Landesanstalt für Altlastenfreistellung

4011 GVV: Frachtreduzierung Schlüsselstollen

Bericht zum Arbeitspaket A: Ermittlung der Auswirkungen des Schlüsselstollens auf den partikelgebundenen Schadstofftransport in der Saale/Elbe

Auftraggeber: Landesanstalt für Altlastenfreistellung
des Landes Sachsen-Anhalt
Maxim-Gorki-Straße 10
D-39108 Magdeburg

Erstellt durch:

Plejades GmbH – Independent Experts

PLEJADES Projekt-Team
Hegelstraße 39
39104 Magdeburg

LAF Kennzeichen: LAF/GVV Schlüsselstollen
Plejades Projekt-Nr.: 07-26

Überarbeitete Berichtsfassung Februar 2014

Magdeburg, 28. September 2013

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

1. Zusammenfassung 7

2. Veranlassung und Überblick 8

2.1. Veranlassung, Aufgabenstellung 8

2.2. Anforderungen aus der Wasserrahmenrichtlinie 10

2.3. Einführung 10

2.4. Überblick zu bisher durchgeführten Untersuchungen 15

3. Bewertung historischer und aktueller Frachtentwicklungen auf der Grundlage vorhandener Daten 17

3.1. Zusammenfassung historischer und aktueller Abflüsse im Gebiet der Mansfelder Mulde 17

3.2. Anstieg der Abflüsse im Gebiet der Mansfelder Mulde im Zeitraum 2010 - 2011 19

3.3. Entwicklung der historischen und aktuellen Stollenwasserqualität 21

3.4. Verteilung der Inhaltsstoffe in der fließenden Welle und im Sediment des Schlüsselstollens und der Schlenze 34

4. Bewertung der aktuellen Untersuchungsergebnisse 43

4.1. Ergebnisse der Wasseruntersuchungen 44

4.2. Ergebnisse der Sediment- und Schwebstoffuntersuchungen 50

4.3. Frachtbetrachtung Schlüsselstollen 52

5. Entwicklung der Fließgewässergüte seit 1990 57

6. Zusammenfassende Beschreibung des Gesamtsystems 65

7. Schlussfolgerungen und Ausblick 68

T A B E L L E N

Tabelle 1: Ergebnisse der Vertikalprofilierung Niewandtschacht [TERRA DATA (2002)]. ...15

Tabelle 2: Geschätzte Salzfracht im Zeitraum 2007-2009 [GVV (2011)] 22

Tabelle 3: Mittelwerte für ausgewählte Parameter, Ionen und Metalle in den Stollenabflüssen der Wasserlösestollen, 2000-2009 [GVV (2011)].....31

Tabelle 4: Akkumulationsfaktoren der Biofilme Schlenze -Schlüsselstollen [MAGES (2006)].....41

Tabelle 5: Geschätzte Salzfrachten aus dem Schlüsselstollen im Zeitraum 2000-2011 [GVV (2011, 2012)] 52

Tabelle 6a: Anteil der Salz- und NaCl-Fracht aus dem Schlüsselstollen an der Salzfracht der Saale bei Groß Rosenburg [GVV (2011, 2012), LHW (2011a)] 52

Tabelle 6b: Anteil der Salz- und NaCl-Fracht aus dem Schlüsselstollen an der Salzfracht der Elbe bei Magdeburg [GVV (2011, 2012), LHW (2011a)].....53

Tabelle 7: Frachten für ausgewählte Schwermetalle und Arsen auf der Basis der Mittelwerte am Mundloch Schlüsselstollen, 2000-2009 [GVV (2011)].....53

Tabelle 8a: Frachten als „reale Fracht“ für ausgewählte Schwermetalle und Arsen auf der Basis der Frachtberechnungen entsprechend der in der FGG/IKSE abgestimmten Methoden, 2004-2012 [LHW (2012c)]. 54

Tabelle 8b: Frachten als „Trend“ für ausgewählte Schwermetalle und Arsen auf der Basis der Frachtberechnungen entsprechend der in der FGG/IKSE abgestimmten Methoden, 2004-2012 [LHW (2012c)]. 55

Tabelle 9: Vergleich der Frachtberechnungen für ausgewählte Schwermetalle und Arsen auf der Basis der Frachtberechnungen entsprechend der in der FGG/IKSE abgestimmten Methoden am Messpunkt Schlenze, Mündung Saale, und der arithmetischen Berechnungen aus Wasseranalysen und Jahresabfluss für den Schlüsselstollen 56

Tabelle 10: Theoretisch mögliche Erhöhung der Schadstoffgehalte in der Saale (Gesamtgehalte) unter Beachtung der mittleren Durchflüsse von Schlüsselstollen und der Saale bei Wettin (Basis: Einzelanalysen 2000-2009) 59

Tabelle 11: Theoretisch mögliche Erhöhung der Schadstoffgehalte im Schwebstoff der Saale unter Beachtung der mittleren Durchflüsse von Schlenze und der Saale bei Wettin (Basis: Einzelanalysen 2009-2010) 60

Tabelle 12: Vergleich der Schadstoffgehalte (Durchschnitt von Einzelproben) in Saale und Schlenze (vor Mündung in Saale, [LHW (2011a)]), mit den UQN der OgewV 62

Tabelle 13: Gegenüberstellung der Mittelwerte für Ionen und Metalle (Gesamtgehalte [1)]) aus der Überwachung im Rahmen des GÜSA [LHW (2011a)] mit der geogenen Hintergrundbelastung der aggregierten Flussgewässerlandschaften [C&E (2012)] 64

A B B I L D U N G E N

Abbildung 1a: Entwässerungsstollen und Wasserhebungsschwerpunkte in der Mansfelder Mulde [Strobel (2008)]; ergänzt wurde der Übertrittsbereich tiefes Grubenwasser in den Schlüsselstollen, hier mit dem dicken blauen Pfeil gekennzeichnet.....11

Abbildung 2: Wasserhaltungsschema der Entwässerungsstollen, Stand 1968 [Strobel (2008)] 12

Abbildung 3: Subsalinares Störungsinventar und Abbauentwicklung in der Mansfelder Mulde [Strobel (2008)] 14

Abbildung 4: Abfluss Schlüsselstollen und mittlerer Salzgehalt 1876 bis 2011 [GVV (2011, 2012)] 18

Abbildung 5: Grubenwasserabflüsse und Wasserentnahmen aus der Mansfelder Mulde seit 1962 [GVV (2011)].....18

Abbildung 6: Grubenwasserabflüsse Mansfelder und Sangerhäuser Reviere seit 1962 [GVV (2011)] 19

Abbildung 7: Mundloch Schlüsselstollen: Durchfluss und Gehalt an ausgewählten Inhaltsstoffen (12/2004 – 12/2011), [GVV (2011, 2012)].....20

Abbildung 8: Chlorid- und Sulfatgehalte am Stollenauslauf von Schlüsselstollen (SS), Zabenstedter Stollen (ZS), Froschmühlenstollen (FMS) und Segen-Gottes-Stollen (SGS) seit 1987 [GVV (2011)].....21

Abbildung 9: Abfluss Schlüsselstollen 1891 - 2000: Salzaustrag (NaCl) und Hohlraumbildung [TERRA DATA (2002)] 22

Abbildung 10a: Entwicklung der Chlorid- und Sulfatgehalte am Mundloch des Schlüsselstollens (SS) seit Flutungsbeginn; Monats- und Quartalswerte [GVV (2011, 2012)] 23

Abbildung 11: Zinkgehalte am Stollenauslauf von Schlüsselstollen (SS), Zabenstedter Stollen (ZS), Froschmühlenstollen (FMS) und Segen-Gottes-Stollen (SGS) seit 1987 [GVV (2011, 2012)] 25

Abbildung 12: Bleigehalte am Stollenauslauf von Schlüsselstollen (SS), Zabenstedter Stollen (ZS), Froschmühlenstollen (FMS) und Segen-Gottes-Stollen (SGS) seit 1987 [GVV (2011, 2012)] 26

Abbildung 13: Kupfergehalte am Stollenauslauf von Schlüsselstollen (SS), Zabenstedter Stollen (ZS), Froschmühlenstollen (FMS) und Segen-Gottes-Stollen (SGS) seit 1987 [GVV (2011, 2012)] 26

Abbildung 14: Cadmiumgehalte am Stollenauslauf von Schlüsselstollen (SS), Zabenstedter Stollen (ZS), Froschmühlenstollen (FMS) und Segen-Gottes-Stollen (SGS) seit 1987 [GVV (2011, 2012)] 27

Abbildung 15: Nickelgehalte am Stollenauslauf von Schlüsselstollen (SS), Zabenstedter Stollen (ZS), Froschmühlenstollen (FMS) und Segen-Gottes-Stollen (SGS) seit 1987 [GVV (2011, 2012)] 27

Abbildung 16: Arsengehalte am Stollenauslauf von Schlüsselstollen (SS), Zabenstedter Stollen (ZS), Froschmühlenstollen (FMS) und Segen-Gottes-Stollen (SGS) seit 1987 [GVV (2011, 2012)] 28

Abbildung 17: Vergleichsanalysen für Chlorid, Sulfat und Blei im Abstrom des Schlüsselstollens (Mundloch) im Zeitraum 1997-1999 [GVV (2011)] 29

Abbildung 18: Vergleichsanalysen für Blei, Kupfer und Cadmium im Abstrom des Schlüssel-stollens (Mundloch) im Zeitraum 1997-1999 [GVV (2011)] 30

Abbildung 19: Vergleich der Mittelwerte für ausgewählte Inhaltsstoffe in den Stollenabflüssen der Wasserlösestollen, 2000-2009 [GVV (2011)] 32

Abbildung 20: Vergleich der Mittelwerte der in den Stollenabflüssen der Wasserlösestollen bestimmten Ionen, 2000-2009 [GVV (2011)]; 32

Abbildung 21: Vergleich der Mittelwerte der in den Stollenabflüssen der Wasserlösestollen bestimmten Schwermetalle und Arsen, 2000-2009 [GVV (2011)]; 33

Abbildung 22: Vergleich der Mittelwerte der in den Stollenabflüssen der Wasserlösestollen bestimmten Schwermetalle und Arsen, ohne Zink, 2000-2009 [GVV (2011)]; 33

Abbildung 23: Probenahmepunkte untertage und am Mundloch Schlüsselstollen der Untersuchungen durch das UFZ 2007/2008 [UFZ (2009)] 34

Abbildung 24a: Konzentrationsverteilung im Verlauf des Schlüsselstollens für K, Mg, Ca, Zn; Probenahme am 13./14.06.2007 [UFZ (2009)] 35

Abbildung 25a: Konzentrationsverteilung im Verlauf des Schlüsselstollens für Sr, Mn, Co, Cu; Probenahme am 13./14.06.2007 [UFZ (2009)] 36

Abbildung 26: Konzentrationsverteilung im Verlauf des Schlüsselstollens für Fe und Pb; Probenahme am 13./14.06.2007 (links) und 14.-16.11.2007 (rechts) [UFZ (2009)] 36

Abbildung 27: Konzentrationsverteilung im Verlauf des Schlüsselstollens für Sulfat und Chlorid; Probenahme am 13./14.06.2007 (links) und 14.-16.11.2007 (rechts) 37

Abbildung 28: Konzentrationsverteilung im Verlauf des Schlüsselstollens für Cobalt; Probenahme am 13./14.06.2007 und Verwendung von zwei unterschiedlichen Analyseverfahren [UFZ (2009)] 37

Abbildung 29: Isotopenverteilung im Verlauf des Schlüsselstollens; Probenahme am 13./14.06.2007 [UFZ (2009)] 38

Abbildung 30: Konzentrationsverteilung im Sediment im Verlauf des Schlüsselstollens für ausgewählte Schwermetalle und Arsen [UFZ (2009)] 39

Abbildung 31: Konzentrationsverteilung im Sediment im Verlauf des Schlüsselstollens für ausgewählte Hauptinhaltsstoffe [UFZ (2009)] 40

Abbildung 32: Akkumulationsverhalten einiger ausgewählter Elemente am Biofilm, [Mages (2006)].....42

Abbildung 33: Probenahmepunkte zwischen Mundloch Schlüsselstollen und Saale (Beprobung 07/2011) 43

Abbildung 34: Konzentrationsverteilung im Verlauf Schlüsselstollen – Schlenze – Saale für Summenparameter, Beprobung 07/2011 45

Abbildung 35: Konzentrationsverteilung im Verlauf Schlüsselstollen – Schlenze – Saale für An- und Kationen, Beprobung 07/2011 45

Abbildung 36: Konzentrationsverteilung im Verlauf Schlüsselstollen – Schlenze – Saale für An- und Kationen (ohne NaCl), Beprobung 07/2011 46

Abbildung 37: Konzentrationsverteilung im Verlauf Schlüsselstollen – Schlenze – Saale für ausgewählte Schwermetalle, Beprobung 07/2011.....47

Abbildung 38a: Vergleich der Schwermetall- und Arsengehalte in den filtrierten Vergleichsproben (linke Probe: im Labor filtriert, rechte Probe: vor Ort filtriert), Beprobung 07/2011.....48

Abbildung 39: Gehalte der Schwermetalle und von Arsen im Sediment: Schlüsselstollen - Schlenze, Beprobung 07/2011.....50

Abbildung 40: Verteilung der Schwermetalle und von Arsen im Sediment: Schlüsselstollen - Schlenze, Beprobung 07/2011.....51

Abbildung 41: Gehalte ausgewählter Schwermetalle und von Arsen im Wasser der Saale, Messstelle Wettin (Nr. 310080 GÜSA), Einzelproben, Gesamtgehalt,.....57

Abbildung 42a: Gehalte (Mittelwerte) von As, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, U und Zn im Wasser der Saale zwischen Wettin und Groß Rosenburg [LHW (2011a)];.....58

Abbildung 43a: Gehalte (Mittelwerte) von ausgewählten Schwermetallen und Arsen im Schwebstoff der Saale im Vergleich zur theoretisch möglichen Gehaltszunahme durch den Eintrag der Schlenze [LHW (2011a)].....60

Abbildung 44: Mittlere Schwebstofffrachten 2003-2008 der Elbe an ausgewählten Bilanzprofilen und von Hauptnebenflüssen [LHW (2011c)].....67

Abbildung 45: Mediane Schwebstoffverhältnisse der Teileinzugsgebiete gegenüber der Fracht in Neu Darchau [Elbestudie (2007)] 67

1. Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht enthält die Ergebnisse der Recherchen und Untersuchungen zum Arbeitspaket A „Frachtreduzierung Schlüsselstollen“. Dafür wurden die vorhandene Literatur und alle verfügbaren Untersuchungsergebnisse chemischer Analytik bei GVV, LHW und UFZ recherchiert sowie die vorhandenen Daten von Durchflussmessungen bis einschließlich 2011 zusammengestellt.

Im Ergebnis liegt ein umfangreicher Datenfundus vor, welcher mit hinreichender Genauigkeit die grundsätzlichen Etappen der Erschließung des Kupferschieferbergbaus der Mansfelder Mulde und des Sangerhäuser Reviers beschreibt, sowie die Etappen der Wasserhaltung und der anschließenden Flutung. Die vorliegenden Daten des nachbergbaulichen Monitorings der GVV, des Gewässermonitorings des LHW sowie anderer Studien und Untersuchungen gestatten die Beschreibung des hydrodynamischen Systems Schlüsselstollen ebenfalls mit hinreichender Genauigkeit für die vorgegebene Zielstellung.

Mit Abschluss der Flutung am 21.04.1981 waren im Abbaubezirk Mansfelder Mulde zwischen 173 Mio. m³ und 214 Mio. m³ Gesamthohlraum geflutet und mehr als 200 Mio. Tonnen Salz über die Vorflut abgeleitet. Auf Grund des hohen Salzgehaltes (fast ausschließlich NaCl) im Flutungswasser bildete sich im gesamten Grubengebäude mindestens bis zum Überlaufpunkt Schlüsselstollen (ca. +74 m NN) eine Sole aus, welche in nur sehr begrenztem Umfang an der Hydrodynamik des Abflusses Schlüsselstollen beteiligt ist. Diese Hydrodynamik wird im Wesentlichen durch die Grundwässer aus der Grundwasserneubildung bestimmt und zeigt ein gleichbleibendes Verhalten seit Abschluss der Salzwasserüberleitung 1992.

Der Schlüsselstollen spielt die dominierende Rolle beim Stoffaustrag aus den ehemaligen Grubenbauen des Mansfelder Kupferschieferabbaus. Bei einem Anteil von etwa 74 % am Gesamtabfluss der Grubenwässer aus dem Bereich des ehem. Kupferschieferbergbaus des Südharzes (Sangerhäuser und Mansfelder Kupferschieferrevier) und etwa 89 % am Abfluss aus der Mansfelder Mulde beträgt sein Anteil an der NaCl-Fracht[1] aus dem Bereich des ehem. Kupferschieferbergbaus des Südharzes bis zu 97 % bzw. 99,9 % für die Mansfelder Mulde. Der Gehalt von durchschnittlich ca. 25-28 g/l NaCl im Wasser das Schlüsselstollens bewirkt trotz des ca. 300 – 500-fach geringeren Abflusses im Vergleich zur Saale, dass dieser bis zu 15 % der NaCl-Fracht der Saale (bei Groß Rosenburg) und bis zu 10 % der NaCl-Fracht der Elbe (bei Magdeburg) beiträgt.

