ARCADIS DEUTSCHLAND GMBH
Mansfelder Str. 48
06108 Halle/Saale

Telefon: 0345 69184-0
Fax: 0345 69184-30
E-Mail: halle@arcadis.de
Internet: www.arcadis.de

UMWELT

Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen- Anhalt
Sachbereich 5.1.1
Willi- Brundert- Straße 14
06132 Halle

Halle/Saale,
15. Dezember 2014

Ansprechpartner:
Herr Reinhardt
s.reinhardt@arcadis.de

Unser Zeichen:
DE0114.000514.0120

Telefon-Durchwahl:
-0

Fax-Durchwahl:
-30

Projekt:
Umsetzung Sedimentmanagement-Konzept Sachsen-Anhalt

Seitenstruktur Saale
Vorplanung zur Sicherung / Minderung / Beseitigung Altsedimentdepot Mühlgraben Halle

Bericht:
Abschlussdokumentation

Auftraggeber:
LHW Halle

Geschäftsführer:
Marcus Herrmann (CEO)
Jürgen Boenecke

Amtsgericht Darmstadt
HRB 4537

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite:
1	Vorgang und Aufgabenstellung	6
2	Untersuchungsbereich	9
2.1	Regionale Übersicht	9
2.2	Mühlgraben Halle-Peißnitz	10
3	Detaillierte Aufnahme und Darstellung des Ist-Zustandes	13
3.1	Sichtung/Auswertung Datenbestand/Bestandsunterlagen	13
3.1.1	Kenntnisstand	15
3.1.2	Kenntnisdefizite nach der Auswertung der Bestandsunterlagen	24
3.2	Untersuchungskonzept	24
3.3	2-Frequenz-Sediment-Echolotung	26
3.4	Peilstangensondierung	27
3.4.1	Methodik	27
3.4.2	Sedimentverteilung gemäß Peilstangensondierung	28
3.5	Sedimentkubatur-Berechnungen	30
3.5.1	Grundlagen der Kubatur-Berechnungen	30
3.5.2	Ergebnisse der Sedimentkubatur-Berechnungen	32
3.5.3	Vergleich der Sedimentkubaturen	35
3.6	Einfluss Hochwasser 2013	38
3.7	Sedimentprobenahme und Laboranalytik	40
3.7.1	Methodik	40
3.7.2	Schadstoffkonzentrationen und –verteilung	43
3.7.2.1	LAGA Analytik	44
3.7.2.2	Analytik Kornklasse <63 µm (Feinfraktion)	48
3.7.2.3	Organozinnverbindungen-TBT Analytik	60
3.7.3	Schadstoffinventar	61
3.7.4	Vergleich mit Altdaten	65
3.7.5	Gefährdungspotenzial	69
4	Zusammenstellung und Bewertung der Anforderungen an das Gewässer und dessen Funktion	70
4.1	Rechercheergebnisse der Gewässerfunktion und Ansprüche	70
4.2	Definition von Abschnitten	80
5	Lösungsansätze - Ableitung einer Vorzugsvariante	83
5.1	Ziele und Rahmenbedingungen	83
5.2	Verfahrenstechniken	83
5.3	Lösungsansätze - Variantenvorschläge	86
5.4	Bewertungskriterien	90
5.5	Vorzugsvariante	92
5.5.1	Nichtmonetäre Kriterien	92
5.5.2	Monetäre Kriterien (in Anlehnung an DIN 276)	94
5.5.3	Vorzugsvarianten – Verfahrensbeschreibung	95
5.6	Empfohlene Variante und planungsrelevante Eckpunkte	96

6	Voranfrage genehmigungsrechtliche Schritte	99
6.1	Genehmigungen	99
6.2	Planungsszenario	101
7	Fazit	105

TABELLENVERZEICHNIS

Seite:

Tabelle 1:	Recherchearbeiten	15
Tabelle 2:	Schwermetallbelastungen nach Institut für Grundwasser und Bodenschutz (1991) [U1]	16
Tabelle 3:	gemittelte Schwermetallkonzentrationen 1992/1993 [U2]	18
Tabelle 4:	gemittelte Schwermetallkonzentrationen 1994 [U3]	19
Tabelle 5:	erkundete Sedimentmächtigkeiten und berechnete Sedimentvolumina G.E.O.S. 2011 [U6]	22
Tabelle 6:	Schwermetallkonzentrationen im Feinanteil der Probe 6a aus 2012 [U7]	22
Tabelle 7:	erkundete Sedimentmächtigkeiten und berechnete Sedimentvolumina G.E.O.S. 2013 [U8]	23
Tabelle 8:	Übersicht zu den geplanten Probenahmestellen einschließlich potentieller Analytik	25
Tabelle 9:	Ergebnisse der Sedimentkubatur-Berechnungen	33
Tabelle 10:	Vergleich der Sedimentmächtigkeiten 1991 – 2014	36
Tabelle 11:	Vergleich der Sedimentkubaturen 1991 – 2014	38
Tabelle 12:	Vergleich der Sedimentkubaturen – Darstellung für einen Gewässerabschnitt von 1,1 km	40
Tabelle 13:	Entnommene Sedimentproben (s. Anlage 12)	42
Tabelle 14:	Relevante Schadstoffe und Schwellenwerte aus [U18]	63
Tabelle 15:	Übersicht der durchschnittlichen Konzentration ausgewählter Schwermetalle seit 1991	65
Tabelle 16:	Vergleich der Konzentrationsentwicklung ausgewählter chemischer Parameter (Schwermetalle, Dioxine/Furane, PAK 5 einschl. Benzo(a)pyren und Tributylzinn) seit 1991	68
Tabelle 17:	Übersicht Überläufe (Mischwasserbauwerke MWB) [U11]	74
Tabelle 18:	Kostenschätzungen und Bewertungspunkte	94
Tabelle 19:	Brücken Durchfahrtshöhen und -weiten [U2]	102
Tabelle 20:	Darstellung der vom Planungsszenario betroffenen Flurstücke	104

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Seite:

Abbildung 1:	Fließbild zur Aufgabenstellung und Vorgehensweise	8
Abbildung 2:	Saale und Mühlgraben Mitte des 18. Jahrhunderts [U21]	12
Abbildung 3:	Untersuchungsraum Mühlgraben, rot dargestellt (Angebotsabfrage LHW, 10.03.2014)	12
Abbildung 4:	Peilstange zur Bestimmung der Sedimentmächtigkeit (Foto: ARCADIS)	28
Abbildung 5:	Überschwemmungssituation im Stadtgebiet von Halle am 05.06.2013 (Blick in Richtung Halle-Neustadt) aus[U12] (blaue Linie Verlauf Mühlgraben)	39
Abbildung 6:	Saugbohrer der Firma Eijkelkamp (Quelle: www.eijkelkamp.de)	41
Abbildung 7:	Darstellung der Probenahmestellen PN1/14 – PN7/14	43
Abbildung 8:	Darstellung der Schwermetall-Konzentrationen in mg/kg TS (LAGA-Analytik)	45
Abbildung 9:	Darstellung der Konzentrationen für ausgewählte organische Parameter in mg/kg TS (LAGA-Analytik)	47
Abbildung 10:	Anteil Kornklasse <63 µm am Gesamtkorngefüge	48
Abbildung 11:	Schwermetall-Konzentrationen (Hg, Pb, Cd) in der Feinfraktion <63µm in mg/kg	50
Abbildung 12:	Schwermetall-Konzentrationen (Cu, Ni, Zn) in der Feinfraktion <63µm in mg/kg	51
Abbildung 13	Schwermetall-Konzentrationen (As, Cr) in der Feinfraktion <63µm in mg/kg	52
Abbildung 14:	Darstellung der PAK5-Konzentrationen in der Feinfraktion <63µm nach Entnahmetiefen (alle Angaben in mg/kg)	53
Abbildung 15:	Darstellung der HCB-Konzentrationen in der Feinfraktion <63µm nach Entnahmetiefen (alle Angaben in µg/kg)	54
Abbildung 16:	Darstellung der Summenkonzentrationen PCB in der Feinfraktion <63µm nach Entnahmetiefen (alle Angaben in µg/kg)	55
Abbildung 17:	Darstellung der PCB-Konzentrationen für ausgewählte Probenahmestellen in verschiedenen Entnahmetiefen - Bestimmung in der Feinfraktion <63µm (alle Angaben in µg/kg)	56
Abbildung 18:	Darstellung der Summenkonzentrationen HCH in der Feinfraktion <63µm nach Entnahmetiefen (alle Angaben in µg/kg)	57
Abbildung 19:	Darstellung der Summenkonzentrationen DDE/DDD/DDT in der Feinfraktion <63µm nach Entnahmetiefen (alle Angaben in µg/kg)	58
Abbildung 20:	Darstellung der Konzentrationen von DDT, DDE und DDD für ausgewählte Probenahmestellen in verschiedenen Entnahmetiefen - Bestimmung in der Feinfraktion <63µm (alle Angaben in µg/kg)	59
Abbildung 21:	Konzentrationen der Dioxine/Furane in der Feinfraktion <63µm	60
Abbildung 22:	Darstellung der TBT-Konzentrationen nach Entnahmetiefen	61
Abbildung 23:	Darstellung der Mühlenstandorte im Gewässer Mühlgraben [U1]	72
Abbildung 24:	Blick von der Mühlpforte in Richtung Neumühle (ARCADIS, 30.04.2014)	73

Abbildung 25: Auszug Rechennetzplan der Generalentwässerungsplanung/ Mühlgraben [U10] 75
Abbildung 26: Blick von der Steinmühlenbrücke in Richtung eines Regenüberlaufs während eines Regenereignisses (ARCADIS, 09.07.2014) 76
Abbildung 27: Lageplan mit Abschnittsunterteilung 81
Abbildung 28: Verfahrenstechniken zur Behandlung von Gewässersedimenten 84
Abbildung 29: Konventioneller Greifer an Hydraulikausleger auf Schwimmponton 88
Abbildung 30: Kleine mobile Saugbaggereinheit mit Schwimmleitung zum Transport des Nassbaggerguts 88
Abbildung 31: Förderrohr der Mammutpumpe an Hydraulikausleger auf Schwimmponton mit Begleitschute für geförderte Suspension [U17] 89
Abbildung 32: Mehrfachschichtung einer komplexen passiven in-situ Abdeckung (capping) [U16] 89
Abbildung 33: Lage der vorgeschlagenen Flächen und Tourenverlauf 104

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1 Lagepläne
Anlage 2 Querprofile
Anlage 3 Laborergebnisse
Anlage 4 Kubatur-Berechnungen
Anlage 5 Verfahrensfließschemata
Anlage 6 Nichtmonetäre Bewertungsmatrix
Anlage 7 Monetäre Bewertungsmatrices
Anlage 8 Fotodokumentation
Anlage 9 Prüfberichte Labor
Anlage 10 Feldprotokolle Peilstangensondierung
Anlage 11 Stellungnahme 2-Frequenz-Echolotung
Anlage 12 Probenahmeprotokolle / Schichtenverzeichnisse
Anlage 13 Tabelle vorplanungsrelevante Daten
Anlage 14 Tabelle Eigentümer und Nutzungsrechte

1 Vorgang und Aufgabenstellung

Die ARCADIS Deutschland GmbH wurde auf Grundlage ihres Angebotes vom 27.03.2014 vom Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (nachfolgend LHW genannt) im Rahmen der Umsetzung des Sedimentmanagementkonzeptes Sachsen-Anhalt beauftragt, Sedimentablagerungen im Gewässer Mühlgraben Halle detailliert zu untersuchen und geeignete Maßnahmen zur Sicherung / Minderung / Beseitigung von Schadstoffanreicherungen unter Berücksichtigung der Anforderung an das Gewässer und der Gewässerfunktion abzuleiten. Die Ergebnisse werden im vorliegenden Bericht in Form einer Vorplanung zu dokumentiert.

Im Ergebnis der Erarbeitung des elbeweiten Sedimentmanagementkonzeptes wurde unter anderem nachgewiesen, dass die mit der Saale in die Elbe transportierten Schadstoffe einen deutlichen Einfluss auf die chemische Gewässerqualität der Elbe haben. Aussagen zum aktuellen Bestand relevanter Altsedimentdepots in den Seitenstrukturen der Saale und deren schadstoffspezifischen Charakterisierung wurden im Auftrag des LHW im Rahmen einer Bestandsaufnahme in 2012 gewonnen. Im Ergebnis dieser Bestandsaufnahme wurde unter anderem ein Schwerpunkt im Gewässer Mühlgraben Halle im Stadtgebiet von Halle (Saale) identifiziert.

Als Entscheidungsgrundlage für den weiteren Umgang mit dieser Schadstoffquelle ist eine Vorplanung zur Ermittlung von geeigneten Maßnahmen zur Sicherung / Beseitigung / Minderung dieses Altsedimentdepots anzufertigen. Hierfür sollten nachfolgend aufgeführte Untersuchungen und Bewertungen für das Gewässer Mühlgraben Halle in 4 Teilleistungen umgesetzt werden.

<u>Teilleistung 1</u>: Projektorganisation, detaillierte Aufnahme und Darstellung des Ist-Zustandes

Neben einer vertieften Auswertung der umfangreich vorliegenden Dokumente wurde im Rahmen einer Befahrung die aktuelle Situation ermittelt und ein Bearbeitungskonzept entwickelt. Dazu müssen die komplexen örtlichen Bedingungen eines stark überprägten Gewässers mit multifunktionalen Nutzungsansprüchen in einem innerstädtischen Umfeld erfasst und geprüft werden.

Im Rahmen einer Anlaufberatung beim LHW wurden das zu entwickelnde Bearbeitungskonzept und der Zeitplan der folgenden Arbeitsschritte präsentiert und abgestimmt.

Durch Sichtung der Bestandsunterlagen, historische Erkundung, Quellenrecherche, Befahrung des Gewässers und seines unmittelbaren Umfeldes sowie Ausweisung der Kenntnisdefizite sollte ein Untersuchungsprogramm abgeleitet werden. Bei der Umsetzung des Programms waren anschließend Peilstangensondierung und Sedimentbeprobungen einschließlich Analytik durchzuführen.

Auf Basis der ermittelten Daten waren Sedimentmengen, Schadstoffsituation und -verteilung sowie Belastungsschwerpunkte zu ermitteln.

Die Ergebnisse waren zu bewerten, dokumentieren und anschließend im Rahmen einer Projektgruppenberatung beim LHW vorzustellen.

Teilleistung 2: Zusammenstellung und Bewertung der Anforderungen an das Gewässer und dessen Funktion

In einem ersten Schritt erfolgte zu den Themen aktueller gewässerökologischer Status, wassertechnische Anlagen sowie Bewirtschaftungs-/Unterhaltungskonzeption eine Recherche sowie die Auswertung der Bestandsunterlagen. In einem weiteren Schritt sollten dann die Anforderungen an das Gewässer und der Gewässerfunktion bei den zuständigen Behörden der Stadt Halle, dem LHW und dem Unterhaltungsverband Untere Saale recherchiert und abgestimmt werden. U. a. lag dazu Datenmaterial bzgl. hydraulischer Berechnungen / Simulationen vor, welches entsprechend der Aufgabenstellung auszuwerten war. Aber auch Themen wie Gerinnemorphologie, Ufergestaltung, Nutzungsrechte und Eigentumsverhältnisse einschließlich Randstreifen sollten betrachtet und ausgewertet werden.

Auf Basis einer Zusammenstellung und Bewertung der Anforderungen sollte der Mühlgraben in sedimenttechnisch sinnvolle Gewässerabschnitte unterteilt werden und nach Möglichkeit Defizite im Abgleich Anforderungen zu Ist-Zustand (TL 1) identifiziert werden.

Die Ergebnisse der Teilleistung waren zu bewerten, dokumentieren und beim LHW zu präsentieren.

Teilleistung 3: Entwicklung von Lösungsansätzen zur Sicherung / Minderung / Beseitigung des Altsedimentdepots, Variantenvergleich, Ableitung und Beschreibung einer Vorzugsvariante, Abschätzung der Nachhaltigkeit

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den TL 1 und TL 2 sollten prinzipiell mögliche Lösungsansätze dargestellt und diskutiert werden. In einem Variantenvergleich waren eine Vorzugsvariante zu ermitteln und diese in Anlehnung an DIN 276 monetär zu betrachteten. Eine nach Gewässerabschnitten gestaffelte Umsetzung der Maßnahme sollte geprüft und diskutiert werden.

Die Wirkung der Maßnahme auf den Schadstoffhaushalt sollten abgeschätzt und eventuell notwendige zukünftige Unterhaltungsmaßnahmen monetär erfasst werden.

Die Ergebnisse waren zu bewerten, dokumentieren und anschließend im Rahmen einer Projektgruppenberatung beim LHW vorzustellen.

<u>Teilleistung 4:</u> Aufbereitung und Zusammenstellung der Ergebnisse in Form einer Vorplanung

Auf Basis einer mit der/den Genehmigungsbehörde/n bzgl. Art und Dokumentationsumfang abgestimmten Vorplanung waren die Ergebnisse der TL 1 bis 3 zusammenzufassen und aufzubereiten.

In Rahmen einer Abschlusspräsentation wurden die Ergebnisse präsentiert sowie in einer Abschlussdokumentation zusammenfassend dargestellt.

Die folgende Abbildung 1 stellt die Aufgabenstellung und die Vorgehensweise zusammenfassend dar.

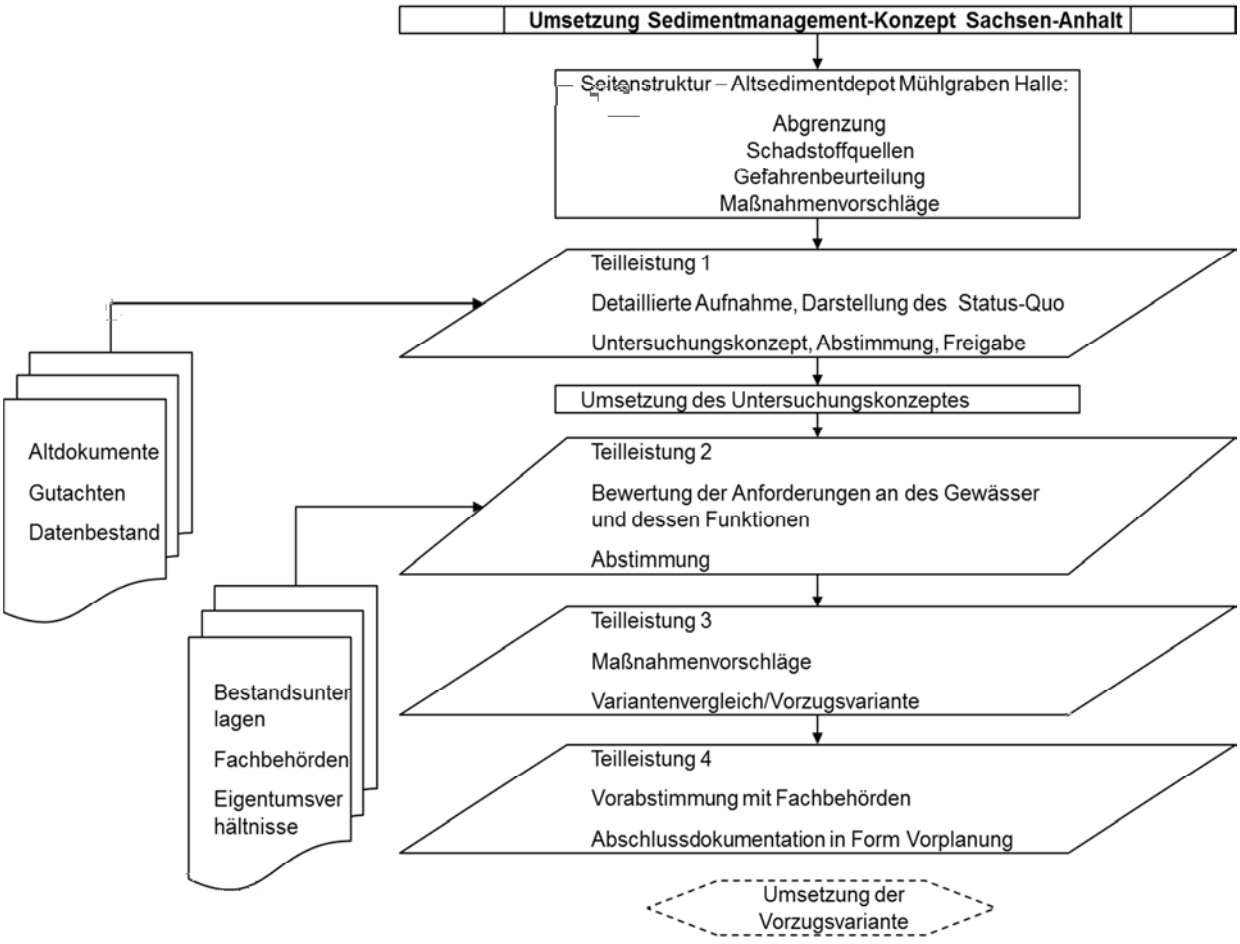


Abbildung 1: Fließbild zur Aufgabenstellung und Vorgehensweise

2 Untersuchungsbereich

Die folgenden Ausführungen zur regionalen Übersicht (Kapitel 2.1) und zum Untersuchungsraum Mühlgraben Halle (Kapitel 2.2) wurden aus [U1] übernommen.

2.1 Regionale Übersicht

Die Landschaft im Raum Halle bildet im Allgemeinen ein flaches Plateau, dessen Oberfläche zwischen 100 und 140 mNN schwankt und nur durch das breite Saaletal (70 bis 80 mNN) und dessen kurzen und flachen Seitenrinnen eine Gliederung erfährt.

Die für das Saaletal charakteristischen Landschaftsformen und damit der Verlauf der Saale wurden in der unmittelbaren Umgebung von Halle in relativ jungen erdgeschichtlichen Prozessen geprägt.

Im Pleistozän drang während der Elsterkaltzeit und der Saalekaltzeit mehrfach Gletschereis nach Mitteldeutschland vor und veränderte dabei die Landschaft.

Der letzte Vorstoß des saalekaltzeitlichen Gletschers (Petersberger Vorstoß) staute im Gegensatz zu den älteren Vorstößen die Flüsse nicht auf, sondern schuf ein peripheres Entwässerungssystem. In dieses mündeten Elster, Saale, Salzke und die Eisschmelzwässer. Die Schmelzwässer strömten nach Nordosten, durchbrachen den Porphyrriegel zwischen Kröllwitz und Brachwitz und ergossen sich in das holsteinwarmzeitlich angelegte Salzketal bei Salzmünde. Damit schufen sie das heutige Gewässernetz im Raum Halle.

Der Aufbau des geologischen Untergrundes im Raum Halle ist das Ergebnis einer langen erdgeschichtlichen Entwicklung. Die heute vorherrschenden Lagerungsverhältnisse entstanden durch tektonische Bewegungen in der Kreidezeit. Es bildeten sich, durch NW-SE gerichtete Verwerfungen getrennt, einzelne Schollen mit unterschiedlich alten Gesteinen an der Oberfläche. Eine solche Störung ist die Hallesche Marktplatzverwerfung oder Hallesche Störung, an der die Gesteine des Rotliegenden im Norden von Halle an die Salzfolge des Zechsteins und die Gesteine des Trias im Süden der Stadt grenzen. Maßgebend für den oberflächennahen geologischen Aufbau des Saaletales sind Ablagerungen des Pleistozäns. Zu Beginn der Kaltzeit schotterte die Saale Hauptterrassen auf, die durch einen Feinsand-Schluss-Horizont mit Frostbodenerscheinungen zweigeteilt sind. Man unterscheidet eine höhere Terrasse (Älteres Alluvium) und eine tiefere Terrasse (Jüngeres Alluvium). Beide Terrassen sind durch das ganze Flusstal hindurch einheitlich aufgebaut. Auf einem ca. 5 m mächtigen Flusskies und Sand folgt eine schwer durchlässige tonig-schluffige Schicht von Auelehm mit einer Mächtigkeit von 1 bis 3 m.

Der Auelehm wurde im Postglazial, dem Holozän, vor allem als Ergebnis alljährlicher Überschwemmungen im Tal abgelagert. Er entstand selbst durch Sedimentation der mitgeführten feinsten Sand- und Tonteilchen, der Flusstrübe. Diese Sedimentation ist ein sich bis heute ständig wiederholender Vorgang, der seit jeher insbesondere in Zeiten starker Wasserführung (HW) und hoher Schwebstoff-Fracht durch das geringe Gefälle der Saale (i.d.R. < 1‰) zu Ablagerungen an der Gewässersohle und zur Behinderung der Schifffahrt führte.

Ursache der Schwebstoff-Fracht sind heute neben dem Auelehm selbst vor allem der Buntsandstein im Oberlauf der Saale mit seinem obersten Gestein, dem Röt, einem leicht abzutragenden tonig-mergeligem Gestein sowie der Lößboden, der weit verbreitet die Landschaft, vor allem auch im Einzugsgebereich der Nebenflüsse der Saale (Unstrut) bedeckt. Unter dem Einfluss der atmosphärischen Niederschläge ist der Löß an der Oberfläche meist seines Kalkgehaltes beraubt und stark verlehmt.

2.2 Mühlgraben Halle-Peißnitz

Der Mühlgraben ist ein Nebenarm der Saale im Stadtgebiet von Halle. Er zweigt südlich der Genzmerbrücke (Strom-km 93,93) vom Hauptstrom der Saale (Stromsaale) nach Osten ab und erreicht südlich der Ochsenbrücke (Strom-km 91,54) wieder den Hauptstrom.

Die heutige Linienführung des Mühlgrabens ist das Ergebnis mehrerer Veränderungen seines Flusslaufes, insbesondere in seinem südlichen Bereich ab Klausbrücke.

Ursprünglich umfassten südlich der Klausbrücke zwei Fließe die sogenannte Strohhofinsel, im Osten die Gerbersaale (Hallsaale) und im Westen die Schwemmsaale. 1893/94 erfolgte eine Regulierung und Überbauung der Gerbersaale von der ehemaligen Moritzbrücke bis zur Klausbrücke.

Die umfangreichsten Flusslauf-Veränderungen erfolgten aber mit dem Bau der Schnellstraßen-Verbindung (Magistrale) zwischen Alt-Halle und Neustadt. Die Strecken-Führung mit mehreren Brücken-Neubauten erforderte ein möglichst unkompliziertes Überqueren der Saale-Arme, die durch deren Verlegung weitgehend erreicht werden konnte. Diese Arbeiten vollzogen sich von 1968 bis 1978 [U23]. Die Stadtschleuseninsel wurde im Süden, Osten und Norden mit dem Festland verbunden. Südwestlich der Herrenstraße und nördlich des Paradieses wurde die Saale verfüllt. Das Teilstück der Gerbersaale zwischen Kefersteinstraße und Moritzkirche wurde ebenfalls zugeschüttet. Die Gerbersaale wurde in die Mühlgrabensaale umgeleitet [U24]. Der Mühlgraben erhielt seine neue Verbindung zur Saale dort, wo die Gerbersaale abzweigte und verläuft in seinen ersten 300 m in einem neuen Bett unterhalb der Magistrale entlang [U23].

Bei Verwendung der exakten historischen Terminologie besteht der Mühlgraben am Einlauf (Ratswerder) aus dem Resten der Gerbersaale, setzt sich bis zur Klausbrücke aus Teilen der Schwemmsaale fort und erreicht ab Klausbrücke den eigentlichen Mühlgraben.

Für den technischen Bericht wird auf diese Dreiteilung verzichtet und die gesamte Fließstrecke einheitlich als Mühlgraben bezeichnet.

Das Erscheinungsbild des Mühlgrabens wird ferner durch 12 Brücken, zwei ehemalige Wassermühlen (Neumühle, Steinmühle) sowie zwei zusätzliche Verbindungen (Flutgraben bzw. Hulbe, Dreiergraben) zur Stromsaale charakterisiert.

Die erste Verbindung ist ein gepflasterter Flutgraben in Höhe der Residenz, der bereits im 17. Jahrhundert zur Entlastung des Mühlgrabens bei Hochwasser und Stau an der Neuen Mühle angelegt wurde. Die zweite Verbindung, der Überleiter an der Dreierbrücke, gewährleistet eine schiffbare Zuführung zur Hauptsaale (Strom-km 92,70).

Ab den 1980er Jahren wurden keine Veränderungen am Flusslauf des Mühlgrabens dokumentiert.

In den folgenden Abbildungen sind der Saale- und Mühlgrabenverlauf Mitte des 18. Jahrhunderts (Abbildung 2) sowie der heutige Verlauf des Mühlgrabes (Abbildung 3) graphisch dargestellt.

Abbildung 2: Saale und Mühlgraben Mitte des 18. Jahrhunderts [U21]

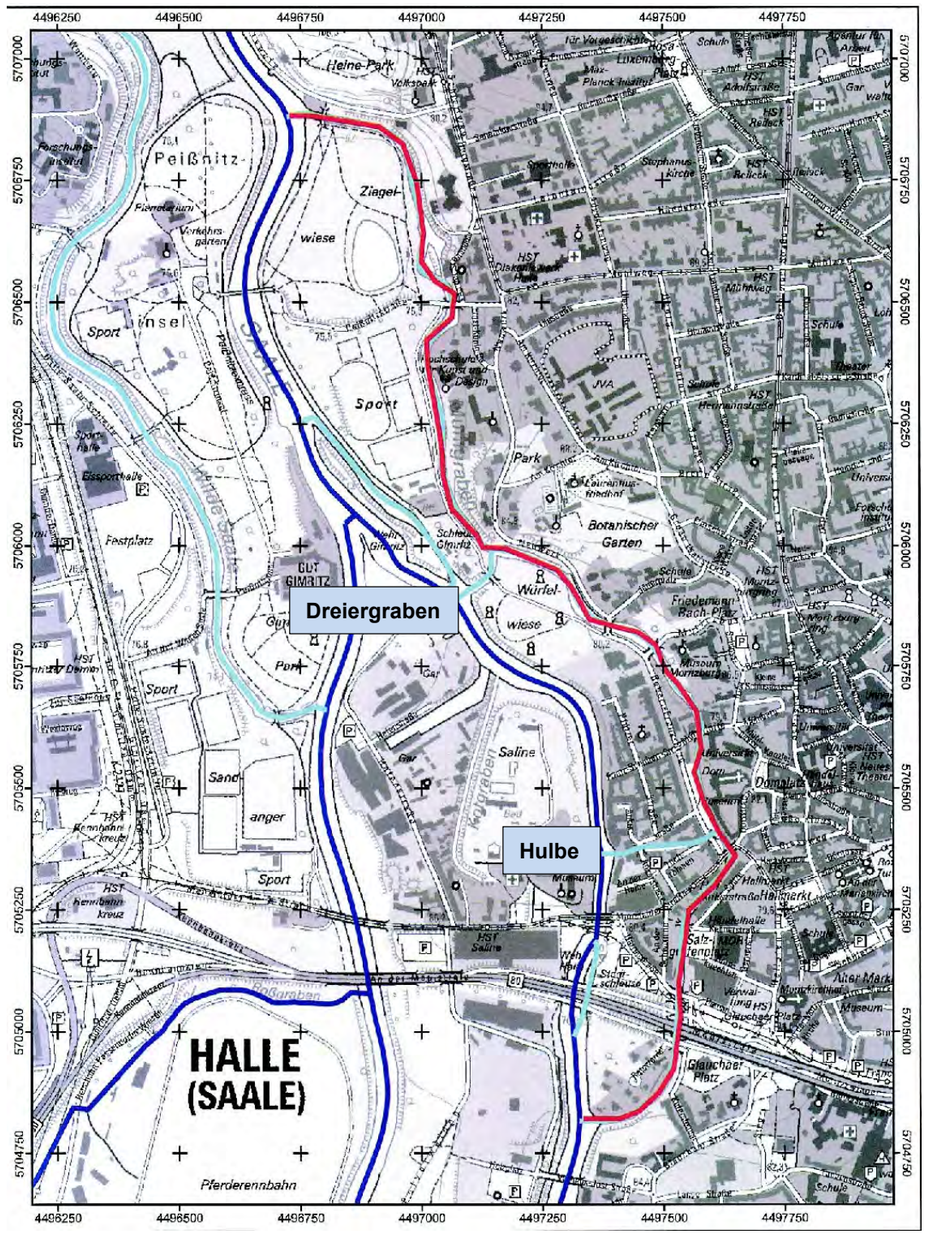


Abbildung 3: Untersuchungsraum Mühlgraben, rot dargestellt (Angebotsabfrage LHW, 10.03.2014)

U:\2014\DE0119\DE0114.000514_LHW Sedimentmanagement Mühlgraben\80_Berichte_u_Anlagen\3_Endfassung\LHW-Mühlgraben_Abschlussdoku_end_2014-12-18.docx

3 Detaillierte Aufnahme und Darstellung des Ist-Zustandes

3.1 Sichtung/Auswertung Datenbestand/Bestandsunterlagen

Im folgenden Kapitel wird dargestellt, welche Bestandsunterlagen zum Untersuchungsgebiet gesichtet und ausgewertet wurden.

Vom Auftraggeber wurden folgende Unterlagen und Daten zur Einsichtnahme bzw. Nutzung zur Verfügung gestellt:

[U1] ITW Ingenieurberatung GmbH (1992): Ökologische Sanierung Mühlgraben Halle, Projektstudie Teil I: Grundlagenermittlung, Iserlohn, 31.03.1992.

[U2] ITW Ingenieurberatung GmbH (1992): Ökologische Sanierung Mühlgraben Halle Projektstudie Teil II: Entwurf des technologischen Konzeptes, Iserlohn, 30.04.1992.

[U3] WINDE, F. (1996): Abschlussbericht Schadstoffe und Schadstofftransfer im Verbund Wasser-Boden in der Saaleaue des halleschen Stadtgebietes, Umweltforschungszentrum Halle-Leipzig, Halle, 31.10.1996.

[U4] WINDE, F. (2008): Entstehung, Schwermetallbelastung und Remobilisierbarkeit von Schlammablagerungen im halleschen Mühlgraben, Vortrag im Rahmen der Diskussionsveranstaltung Heinrich Böll Stiftung, Halle (Saale) einschl. Protokoll, 31.01.2008.

[U5] Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft mbH (2011): Generalentwässerungsplan Halle/Saale, Gütewirtschaftlicher Nachweis mit dem ATV-Gewässergütemodell, Weimar, 26.01.2011.

[U6] G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH (2011): Bestandsaufnahme belasteter Altsedimente in ausgewählten Gewässern Sachsen-Anhalts, Saale-Nebenstrukturen, Auszug Mühlgraben Halle-Peißnitz, Protokolle Peilstangensondierungen, Halle, 22.11.2011.

[U7] G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH (2012): Bestandsaufnahme belasteter Altsedimente in ausgewählten Gewässern Sachsen-Anhalts, Saale-Nebenstrukturen, Auszug Mühlgraben Halle-Peißnitz, Probenahmeprotokoll Sedimente einschl. Prüfberichte u. Auszug Sedimentdatenbank Altsedimente, Halle, 2012.

[U8] G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH (2013): Umsetzung Sedimentkonzept, Nachuntersuchungen Mühlgraben Peißnitz, Halle, 26.11.2013.

[U9] Unbekannt (2001-2003??): Wasserrechtsantrag, Mischwassereinleitstellen Halle/ S., Anlage 3, Fotodokumentation der Einleitstellen (Auszug), 2003 (??).

