeiten liegen zwischen 3.780 und 9.650 $\mu\text{S}/\text{cm}$, die Redoxpotentiale zwischen 255 und 427 mV und die Calciumgehalte zwischen 381 und 495 mg/l. Bei den Schwermetallen wiesen besonders Nickel (bis 1,1 mg/l) und Zink (bis 6,5 mg/l) auffällige Konzentrationen auf. Die höchsten Messwerte wurden in der RKB4 ermittelt. Hier wurden seit 2010 deutliche Messwertanstiege, insbesondere bei Eisen, Sulfat und elektr. Leitfähigkeit festgestellt. In der RKB2 wiesen die Konzentrationen bei Sulfat, Eisen und Leitfähigkeiten einen sinkenden Trend auf.

Im Bereich nördlich der Ortslage Neukieritzsch zeigen die Konzentrationen insbesondere bei Eisen (bis 19 mg/l) eine deutlich abweichende Hydrochemie. Sulfat wurde zwischen 652 und 1.970 mg/l gemessen, die pH-Werte steigen flussabwärts von 4,6 auf 6,6 an. Gleiches gilt für die Karbonathärten, welche bis auf 161 mgCaO/l an der RKB7 ansteigen. Die elektr. Leitfähigkeiten liegen zwischen 1.372 und 2.663 $\mu\text{S}/\text{cm}$, die Redoxpotentiale nehmen flussabwärts von 401 auf 195 mV ab. Die Calciumgehalte schwanken zwischen 260 und 603 mg/l. Nennenswerte Konzentrationsänderungen waren lediglich in der insgesamt unauffälligen RKB6 bei Sulfat (sinkender Trend), Calcium und pH (Unterschreitung des bisherigen Messniveaus) erkennbar. Die betreffenden GWM (RKB5 bis RKB7) befinden sich in einem schmalen Streifen Gewachsenen zwischen Kippenkörper und Pleiße.

Für den Teilabschnitt von der Wyhramündung bis zur Ortslage Neukieritzsch ist insgesamt ein deutlicher Zustrom von bergbaulich beeinflussten Wässern festzustellen. Die beeinflussten Grundwässer strömen der Pleiße hier beidseitig zu. Insbesondere der anhaltende Eisen- eintrag in diesem Bereich ist von Relevanz.

Vergleich mit bisherigen Messungen

Ergänzend zu den profilbezogenen Darstellungen wurde nachfolgend noch einmal für alle Rammpegel ein Vergleich mit dem bisherigen Messwertniveau zusammengestellt.

In der Anlage 4.2 sind die bisherigen Messwerte tabellarisch zusammengefasst. Die Anlage 4.4 enthält die grafische Auswertung zur Konzentrationsentwicklung wesentlicher Parameter. In der nachfolgenden Tabelle 10 sind die augenscheinlichen Veränderungen in der Konzentrationsentwicklung für ausgewählte Parameter dargestellt.

Vorbemerkung: Die ermittelten Messwerte werden mit den Ergebnissen der zurückliegenden Messungen verglichen. Dabei werden die aktuellen Messwerte dem bisherigen Schwankungsbereich/Konzentrationsniveau (= bisherige min/max Werte mit Eliminierung von Ausreißern) gegenübergestellt. Soweit möglich werden zudem Trends zur Entwicklung der Konzentrationen benannt.