Auch für die Metallfrachten bleibt der Schlüsselstollen die dominierende Schadstoffquelle im Abfluss der Mansfelder Mulde. So werden etwa 87 % des Arsengehalts[1] und 99 % des Zinkgehalts[1] über den Schlüsselstollen in die Vorflut abgeführt. Für den Bereich des ehem. Kupferschieferbergbaus des Südharzes insgesamt liegen die Werte bei ca. 68 % der Arsenfracht und 98 % für Zink.

Aufgrund der natürlichen, oberflächennahen Lagerung von Erzen und Salzlagern und der Jahrhunderte langen Bergbautätigkeit im Mansfelder Land ist die vorhandene Gewässerbelastung als *geogene Hintergrundbelastung mit anthropogener Überprägung* zu definieren.

---

[1] Mittlerer Frachtanteil für die Jahre 2007-2009

Sowohl die Frachtberechnungen aus Hochrechnungen gemittelter Einzelwerte von chemischen Analysen über den ermittelten Jahresabfluss als auch die Berechnung von Schadstoff-Jahresfrachten an Bezugsmessstellen im Rahmen des IKSE-Sediment-managements zeigen, dass der Einfluss der Schadstofffrachten des Schlüsselstollensystems auf die Wasserqualität von Schlenze und Saale differenziert zu betrachten ist. So bringen die Schwermetalle Zink, Blei, Kupfer, Cadmium, Nickel und Uran signifikante Frachtanteile in gelöster Form, wogegen Arsen und Chrom hier völlig unspezifisch bleiben und Quecksilber im Bereich bzw. unterhalb der Bestimmungsgrenzen detektiert wird. Im Schwebstoff bringt nur Blei signifikante Frachtanteile. Zink und Kupfer bringen Frachten von weniger als 1000 g/Tag, Arsen, Nickel und Chrom im Bereich von 10 g/Tag und Cadmium kleiner als 1 g/Tag. Quecksilber bleibt im Bereich der Bestimmungsgrenze.

Aufgrund dieser signifikanten Frachtanteile führt der Zufluss des Schlüsselstollens in der Schlenze für den kurzen Abschnitt bis zur Einmündung in die Saale zur Überschreitung der JD-UQN für Cadmium, Blei, Zink, Kupfer, Nickel und Arsen, da die Vorbelastung der Schlenze mit Schwermetallen und Arsen vor Zutritt des Schlüsselstollens vernachlässigbar ist. Ebenfalls wird die ZHK-UQN für Cadmium überschritten.

Nach Einmündung der Schlenze in die Saale steigen die Konzentrationen der schlüsselstollenspezifischen Metalle in der Gesamtfracht der Saale tlw. deutlich an, wobei die Beeinträchtigung der Saale durch den Schlüsselstollen bis auf Cadmium und Zink nicht zur Überschreitung der festgelegten Umweltqualitätsnormen für Oberflächengewässer (OgewV) führt. Die Überschreitung der JD-UQN für diese beiden Parameter wurde an den Überwachungsmessstellen Alsleben (Cd) und Nienburg (Zn) festgestellt.

Auf Grund dieser Überschreitungen ist es angemessen zu prüfen, ob es technisch realisierbare und verhältnismäßige Maßnahmen zur Frachtreduzierung des Schlüsselstollens gibt, die eine effektive Verbesserung der Gewässerqualität in der Saale bewirken können.

2. Veranlassung und Überblick

2.1. Veranlassung, Aufgabenstellung

Das ehemalige Mansfelder Kupferschieferrevier entwässert bis heute über den Schlüsselstollen und über die Schlenze und Saale in die Elbe. Als tiefster Wasserlösungsstollen fördert dieser die mit Abstand größten Wassermengen und somit relevante, weitestgehend geogen verursachte und anthropogen überprägte Metall- und Salzfrachten.

Auf der Grundlage der im Bearbeitungskonzept „Frachtreduzierung Schlüsselstollen“ formulierten Ziele sollen Maßnahmen zur Reduzierung von Schadstofffrachten geprüft und hinsichtlich ihrer großräumigen Wirkungen auf die Oberflächenwasserkörper von Saale und Elbe bewertet werden.

Im Ergebnis der gemeinsamen Besprechung von MLU, LHW, LAF und Plejades am 12.05.2011 [PLEJADES (2011)] waren in der weiteren Bearbeitung die nachfolgenden Festlegungen zugrunde zu legen:

1. Die Maßnahmenkonzepte der GVV für die Abschlussbetriebspläne wurden im Sinne des Bergrechtes (Abwehr von Gefahren für Mensch, Umwelt und Sachgütern Dritter) entwickelt. Eine Überprüfung mit Blick auf Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und die Oberflächengewässerverordnung (OgewV) ist sinnvoll.

   Es sollen u. a. die Grundlagen für eine Frachtabschätzung geschaffen werden. Von Interesse ist dabei eine Abschätzung der regionalen und großräumigen Auswirkungen der Maßnahmen ("Wirkungsprognose"). Die Wirkungsabschätzung wird mittels einfacher Bilanzierung und nicht durch eine Modellierung erfolgen, um den Aufwand und den zeitlichen Rahmen zu begrenzen.
2. Prognosen zur Stoffverfrachtung in Saale und Elbe erfolgen nur auf der Grundlage bereits vorhandener Daten; es werden hierzu keine neuen Daten im Rahmen des Projektes ermittelt. Ziel ist die Abschätzung der Größenordnungen, nicht eine Modellierung.
3. Übereinstimmend wird festgestellt, dass eine für alle Seiten akzeptable Formulierung für die Beschreibung der vorhandenen Gewässerbelastung gefunden werden muss, welche sowohl die hohen natürlichen (geogen bedingten) Hintergrundgehalte berücksichtigt, als auch den Einfluss des Jahrhunderte währenden Bergbaus.
4. Die Bewertung im Rahmen der Projektstudie beschränkt sich ausschließlich auf mögliche Maßnahmen im Zuständigkeitsbereich der GVV (hierzu gehört der Schlüsselstollen) mit Bewertung der Wirkung auf nachfolgende Gewässer. Mögliche Maßnahmen außerhalb des Projektbereiches GVV (wie z. B. Bewirtschaftung der Staustufen) werden im Bericht genannt, jedoch nicht analog der Maßnahmen innerhalb des Projektes GVV bewertet.

Im Rahmen des Projektes "Frachtreduzierung Schlüsselstollen" sollen daher folgende Schwerpunkte bearbeitet werden:

- Ermittlung der Auswirkungen des Schlüsselstollens auf den Schadstofftransport in Schlenze, Saale und Elbe,
- Überprüfung und Bewertung der grundsätzlichen Möglichkeiten zur Frachtreduzierung unter Berücksichtigung der laufenden und bereits geplanter Maßnahmen in der Mansfelder Mulde,
- Wirkungsabschätzung der Maßnahmen und Prognose der daraus folgenden regionalen und überregionalen Auswirkungen auf den Zustand der Gewässer.

Der Schlüsselstollen befindet sich in der Zuständigkeit der GVV mbH in Sondershausen, die für die Maßnahmen zur Verwahrung stillgelegter Bergbaubetriebe in Sachsen-Anhalt durch das Land Sachsen-Anhalt, vertreten durch die LAF in Magdeburg, freigestellt ist.

Entsprechend der Festlegung in der Besprechung vom 29.05.2012 [PLEJADES (2012)] sind getrennte Berichte für die Ermittlung der Auswirkungen des Schlüsselstollens auf den partikelgebundenen Schadstofftransport in der Saale/Elbe (Arbeitspaket A) und die Bewertung von technisch realisierbaren und verhältnismäßigen Maßnahmen (Arbeitspaket B) vorzulegen.

2.2. Anforderungen aus der Wasserrahmenrichtlinie

Mit dem In-Kraft-Treten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) wurden weitreichende Neuregelungen für den Gewässerschutz in Europa geschaffen. Ziel dieser Regelungen ist das Erreichen eines guten Zustandes bis 2015 für möglichst viele Wasserkörper (Oberflächen- und Grundwasserkörper). Fristverlängerungen sind unter entsprechenden Bedingungen bis 2027 möglich. Weitere Regelungen hierzu sind in der „Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer“ (Oberflächengewässerverordnung – OgewV) enthalten.

Aus Untersuchungen zur Erfassung der Qualität der Elbe und ihres Einzugsbereiches ist bekannt, dass insbesondere einige ihrer Nebenflüsse in ihrer Qualität so beeinträchtigt sind, dass ein Erreichen des guten Zustandes bis 2015 in Frage gestellt ist. Ursache hierfür ist die Verfrachtung der relevanten Schadstoffe, sowohl in gelöster als auch zu einem wesentlichen Teil in partikulärer Form. Dabei stammen die relevanten Schadstoffe im Wesentlichen aus früherer industrieller und bergbaulicher Nutzung bzw. aus den bergbaulich bedingten Veränderungen der geogenen Gegebenheiten.

Mit Änderung der Oberflächengewässerverordnung – OgewV vom 20. Juli 2011 finden bei der Bewertung der Umweltqualitätsnormen auch natürliche Hintergrundkonzentrationen entsprechende Berücksichtigung. Danach kann für einen Schadstoff nach Anlage 5 oder 7, bei welchem die natürliche Hintergrundkonzentration im zu beurteilenden Oberflächen-wasserkörper die Umweltqualitätsnorm überschreitet, die zuständige Behörde eine abweichende Umweltqualitätsnorm unter Berücksichtigung der Hintergrundkonzentration für diesen Oberflächenwasserkörper festlegen.

2.3. Einführung

Bereits im 18. Jahrhundert begannen erste Arbeiten zur Entwässerung der unter dem Katzenthaler Stollen liegenden Erzfelder des preußischen Katzenthaler Reviers im Nordostteil der Mansfelder Mulde. Nach Wiederaufnahme eines umfangreichen Kupferschieferabbaus um 1800 wurde ab Dezember 1809 der ehemalige preußische „Friedeburgische neue Haupt- und Erbstollen" als „Tiefer Mansfelder Schlüsselstollen" weitergefahren. Dies gewährleistete eine grundsätzliche Wasserlösung der gesamten Mansfelder Mulde unterhalb der damals tiefsten Stollen: Froschmühlenstollen, Johann-Friedrich-Stollen und Zabenstedter Stollen [JANKOWSKI (1983)]. Das Mundloch befindet sich in einer Höhe von 71,6 m NN.

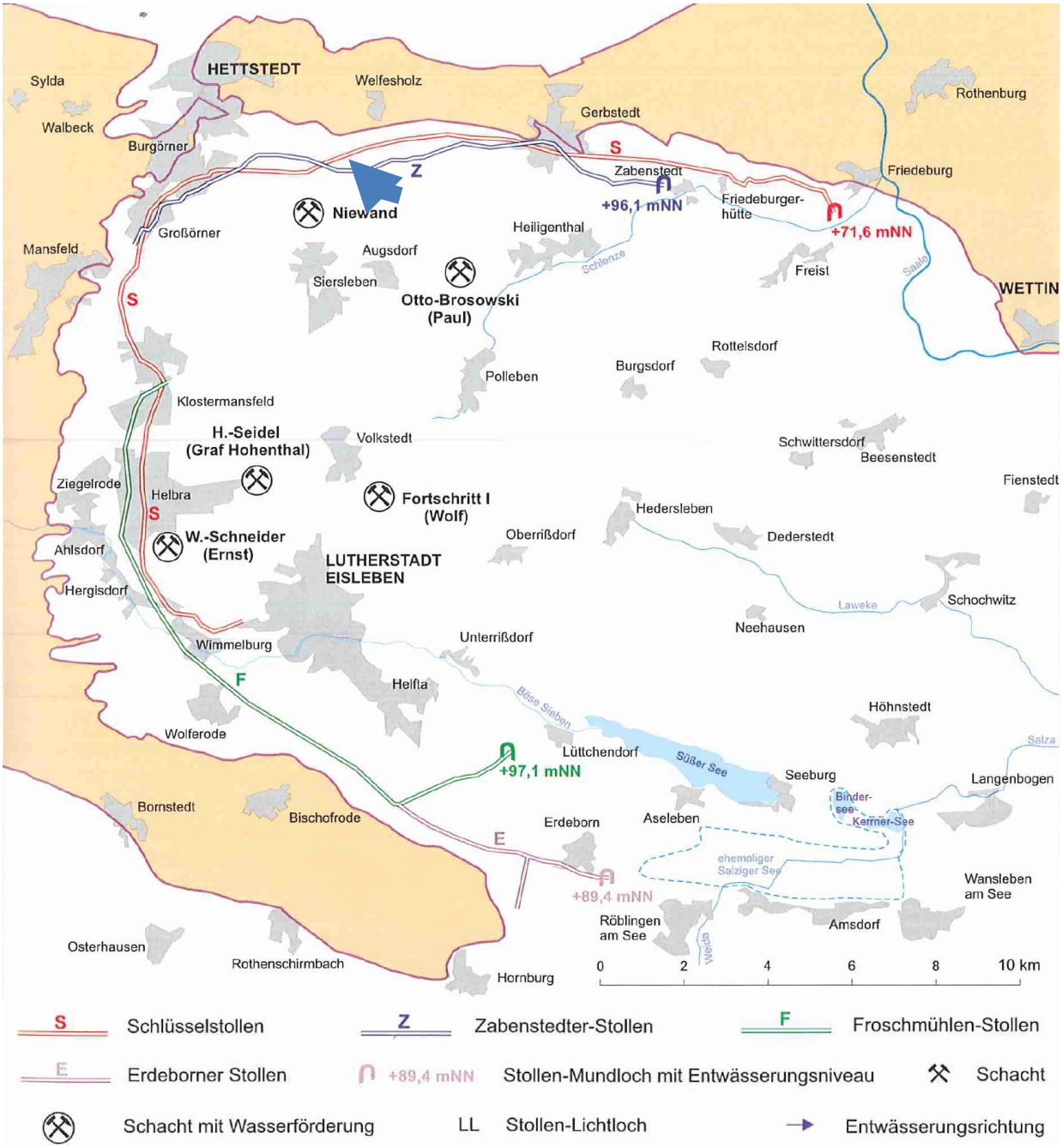


Abbildung 1a: Entwässerungsstollen und Wasserhebungsschwerpunkte in der Mansfelder Mulde [Strobel (2008)]; ergänzt wurde der Übertrittsbereich tiefes Grubenwasser in den Schlüsselstollen, hier mit dem dicken blauen Pfeil gekennzeichnet.

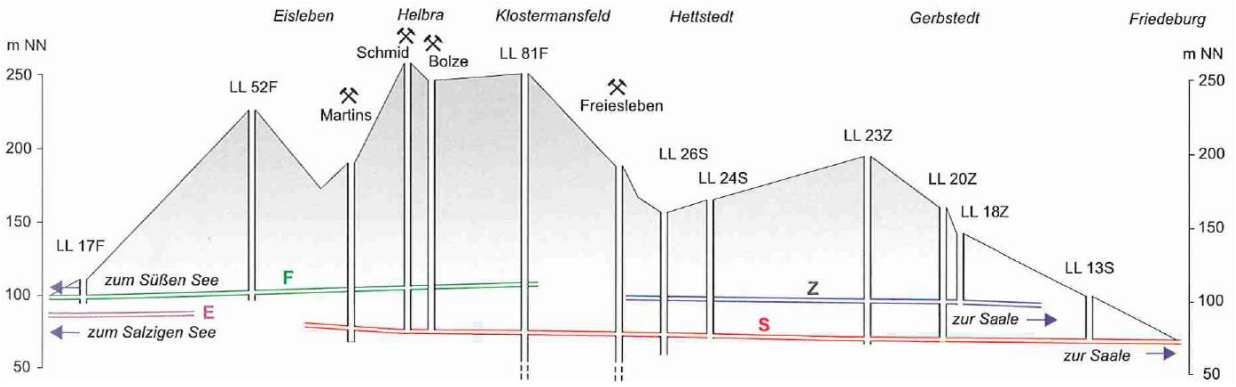


Abbildung 1b: Entwässerungsstollen und Wasserhebungsschwerpunkte in der Mansfelder Mulde, Schnitt längs der maßgeblichen Wasserlösestollen [Strobel (2008)], Legende s. Abb. 1a