[U10] HWS GmbH (2014): Auszug eines Rechennetzplans der Generalentwässerungsplanung der Stadt Halle (Istzustand)

[U11] HWS GmbH (2014): Auszug aus der aktuellen Schmutzfrachtberechnung des Mischwassernetzes der Stadt Halle (Istzustand)

[U12] Planungsgesellschaft Scholz & Lewis (2014): Wasserspiegellagenberechnung zum Hochwasser 2013 an der Saale in Sachsen-Anhalt. Für: Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt. Dresden, 30.04.2014.

[U13] Landesbetreib für Hochwasserschutz (2014): Fachliche Stellungnahme hinsichtlich zusätzlicher gewässerökologischer Anforderungen insbesondere hinsichtlich des Verfahrens in-situ Capping. Geschäftsbereich Gewässerkundlicher Landesdienst, Gebietsbereich 5.1.5, Halle/Saale 08.10.2014.

Neben den oben aufgeführten Bestandsunterlagen wurden folgende Dokumente, Berichte, Gutachten, Regularien und sonstige Unterlagen zur Erstellung der Abschlussdokumentation verwendet:

[U14] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (2004): Nassbaggerstrategien in Deutschland. Berlin 2004.

[U15] Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall LAGA (2004): LAGA Mitteilung 20 Anforderung an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II Technische Regeln für die Verwertung, Teil 1.2 Bodenmaterial (TR Boden), November 2004.

[U16] United States Environmental Protection Agency (2005): Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites, Office of Solid Waste and Emergency Response EPA-540-R-05-012, Dezember 2005.

[U17] THOMAS, J. (2008): Contaminated Sediment Treatment Options–Case Studies. – In: N-E. ABRIAK, D. DAMIDOT, R. ZENTAR (Hrsg): Proceedings of the International Symposium on Sediment Management I2SM, Lille, France, 9-11 July 2008, Seiten 15-28, Ecole des Mines de Douai, France.

[U18] Flussgebietsgemeinschaft Elbe (2013): Sedimentmanagementkonzept der FGG Elbe Vorschläge für eine gute Sedimentmanagementpraxis im Elbegebiet zur Erreichung überregionaler Handlungsziele. Ad hoc – Arbeitsgruppe Schadstoffe /Sediment-management, 25.11.2013.

[U19] Hafentechnische Gesellschaft (2006): Verwertung von feinkörnigem Baggergut im Bereich der deutschen Küste. Fachbericht. Fachausschuss Baggergut, Hamburg August 2006.

[U20] Verordnung zum Schutz von Oberflächengewässern (OGewV), 20.07.2011

[U21] http://www.flusspfad.de/07saline.html (Zugriff am 30.05.2014, 10:20 Uhr)

[U22] http://egnos-portal.gsa.europa.eu (Zugriff am 28.11.2014, 12:20 Uhr)

[U23] http://www.hallesaale.info/saale.htm (Zugriff am 14.04.2014, 09:15 Uhr)

[U24] http://ifhas.de/muehlgrabensaale/i/ratswerder.htm (Zugriff am 14.04.2014, 09:10 Uhr)

Zudem werden nachfolgend die Institutionen aufgeführt, bei denen noch zusätzliche Daten/ Informationen recherchiert wurden, um die o. g. Aufgabenstellung vollständig umsetzen zu können.

Tabelle 1: Recherchearbeiten

Institution	Ansprechpartner
Stadt Halle/ Saale, Stadtentwicklung und Umwelt (Geschäftsbereich II), Fachbereich Umwelt, Untere Wasserbehörde	Herr Johannemann
Stadt Halle/ Saale, Stadtentwicklung und Umwelt (Geschäftsbereich II), Fachbereich Planen, Stadtentwicklung	Frau Trettin
Hallesche Wasser und Stadtwirtschaft GmbH	Frau Überschär

3.1.1 Kenntnisstand

Auf Grundlage der vom LHW im Rahmen der Projektanlaufberatung am 30.04.2014 übergebenen Dokumente (siehe Kapitel 3.1) aus bereits durchgeführten Untersuchungen im Projektgebiet konnte folgender Kenntnisstand ermittelt werden.

Untersuchungen der ITW GmbH aus den Jahren 1991 und 1992 [U1]

Im Jahr 1991 wurde im Gewässer Mühlgraben von der ITW GmbH aus Iserlohn zur Ermittlung der Sedimentmächtigkeiten und –verteilung ca. 70 Querprofile auf einer Länge von 2,725 km aufgenommen. Diese Querprofile verteilten sich auf den Mühlgraben und den Dreiergraben. Es konnten Sedimentmächtigkeiten von 0,1 – 1,7 m nachgewiesen werden. Auf Grundlage dieser Daten wurde für den Mühlgraben ein Sedimentvolumen von 17.560 m³ (19.790 m³ einschl. Dreiergraben) berechnet.

In [U1] werden Ergebnisse zur chemischen Untersuchungen des Gewässersediments aus dem Jahr 1991 dargestellt. Diese Untersuchungen wurden aus dem Gutachten zum Projekt Mühlgraben mit Gefahrenbeurteilung, Gefahrenabschätzung und Sanierungskonzept des Institut für Grundwasser und Bodenschutz/ Labor für Umwelt- und Problemstoffanalytik (Zirndorf, 31.10.1991) übernommen. Dieses Gutachten stand bei der Auswertung der Bestandsunterlagen nicht zur Verfügung, so dass die In-

formationen vollständig aus [U1] übernommen wurden. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden insgesamt 24 Sedimentproben aus 10 verschiedenen Probenahmestellen gewonnen. Ein Lageplan sowie eine Beschreibung der Lage der Probenahmestellen konnte in [U1] nicht recherchiert werden. Im Rahmen der Analytik der 24 Sedimentproben wurden folgende Parameter wurden untersucht:

- chemisch-physikalische Parameter (Korngrößenverteilung, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert),
- Anorganika (Blei, Arsen, Chlorid, Cadmium, Calcium, Nitrat, Chrom, Kalium, o-Phosphat, Kupfer, Magnesium, Sulfat, Nickel, Natrium, Quecksilber, Thallium, Zink)
- Organika (Gesamtkohlenwasserstoffe, Phenolindex, PAK, TOC, AOX)
- Gasphase (Kohlendioxid, Methan, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefelwasserstoff, LHKW, BTEX)

In [U1] werden anhand der Untersuchungen vom Institut für Grundwasser und Bodenschutz (Zirndorf, 1991) folgende signifikante Belastungen des Sediments identifiziert:

Tabelle 2: Schwermetallbelastungen nach Institut für Grundwasser und Bodenschutz (1991) [U1]

Parameter	Mittelwert [mg/kg]	Min [mg/kg]	Max [mg/kg]
Chrom (Cr)	189	17	366
Nickel (Ni)	112	21	761
Blei (Pb)	232	15	449
Kupfer (Cu)	257	17	568
Zink (Zn)	1.219	48	2.530
Cadmium (Cd)	8	0,3	24
Quecksilber (Hg)	71	1,2	389

Weiterhin wurden Zeitraum 12/1991 und 03/1992 zur Klärung des Zusammenhangs zwischen den chemisch-physikalischen Stoffeigenschaften und der verfahrenstechnischen Eignung des Gewässersediments Labor- und Technikumsversuche durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurden 6 Sedimentproben aus dem Gewässer Mühlgraben statt. Die Proben wurden aus einer Tiefe von 0 – 0,5 m unterhalb der Sedimentoberkante (SOK) mit einem Schöpfeimer sowie mit einem sogenannten Entnahmerohr nach Dr. Büsch aus einer Tiefe von 0 – 0,8 m unter SOK gewonnen. In [U1] konnten folgende Proben sowie Probenahmestellen nachvollzogen werden. Die in [U1] verwendete Kilometrierung beginnt an der Mündung des Mühlgrabens in die Stromsaale (Strom km 0,000):

- SP 1: Strom km 2,036 - westliches Ufer (nördlich der Klausbrücke, Höhe Einleiter Ecke Domstraße/Große Klausstraße)
- SP 2a: Strom km 0,745 - östliches Ufer (südlich der Steinmühlenbrücke, unterhalb der Brückenwange)
- SP 2b: Strom km 0,622 - westliches Ufer (südlich der Steinmühlenbrücke)
- SP 3: Strom km 0,350 - westliches Ufer (nördlich der Steinmühle, auf Höhe des Kindergartens, ca. 2 m vom Ufer entfernt)
- SP 4: Strom km 0,745 - östliches Ufer (südlich der Steinmühlenbrücke)
- SP 5: Strom km 0,622 - westliches Ufer (südlich der Steinmühlenbrücke)

In [U1] wurden folgende Ursachen für die in Tabelle 2 dargestellten Konzentrationen benannt:

- industrielle und gewerbliche Abwässer
- Beginn der irreparablen Belastung der Saale ab Naumburg durch den Zufluss von salzbefrachteten Wässern aus der Kaliindustrie in die Unstrut
- Versalzung und Schwermetallbelastung durch die Abwassereinleitung der Buna-Werke
- Bergbausümpfungswässer aus dem Tagebau Merseburg-Ost
- organische Belastungen durch Abwässer der braunkohleverarbeitenden Industrie (Weißelsterbecken) sowie durch Abwassereinleitungen der Karbo- (Leuna, Buna) und Petrolchemie (Böhlen, Lützkendorf, Leuna)

<u>Weiterführende Untersuchungen der ITW GmbH in den Jahren 1992 und 1993 [U2]</u>

Im Zeitraum 10/1992 u. 01/1993 erfolgten weitere Untersuchungen der ITW GmbH, bei denen Sedimentproben an 21 Probenahmestellen entnommen wurden. Es handelt sich dabei um die Sedimentproben SP 6 – SP 26 im Gewässerabschnitt von der Ochsenbrücke bis zur Burgbrücke. Die Entnahmeorte wurden so angelegt, dass die Bereiche der Voruntersuchungen von 1991/1992 erneut erfasst wurden. Die Proben wurden mit dem Entnahmerohr nach Dr. Büsch oder einem Multisampler aus einer Tiefe von 0 – 1 m unter SOK gewonnen. Im Rahmen dieser Untersuchungskampagne wurden u. a. neben den Schwermetallkonzentrationen (Tabelle 3) auch die Schwermetall-Bindungsformen, das Dekontaminations- und Immobilisierungsverhalten des Mühlgraben-Sediments sowie die Eignung des Gewässersediments als Versatzstoff im Kalibergbau ermittelt.

Tabelle 3: gemittelte Schwermetallkonzentrationen 1992/1993 [U2]

Parameter	Mittelwert [mg/kg]
Chrom (Cr)	81,7
Nickel (Ni)	70,9
Blei (Pb)	255
Kupfer (Cu)	316
Zink (Zn)	1.066
Cadmium (Cd)	8,8
Quecksilber (Hg)	32,8

Untersuchungen des Umweltforschungszentrums (UFZ) Halle-Leipzig [U3]

Im Jahr 1994 wurden im Rahmen einer Dissertation / Forschungsvorhabens die Schadstoffe und der Schadstofftransfer im Verbund Wasser-Boden in der Saaleaue des halleschen Stadtgebietes untersucht. Im Zuge dessen fanden u. a. Erkundungen im Bereich des Mühlgrabens satt. Es wurden insgesamt 45 Querprofile, davon 28 Profile im Gewässer Mühlgraben (einschl. Dreiergraben) aufgenommen. Es konnten Sedimentmächtigkeiten von 0,1 m oberhalb der Mühlpforte bis maximal 2,6 m zwischen Pfälzer Brüche und Dreiergraben ermittelt werden. Auf Grundlage der an den 25 Querprofilen (ohne Dreiergraben) ermittelten maximalen Sedimentmächtigkeiten wurde ein Sedimentvolumen von 25.888 m³ berechnet. In [U3] wurden die Sedimentvolumina der Untersuchungen aus dem Jahr 1991 mit den Ergebnissen aus dem Jahr 1994 verglichen. Dazu wurden die im Jahr 1991 ermittelten maximalen Sedimentmächtigkeiten an eben diesen 25 Querprofilen als Berechnungsgrundlage für die Sedimentvolumina verwendet. Es konnte eine Kubatur von 21.041 m³ bestimmt werden. Damit wurde in [U3] ein Schlammzuwachs von 1.939 m³ pro Jahr im Zeitraum von 10/1991 bis 04/1994 nachgewiesen werden.

Zudem fanden im Zeitraum Mai bis Juni 1994 Sedimentprobenahmen an 6 Probenahmestellen statt, die wie unten angegeben zu 2 Mischproben zusammengefasst und analysiert wurden. Die Proben wurden ufernah mit einer Kunststoffschaufel aus einer Tiefen von 0 – 0,3 m unter SOK entnommen. Je Probenahmestelle wurden 2 – 3 Einzelproben im Abstand 0,5 – 4 m gewonnen und zu einer Probe zusammengefasst.

- Probe 1: Strom km 2,600 (vor Einmündung Regenüberlauf),
- Probe 2: aus den Proben an den Probenahmestellen Strom km 2,036 / 1,500 / 1,463 / 0,625 / 0,396 (nach Einmündung Regenüberlauf)

Im Rahmen der Analytik der Sedimentproben wurden folgende Parameter wurden untersucht:

- Schlamm: Korngrößenverteilung, Gehalt Trockensubstanz (TS), Wassergehalt (w), Nassdichte, Resuspensionsverhalten, Gehalt Organik, Schwermetalle (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Mn)
- Schwebstoff: Korngrößenverteilung, Konzentration im Wasser, Sedimentationsverhalten, Organik, Schwermetalle
- Hochwasserabsätze: Korngrößenverteilung, Organik, Schwermetalle

In [U3] wurden folgende signifikante Schwermetallbelastungen beschrieben:

Tabelle 4: gemittelte Schwermetallkonzentrationen 1994 [U3]

Parameter	Mittelwert [mg/kg]
Chrom (Cr)	83
Nickel (Ni)	63
Blei (Pb)	108
Kupfer (Cu)	100
Zink (Zn)	718
Cadmium (Cd)	4,2
Quecksilber (Hg)	4,9

In [U3] konnte anhand der Ergebnisse der durchgeführten chemischen Untersuchungen nachgewiesen werden, dass die Schwermetallkonzentrationen im Vergleich zu den Ergebnissen der Untersuchungen in den Jahren 1991/1992 [U1] bzw. 1992/1993[U2] abgenommen haben.

Weiterhin wurden in [U3] allgemeine und spezielle Ursachen benannt.

- Im Allgemeinen: Abwässer der Chemischen Werke Buna (hier insbesondere Quecksilber) sowie Ablagerungen von industriebürtigen Schwebstoffen aus dem Einzugsgebiet der Saale, u.a. das Papier- und Zellstoffwerk Merseburg, die Leuna AG sowie kommunale Abwässer/ Kläranlagen
- Im Speziellen: die Schwermetall-Belastungen sind anthropogen verursacht, weil nachgewiesen wurde, dass
    - Quecksilber extreme räumliche Schwankungen aufweist → Indikator für fluviatile Bodenkontamination

- Blei relativ gering variiert → Indikator für atmosphärische Deposition
- Schadstoffkonzentrationen der Flussschlämme > Schadstoffkonzentrationen der Auenböden
- Schlämme im Mühlgraben einen hohen organischen Anteil (im Mittel 18,5 Masse-%) und einen geringeren Sandanteil im Vergleich zur Stromsaale aufweisen → eindeutiger Indikator für kommunale Belastungsquellen

Zudem werden in[U3] weitere Annahmen zu den anthropogenen Schwermetalleinträgen, welche in den Sedimenten der Saale und hier auch im Sediment des Mühlgrabens nachgewiesen wurden, formuliert.

1. Schlamm fungiert bevorzugt als „Schwermetall-Fänger".

2. Die Anlagerung von Schwermetallen am Sediment aus der Saale, hier insbesondere Quecksilber, können nur durch die hohen Quecksilberkonzentrationen aus den BUNA-Werken erklärt werden.

3. Reduzierung des Quecksilberausstoßes aus den BUNA-Werken nach 1990 um >90 % (10 t/a → 0,1 t/a) führt zu einer Verringerung des Quecksilbers in den Sedimenten (vgl. Tabelle 2 und Tabelle 4)

4. Übrige Schwermetalle sind nur um ca. 50 % reduziert (vgl. Tabelle 2 und Tabelle 4) → Schwermetallbelastungen nach 1990 stammen fast vollständig aus der Stadt selbst

Nach [U3] werden für die Schwermetalleinträge in das Gewässer Mühlgraben und somit in die Sedimente des Mühlgrabens folgende Quellen für wahrscheinlich gehalten.

- Regenwasser: Reifenabrieb (Cadmium), Kraftstoffe (Blei vor 1989, da in D/ EU-Verbot seit 2000), Korrosion/Dachrinnen (Zink, Kupfer)

- Rohabwasser: Hausinstallation (Zink, Kupfer, Blei, untergeordnet Cadmium), Stoffwechsel (Zink), Dentalmedizin (Quecksilber)

- Industrieabwasser: chemische Industrie (Quecksilber), Leder-/ Farbenproduktion (Chrom, Cadmium), Bergbau (Uran)

- kommunale Abwässer der Stadt Halle (Mischkanalisation mit Regenüberläufen u.a. in den Mühlgraben, siehe dazu Ausführungen unten bzw. auch in Kapitel 4.1)

In [U3] wird deutlich gemacht, dass die anthropogenen Schwermetalleinträge in den Mühlgraben aktuell hauptsächlich über die Einleitung kommunaler Abwässer der Stadt Halle über die Entlastungsbauwerke des Abwasserhauptsammlers erfolgen. Zum Verständnis der Funktionsweise dieses Kanalbauwerks werden in [U3] nachfolgende Erklärungen geliefert.

- Die Mischkanalisation der Stadt Halle wurde im Jahr 1890 angelegt. Im Jahr 1928 erfolgte die Installation des Abwasserhauptsammlers entlang des östlichen Saaleufers bis zur mechanischen Kläranlage Tafelwerder, welche heute außer Betrieb ist und durch die biologische Kläranlage Halle-Nord im Jahr 1988 ersetzt wurde.

- Die Entlastung des Abwasserhauptsammlers erfolgt bei Starkregenereignissen durch sogenannte Entlastungsbauwerke („Regenüberläufe“) in die Vorflut (hier Saale bzw. Mühlgraben). Diese Regenüberläufe wurden nachträglich in den Abwasserhauptsammler wegen des Bevölkerungszuwachses und dem damit verbundenen Anstieg des Wasserverbrauchs der Stadt Halle eingebaut.

- Der Abwurf von Mischwasser aus dem Hauptsammler erfolgt, wenn der Regenwasserzufluss = 3 × Trockenwetterabfluss beträgt (sogenannte „kritische Regenspende“).

- Die Schlammentstehung ist ein entscheidender hydraulischer Aspekt für den kontinuierlichen Durchfluss/ Abfluss im System Mühlgraben:

    - Eine notwendige Durchmischung entsteht bei seitlichem Einschießen des Mischwassers aus den Regenüberläufen und unterhalb von Wehren. An diesen Stellen wurden im Jahr 1994 auch die größten Schlammmächtigkeit erkundet.
    - Selbstverstärkungseffekt: Die Verschlammung im Vorfluter führt zu einem geringeren Durchfluss. Dies wiederum begünstigt eine verstärkte Verschlammung.
    - Eine besonders starke Sedimentation findet bevorzugt im Sommer statt, weil

        1. hohe (intensive) Niederschlagsmengen hauptsächlich in den Sommermonaten erfolgen,

        2. ein hoher Anteil intensiver Niederschläge („kritische Regenspende“) führt zu einer geringen Verdünnung des Mischwassers aus der Kanalisation und

        3. geringe Wassertiefen sowie geringe Fließgeschwindigkeiten im Gewässer Mühlgraben begünstigen höhere Sedimentationsraten.

<u>Untersuchungen G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH [U6][U7]</u>

Im Jahr 2011 wurden im Gewässer Mühlgraben von der G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH aus Halle/Saale insgesamt 3 Querprofile auf einer Länge von 1,1 km zur Bestimmung der Sedimentmächtig-

keiten und –verteilung aufgenommen. Diese Querprofile verteilen sich ausschließlich auf den Mühlgrabenabschnitt im Bereich der Peißnitz. Zur Berechnung des gesamten Sedimentvolumens wurden eine Länge von 1.100 m, eine Breite von 9 m sowie die in Tabelle 5 aufgeführten Sedimentmächtigkeiten zu Grunde gelegt. Weiterhin können in Tabelle 5 die detaillierte Lage der Querprofile sowie das abgeschätzte Sedimentvolumen nachvollzogen werden.

Tabelle 5: erkundete Sedimentmächtigkeiten und berechnete Sedimentvolumina G.E.O.S. 2011 [U6]

Mess-punkt	Lokalität	Rechtswert / Hochwert	Sedimentmächtigkeiten	Sedimentvolumina (abgeschätzt)
6a	100 m flussabwärts hinter Steinmühle (Ziegelwiese)	RW 4496970, HW 5706750	0,90 – 1,25 m	1.000 m³ (auf 100 m Länge)
6b	Neuwerk	RW 4497044, HW 5706168	0,50 – 0,80 m	600 m³ (auf 100 m Länge)
6c	südlicher Eingang zur Peißnitz (Würfelwiese)	RW 4497236, HW 5706001	0,75 – 0,90 m	850 m³ (auf 100 m Länge)
Summe Sedimentvolumina (auf 1.100 m berechnet)				8.332.5 m³

Zudem fand im Jahr 2012 eine Teufen orientierte Probenahme (Probenbezeichnung 6a) von Sediment aus dem Mühlgraben mit einem Pistonsampler statt. Es wurden an einer Probenahmestelle je Entnahmetiefe eine Probe gewonnen (0 – 10 cm, 10 – 50 cm und > 50 cm unter SOK). Diese Probenahmestelle befindet sich auf Höhe des Querprofils 6b aus dem Jahr 2011 sowie auf Höhe des Querprofils „Strom km 0,97“ aus den 1990er Jahren.

Im Rahmen der chemischen Untersuchungen wurden u. a. die Konzentrationen der Schwermetalle, PAK und Dioxine/Furane im Feinsedimentanteil (<63µm-Fraktion) ermittelt. Die Konzentrationen der genannten Parameter sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 6: Schwermetallkonzentrationen im Feinanteil der Probe 6a aus 2012 [U7]

Parameter	Min [mg/kg]	Max [mg/kg]
Chrom (Cr)	93	320
Nickel (Ni)	44	120
Blei (Pb)	200	250
Kupfer (Cu)	160	540
Zink (Zn)	800	1.400

Parameter	Min [mg/kg]	Max [mg/kg]
Cadmium (Cd)	2,7	28
Quecksilber (Hg)	21	77
Arsen (As)	24	34
Polyzyklische Aromaten (PAK 5)	2,52	11,10
Dioxine/Furane (PCDD/PCDF) [ng/kg]	22,36	34,04

Die höchsten Konzentrationen konnten in einer Teufe von 0,1 – 0,5 m unter SOK ermittelt werden. Eine Ausnahme bildet der Parameter Quecksilber. Die höchsten Konzentrationen wurden in einer Teufe > 0,5 m unter SOK nachgewiesen.

Nachuntersuchungen G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH [U8]

Nach einem Hochwasserereignis im Juni 2013, der u. a. den Raum Halle und insbesondere die Niederungen der Saale bzw. des Mühlgrabens erfasste, erfolgten durch den Gutachter der G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, welche bereits im Jahr 2011 die Seitenstruktur der Saale erkundeten, Nachuntersuchungen an den bereits zuvor beschriebenen Stellen. Im Jahr 2013 wurden im Gewässer Mühlgraben von der G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH aus Halle/Saale insgesamt 9 Querprofile auf einer Länge von 1,1 km zur Bestimmung der Sedimentmächtigkeiten und –verteilung aufgenommen. In Tabelle 7 ist die detaillierte Lage der Querprofile, die ermittelten Sedimentmächtigkeiten sowie das abgeschätzte Sedimentvolumen dargestellt.

Tabelle 7: erkundete Sedimentmächtigkeiten und berechnete Sedimentvolumina G.E.O.S. 2013 [U8]

Mess-punkt	Lokalität	Rechtswert / Hochwert	Sedimentmächtigkeiten	Sedimentvolumina (berechnet)
6a	100 m flussabwärts hinter Steinmühle (Ziegelwiese)	RW 4496970, HW 5706750	0,72 – 1,85 m	6.138 m³
6b	Neuwerk	RW 4497044, HW 5706168	0,22 – 0,50 m	
6c	südlicher Eingang zur Peißnitz (Würfelwiese)	RW 4497247, HW 5706001	0,95 – 1,55 m	

Der damalige Gutachter betrachtete bei der Berechnung der Kubatur alle 3 Teilbereiche zusammen und kam zu dem Schluss, dass ein Sedimentaustrag von ca. 2.200 m³ im Zuge der Erkundung nach dem Hochwasserereignis ermittelt werden konnte.

3.1.2 Kenntnisdefizite nach der Auswertung der Bestandsunterlagen

Nach der Auswertung der Bestandsunterlagen können folgende Kenntnisdefizite ausgewiesen werden:

- Nachweis eindeutiger Schadstoffquellen
- Sedimentvolumina und -verteilung im Längsprofil des Mühlgrabens
- Belastungsgrad für ausgewählte Schadstoffe
- Abfalltechnische Bewertung zur Entsorgung von belasteten Altsedimenten
- Existenz von Belastungsschwerpunkten
- Umfang und Art der Remobilisierung von feststoffgebundenen Schadstoffen

3.2 Untersuchungskonzept

Gemäß der Aufgabenstellung in TL 1 sollte ein Untersuchungskonzept entwickelt werde, das die auf Basis der Unterlagenauswertung abgeleiteten Kenntnislücken schließen sollte. Dies betraf u.a. das aktuell vorhandene Sedimentvolumen und –verteilung sowie die Abgrenzung vorhandener Schadensschwerpunkte im Gewässer. Im direkten Zusammenhang damit sollten der aktuelle Belastungsgrad und -verteilung sowie der Einfluss des Hochwassers 2013 auf Sedimentvorkommen und-verteilung ermittelt werden. Dazu waren angepasste Felduntersuchungen erforderlich, die die notwendige Datenbasis zur Beurteilung des Ist-Zustands und dessen Vergleich mit Altdaten ermöglichte. Zentrale Bestandteile der Feldarbeiten waren die Erfassung der lateralen und vertikalen Verteilung von Sedimenten im gesamten Verlauf des Mühlgrabens sowie die Gewinnung von Sedimentproben an geeigneten Stellen zur nachfolgenden laborchemischen Untersuchung.

In einem ersten Schritt sollten Verteilung und Mächtigkeit der Sedimente mittels einer Kombination aus einer flächigen 2-Frequenz-Echolotung und dem Einsatz einer konventionellen Peilstangensondierung an 50 Querprofilen erfolgen. Um eine Vergleichbarkeit mit vorliegenden Altdaten zu ermöglichen, wurden 10 Querprofile an ehemaligen Mess- und Probenahmestellen positioniert. Die restlichen Querprofile verteilten sich zwischen den alten Querprofilen bzw. vor/nach Zuläufen und Brücken. Damit konnte eine gleichmäßige Erfassung der Sedimente in einem Abstand von ca. 50 m im gesamten Längsverlauf des Mühlgrabens realisiert werden (Anlage 2, Anlage 10).

In einem zweiten Schritt sollten Sedimentproben (Anlage 1 und 12) für eine laborchemische Untersuchung auf ausgewählte organische und anorganische Parameter gewonnen werden (Anlage 3 und 9). Die folgende Tabelle 8 listet die geplanten Probenahmestellen auf Basis der Bestandsunterlagen auf.

Tabelle 8: Übersicht zu den geplanten Probenahmestellen einschließlich potentieller Analytik

Ort	Sediment	Parameter
Einmündung Saale bis Klausbrücke	2	Schwermetalle, Insektizide, Tributylzinn, Dioxine/Furane, PAK
Klausbrücke bis Mühlpforte	1	Schwermetalle, Insektizide, Tributylzinn, Dioxine/Furane, PAK
Mühlpforte bis Dreiergraben	2	Schwermetalle, Insektizide, Tributylzinn, Dioxine/Furane, PAK
Einmündung Dreiergraben	1	Schwermetalle, Insektizide, Tributylzinn, Dioxine/Furane, PAK
Steinmühle	1	Schwermetalle, Insektizide, Tributylzinn, Dioxine/Furane, PAK
Summe	7	

Zur Bestimmung geeigneter Stellen zur Entnahme von Sedimentproben wurden zuerst die Ergebnisse der Untersuchungen aus Schritt 1 hinsichtlich Korngrößenzusammensetzung und Sedimentmächtigkeit ausgewertet. Eine Probenahme erschien nur sinnvoll bei einem entsprechend hohen Feinkornanteil (Sande/Kiese sollten nicht beprobt werden) und einer auskömmlichen Mächtigkeit (> 0,50 m), um eine tiefenorientierte Probenahme mit entsprechend großem Probenvolumen zu ermöglichen. Somit konnte die Bestimmung der endgültigen Lage und der Umfang der Probenahme erst nach Auswertung der Sedimentpeilungen erfolgen.

Art und Umfang der durchgeführten Feldarbeiten werden in den folgenden Kapiteln dokumentiert und erläutert.

3.3 2-Frequenz-Sediment-Echolotung

Die 2-Frequenz-Echolotung erfolgte am 20.06.2014 durch die GeoDV GmbH Stendal in Nachauftragnehmerschaft der ARCADIS Deutschland GmbH. Es wurden die in der Projektbesprechung am 02.06.2014 mit dem LHW festgelegten 50 Querprofile sowie 8 zusätzliche Profile, die eine Aussage über besondere örtliche Gegebenheiten bzw. Einflüsse auf die Sedimentmächtigkeiten und -verteilung ermöglichen sollten, abgefahren. Die Lage der Echolotungsprofile entspricht der Lage der Sondierprofile (siehe dazu Kapitel 3.4) und sind den Übersichtskarten in Anlage 1 zu entnehmen.

Die Firma GeoDV GmbH setzte zur Sedimentlotung ein 2-Frequenz-Vermessungslot, Typ 7FD100 der Fa. Sonder-Sonar (Jena) ein. Dieses Sonar ist gekoppelt mit einem Differential-GPS (Differential Global Positioning System). Dieses Gerät der Firma NovAtel besteht im Wesentlichen aus einem GNSS-Kompaktempfänger (Typ: ReACT = Receiver Antenna Compact Technology), welches wiederum ein GPS/Glonass und RTK-(Real Time Kinematik)-System beinhaltet. Zusätzlich ist dieses Messinstrument mit einem Erweiterungssystem zur Satellitennavigation ausgestattet. Es handelt sich dabei um ein europäisches Differential Global Positioning System (kurz EGNOS = European Geostationary Navigation Overlay Service) (Anlage 11). Diese Erweiterung steigert die Positionsgenauigkeit des GPS innerhalb von Europa von 10 - 20 m auf 1 - 3 m. EGNOS informiert auch über die Zuverlässigkeit/Korrektheit der GPS-Systeme (Ausstrahlung falscher Positionsdaten, gestörter Empfang) [U22].

Als Trägerfahrzeug für das 2-Frequenz-Vermessungslot diente ein Schlauchboot mit Elektromotor (Anlage 8). Die Orientierung auf dem Wasser erfolgte über die in die Sonarsoftware eingelesenen georeferenzierten und geplanten 50 Querprofile. Die Orientierung für die „Zwischenprofile“ (z. B. auf Höhe von Regeneinläufen) erfolgte auf Sicht und mittels Orthophotos. Die Profile wurden mehrmals in kurzen Abständen versetzt abgefahren, so dass in Summe ca. 100 Profile aufgenommen. Diese Methodik sollte dazu dienen, die Messpunktdichte zu erhöhen.

Trotz des Einsatzes eines relativ unempfindlichen Differential-GPS, das zur Bestimmung der Koordinaten mit 3 Satelliten auskommt, sind die Messwerte der Sedimentpeilung nicht georeferenziert zuzuordnen, da mehrheitlich weniger als 3 Satelliten bzw. kein Satellitenempfang zur Verfügung stand. Folgende wesentliche Fehlereinflüsse können benannt werden (siehe auch Anlage 11):

- Beschattung durch Bewuchs und Gebäude (insbesondere Fensterfronten) → reflektieren die GPS –Signale stark + werden in Empfangsantenne als sog. Multipath empfangen → erhöhen das Rauschen der Messung

- Unterbrechung des Korrekturdatenstroms (GPRS- oder GSM-Abrisse)

- falsche Einstellung bzw. Interpretation des GLONASS-Niveaus
- ionosphärische Restfehler

Da die mit der 2-Frequenz-Echolotung erhobenen Messdaten keine eine Aussage zur Sedimentverteilung und –mächtigkeit zuließen, erfolgte im folgenden Arbeitsschritt eine Peilstangensondierung.

3.4 Peilstangensondierung

3.4.1 Methodik

Die klassische Peilstangensondierung erfolgte am 25.06.2014 durch die GeoDV GmbH Stendal im Nachauftragnehmerschaft der ARCADIS Deutschland GmbH. Es wurden die im Rahmen der 2-Frequenz-Echolotung bereits angefahrenen und in der Projektbesprechung am 02.06.2013 mit dem LHW festgelegten Querprofilen vermessen. Die Lage der Sondierprofile ist den Übersichtskarten in Anlage 1 zu entnehmen.

Die Peilung der Sedimentmächtigkeiten erfolgte stellenweise zu Fuß bzw. stehend im Wasser. Dort wo die Wassertiefe zu groß und die Strömung zu stark war, erfolgte die Sedimentpeilung vom Schlauchboot (Anlage 8). Die Fa. GeoDV GmbH Stendal benutzte für die Durchführung der Sedimentpeilung ihr eigenes Equipment (Schlauchboot, Peilstangen in der Länge variierbar).

Zur Bestimmung der Sedimentmächtigkeit wurde eine herkömmliche 2 m lange Peilstange (vgl. Abbildung 4), welche jeweils in 50 cm- Schritten farbig markiert ist, verwendet. Bei großen Wassertiefen und mächtigen Sedimentablagerungen wurde ein in der Länge variables Peilstangensystem verwendet. Die cm-genaue Abmessung der Eindringtiefe der Peilstange in das Sediment sowie die am Tag der Sondierung angetroffene Wassertiefe erfolgte mittels handelsüblichen Zollstock. Die Angaben zu den Wassertiefen sowie den Sedimentmächtigkeiten können den Feldprotokollen der Fa. GeoDV GmbH in Anlage 8 entnommen werden.

Vor Ort wurde die Situation visuell geprüft und bewertet. Die Lage der Querprofile wurde gegebenenfalls (z.B. bei Vorhandensein von Einläufen) angepasst, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. In Summe wurden zur Peilung der Sedimentverteilung und –mächtigkeiten 58 Profile (50 „Planprofile“ + 8 „Zwischenprofile) aufgenommen. Je Querprofil wurden 3 bis 5 Sondierungen („Einstiche) „abgeteuft“. Im ersten Schritt erfolgte die Peilung der Wassertiefe und somit die Höhenlage der Oberkante des Sediments. Im zweiten Schritt wurde die Unterkante des Sediments erkundet, welche der Gewässersohle entspricht. Bei nicht Vorhandensein von Sediment wurde die Gewässersohle direkt gepeilt.