Tabelle 10: Vergleich mit dem bisherigen Messwertniveau

Lage	Messstellenname	pH	Lf	Redox		Sulfat		Eisen		Karb. harte	Calcium
Kippe	RKB12			+	↑						
	RKB13			+			↓		↓		-
	RKB17		-	+		-	↓				
	RKB19			+				+			
Pleiße (Wyhramündung bis Neukieritzsch)	RKB1	+	↑		↑						
	RKB2		-	+	↑	-	↓	-			
	RKB3			+	↑						
	RKB4		+	↑	+	↑	+	↑	+	↑	-
	RKB8		+					+			
	RKB9		+					+		-	-
	RKB10							+			
	1303		+			+		+			
	1304		+								-
	1305	-	+			+		+			
	1306		+								-
	1307		+			+		+			-
1308		+								-	
1310		+						+		-	
Pleiße (nördlich von Neukieritzsch)	RKB5										+
	RKB6	-				-	↓			↓	-
	RKB7										

leer Konzentration im Schwankungsbereich zurückliegender Jahre

+ Überschreitung des bisherigen Messwertniveaus

- Unterschreitung des bisherigen Messwertniveaus

↑/↓ Trends (wenn erkennbar)

Hubert Beyer Umwelt Consult GmbH, Strümpellstraße 6, 04289 Leipzig, Telefon: 0341 98458 50

Die Messpunkte auf der Kippe wiesen Überschreitungen des bisherigen Messniveaus bei den Redoxpotentialen auf. Vereinzelt waren zudem sinkende Trends bei Sulfat und Eisen erkennbar.

Für die pleißenahen Messpunkte (Wyhramündung bis Neukieritzsch) zeigte sich bei mehreren Messpunkten eine Überschreitung des bisherigen Messwertniveaus bei elektr. Leitfähigkeit und Eisen gelöst sowie vereinzelt bei Sulfat und Redox (mit Trend, v.a. rechtsseitig der Pleiße). Hervorzuheben ist insbesondere die Entwicklung bei der RKB4, seit 2010 kam es hier zu deutlichen Messwertanstiegen benannter Parameter. Unterschreitungen des bisherigen Messniveaus wurden in mehreren GWM bei Calcium ermittelt.

Für die pleißenahen Messpunkte (ab Neukieritzsch) waren nur vereinzelt Messwertveränderungen erkennbar. Messwertrückgänge wurden in der RKB6 bei pH, Sulfat und Karbonathärte festgestellt.

Im Ergebnis ist das der Pleiße zuströmende Grundwasser weiterhin stark bergbaulich beeinflusst. Damit einher gehen anhaltende Messwertanstiege relevanter Parameter (in erster Linie Eisen). Die Eintragsfrachten insbesondere von Eisen_{gelöst}, welches u. a. zur Braunfärbung des Gewässers führt, bleiben damit auf hohem Niveau.

6 ZUSAMMENFASSUNG/EMPFEHLUNGEN

Das Grundwassermonitoring am Standort Messplatz Kippe Witznitz erfolgte im Zeitraum vom 23.08. bis 01.09.2016 sowie an einer GWM am 24.11.2016. Es umfasste die Untersuchung von 3 Mehrfachmessstellen mit insgesamt 13 Filterstrecken sowie 25 zu Grundwassermessstellen ausgebauten Rammpegeln. Die Ergebnisse des Grundwassermonitorings 2016 können wie folgt zusammengefasst werden:

Im Ergebnis der Zustandsprüfung wurde bei der RKB4 eine zerbrochene Straßenkappe festgestellt. Die RKB4 musste freigeschnitten werden. Die RKB3 wies eine Teufenabweichung von 60 cm auf. Weitere Beschädigungen oder Hinweise darauf wurden nicht festgestellt.

Die ermittelten Grundwasserstände lagen zwischen +135,02 m NHN auf dem Kippenkörper und +128,71 m NHN bis +130,78 m NHN entlang der Pleiße. Bei den Pegeln auf der Kippe weisen die Wasserstände im Großteil der Messpunkte den bisherigen Minimalwasserstand auf.

Zur Berücksichtigung der GW-Fließrichtungen wurde der im Rahmen der Hydrodynamischen Jahresberichte 2015 erstellte Hydroisohypsenplan (4. Quartal 2015) für den Hangendgrundwasserleiter (1.1/1.5/1.8/2.5) einschließlich Kippen herangezogen. Von der Kippe erfolgt dabei ein Zustrom zur Pleiße als Vorfluter. Dies betrifft die Kippenbereiche südöstlich von Neukieritzsch und westlich von Kahnsdorf.