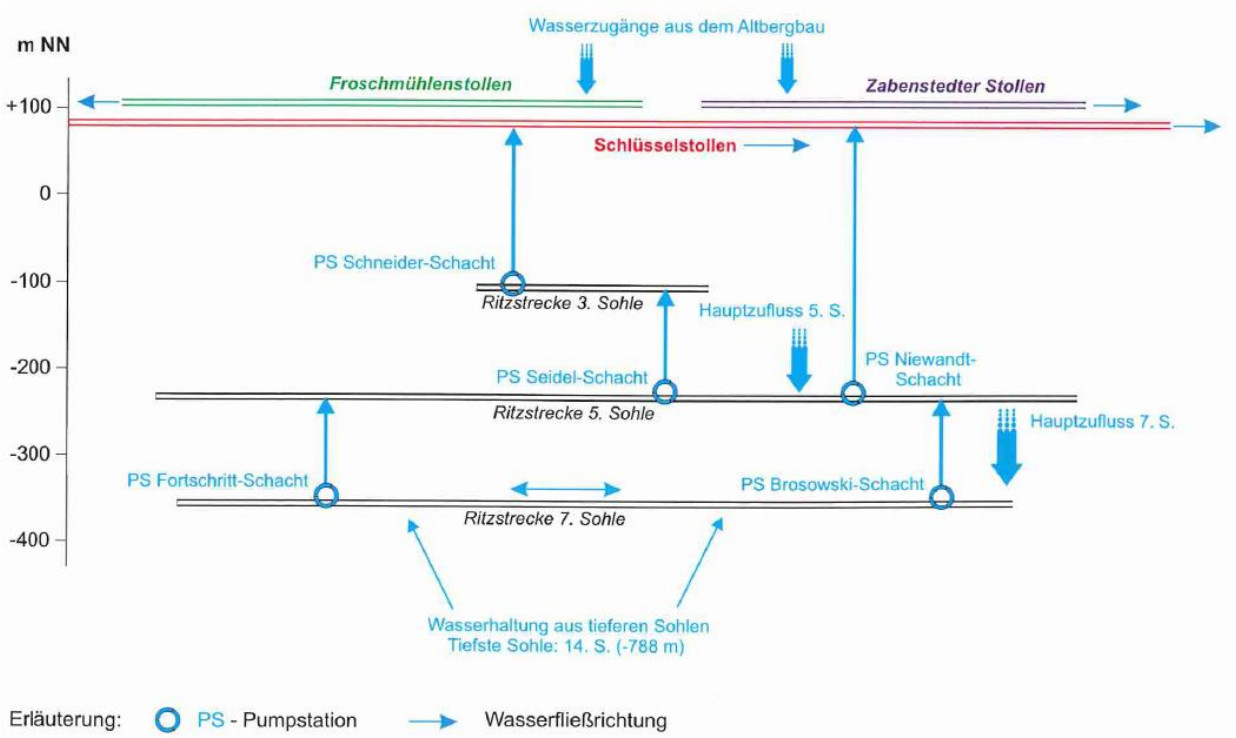


Abbildung 2: Wasserhaltungsschema der Entwässerungsstollen, Stand 1968 [Strobel (2008)]

Von Beginn an bereiteten insbesondere die großen anfallenden Wassermengen erhebliche Schwierigkeiten beim Vortrieb, so dass ab 1847 Gegenvortriebe eingerichtet wurden und schließlich nach 70 Jahren Bauzeit mit dem Durchschlag des Schlüsselstollens zwischen den Mansfelder und Eisleber Revieren am 29. Mai 1879 die Hauptbaumaßnahme ihren Abschluss fand. Mit 31,06 km Länge und nahezu söhligem Verlauf ist dies einer der längsten Stollen Europas. Die ersten Messungen am Mundloch 1879 belegen einen Abfluss von 21,3 m³/min. Mit Abteufen des letzten Lichtlochs vom Schlüsselstollen (Otto V) und dem Anschluss des Segen-Gottes-Schachtes waren 1891 alle Bauarbeiten am Schlüsselstollen abgeschlossen.

Einen Überblick über den Verlauf des Schlüsselstollens im Randbereich der Mansfelder Mulde, sowie die Lagebeziehung zu den anderen wesentlichen Wasserlösestollen im Revier gibt Abbildung 1. Abbildung 2 zeigt schematisch das Wasserhaltungsschema gegen Ende des aktiven Bergbaus. Über die Wasserhebungsanlagen und letztlich den Schlüsselstollen wurden bis in die 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts jährlich zwischen 10 und 25 Mio. m³ Salzwasser (19 - 48 m³/min) mit einer Salzfracht von 2 - 4 Mio. t/a in die Saale abgeführt.

Die Wasserhaltung unterhalb des Schlüsselstollens wurde am 01.07.1970 eingestellt; 1980/81 erfolgte die Vorbereitung des Überlaufs der angestauten Mansfelder Mulde in den Schlüsselstollen am Glückhilfschacht.

Aus dem Hangenden der Abbaue (im Wesentlichen oberhalb des Schlüsselstollens) wurden bis 1992 zusätzlich zur Grubenwasserhaltung jährlich ca. 6 Mio. m³ Trink- und Brauchwasser (d. h. Süßwasser) gehoben. Diese Wassermenge sitzt allen Wasserlösestollen zu (inkl. Schlüsselstollen) und erreicht über diese die Vorflut. Während die Abflüsse an den Mundlöchern von Zabenstedter und Froschmühlstollen gemessen werden können, ist die Zusickerung von Süßwasser in den Schlüsselstollen nicht quantifizierbar.

Belegt ist, dass während der Flutung der Mansfelder Mulde eine deutliche Aussüßung des aus dem Schlüsselstollen austretenden Wassers eingetreten ist. Zu diesem Zeitpunkt betrug der durchschnittliche Abfluss des Schlüsselstollens 5,15 m³/min, die Chlorid- und Sulfatgehalte lagen tlw. deutlich unter 1 g/l.

Nach Abschluss der Flutung setzte zunächst ein starker Anstieg der Salzfrachten ein, verbunden mit einer Erhöhung des Abflusses bis auf über 40 m³/min, was auf die Zuführung von Grubenwasser aus dem Sangerhäuser Revier zurückzuführen war. Diese wurden mittels einer Salzwasserleitung aus dem Bereich des Grubenfeldes des T.-Müntzer-Schachts über Schluckbrunnen am Bolzeschacht in den Flutungsbereich Mansfelder Mulde abgeschlagen und erreichten Abflussmengen bis 17,5 m³/min (1988). Die Salzwasserleitung wurde 1992 eingestellt.

Der derzeitige mittlere jährliche Abfluss, gemessen am Mundloch des Schlüsselstollens, beträgt für die Jahre 1992-2009 22,52 m³/min. Für das Jahr 2010 wurden im Mittel deutlich höhere Abflüsse gemessen: 34,5 m³/min.

Eine zuverlässige Abschätzung des möglichen mobilisierbaren (Schad-)Stoffinventars ist nur dann möglich, wenn die geologischen (geologisch-tektonischen) und bergbaulichen Rahmenbedingungen hinreichend genau charakterisiert werden können. Für die Mansfelder Mulde liegen dazu umfangreiche und ausreichende Untersuchungen vor, welche sowohl die Abbauentwicklung und die Grubenwasserhaltung während des Abbaus als auch den Verlauf der anschließenden Flutung beschreiben.

In Abbildung 3 sind der Ausstrich des Kupferschieferflözes sowie dessen Einfallen und die Entwicklung der Abbaubereiche dargestellt. Hieraus und aus Abbildung 1 ist gut zu erkennen, dass die bergbauliche Entwässerung generell im Randbereich der Mulde im Bereich des Kupferschieferausstrichs erfolgte und sich auch heute noch dort befindet.

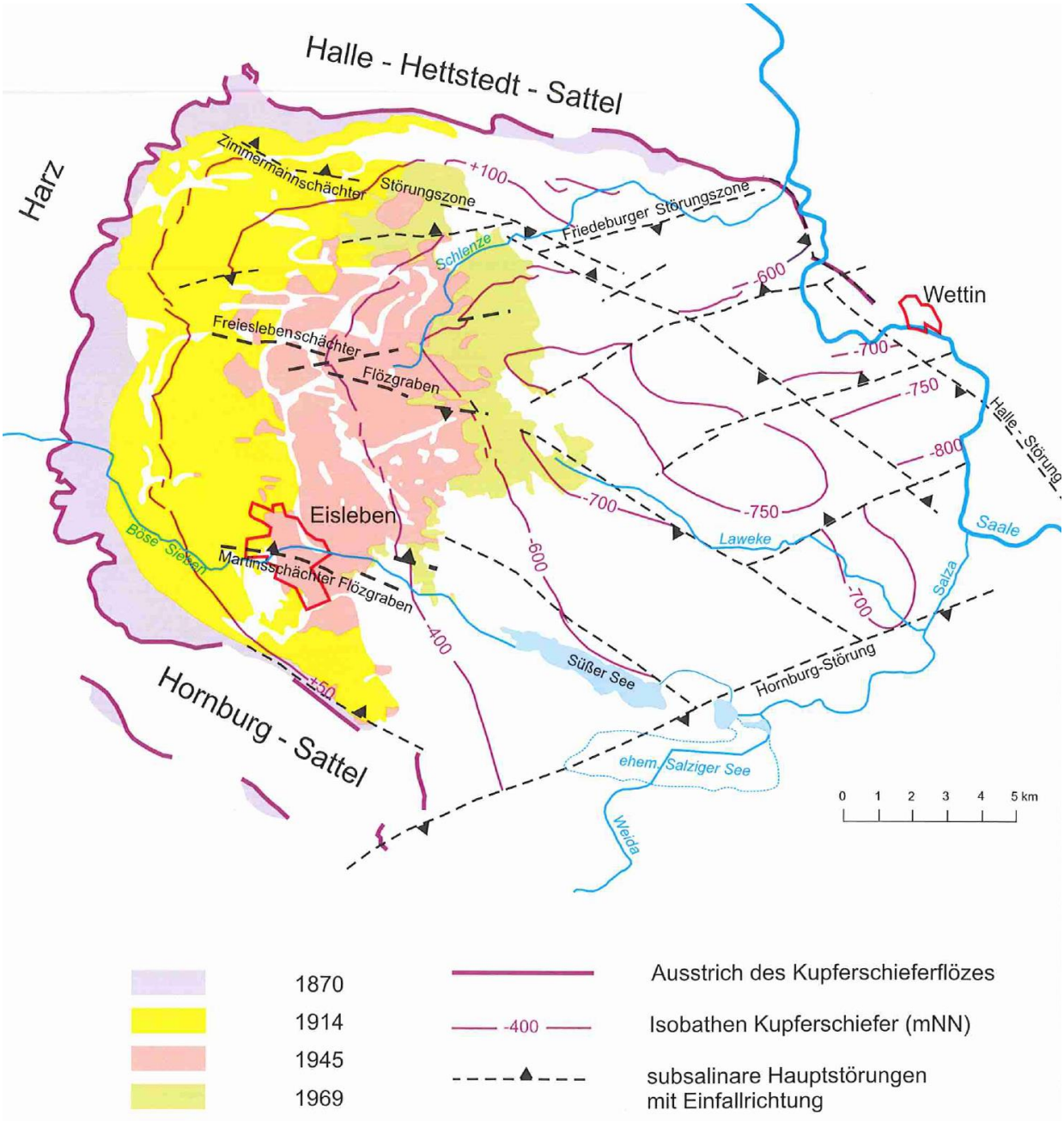


Abbildung 3: Subsalinares Störungsinventar und Abbauentwicklung in der Mansfelder Mulde [Strobel (2008)]

Der Überlaufpunkt[2] für die Anstauwässer in den Schlüsselstollen bei ca. +74 m NN bewirkt, dass aufgrund der höheren Dichte der Salzwässer kaum Austausch mit den oberflächennah

[2] Am sogenannten Überlaufpunkt im Bereich des Glückshilfsschachtes entlastet als tiefster Anschlusspunkt der Grubenbaue mit dem Schlüsselstollen das Grubenwasser der Mansfelder Mulde in den Schlüsselstollen. In der Praxis handelt es sich weniger um einen spezifizierbaren Punkt sondern um einen Bereich: so tritt auch oberstrom bereits Grubenwasser dem Schlüsselstollen zu. Der Überlaufpunkt ist die hydraulisch tiefste

deutlich geringer salzhaltigen Wässern stattfindet. Dies ist insoweit von Bedeutung als dass sich im Anstaubereich das Hauptschadenspotential befindet, da die tiefen Salzwässer deutlich höhere Schwermetallgehalte aufweisen.

Die Vertikalprofilierung im Niewandschacht am 29.09.1996 ergab folgende Werte:

Tabelle 1: Ergebnisse der Vertikalprofilierung Niewandtschacht [TERRA DATA (2002)].

Teufe	pH Wert	Cl [g/l]	SO_4 [g/l]	Mg [g/l]	Pb [mg/l]	Cd [mg/l]	Cu [mg/l]
ca. +80 m NN (ca. +80 bis -20 m NN)	7,45	7,35	2,043	0,149	<0,001	0,013	0,024
ca. -85 m NN (ca. -20 bis -225 m NN)	4,84	154,0	2,642	2,418	6,9	0,76	0,33
ca. -235 m NN (ca. -225 bis -240 m NN)	5,58	171,7	2,882	3,67	51,9	1,07	0,43

Seit Einstellung der Salzwasserüberleitung aus dem Sangerhäuser Revier (1992) weist der Abfluss des Schlüsselstollens vergleichbare Salz- und Metallgehalte auf (s. Kap. 3.2), wie sie im oberen Teufenbereich der Vertikalprofilierung gemessen wurden.

Vor diesem Hintergrund soll versucht werden, das Frachtpotential für eine Schadstoff-verlagerung abzuschätzen.

2.4. Überblick zu bisher durchgeführten Untersuchungen

Neben einer Vielzahl von Veröffentlichungen zur Geologie der Mansfelder Mulde und zum Kupferschieferbergbau liegen insbesondere mit Beginn der Flutung eine Vielzahl von Veröffentlichungen zur Wasserhaltung und Flutung der Mansfelder Mulde und den sich verändernden Abflussverhältnissen vor [KIEL (1958), JANKOWSKI (1983), ARGE GFE (1992), TERRA DATA (2002), Strobel (2008)].

Aus der aktiven Bergbauzeit sind nur relativ wenige Angaben zu Abflüssen und Salzfrachten vorhanden. Eine wichtige Quelle ist [KIEL (1958)], wo umfangreiches Datenmaterial zur Wasserhaltung der Mansfelder Mulde bis Ende der 1950er Jahre ausgewertet wurde. Eine Weiterführung der Datenzusammenstellung bis Ende der 1980er Jahre erfolgte in [ARGE GFE (1992)] und für den Zeitraum bis 2000 in [TERRA DATA (2002)].

Obwohl bereits in den 1980er Jahren Schwermetallfrachten in Fließgewässern auch Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen waren [ARGE Elbe (1988)], traten erst mit Beginn der 1990er Jahre und insbesondere nach Einführung einer umfassenden Umweltgesetzgebung (WRRL) neben den in die Saale abgeleiteten Salzfrachten zunehmend auch die Metallfrachten in den Mittelpunkt des Interesses. Dabei erfolgte die Betrachtung nicht allein losgelöst für den Bereich der Mansfelder Mulde (Stoffaustrag Mansfelder Mulde → Schlüsselstollen → Schlenze → Saale), sondern weitergefasst für den gesamten Saaleverlauf und die Elbe [TRANSMET (2004), Elbestudie (2007), GKSS (1997), SEDYMO (2006), KRAFT

Verbindung und somit maßgeblich für hydraulische Berechnungen und Betrachtungen einer hydraulischen Abriegelung des Grubengebäudes.

(2007) u. a.]. Weiterhin wird auf Untersuchungen im Rahmen aktueller Messprogramme des LHW (GÜSA) und der GVV [GVV (2011, 2012)] hingewiesen.

Als Bestandteil des Schadstoffkonzeptes 2010-2012 sollen im Rahmen des Sedimentmanagementkonzeptes des Landes Sachsen-Anhalt bis Ende 2012 die Grundlagen für zielgerichtete Maßnahmen bzw. für die ggf. erforderliche Inanspruchnahme von Ausnahmen gemäß Art. 4 EG-WRRL geschaffen werden. Die Arbeiten hierzu erfolgen durch die ad-hoc AG Schadstoffe unter Leitung des LHW [LHW (2011d)].

Neben einem umfangreichen Datenbestand zur Verteilung gelöster und partikulär gebundener Schwermetalle in der Elbe und ihren Nebenflüssen liegen spezielle Untersuchungen zur Schwermetallbindung an/im Sediment, zum Remobilisierungsverhalten und zur Bindung an/auf Biofilmen vor [LORENZ (1997), MAGES (2006), ROSS (2008), KRAFT (2007)].

3. Bewertung historischer und aktueller Frachtentwicklungen auf der Grundlage vorhandener Daten

3.1. Zusammenfassung historischer und aktueller Abflüsse im Gebiet der Mansfelder Mulde

Über den Schlüsselstollen wurden seit Mitte 1884 bis zum Auflassen der Wasserhaltung am 01.07.1970 die gesamten salzhaltigen Grubenwässer des Mansfelder Grubengebäudes (164,82 km²) zwischen -787,7 m NN und +73,8 m NN in die Vorflut abgeleitet. Zusätzlich erfolgte zwischen 1982 und 1992 die Überleitung von Salzwasser aus dem Sangerhäuser Revier in den Bolzeschacht (Salzwasserleitung) und über diesen und den Überlauf Glückhilfsschacht in den Schlüsselstollen und letztlich in die Saale [ARGE GFE (1992)].

Nach [ARGE GFE (1992)] wurden im Zeitraum 1915 – 1968 im Mittel 30,6 m³/min Grubenwasser gehoben, wobei die Anteile regional und vertikal wie folgt untergliedert werden können:

Süßwasserbereich oberhalb Schlüsselstollen	4,9 m³/min	16 %
Salzwasserbereich unterhalb Schlüsselstollen	25,7 m³/min	84 %
gesamt	30,3 m³/min	100 %

Dabei betragen die Salzwasserzuflüsse im südlichen Zuflussbereich oberhalb der 5. Tiefbausohle 21,7 m³/min (71 % der Gesamtwassermenge) und im nördlichen Zuflussbereich unterhalb der 5. Tiefbausohle 4,0 m³/min (13 % der Gesamtwassermenge).