U:\2014\DE0119\DE0114.000514_LHW Sedimentmanagement Mühlgraben\80_Berichte_u_Anlagen\3_Endfassung\LHW-Mühlgraben_Abschlussdoku_end_2014-12-18.docx

Abbildung 4: Peilstange zur Bestimmung der Sedimentmächtigkeit (Foto: ARCADIS)

3.4.2 Sedimentverteilung gemäß Peilstangensondierung

Im folgenden Kapitel ist die Sedimentverteilung, -mächtigkeit sowie die Beschaffenheit des Sediments (Lithologie) gemäß Feldbeobachtungen aufgeführt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt abschnittsweise. Die Lage der Querprofile und die Darstellung der Sedimentmächtigkeiten im Gewässer Mühlgraben im Bereich der Querprofile 1 – 50 und der Zwischenprofile 1 – 8 ist den Anlagen 1 und 2 zu entnehmen.

Abschnitt 1 (Anlage 1, Blatt 1 und Anlage 2)

Vom Bereich der Einmündung der Stromsaale in den Mühlgraben bis zur Brücke Abfahrt B80 wurde an den Profilen 1 – 3 kein bzw. kaum Sediment mittels Peilstange erkundet. Im weiteren Verlauf des Mühlgrabens flussabwärts (Profile 4 – 5) wurde ein Schlamm unter (Wasserbau-)Steinen über den gesamten Flussquerschnitt mit einer Sedimentmächtigkeit bis zu 0,8 m angetroffen. Hinter der Brücke Abfahrt B80 bis zur Schwarzen Brücke wurde am Zwischenprofil 1 im Bereich eines Regeneinlaufs (rechtsseitig) vorwiegend sandig-kiesiges Sediment mit einer Mächtigkeit zwischen 0,15 m und 0,25 m nachgewiesen, welches eine geringmächtige Schlammlage (ggü. Einlauf) überlagert. An den Profilen 6 – 8 wurde vorwiegend sandig-kiesige Sedimenten wechselseitig erkundet. Im weiteren Verlauf des Mühlgrabens konnte bis zur Hallorenbrücke kein bzw. nur geringmächtige sandige Sedimente mit einer maximalen Mächtigkeit von 0,3 m unmittelbar nördlich der Schwarzen Brücke (rechtsseitig) nachgewiesen werden.

Abschnitt 2 (Anlage 1, Blatt 2 und Anlage 2)

Nördlich der Hallorenbrücke bis zur Klausbrücke wurden im Bereich der Profile 11 – 13 hauptsächlich sandige Ablagerungen (vor der Klausbrücke bis 0,4 m mächtig), teilweise über geringmächtigen Schlammlagen (≤0,2 m mächtig) angetroffen. Am Zwischenprofil 3, im Bereich eines Einlaufbauwerks, konnten kiesige Ablagerungen im Schlammbett (≤0,1 m mächtig) nachgewiesen werden. Im weiteren Verlauf des Mühlgrabens bis zur Mühlpforte wurde am Profil 14 unmittelbar nördlich der Klausbrücke kein Sediment erkundet. Auf Höhe der Neuen Residenz und des Doms (Profile 16 – 18)

U:\2014\DE0119\DE0114.000514_LHW Sedimentmanagement Mühlgraben\80_Berichte_u_Anlagen\3_Endfassung\LHW-Mühlgraben_Abschlussdoku_end_2014-12-18.docx

wurden hauptsächlich in der Gerinnemitte sandige Ablagerungen (≤0,55 m mächtig) angetroffen. Im Bereich des Gleithangs unterhalb des Doms (Profil 19) wurde ein Schlamm mit einer maximalen Mächtigkeit von 0,35 m nachgewiesen. Unmittelbar vor der Neu-Mühle sind keine bzw. kaum Ablagerungen nachweisbar.

Abschnitt 3 (Anlage 1, Blatt 3 und Anlage 2)

Nördlich der Mühlpforte bis zur Einmündung des Dreiergrabens in den Mühlgraben (Profile 21 – 31) ist eine kontinuierliche Zunahme des feinkörniges Sediments bis zu einer Mächtigkeit von 2,2 m zu verzeichnen. Die mächtigsten „Sedimentpakete“ wurden im Bereich der Pfälzer Brücke (Profil 26 linksseitig ≤ 2,15 m) und unmittelbar südlich der Einmündung des Dreiergrabens in den Mühlgraben (Profil 31 rechtsseitig ≤ 2,2 m) erkundet.

Abschnitt 4 (Anlage 1, Blatt 4 und Anlage 2)

Nördlich der Einmündung des Dreiergrabens bis auf Höhe der Kunsthochschule (Neuwerk) wurden im Bereich der Profile 32 – 36 flussabwärts abnehmende Schlammmächtigkeiten von 0,8 m (Profil 32 rechtsseitig) auf 0,1 m (Profil 36 rechtsseitig) nachgewiesen. Auf Höhe der südlichen Grundstücksgrenze der Kunsthochschule wurde ein auf der Gewässersohle auflagerndes sandiges „Sedimentpaket“ (Profil 36 mittig ≤ 0,45 m) angetroffen.

Abschnitt 5 (Anlage 1, Blatt 5 und Anlage 2)

Auf Höhe des Sportplatzes der Martin-Luther-Universität Halle konnten bis zur Steinmühlenbrücke zunehmende Schlammmächtigkeit im gesamten Gerinnequerschnitt erkundet werden. Am Profil 37 (Höhe Sportplatz) wurde in der Gerinnemitte zum rechten Uferrand auskeilend ein sandiges „Paket“ mit einer Sedimentmächtigkeit von 0,45 – 0,25 m angetroffen. Dieses „Paket“ überlagert eine geringmächtige Schlammlage. An diesem Profil wurde linksseitig ausschließlich Schlamm bis zur Gewässersohle nachgewiesen. Im Abschnitt zwischen der nördlichen Grundstücksgrenze der Kunsthochschule (Profil 38) bis ca. 30 m vor der Steinmühlenbrücke befinden sich mächtige Schlammablagerungen im Gleithangbereich (Mächtigkeit min. 0,45 m – max. 1,5 m). Am Profil 40 wurden sandige Auflager auf feinkörnigem Sediment erkundet. Unterhalb der Steinmühlenbrücke (Profil 41) sind geringe Schlammmächtigkeiten abgelagert.

Abschnitt 6 (Anlage 1, Blatt 6 und Anlage 2)

Nördlich der Steinmühlenbrücke und insbesondere unmittelbar vor der Steinmühle waren aufgrund zu starker Strömung sowie angeschwemmten Totholz keine Messungen möglich. Im Bereich des offenen Bypasses, östlich der Mühle, wurde kein Sediment angetroffen. Nördlich der Steinmühle, in etwa auf

Höhe des Pflegeheims der Diakonie wurden mächtige Schlammablagerungen nachgewiesen (rechter Flusslauf ≤ 1,85 m, Gerinnemitte ≤ 1,2 m, linker Flusslauf nur Profil 46 ≤ 1,4 m). Im weiteren Verlauf des Mühlgrabens bis zur Mündung in die Stromsaale konzentrieren sich die Schlammablagerungen auf den Gleithangbereich. So wurden an den Profilen 47 – 48 Ablagerungen zwischen 0,8 – 0,9 m Mächtigkeit erkundet. Im Abschnitt 6 wurden zwei Einläufe flussabwärts rechtsseitig (DN 200, DN 400) ermittelt (Zwischenprofile 7 und 8), die gegenüberliegend Schlammablagerungen, teilweise mit Kiessand an der Basis, aufweisen. Unmittelbar vor (Profil 49) und nach der Ochsenbrücke (Profil 50) sind abnehmende Schlammmächtigkeit, welche sich rechtsseitig und in der Gerinnemitte konzentrieren und linksseitig auskeilen.

3.5 Sedimentkubatur-Berechnungen

3.5.1 Grundlagen der Kubatur-Berechnungen

Aus den an 58 Querprofilen ermittelten Sedimentmächtigkeiten lässt sich das Volumen der Sedimentkörper im Gewässer Mühlgraben bestimmen (Anlage 4). Vereinfacht ergibt sich folgende Formel für die Berechnung des Sedimentvolumens:

$$V = l \times b \times h$$

mit l = Länge zwischen definierten Profillagen mit erkundeten Feinsedimenten (Schlamm)
b = Breite des Mühlgrabens
h = Mittelwert der erkundeten Sedimentmächtigkeiten im betrachteten Flussabschnitt

Die Berechnung und somit eine Annäherung der tatsächlichen Sedimentkubatur im Mühlgraben erfolgte durch unterschiedliche Herangehensweise (Annahmen), welche im Folgenden benannt werden und in Anlage 4 tabellarisch dargestellt sind.

<u>Kubatur Berechnungsvarianten 1 und 2</u>

Länge (l):

Zur Berechnung des Sedimentvolumens wird die gesamte Länge des jeweiligen Gewässerabschnittes (zur Einteilung siehe Kapitel 4.2), der durch markante Schwankungen der Sedimentverteilung und –mächtigkeit charakterisiert wird, vorausgesetzt.

Mittlere Mächtigkeit (h):

Zur Berechnung des Sedimentvolumens wird die über den jeweiligen Gewässerabschnitt gemittelte, durchschnittliche Mächtigkeit angesetzt.

Mittlere Breite (b):

Für die Berechnung der Kubatur 1 wird von einer Gewässerbreite des Mühlgrabens im Mittel von 8 m ausgegangen. Somit wird vorausgesetzt, dass das belastete Sediment nicht über die gesamte Breite des Mühlgrabens verteilt ist.

Für die Berechnung der Kubatur 2 wird von einer Gewässerbreite des Mühlgrabens im Mittel von 15 m ausgegangen. Somit wird vorausgesetzt, dass das belastete Sediment über die gesamte Breite des Mühlgrabens verteilt ist.

Kubatur Berechnungsvarianten 3 und 4

Länge (l):

Zur Berechnung des Sedimentvolumens wird die gesamte Länge des jeweiligen Gewässerabschnittes, der durch markante Schwankungen der Sedimentverteilung und –mächtigkeit charakterisiert wird, vorausgesetzt.

Mächtigkeit (h):

Zur Berechnung des Sedimentvolumens (Kubatur 3) wird die über den jeweiligen Gewässerabschnitt gemittelte, durchschnittliche Mächtigkeit angesetzt.

Zur Berechnung des Sedimentvolumens (Kubatur 4) wird die über den jeweiligen Gewässerabschnitt gemittelte, maximale Mächtigkeit angesetzt.

Tatsächliche Breite (b):

Für die Kubaturberechnung wird die Breite des Mühlgrabens am jeweiligen Profil betrachtet und anschließend der Mittelwertbildung aus allen „tatsächlichen Profilbreiten“ im jeweiligen Gewässerabschnitt gebildet.

Kubatur Berechnungsvarianten 5 und 6

Länge (l):

Für die Berechnung des Sedimentvolumens wird der Abstand zwischen 2 „benachbarten“ Profilen betrachtet. Dieser Abstand wird halbiert und somit die halbe Länge zum vorangegangenen und zum nachfolgenden Profil für die Kubaturberechnung angesetzt.

Mächtigkeit (h):

Zur Berechnung des Sedimentvolumens (Kubatur 5) wird die über den jeweiligen Gewässerabschnitt gemittelte, durchschnittliche Mächtigkeit angesetzt.

Zur Berechnung des Sedimentvolumens (Kubatur 6) wird die über den jeweiligen Gewässerabschnitt gemittelte, maximale Mächtigkeit angesetzt.

Breite (b):

Die Sedimentverteilung wird an jedem Querprofil separat betrachtet und bewertet. Wurden an allen Einstichen mit der Peilstangen-Sondierung feinkörnige Sedimente (Ton, Schluff, Organik) angetroffen, so wurde die Gesamtbreite des Mühlgrabens am jeweiligen Querprofil zur Kubaturberechnung verwendet. Ist dies nicht der Fall, so wurde nur die halbe Breite des Flussquerschnittes zur Berechnung angesetzt.

3.5.2 Ergebnisse der Sedimentkubatur-Berechnungen

Die Berechnungsergebnisse zur Sedimentkubatur im Gewässer Mühlgraben können der Anlage 4 vollständig entnommen werden. Im Folgenden sind ausschließlich die Gewässerabschnitte A2 (Profil 21-31), A3 (Profil 31-41) und A4 (Profil 41-50) sowie die dazugehörigen Kubaturen an Feinsediment (<63µm) dargestellt. Die Gewässerabschnitte werden ausführlich in Kapitel 4.2 erläutert. Wie bereits in Kapitel 3.5.1 dargestellt, erfolgte die Kubaturberechnung anhand von sechs unterschiedlichen Annahmen. Die Berechnungsergebnisse unter den unterschiedlichen Annahmen sind aus der nachfolgenden Tabelle 9 ersichtlich.

Tabelle 9: Ergebnisse der Sedimentkubatur-Berechnungen

Kubatur 1	
Annahme	mittlere Sedimentmächtigkeit, gesamter Gewässerabschnitt, mittlere Breite 8 m
Profil	Kubatur [m³]
21-31	2.874
31-37	959
37-41	950
43-46	857
46-50	1.267
Summe	6.907
Kubatur 2	
Annahme	mittlere Sedimentmächtigkeit, gesamter Gewässerabschnitt, mittlere Breite 15 m
Profil	Kubatur [m³]
21-31	5.389
31-37	1.799
37-41	1.781
43-46	1.606
46-50	2.375
Summe	12.950
Kubatur 3	
Annahme	mittlere Sedimentmächtigkeit, gesamter Gewässerabschnitt, tatsächliche Breite
Profil	Kubatur
21-31	7.414
31-37	2.139
37-41	2.493
43-46	1.963
46-50	3.099
Summe	17.108

Kubatur 4	
Annahme	maximale Sedimentmächtigkeit, gesamter Gewässerabschnitt, tatsächliche Breite
Profil	Kubatur
21-31	13.482
31-37	5.117
37-41	4.452
43-46	3.163
46-50	5.452
Summe	31.666
Kubatur 5	
Annahme	mittlere Sedimentmächtigkeit, Länge (halbe Länge zum vorangegangenen und nachfolgenden Profil), Breite (Gesamtbreite oder halbe Flussbreite)
Profil	Kubatur
21-31	6.265
32-37	866
38-41	2.334
42-46	2.352
47-50	1.037
Summe	12.853
Kubatur 6	
Annahme	maximale Sedimentmächtigkeit, Länge (halbe Länge zum vorangegangenen und nachfolgenden Profil), Breite (Gesamtbreite oder halbe Flussbreite)
Profil	Kubatur
21-31	10.828
32-37	1.809
38-41	3.829
42-46	3.325
47-50	2.617
Summe	22.408

Im Rahmen der weiteren Bearbeitung der Vorplanung zur Ableitung einer Vorzugsvariante für den Umgang mit dem Altsedimentdepot im Gewässer Mühlgraben wird **die Kubatur in der Berechnungsvariante 5** verwendet. Nach Abgleich der Ergebnisse aus den Berechnungsvarianten 1 – 6 ist die Herangehensweise bzw. die getroffenen Annahmen wie Sedimentmächtigkeit, Länge des entsprechenden Gewässerabschnittes sowie die mit Feinsediment belegte Breite in der Variante 5 zutreffend bzw. repräsentativ für die im Feld angetroffene Situation. Weiterhin entspricht die im Jahr 2014 berechnete Kubatur in Berechnungsvariante 5 mit 12.853 m³ annäherungsweise den Kubaturen aus den Altuntersuchungen, welche mit vergleichbaren Annahmen (u. a. mittlere Sedimentmächtigkeit) ermittelt wurden (Tabelle 12).

3.5.3 Vergleich der Sedimentkubaturen

Der Vergleich der Sedimentmächtigkeiten im Zeitraum von 1991 bis 2014 wurde an 18 Querprofilen geführt. Es liegen nicht aus allen Untersuchungskampagnen am entsprechenden Querprofil Messwerte zur Sedimentmächtigkeit vor, so dass eine lückenlose Entwicklung der Sedimentmächtigkeiten über Vergangenheit bis heute nicht möglich ist. Dennoch ist ein Entwicklungstrend von den 1990iger Jahren bis heute anhand der in Tabelle 10 aufgeführten Messergebnisse möglich. Im Abschnitt von der Einmündung Stromsaale in den Mühlgraben bis zur Brücke Abfahrt B80 ist von 1991 bis 1994 eine Abnahme der Sedimentmächtigkeit bis zum vollständigen Fehlen von Feinsediment zu verzeichnen (s. Querprofil 3). Dieser Zustand konnte in der Untersuchung im Jahr 2014 bestätigt werden. Im Abschnitt zwischen Hallorenbrücke und Klausbrücke wurden bereits in den 90iger Jahren geringe Sedimentmächtigkeiten erkundet (Querprofil ZP2, 1994: max. 0,2 m) ist. In den aktuellen Untersuchungen konnten die geringen Sedimentauflagen im Gewässer Mühlgraben bestätigt werden. Es ist sogar ein Rückgang der Sedimentmächtigkeit zu verzeichnen. Nördlich der Klausbrücke wurde von 1991 bis 1994 eine Zunahme der Sedimentmächtigkeit nachgewiesen werden, während im Jahr 2014 an vergleichbarer Stelle kein Sediment vorhanden war (s. Querprofil 14). Bis zur Mühlpforte (s. Querprofile ZP4 und ZP5) konnte aufgrund eines starken Rückgang der Sedimentmächtigkeit (s. ZP5) eine Verlagerung des Sediments aus den 90iger Jahren stromabwärts nachgewiesen werden. Nördlich der Mühlpforte bis zur Pfälzer Brücke konnte eine Abnahme der Sedimentauflage im Mühlgraben erkundet werden (s. Querprofil 22, 25 und 26), die ebenso für eine Sedimentverlagerung spricht. Nördlich der Pfälzer Brücke im Bereich des Querprofils 27 konnte von 1991 bis 1994 ein Sedimentzuwachs verzeichnet werden. Bei den letzten Erkundungsarbeiten im Juni 2014 wurde eine verminderte Sedimentmächtigkeit von maximal 1,30 m nachgewiesen. Im Bereich des Querprofils 30 wurde in den 90iger Jahren ein Anwachsen der Sedimentauflage beobachtet (vgl. 1991 und 1992). Bei Untersuchungen im Jahr 2011 wurde eine geringere Sedimentmächtigkeit als in den Jahren 1991 und 1994

angetroffen, so dass von einer Verlagerung stromabwärts auszugehen ist. Bei Nacherkundungen an vergleichbarer Stelle im Herbst 2013 konnte ein Zuwachs der Sedimentauflage von maximal 0,40 m beobachtet werden. Dieser Zuwachs innerhalb einer eines Zeitraums von ca. 2 Jahren ist auf das Hochwasser im Juni 2013 zurückzuführen. In 2014 wurde in Bezug auf die Untersuchungen in 2013 ein vergleichbares Ergebnis festgestellt. Nördlich der Einmündung des Dreiergrabens in den Mühlgraben, in etwa auf Höhe der südlichen Grundstücksgrenze der Sportanlagen der Martin-Luther-Universität, kann die zuvor beschriebene Sedimentverlagerung über den Zeitraum 1991 bis 2014 ebenso nachvollzogen werden (s. Querprofil 35), wenn auch im Rahmen der Erkundungsarbeiten im Jahr 2014 eine geringfügige Abnahme der Sedimentmächtigkeit gegenüber 2013 nachgewiesen wurde. Im weiteren Verlauf des Mühlgrabens bis zur Steinmühlenbrücke kann im Vergleich zu den Untersuchungen im Jahr 1994 eine Abnahme der Sedimentauflage stromabwärts nachgewiesen werden (s. Querprofile 38 und 41). Nördlich der Steinmühle (s. Querprofil 44) können im Zeitraum 1991 bis 2014 durchweg hohe Sedimentmächtigkeiten (max. 2,20 m in 1994) nachgewiesen werden. Bis zum Jahr 1994 ist ein Sedimentzuwachs bis maximal 2,20 m und danach bis zum Jahr 2014 eine Abnahme des Sediments auf maximal 1,70 m zu verzeichnen. Im weiteren Verlauf des Mühlgrabens stromabwärts ist nach dem Hochwasser 2013 eine Zunahme der Sedimentauflage, die in den aktuellen Untersuchungen 2014 ohne wesentliche Änderung der Sedimentmächtigkeit bestätigt wurden, nachzuweisen. Unmittelbar vor der Ochsenbrücke kann beim Vergleich der mittleren Sedimentmächtigkeiten aus den Jahren 1991 und 2014 keine signifikante Änderung registriert werden. Betrachtet man ausschließlich die maximalen Sedimentmächtigkeiten aus den Jahren 1994 und 2014, so ist Austrag von Sediment erkennbar.

Tabelle 10: Vergleich der Sedimentmächtigkeiten 1991 – 2014

Querprofil-Bezeichnung ARCADIS 2014	ITW 1991 (mittlere Sediment-mächtigkeit in m)	UFZ 1994 (maximale Sediment-mächtigkeit in m)	GEOS 2011 (maximale Sediment-mächtigkeit in m)	GEOS 2013 (maximale Sediment-mächtigkeit in m)	ARCADIS 2014 (mittlere Sediment-mächtigkeit in m)
3	0,54	0	-	-	0
ZP3	-	0,20	-	-	0,05 (max. 0,10)
14	0,04	0,55	-	-	0
ZP4	-	0,30	-	-	max. 0,10 (Sand)
ZP5	0,89	0,10	-	-	0,03 (max. 0,05) (kiesiger Schlamm)

Querprofil-Bezeichnung ARCADIS 2014	ITW 1991 (mittlere Sediment-mächtigkeit in m)	UFZ 1994 (maximale Sediment-mächtigkeit in m)	GEOS 2011 (maximale Sediment-mächtigkeit in m)	GEOS 2013 (maximale Sediment-mächtigkeit in m)	ARCADIS 2014 (mittlere Sediment-mächtigkeit in m)
22	0,38	-	-	-	0,10 (max. 0,20)
25	-	1,75	-	-	0,55 (max. 0,85)
26	-	2,20	-	-	1,08 (max. 2,15)
27	1,10	2,60	-	-	1,00 (max.1,30)
30	1,11	1,80	0,90	1,28	0,80 (max. 1,25)
32	1,16	-	-	-	0,40 (max. 0,80)
35	0,55	0,50	0,80	0,45	0,35 (max. 0,70)
38	-	1,40	-	-	0,83 (max. 1,10)
41	-	1,00	-	-	0,05 (max. 0,10)
44	1,11	2,20	-	-	0,85 (max. 1,70)
46	1,19	-	1,25	1,85	1,50 (max. 1,80)
ZP7	0,69	-	-	-	0,43 (max. 0,85)
49	0,23	0,80	-	-	0,25 (max. 0,50)

Die hydraulische Dynamik im Gewässer Mühlgraben lässt sich anhand der abschnittsweisen Betrachtung des Sedimentvolumens deutlicher nachvollziehen. Die in Kapitel 4.2 detailliert beschriebene Abschnittsunterteilung des Mühlgrabens wurde beim Vergleich der Sedimentvolumina im Zeitraum 1991 bis 2014 (s. Tabelle 11) zu Grunde gelegt.

Im Abschnitt A1 ist auf einer Länge von ca. 830 m ein Sedimentzuwachs bis 1994 von 1.262 m³ auf 1.902 m³ zu verzeichnen. In der aktuellen Untersuchungskampagne wurden keine bis sehr geringmächtige Sedimentlagen, die hauptsächlich der Kornfraktion >63 µm zu zuordnen sind, angetroffen (s. Tabelle 10, Querprofile 3, ZP3, 14, ZP4 und ZP5), so dass im Abschnitt A1 im Zuge von potentiellen Beseitigungen bzw. Sicherungen von Altsedimenten (s. dazu Kapitel 5) kein Sedimentvolumen zu berücksichtigen ist.

Im Abschnitt A2 ist auf einer Länge von ca. 550 m ein Sedimentzuwachs bis 1994 von 8.139 m³ auf 8.813 m³ zu verzeichnen. In der aktuellen Untersuchungskampagne wurde im Vergleich zum Sedimentvolumen aus dem Jahr 1994 ein Rückgang des Sedimentvolumens um ca. 1.000 m³ festgestellt.

Im Abschnitt A3 ist auf einer Länge von ca. 580 m ein stetiger Sedimentzuwachs von 5.682 m³ auf 6.492 m³ bis zum Jahr 2014 zu verzeichnen.

Im Abschnitt A4 ist auf einer Länge von ca. 770 m ein Sedimentzuwachs von 1991 bis 1994 von ca. 3.000 m³ festzustellen. In der aktuellen Untersuchungskampagne wurde im Vergleich zum Sedimentvolumen aus dem Jahr 1994 ein Rückgang des Sedimentvolumens um ca. 800 m³ berechnet.

Tabelle 11: Vergleich der Sedimentkubaturen 1991 – 2014

	Berechnungsgrundlage	Sedimentvolumen Gewässerabschnitt A1 in m³	Sedimentvolumen Gewässerabschnitt A2 in m³	Sedimentvolumen Gewässerabschnitt A3 in m³	Sedimentvolumen Gewässerabschnitt A4 in m³	Sedimentvolumen gesamt in m³
ITW 1991	Mittlere Sedimentmächtigkeit	1.470 (Länge ca. 990 m)	11.930 (Länge ca. 1.200 m)		4.160 (Länge ca. 550 m)	19.790
ITW 1991	Maximale Sedimentmächtigkeit	1.262 (Länge ca. 830 m)	8.139 (Länge ca. 550 m)	5.682 (Länge ca. 580 m)	5.959 (Länge ca. 770 m)	21.041
UFZ 1994	Maximale Sedimentmächtigkeit	1.902 (Länge ca. 830 m)	8.813 (Länge ca. 550 m)	6.298 (Länge ca. 580 m)	8.876 (Länge ca. 770 m)	25.888
ARCADIS 2014	Mittlere Sedimentmächtigkeit	0 (Länge ca. 990 m)	9.073 (Länge ca. 1.200 m)		3.780 (Länge ca. 600 m)	12.853
ARCADIS 2014	Maximale Sedimentmächtigkeit	0 (Länge ca. 830 m)	7.861 (Länge ca. 550 m)	6.492 (Länge ca. 580 m)	8.054 (Länge ca. 770 m)	22.407

3.6 Einfluss Hochwasser 2013

Während des Juni-Hochwassers im Jahr 2013 wurde ein Abfluss im Scheitelpunkt von HHQ=916 m³/s bei einem Wasserstand von 816 cm erfasst und damit das bisher gemessene HHQ10= 847 m³/s deutlich überschritten [U12]. Die Hochwassersituation im Stadtgebiet von Halle ist in Abbildung 5 dokumentiert. Insbesondere im Bereich der Ziegelwiesen und der sich südlich anschließender Sportanlagen sind flächige Überflutungen bis zum Mühlgraben zu erkennen. Damit einhergegangen ist vermutlich auch im Mühlgraben ein erhöhter Abfluss und Schwebstoffanteil. Daten lagen für den Mühlgraben dazu jedoch nicht vor.

Abbildung 5: Überschwemmungssituation im Stadtgebiet von Halle am 05.06.2013 (Blick in Richtung Halle-Neustadt) aus[U12] (blaue Linie Verlauf Mühlgraben)

Hinsichtlich möglicher Umlagerungsprozessen infolge des Hochwasserereignisses in 2013 wurden die Befunde der aktuellen Peilstangensondierungen und der Probenahme ausgewertet. Kriterien für eine rel. junge Umlagerung sind frische Feinsedimentakkumulationen, die sich durch eine andere Färbung und Körnung vom schon konsolidierten Sedimentkörper im Liegenden abheben. Weitere Indizien sind auffällige Zu- oder Abnahmen von Sedimentmächtigkeiten im Vergleich zu Sondierungsergebnissen aus 2011 [U6] und 2013 [U8]. Die Auswertung der Ergebnisse aus den Jahren 2011 und 2013 ergab aufgrund einer Abnahme des Sedimentvolumens um ca. 2.200 m³ (s. Tabelle 12) konkrete Hinweise auf signifikante Umlagerungstätigkeiten im Mühlgraben während des Hochwassers im Juni 2013. Die aktuellen Untersuchungen aus dem Jahr 2014 bestätigen weitestgehend die Abnahme des Sedimentvolumens auf einem vergleichbaren Gewässerabschnitt mit einer Länge von ca. 1.100 m (Tabelle 12). Es wurde ein Sedimentvolumen von 6.235 m³ gegenüber einer Sedimentkubatur von 6.138 m³ aus dem Jahr 2013 berechnet. Die fast vollständige Abwesenheit von Sedimenten im Abschnitt A1 (s. Tabelle 11) kann jedoch nicht als Indiz für eine Erosion gewertet werden, da dieses Phänomen auch schon früher (vgl. Tabelle 10, Querprofil 3 aus 1994 und Querprofil 14 aus 1991) beobachtet wurde [U1][U3].

Tabelle 12: Vergleich der Sedimentkubaturen – Darstellung für einen Gewässerabschnitt von 1,1 km

	Berechnungsgrundlage	Länge Gewässerabschnitt in m	Sedimentvolumen gesamt in m³
ITW 1991	Querprofile km 0,304 - 1,285 Maximale Sedimentmächtigkeit	ca. 1.100 m	11.060
UFZ 1994	Querprofile km 0,304 - 1,285 Maximale Sedimentmächtigkeit	ca. 1.100 m	13.387
GEOS 2011	3 Querprofile km 0,346 – 1,265, Mittlere Sedimentmächtigkeit	ca. 1.100 m	8.333
GEOS 2013	9 Querprofile km 0,346 – 1,265, Mittlere Sedimentmächtigkeit	ca. 1.100 m	6.138
ARCADIS 2014	Querprofile 30-46 (km 0,346 – 1,265), Mittlere Sedimentmächtigkeit	ca. 1.100 m	6.235

3.7 Sedimentprobenahme und Laboranalytik

3.7.1 Methodik

Die Probenahme der Gewässersedimente erfolgten im Mühlgraben vom Boot aus. Als Probenahmegerät wurde der Saugbohrer der Firma Eijkelkamp (vgl. Abbildung 6) eingesetzt, mit dem laut Hersteller ungestörte Proben zur teufengerechten Profilbeschreibung entnommen werden können.

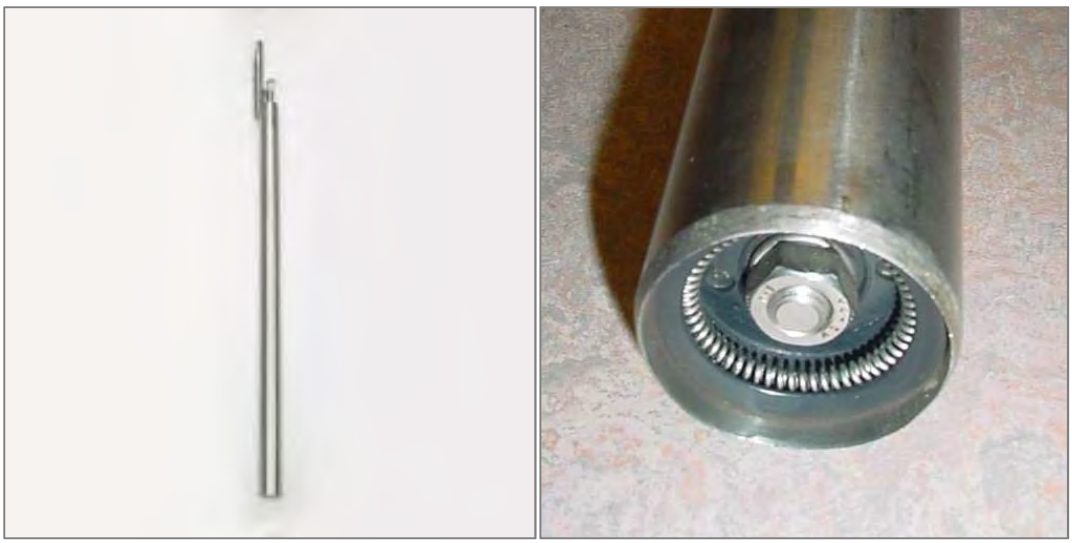


Abbildung 6: Saugbohrer der Firma Eijkelkamp (Quelle: www.eijkelkamp.de)

Der Saugbohrer wird auf die Sedimentoberfläche aufgesetzt. Während der Bohrer mit konstantem Druck ins Sediment gedrückt wird, wird der Dichtkolben in seiner Höhenposition stationär gehalten und somit ein Unterdruck im Rohr erzeugt, der die Gewinnung wenig komprimierter und damit lagegerechter Kerne mit einem Durchmesser von 4 cm ermöglicht. Dieser wird anschließend zur Ansprache und Beprobung auf der Schüttrinne ausgelegt.

Bei sehr grobkörnigem Sedimentmaterial oder bei zu geringem Feststoffanteil kann es zu Materialverlust beim Herausziehen des Saugbohrers kommen. Dieses Problem trat bei den Probenahmen im Mühlgraben nicht auf, so dass alle Proben mittels Saugbohrer gewonnen werden.

Die entnommenen Kerne wurden nach ihrer geologischen Ansprache für die laboranalytischen Untersuchungen auf Schwermetalle, Insektizide, Tributylzinn, Dioxine/Furane, PAK und LAGA- Parameter beprobt. Dazu war ein Mindestprobenvolumen erforderlich, das teilweise erst durch mehrmaliges Einstechen des Saugbohrers gewonnen werden konnte. Das mehrmalige Einstechen erfolgte im Bereich der repräsentativen Sedimentablagerung auf einer Fläche von ca. 2 – 3 m² (Abstand der Einstiche ca. 0,5 – 1,0 m). Die so gewonnenen Einzelproben wurden vor Ort zu einer teufengerechten Mischprobe zusammengefasst (Anlage 12).

Die folgende Tabelle 13 enthält eine Aufstellung der im Zeitraum 07.07. – 11.07.2014 entnommenen Sedimentproben aus dem Gewässer Mühlgraben sowie deren Entnahmetiefen (s. auch Anlage 12). Insgesamt wurden 24 Gewässersedimentproben an 7 Probenahmestellen (PN1/14 – PN7/14, siehe Abbildung 7) im Untersuchungsraum entnommen. Das Probenmaterial wurde unmittelbar nach der geologischen und organoleptischen Ansprache in ein beschriftetes 1 l-Einweckglas verpackt und an-

schließend durch einen Probenkurier (per Overnight- Express) zur laborchemischen Untersuchung an das zertifizierte Labor GBA Gesellschaft für Bioanalytik mbH in Pinneberg übergeben. Ein Teil der Proben (6 Stück) wurde als Rückstellproben im Labor GBA Gesellschaft für Bioanalytik mbH in Pinneberg entsprechend gekühlt gelagert. Die Sedimentproben, welche für die Analytik die Parameter Schwermetalle, Insektizide, Tributylzinn, Dioxine/Furane und PAK ausgewählt wurden, wurden zunächst im Labor aufbereitet (Absiebung und Abtrennung der Kornfraktion < 63 µm), um anschließend die Ermittlung der Konzentrationen der genannten Parameter ausschließlich im Feinsedimentanteil durchzuführen. Im Feld fanden keine weiteren Aufbereitungs- und Konservierungsschritte statt.