Die Ergebnisse zur Grundwasserchemie werden getrennt für die Mehrfachmessstellen sowie die Rammpegel dargestellt und können wie folgt zusammengefasst werden:

Die drei Mehrfachmessstellen befinden sich auf dem Südwesthang der Kippe Witznitz. Sie liegen auf einem Profil, wobei die M1 im oberen, die M2 im mittleren und die M3 im unteren Hangbereich (nahe der Vorflut Pleiße) positioniert wurden. Die jeweiligen Filterelemente (4 bzw. 5 Stück) sind in vergleichbaren Teufenbereichen eingebaut.

Alle Messpunkte der 3 Mehrfachmessstellen wiesen saure bis schwach saure Verhältnisse auf (4,3 – 5,9). Das Grundwasser wies einen hohen Mineralisationsgrad auf, die elektr. Leitfähigkeiten waren in allen Messpunkten mit 4.330 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis 8.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ deutlich erhöht. Insbesondere Sulfat (bis 9.010 mg/l) und Eisen_{gelöst} (bis 3.500 mg/l) waren deutlich erhöht. Weiterhin wiesen alle Messpunkte z. T. sehr hohe Nettoaziditäten (bis 52,5 mmol/l) auf. Die höchsten Messwerte wurden in der M2 im Teufenbereich von +120 m NHN ermittelt. Die niedrigsten Konzentrationen wurden in dem am tiefsten verfilterten Messpunkt M1-5 (+93 m NHN) ermittelt. Die Messwerte bei der Karbonathärte liegen zwischen 0 und 67,9 mg/l. Einher gehend mit den niedrigen pH-Werten waren mehrfach erhöhte Schwermetalle nachweisbar (insbesondere Nickel und Zink). Die Messwerte weisen insgesamt eine deutliche bergbauliche Beeinflussung auf. Sulfat und gelöstes Eisen sind in allen Messpunkten deutlich bis extrem erhöht (zum Teil mit steigenden Konzentrationen). Zudem deutet sich in einzelnen Teufenbereichen ein weiteres Absinken der pH-Werte an (bis 4,3). Die mehrfach sinkenden Karbonathärten deuten in der Großzahl der Messpunkte auf eine weiter abnehmende pH-Pufferkapazität (Abbau von Karbonaten).

Hubert Beyer Umwelt Consult GmbH, Strümpellstraße 6, 04289 Leipzig, Telefon: 0341 98458 50

Die zu Grundwassermessstellen ausgebauten Rammpegel befinden sich zum einen entlang des Pleißeufers und zum anderen auf dem Kippenkörper. Schwerpunkt der Auswertung war die Betrachtung der Messwerte und Entwicklungen im Längs- und Querprofil. Hierfür wurden insgesamt 3 Querprofile (vom Kippenplateau zur Pleiße) betrachtet. Weiterhin wurden zwei Längsprofile entlang des Pleißeufers ausgewertet.

Die allgemeinen chemischen Verhältnisse lassen sich wie folgt beschreiben. Die Pegel weisen ein überwiegend stark saures Milieu (Median pH=4,4) auf. Lediglich 5 Messstellen weisen pH-Werte >5 auf. Demensprechend wurden für die Parameter Eisen (bis 4.800 mg/l), Sulfat (bis 11.100 mg/l), elektr. Leitfähigkeit (bis 9.650 µS/cm), Nettoazidität (bis 84,7 mmol/l) nahezu überall sehr hohe Konzentrationen ermittelt. Karbonatpuffer waren nur noch an wenigen Messpunkten vorhanden. In diesem Zusammenhang wurden zum Teil deutlich erhöhte Schwermetallkonzentrationen ermittelt. Bei Nickel bis max. 3,4 mg/l und bei Zink bis 9,3 mg/l.