Die am 01.07.1970 erfolgte Flutung des bergmännischen und natürlichen Hohlraums war am 21.04.1981 abgeschlossen. Hinsichtlich des insgesamt gefluteten Hohlraums liegen unterschiedliche Zahlen vor.

	[ARGE GFE (1992)]	[TERRA DATA (2002)]
gefluteter bergmännischer Hohlraum	43,937 Mio m³	44 Mio m³
gefluteter natürlicher Hohlraum	170,0 Mio m³	129 Mio m³
Gesamthohlraum	ca. 214 Mio m³	173 Mio m³

Mit Erreichen des Schlüsselstollenniveaus als Flutungsziel wurden ehemalige Quellaustritte wieder aktiviert, zusätzliche Salzwasseraustritte erfolgten in Gebieten, wo zusätzliche Verbindungswege zu den Karstsystemen geschaffen wurden [ARGE GFE (1992)]. Generell erfolgt die prä- und postmontane Entlastung der Mansfelder Mulde über verschiedene Bäche und Gräben letztlich in die Saale zwischen den Einmündungen von Salza und Schlenze, wobei in der Literatur als Entlastungsgebiet das Saaletal zwischen Wettin und Rothenburg angegeben wird. Aufgrund des hydraulischen Gefälles von ca. 4 – 7 m zwischen den Anstauwässern im Südteil der Mansfelder Mulde (Bereich Eisleben-Wimmelburg, ca. 81 – 78 m NN) und dem Überlaufpunkt Glückhilfsschacht (ca. 74 m NN) entlasten die Anstauwässer im Wesentlichen über den Schlüsselstollen. Das Gebiet des ehem. Salzigen Sees (Bindersee, Kerner See) war und ist prinzipiell auch Entlastungsgebiet, für Frachtbetrachtungen aus dem Anstaubereich jedoch unerheblich.

Einen Überblick über die Entwicklung der Abflüsse am Schlüsselstollen gibt Abbildung 4. Hier sind gut die höheren Stollenabflüsse vor 1907 und nach 1952 zu sehen. Die hohen Abflüsse vor 1907 beruhen auf wiederholten Wassereinbrüchen im Südteil der Mansfelder Mulde zwischen 1884 und 1907, die höheren Abflüsse nach 1952 auf Wassereinbrüchen im Nordteil der Mansfelder Mulde.

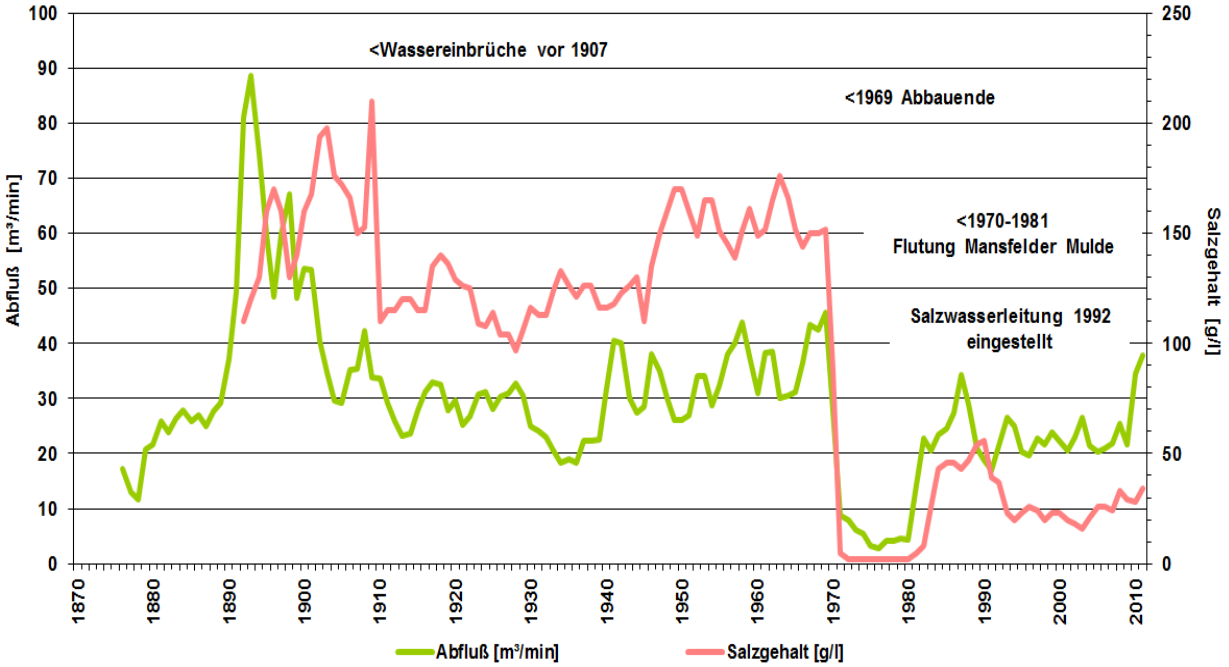


Abbildung 4: Abfluss Schlüsselstollen und mittlerer Salzgehalt 1876 bis 2011 [GVV (2011, 2012)]

Abbildung 5 gibt einen Überblick über die Gesamtentnahmen von Wasser aus dem Bereich der Mansfelder Mulde während der letzten Jahre des aktiven Bergbaus, der anschließenden Flutung und heute.

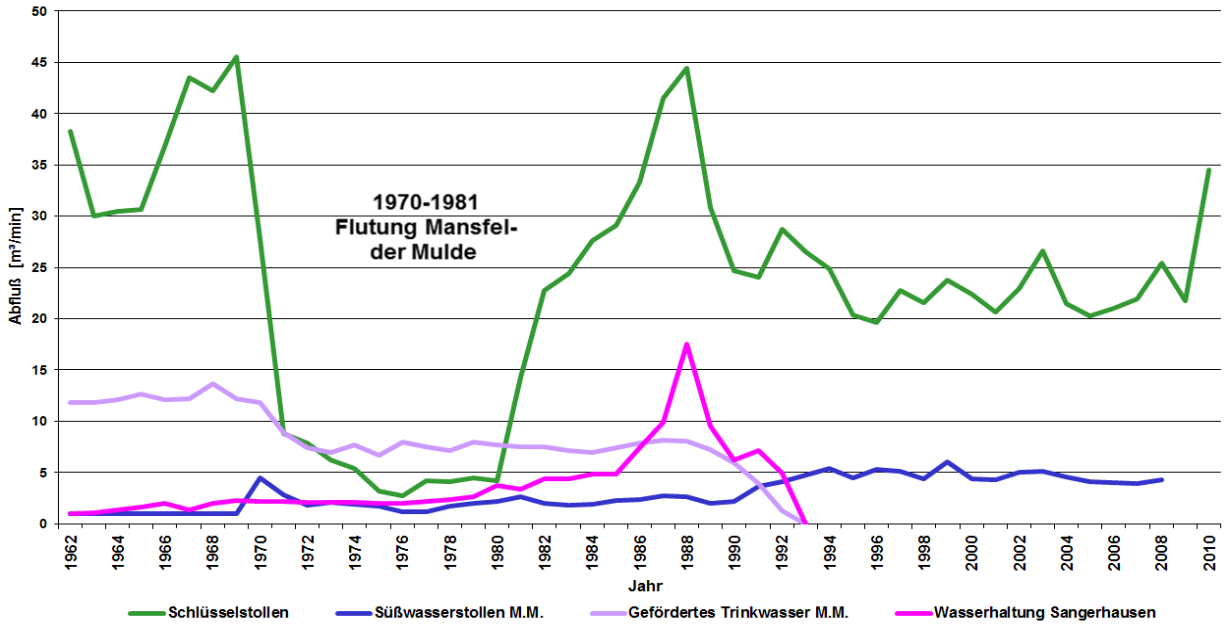


Abbildung 5: Grubenwasserabflüsse und Wasserentnahmen aus der Mansfelder Mulde seit 1962 [GVV (2011)]

Die Süßwasserstollen der Mansfelder Mulde umfassen den Zabenstedter und den Froschmühlenstollen. Für den Erdeborner Stollen liegen keine längeren Datenreihen vor, der Abfluss beträgt geschätzt 1,5 m³/min [WURBS (2005)].

Die insbesondere während der Zeit des aktiven Bergbaus betriebene Trinkwasserförderung wurde 1992 eingestellt ebenso wie die Überleitung von Grubenwässern aus dem Sangerhäuser Revier über die Salzwasserleitung. Der derzeitige mittlere jährliche Abfluss des Schlüsselstollens beträgt, bezogen auf die Jahre 1992-2009 etwa 22,5 m³/min. Dies ist etwa die 4,5-fache Menge des Süßwasserabflusses aus den Hangendbereichen

Ein Vergleich der Abflüsse aus der Mansfelder Mulde und dem Sangerhäuser Revier zeigt, dass der wesentliche Gesamtabfluss aus dem Sangerhäuser Revier (Segen-Gottes-Stollen) in etwa die Größenordnung der Süßwasserabflüsse der Mansfelder Mulde besitzt (Abbildung 6).

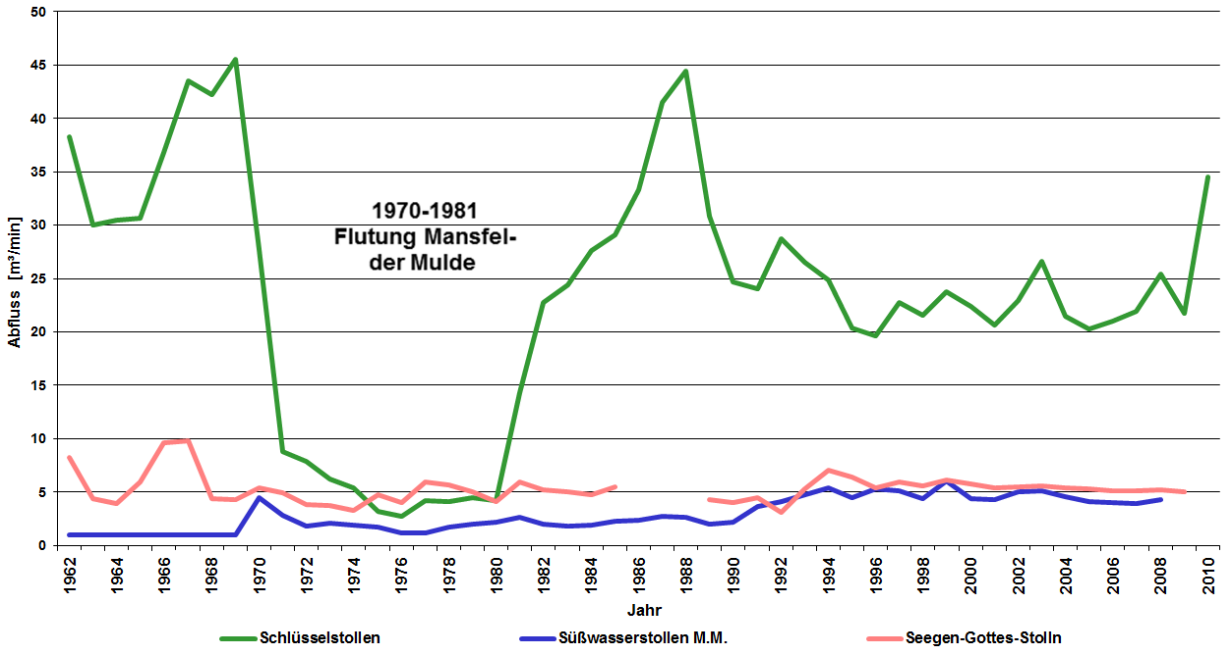


Abbildung 6: Grubenwasserabflüsse Mansfelder und Sangerhäuser Reviere seit 1962 [GVV (2011)]

3.2. Anstieg der Abflüsse im Gebiet der Mansfelder Mulde im Zeitraum 2010 - 2011

Mit Beginn des Jahres 2010 stiegen die Abflüsse im Schlüsselstollen deutlich an und erreichten im Februar-März 2011 mehr als doppelt so hohe Werte (> 50 m³/min, s. Abbildung 7) wie das langjährige Abflussmittel der Jahre 1992-2009. Aufgrund des sehr schnellen Anstiegs und der extrem hohen Abflüsse insbesondere im Februar-März 2011 war nicht auszuschließen, dass Ereignisse im Grubengebäude zu einem derartigen Anstieg beigetragen haben könnten. Nachdem ab Mai 2011 die Abflüsse wieder stark zurückgegangen sind und seit November 2011 im Bereich des langjährigen Mittels liegen und eine erste Auswertung der GVV keine Hinweise auf geologische / grubentechnische Ursachen erkennen lässt [GVV (2012)] kann festgestellt werden, dass die hohen Abflüsse der Jahre 2010 und 2011 nicht auf geänderte Randbedingungen im Bereich des Grubengebäudes zurückzuführen sind, sondern auf klimatisch bedingte Schwankungen. Dies wird durch die Niederschlags-

entwicklung in Sachsen Anhalt in diesem Zeitraum bestätigt. In einem Schreiben des LHW vom 12.08.2011 heißt es hierzu:„ Die hohen Grundwasserstände in den vergangenen Monaten dokumentieren eine Extremsituation, die hauptsächlich durch sehr starke Niederschläge verursacht worden ist. Verschärft wurde die Situation durch eine Tauwetterperiode, Hochwasserführung in den Flüssen und Bildung von Staunässe. Diese Extremsituation betraf bundesweit besonders das Land Sachsen-Anhalt [LHW (2011b)].

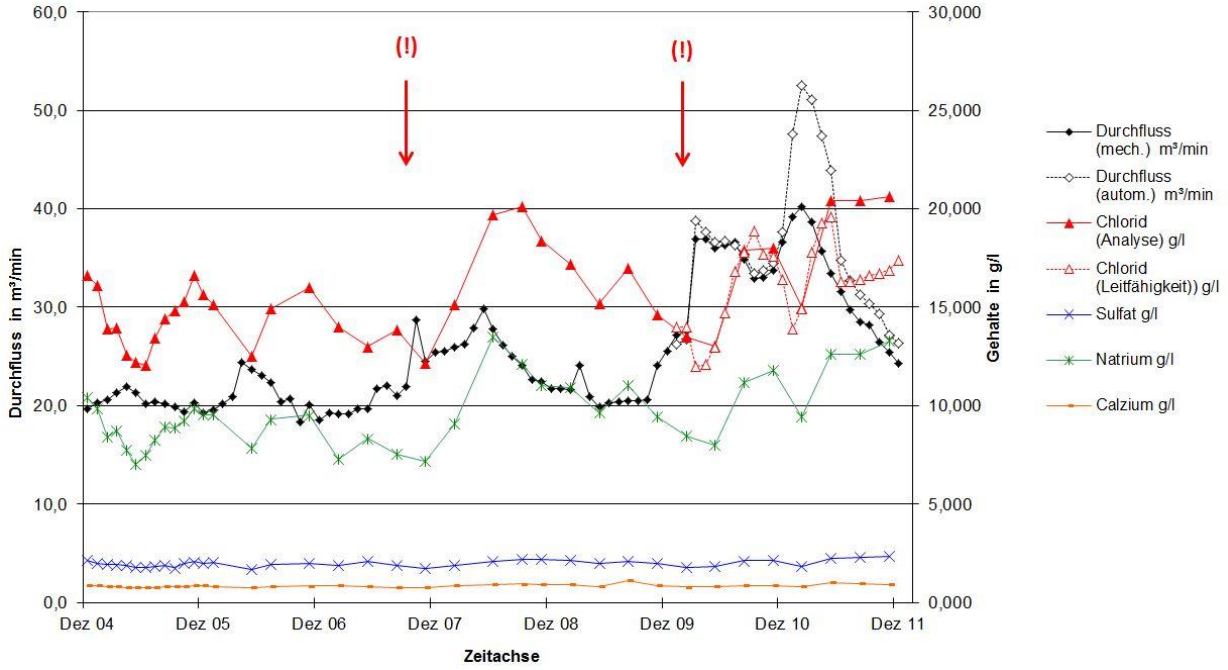


Abbildung 7: Mundloch Schlüsselstollen: Durchfluss und Gehalt an ausgewählten Inhaltsstoffen (12/2004 – 12/2011), [GVV (2011, 2012)]

In Abbildung 7 sind die aktuellen Ergebnisse zusammenfassend dargestellt, zusammen mit den Ergebnissen der seit Januar 2010 laufenden automatischen Durchflussmessung und Chloridbestimmung. Zwischen Dezember 2010 und Juni 2011 zeigt die automatische Durchflussmessung deutlich höhere Werte an als die mechanische Messung. Die GVV-interne Prüfung ergab, dass die automatisch bestimmten Messwerte (berührungslose Messung des Wasserstandes) die Durchflüsse im Wesentlichen korrekt wiedergeben, insbesondere bei extremen Durchflüssen. Die bleibenden Differenzen nach dem Ende der Hochwasserphase (ca. 2,5 m³/min) zeigen, dass die hohen Durchflüsse (Wasserstand, Geschwindigkeit) wahrscheinlich zum Defekt des mechanischen Schreibers führten.

Die automatischen Messungen wurden bisher mehrmals jährlich mittels Messflügelmessung kontrolliert und geeicht und auch eine leicht driftende Höhe des Messpunktes nachgeführt (Nivellement), so dass die automatisch ermittelten Durchflüsse belastbar sind und letztlich die mechanische Messwerterfassung ersetzen werden. Eine der Vergleichsmessungen fand während der abklingenden Hochwasserphase statt (01.06.2011), wodurch die hohen Abflüsse gut belegt werden können.