Tabelle 13: Entnommene Sedimentproben (s. Anlage 12)

Lokalität	Profil	Bezeichnung	Anzahl	Tiefe [cm]	Rücksteller	Tiefe [cm]
Brücke Abfahrt B 80	5	PN7/14	2	1-10, 10-26	1	1-26
Einmündung Hulbe	16	keine Probe	-		-	-
Burgbrücke	24	PN6/14	1	0-20	1	0-20
Pfälzer Brücke	26	PN5/14	3	0-10, 10-50, 50-85	1	0-50
Einmündung Dreiergraben	32	PN4/14	3	0-5, 5-50, 50-65	1	0-50
Steinmühlenbrücke	41	PN3/14	3	0-10,10-50, 50-72	1	0-50
nördliche Ziegelwiese	46	PN2/14	3	0-10,10-50, 50-90	1	0-50
Einmündung Stromsaale	50	PN1/14	2	0-10,10-30	-	-

U:\2014\DE0119\DE0114.000514_LHW Sedimentmanagement Mühlgraben\80_Berichte_u_Anlagen\3_Endfassung\LHW-Mühlgraben_Abschlussdoku_end_2014-12-18.docx

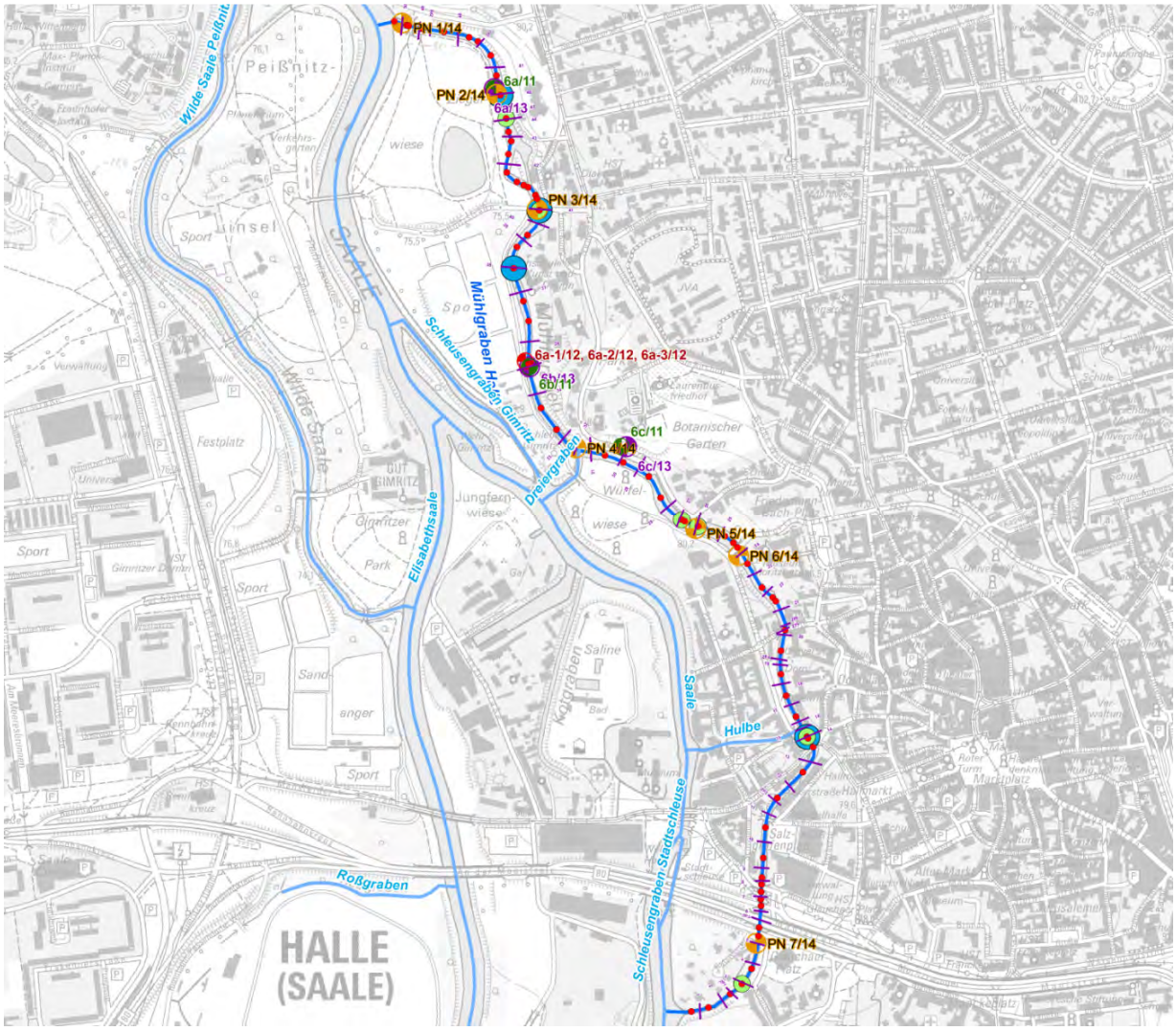


Abbildung 7: Darstellung der Probenahmestellen PN1/14 – PN7/14

3.7.2 Schadstoffkonzentrationen und –verteilung

Die im Rahmen der laborchemischen Untersuchung im akkreditierten Labor GBA ermittelten Analysenergebnisse werden dokumentiert. Eine Bewertung anhand vorliegender Bewertungskriterien erfolgt in Kapitel 3.7.3.

Alle Analysenwerte sind in Anlage 2 tabellarisch aufbereitet. Die Laborprüfberichte sind in Anlage 9 enthalten. Hier sind auch die verwendeten Analysemethoden beschrieben.

3.7.2.1 LAGA Analytik

Zur abfalltechnischen Einstufung des geförderten Baggerguts wurden Mischproben an ausgewählten Querprofilen gebildet und auf die Parameterliste der TR LAGA 2004 [U15] in der Originalsubstanz (Feststoff und Eluat) laborchemisch untersucht.

Anorganik (Schwermetalle)

Die folgende Abbildung 8 zeigt die Verteilung der Konzentration von acht Schwermetallen (inkl. Arsen). Die Darstellung der Schwermetalle in Form von Kreisdiagrammen wurde gewählt, um eine Entwicklung sowie eine Verteilung der einzelnen Schwermetalle im Längsprofil des Mühlgrabens zu verdeutlichen. Dabei repräsentiert die Probe MP1 den Mündungsbereich des Mühlgrabens in die Stromsaale. Die Probe MP4 wurde südlich der Brücke Abfahrt B80 entnommen und stellt somit die „oberstromigste“ Probe dar. Alle anderen Mischproben verteilen sich dazwischen (von Norden nach Süden: MP2, MP3, MP7, MP6 und MP7).

Im Feststoff sind mengenmäßig am häufigsten vertreten die Elemente Zink (Zn), Blei (Pb), Chrom (Cr) und Kupfer Cu). Einen geringeren Anteil haben die Schwermetalle Arsen (As), Cadmium (Cd), Nickel (Ni) und Quecksilber (Hg). Auffällig sind die gegenüber den anderen Mischproben sehr geringen Schwermetallkonzentrationen in Mischprobe MP 4 (PN 7 im Querprofil 5). Auch in MP 5 (PN 6 im Querprofil 24) wurden vergleichsweise geringe Konzentrationen ermittelt. Hg ist, bis auf die erwähnten MP 4 und MP 5, in allen Mischproben in relativ hohen Konzentrationen vertreten.

In der wässrigen Lösung des Eluats können keine (unterhalb der laborspezifischen Bestimmungsgrenze) bzw. nur unwesentlich darüber liegende Konzentrationen beobachtet werden. Die Tendenz der Rücklösung von am Feststoff adsorbierten Schwermetallen in die freie Wassersäule ist bei mechanischem Stress (S4 Schütteleluat) als sehr gering einzustufen. Es liegen also gegenüber mechanischer Beanspruchung generell stabile Schwermetallbindungsformen vor. Eine Ausnahme bildet das Halbmetall As, das im Eluat der Mischproben MP 2 (PN2 im Querprofil 46) und MP 3 (PN3 im Querprofil 41) sowie MP 6 (PN5 im Querprofil 26) und MP 7 (PN4 im Querprofil 32) in höheren Konzentrationen ermittelt wurde.

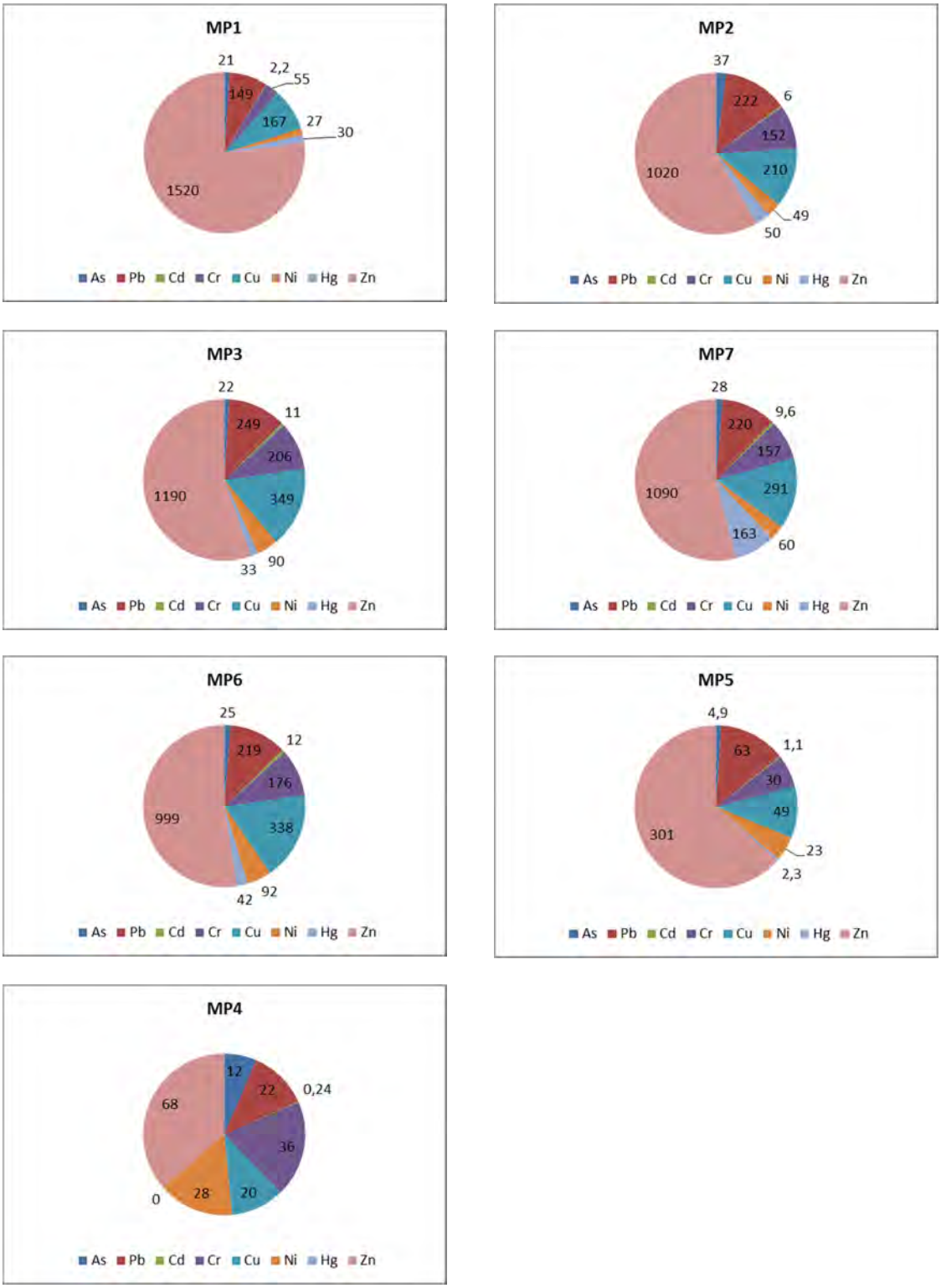


Abbildung 8: Darstellung der Schwermetall-Konzentrationen in mg/kg TS (LAGA-Analytik)

Organik (Originalsubstanz)

Insgesamt werden sechs Summenparameter sowie Benzo(a)pyren und Summe organische Kohlenstoffe laborchemisch analysiert.

Mineralölkohlenwasserstoffe, als KW-Index analysiert, können im Feststoff von 4 Mischproben mit Konzentrationen >2.000 mg/kg in auffälligen Größenordnungen ermittelt werden, mit einem Konzentrationsmaximum von 2.790 mg/kg in MP 6 (PN5 im Querprofil 26). Einen KW-Index unterhalb der methodischen Bestimmungsgrenze weist die MP4 (PN7 im Querprofil 5), relativ geringe Konzentrationen die Proben MP 5 (PN 6 im Querprofil 24) und MP 1 (PN1 im Querprofil 50) auf.

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK, 16 Einzelsubstanzen gemäß US-EPA) können ebenfalls in auffälligen Konzentrationen festgestellt werden, mit einem Konzentrationsmaximum von 58,3 mg/kg in MP 1 (PN1 im Querprofil 50). Der zweitniedrigste Wert beträgt immerhin noch 23,0 mg/kg in MP 3 (PN3 im Querprofil 41), während das Konzentrationsminimum bei 6,8 mg/kg in MP 5 (PN 6 im Querprofil 24) liegt. Keine PAK mit Konzentrationen unterhalb der methodischen Bestimmungsgrenze weist wiederum die MP4 (PN7 im Querprofil 5) auf.

Einer der als besonders toxisch eingestuften PAK-Einzelsubstanzen ist Benzo(a)pyren, das entsprechend auch bei der abfalltechnischen Einstufung separat analysiert und bewertet wird. Gemäß der Konzentrationsverteilung aus der Summenanalytik können maximale Benzo(a)pyren-Konzentrationen in den Mischproben MP 1 und MP 2 sowie MP 6 und MP 7 beobachtet werden, während MP 5 und MP 4 geringe bis keine Konzentrationen aufweisen.

Ein weiterer Summenparameter sind die einkernigen aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol, die als BTEX analysiert und im Allgemeinen als leichtflüchtig und leichtlöslich sowie leicht biologisch abbaubar eingestuft werden. Konzentrationen oberhalb der methodischen Bestimmungsgrenze weisen die Proben MP 2 (PN2 im Querprofil 46), MP 3 (PN3 im Querprofil 41) und MP 6 (PN5 im Querprofil 26) auf. In den anderen 4 Mischproben konnten keine BTEX nachgewiesen werden.

Die Konzentrationshöhen und –verteilungen sind in der folgenden Abbildung 9 für die 4 auffälligen Parameter graphisch dargestellt.

Die weiterhin gemessenen organischen Parameter Cyanide, leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW) und polychlorierte Biphenyle (PCB) konnten nicht oder in nur sehr geringen Konzentrationen knapp oberhalb der methodischen Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden. Auf eine graphische Aufbereitung wird daher verzichtet. Die Konzentrationswerte sind aus Anlage 3 zu entnehmen.

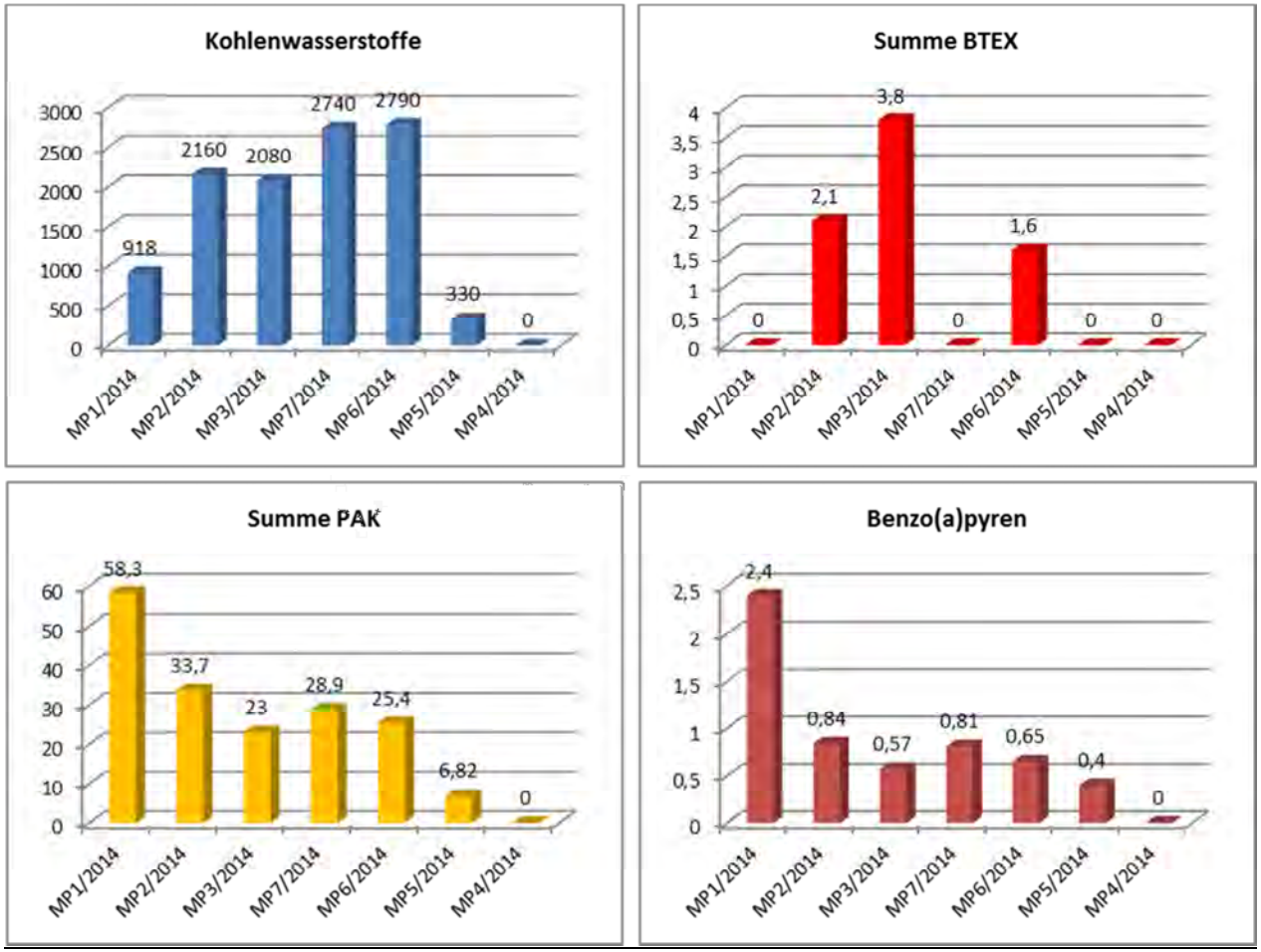


Abbildung 9: Darstellung der Konzentrationen für ausgewählte organische Parameter in mg/kg TS (LAGA-Analytik)

U:\2014\DE0119\DE0114.000514_LHW Sedimentmanagement Mühlgraben\80_Berichte_u_Anlagen\3_Endfassung\LHW-Mühlgraben_Abschlussdoku_end_2014-12-18.docx

3.7.2.2 Analytik Kornklasse <63 µm (Feinfraktion)

Zur Bewertung verschiedenen anorganischer und organsicher Stoffgruppen gemäß FGG-Elbe [U18] wird vor der Laboranalytik die Kornklasse <63 µm (Feinschluff- und Tonfraktion) abgetrennt. Dazu werden die Einzelproben einer Nasssiebung mit anschließender Verwiegung unterzogen. Dieses Feinsediment ist üblicherweise in größerem Maße an den Akkumulationen im Gewässer beteiligt (Schwebstoffeintrag) und bildet mit seinen Adsorptionskräften eine bevorzugte Matrix zur Magazinierung von Schadstoffen.

Die folgende Abbildung 10 stellt den Anteil der Kornklasse <63 µm in Masseprozent am Sediment dar. Auffällig ist dabei die relativ große Spannbreite von <20 Ma-% bis ca. 90 Ma-% sowie der steigende Anteil mit zunehmender Entnahmetiefe. Ausnahmen bilden die Proben aus den Querprofilen 24 (PN6) und 5 (PN7). Auch die Proben aus dem Querprofil 50 (PN1 Mündung in Saale) weisen mit ca. 20-30 Ma-% rel. geringe Feinkornanteile auf.

Es sei an dieser Stelle darauf hin gewiesen, dass aufgrund der unterschiedlichen Ausgangsszenarien ein direkter Vergleich der Konzentrationen aus der LAGA-Analytik (s.o.) und den nun vorgestellten Ergebnissen der Kornklasse <63 µm gemäß FGG-Elbe nicht möglich ist. Hohe Konzentrationen in dieser Kornklasse können mit geringen Konzentrationen in der LAGA Analytik korrelieren, wenn der Anteil der Kornklasse <63 µm sehr gering ist, d.h. der „Verdünnungsfaktor“ durch gröbere Kornklassen entsprechend hoch ist.

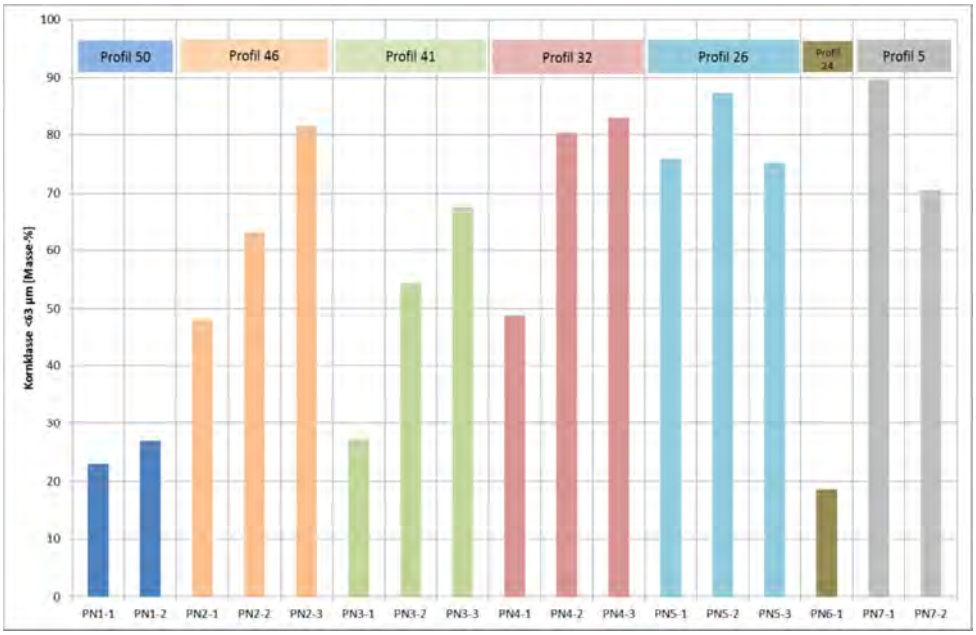


Abbildung 10: Anteil Kornklasse <63 µm am Gesamtkorngefüge

Schwermetalle

Analog zu der LAGA-Analytik werden auch hier acht Schwermetalle (inkl. As) laborchemisch untersucht. Konzentrationshöhen und –verteilung nach Probenahmestelle und Probenahmetiefe sind den folgenden Abbildungen aufgeteilt nach vergleichbaren Gruppen graphisch dargestellt.

Auffällig ist auch hier, dass die Proben aus den Probenahmestellen PN 6 (Querprofil 24) und PN7 (Querprofil 5) gegenüber den anderen Proben sehr geringe Schwermetallkonzentrationen aufweisen.

Weiterhin auffällig ist, dass sich bei keinem der analysierten Schwermetalle eine deutlich teufenorientierte Konzentrationsverteilung ableiten lässt. Beim Parameter Hg ließe sich eine mit der Tiefe zunehmende Konzentration am ehesten noch bei PN4 darstellen (Abbildung 11). Alle anderen Proben weisen auffällig gleichförmige Verteilungsmuster über die gesamte Sedimentmächtigkeit auf.

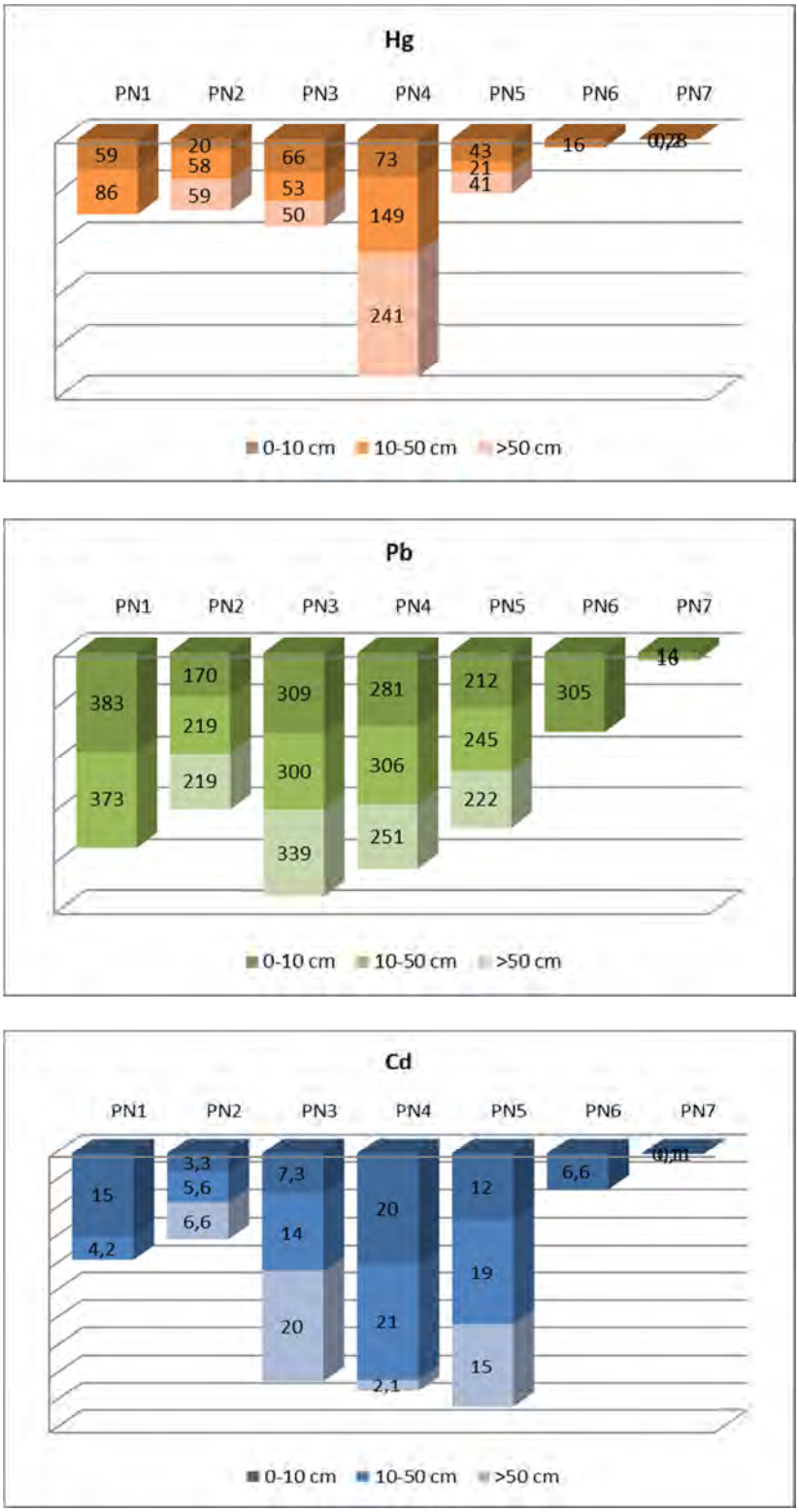
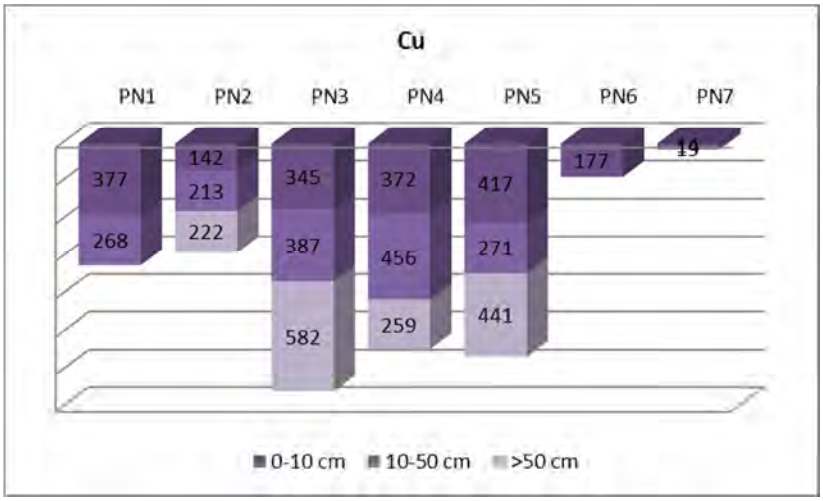
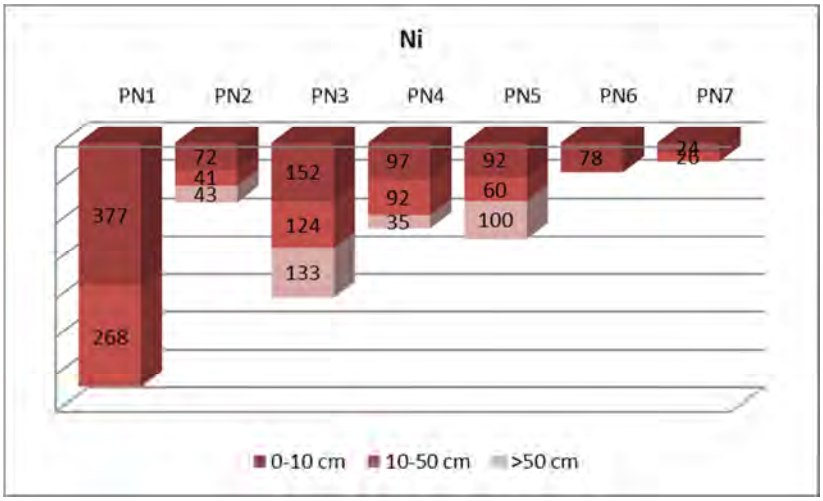


Abbildung 11: Schwermetall-Konzentrationen (Hg, Pb, Cd) in der Feinfraktion <63µm in mg/kg

U:\2014\DE0119\DE0114.000514_LHW Sedimentmanagement Mühlgraben\80_Berichte_u_Anlagen\3_Endfassung\LHW-Mühlgraben_Abschlussdoku_end_2014-12-18.docx





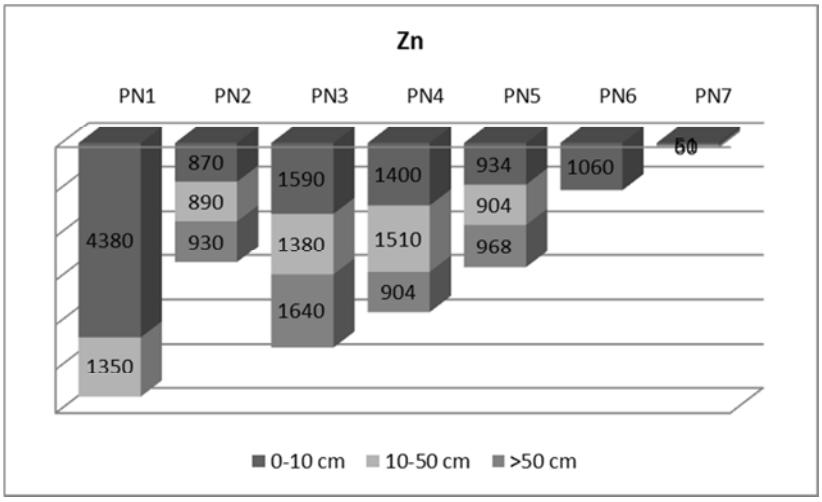


Abbildung 12: Schwermetall-Konzentrationen (Cu, Ni, Zn) in der Feinfraktion <63µm in mg/kg

U:\2014\DE0119\DE0114.000514_LHW Sedimentmanagement Mühlgraben\80_Berichte_u_Anlagen\3_Endfassung\LHW-Mühlgraben_Abschlussdoku_end_2014-12-18.docx

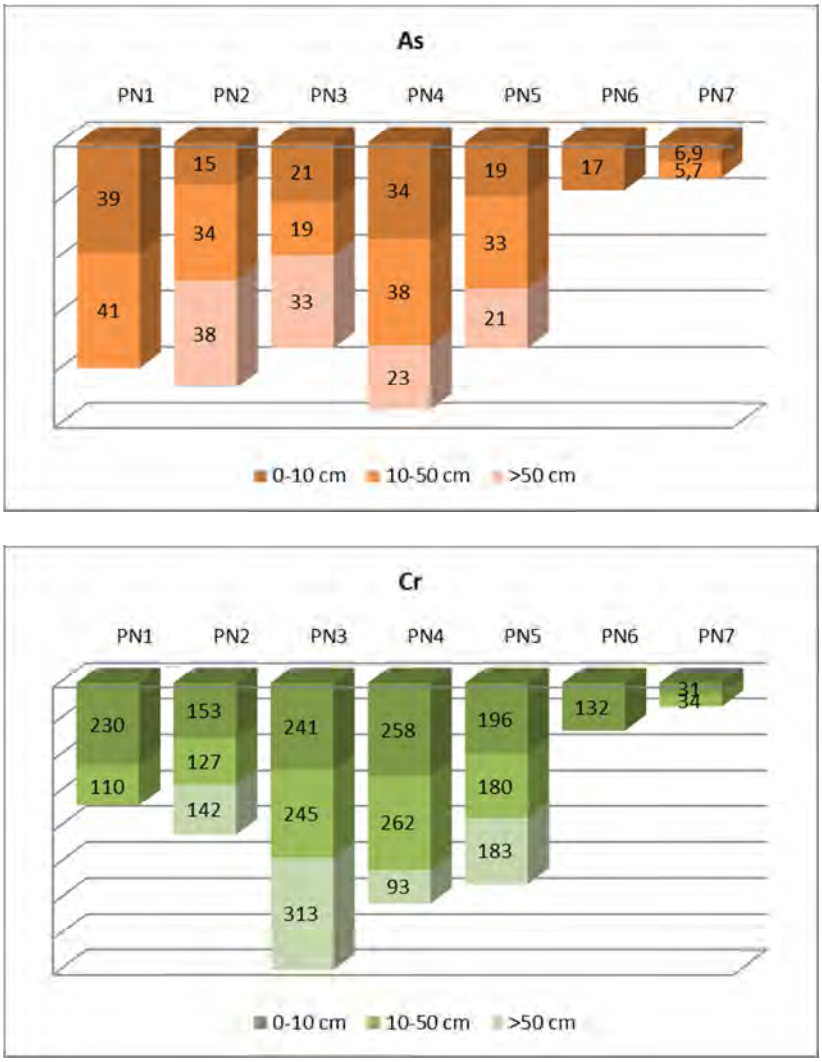


Abbildung 13 Schwermetall-Konzentrationen (As, Cr) in der Feinfraktion <63µm in mg/kg

Polyzyklische Aromaten (PAK)

PAK können in allen Proben bis auf PN7 in Konzentrationen zwischen 1,89 mg/kg (Minimum PN5-1) bis 8,93 mg/kg (Maximum PN3-3) vorgefunden werden (Abbildung 14). Tendenziell niedrigere Konzentrationen sind im oberen Sedimentabschnitt (0-10 cm) vertreten, die Tiefenstufen 10-50 cm und >50 cm liegen dagegen in vergleichbaren Größenordnungen.

Die Summenkonzentrationen PAK-EPA16 bewegen sich zwischen im Maximum 74 mg/kg (PN3-3) und Minimum 19,1, mg/kg (PN6-1). Konzentrationen deutlich unterhalb 1 mg/kg zeigen die Proben aus PN7 (0,037 bzw. 0,27 mg/kg). Die o. g. Summenkonzentrationswerte der Anlage 3 zu entnehmen.