Die Auswertung der Querprofile wies für das Profil I im Norden die geringsten Konzentrationen bei Eisen_{gelöst} und Sulfat auf. Die pH-Werte nehmen in Richtung Vorflut tendenziell zu (5,8 bis 6,6), die Sulfatgehalte (1.160 bis 1.720 mg/l) und Eisen (mit Einschränkungen, 19 bis 130 mg/l) ab. Das Längsprofil am Westhang des Messplatzes Kippe Witznitz (Profil II) ist im Wesentlichen identisch mit dem Vorjahr. Es wurden erhöhte Konzentrationen bei Eisen (bis 520 mg/l) und Sulfat (bis 2.490 mg/l) sowie niedrige pH-Werte auf dem Kippenplateau ermittelt, während auf Pleißeniveau verhältnismäßig geringe Konzentrationen vorlagen. Das Profil III im Südosten hingegen weist bei allen Messpunkten erhöhte Konzentrationen sowie ein zum Teil deutlich schwankendes Niveau bei durchgehend sauren Verhältnissen auf. Alle Messwerte weisen stark saure Verhältnisse auf (pH 3,7 bis 4,4). Karbonatpufferkapazitäten sind an keinem der Messpunkte vorhanden. Bis auf eine Ausnahme wurden hohe Eisen- (bis 550 mg/l) und Sulfatgehalte (bis 3.650 mg/l) gemessen. Das Längsprofil (Profil IV, entlang der Pleiße) beginnend an der Wyhraeinmündung bis zur Höhe der Ortslage Neukieritzsch repräsentiert den direkten Grundwasserzustrom aus der Kippe in die Vorflut. Dabei gibt es im Profilverlauf auf Höhe der Ortslage Neukieritzsch eine deutliche Veränderung in der Beschaffenheit. Im Zustrombereich von der Wyhramündung bis Neukieritzsch wurden beidseitig der Pleiße extreme Sulfat- (bis 11.100 mg/l) und Eisengehalte (bis 4.800 mg/l) ermittelt. Puffernde Karbonate waren praktisch nicht mehr vorhanden. Die pH-Werte wiesen nahezu durchgängig stark saure Verhältnisse auf (bis 3,9). Im Bereich nördlich der Ortslage Neukieritzsch wurden deutlich geringere Messwerte festgestellt (schmaler Streifen Gewachsenes zwischen Kippenkörper und Pleiße), Eisen wurde bis max. 19mg/l und Sulfat bis 1.970 mg/l nachgewiesen. Die pH-Werte nehmen flussabwärts bis 6,6 zu, gleiches gilt für die Karbonathärte (Zunahme bis 161 mgCaO/l).

Der Vergleich mit früheren Messungen zeigte insbesondere für die pleißenahen Messpunkte zwischen der Wyhramündung und Neukieritzsch relevante Veränderungen. Mehrere Messpunkte wiesen eine Überschreitung des bisherigen Messwertniveaus bei elektr. Leitfähigkeit und Eisen gelöst sowie vereinzelt bei Sulfat und Redox (mit Trend, v.a. rechtsseitig der Pleiße) auf. Hervorzuheben ist insbesondere die Entwicklung bei der RKB4, seit 2010 kam es hier zu deutlichen Messwertanstiegen benannter Parameter. Unterschreitungen des bisherigen Messniveaus wurden in mehreren GWM bei Calcium ermittelt. Für die weiteren Bereiche wurden nur einzelne Messwertüber- bzw. -unterschreitungen festgestellt.