3.3. Entwicklung der historischen und aktuellen Stollenwasserqualität

Der Schlüsselstollen verbrachte und verbringt die wesentlichen Salz- und Metallfrachten aus den ehemaligen Kupferschieferabbauen Mansfelder Mulde und Sangerhäuser Revier über die Schlenze in die Saale. Dies ergibt sich nicht allein aus der Tatsache des deutlich höheren Abflusses (s. o., Abbildungen 5 und 6), sondern auch aus den anteiligen Salz- und Metallgehalten (Abbildungen 8 - 10) des Schlüsselstollens im Vergleich mit den anderen Wasserlösestollen. Abbildung 8 zeigt die Chlorid- und Sulfatgehalte der wesentlichen Wasserlösestollen ab 1987. Der Zeitraum ab 1987 wurde gewählt, da vorher nur vereinzelte Werte für den Zabenstedter und den Froschmühlenstollen vorliegen. Für den Schlüsselstollen liegen bis auf den Zeitraum Juli 1991 bis Dezember 1992 (Sulfat) und das 2. Halbjahr 2006 (Chlorid, Sulfat) monatliche bzw. quartalsweise Werte vor, für den Zabenstedter und den Froschmühlenstollen fehlen die Sulfat- und Chloridwerte der Jahre 1992 bis 1999. Für den zum Vergleich mit dem Sangerhäuser Revier aufgeführten Segen-Gottes-Stollen liegen zwischen Sommer 1991 und Ende 2006 keine Werte vor.

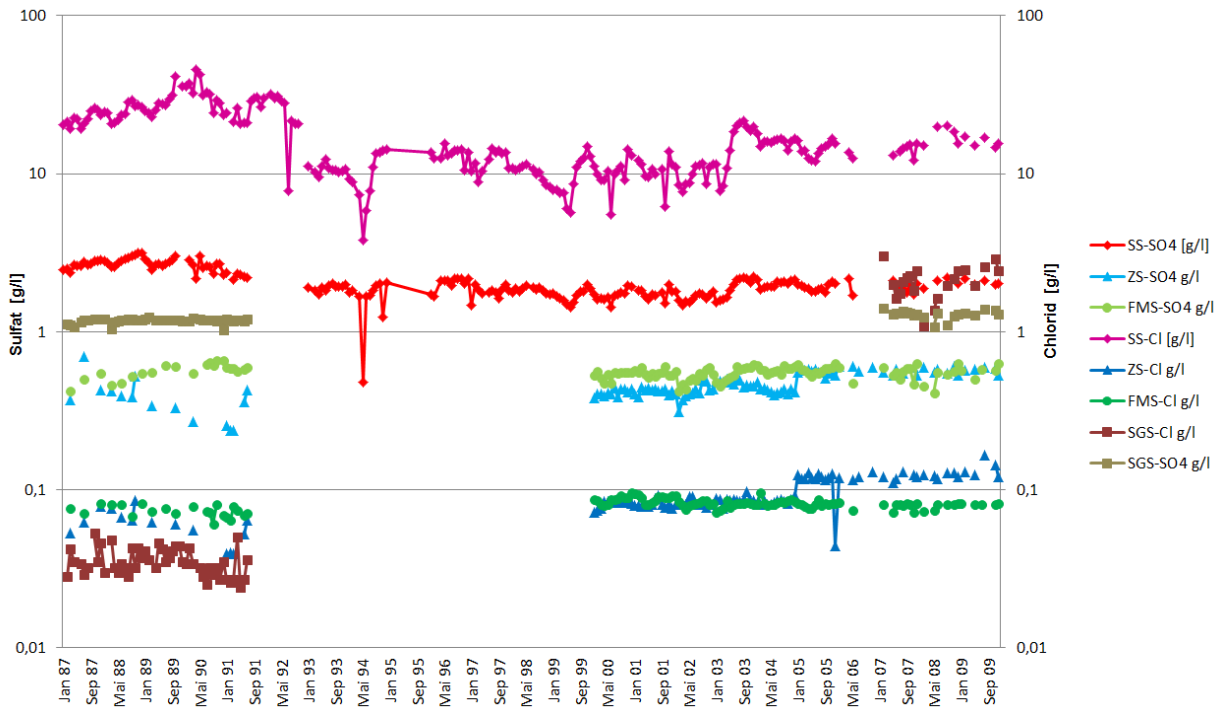


Abbildung 8: Chlorid- und Sulfatgehalte am Stollenauslauf von Schlüsselstollen (SS), Zabenstedter Stollen (ZS), Froschmühlenstollen (FMS) und Segen-Gottes-Stollen (SGS) seit 1987 [GVV (2011)]

Unabhängig von den fehlenden Messwerten ist deutlich zu erkennen, dass über den Schlüsselstollen die höchsten Salzfrachten abgeführt werden: durchschnittlich 13,38 g/l Chlorid und 1,86 g/l Sulfat im Zeitraum 2000 bis 2009. Demgegenüber stehen:

	Chlorid	Sulfat
Zabenstedter Stollen:	0,096 g/l	0,476 g/l
Froschmühlenstollen	0,082 g/l	0,545 g/l
Segen-Gottes-Stollen	2,045 g/l	1,288 g/l

Die Chloridgehalte des Zabenstedter und Froschmühlenstollen sind mit je ca. 0,5 g/l etwa 25 mal geringer als die des Schlüsselstollens, die Sulfatgehalte sind etwa halb so hoch. Die Chlorid- und Sulfatgehalte des Segen-Gottes-Stollens liegen in der Größenordnung der Sulfatgehalte des Schlüsselstollens, wobei die Chloridgehalte seit Anfang der 1990er Jahre um etwa das 100fache zugenommen haben, während die Sulfatgehalte fast gleich blieben.

Unter Beachtung des Abflusses (s. Kap. 3.1) ergibt sich für den Zeitraum 2007-2009 (vollständige Daten für alle 4 Stollen verfügbar) folgende Frachtabschätzung:

Tabelle 2: Geschätzte Salzfracht im Zeitraum 2007-2009 [GVV (2011)]

Stollen	Abfluss [m³/min]	Salzfracht [t/a]	davon NaCl [t/a]	davon NaCl %
Schlüsselstollen	23,11	352.110	310.228	88,1
Zabenstedter Stollen	1,05	818	101	12,3
Froschmühlenstollen	1,92	1.385	113	8,2
Segen-Gottes-Stollen	5,07	14.724	8.634	58,6

Unter Vernachlässigung der Zuflüsse, welche direkt über das Grundwasser in die Bäche der Region und die Saale entlasten, werden somit über den Schlüsselstollen etwa 95 % der gesamten Salzfracht und ca. 97 % der NaCl-Fracht aus dem Bereich des ehem. Kupferschieferbergbaus der Saale zugeführt. Für die Mansfelder Mulde sind dies 99,4 % bzw. 99,9 %. Dabei bringt der Schlüsselstollen nur etwa 74 % des Gesamtabflusses der Grubenwässer aus dem Bereich des ehem. Kupferschieferbergbaus und etwa 89 % des Abflusses aus der Mansfelder Mulde.

Die Frachtabschätzung, basierend auf den aktuellen Abflüssen, deckt sich sehr gut mit den Abschätzungen aus früheren Untersuchungen. Abbildung 9 zeigt den geschätzten Salzaustrag sowie die damit verbundene Hohlraumbildung zwischen 1891 und 2000.

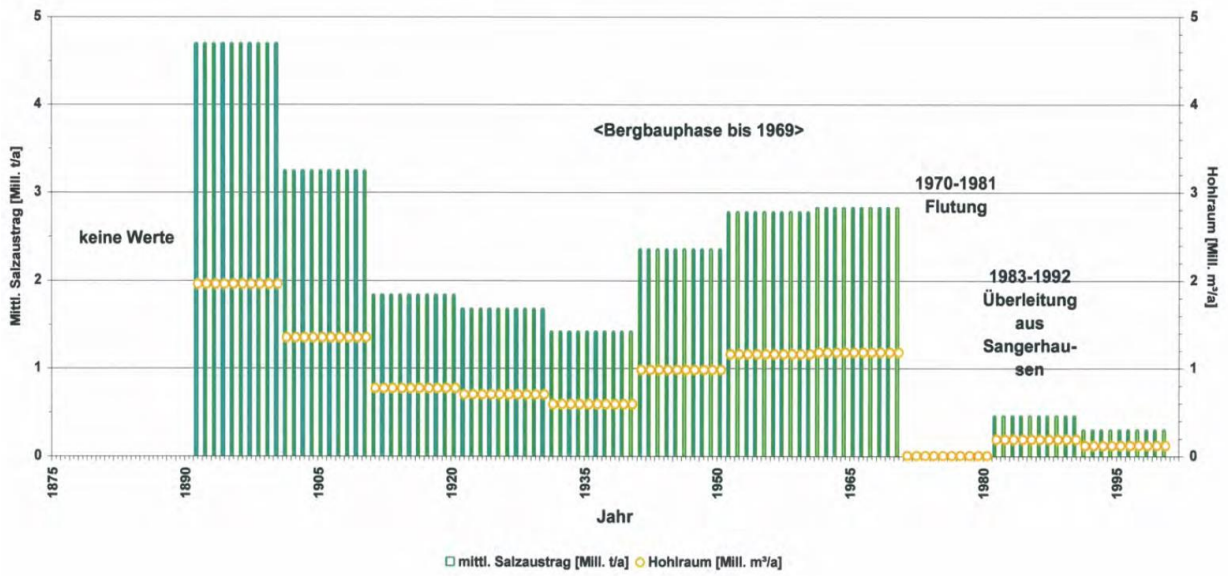


Abbildung 9: Abfluss Schlüsselstollen 1891 - 2000: Salzaustrag (NaCl) und Hohlraumbildung [TERRA DATA (2002)]

Bei den Frachtabschätzungen ist in jedem Fall eine ausreichende Schwankungsbreite der wesentlichen Eingangsparameter Abfluss und Stoffgehalt zu Grunde zu legen. Dies resultiert aus der Tatsache, dass sowohl die gemessenen Abflüsse, als auch die bestimmten Salz- und Metallgehalte stets eine Momentaufnahme darstellen und für eine Hochrechnung Einzelwerte oder kurzzeitige Messreihen von nur wenigen Tagen nicht geeignet sind.

Für die Salzfrachtabschätzung des Schlüsselstollen bedeutet dies, dass für zukünftige Abflüsse längerfristig Werte zwischen 20 und 30 m³/min angenommen werden sollten (s. Abbildung 10), was im Jahresabfluss eine Unschärfe von ca. 5,3 Mill.m³/a bedeutet. Bei NaCl-Gehalten von durchschnittlich 25,5 g/l für den Zeitraum 2007-2009 bedeutet dies eine Unschärfe von ca. 135.000 t/a, d.h. mehr als 40 % der geschätzten jährlichen NaCl-Fracht nach Tabelle 2. Im Falle längerfristiger noch höherer Abflüsse (Abbildungen 7 und 10) ist leicht eine Verdopplung der Fracht möglich.

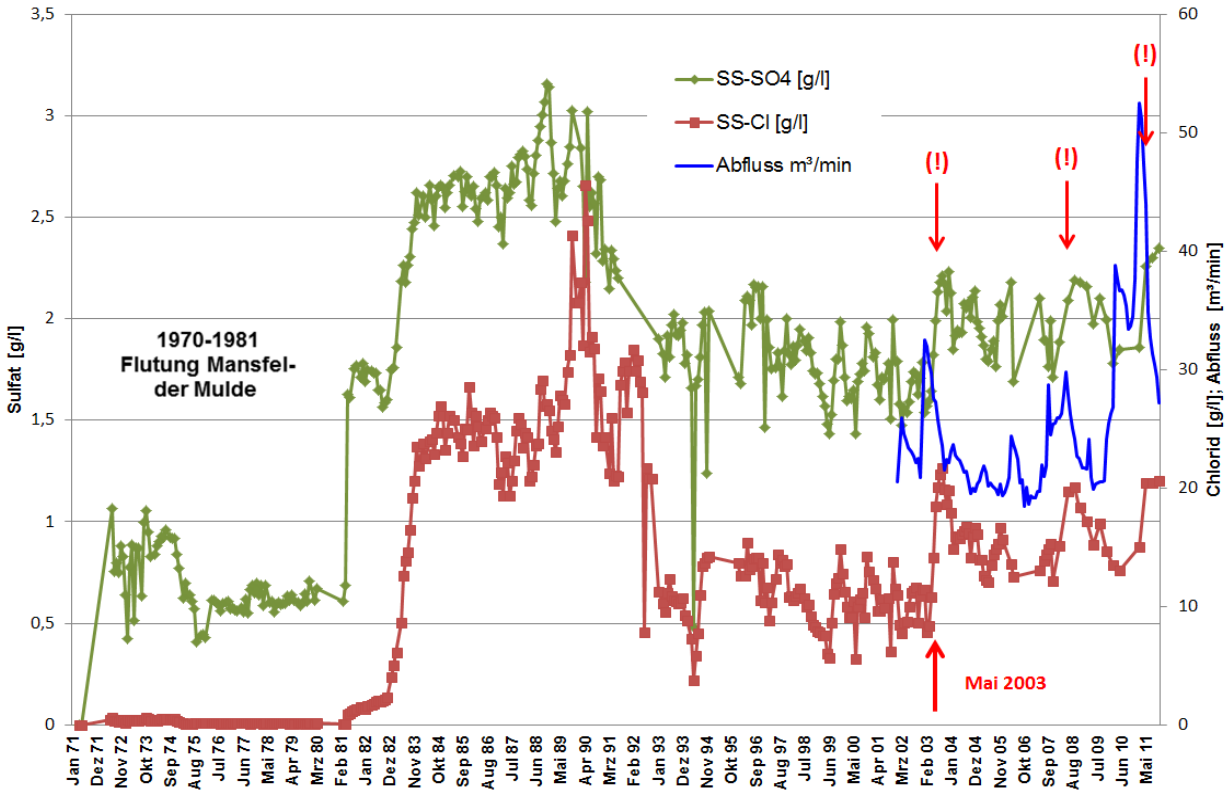


Abbildung 10a: **Entwicklung der Chlorid- und Sulfatgehalte am Mundloch des Schlüsselstollens (SS) seit Flutungsbeginn; Monats- und Quartalswerte [GVV (2011, 2012)]**

Abbildung 10 zeigt sehr deutlich die relativ hohen Schwankungsbreiten beim Chlorid- und Sulfatgehalt, sowie beim Abfluss des Schlüsselstollens, gemessen als Monats- und Quartalswerte am Mundloch. Zwar deuten die Messergebnisse seit Mai 2003 eine geringere Streuung der Chlorid- und Sulfatgehalte an, jedoch kann dies auch darauf zurückzuführen sein, dass ab 2006 weitestgehend nur noch Quartalswerte vorliegen. Für die dargestellten Abflüsse liegen Monatswerte vor.

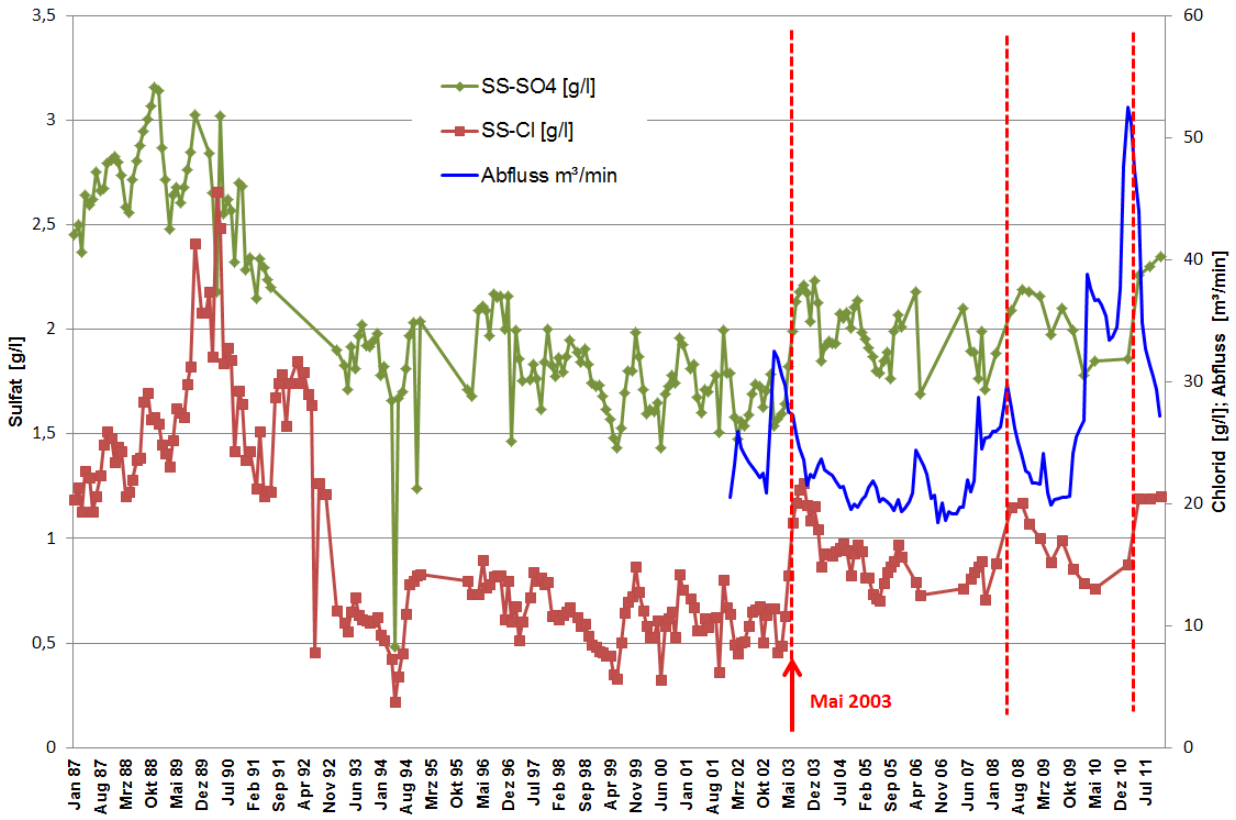


Abbildung 10b: Entwicklung der Chlorid- und Sulfatgehalte am Mundloch des Schlüsselstollens (SS) seit 1987; Monats- und Quartalswerte [GVV (2011, 2012)]

Der Konzentrationsverlauf in Abbildung 10 zeigt sehr gut die Entwicklung der Stollenwasserqualität seit Beginn der Flutung (s. a. Abbildung 4). Während der Flutung floss weitestgehend das aus dem Hangenden dem Schlüsselstollen zusitzende Süßwasser ab, nach Abschluss der Flutung bis zum Einstellen der Salzwasserleitung wurde dann deutlich salzhaltigeres Wasser aus den oberen Horizonten der Anstauwässer dem Schlüsselstollen zugeführt. Obwohl die aus Sangerhausen übergeleiteten Salzwässer nach [TERRA DATA (2002)] im Teufenbereich -150 bis -70 m NN eingelagert wurden ist es nach [SPILKER (2011)] wahrscheinlich, dass es (zumindest temporär) zur Ausbildung eines gewissen direkten Strömungsraums zwischen der Einleitstelle am Bolzeschacht und dem Überlaufpunkt am Glückhilfsschacht gekommen ist. Die Änderung des für den Schlüsselstollen recht konstanten Cl/SO_4-Verhältnisses zum Zeitpunkt der größten Überleitmengen scheint dies zu bestätigen.