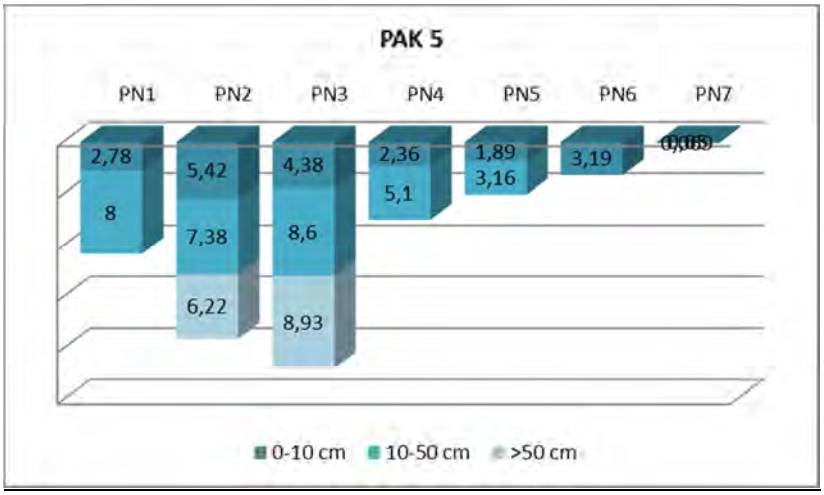


Abbildung 14: Darstellung der PAK5-Konzentrationen in der Feinfraktion <63µm nach Entnahmetiefen (alle Angaben in mg/kg)

Chlorbenzole (Hexachlorbenzol-HCB)

HCB werden in Größenordnungen zwischen im Maximum 160 µg/kg (PN3-3) und im Minimum 9,5 µg/kg (PN5-2) vorgefunden. Proben aus PN7 zeigen wiederum auffällig niedrige Konzentrationen <1 µg/kg.

Ähnlich wie bei den PAKs ergibt sich keine einheitliches Bild bei der Konzentrationsverteilung über die Tiefe (Abbildung 15). Die Proben aus PN3 und PN4 weisen tendenziell eine Zunahme der Konzentration mit der Tiefe auf, die anderen eher im oberen Abschnitt 0-10 cm.

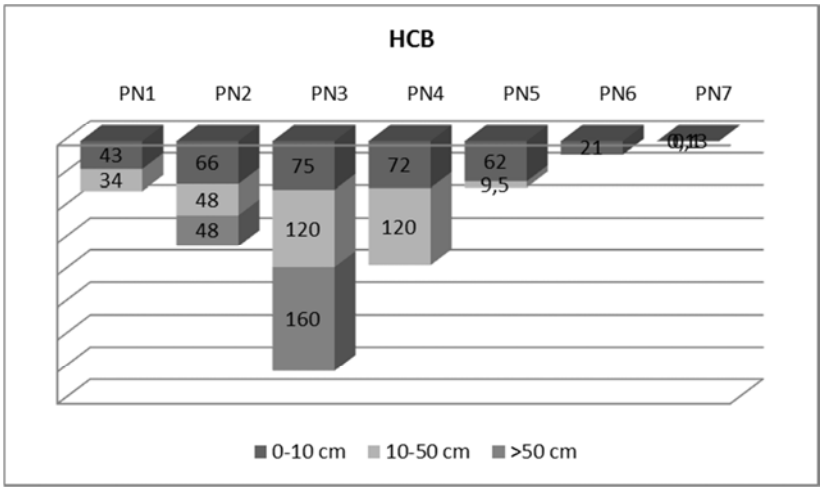


Abbildung 15: Darstellung der HCB-Konzentrationen in der Feinfraktion <63µm nach Entnahmetiefen (alle Angaben in µg/kg)

Polychlorierte Biphenyle (PCB 7 Kongenere)

PCBs werden in Größenordnungen von im Maximum 147,9 µg/kg (PN5-2) und im Minimum 56,1 µg/kg (PN2-1) nachgewiesen. Deutlich geringere Konzentrationen mit ca. 1 µg/kg weisen wieder die Proben aus PN7 auf (Abbildung 16).

Die Konzentrationsverteilung der analysierten Kongenere zeigt die Abbildung 17. Das PCB28 ist durchgängig in geringeren Konzentrationen nachzuweisen. Die anderen PCB-Vertreter weisen relativ ähnliche Konzentrationsanteile auf. Das am dioxin-ähnlichste PCB118 liegt im Konzentrationsbereich von im Maximum 23 µg/kg (PN3-3) bis im Minimum 6,6 µg/kg (PN3-1).

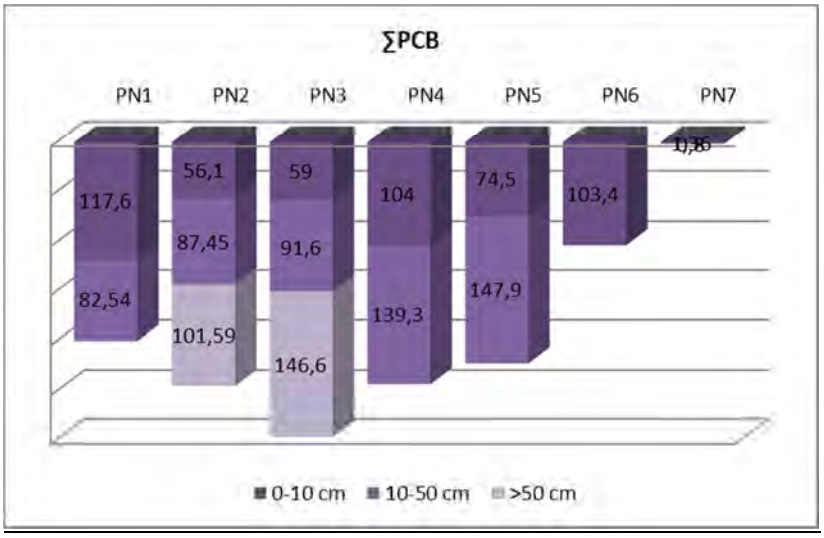


Abbildung 16: Darstellung der Summenkonzentrationen PCB in der Feinfraktion <63µm nach Entnahmetiefen (alle Angaben in µg/kg)

U:\2014\DE0119\DE0114.000514_LHW Sedimentmanagement Mühlgraben\80_Berichte_u_Anlagen\3_Endfassung\LHW-Mühlgraben_Abschlussdoku_end_2014-12-18.docx

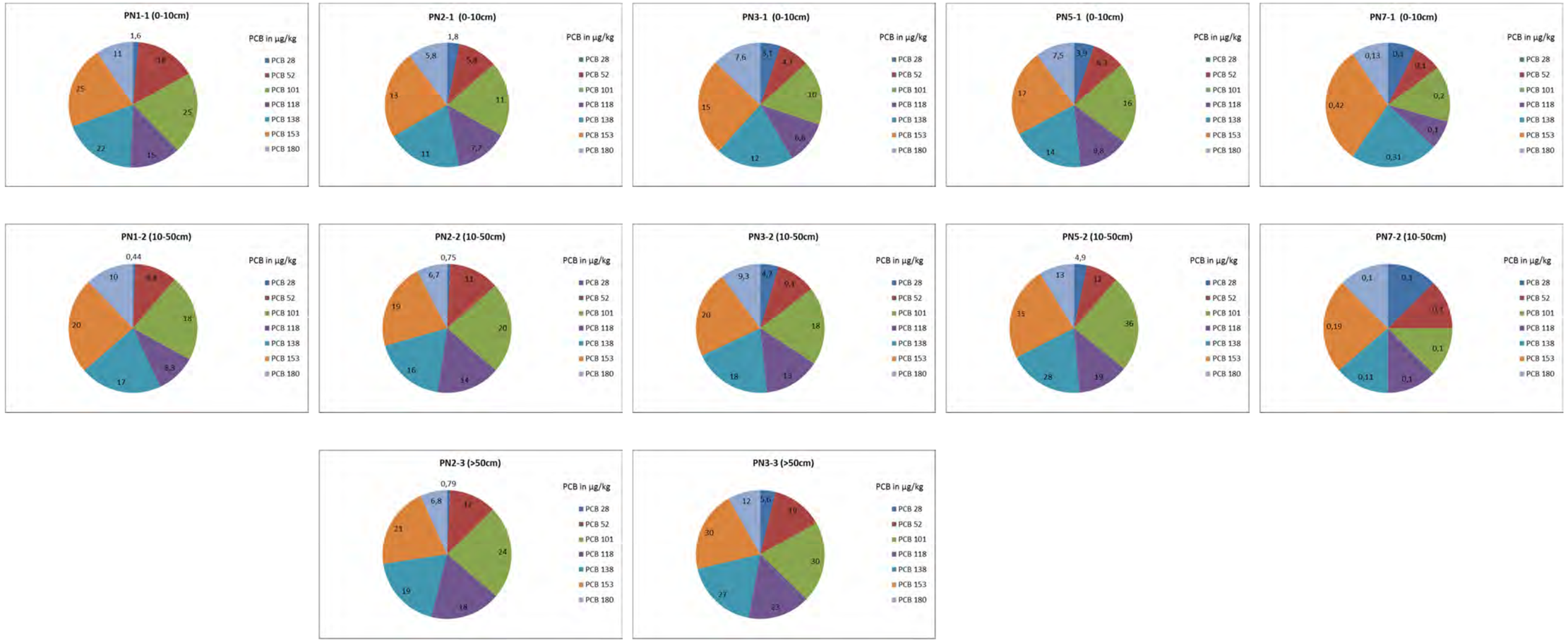


Abbildung 17: Darstellung der PCB-Konzentrationen für ausgewählte Probenahmestellen in verschiedenen Entnahmetiefen - Bestimmung in der Feinfraktion <63µm (alle Angaben in µg/kg)

Hexachlorcyclohexane (α-HCH, β-HCH, χ-HCH)

Die Summenkonzentration HCH bewegt sich zwischen im Maximum 19,1 µg/kg (PN3-3) bis im Minimum 3,6 µg/l (PN5-2). Tendenziell weisen an einzelnen Probenahmestellen das mittlere und tiefe Entnahmeniveau die höheren Konzentrationen auf (z.B. PN3). Es lässt jedoch keine Regelmäßigkeit ableiten.

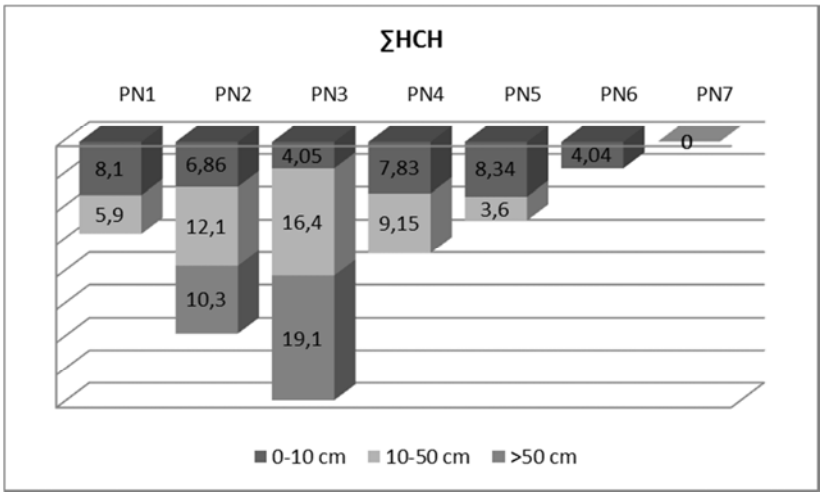


Abbildung 18: Darstellung der Summenkonzentrationen HCH in der Feinfraktion <63µm nach Entnahmetiefen (alle Angaben in µg/kg)

Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) und Isomere (DDE, DDD)

Das Pestizid DDT und seine Isomeren DDE und DDT lässt sich in Konzentrationen von im Maximum 360 µg/kg (DDD in PN3-2) bis im Minimum 0,41 µg/kg (DDT in PN4-3) nachweisen. Bei allen Proben überwiegt dabei deutlich der Anteil des Isomers DDD (ca. 60-75 Ma-%) (Abbildung 20). Maximale Summenwerte mit >400 µg/kg wurden in PN3-2 und PN3-3 ermittelt. Wie auch bei den anderen organischen Stoffgruppen kann ein teufenorientiertes Verteilungsmuster nicht abgeleitet werden (Abbildung 19).

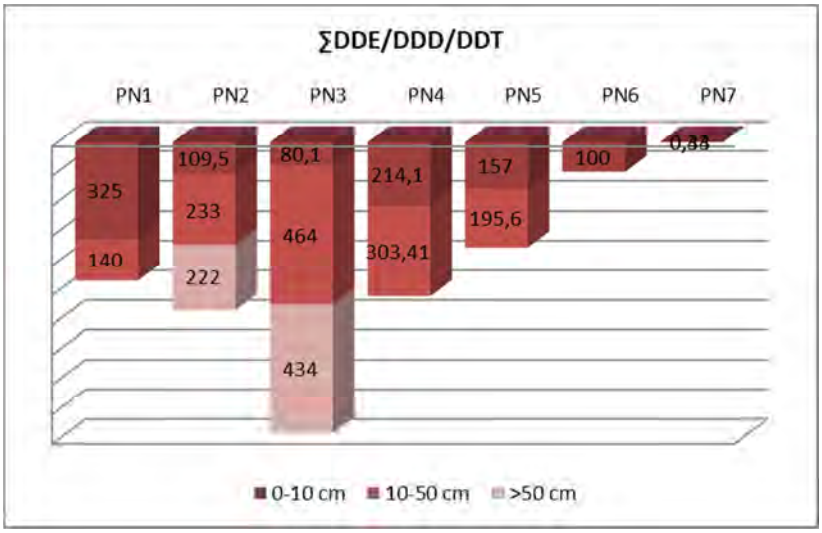
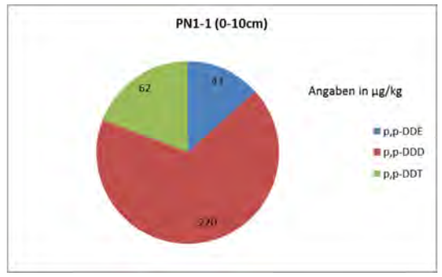
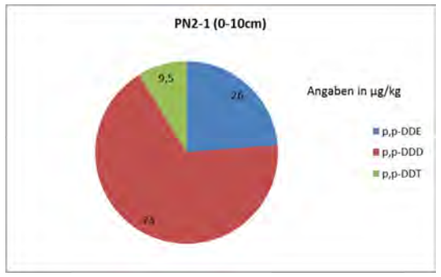
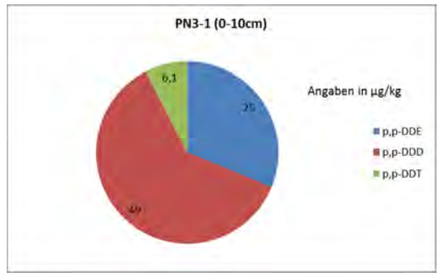
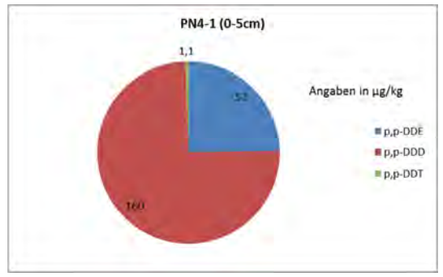


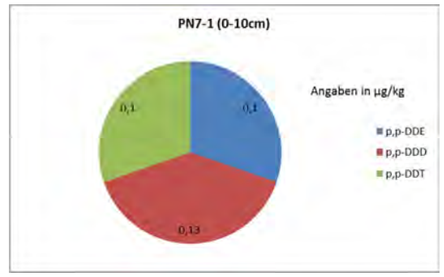
Abbildung 19: Darstellung der Summenkonzentrationen DDE/DDD/DDT in der Feinfraktion <63µm nach Entnahmetiefen (alle Angaben in µg/kg)

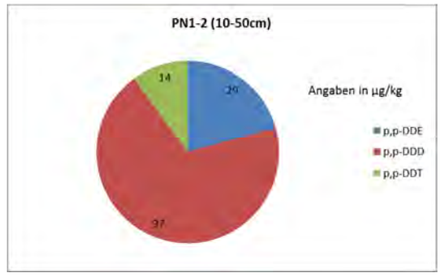


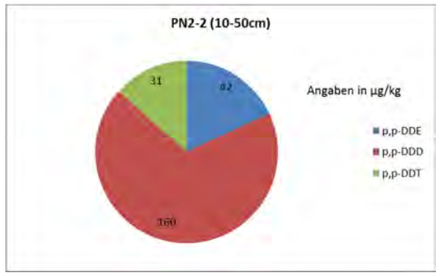


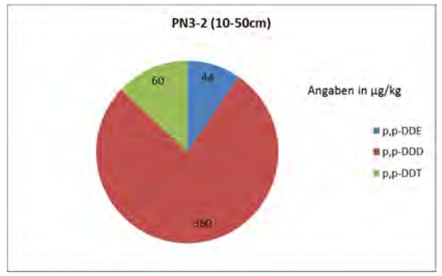


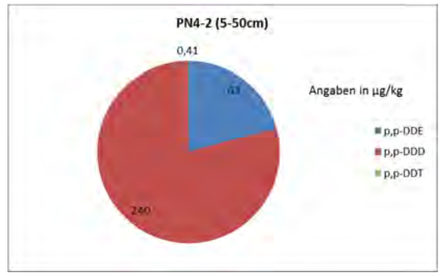


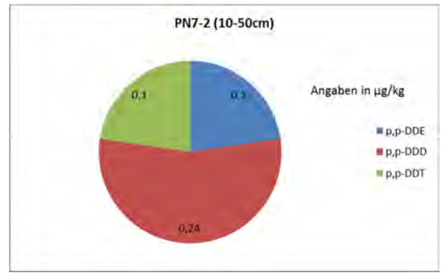


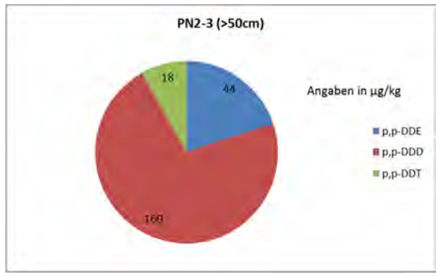












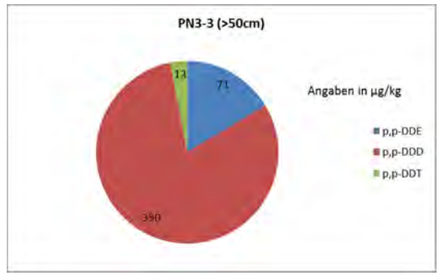


Abbildung 20: Darstellung der Konzentrationen von DDT, DDE und DDD für ausgewählte Probenahmestellen in verschiedenen Entnahmetiefen - Bestimmung in der Feinfraktion <63µm (alle Angaben in µg/kg)

U:\2014\DE0119\DE0114.000514_LHW Sedimentmanagement Mühlgraben\80_Berichte_u_Anlagen\3_Endfassung\LHW-Mühlgraben_Abschlussdoku_end_2014-12-18.docx

Dioxine/Furane

Für den Mühlgraben werden Dioxin/Furan-Konzentrationen von 28,0 ng/kg (PN6-1) bis 71 ng/kg (PN2-2) festgestellt. Im oberen Entnahmeniveau 0-10 cm bewegen sich die Konzentrationen im Bereich 28-40 ng/kg (PN7 ist wieder zu vernachlässigen), im unteren Bereich (10-50 cm) zwischen 31-71 ng/kg nur unwesentlich höher (Abbildung 21).

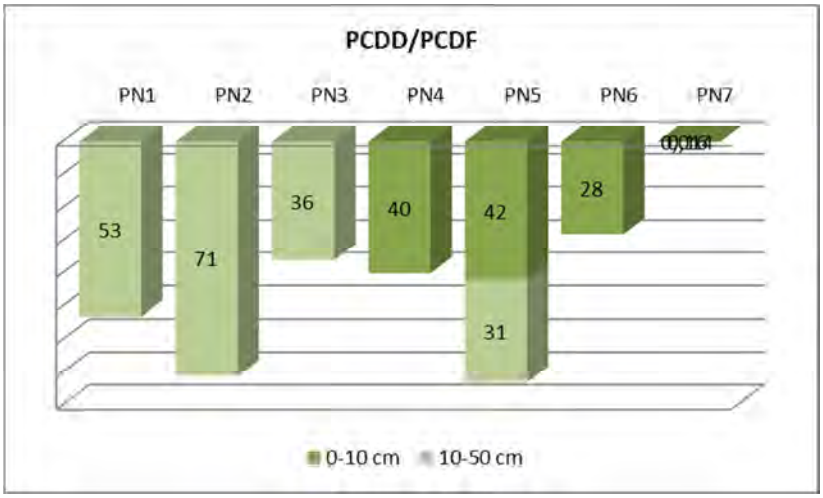


Abbildung 21: Konzentrationen der Dioxine/Furane in der Feinfraktion <63µm

3.7.2.3 Organozinnverbindungen-TBT Analytik

Im Juli 2014 wurden im Ergebnis der Sedimentprobennahme für den Parameter Tributylzinn (TBT) Konzentrationen in Höhe von <0,3 µg/kg bis max. 390 µg/kg nachgewiesen (Abbildung 22). Die Analytik für die sogenannten Organozinnverbindungen erfolgte aus der Originalsubstanz.

Bis 10 cm unterhalb der Sedimentoberkante (uSOK)wurden Konzentrationen zwischen <0,3 µg/kg bis 390 µg/kg ermittelt, mit maximalen Konzentrationen im Bereich der Einmündung des Dreiergrabens (PN3-1: 190 µg/kg) und vor der Burgbrücke stromabwärts linksseitig (PN5-1: 390 µg/kg).

In der Tiefenstufe 10 cm bis 50 cm uSOK liegen die Konzentrationen zwischen <0,3 µg/kg und 260 µg/kg, wobei der Maximalgehalt für TBT im Einmündungsbereich des Dreiergrabens (PN3-2) nachgewiesen wurde.

Bei einer Entnahmetiefe >50 cm uSOK konnten nur 2 Proben gewonnen werden, so dass Messwerte von 8 µg/kg (PN2-3: nördlich der Steinmühle) und 170 µg/kg (PN3-3: Einmündung Dreiergraben) für die basale Sedimentschicht vorliegen.

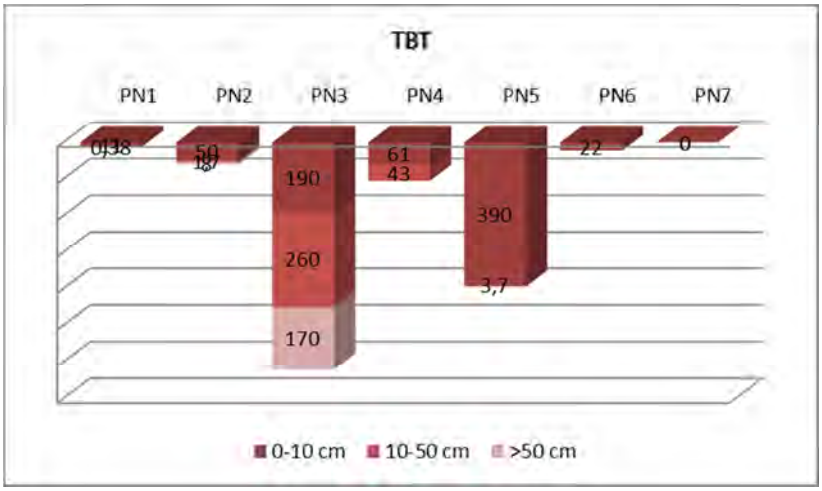


Abbildung 22: Darstellung der TBT-Konzentrationen nach Entnahmetiefen

3.7.3 Schadstoffinventar

Insgesamt wurden an 7 vorher abgestimmten Probenahmestellen insgesamt 17 Sedimentproben zur laborchemischen Untersuchung entnommen. Die Probenahmestellen wurden derart positioniert, dass entsprechend große Sedimentkörper und Abschnitte abgebildet wurden sowie eine vergleichende Bewertung mit älteren Untersuchungsergebnissen möglich war. Bis auf Probenahmestelle PN 6 (Querprofil 24) konnte eine tiefenorientierte Probenahme durchgeführt werden.

<u>Analytik gemäß LAGA in der Originalsubstanz</u>

Für die Analytik gemäß LAGA wurden Mischproben über die gesamte Sedimentmächtigkeit an den Probenahmestellen gebildet, da eine abfalltechnische Einordnung nur Sinn für die gesamte Kubatur macht. Es wurden Daten für die entsprechenden Parameterumfänge im Feststoff und im Eluat ermittelt

Hinsichtlich der Feststoffanalytik werden alle Proben bis auf MP 5 aus PN6 (Querprofil 24) und MP 6 aus PN 7 (Querprofil 5) der LAGA-Klasse >Z2 zugeordnet. Die beiden Ausnahmen werden als Z2

bzw. Z1 klassifiziert. Bei allen Proben ist Quecksilber (Hg) der bestimmende Parameter. Hinzu kommen vereinzelte Überschreitung der Z2-Zuordnungswerte durch Cadmium (Cd) und Zink (Zi). Alle anderen Schwermetalle können den Zuordnungsklassen Z1-Z2 zugeordnet werden. Weiterhin überschreiten bis auf eine Probe (MP 1 aus PN 1, Querprofil 50) alle KW-Konzentrationen sowie der Summenparameter TOC die Z2-Grenzkonzentration. In einigen Proben liegen auch BTEX- und PAK-Konzentrationen oberhalb dieser Grenzkonzentration. Das Schadstoffinventar wird im Feststoff somit aus abfalltechnischer Sicht sowohl von anorganischen als auch organischen Substanzen dominiert.

Die Ergebnisse der Eluatanalytik zeigt demgegenüber ein etwas anderes Bild. Keine der analysierten Parameter liegt ober der entsprechenden LAGA-Z2 Grenzkonzentration. Als dominierender Parameter erscheint das Halbmetall Arsen (As), das in MP 2 (PN 2, Querprofil 46) und MP 7 (PN 4, Querprofil 32) eine Zuordnung in Z2 bedingt und in MP 3 (PN 3, Querprofil 41) in Z1.2. Bis auf den Parameter Cyanide in MP 7 (PN 4, Querprofil 32) mit Z1.2 liegen alle anderen Parameter mit ihren Konzentrationen in der LAGA-Klasse Z0 und sind damit unauffällig. Eine Remobilisierung von der feststoffgebundenen Form in die gelöste Form erscheint nur für den Parameter As eine Möglichkeit zu sein. Insgesamt kann eine mehr oder weniger stabile Fixierung des gemäß LAGA-Vorgaben analysierten Schadstoffinventars an die mineralische/organische Sedimentmatrix festgestellt werden.

Da ein Großteil der Proben der LAGA-Klasse >Z2 zugeordnet werden, ist gemäß LAGA [U15] eine Wiederverwendung des Sedimentmaterials bei einer möglichen Entnahme aus dem Mühlgraben nicht zulässig. Eine „endgültige“ abfalltechnische Bewertung des Sediments im Sinne einer Entsorgung kann erst nach Durchführung der Analytik gemäß DepV geschehen.

Analytik Kornklasse <63 µm (Feinfraktion)

Insgesamt wurde in 17 Proben die Feinfraktion mit einer Korngröße <63 µm (0,063 mm) abgetrennt und hinsichtlich der relevanten Parameter gemäß [U18] laborchemisch analysiert (Tabelle 14). Die Stoffe bzw. Stoffklassen werden im Folgenden kurz beschrieben und mit den Schwellenwerten (SW) gemäß [U18] verglichen (Tabelle 14).

Tabelle 14: Relevante Schadstoffe und Schwellenwerte aus [U18]

Nr.	Stoff	Maßeinheit	Unterer Schwellenwert USW		Oberer Schwellenwert OSW
1	Quecksilber	mg/kg	0,15	0,15 – 0,47	> 0,47
2	Cadmium	mg/kg	0,22	0,22 – 2,3	2,3
3	Blei	mg/kg	25	25 – 53	53
4	Zink	mg/kg	200	200 – 800	800
5	Kupfer	mg/kg	14	14 – 160	160
6	Nickel[1]	mg/kg	-		3
7	Arsen	mg/kg	7,9	7,9 - 40	40
8	Chrom	mg/kg	26	26 – 640	640
9	α-HCH	µg/kg	0,5	0,5 – 1,5	1,5
10	β–HCH[1]	µg/kg	-		5
11	γ-HCH	µg/kg	0,5	0,5 – 1,5	1,5
12	p,p'DDT	µg/kg	1	1 - 3	3
13	p,p'DDE	µg/kg	0,31	0,31 – 6,8	6,8
14	p,p'DDD	µg/kg	0,06	0,06 – 3,2	3,2
15	PCB-28	µg/kg	0,04	0,04 - 20	20
16	PCB-52	µg/kg	0,1	0,1 - 20	20
17	PCB-101	µg/kg	0,54	0,54 - 20	20
18	PCB-118	µg/kg	0,43	0,43 - 20	20
19	PCB-138	µg/kg	1	1 - 20	20
20	PCB-153	µg/kg	1,5	1,5 - 20	20
21	PCB-180	µg/kg	0,44	0,44 - 20	20
22	Pentachlorbenzen	µg/kg	1	1 - 400	400
23	Hexachlorbenzol	µg/kg	0,0004	0,0004 - 17	17
24	Benzo(a)pyren	mg/kg	0,01	0,01 – 0,6	0,6
25	Anthracen	mg/kg	0,03	0,03 – 0,31	0,31
26	Fluoranthen[1]	mg/kg	-		0,18
27	Σ PAK 5	mg/kg	0,6	0,6 – 2,5	2,5
28	TBT[1]	µg/kg	-		0,02
29	Dioxine/Furane	ng TEQ/kg	5	5 - 20	20

[1] OSW ist zugleich formal schärfste Anforderung, keine Klassifizierung möglich

Schwermetalle

Bis auf As und Cr weisen alle analysierten Schwermetalle in den Probenahmestellen PN1 bis PN6 eine Konzentration oberhalb des oberen Schwellenwertes (oSW) auf. As und Cr überschreiten immer noch den unteren Schwellenwert (uSW). Bei Einstufung der Messergebnisse entsprechend Anlage 7, Tabelle 1 der OGewV [U20] werden die Umweltqualitätsnormen für den Parameter Hg in weitestgehend allen Proben (ausgenommen Proben PN 6-1 und PN 7) teilweise deutlich überschritten.

Polyzyklische Aromaten (PAK)

Die Summe der relevanten 5 Einzelsubstanzen überschreitet mit ihren Konzentrationen bis auf wenige Ausnahmen in allen Proben den oSW. In 3 Proben wird der uSW überschritten und in einer Probe der

uSW unterschritten (PN 7). Als dominierende Einzelsubstanzen können Anthrazen, Fluorenthan und Benzo-a-pyren genannt werden.

Chlorbenzole

Hexachlorbenzol liegt bis auf PN 7 in allen Probenahmestellen mit den ermittelten Konzentrationen oberhalb des oSW, an PN 7 wird der uSW überschritten. Pentachlorbenzol liegt dagegen mit seinen Konzentrationen oberhalb des uSW, in PN7 sogar unterhalb des uSW. Bei Einstufung der Messergebnisse entsprechend Anlage 7, Tabelle 1 der OGewV [U20] werden die Umweltqualitätsnormen in weitestgehend allen Proben bis auf PN 5-2 und PN 7 signifikant überschritten.

Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Die 7 analysierten Biphenyle zeigen in ihren Konzentrationen ein recht heterogenes Bild. In etwa 2/3 der Proben wird der uSW überschritten, in 1/3 der oSW. Ausnahmen sind auch hier wieder die Proben aus PN (Querprofil 5), die mehrheitlich den uSW unterschreiten.

Hexachlorcyclohexane (HCH)

Es wurden die 3 relevanten α-, β- und χ-HCH analysiert. Die Vertreter α- und χ-HCH liegen mit ihren Konzentrationen bis auf wenige Ausnahmen oberhalb des oSW. Für den Vertreter β-HCH wird in [U18] nur der oSW definiert (5 µg/kg) der in keiner Probe erreicht und überschritten wird. Ausnahmen sind auch hier wieder die Proben aus PN7 mit Unterschreitung des uSW.

Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) und Isomere (DDE, DDD)

Hier zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den HCH. Bis auf wenige Ausnahmen (auch PN7) weisen alle Proben Konzentrationen oberhalb des oSW auf.

Dioxine/Furane

Dieser Parameter wurde bevorzugt in den Proben aus den unteren und damit potenziell älteren Abschnitten des Sedimentkörpers analysiert. Alle ermittelten Werte liegen im Konzentrationsbereich 28-71 ng/kg und damit oberhalb des oSW von 20 ng/kg.

TBT

Bislang liegen für den Parameter TBT, nur die Vergleichswerte aus dem Jahr 2012 vor. Es konnten TBT-Konzentrationen <10 µg/kg TS in allen Entnahmetiefen (0-10 cm, 10-50 cm und >50 cm) seitens des damals beauftragten Labors ausgewiesen werden [U7]. Damit ist keine vergleichende Einschät-

zung bezüglich der Konzentrationsentwicklung der aktuell vorliegenden Messwerte möglich. Zur Einordnung der in 2014 ermittelten TBT-Konzentrationen dient somit ausschließlich der oSW der FGG Elbe [U18], welcher derzeit mit 0,02µg/kg TS festgelegt ist. Es wird deutlich, dass alle Sedimentproben aus dem Jahr 2014 bis auf die Proben PN7-1 und PN7-2 (beide <0,3 µg/kg) den oSW mit dem ermittelten Konzentrationsbereich von 0,38-390 µg/kg z.T. deutlich überschreiten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass alle relevanten Parameter gemäß FGG-Elbe Konzept [U18] ein Konzentrationsniveau im Feinkorn <63 µm aufweisen, das zum Teil deutlich über dem oSW liegt. Es lassen sich dabei weder aufgrund chronologischer noch topologischer Entwicklungen Schadensschwerpunkte differenzieren. Auch eine tiefenorientierte Differenzierung lässt sich aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen nicht ableiten.

3.7.4 Vergleich mit Altdaten

Der Vergleich mit Laborergebnissen aus dem Unterlagenbestand kann nur eingeschränkt durchgeführt werden, da aufgrund unterschiedlicher Untersuchungsziele und –methoden (Ort der Probenahme, Analysenmethoden etc.) eine direkte Vergleichbarkeit nicht immer gegeben ist. Daher wird hier zunächst nur ein Vergleich der Schwermetallkonzentrationen vorgestellt.

Schaut man sich die Entwicklung der durchschnittlichen Konzentrationen ausgewählter Schwermetalle seit 1991 an (Tabelle 15), so sind bei den meisten Metallen stark schwankende (Pb, Cu, Cr, Cd, Hg) Konzentrationsentwicklungen abzuleiten. Zink ist mit einer Ausnahme in 1994 auf einem gleichbleibenden Konzentrationsniveau, während Nickel verglichen mit 1991 rückläufig ist.

Tabelle 15: Übersicht der durchschnittlichen Konzentration ausgewählter Schwermetalle seit 1991

Parameter	Mittelwert 1991 [mg/kg]	Mittelwert 1992/93 [mg/kg]	Mittelwert 1994 [mg/kg]	Mittelwert 2012 [mg/kg]	Mittelwert 2014 [mg/kg]
Cr	189	81,7	83	206,5	191
Ni	112	70,9	63	82	84,7
Pb	232	255	108	225	275,6
Cu	257	316	100	350	328,6
Zn	1.219	1.066	718	1.100	1.381
Cd	8	8,8	4,2	15,4	11,4
Hg	71	32,8	4,9	49	69

In der folgenden Tabelle wurde versucht ein Vergleich der Konzentrationsentwicklung von ausgewählten chemischen Parametern (Schwermetalle, Dioxine/Furane, PAK 5 einschl. Benzo(a)pyren und Tributylzinn) in mit entsprechenden Sedimentproben belegten Gewässerabschnitten seit 1991 zu führen.