Hubert Beyer Umwelt Consult GmbH, Strümpellstraße 6, 04289 Leipzig, Telefon: 0341 98458 50

Für den Teilabschnitt von der Wyhramündung bis zur Ortslage Neukieritzsch ist insgesamt ein deutlicher Zustrom von bergbaulich beeinflussten Wässern festzustellen. Die beeinflussten Grundwässer strömen der Pleiße hier beidseitig zu. Die anhaltenden Messwertanstiege bei Eisen führen auch zukünftig zu einem auch massiven Eiseneintrag in die Pleiße, welches u. a. zur Braunfärbung des Gewässers führt. Da die Lösungsprozesse in der Kippe über lange Zeiträume erfolgen, ist auch mittelfristig mit hohen bergbaulich spezifischen Einträgen zu rechnen.

Empfehlung zum weiteren Vorgehen

Die Fortführung des Grundwassermonitorings in der aktuellen Form wird im 1 Jahresrhythmus empfohlen. Dabei sollte darauf geachtet werden, die Probenahme bei Niedrigwasser der Pleiße durchzuführen, um die Zugänglichkeit der im Uferbereich gelegenen Messpunkte zu gewährleisten.

Die Errichtung von Ersatzmessstellen für die nicht mehr vorhandenen RKB15 und 16 ist zu prüfen.

Die TIC-Werte der aktuellen Messung bestätigen die Ergebnisse aus 2015. Die Ergebnisse werden als plausibel eingeschätzt. Hinsichtlich einer Vergleichbarkeit mit früheren Messungen bestehen jedoch Einschränkungen, da Messergebnisse unterschiedlicher Labore voneinander abweichen können. Für 2017 wird eine Parallelmessung in einem zweiten Labor empfohlen.

Die zerbrochene Straßenkappe der RKB4 ist durch die LMBV instand zu setzen. Weiterhin ist diese Messstelle vor der nächsten Probenahme freizuschneiden.

7 QUELLEN- UND LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Montanhydrologisches Monitoring – Grundwassermonitoring § 2 und § 3 (Los 2), Sanierungsbereich Westsachsen/Thüringen, Anlage 2 zum Leistungsverzeichnis 2016.
- /2/ Leistungsbeschreibung zum Montanhydrologischen Monitoring – Grundwassermonitoring § 2 und § 3, Sanierungsbereich Westsachsen/Thüringen, Ausführungszeitraum 01/2016 - 06/2017.
- /3/ Hydrodynamische Jahresberichte – 4. Quartal 2015, Hydroisohypsen für den Hangendgrundwasserleiter (1.1/1.5/1.8/2.5) einschließlich Kippen, Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH; Leipzig, 2016.
- /4/ Ergebnisbericht Montanhydrologisches Monitoring Westsachsen/Thüringen, Monitoring Messplatz Kippe Witznitz, Beprobung August-September 2015, H. Beyer Umwelt Consult GmbH Leipzig, überarbeitete Fassung vom 30.06.2016.
- /5/ Bericht Monitoring Messplatz Kippengebiet Witznitz, Beprobung 05/10 – 11/13, G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Halle/S., 20.12.2013.
- /6/ Bericht Monitoring Messplatz Kippengebiet Witznitz, Beprobungen 04/09 – 12/09, G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Halle/S., 29.04.2010.
- /7/ Bericht Monitoring Messplatz Kippengebiet Witznitz, Beprobungen 11/07 – 03/09, G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Halle/S., 06.04.2009.
- /8/ Auswirkungen des Grundwasserwiederanstiegs und der daraus folgenden Exfiltration eisenbelasteter Grundwässer aus den Kippen des ehemaligen Tagebaus Witznitz in die Fließgewässer Pleiße und Wyhra, Teilbericht 2: Ermittlung der geologischen Verhältnisse der Kippe und Quantifizierung der Stoffmengenverteilung (Eisen/Schwefel) in der Kippe, Ingenieurbüro für Grundwasser Leipzig (IBGW), Leipzig, 20.04.2009.
- /9/ Merkblatt – Montanhydrologisches Monitoring in der LMBV mbH vom 30.11.2007.
- /10/ LAWA (2004): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA); Düsseldorf, Dezember 2004.
- /11/ LAWA (1994): Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden; Stuttgart, 01/1994.