Seit 1993 zeigt der Schlüsselstollen eine relativ gleichmäßige Qualität im Abfluss, wobei die Gehalte etwa +/- 20 % (Sulfat) bzw. +/- 50-70% (Chlorid) um einen jeweils relativ konstanten Mittelwert schwanken. Eindeutige Korrelationen mit jahreszeitlichen Änderungen, Niederschlagsereignissen oder Trockenperioden wurden bisher nicht festgestellt. Eine gewisse negative Korrelation scheint zwischen Grundwasserneubildung (d. h. Abflusshöhe) und Wasserqualität des Schlüsselstollens zu bestehen (Abbildungen 7 und 10), wobei dies aber nicht für jedes Starkniederschlagsereignis (Regenperiode) oder für jede Trockenperiode reproduzierbar ist: Mit starkem Anstieg des Abflusses im Schlüsselstollen nehmen die Chlorid- und Sulfatgehalte leicht ab, um nach Rückgang der hohen Abflüsse signifikant anzusteigen. In Abbildung 10a) wurden 3 solcher Stellen mit rotem Pfeil und Ausrufezeichen markiert.Für die

signifikante Erhöhung der durchschnittlichen Chlorid- und Sulfatgehalte ab Mai 2003 liegt bisher keine Erklärung vor. Ein Laborwechsel erfolgte in diesem Zeitraum nicht. Eine vergleichbare Zunahme der Chlorid- und Sulfatgehalte zeigen auch die vom LHW am 11.03.2003 und 12.11.2003 genommenen Proben [LHW (2012a)]. Während die vom LHW entnommenen Proben [LHW (2012a)] für den Zeitraum 2001 bis 2008 einen leichten Trend zu steigenden Gehalten erkennen lassen, zeigen die von der GVV regelmäßig ermittelten Analysewerte [GVV (2011)] nur die bereits genannten Schwankungen um einen jeweils gleichbleibenden Mittelwert. Beachtenswert ist die Tatsache, dass die extremen Abflüsse 2010 und 2011 ohne nennenswerte Auswirkungen auf den Salzgehalt blieben, d.h. keine Abnahme der Konzentrationen von Chlorid und Sulfat zu verzeichnen war (s. Abbildung 10).

Die zeitliche Entwicklung der Schwermetall- und Arsengehalte in den wesentlichen Wasserlösestollen der Mansfelder Mulde, sowie zum Vergleich im Segen-Gottes-Stollen, wird in den Abbildungen 11 bis 16 wiedergegeben.

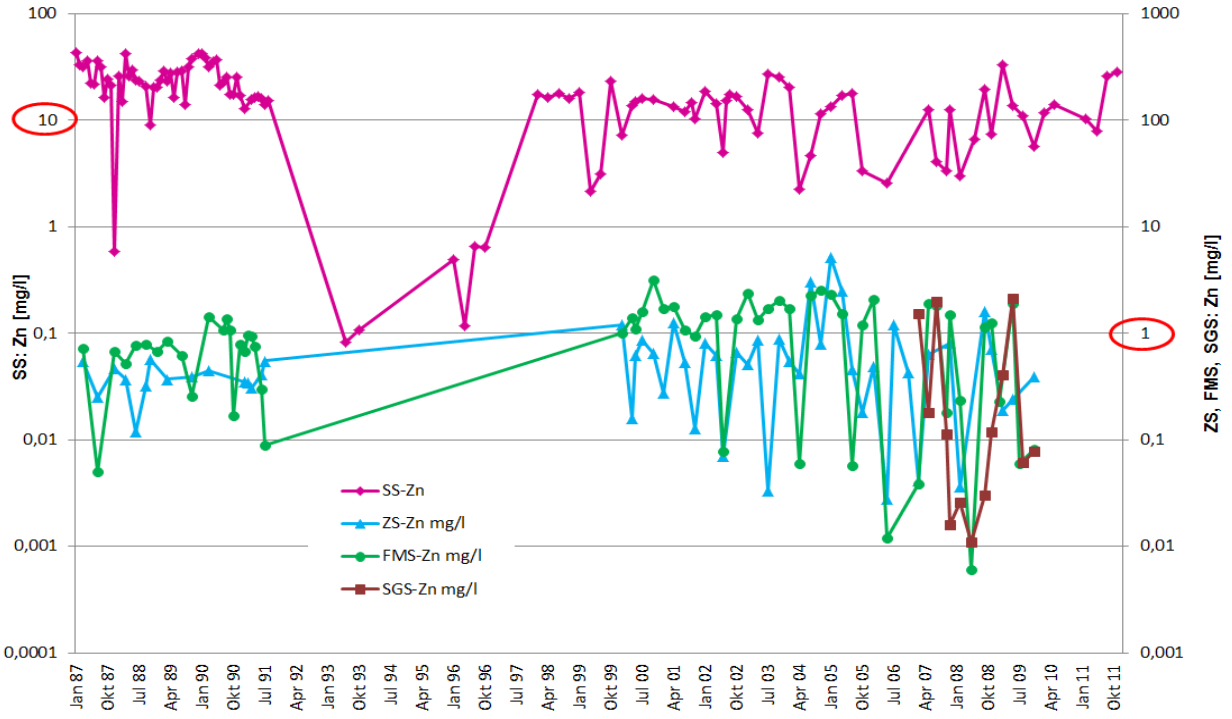


Abbildung 11: Zinkgehalte am Stollenauslauf von Schlüsselstollen (SS), Zabenstedter Stollen (ZS), Froschmühlenstollen (FMS) und Segen-Gottes-Stollen (SGS) seit 1987 [GVV (2011, 2012)]

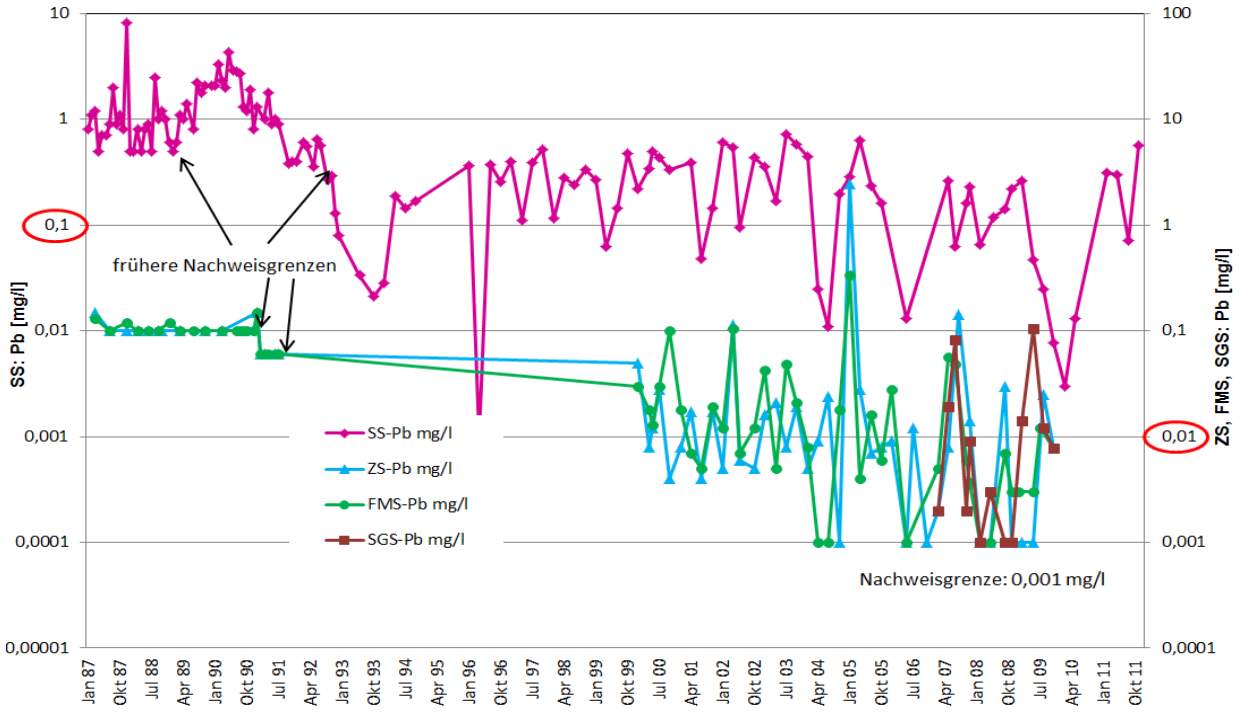


Abbildung 12: Bleigehalte am Stollenauslauf von Schlüsselstollen (SS), Zabenstedter Stollen (ZS), Froschmühlenstollen (FMS) und Segen-Gottes-Stollen (SGS) seit 1987 [GVV (2011, 2012)]

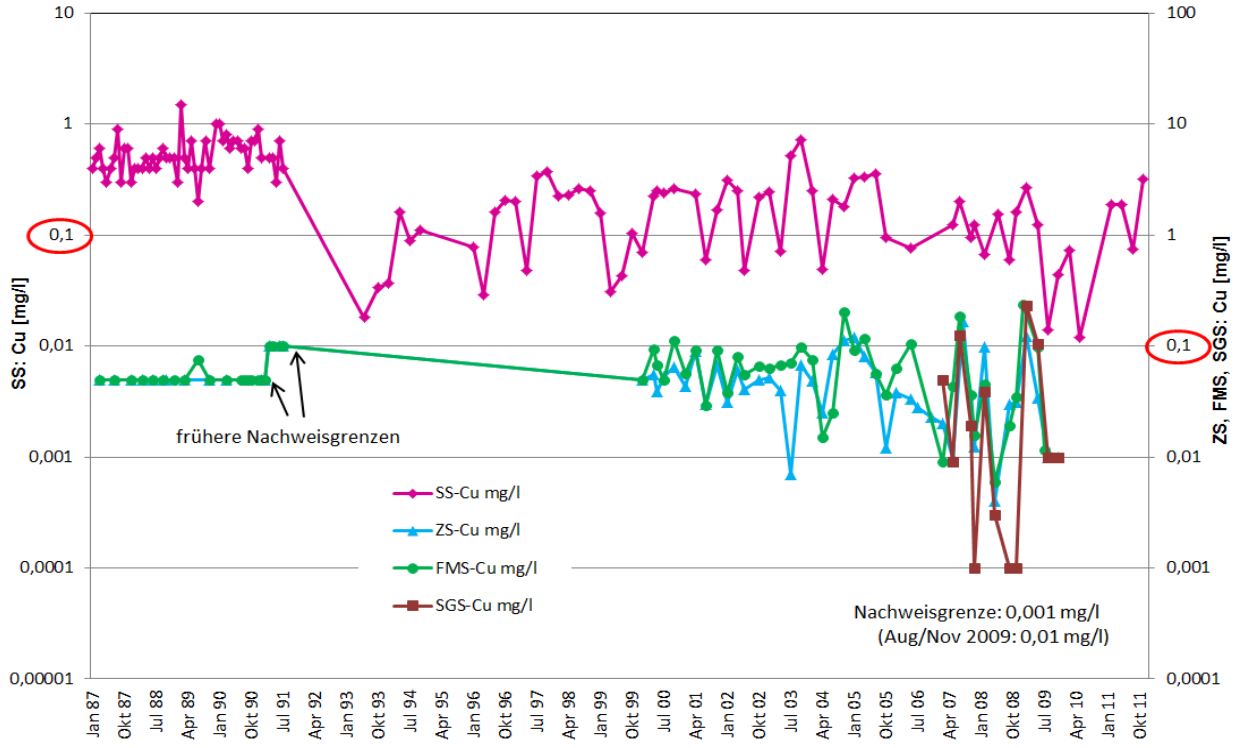


Abbildung 13: Kupfergehalte am Stollenauslauf von Schlüsselstollen (SS), Zabenstedter Stollen (ZS), Froschmühlenstollen (FMS) und Segen-Gottes-Stollen (SGS) seit 1987 [GVV (2011, 2012)]

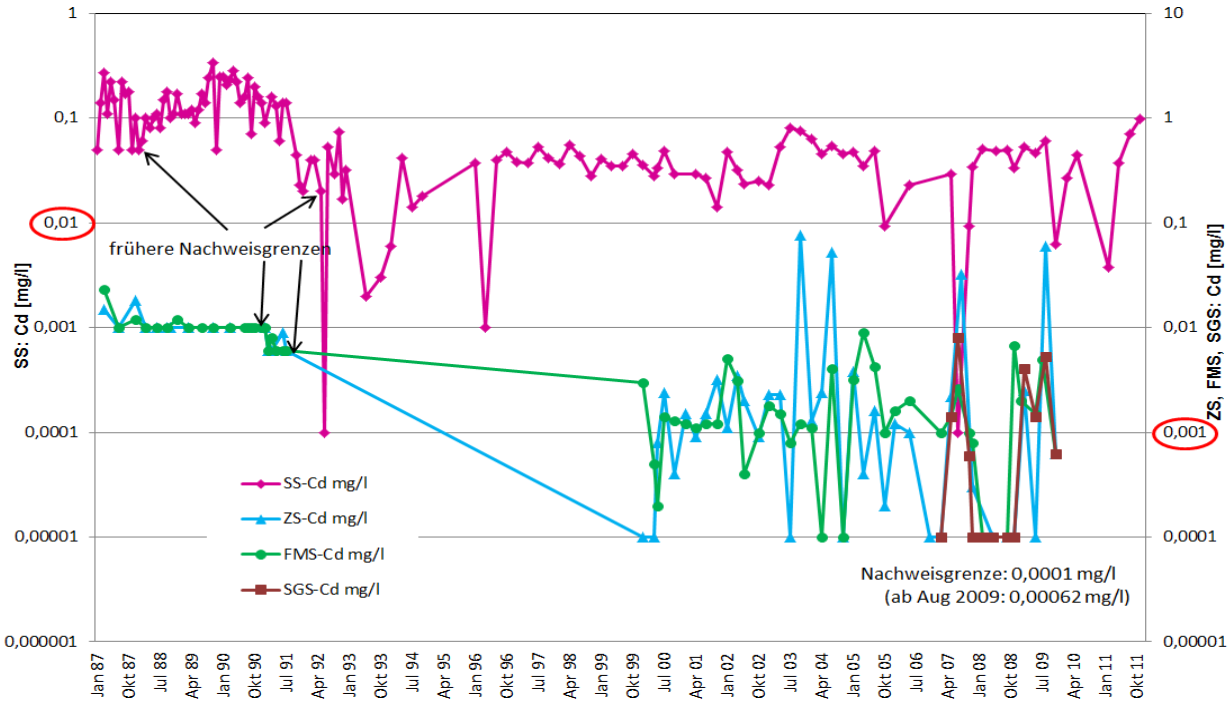


Abbildung 14: Cadmiumgehalte am Stollenauslauf von Schlüsselstollen (SS), Zabenstedter Stollen (ZS), Froschmühlenstollen (FMS) und Segen-Gottes-Stollen (SGS) seit 1987 [GVV (2011, 2012)]