Für Zink ist im Abschnitt Pfälzer Brücke / südliche Peißnitzinsel sowie im Abschnitt Ziegelwiese ein Rückgang der Konzentration in allen vergleichbaren Teufen zu registrieren (s. Sa06c vs. PN5 und Sa00 vs. PN2 in Tabelle 16). Die Abschnitte Dreiergraben und Peißnitz lassen keinen signifikanten Trend bezüglich der Konzentrationsentwicklung erkennen.

Für Blei wird ein Rückgang der Konzentration mit der Tiefe im Bereich der Peißnitz deutlich (Sa06a 35-70 cm: 448 mg/kg → Sa06a >50 cm: 250 mg/kg). Weiterhin ist im Bereich Ziegelwiese ein Rückgang der Konzentration in allen vergleichbaren Teufen zu registrieren.

Für Cadmium ist im Bereich des Dreiergrabens ein Anstieg der Konzentration oberhalb des oSW [U18] in allen Entnahmetiefen (PN4-1 bis PN4-3) festzustellen. Weiterhin ist im Bereich der Ziegelwiese (Sa00, PN4-1 bis PN4-3) ein Rückgang der Konzentration in allen Entnahmetiefen zu registrieren. Die Abschnitte Pfälzer Brücke / südliche Peißnitzinsel und Peißnitz lassen keinen Trend bezüglich der Konzentrationsentwicklung erkennen. Die Messergebnisse liegen weiterhin oberhalb des oSW.

Für Chrom ist im Bereich des Dreiergrabens ein leichter Konzentrationsanstieg in allen Entnahmetiefen (0-10 cm, 10-50 cm und >50 cm) zu identifizieren. Im Bereich der Ziegelwiese ist ein Rückgang in allen Teufen zu beobachten, insbesondere in der mittleren Entnahmetiefe ist ein Konzentrationsrückgang von 347 mg/kg (Sa00: 30-60 cm) auf 127 mg/kg (PN2-2: 10-50 cm) bedeutsam.

Für Kupfer ist im Bereich des Dreiergrabens ein Konzentrationsanstieg in allen Entnahmetiefen (0-10 cm, 10-50 cm und >50 cm) zu identifizieren. Im Bereich der Ziegelwiese ist ein Rückgang in allen Entnahmetiefen (0-10 cm, 10-50 cm und >50 cm) zu erkennen, insbesondere der Konzentrationsrückgang in der mittleren Entnahmetiefe von 493 mg/kg (Sa00: 30-60 cm) auf 213 mg/kg (PN2-2: 10-50 cm) ist signifikant.

Für Nickel ist im Bereich des Dreiergrabens ein geringer Konzentrationsanstieg in der oberen (Sa06a 0-30 cm: 62 mg/kg → PN4-1 0-10cm: 97 mg/kg) und mittleren Entnahmetiefe (Sa06a 30-60 cm: 43 mg/kg → PN4-2 10-50 cm: 92 mg/kg) zu erkennen. Weiterhin bestätigt sich auch für Nickel im Abschnitt Ziegelwiese ein Konzentrationsrückgang in der mittleren (Sa00 30-60 cm: 177 mg/kg → PN2-2 10-50 cm: 41 mg/kg) und unteren Entnahmetiefe (Sa00 60-100 cm: 130 mg/kg → PN2-3 >50 cm: 43 mg/kg).

Für Arsen ist bis auf den Abschnitt Pfälzer Brücke / südliche Peißnitzinsel ein Konzentrationsrückgang unterhalb den oSW deutlich zu erkennen.

Schaut man sich die Entwicklung der Quecksilber-Konzentration seit 1991 an, so ist eine stark schwankende Konzentrationsentwicklung abzuleiten.

Für die Dioxine und Furane kann kein Vergleich der Konzentrationsentwicklung abschnittsbezogen geführt werden, da die in 2012 beprobte Stelle in der Untersuchungskampagne 2014 nicht erneut beprobt wurde. Zudem wurde der Summenparameter Dioxine/ Furane in der aktuellen Untersuchungskampagne nur an einer Probenahmestelle teufenorientiert analysiert (PN5-1 und PN5-2). Somit ist eine teufenbezogene Bewertung der Konzentrationsentwicklung für den gesamten Mühlgraben nicht belastbar. Generell ist festzustellen, dass alle aktuellen Analysenergebnisse für den Summenparameter Dioxine/ Furane oberhalb des oSW liegen (s. Abbildung 21) und somit die Messergebnisse aus 2012 bestätigen (Tabelle 16).

Schaut man sich die Entwicklung der PAK 5-Konzentrationen an, so wird für alle Abschnitten deutlich, dass die in 1991 ermittelten Belastungen deutlich überschritten werden. Lagen die PAK 5-Konzentrationen 1991 noch unterhalb des uSW, so wurden 2012 bzw. 2014 die uSW (PN4-1, PN5-1 und PN5-2) und 2012 bzw. 2014 die oSW (alle Teufen Sa06a, PN4-2, PN2-1 bis PN2-3) überschritten. Dieser Trend kann für das kanzerogene Benzo(a)pyren ebenfalls in Tabelle 16 nachvollzogen werden.

Ein Vergleich für den Parameter TBT ist aufgrund der unterschiedlichen Bestimmungsgrenzen in 2012 und 2014 nicht möglich.

Tabelle 16: Vergleich der Konzentrationsentwicklung ausgewählter chemischer Parameter (Schwermetalle, Dioxine/Furane, PAK 5 einschl. Benzo(a)pyren und Tributylzinn) seit 1991

Probenahmestelle		Probenahme-datum	EnTiefe	Zn	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	As	Hg	I-TEQ	BaP	PAK 5	TBT
			cm	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	ng/kg	mg/kg TS	mg/kg TS	µg/kg TS
südl. Peißnitzinsel	Sa06c	20.09.1991	0-35	1220,0	167,0	6,70	238,0	520,0	133,0	38,0	356,00	-	< 0,00005	< 0,6	-
südl. Peißnitzinsel	Sa06c	20.09.1991	35-70	1150,0	217,0	3,40	140,0	248,0	77,0	35,0	39,00	-	< 0,00005	< 0,6	-
Pfälzer Brücke	PN5-1	11.07.2014	0-10	934,0	212,0	12	196,0	417	92	19,0	43	42	0,4	1,9	390
Pfälzer Brücke	PN5-2	11.07.2014	10-50	904,0	245,0	19	180,0	271	60	33,0	21	31	0,5	3,2	3,7
Pfälzer Brücke	PN5-3	11.07.2014	>50	968,0	222,0	15	183,0	441	100	21,0	41	-	-	-	-
Flutgraben	Sa06b	20.09.1991	0-30	969	245,0	7,00	186,0	245,0	62,0	100,0	209,00	-	< 0,00005	< 0,6	-
Flutgraben	Sa06b	20.09.1991	30-60	1320	262,0	2,10	123,0	202,0	43,0	74,0	389,00	-	< 0,00005	< 0,6	-
Flutgraben	Sa06b	20.09.1991	60-90	998	295,0	1,20	119,0	217,0	35,0	59,0	85,00	-	< 0,00005	< 0,6	-
Einmündung Dreiergraben	PN4-1	11.07.2014	0-10	1400,0	281,0	20,00	258,0	372,0	97,0	34,0	73,00	40	0,5	2,4	61
Einmündung Dreiergraben	PN4-2	11.07.2014	10-50	1510,0	306,0	21,00	262,0	456,0	92,0	38,0	149,00	-	1,1	5,1	43
Einmündung Dreiergraben	PN4-3	11.07.2014	>50	904,0	251,0	21,00	93,0	259,0	35,0	23,0	241,00	-	-	-	-
Peißnitz	Sa06a	20.09.1991	0-35	1170	225,0	17,00	332,0	313,0	102,0	71,0	39,00	-	< 0,00005	< 0,6	-
Peißnitz	Sa06a	20.09.1991	35-70	1540	448,0	24,00	347,0	497,0	121,0	77,0	53,00	-	< 0,00005	< 0,6	-
Peißnitz	Sa06a	25.05.2012	0-10	1100	200,0	20,00	230,0	370,0	99,0	24,0	21,00	26,71	0,560	2,81	< 10
Peißnitz	Sa06a	25.05.2012	10-50	1400	250,0	28,00	320,0	540,0	120,0	34,0	32,00	34,04	0,460	2,52	< 10
Peißnitz	Sa06a	25.05.2012	>50	800	250,0	2,70	93,0	160,0	44,0	26,0	77,00	22,36	2,700	11,10	< 10
Ziegelwiese	Sa00	20.09.1991	0-30	1200	449,0	7,80	181,0	207,0	76,0	39,0	27,00	-	< 0,00005	< 0,6	-
Ziegelwiese	Sa00	20.09.1991	30-60	2110	338,0	19,00	347,0	493,0	177,0	64,0	62,00	-	< 0,00005	< 0,6	-
Ziegelwiese	Sa00	20.09.1991	60-100	1880	310,0	23,00	366,0	421,0	130,0	63,0	33,00	-	< 0,00005	< 0,6	-
Ziegelwiese	PN2-1	07.07.2014	0-10	870,0	170,0	3,30	153,0	142,0	72,0	15,0	20,00	-	0,94	5,42	50
Ziegelwiese	PN2-2	07.07.2014	10-50	890,0	219,0	5,60	127,0	213,0	41,0	34,0	58,00	71	1,2	7,38	1,7
Ziegelwiese	PN2-3	07.07.2014	>50	930,0	219,0	6,60	124,0	222,0	43,0	37,0	59,00	-	0,99	6,22	8

U:\2014\DE0119\DE0114.000514_LHW Sedimentmanagement Mühlgraben\80_Berichte_u_Anlagen\3_Endfassung\LHW-Mühlgraben_Abschlussdoku_end_2014-12-18.docx

3.7.5 Gefährdungspotenzial

Die durchgeführten Untersuchungen und Auswertungen haben einen Beitrag zum Systemverständnis in der Saale-Seitenstruktur Mühlgraben geleistet, der zumindest ansatzweise eine Risikoanalyse ermöglicht. Gemäß [U18] werden dabei Sedimente/Altsedimente nicht als Quellen für Schadstoffe im herkömmlichen Sinn betrachtet. Sie haben jedoch das Potenzial Stoffe zu speichern, je nach Gewässersituation und hydrologischem Verlauf dauerhaft oder intermediär, und wieder abzugeben (Remobilisation). Die durch hydrologische Ereignisse ausgelöste Quellenfunktion der Sedimente für stromab gelegene Flussabschnitte ist deshalb als Gefährdungspotenzial einzustufen.

Die Analysenergebnisse haben gezeigt, dass das im Feinkorn (<63 µm) ermittelte Schadstoffinventar eine prinzipiell relevante Schadstoffquelle darstellt, die bei entsprechender Remobilisierung infolge mechanischen Stress (z.B. geänderte Fließdynamik, externe Eingriffe etc.) und Rücklösungsprozessen infolge geänderter biogeochemischer Bedingungen aktiviert werden. Alle analysierten Stoffgruppen überschreiten an fast allen Probenahmestellen die entsprechenden oSW und können bei entsprechenden Remobilisierungsvorgängen ein Gefährdungspotenzial für die unterstromigen Gewässerabschnitte und die Vorflut darstellen.

Eine Ausnahme bildet dabei die Entnahmestelle PN 7 am Querprofil 5 im oberen Mühlgraben, deren beiden Proben durchweg eine deutlich niedrigere Konzentrationsbandbreite aufweisen. Unterstützt durch die Feldbefunde und sensorischen Eigenschaften der Proben scheint es sich hier nicht um ein originäres Gewässersediment zu handeln.

Das im Feinsediment ermittelte Schadstoff-Konzentrationsniveau bildet sich auch bei der abfalltechnischen Analytik in der Originalsubstanz ab. Je höher dabei der Feinkornanteil am Gesamtkorn ist, desto deutlicher ist dieser Effekt. Bis auf die Mischproben MP5 an PN6 (Korngrößenanteil <63 µm nur ca. 18 %) und MP4 an PN7 (generelle Einschränkungen s.o.) weisen alle anderen Proben eine Zuordnung in die LAGA >Z2 auf, die eine geregelte Entsorgung erforderlich macht (Deponieklassen I-III). Die unauffälligen Konzentrationen im Eluat weisen deutlich auf das Risikopotenzial durch feststoffgebundenen Transport, weniger bzw. nicht durch Rücklösung am Ort der Akkumulation.

4 Zusammenstellung und Bewertung der Anforderungen an das Gewässer und dessen Funktion

4.1 Rechercheergebnisse der Gewässerfunktion und Ansprüche

Als innerstädtisches Gewässer unterliegt die Seitenstruktur vielfältigen Einflüssen und funktionalen Ansprüchen, wie z.B. Ort der Naherholung und Freizeitgestaltung, ökologische Nische, Hochwasserabfluss oder Tourismus. Darüber hinaus prägt das Gewässer das Stadtbild.

Gemäß der Aufgabenstellung in TL 2 wurden in den Bestandsunterlagen sowie entsprechenden Fachbehörden Informationen zu folgenden Themen recherchiert, dokumentiert und hinsichtlich ihrer potenziellen Relevanz für zukünftige Maßnahmen des Sedimentmanagements ausgewertet:

- Hydraulische Situation
- Gewässerökologischer Status
- Wassertechnische Anlagen
- Bewirtschaftung und Unterhaltung
- Anbindung sonstiger Gewässer sowie Überläufe
- Planungen hinsichtlich Gewässer- und Flächennutzung

Die im Folgenden dokumentierten Ergebnisse hinsichtlich ausgewählter Themen zur Gewässerfunktion und Nutzungsansprüchen wurden aus zitierten Quellen entnommen oder direkt bei entsprechenden Fachbehörden bzw. Sachgebieten des LHW recherchiert. Dort, wo Erkenntnisse und Befunde aus den im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Felduntersuchungen erwähnt werden, wird dies entsprechend vermerkt. Die Ergebnisse der Recherche fließen in die Gesamtbewertung in Kapitel ein.

<u>Hydraulische Situation</u>

Der Mühlgraben unterliegt als Seitenstruktur der Saale deren hydraulischen Ausprägung. Die Abflussdynamik der Saale kann mittels der Messdaten am Pegel Halle-Trotha, nördlich vom Stadtgebiet Halle charakterisiert werden. Für die Messperiode 1998-2008 wird ein Mittelwasserabfluss von MQ=90,7 m³/s sowie ein mittlerer Niedrigwasserabfluss MNQ=37,0 m³/s angegeben [U12]. Im Vergleich dazu war der Scheitel des Hochwasserabflusses am 5. Juni 2013 mit HHQ=916 m³/s ermittelt worden, bei einem Wasserstand von 816 cm [U12].

Die Abflussmengen für den Mühlgraben bewegen sich gemäß [U5] zwischen MNQ_{ist}=2,36 m³/s und MQ_{ist}=8,62 m³/s. Die aktuellen während der Feldarbeiten im Juli 2014 gemessenen Wasserstände in der Gerinnemitte liegen zwischen W_{istMin}=0,5 m und W_{istMax}=2,15 m.

Unter den Bedingungen einer eingeschränkten Dynamik überwiegen in den wesentlichen Gerinnesträngen mittlere Fließgeschwindigkeiten von v_{MQ} = 0,1 bis 0,6 m/s und v_{MNQ} = 0,05-0,25 m/s [U5]. Bei einer anhaltenden Unterschreitung einer Fließgeschwindigkeit von v<0,2 m/s kommt es zur Sedimentation von Feindetritus, die zu einer dauerhaften Schlammablagerung führen kann [U5].

Trotz der gedämpften Fließdynamik, die auch durch die beiden Mühlstandorte mit eingeschränktem Fließquerschnitt bedingt ist, erfüllt der Mühlgraben im aktuellen Zustand die Anforderungen bzgl. Hochwasserschutz bzw. hydraulische Funktion.

Gewässerökologischer Status

Die folgenden Ergebnisse werden gemäß mündlicher und schriftlicher Mitteilung des LHW Sachgebiets 5.1.5 dokumentiert.

Die Seitenstruktur Mühlgraben gehört zum Gesamtsystem Saale (Oberflächengewässerkörper SAL06OW01-00) und wird dem Gewässertyp17 „kiesgeprägte Tieflandflüsse“ zugeordnet. Er wird als „erheblich verändert“ ausgewiesen und erreicht mit seiner Einstufung „nicht gut“ (Daten 2009-2013) nicht das Bewirtschaftungsziel des „guten chemischen Zustands“. Ebenso wird das Bewirtschaftungsziel „gutes ökologisches Potenzial“ mit seiner Einstufung „unbefriedigend“ (Daten 2009-2012) verfehlt.

Eine optimale Sohlenstruktur orientiert sich an den Verhältnissen der Stromsaale, die in den am wenigsten veränderten Bereichen Hartsubstrate aus Flussschottern und Kiesen aufweist. Hier kann sich das für ein standorttypisches Benthosspektrum wichtige sauerstoffreiche Kieslückensystem ausbilden und erhalten. [U13].

Eine Besonderheit ergibt sich hinsichtlich der an den Mühlgraben angebundenen Überläufe der Regen- und Mischwasserkanalisation aus der Innenstadt von Halle, die zu episodischen Stoßbelastungen bei entsprechenden Starkregenereignissen (vgl. Abbildung 26) führen.

Wassertechnische Anlagen

Aufgrund seiner innerstädtischen Lage ist der Längsverlauf des Mühlgrabens durch wasserbauliche Anlagen gekennzeichnet. Neben einer randnahen Bebauung mit Mauerwerk und Stahlspundwänden in zahlreichen Abschnitten, bilden insbesondere die beiden historischen Mühlstandorte „Neue Mühle“

und „Steinmühle“ relevante wassertechnische Anlagen (Abbildung 23), die die Fließdynamik und Durchgängigkeit des Mühlgrabens bestimmen (Abbildung 24). Des Weiteren queren 12 Brückenbauwerke unterschiedlichster Bauart, mit unterschiedlichen lichten Durchfahrtshöhen und –breiten den Mühlgraben. Die in Abbildung 23 dargestellten Schleusen und Wehre (Gimritz, Stadtschleuse) haben keine Bedeutung in Bezug auf die Anforderungen an das Gewässer Mühlgraben und dessen Funktion.

Gemäß Aussage der Stadt Halle ist eine Standortnutzung für Wasserkraftanlagen konkret nicht geplant und zukünftig unwahrscheinlich. Von dieser Seite sind keine durchflusstechnisch relevanten Änderungen an den Mühlenstandorten zu erwarten.

Während der Feldarbeiten wurde in zahlreichen Abschnitten sowohl ufernah als auch in der Gerinnenmitte ein Sohlen-/Uferverbau mit Wasserbausteinen festgestellt.

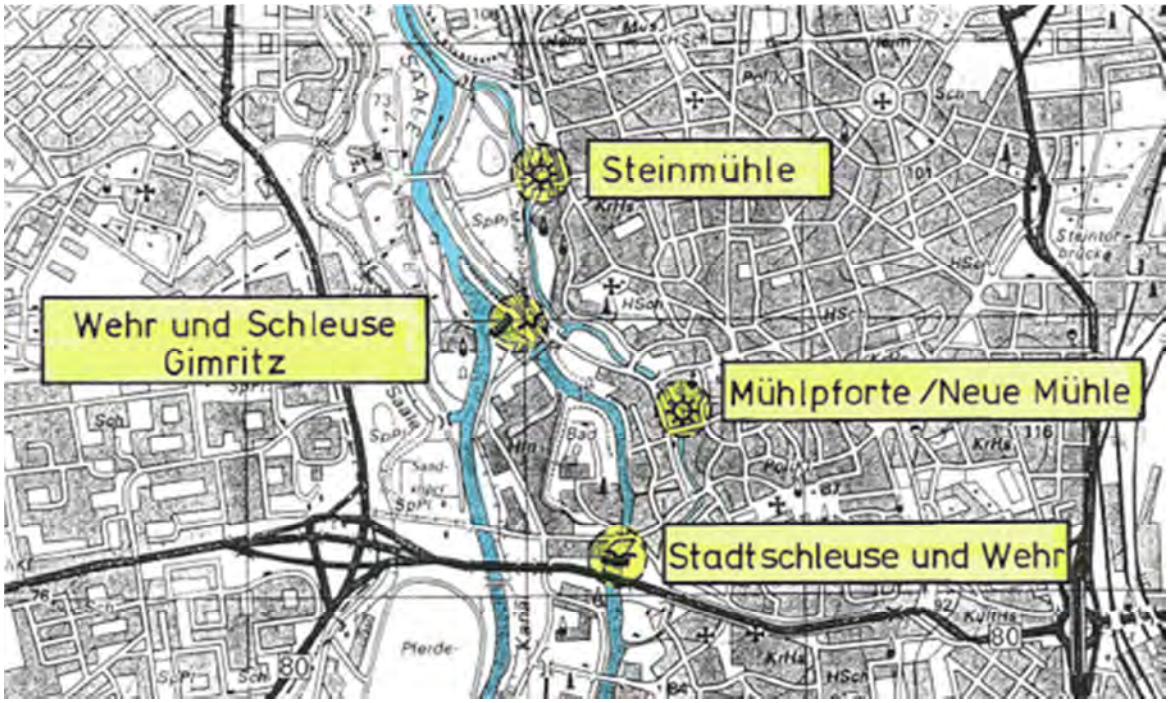


Abbildung 23: Darstellung der Mühlenstandorte im Gewässer Mühlgraben [U1]

Abbildung 24: Blick von der Mühlpforte in Richtung Neumühle (ARCADIS, 30.04.2014)

Bewirtschaftung / Unterhaltung

Der Mühlgraben wird als Seitenstruktur der Saale als Gewässer I. Ordnung klassifiziert. Die Unterhaltungslast liegt damit beim Land Sachsen-Anhalt.

Gemäß Informationen des LHW, FB Merseburg wird für die Aufrechterhaltung eines ungehinderten Abflusses durch Entfernen von Totholz und sonstigen Hindernissen gesorgt. Zudem wird Gehölzpflege am Uferrandstreifen je nach Bedarf durchgeführt. Eine Regulierung des Abflusses erfolgt nicht (offener Freischütz an der Steinmühle, keine Staueinrichtungen an der Neuen Mühle/Mühlpforte).

Zukünftig wird der Mühlgraben als „sonstiges Gewässer“ eingestuft mit einem Übergang der Unterhaltungslast auf kommunale Träger.

Anbindung sonstige OFG, Abwasser/Überläufe

Mit den beiden Oberflächengewässern „Hulbe“ und „Dreiergraben“ erfolgt zusätzlich zum Auslauf und Einlauf eine Verbindung zwischen dem Mühlgraben und der Saale (Abbildung 3).

Eine Besonderheit ergibt sich aus der Anbindung von 17 Überläufen, die als Regen-/ Mischwasserkanalisation Oberflächenwasser aus dem innerstädtischen Bereich sammeln und im Bedarfsfall dem Mühlgraben zuführen. Im Bereich der ehemaligen Gerbersaaale werden sie gebündelt. Die Wasserspende summiert sich auf Q_{max} = 31 m³/s mit einer jährlichen Schwebstofffracht von ca. 30 t/a. Die relevanten angebundenen Überläufe sind in der folgenden Tabelle 17 aufgelistet. Die Positionen sind dem Plan in Abbildung 25 zu entnehmen.

Tabelle 17: Übersicht Überläufe (Mischwasserbauwerke MWB) [U11]

MWB	Ø Q_{max} [m³/s]	SF [kg/a
R09 C	2,50	2.625
R08 C	0,13	429
R11 C	4,05	172
R12 C	0,29	989
R13 D	3,18	3.636
R14 E	0,15	275
R15 E	2,83	2.573
R16 G	0,93	2.341
R17 G	2,80	274
R18 H	3,14	2.458
R19 H	0,09	155
R54 X	2,50	9.400
R20 J	0,61	1,881
R21 I	0,64	0
R25 K	0,50	2.034
R26 K	3,20	1.176
R27 L	3,30	k.A.

U:\2014\DE0119\DE0114.000514_LHW Sedimentmanagement Mühlgraben\80_Berichte_u_Anlagen\3_Endfassung\LHW-Mühlgraben_Abschlussdoku_end_2014-12-18.docx

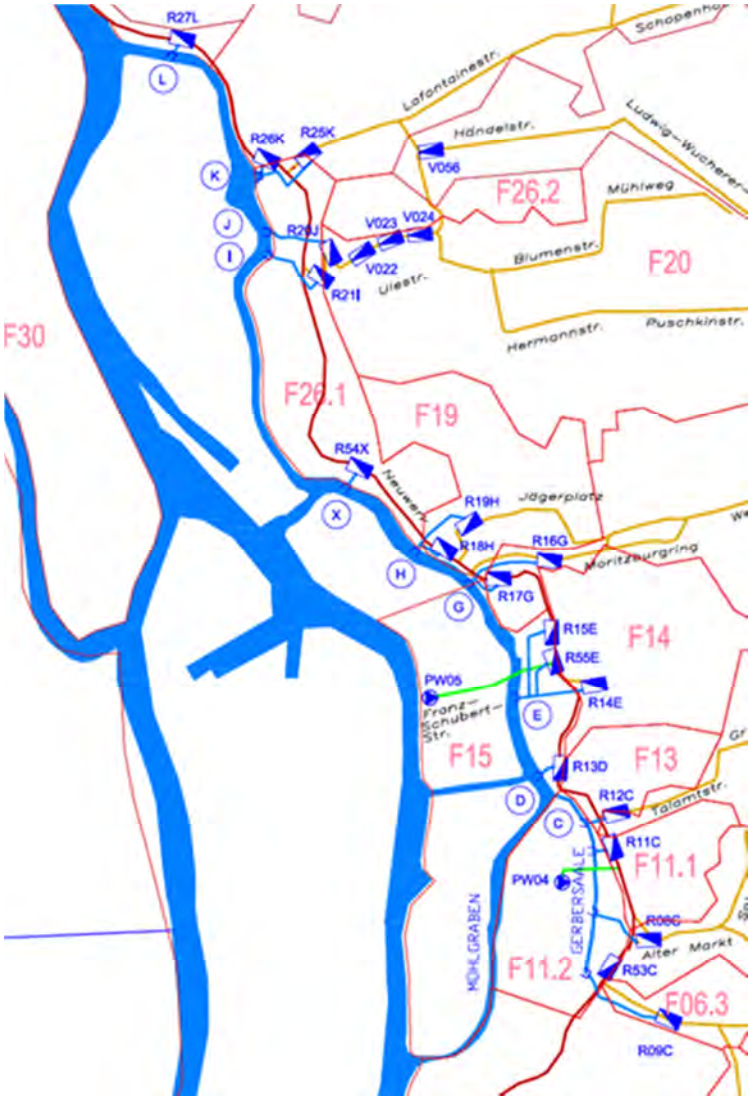


Abbildung 25: Auszug Rechennetzplan der Generalentwässerungsplanung/ Mühlgraben [U10]

Während eines Starkregenereignisses am 9. Juli 2014 konnten während der Feldarbeiten die Auswirkungen der aktiven Überläufe beobachtet werden (Abbildung 26). Die stoßweise Zuführung von Wasser aus der Mischwasserkanalisation bewirkte insbesondere eine deutliche Steigerung der hydraulischen Dynamik am und unterhalb des Einspeiseortes. In wie weit auch eine verstärkte Zuführung von Schwebstoffen erfolgte, konnte aufgrund der starken Durchmischung und Trübung nicht ermittelt werden.

Abbildung 26: Blick von der Steinmühlenbrücke in Richtung eines Regenüberlaufs während eines Regenereignisses (ARCADIS, 09.07.2014)

Ein Abgleich zwischen den Feldaufnahmen im Juli 2014 und mit den Bestandsunterlagen (HWS) ergab keine Abweichungen. Es sind keine Unterhaltungs- / Baumaßnahmen am System geplant, die die Wasser- und Schwebstoffzuführung zum Mühlgraben verändern.

Die Anbindung der Überläufe führt zu einer stoßweisen Zuführung von Wasser und Fracht (Schwebstoffe, Sand etc.) bei episodischen Regenereignissen. Aufgrund des Einzugsgebiets aus dem innerstädtischen Bereich ist darüber hinaus der Eintrag von Schadstoffen unbekannten Ausmaßes zu erwarten (Straßenabrieb, Staub etc.). Außerdem erfordert die Anbindung einen permanenten Abfluss des Mühlgrabens in Richtung Saale.

Gewässer- und Flächennutzung (Planung)

Die Stadt Halle, Abteilung Stadtentwicklung und Freiraumplanung plant, den Mühlgraben als Nebenarm zur Stromsaale für Paddler freizugeben, um diese auch in touristischer Hinsicht näher an die Altstadt heranzuführen. Hierfür soll die Neue Mühle an der Mühlpforte umgebaut werden, um sie für Paddelboote passierbar zu machen, sodass der Mühlgraben bis zum Dreiergraben durchgängig befahrbar wäre. Da sich jedoch beide Mühlen (Neue Mühle und Steinmühle) in Privatbesitz befinden, ist die Stadt Halle hier auf die Zusammenarbeit mit den Eigentümern angewiesen. Eine konkrete Planung zum Umbau / Weiternutzung der Mühle konnte im Zuge eines Gesprächtermins bei der Stadt Halle (Stadtentwicklung und Umwelt, Geschäftsbereich II, Fachbereich Planen, Stadtentwicklung) am 02.06.2014 nicht recherchiert werden.

Für den Uferstreifen entlang des Robert- Franz- Rings sind eine Gestaltung mittels Uferbefestigung sowie das Aufstellen von Bänken geplant, sodass diese Fläche, mit Blick auf die Neue Residenz, Erholungssuchenden zur Verfügung stehen würde.

Weitere Planungen oder Nutzungsansprüche konnten nicht recherchiert werden.

Gerinnemorphologie, Ufergestaltung, Nutzungsrechte und Eigentumsverhältnisse einschließlich Randstreifen

Im folgenden Abschnitt werden die Gerinnemorphologie und die Ufergestaltung, wie sie im Rahmen der Erkundungsarbeiten im Juni und Juli 2014 angetroffen wurden, erläutert. Die Eigentumsverhältnisse sowie die Nutzungsrechte im Bereich des Mühlgrabens einschließlich der Gewässerrandstreifen können in Anlage 14 (wird noch ergänzt) nachvollzogen werden.

Abschnitt 1 (Ausleitung bis Mühlpforte)

Der Gewässerabschnitt von der Ausleitung der Stromsaale in den Mühlgraben bis zur Brücke Abfahrt B80 (Querprofile 1 bis 5) ist gekennzeichnet durch einen breiten Flusslauf (Breite Ø 15 m) mit naturnaher Ufergestaltung. Zu beiden Seiten ist ein dichter Bewuchs aus Bäumen und Sträuchern anzutreffen, der stellenweise bis in den Flusslauf ragt und somit den Fließ-Querschnitt verengt. Weite Strecken berühren sich die Kronen der uferseitig gegenüberliegenden Bäume (s. Anlage 8). Im Bereich der Ausleitung sind beidseitig relativ flache Uferböschungen anzutreffen, die unmittelbar südlich der Brücke Abfahrt B80 beidseitig in steile Böschungen übergehen. Die Gewässersohle ist über die gesamte Gewässerbreite kiesig bis steinig oder mit Wasserbausteinen befestigt (s. Querprofile 1-3, Anlage 2). Bis zum Querprofil 6 ist die schlammige Gewässersohle von einer steinigen Lage überdeckt. Vereinzelt konnten in Richtung des Ufers Wasserbausteine nachgewiesen werden (Anlage 2). Bis zur Klausbrücke folgt ein relativ begradigter Flusslauf von maximal 12 m Breite. Bis zur Hallorenbrücke ist beidseitig ein schmaler, flacher Gewässerrandstreifen (Breite max. 5m), der in kurze steile Böschungen übergeht, anzutreffen. Im Bereich des Randstreifens befindet sich ein aufgelockerter Bewuchs, stellenweise ist kein Bewuchs vorhanden. Hinter der Hallorenbrücke wird das Ufer durch eine geschlossene Wohnbebauung bis zur Klausbrücke geprägt. Hinter der Klausbrücke bis zur Mühlpforte ist der Mühlgraben durchschnittlich 15 m breit und besitzt beidseitig einen flachen Gewässerrandstreifen, der linksseitig stromabwärts maximal 11 m und rechtsseitig maximal 4 m breit ist. Der Randstreifen geht rechtsseitig in eine geschlossene Häuserbebauung (Residenz, Dom, Gebäude der Universität) und

linksseitig in ein (Straßen-)Dammbauwerk (Robert-Franz-Ring) über. Der recht dichte Bewuchs, welcher stellenweise in das Gewässer ragt, beschränkt sich vorrangig auf das rechte Ufer (ab Höhe Dom bis zur Mühlpforte). Auf der gesamten Strecke von der Schwarzen Brücke bis zur Mühlpforte ist die Gewässersohle auf der gesamten Breite durch Kiese, Steine oder Wasserbausteine gekennzeichnet (s. Querprofile 7-20, Anlage 2).

Abschnitt 2 (Mühlpforte bis Dreiergraben)

Im Gewässerabschnitt nördlich der Neu Mühle bis zur Einmündung des Dreiergrabens in den Mühlgraben (Querprofile 21 bis 31) ist das Gewässer durch einen breiten Flusslauf (Breite Ø 21 m) mit ufernaher Bebauung (Mauerwerk der Moritzburg, Gaststätte Fritzengarten, Neuwerk) am rechten Flussufer und naturnaher Ufergestaltung linksseitig gekennzeichnet. Ab der Mühlpforte bis zur Pfälzer Brücke säumt das linke Ufer ein schmaler Uferrandstreifen, der in eine steile Böschung übergeht. Bis zur Burgbrücke ist der Bewuchs zu beiden Seiten dicht (Bäume, Sträucher) und ragt stellenweise bis in den Flusslauf (s. Anlage 8). In diesem Abschnitt konnten im Rahmen der aktuellen Erkundungskampagne Wasserbausteine bzw. eine steinige Sohle über die gesamte Gewässerbreite (s. Querprofil 21-22, Anlage 2) bzw. stromabwärts nur linksseitig (s. Querprofil 22-23, Anlage 2) nachgewiesen werden. Nördlich der Burgbrücke bis zur Pfälzer Brücke beschränkt sich der Bewuchs auf das linke Ufer. Im Bereich der Würfelwiese ist das linke Ufer relativ flach und mit Bäumen bewachsen. Ab Querprofil 28 (s. Anlage 2) ist das Ufer beidseitig bewachsen. Bis kurz vor der Einmündung des Dreiergrabens in den Mühlgraben (≤ Querprofil 30) wurde weitestgehend keine feste Sohle (Kiese, Steine oder Wasserbausteine) erkundet, da die gesamte Flussbreite mit mächtigen Schlammablagerungen bedeckt ist und somit ein Durchdringen bis zur Gewässersohle nicht möglich war (ausgenommen Querprofile 27 und 29 stromabwärts rechts Steinen, s. Anlage 2).