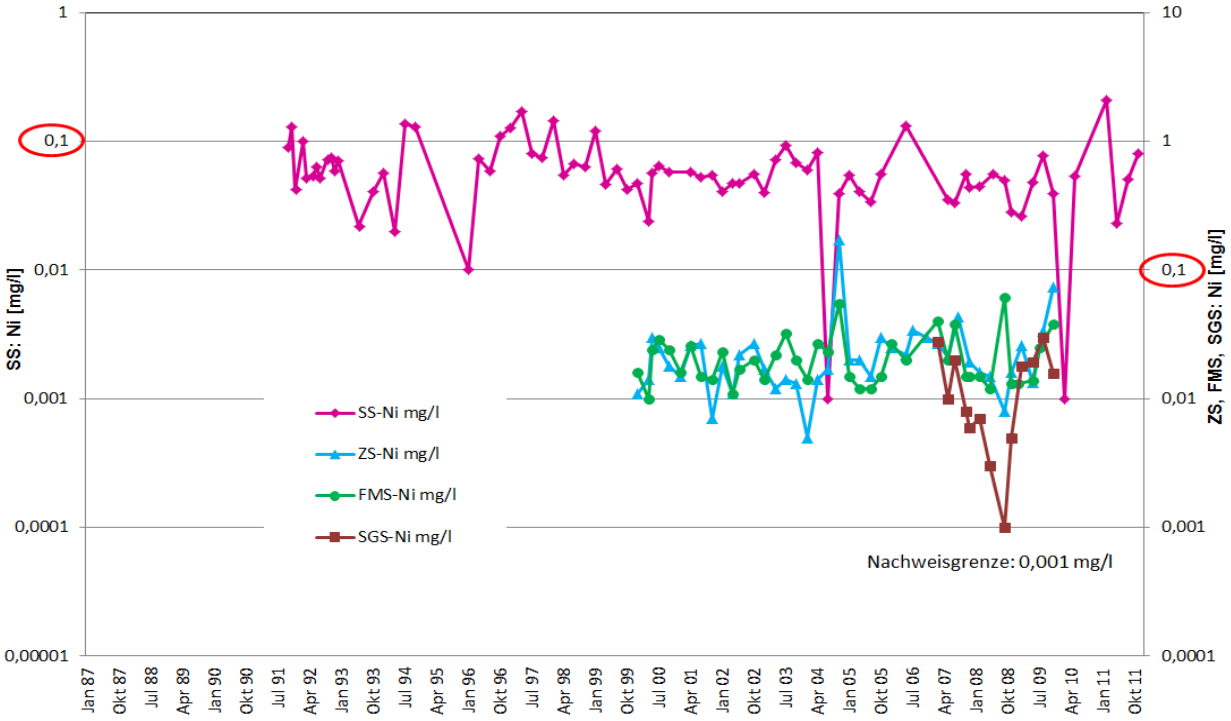


Abbildung 15: Nickelgehalte am Stollenauslauf von Schlüsselstollen (SS), Zabenstedter Stollen (ZS), Froschmühlenstollen (FMS) und Segen-Gottes-Stollen (SGS) seit 1987 [GVV (2011, 2012)]

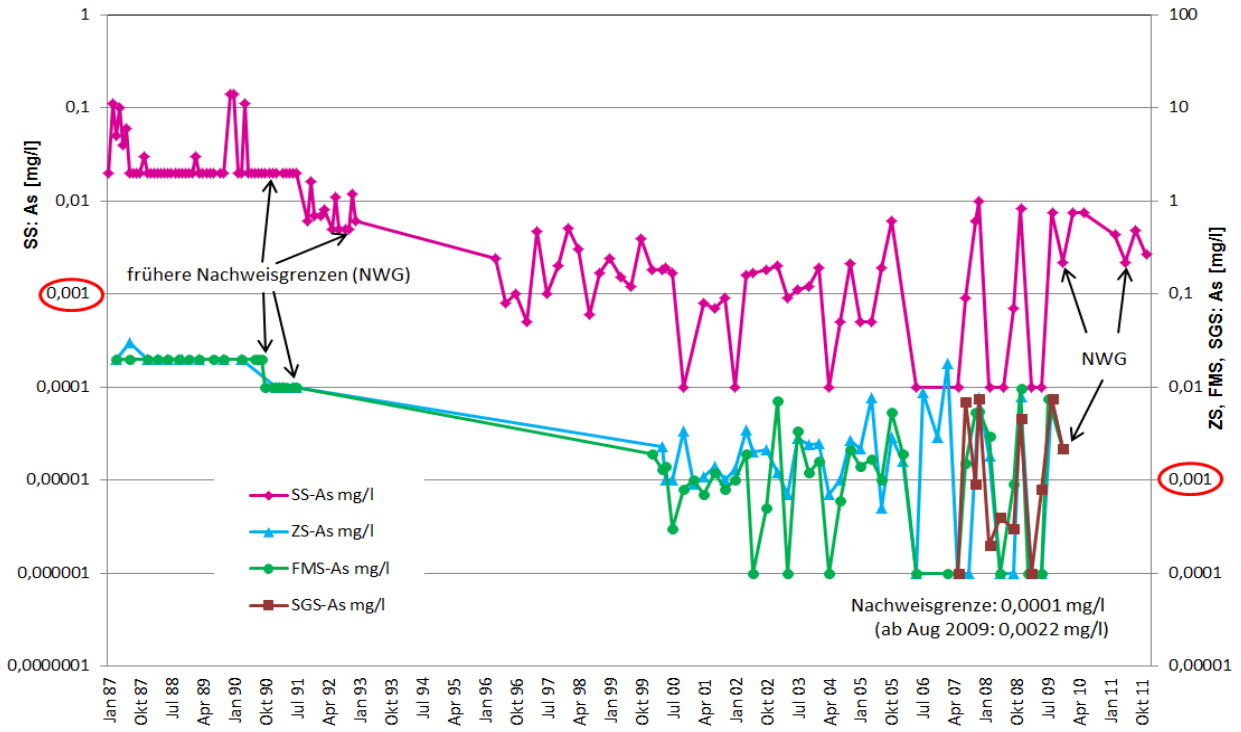


Abbildung 16: Arsengehalte am Stollenauslauf von Schlüsselstollen (SS), Zabenstedter Stollen (ZS), Froschmühlenstollen (FMS) und Segen-Gottes-Stollen (SGS) seit 1987 [GVV (2011, 2012)]

Die Darstellung erfolgt dabei beispielhaft für Zink, Blei, Kupfer, Cadmium, Nickel und Arsen und wird für den Zeitraum 1987 bis 2009 dokumentiert, da erst ab 1987 auch für den Zabenstedter und den Froschmühlenstollen ausreichend Analysewerte vorliegen. Für den Segen-Gottes-Stollen ist dies erst ab 2007 der Fall. Im Ergebnis der Besprechung vom 29.05.2012 [PLEJADES (2012)] wurde festgelegt, dass die Darstellung der Schwermetallgehalte auch für die Periode der hohen Abflüsse (2010/2011) erfolgen soll. Die Darstellung in den Abbildungen 11 bis 16 folgt dieser Festlegung, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die Gehalte für den Schlüsselstollen bis November 2011 (quartalsweise Analytik) gezeigt werden.

Zur besseren Übersicht wurden eine logarithmische Darstellung mit verschiedenen Werteachsen gewählt und die Einzelwerte mit einer Linie verbunden. Wo in der Vergangenheit wegen höherer Nachweisgrenzen (NWG) genauere Analysen nicht möglich waren, ist dies in der Grafik angegeben. Teilweise wurden unterschiedliche Labors beauftragt, so dass die NWG sowohl für Schlüssel- und Süßwasserstollen als auch für verschiedene Zeiträume unterschiedlich sind (Abbildungen 12, 13, 14 und 16).

Keine Darstellung erfolgt für die ebenfalls mit bestimmten Schwermetalle Chrom und Quecksilber. Hier wurden nur vereinzelt Gehalte geringfügig größer der NWG ermittelt (Hg: 0,1 µg/l, Cr: 1 bis 5 µg/l), sonst lagen die Gehalte unterhalb der NWG.

Aus den Darstellungen lassen sich folgende grundsätzlichen Aussagen zur Varianz der Schwermetall- und Arsengehalte im Abfluss der Stollen ableiten:

- Seit dem Ende der Salzwassereinleitung 1992 bleiben die Schwermetall- und Arsengehalte im Abfluss des Schlüsselstollens innerhalb einer bestimmten Schwankungsbreite, d.h. sie variieren in einer jeweils etwa einheitlichen Streubreite (welche für unterschiedliche Elemente unterschiedlich hoch ist) um einen konstanten Mittelwert. Das Gleiche gilt trotz deutlich höherer Streubreiten auch für die übrigen Stollen.
- Die Streubreite ist elementspezifisch unterschiedlich und variiert für die Schwermetalle zwischen 100 % (Zn, Cd) und 300 % (Pb, Ni) des jeweiligen Mittelwertes.
- Die Streubreite für As ist mit 500 % deutlich höher.
- Die Schwermetall- und Arsengehalte des Zabenstedter, Froschmühlen- und Segen-Gottes-Stollens sind für die jeweiligen Elemente etwa gleich hoch.
- Die Schwermetall- und Arsengehalte des Schlüsselstollens sind etwa eine Größenordnung höher (Zn, Pb, Cd) bzw. das 2- bis 4-fache höher (Ni, Cu) als die Gehalte in den drei übrigen Stollen. Gleich hohe Gehalte liegen für Arsen vor.

Aufgrund der großen Streubreiten bei den Ergebnissen der Einzelanalysen, sowohl für die Ionen als auch für die Metalle, wurde versucht, die Reproduzierbarkeit der Analysenergebnisse zu überprüfen. Für den Zeitraum Januar 1997 bis Juni 1999 liegen für den Schlüsselstollen insgesamt 13 Einzelanalysen vor, welche durch das Staatliche Amt für Umweltschutz Halle (StAU Halle) am Mundloch Schlüsselstollen entnommen wurden [GVV (2011)].

Die vergleichende Gegenüberstellung dieser Untersuchungsergebnisse mit insgesamt 11 Analysen des Labors der K-UTEC GmbH, Sondershausen, ist in den Abbildungen 17 und 18 enthalten.

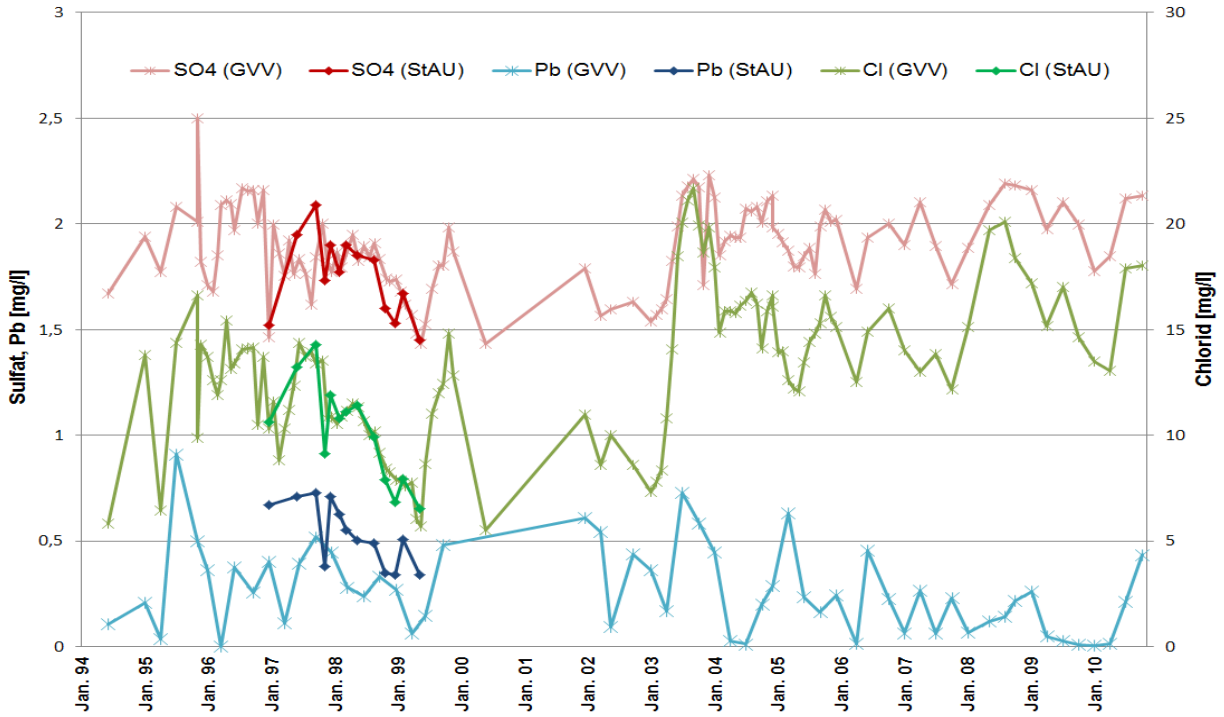


Abbildung 17: Vergleichsanalysen für Chlorid, Sulfat und Blei im Abstrom des Schlüsselstollens (Mundloch) im Zeitraum 1997-1999 [GVV (2011)]

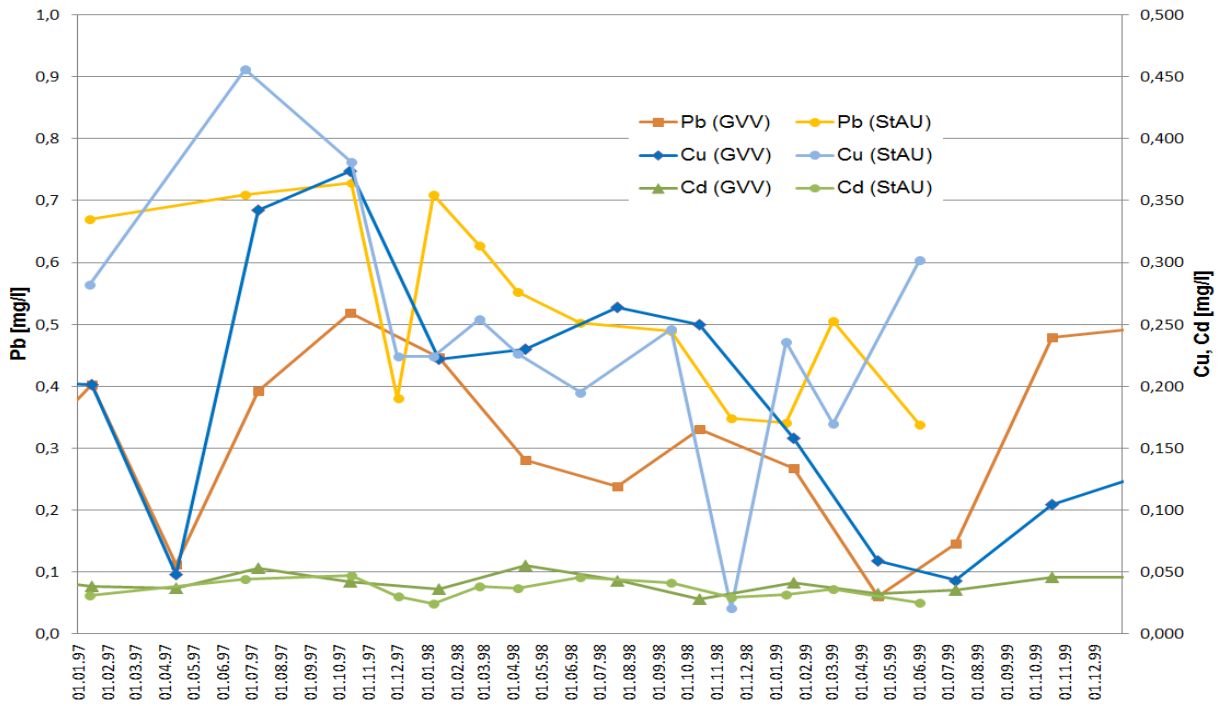


Abbildung 18: Vergleichsanalysen für Blei, Kupfer und Cadmium im Abstrom des Schlüssel-stollens (Mundloch) im Zeitraum 1997-1999 [GVV (2011)]

Dabei ist generell eine gute (Cu) bis sehr gute (Chlorid, Sulfat, Cd) Übereinstimmung der Analysenergebnisse zu erkennen, sowohl für die Absolutwerte der Gehalte, als auch für die Änderungen in den Konzentrationsverläufen. Bei Blei stimmt die Änderung im Konzentrationsverlauf sehr gut überein, jedoch zeigen die meisten der vom StAU Halle gemessenen Proben etwa 0,2 – 0,3 mg/l höhere Gehalte. Ob hierfür unterschiedliche Messanordnungen verantwortlich sind ist nicht ersichtlich und letztlich nicht entscheidend. Da auch Abweichungen von lediglich etwa 0,05 mg/l Pb vorliegen (ca. 10 % der Absolutgehalte welche in diesem Zeitraum gemessen wurden), kann die generelle Aussage gelten, dass die insgesamt vorliegenden Ergebnisse der chemischen Analytik eine verlässliche Datengrundlage für weiterführende Bewertungen und Abschätzungen bieten.

Die Mittelwerte, welche sich für ausgewählte Parameter und die relevanten Ionen und Metalle in den Stollenabflüssen der ehem. Kupferschieferreviere für den Zeitraum 2000 – 2009 ergeben sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Die Ergebnisse aus Tabelle 3 werden in den nachfolgenden Grafiken der Abbildungen 19 – 22 visualisiert. Hierbei ist gut zu erkennen, dass die beiden Süßwasserstollen (Zabenstedter und Froschmühlenstollen) Wasser eines genetischen Typs abführen und die Wässer des Segen-Gottes-Stollens einen eigenen genetischen Typ repräsentieren, die nur scheinbar wegen der leicht erhöhten Salzgehalte eine Zwischenstellung zwischen Schlüsselstollen und den Süßwasserstollen einnehmen. Dies zeigen insbesondere die vergleichsweise niedrigen Zink-, Kalium- und Magnesiumgehalte.