Abschnitt 3 (Dreiergraben bis Steinmühle)

Der Gewässerabschnitt von der Einmündung des Dreiergrabens in den Mühlgraben bis zur Steinmühlenbrücke (Querprofile 32 bis 41) ist gekennzeichnet durch einen breiten Flusslauf (Breite Ø 18-21 m) mit naturnaher Ufergestaltung. Nur im Bereich der Kunsthochschule ist auf einer Länge von ca. 50 m eine Spundwand (stromabwärts linksseitig) am alten Hafengebäude. Beide Uferseiten sind durch relativ flache Böschungen gekennzeichnet. Das linke Ufer ist sehr dicht bewachsen (Bäume, Sträucher) und ragt stellenweise in den Flusslauf, während das rechte Ufer aufgrund von aufgelockerter Bebau-

ung bzw. Privatgrundstücken (Ein- und Mehrfamilienhäuser, Kunsthochschule) vorrangig lichten Bewuchs aufweist.

Unmittelbar im Bereich der Einmündung des Dreiergrabens (s. Querprofils 31, Anlage 2) konnten Wasserbausteine bzw. eine steinige Sohle stromabwärts linksseitig nachgewiesen werden. Auf Höhe Querprofil 32 (s. Anlage 2) wurden Wasserbausteine bzw. eine steinig Sohle stromabwärts links- und rechtsseitig erkundet werden. Im weiteren Verlauf folgen Wasserbausteine oder eine steinige Sohle über die gesamte Gewässerbreite (s. Querprofil 33, Anlage 2). Im Bereich der Querprofile 34-35 (s. Anlage 2) wurden Wasserbausteine oder eine mit Steinen befestigte Sohle linksseitig bzw. bis zur Gerinnemitte festgestellt. Auf Höhe des Sportplatzes der Martin-Luther-Universität Halle wurden Wasserbausteine bzw. eine steinige Sohle stromabwärts links- und rechtsseitig (s. Querprofil 36, Anlage 2) bzw. nur linksseitig (s. Querprofil 37, Anlage 2) angetroffen. Im Bereich der Spundwand wurde keine Sohle feste Sohle (Kiese, Steine oder Wasserbausteine) erkundet, da die gesamte Profilbreite mit mächtigen Schlammablagerungen bedeckt war (s. Querprofil 38, Anlage 2). Im Bereich des Querprofils 39 wurden Wasserbausteine oder eine steinige Sohle im linken und rechten Flusslauf angetroffen. Unmittelbar vor der Steinmühlenbrücke (s. Querprofil 40, Anlage 2) konnte keine Sohle feste Sohle (Kiese, Steine oder Wasserbausteine) erkundet werden, da auch hier die gesamte Profilbreite mit Schlamm bedeckt ist. Unterhalb der Steinmühlenbrücke konnten hauptsächlich im rechten Flusslauf bis zur Gerinnemitte Wasserbausteine nachgewiesen werden.

Abschnitt 4 (Steinmühle bis Mündung in die Stromsaale)

Der Gewässerabschnitt nördlich der Steinmühle bis zur Mündung in die Stromsaale (Querprofile 42 bis 50) ist im Wesentlichen durch einen breiten Flusslauf (Breite Ø 18-20 m) mit naturnaher Ufergestaltung gekennzeichnet. Nur im Mündungsbereich des Mühlgrabens ist das rechte Ufer durch eine Ufermauer charakterisiert. Beide Uferseiten sind durch relativ flache Böschungen gekennzeichnet, die bis zur Ochsenbrücke sehr dicht bewachsen (Bäume, Sträucher) sind. Stellenweise ragen die Gehölze in den Flusslauf und die Kronen der gegenüberliegenden Bäume berühren sich.

Im Bereich der Steinmühle (Freischütz) wurden über die gesamte Breite Wasserbausteine angetroffen (s. Querprofil 42, Anlage 2). Im Bereich der Querprofile 43-45 wurde keine feste Sohle (Kiese, Steine oder Wasserbausteine) erkundet. Die Schlammablagerungen keilen stromabwärts rechtsseitig aus. Im weiteren Verlauf wurde ebenfalls keine feste Sohle (Kiese, Steine oder Wasserbausteine) nachgewiesen, da die gesamte Profilbreite mit mächtigen Schlammablagerungen bedeckt ist (s. Querprofil 46, Anlage 2). Im Bereich des Gleithanges an der Ziegelwiese (s. Querprofile 47-ZP8, Anlage 2) wurden Wasserbausteinen bzw. eine steinige Sohle im rechten Flusslauf erkundet. An dieser Stelle keilen die

darüber lagernden Schlammablagerungen in Richtung des Prallhangs aus. Vor und nach der Ochsenbrücke wurden Wasserbausteine bzw. eine steinige Sohle über gesamte Flussbreite angetroffen (s. Querprofil 49-50, Anlage 2).

4.2 Definition von Abschnitten

Die Definition von Gewässerabschnitten mit ähnlicher Ausstattung und vergleichbaren Rahmenbedingungen erfolgt anhand von Kriterien, die gemäß der Zielstellung formuliert und priorisiert werden:

- Sedimentmächtigkeit und –verteilung
- Schadstoffinventar
- Wassertechnische Anlagen (Mühlenstandort)
- Zuläufe
- Remobilisierungspotenzial
- Funktion
- Nutzungsansprüche

Die in Kapitel 5.3 dargestellten, machbaren Maßnahmen zur Sicherung, Minderung bzw. Beseitigung des Sedimentdepots im Mühlgraben beschränken sich auf von der Wasserseite realisierbare Maßnahmen. Die für Schiffseinheiten nicht passierbaren Mühlenstandorte stellen somit fixe Abschnittsgrenzen dar, die nicht umgangen werden können.

Hinsichtlich der Sedimentmächtigkeit und –verteilung hat sich gezeigt, dass in einem oberen Abschnitt des Mühlgrabens von der Ausleitung bis zum Querprofil 20 sich nur wenig bis keine Feinsedimentakkumulationen am Gewässergrund nachweisen lassen. Dagegen zeigen die folgenden unterstromigen Abschnitte z.T. mächtige Sedimentfolgen, die wechselseitig die Ufer begleiten. Wie oben dargelegt lassen sich aufgrund des rel. homogenen Schadstoffbildes keine Schadensschwerpunkte, die zu einer weiteren Abschnittsunterteilung beitragen würden, ableiten. Somit wird folgende Abschnittsunterteilung vorgeschlagen (Abbildung 27):

Abschnitt A1: Ausleitung bis Mühlpforte (Neue Mühle); Länge 1.000 m, Querprofile 1 bis 20; Probenahme PN7 bei Querprofil 5; Kubatur sehr gering; Schadstoffinventar gering.

Abschnitt A2: Mühlpforte bis Dreiergraben; Länge 620 m; Querprofile 20 bis 31; Probenahme PN 6 bei Querprofil 24 und PN 5 bei Querprofil 26; Kubatur hoch (6.242 m³); Schadstoffinventar hoch.

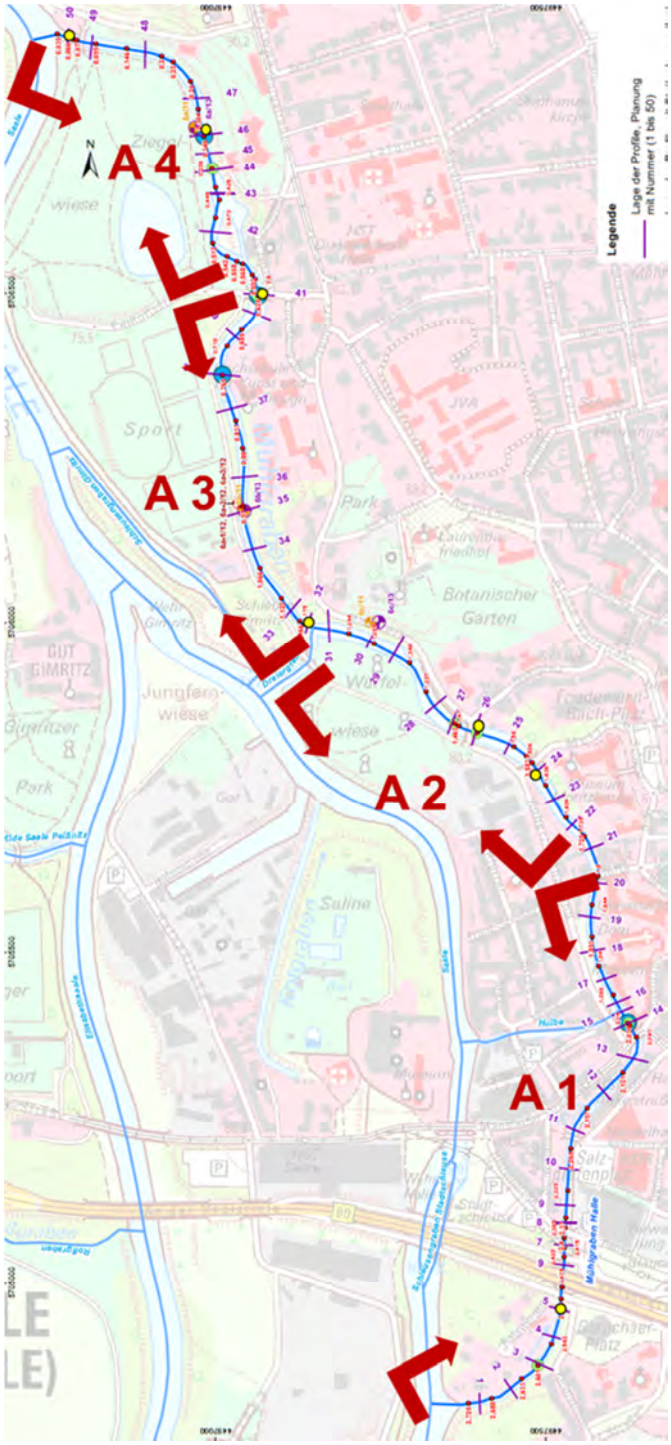


Abbildung 27: Lageplan mit Abschnittsunterteilung

Abschnitt A3: Dreiergraben bis Steinmühle; Länge 610 m; Querprofile 31 bis 41; Probenahme PN 4 bei Querprofil 32 und PN 3 bei Querprofil 41; Kubatur mittel (3.199 m³); Schadstoffinventar mittel bis hoch.

Abschnitt A4: Steinmühle bis Mündung in Stromsaale; Länge 570 m; Querprofile 42 bis 50; Probenahme PN 2 bei Querprofil 46 und PN 1 bei Querprofil 50; Kubatur mittel (3.388 m³); Schadstoffinventar hoch.

Alle Abschnitte sind wasserseitig zu erreichen. Das Schadstoffinventar ist in den relevanten Abschnitten A2 bis A4 durch jeweils 2 Probenahmestellen charakterisiert.

5 Lösungsansätze - Ableitung einer Vorzugsvariante

Zur Sicherung, Minderung bzw. Beseitigung des Sedimentdepots im Mühlgraben werden prinzipiell mögliche Lösungsansätze auf Basis der Erkenntnisse aus der Sichtung/Auswertung des Datenbestands und den Ergebnissen der Feldarbeiten abgeleitet. Die hier spezifizierten Verfahrensoptionen werden in einem weiteren Schritt einer detaillierten nicht-monetären und monetären Bewertung zur Ableitung einer Vorzugsvariante unterzogen.

5.1 Ziele und Rahmenbedingungen

Grundsätzlich können folgende Zielstellungen bei einer Maßnahmendurchführung im Mühlgraben differenziert werden:

- Schutz der aquatischen Lebensgemeinschaften
- Schutz der Vorflut (Saale, Elbe) durch Unterbindung/ Minimierung von Schadstoffeinträgen via feststoffgebundenem Schadstofftransport (Schwebstoffe)

Alle hier definierten Ziele erfordern das Unterbinden von Remobilisierungs- und Verfrachtungsprozessen feststoffgebundener Schadstoffe durch a) Entfernen der Akkumulationen aus dem Gewässer oder b) die Sicherung der Akkumulation gegenüber mechanischem Stress.

5.2 Verfahrenstechniken

Aus der Boden- und Grundwassersanierung sind zahlreiche Verfahren und Verfahrenskombinationen zur Behandlung schadstoffbeaufschlagter Umweltmedien bekannt. Das folgende Schaubild stellt die wichtigsten Unterschiede und mögliche technische Optionen zur Behandlung kontaminierter Gewässersedimente zusammen (Abbildung 28).

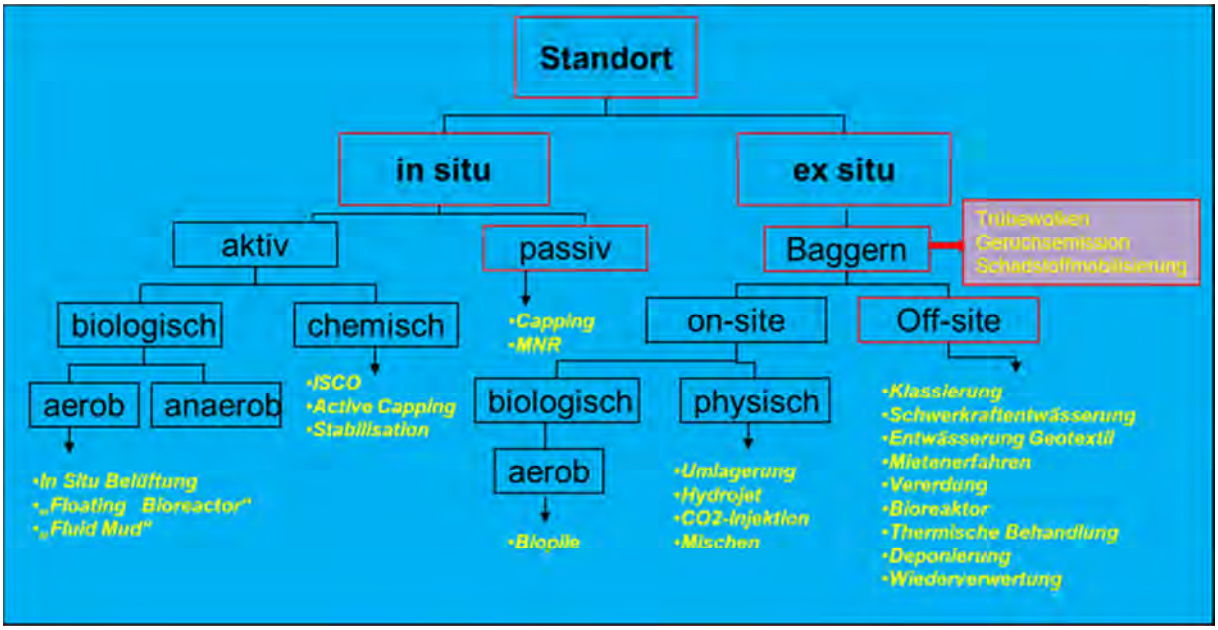


Abbildung 28: Verfahrenstechniken zur Behandlung von Gewässersedimenten

Diese Verfahrenstechniken sind zumeist Bestandteil von Sedimentmanagement-Optionen, die gemäß [U18] für folgende Anwendungsbereiche differenziert werden können:

- Umgang mit Schwebstoffen: Beeinflussung von Sedimenttransport-vorgängen, Ziel ist die Verstärkung oder Verminderung der Sedimentation.
- Umlagerung / Verbringung von Sedimenten: Verbringung der Sedimente im Zuge der Unterhaltung an eine andere Stelle im Gewässer; dies ist primär ein Verfahren des Mengenmanagements.
- In-situ Maßnahmen: die Sedimente verbleiben an Ort und Stelle im Gewässer, die Sicherung des Risikopotenzials steht im Vordergrund.
- Ex-situ Ablagerung unter Wasser: Sichere Ablagerung der Sedimente aufgrund des Risikopotentials infolge Schadstoffbelastung an anderer Stelle unter Wasser.
- (Vor-) Behandlung: Veränderung der Eigenschaften der entnommenen Sedimente zur Verwertung oder Deponierung.
- Verwertung nach Behandlung: Sedimentverwertung an Land (z.B. als Substitut anstelle anderer Materialien).

- Beseitigung: dauerhafte Ausschleusung der Sedimente aus dem Stoffkreislauf (eine vorherige Behandlung kann notwendig sein).
- Andere Verfahren: z.B. Verwendung von Sedimenten zur Schaffung von Landflächen.
- Talsperren und Staustufen: Umgang mit sedimentierten Feststoffen in Talsperren und Staustufen und die Bedeutung für das Flussgebiets-Sedimentmanagement.

Prinzipiell können Verfahren, die das zu behandelnde Umweltkompartiment in seiner natürlichen Lagerung belassen (in situ) von solchen Verfahren unterschieden werden, die ein Herauslösen des Mediums aus seiner natürlichen Lagerung erforderlich machen (ex situ).

Ex Situ

Sogenannte ex-situ Verfahren haben grundsätzlich das Ziel, das zu behandelnde Kompartiment aus seiner natürlichen Lagerung zu lösen und zu entfernen. Dazu sind angepasste Löse- und Fördertechniken notwendig, um unerwünschte Auswirkungen auf die Umwelt durch Remobilisierung von Schadstoffen weitestgehend zu reduzieren. Die weiteren Verfahrensalternativen beziehen sich auf den nachfolgenden Umgang mit dem aus der natürlichen Lagerung herausgelösten Umweltkompartiment. Hier kann zwischen Behandlungsmaßnahmen unterschieden werden, die in direkter Nähe zum ursprünglichen Lagerungsort (on-site) durchgeführt werden und solchen, die einen Transport zu einem Behandlungsstandort in größerer Entfernung beinhalten (off-site). Während bei den on-site Verfahren die lokalen Standortbedingungen den Einsatz möglicher Behandlungstechniken bestimmen (Platzdargebot, sensible Nutzung, Umgebung, Erreichbarkeit etc.), steht im Rahmen von off-site Maßnahmen letztendlich die gesamte Behandlungspalette, wie sie auch aus der Abfallbehandlung bekannt ist, zur Verfügung.

In Situ

Bei den sogenannten in-situ Verfahren kann zwischen aktiven und passiven Verfahren gewählt werden. Während passive Verfahren sich auf Maßnahmen fokussieren, die eine reine Schutzfunktion oder Überwachungsfunktion besitzen, verändern die aktiven Verfahren durch entsprechende Maßnahmen die Milieubedingungen bzw. die Prozessabläufe im Medium derart, dass schadstoffabbauende, -reduzierende und/ oder –zurückhaltende Wirkungen erzielt werden. Dabei können vorrangig biologische oder chemische Prozesse beeinflusst werden.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung von in-situ Maßnahmen ist eine vertiefte Kenntnis der standorttypischen Prozesse und Bedingungen, um Art und Umfang des aktiven Eingriffs planen und steuern zu können und negative Entwicklungen und Auswirkungen zu verhindern oder zu minimieren. Dazu bedarf es einer umfangreichen Detailerkundung im Vorfeld der in-situ Maßnahme und eines angepassten Überwachungsprogramms während und nach der Maßnahme. Insbesondere die Nachhaltigkeit der Zielerreichung muss im Rahmen der Nachsorge dokumentiert werden.

5.3 Lösungsansätze - Variantenvorschläge

Gemäß den beschriebenen Standort- und Rahmenbedingungen ergeben sich grundsätzliche Machbarkeiten in der Zielerreichung und verfahrenstechnischen Umsetzung:

Grundsätzlich machbar:

- ✓ Ex-situ Verfahren: Entfernen mit schwimmender Einheit (Schimmbagger, Saugbagger, Dredger etc.) und landseitige Deponierung nach Vorbehandlung (z.B. Entwässerung, Konditionierung etc.)
- ✓ Passives in-situ Verfahren: Sichern von Schadensschwerpunkten gegen Mobilisierung (capping)

Nicht machbar:

- Umlagerung (z.B. Wasserinjektionsgerät): Keine Risikominimierung
- Unterwasserdeponierung: Keine/ geringe Risikominderung
- Aktives in-situ Verfahren (biologisch, chemisch): Schwermetalle nur gering oder nicht biologisch abbaubar; chemische Verfahren mit erhöhtem Umweltrisiko verbunden
- Ex-situ Verfahren vom Ufer (Baggerung): Kein oder erschwerter Zugang (sensible Nutzung der Zufahrtsbereiche; ufernahe innerstädtische Bausubstanz; teilweise ungesicherte steile Uferabbrüche); erhöhte Emissionen durch vermehrten Materialverlust (Trübewolken)
- Abschnittsweises Trockenlegen und konventionelle Beräumung mittels Greifer oder Schaufel: Kein oder erschwerter uferseitiger Zugang (sensible Nutzung der Zufahrtsbereiche; ufernahe

innerstädtische Bausubstanz; teilweise ungesicherte steile Uferabbrüche); Unterbrechung des erforderlichen hydraulischen Anschlusses der angeschlossenen Überläufe.

- On-site Behandlung/Lagerung des Nassbaggerguts: sensible Nutzung der Uferrandstreifen und Ufernahbereiche (Gartennutzung, Freizeitanlage, Park); ufernahe innerstädtische Bausubstanz

- Wiederverwertung: Als Bodenersatzstoff keine Zulassung ohne technische/finanziell aufwändige Vorbehandlung aufgrund sensibler Schadstoffe; Zulassungsverfahren langwierig; geringe bis fehlende Marktakzeptanz aufgrund sensibler Schadstoffe; zahlreiche Konkurrenzprodukte

Auf Basis der erläuterten Rahmenbedingungen am Gewässer Mühlgraben/Halle können 3 Verfahren vorgeschlagen werden, die die in Kapitel 5.1 definierten Zielstellungen im Umgang mit dem Altsedimentdepot erfüllen.

Der Verfahrensvorschlag Variante1 ist eine ex-situ Maßnahme, die eine konventionelle Nassbaggerung mittels Schwimmgreifer (Abbildung 29) mit nachfolgender on-site Vorentwässerung mittels synthetischer Filtertextilien (z.B. Verfahren Geotube) in einer Schute kombiniert. Ziel ist, möglichst frühzeitig das anfallende Überschusswasser am Ort des Entstehens aus dem Stoffstrom zu entfernen. Da eine weitere Aufbereitung und Behandlung des Nassbaggerguts on-site nicht möglich ist, muss das vorentwässerte Baggergut mittels einer Übergabestation auf LKW verladen werden und zu einem Behandlungsplatz transportiert werden. Hier erfolgt dann die weitere off-site Behandlung mittels Korntrennung durch Siebung und Nachentwässerung/Eindickung (je nach Verfahrensanbieter auch unter Zugabe von Flockungsmitteln). Das entwässerte Baggergut enthält im Feinkorn die relevanten Schadstoffe (hier: Schwermetalle insbesondere Hg) und muss einer landseitiger Deponierung zugeführt werden. Die Möglichkeit einer Nachnutzung oder Wiederverwertung des entwässerten Baggerguts als sekundärer Baustoff oder Bodenverbesserer wird aufgrund der fehlenden Qualitätsmerkmale und der fehlenden Marktakzeptanz aktuell nicht gesehen.

Abbildung 29: Konventioneller Greifer an Hydraulikausleger auf Schwimmponton

Der Verfahrensvorschlag Variante 2 ist ebenfalls eine ex-situ Maßnahme und entspricht im Wesentlichen dem Vorschlag 1 nur mit der Änderung, dass hier eine pneumatisch-hydraulische Beräumung der Gewässersedimente erfolgt. Je nach eingesetztem Gerät ergeben sich 2 Untervarianten. In Variante 2.1 (Abbildung 30) erfolgt die Beräumung durch einen Saugbagger und in der Variante 2.2 mittels Airlift-Verfahren (Mammutpumpe; Abbildung 31). Die weiteren Verfahrensschritte entsprechen denen im Verfahrensvorschlag Variante 1. Da bei pneumatisch-hydraulischen Verfahren ein sehr hoher Anteil an Überschusswasser anfällt (TS-Anteil in der geförderten Suspension liegt je nach Anbieter und Technik bei 5-15 %), ist im Rahmen einer on-site Vorentwässerung die möglichst frühzeitige Entfernung und Rückführung dieses Überschusswasser sinnvoll.

Abbildung 30: Kleine mobile Saugbaggereinheit mit Schwimmleitung zum Transport des Nassbaggerguts

Abbildung 31: Förderrohr der Mammutpumpe an Hydraulikausleger auf Schwimmponton mit Begleitschute für geförderte Suspension [U17]

Der Verfahrensvorschlag Variante 3 beinhaltet im Gegensatz zu den oben genannten Varianten 1und 2 ein in-situ Verfahren. Mittels einer Abdeckung der Sedimente mit einer mineralischen Kappe wird der Sedimentkörper vor mechanischen Angriffen gesichert. Eine unkontrollierte Mobilisierung von Feststoffen und daran anhaftenden Schadstoffen wird somit unterbunden. Diese Kappe kann je nach Standortbedingungen sehr unterschiedlich aufgebaut sein und reicht von einer einfachen Sand-, Kies- oder Steinüberdeckung bis hin zu einer komplexen Mehrfachschichtung aus Geotextillagen und verschiedenen mineralischen Lagen.

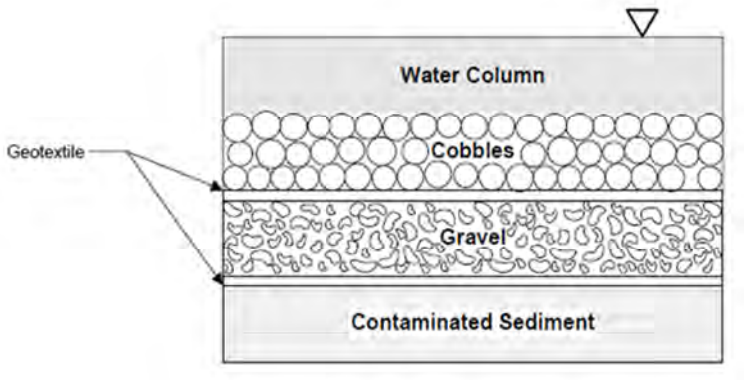


Abbildung 32: Mehrfachschichtung einer komplexen passiven in-situ Abdeckung (capping) [U16]

Die optimale Platzierung und Installation erfordert eine genaue Kenntnis der Sedimentkörper bezüglich Lage, Aufbau und geophysikalischer Eigenschaften sowie der fließdynamischen Eigenschaften des Gewässers. Zudem muss eine Nachüberwachung über mehrere Jahre durchgeführt werden, um die Funktion der Schutzkappe sicher zu stellen. Eine aktive Entfernung oder Minimierung des Schadstoffpools aus dem System erfolgt mit dieser Verfahrenstechnik jedoch nicht. Das Verfahren wird daher auch als „passives in-situ capping“ bezeichnet.

Alle 4 vorgeschlagenen Varianten erfüllen die Anforderungen hinsichtlich der standortbedingten Einschränkungen und erreichen die definierten Zielstellungen.

5.4 Bewertungskriterien

Die Bewertung wird auf Basis nicht-monetärer und monetärer Kriterien durchgeführt, die in einer tabellarischen Bewertungsmatrix aufgelistet werden. Es werden Wertungspunkte von +2 bis -2 verteilt.

Nichtmonetäre Bewertung

Zur nichtmonetären Bewertung werden Haupt- und Unterkriterien definiert, die zur Betrachtung der relevanten Qualitäten bei der Maßnahmenumsetzung erforderlich sind. Die Unterkriterien ermöglichen eine Eingrenzung und Fokussierung auf standortrelevante Qualitätskriterien.

- Hauptkriterium: Umweltschutz und Sanierungsziele
  Nebenkriterien: Auswirkung auf Altsedimentdepot, Auswirkung auf Vorflut (Stromsaale), Nachhaltigkeit.

- Hauptkriterium: Umsetzbarkeit
  Nebenkriterien: erforderlicher Zugang, Nutzung privater Grundstücke, Wasseranfall beim Lösen, residuale Sedimente.

- Hauptkriterium: Zeitaufwand
  Nebenkriterien: Arbeiten im/am Gewässer, Baggergut-Aufbereitung off-site, Nachsorgeüberwachung.

- Hauptkriterium: Sekundäre Effekte
  Nebenkriterien: Auswirkungen während der Ausführung (Emissionen Luft, Trübewolken, Lärm), Nutzungseinschränkung während Ausführung, Auswirkung auf Hydraulik, Auswirkung auf wassertechnische Anlagen, Auswirkung auf Regen-/Abwasseranbindung, Auswirkung auf die biologischen Qualitätskomponenten (WRRL), Auswirkung auf die hydromorphologischen Qualitätskomponenten (WRRL), Auswirkung auf städtische Planung, Auswirkung auf Verfügbarkeit von Deponieraum.

Die Punktevergabe erfolgt gemäß objektiv feststellbaren positiver oder negativer Auswirkungen, die kurz in der Bewertungsmatrix beschrieben werden. Ziel ist eine möglichst transparente und nachvollziehbare nicht-monetäre Bewertung aufzustellen, die bei Änderung der Zielstellung und/oder Rahmenbedingungen angepasst sowie möglicher Lösungsansätze schnell angepasst werden kann. Im Kapitel „Ergebnisse“ wird das Vorgehen der Punktevergabe exemplarisch an einem Hauptkriterium näher erläutert.

Monetäre Bewertung

Für die abzuleitenden Lösungsansätze wird zur monetären Bewertung eine detaillierte Kostenbetrachtung durchgeführt. Zur Ermittlung der Kosten werden in Anlehnung an DIN 276 Kostengruppen definiert und mit Einheitspreisen versehen. Diese basieren auf Erfahrungswerten, eine Einholung von Angeboten wurde auf diesem Stand einer Machbarkeitsstudie nicht vorgenommen. Die zur Kostenberechnung zugrunde gelegten Mengen und Massen werden auf Basis der Kubaturenbetrachtung definiert und als Spezifikation jeder Kostenkalkulation voran gestellt.

Zum Auffangen von Unwägbarkeiten bei der Einheitspreisfindung wird eine „best-case“ und eine „worst-case“ Kostenvariante berechnet.

Zur weiteren Kostendifferenzierung werden die folgenden Kostenteile getrennt berechnet:

Teil A On-site Sicherung / Beseitigung Sedimentdepot

Teil B Off-site Aufbereitung

Teil C Nachsorgeüberwachung

Teil C wird als jährliche Betriebskosten für eine Laufzeit von 15 Jahren als abgezinste Gesamtkosten mittels der Barwertmethode ermittelt.

Gewichtete Bewertung

Die Gewichtung der Kriterien ist eine weitere Möglichkeit, qualitative Unterschiede in den vorgestellten Varianten neben einer reinen Kostenbetrachtung in die Bewertung einfließen zu lassen. Die Gewichtung wird endabgestimmt in folgender Weise vorgenommen:

Nicht-monetäre Kriterien	50 %
Monetäre Kriterien	50 %

Da die nicht-monetären Kriterien aus vier Hauptkriterien bestehen, erfolgte eine weitere Gewichtung:

Umweltschutz und Sanierungsziele	30 %
Umsetzbarkeit	5 %
Zeitaufwand	5 %
Sekundäre Effekte	10 %

Die Punktevergabe gemäß endabgestimmter gewichteter Bewertung ist im Kapitel „Ergebnisse“ dargestellt.

5.5 Vorzugsvariante

Das oben vorgestellte Bewertungsverfahren mittels nicht-monetärer und monetärer Kriterien wird für die vorgeschlagenen 4 technischen Varianten angewendet um eine Vorzugsvariante ableiten zu können.

5.5.1 Nichtmonetäre Kriterien

Die Vorgehensweise der qualitativen Betrachtung und Punkteverteilung wird am Beispiel des Hauptkriteriums „Umweltschutz/Sanierungsziele“ näher erläutert. Prinzipiell werden dazu Hauptkriterien und Unterkriterien definiert und je nach Bewertung mit einer Punktzahl zwischen +2 (besonders gut erfüllt) bis -2 (nicht erfüllt) belegt. Die nicht-monetäre Bewertungsmatrix ist in Anlage 6 beigefügt.

Die vollständige Entfernung der schadstoffbeaufschlagten Sedimentkörper erzielt eine maximale Eliminierung des Risikopotenzials und zeigt damit eine maximale positive und nachhaltige Wirkung auf den Schutz der Vorflut. Es wird daher die maximalen Wertungspunkte +2 Punkte für Varianten V1 sowie V2.1 und V2.2 vergeben. Die Variante V4 erreicht als zwar grundsätzlich die Zielstellung, erzielt als passives in-situ Verfahren jedoch keine Reduzierung des Schadstoffpools, sodass ein Risikopotenzial im System verbleibt. Die Sicherung der Sedimentoberfläche verhindert die Remobilisierung von Schadstoffen, eine grundsätzliche und nachhaltige Schadstoff-Eliminierung erfolgt jedoch nicht. Daher wird diese Variante im Hauptkriterium letztendlich mit -2 Punkten bewertet.

Auf die gleiche Weise werden die anderen Hauptkriterien mithilfe von Unterkriterien bewertet und entsprechende Bewertungspunkte vergeben. Zur besseren Einordnung werden die Bewertungen der Unterkriterien farbig markiert. Die Unterkriterien, die negative Auswirkungen haben und zu Punktabzügen führen werden rötlich markiert, diejenigen, die positive Auswirkungen haben, grünlich. Kriterien ohne eindeutige Zuordnung werden orange gekennzeichnet. Die Summe der positiven und negativen Auswirkungen führt zur Vergabe der entsprechenden Bewertungspunkte. Es ergeben sich folgende ungewichtete Punktzahlen aufgrund der nicht-monetären Bewertung:

Variante V 1	+3 Punkte
Variante V 2.2	+2 Punkte
Variante V 2.2	+2 Punkte
Variante V 3	-4 Punkte

Einschränkend muss hinsichtlich der Nachhaltigkeit der Maßnahme bei allen 4 Varianten angemerkt werden, dass eine erneute Akkumulation von Feinmaterial und Schadstoffen grundsätzlich möglich ist und damit den Erfolg der Maßnahme kurz- bis langfristig, je nach hydraulischem Regime des Gewässers, wieder zunichtemachen kann. Der erneute Eintrag von Schweb- und Schadstoffen ist nur durch erhebliche wasserbauliche Veränderungen des Gerinnes und seiner Fließdynamik zu minimieren [U14].

5.5.2 Monetäre Kriterien (in Anlehnung an DIN 276)

Die Kostentabellen für die 4 technischen Varianten sind in der endabgestimmten Version als Anlage 7 dem Bericht beigefügt.

Die Punktevergabe für die gemittelten Gesamtschätzkosten (als arithmetisches Mittel aus „best-case“ und „worst-case“ Kosten) basiert auf folgendem Verteilerschlüssel:

Mittlere Gesamtschätzkosten	< 1,5 Mio. €	+2 Punkte
Mittlere Gesamtschätzkosten	1,5 - 2,0 Mio €	+1 Punkt
Mittlere Gesamtschätzkosten	> 2 – 2,5 Mio €	0 Punkte
Mittlere Gesamtschätzkosten	> 2,5 - 3 Mio €	-1 Punkt
Mittlere Gesamtschätzkosten	> 3 Mio €	-2 Punkte

Eine Übersicht der gemittelten Gesamtschätzkosten mit Punktevergabe liefert die folgende Tabelle.

Tabelle 18: Kostenschätzungen und Bewertungspunkte

Variante	Verfahren	Gemittelte Gesamt-schätzkosten in Mio Euro	Bewertungs-punkte
V 1.	Beräumung mittels Schwimmgreifer, on-site Vorentwässerung, off-site Nachbe-handlung	2,5	-1
V 2.1	Beräumung mittels Saugbagger, on-site Vorentwässerung, off-site Nachbehand-lung	2,9	-1
V 2.2	Beräumung mittels Airlift-Verfahren, on-site Vorentwässerung, off-site Nachbe-handlung	2,7	-1
V 3	Sicherung mittels passives in-situ capping	1,6	1

Die gewichtete Bewertung ist in der endabgestimmten Version ebenfalls in der Anlage 7 enthalten. Danach weisen die Varianten V1 „Beräumung mittels Schwimmgreifer, on-site Vorentwässerung, off-site Nachbehandlung“ und V2.2 „Beräumung mittels Airlift-Verfahren, on-site Vorentwässerung, off-site Nachbehandlung“ mit jeweils +0,15 gewichteten Bewertungspunkten die höchste Punktzahl auf und die Variante V2.1 „Beräumung mittels Saugbagger, on-site Vorentwässerung, off-site Nachbe-handlung“ mit +0,10 gewichteten Bewertungspunkten die zweithöchste Punktezahl.

Die Variante V3 „Sicherung mittels passives in-situ capping“ weist mit -0,30 gewichteten Bewertungspunkten die niedrigste Punktzahl auf. Damit können die technischen Varianten V1 und V2.2 als Vorzugsvarianten gewertet werden.

5.5.3 Vorzugsvarianten – Verfahrensbeschreibung

Die beiden Vorzugsvarianten V1 und V2.2 werden im Folgenden verfahrenstechnisch näher beschrieben. Die entsprechenden Verfahrensfließschemata sind in Anlage 5 zu finden.

Beiden Varianten gemein ist, dass es sich um ex-situ Verfahren handelt, die eine Beräumung des Sedimentkörpers erfordern. Die Art des Beräumens ist bei den beiden Varianten unterschiedlich.

In Variante 1 erfolgt im 1. Schritt die Beräumung durch einen Greifer, der seilbetrieben oder an einem Hydraulikausleger montiert den Sedimentkörper stückweise löst, aufnimmt, aus dem Wasser hebt und in eine Schwimmschute ablegt. Diese diskontinuierliche Fördertechnik ist robust und generiert je nach Greifschalentechnik relativ hohe Trockensubstanzgehalte (bis 80 % des in-situ TS). Besondere Ausführungen des Greifers minimieren den Wasserzutritt und damit die Entwicklung von ungewünschten Trübstoffwolken und unkontrollierter Schadstofffreisetzung. Dies bedeutet einen relativ geringen Anfall an Überschusswasser. Der Vorgang des Beräumens kann mittels einer Multiparametersonde hinsichtlich ausgewählter Gewässergüteparameter überwacht und gesteuert werden.

In Variante 2.2 erfolgt im 1. Schritt die Beräumung mittels einer Lufthebetechnik (Airlift). Dazu wird komprimierte Umgebungsluft am Fuß eines Förderrohres in das Schlamm-Wasser-Gemisch (Suspension) gepresst. Aufgrund der niedrigeren Dichte steigt die mit Luft versetzte Wasser- bzw. Suspensionssäule im Förderrohr nach oben. Die Lufthebetechnik bringt nur geringe mechanische Impulse in den Wasser- bzw. Sedimentkörper und wird daher als sanfte Fördertechnik angesprochen. Der Feststoffgehalt in der geförderten Suspension ist jedoch aus physikalischen Gründen auf 5-8 % limitiert. In einem folgenden Schritt wird in einem Pralltopf am Kopf des Förderrohres überschüssige Luft wieder abgeschieden. Die weiteren Schritte erfolgen analog zur Variante V1.

Gefördertes Überschusswasser sowie Grob- und Störstoffe sollten möglichst schnell am Ort des Entstehens aus dem Stoffstrom ausgeschieden werden. Dazu erfolgt im 2. Schritt eine Grobsiebung und Vorentwässerung in einer Begleitschute. Die konventionelle Schwerkraftentwässerung wird durch den Einsatz geeigneter Filtertextilien, die das Feinkorn und anhaftende Schadstoffe zurückhalten, unterstützt. Die Zugabe von Flockungsmitteln an dieser Stelle sollte vermieden werden, da das abgeschla-

gene Filtratwasser nachgereinigt werden müsste, ehe es entsprechend des Prinzips des Verschlechterungsverbotes wieder direkt in das Gewässer zurückgeleitet werden könnte.

Aufgrund der Standtorbedingungen ist einen weitere on-site Aufbereitung des geförderten Nassbaggerguts nicht mehr möglich. Daher erfolgt im 3. Schritt die Übergabe des vorentwässerten Baggerguts aus der Schwimmschute in geeignete Transportbehältnisse für den Straßentransport zur off-site Behandlungsfläche. Die Identifikation geeigneter Übergabestellen und einer nicht allzu weit entfernten und ausreichend großen Behandlungsfläche ist ein kritischer Punkt der kommenden Planungsschritte. Zu diesen Punkten werden konkrete und umsetzbare Flächenvorschläge gemacht, die in Kap. 6.2 vorgestellt und erläutert werden.

Die folgenden Behandlungsschritte 4 bis 7 zur weiteren Aufbereitung des Baggerguts erfolgen alle auf einer Behandlungsfläche außerhalb des zu beräumenden Areals (off-site). Die hier vorgeschlagenen Behandlungsschritte sind grundsätzlich möglich. Ihre Erfordernis und Effektivität hängt vom erzielten Trockensubstanzgehalt nach der Vorentwässerung und der Korngrößenzusammensetzung des beräumten Sedimentkörpers ab. Es handelt sich hierbei um bekannte und breit angewendete Techniken.

Eine erste Klassierung kann im 4.Schritt mittels Hydrozyklon erfolgen (Trennschnitt z.B. 63 µm). Das Feinmaterial (z.B. <63 µm) wird unter Zudosierung von Flockungsmittel eingedickt (Schritt 5a) und mechanisch (z.B. Siebbandpresse) nachentwässert (Schritt 6a). Zum Erreichen optimaler Entwässerungsergebnisse ist eine ausreichende Flockung des Aufgabegutes vor der mechanischen Entwässerung erforderlich. Gute Erfahrungen wurden durch die Zugabe eines hochmolekularen kationaktiven Polyelektrolyten erreicht [U19]. Das entwässerte Baggergut enthält den Großteil der Schadstoffe (LAGA >Z2) und muss gemäß Deklarierungsanalytik entsorgt werden.

Das im 4. Schritt abgetrennte gröbere Korn (z.B. >63 µm) kann mittels konventioneller Siebung weiter klassiert werden und nachentwässert werden. Die abgetrennte Sandfraktion ist erfahrungsgemäß unbelastet und kann der Wiederverwertung zugeführt werden. Die Fraktion im Bereich Grobschluff-Feinsand ist gemäß Deklarierungsanalytik einzustufen und zu entsorgen bzw. verwerten.

5.6 Empfohlene Variante und planungsrelevante Eckpunkte

Im Rahmen der Ableitung einer Vorzugsvariante ergab die gewichtete Punktevergabe auf Basis einer nicht-monetären und monetären Bewertungsmatrix für die Variante V1 „Beräumung mittels Schwimmgreifer, on-site Vorentwässerung, off-site Nachbehandlung“ und Variante V2.2 „Beräumung

mittels Airlift-Verfahren, on-site Vorentwässerung, off-site Nachbehandlung“ mit jeweils +0,15 gewichteten Bewertungspunkten die höchste Punktzahl.

Für die Umsetzung potenzieller Maßnahmen zur Beräumung der schadstoffbeaufschlagten Altsediment-Depots des Mühlgrabens im Stadtgebiet von Halle/Saale wird aus fachgutachterlicher Sicht die Variante V1 empfohlen. Folgende Gründe sprechen dafür:

- Die Schwimmgreifer-Technik wird weit verbreitet und in unterschiedlichsten Situationen angewendet.
- Sie ist robust in ihrer Anwendung und kann auch mit zu erwartenden Störstoffen (Steine, Müll, Äste etc.) umgehen.
- Beim Lösen und Heben der Gewässersedimente fällt im Vergleich zu hydraulisch-pneumatischen Verfahren Überschusswasser nur in relativ geringen Mengen an.
- Es können technische Varianten in der Greiferkonstruktion angewendet werden (z.B. geschlossene Greifschalen), die eine möglichst umweltschonende Beräumung ermöglichen (wenig Sedimentverlust, wenig Trübewolken).

Hinsichtlich einer möglichen Umsetzung können für die empfohlene Vorzugsvariante die im Folgenden beschriebenen planungsrelevanten Eckpunkte definiert werden.

Die Beräumung erfolgt von der Wasserseite mittels schwimmender Einheiten (Ponton, Schute). Diese Einheiten können aufgrund ihrer Größe mittels Trailer zu geeigneten Stellen außerhalb des Mühlgrabens transportiert und dort eingesetzt werden. Mittels Schubboot werden die Einheiten in die zu beräumenden Abschnitte des Mühlgrabens via Saale oder Dreiergraben manövriert. Grundsätzlich wäre je nach Größe der eingesetzten schwimmenden Einheiten auch ein Antransport direkt zu den beräumenden Abschnitten über die vorgeschlagenen beiden Übergabestationen möglich (siehe Kap. 6.2).

Gemäß Angaben der Verfahrensanbieter kann mit einem Zweischalengreifer bei einem Fassungsvermögen von 0,5 m³ (kleine Variante) eine Förderleistung von ca. 12,5 m³/h Sediment in-situ realisiert werden. Wie schon weiter oben ausgeführt, kann die Aufnahme von Überschusswasser aus der freien Wassersäule durch entsprechende bauliche Anpassungen der Greifschalen auf ein Minimum reduziert werden, sodass das in die Schute entladene Nassbaggergut neben dem in-situ Wasseranteil nur geringe Mengen an zusätzlichem Wasser aus dem Baggerungsvorgang enthält.

Das in die Schute gefüllte Nassbaggergut wird, unterstützt durch Einlagen aus entsprechendem Filtermaterial (Geotextil o.ä.), schwerkraftentwässert. Es wird angenommen, dass ca. 20 % des geförderten

Tagesvolumens (12,5 m³/h x 8 h = 100 m³/d) als Überschusswasser vor Ort in den Mühlgraben zurückgeführt werden können. Das entspricht ca. 20 m³/d.

Die Schute mit dem vorentwässerten Nassbaggergut wird mittels Schubboot zur Übergabestation manövriert. Dort erfolgt die Verladung auf LKW für den Straßentransport zur off-site Behandlung (Trennung, Nachentwässerung, Konditionierung). Es wird angenommen, dass das vorentwässerte Baggergut in der Schute weiterhin pumpfähig ist und die Umladung mittels Dickstoffpumpe o.ä. möglich ist.

Durch die Planung von 2 Übergabestationen können zumindest 2 Abschnitte parallel beräumt werden. Mit den oben angenommenen Förderleistungen und den ermittelten Sedimentkubaturen können pro Abschnitt folgende Zeiträume für die Beräumung angesetzt werden:

Abschnitt A2: Sedimentvolumen V_S = 6.265 m³; Fördertagesleitung V_F = 100 m³/d; Dauer Beräumung t_B = 62,7 d

Abschnitt A3: Sedimentvolumen V_S = 3.200 m³; Fördertagesleitung V_F = 100 m³/d; Dauer Beräumung t_B = 32 d

Abschnitt A4: Sedimentvolumen V_S = 3.389 m³; Fördertagesleitung V_F = 100 m³/d; Dauer Beräumung t_B = 34 d

Für die Abschnitte A2 und A3 wird zu Minimierung der landseitigen Eingriffe und Belastungen eine gemeinsame Übergabestation geplant, sodass bei einer Beräumung durch einen Schwimmbagger mit ca. 95 Tagen zu rechnen ist. Bei ca. 20 Arbeitstagen pro Monat errechnet sich ein Zeitraum von ca. 5 Monaten für die Beräumung der Abschnitte A2, A3 und A4, unter der Voraussetzung, dass der Abschnitt A4 mittels eines parallel arbeitenden Schwimmbaggers beräumt wird. Eine Reduzierung des Zeitaufwands kann sich durch den Einsatz je eines Schwimmbaggers für die Abschnitte A2 und A3 ergeben, wobei eine Koordination hinsichtlich der gemeinsamen Nutzung einer Übergabestation erfolgen muss. Das Verhältnis von zusätzlichen Kosten (zusätzliches Bagger- und Schutenteam) zu möglichen Einsparungen (über verringerten Zeitaufwand) ist gegebenenfalls zu prüfen.

Angaben zu den Übergabestationen und zur Fläche zur off-site Behandlung erfolgen in Kap. 6.2.

6 Voranfrage genehmigungsrechtliche Schritte

Zur Durchführung einer Vorabstimmung wurde eine Voranfrage zu Art und Umfang eines eventuellen Genehmigungsprozesses an die potentielle Genehmigungsbehörde (hier: Untere Wasserbehörde der Stadt Halle) gestellt. Die Voranfrage sollte Informationen zu folgenden Fragen liefern:

- Welche Behörde nimmt den Antrag an und leitet federführend der Genehmigungsprozess?
- Welche weiteren Fachbehörden sind involviert?
- Art und Umfang erforderlicher Anträge und Genehmigungen?
- Art und Umfang erforderlicher Unterlagen und Dokumente?

Die Ergebnisse der Anfrage werden im Folgenden dokumentiert.

6.1 Genehmigungen

Die Antragsstellung wird gebündelt über die Untere Wasserbehörde mittels eines wasserrechtlichen Antrags erfolgen. Weitere involvierte Fachbehörden sind:

- Untere Naturschutzbehörde hinsichtlich Eingriffe und Umweltverträglichkeit,
- Immissionsschutzbehörde hinsichtlich Betrieb off-site Behandlungsanlage
- Abfallbehörde hinsichtlich Betrieb Zwischenlager und Entsorgung entwässertes Baggergut

Erforderliche Anträge/Genehmigungen sind zu folgenden Fachthemen einzuholen:

- Wasserrechtliche Genehmigung (z.B. Gewässernutzung, Entnahme von Feststoffen, Direkteinleitung aus der Vorentwässerung)
- Immissionsschutzrechtlicher Antrag/Verfahren (z.B. Errichtung/Betrieb eines Zwischenlagers zur Aufbereitung des Baggerguts)
- Naturschutzrechtliche Genehmigung (z.B. Eingriff in die aquatische Lebensgemeinschaft, Flächenbeanspruchung durch Zuwegung, Übergabestation, Zwischenlager, Konditionierung, Prüfung der Umweltverträglichkeit)
- Abfallrechtliche Genehmigung (z.B. Entsorgungsweg)

Üblicherweise werden bei umfangreichen Antrags- und Genehmigungsprozessen bei sogenannten Scoping-Terminen den zuständigen Fachbehörden, Verbänden und sonstigen Betroffenen das Vorhaben mit seinen Zielen und Inhalten vorgestellt sowie Bedenken und Kenntnislücken identifiziert und diskutiert. Dazu werden Scoping-Unterlagen erstellt mit Detailangaben u.a. zu folgenden Themen:

- Art und Ziel des Vorhabens
- Eingesetzte Verfahrenstechniken
- Prozess der Beräumung (z.B. mechanisch, pneumatisch-hydraulisch)
- Bauzeitenplanung (z.B. abschnittsweise, parallel
- Lage und Größe von Anlagenstandorten (z.B. Zuwegung zum Mühlgraben, Übergabestation vorentwässerte Baggergut, Anlage zur Konditionierung)
- Erwartete Emissionen (z.B. Trübewolken, Lärm, Geruch, Abgase; s.a. UVP)
- Stoffströme und –mengen (z.B. Feststoffe, Überschusswasser aus Vor-/Nachentwässerung, eingesetzte Stoffe zur Konditionierung, zu entsorgendes Material)
- Gewässerökologische Auswirkungen und evt. Gegenmaßnahmen (s.a. UVP)
- Auswirkung auf Abflussverhalten (Hochwassermaßnahmenplan)

Je nach Größe des Vorhabens und Umfang der Planung sind mehrere Scoping-Termine erforderlich, die zumeist vierteljährlich in Abhängigkeit des Planungsfortschritts und der erforderlichen weiteren Untersuchung zur Schließung von Kenntnislücken oder zur Abwehr von Bedenken abgehalten werden.

Es sei an dieser Stelle ebenfalls darauf hingewiesen, dass bei umweltsensiblen Vorhaben, die eine Reihe von umweltrelevanten Eingriffen sowie potenziellen Emissionen und Immissionen beinhalten, im Rahmen des Beantragungs- und Genehmigungsprozesses eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchgeführt wird. Die UVP enthält Fachbeiträge zu folgenden Themen:

- Mensch und menschliche Gesundheit
- Boden
- Wasser / Grundwasser
- Fauna und Flora
- Biologische Vielfalt
- Landschaft
- Klima
- Luft
- Kultur- und Sachgüter
- Wechselwirkungen

- Aussagen zu:
    - Umwelterhebliche Wirkfaktoren des Vorhabens
    - Erwartete Auswirkungen des Vorhabens
    - Maßnahmen zur Vermeidung und Minimierung

Eine alternative Beantragungs- und Genehmigungsschiene kann sich dann ergeben, wenn die hier vorgestellten Maßnahmen als Unterhaltungsmaßnahme im Fließgewässer Mühlgraben definiert werden. Dazu sind Bewirtschaftungsziele zu definieren, die nur durch entsprechende Maßnahmen zu erreichen sind. Üblicherweise ist dazu für Bundeswasserstraßen 1. Ordnung, zu der die Saale mit ihren Seitenstrukturen zumindest bis Ende 2014 gehört, keine Beantragung gemäß Wasserhaushaltsgesetz WHG (wasserrechtlicher Antrag) erforderlich.

6.2 Planungsszenario

Für eine verfahrenstechnische Umsetzung werden weitere, planungsrelevante technische Details angenommen.

Die wasserseitigen Zugänge zu den zu beräumenden Abschnitten können über die Saale (für Abschnitt A4) und den Dreiergraben (für Abschnitte A2 und A3) erfolgen. Die Wassertiefen der wasserseitigen Zugänge sind ein kritischer Faktor bei der Bestimmung der Größe der einzusetzenden schwimmenden Einheiten (Ponton, Schubboot, Schute etc.). Im Bereich Dreiergraben sind entsprechende Mindesttiefen (üblicherweise 0,5-0,8 m) bereit zu stellen. Im Auslaufbereich des Mühlgrabens sind Materialakkumulationen (z.B. Schwemmfächer) zu sondieren und im Bedarfsfall vorab zu entfernen.

Um den Bedarf an Flächen und damit den Eingriff in die lokalen Ökosysteme zu minimieren, wird vorgeschlagen, nur mit 2 Übergabestationen zur Übergabe des vorentwässerten Nassbaggerguts aus der Schute in LKWs für den Straßentransport zur Nachbehandlung zu arbeiten.

Übergabestation 1 Ziegelwiese für Beräumung Abschnitt A 4: Mit ihrer Position direkt hinter der Verzweigung nach der Steinmühle ergibt sich für die Zufahrt von der Peißnitzstr. bis nördlich der Trafostation eine Zufahrtslänge auf bisher teilbefestigtem Weg von ca. 70 m Länge. Bei einer Breite der einzurichtenden Baustraße von ca. 5 m berechnet sich der Flächenbedarf mit ca. 350 m².

Übergabestation 2 Würfelwiese für Beräumung Abschnitte A2 und A3: Mit ihrer Position östlich des Ballsportplatzes auf der Würfelwiese können beide zu beräumende Abschnitte A2 und A3 angeschlossen werden. Die Zufahrt erfolgt ab Pfälzer Brücke auf aktuell teilbefestigten Wegen entlang des

Mühlgrabens bis Höhe Sportplatz mit einer Streckenlänge von ca. 100 m. Der Flächenbedarf der Baustraße wird auf ca. 500 m² berechnet.

Die Übergabestationen benötigen ca. 100 m² Aufstellfläche für Pumpstation und LKW-Anfahrt.

Zusätzlich sind an den beiden Übergabestationen uferseitige Vorrichtungen zum Ansteuern und Festmachen der Schuten auf einer Länge von ca. 20 m zu installieren. Dazu gibt es verschiedene technische Lösungen (z.B. Rammen von Dalben mit landseitigem Steg). Die entsprechende Uferstrecke muss von Bewuchs (Büsche, Bäume) geräumt werden.

Die Zufahrtswege sind temporär als Baustraße zu befestigen. Die Aufstellflächen sind zudem tagwasserdicht auszuführen, um möglicherweise mit Schadstoffen beaufschlagte Handlungsverluste aus dem Umschlag des Nassbaggerguts nicht zur unkontrollierten Versickerung und Freisetzung in den Mühlgraben kommen zu lassen.

Im Abschnitt A2 sind 2 Brückenbauwerke vorhanden (Burgbrücke, Pfälzerbrücke), die die schwimmenden Einheiten passieren müssen. Die lichten Durchfahrtshöhen- und –weiten sind in der folgenden Tabelle aufgelistet. Beide Kriterien sind bei der Erstellung von Ausschreibungen für technische Leistungen als minimierende Faktoren zu beachten.

Tabelle 19: Brücken Durchfahrtshöhen und -weiten [U2]

Durchfahrtshöhe [m]	Burgbrücke	Pfälzerbrücke
NW	5,30	3,51
MW	5,10	3,31
HW	4,80	3,01
Lichte Weite [m]	>10	>10

Während der Beräumung der 3 Mühlgraben-Abschnitte werden geschätzt insgesamt ca. 2.500 m³ als Überschusswasser aus der Vorentwässerung in den Schuten an den Mühlgraben direkt zurückgeführt.

Gemäß angenommener Tagesförderleistung sind ca. 13 LKW-Fahrten pro Übergabestation pro Tag bei einer Zuladung von 10 t/LKW erforderlich.

Für die notwendige Nachbehandlung des vorentwässerten Nachbaggerguts wird eine Fläche zur Zwischenlagerung, Nachentwässerung und Konditionierung im Bereich des ehem. Gasometers (Holzplatz) vorgeschlagen. Diese Fläche ist aktuell ungenutzt, geräumt und teilversiegelt und liegt nicht in oder in

direkter Umgebung einer Wohnsiedlung. Die veranschlagte Fläche von ca. 10.000 m² ist aus der Gesamtfläche von >20.000 m² zu generieren. Ein großer Vorteil wird in der relativen Nähe zu den beiden Übergabestation gesehen (Distanz zur Übergabestation 1 ca. 2.500 m, zu Station 2 ca. 1.600 m), sodass potenzielle Emissionen beim Straßentransport minimiert werden können.

Nachteilig wirkt sich die Lage der vorgeschlagenen Fläche hinsichtlich Gefährdung gegenüber Hochwasser aus. Hier sind entsprechende Maßnahmen zur Sicherung einzuplanen (z.B. Abspundung, hochgesetzte Arbeitsflächen, Einhausung etc.). Die Anlagentechnik ist gemäß der vorgestellten Verfahrensfließschemata auf der Fläche zu installieren und zu betreiben. Die erforderliche Aufstellfläche wird mit ca. 2.500 m² angenommen. Diese ist tagwasserdicht auszuführen. Der Mindestdurchsatz sollte sich sinnvollerweise an der Tagesförderleistung aus der Beräumung orientieren. Bei einer abschnittsweisen Beräumung beliefe sich der erforderliche Durchsatz auf ca. 100 m³/d Sediment in-situ, bei einer parallelen Beräumung der 3 Abschnitte auf maximal ca. 300 m³/d.

Zur Zwischenlagerung von vorentwässertem Nassbaggergut und behandeltem Baggergut vor der Entsorgung wird vorgeschlagen, eine Fläche von ca. 5.000 m² tagwasserdicht herzurichten. Üblicherweise wird das zur Entsorgung anstehende, behandelte Baggergut in einer Halle zwischengelagert.

Das Luftbild in der folgenden Abbildung zeigt die Lage der vorgeschlagenen Lokationen sowie den Verlauf des Straßentransports. Die beanspruchten Flurstücke deren und Besitzverhältnisse sind in der Tabelle in Anlage 14 dokumentiert.

Alle vorplanungsrelevanten Daten sind in der tabellarischen Auflistung in Anlage 12 zusammengefasst. Neben den oben dargestellten Annahmen zur Lage der Übergabestation und der Fläche für das Zwischenlager/Konditionierung wird als Datengrundlage die in der monetären Bewertungstabelle definierten Förderleistungen, Umsätze und Materialmengen verwendet.

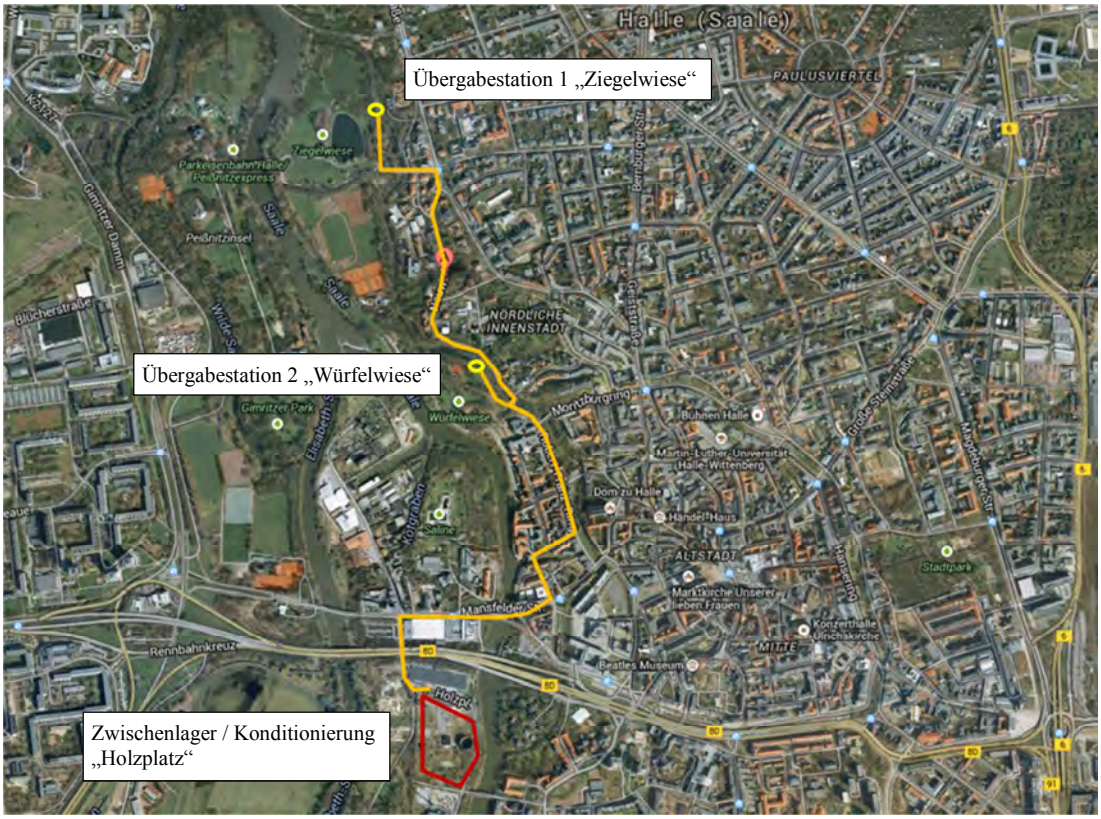


Abbildung 33: Lage der vorgeschlagenen Flächen und Tourenverlauf

Tabelle 20: Darstellung der vom Planungsszenario betroffenen Flurstücke

Fläche	Flur	Flurstück	Gemarkung	Auskunft Landes-vermessungsamt	
				städtisch	privat
Übergabestation 1	12	761/4	Halle	x	
Zufahrt zur Übergabestation 1 ab Peißnitzstr.	12	4/2	Halle	x	
Peißnitzstr.	12	9/1	Halle	x	
	12	11/2	Halle	x	
	12	1188/10	Halle		x
	12	1685/10	Halle		x
	14	83	Giebichenstein		
	14	81/1	Giebichenstein		
	14	60/3	Giebichenstein		
	14	60/4	Giebichenstein		
Übergabestation 2	12	24/2	Halle	x	
Zwischenlager	12	84/9	Halle		x

7 Fazit

Das in der vorliegenden Abschlussdokumentation vorgestellte Vorhaben „Vorplanung zur Sicherung / Minderung / Beseitigung Altsedimentdepot Mühlgraben Halle/Saale“ wurde im Rahmen der Umsetzung Sedimentmanagement-Konzeptes des Landes Sachsen-Anhalt im Auftrag des Landesbetriebs für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt, Sachbereich 5.1.1 im Zeitraum April bis Oktober 2014 durchgeführt. Neben Sachdaten zur Vertiefung des Prozessverständnisses sollten Lösungsansätze und Maßnahmen abgeleitet und in Form einer Vorplanung dokumentiert werden.

Zusammenfassend werden die ermittelten Erkenntnisse und planungsrelevanten Schlussfolgerungen gemäß der bearbeiteten Teilleistungen vorgestellt.

In Teilleistung 1 wurden aufgrund einer Auswertung der Bestandsunterlagen Kenntnisdefizite identifiziert und ein abgestimmtes Untersuchungsprogramm definiert. Dieses Programm enthielt insbesondere Felduntersuchungen zur Sediment- und Schadstoffverteilung (50 Querprofile mit 7 Probenahmestellen) sowie zum Schadstoffinventar (Parameterkatalog zur abfalltechnischen Einordnung gemäß LAGA in der Originalsubstanz und zur Bewertung gemäß FGG Elbe Sedimentmanagementkonzept im Feinkorn <63 µm). Die Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen stellen sich wie folgt dar:

- Eine horizontale Differenzierung in der Konzentrationsverteilung ist nicht möglich (z.B. Mündungsbereiche, Engstellen, Brücken etc.).
- Eine vertikale Differenzierung in der Konzentrationsverteilung ist ebenfalls nicht möglich (z.B. Jung-/Altsediment).
- Eine Differenzierung in der Konzentrationsverteilung für organische und anorganische Stoffgruppen ist nicht möglich.
- Eine Eluierung (Transfer Feststoff zu Porenwasser/freie Wassersäule) findet offensichtlich nicht statt.
- Der Mühlgraben-Abschnitt A1 „Ausleitung bis Mühlpforte (Neue Mühle)“ weist keine Feinsedimentkörper auf.
- Der Mühlgraben-Abschnitt A2 „Mühlpforte (Neue Mühle) bis Dreiergraben“ weist stromabwärts eine Zunahme des Feinsediments bis max. 2,2 m Mächtigkeit auf.
- Der Mühlgraben-Abschnitt A3 „Dreiergraben bis Steinmühlenbrücke“ ist in seiner Sedimentverteilung differenziert zu betrachten. Bis au f Höhe der Hochschule für Kunst und Design ist ein Rückgang des Feinsediments (max. 0,8 m mächtig) zu beobachten. Weiter stromabwärts ist bis zur Steinmühlenbrücke ein Zuwachs des Feinsediments bis max. 1,7 m Mächtigkeit nachzuweisen.

- Der Mühlgraben-Abschnitt A4 „Steinmühlenbrücke bis Einmündung Stromsaale “ weist in Richtung der Mündung eine Abnahme des Feinsediments auf. Unmittelbar nördlich der Steinmühle können die mächtigsten Feinsedimentkörper (max. 1,85 m mächtig) nachgewiesen werden.
- Neben Feinsedimenten gibt es im gesamten Verlauf des Mühlgrabens sandige Abschnitte und Lagen sowie ufernahe Bereiche mit Wasserbausteinen (Zugang Oberkante-Sediment gestört) sowie Treibgut.
- Anhand der erkundeten Sedimentmächtigkeiten und-verteilung wurde eine Sedimentvolumen von 12.853 m³ berechnet.
- Die Auswertung der Ergebnisse der Sedimentmächtigkeiten von 11/2011 und 11/2013 ergab eine Abnahme des Sedimentvolumens um ca. 2.200 m³. Dies sind konkrete Hinweise auf signifikante Umlagerungstätigkeiten im Mühlgraben während des Hochwassers im Juni 2013. Die aktuellen Untersuchungen aus dem Jahr 2014 bestätigen weitestgehend die Abnahme des Sedimentvolumens (2013: 6.138 m³, 2014: 6.235 m³).

Insgesamt konnten die Kenntnisdefizite geklärt werden. Die Ergebnisse der Recherchen bzgl. der Anforderungen an das Gewässer Mühlgraben ergaben, dass keine zusätzlichen Anforderungen im Rahmen von sedimentspezifischen Planungen berücksichtigt werden müssen.

Lösungsansätze wurden aufgrund der allgemeinen Zielstellung (Sicherung, Minderung, Beseitigung) und der besonderen Standortbedingungen (nur wasserseitiger Zugang, off-site Baggergut-Behandlung) abgeleitete. Auf Basis einer nichtmonetären und monetären Bewertung konnten 2 Vorzugsvarianten ermittelt werden:

- Variante V1: on-site Beräumung (Lösen und Heben) mittels Schwimmgreifer inkl. Vorentwässerung mit nachfolgender off-site Nachbehandlung und Konditionierung zur Entsorgung
- Variante V2.2: on-site Beräumung (Lösen und Heben) mittels Airlift-Verfahren inkl. Vorentwässerung mit nachfolgender off-site Nachbehandlung und Konditionierung zur Entsorgung

Aus fachgutachterlicher Sicht wurde die Variante V1 zu potenziellen Umsetzung empfohlen.

Hinsichtlich einer möglichen Vorplanung der Maßnahme können folgende Aussagen gemacht werden:

- Die Sedimentsituation ist hinreichend erfasst und die Kubatur akzeptabel abgeschätzt.
- Die Nutzungsansprüche wurden vollständig erfasst.
- Aus den Nutzungsansprüchen können keine prinzipiellen Ausschlussgründe für Maßnahmen abgeleitet werden.

- Belastungsschwerpunkte (Hot-Spots) können nicht definiert werden.
- Es liegt ein feststoffgebundener Schadstoffpool in den Mühlgraben-Abschnitten A2, A3 und A4 vor.
- Eine potenzielle Maßnahme muss für die gesamte Kubatur geplant werden.

Abschließend wurden im Rahmen einer Vorabstimmung zusätzliche Informationen zum möglichen Antrags- und Genehmigungsprozess eingeholt:

- Wasserrechtsantrag mit Bündelung über Untere Wasserbehörde, Stadt Halle/Saale
- Mehrere Scoping-Termine zur Vorbereitung und Begleitung des Antrags- bzw. Genehmigungsprozesses
- Durchführung einer UVP

Im Rahmen eines Planungsszenarios können relevante Daten zur möglichen Umsetzung abgeleitet werden. Mit nur 2 Übergabestationen für das vorentwässerte Nassbaggergut im Bereich „Ziegelwiese" (für Abschnitt A4)n und „Würfelwiese" (Abschnitte A3 und A2) wird der Flächenbedarf und die damit verbundenen Eingriffe minimiert. Mit dem Areal des ehemaligen Gasometers im Bereich „Holzplatz" wird eine Fläche zur Einrichtung eines Zwischenlagers und zur Konditionierung im Rahmen der off-site Nachbehandlung des Baggerguts vorgeschlagen, das trotz seiner relativen Nähe zu den zu beräumenden Abschnitten des Mühlgrabens keinen direkten Kontakt zu Wohnbebauung hat sowie eine beräumte und teilversiegelte Fläche in ausreichender Größe aufweist. Lagebedingt befindet sich die Fläche im überflutungsgefährdeten Bereich.

Die Abschlussdokumentation der durchgeführten Untersuchungen/Recherchen kann als Vorlage für Scoping-Termine und UVP dienen.

aufgestellt:

Dipl. Ing. Ulrike Knorr

Dipl. Geol. Sebastian Reinhardt

gez. Dr. rer. nat. Jürgen Thomas