Tabelle 3: Mittelwerte für ausgewählte Parameter, Ionen und Metalle in den Stollenabflüssen der Wasserlösestollen, 2000-2009 [GVV (2011)]

Parameter	**Schlüsselstollen**	**Zabenstedter Stollen**	**Froschmühlen-stollen**	**Segen-Gottes-Stollen**
pH-Wert	7,55	7,71	7,67	7,55
Leitfähigkeit [mS/cm]	38,544	1,622	1,686	8,377
Gesamthärte [°dH]	157,13	48,65	52,90	105,21
Ca [g/l]	0,810	0,243	0,278	0,663
K [g/l]	0,042	0,009	0,008	0,003
Mg [g/l]	0,192	0,063	0,061	0,054
Na [g/l]	8,147	0,042	0,033	1,195
Cl [g/l]	13,382	0,096	0,082	2,045
SO_4 [g/l]	1,856	0,475	0,545	1,288
HCO_3 [g/l]	0,310	0,313	0,323	0,278
As [mg/l]	0,002	0,003	0,002	0,003
Pb [mg/l]	0,258	0,077	0,027	0,020
Cd [mg/l]	0,038	0,007	0,002	0,002
Cr [mg/l]	0,009	0,010	0,008	0,007
Cu [mg/l]	0,194	0,050	0,068	0,046
Ni [mg/l]	0,052	0,025	0,022	0,013
Hg [mg/l]	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Zn [mg/l]	12,627	0,790	1,249	0,513

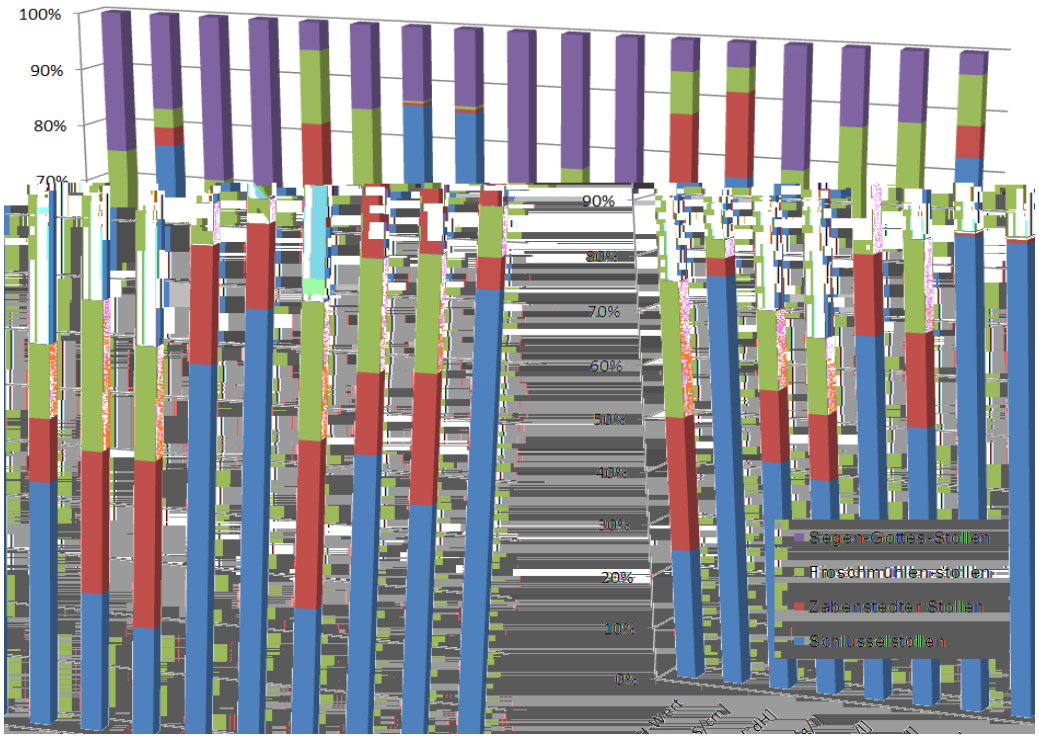


Abbildung 19: Vergleich der Mittelwerte für ausgewählte Inhaltsstoffe in den Stollenabflüssen der Wasserlösestollen, 2000-2009 [GVV (2011)]

Abbildung 20: Vergleich der Mittelwerte der in den Stollenabflüssen der Wasserlösestollen bestimmten Ionen, 2000-2009 [GVV (2011)]; (Höhenachse Z: Angaben in g/l)

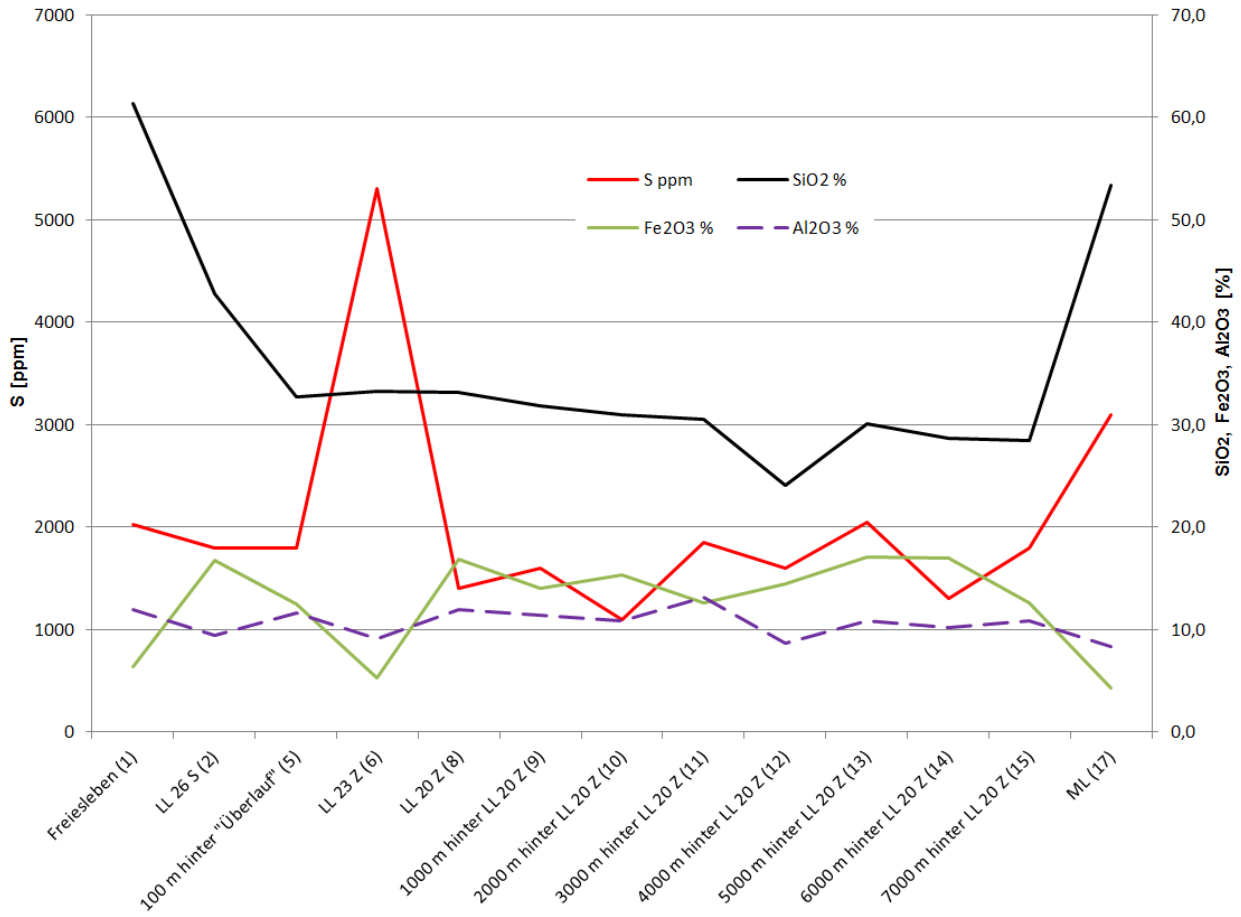


Abbildung 31: Konzentrationsverteilung im Sediment im Verlauf des Schlüsselstollens für ausgewählte Hauptinhaltsstoffe [UFZ (2009)]

Die Probenahme von [ROSS (2008)] erfolgte im Bereich Freieslebenschacht (Hauptstrom und Anstau), LL 26, LL 20Z und am Mundloch (innen, außen), s. a. Abbildung 23. Neben der Untersuchung des Verhältnisses Gesamtanalyse zu gelöstem Stoff wurden auch Abflussmessungen im Stollen vorgenommen um Frachten abzuschätzen. Auch wurden Proben für vergleichende Analysen nach bewusster Aufwirbelung entnommen. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Maßgebliche Frachten flossen zwischen LL 26 und LL 20Z zu. Relevante Metallkonzentrationen sind stets auch mit größerer Salzfracht verbunden.
- Die Sauerstoffmessung ließ deutlich den Einfluss der Atmosphäre im Grubengebäude erkennen (hohe Sauerstoffgehalte des frei fließenden Stollenwassers mit Sättigungsgraden von 84-99%). Die Wasser- und Lufttemperaturen lagen untertage stets relativ nah beieinander und unterschieden sich auch zwischen den einzelnen Probenahmestellen kaum. Der niedrige Sauerstoffgehalt im Anstau des Zulaufes von der Mansfelder Mulde am Freieslebenschacht (1,5 mg/l = 14 % Sättigung) entspricht den Grundwasserverhältnissen in der Mansfelder Mulde.
- Die ohne Aufwirbelung entnommenen Proben innerhalb und außerhalb des Stollenmundlochs unterschieden sich in den Ergebnissen kaum.

Das Ergebnis der während absichtlicher Sedimentaufwirbelung entnommenen Probe fiel für As, Pb, Cu, Cd und Fe in gelöster Form praktisch unverändert aus. In der Gesamtanalyse ohne Partikelfiltration zeigten jedoch As, Pb, Cu, und Fe erheblich höhere Werte. Die Konzentrationen der Härtebildner (Chlorid, Sulfat, Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Hydrogencarbonat) aber auch Cd, Zn und Mn blieben praktisch unverändert.

Weiterhin wurden generelle Aussagen zur Probenahme im Stollen / am Stollenmundloch formuliert:

- Wichtigste Grundwasserbeobachtungsstelle ist das Stollenmundloch, weil hier der Eintrag in das Oberflächengewässer erfolgt und ein einfacher Zugang gegeben ist. Stollenmundlöcher sind als Messstelle für die Belastung des Vorfluters repräsentativ.
- Für die Einschätzung der Prozesse im „Reaktionsraum Grubengebäude“ sind Probenahmen vor Ort zwingend. Wesentlich sind hier der Eintrag von atmosphärischem Sauerstoff, die Anlagerung von gelösten Stoffen an Schwebstoff-partikeln, sowie Fällung und Sedimentation.
- Vor-Ort-Messgeräte erlauben die Unterscheidung verschiedener Grubenwasser-herkünfte und können auch zur Vorauswahl von Probenahmepunkten dienen. Sauerstoffsonden müssen aufgrund der Luftdruckveränderungen unbedingt vor Ort kalibriert werden.
- Bei der Interpretation von Stofffrachten müssen wegen der schwierigen Bedingungen zur Durchflussmessung unter Tage und der größeren Fehlergrenzen bei der Analyse extrem salzhaltiger Proben Fehlertoleranzen von etwa 10-25 % einkalkuliert werden.

Untersuchungen zum Einfluss von Biofilmen auf die Anreicherung von Schwermetallen haben gezeigt, dass für bestimmte Elemente ein hohes Rückhaltepotential gegeben ist [MAGES (2006)].

Im Bereich des obertägigen Schlüsselstollens vor Einmündung in die Schlenze und aus der Schlenze vor dem Zusammenfluss mit dem Schlüsselstollen (s. a. Abbildung 33) wurden 2005 Biofilmproben entnommen und entsprechend untersucht. Dabei war festzustellen, dass z. B. Pb und Cu in relevanter Größenordnung in Biofilmen akkumuliert werden.

Tabelle 4: Akkumulationsfaktoren der Biofilme Schlenze -Schlüsselstollen [MAGES (2006)]

Parameter	**Anreicherungsfaktoren in der Wasserphase**		**Akkumulationsfaktoren im Biofilm**	
	Schlenze	**Schlüsselstollen**	**Schlenze**	**Schlüsselstollen**
Pb	1	***1.400***	1	***2.200***
Zn	1	***630***	1	18
Cu	1	11	1	***140***
Ni	1	8	1	7
Fe	1	4	1	4
Ca	1	3	5	1

Das Akkumulationsverhalten über einen längeren Zeitraum ist ebenfalls elementspezifisch unterschiedlich: Zn und Cu bleiben auch über einen längeren Zeitraum im Biofilm fixiert, wogegen Pb und Ni relativ schnell wieder freigesetzt werden (Abbildung 32)

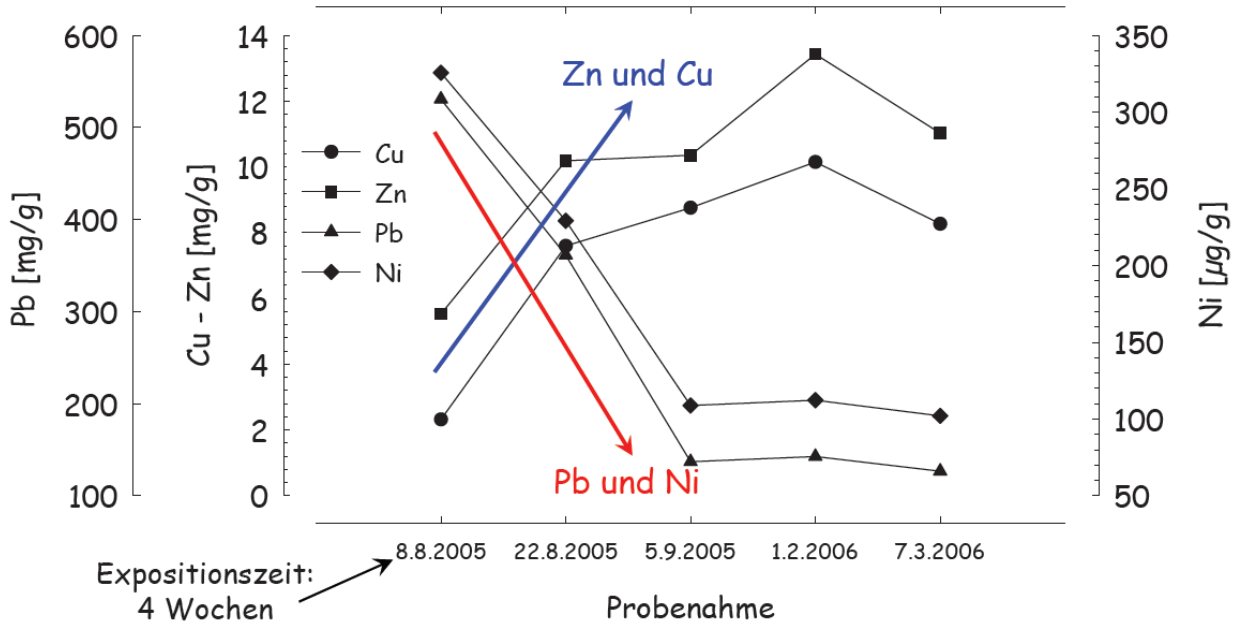


Abbildung 32: Akkumulationsverhalten einiger ausgewählter Elemente am Biofilm, [Mages (2006)]

Die Ergebnisse der Beprobungen zeigen einerseits, dass Biofilme eine rückhaltende Wirkung aufweisen, andererseits sind fachtechnische Untersuchungen geboten, welche unter den konkreten Randbedingungen des Systems Schlüsselstollen - Schlenze (Salzgehalt, Redoxpotential, klimatische Bedingungen etc.) die Wechselwirkungen gelöster Stoff – Bindung am Schwebstoff – Sedimentation / Bindung an organischer Matrix näher betrachten.

Dazu sind in einem ersten Schritt Untersuchungen zum Rückhaltevermögen biofilmreicher durchströmter Klärbeete denkbar. In Abhängigkeit vom Untersuchungsergebnis wären in einem zweiten Schritt Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur Reinigung dieser Klärbeete (Entzug der akkumulierten Metalle) unter Beachtung der Remobilisierungsbedingungen und des Entsorgungsweges durchzuführen (s. a. Maßnahmen im Bericht zum Arbeitspaket B).

4. Bewertung der aktuellen Untersuchungsergebnisse

An den gleichen Probenahmestellen wie [ROSS (2008)] und zusätzlich noch aus dem Anstau im W-Schacht sowie Schlenze und Saale erfolgte eine eigene Probenahmekampagne im Juli 2011. Die Probenahmepunkte außerhalb des Schlüsselstollens sind in Abbildung 33 dargestellt. Es wurden insgesamt 14 Wasserproben und 4 Sedimentproben entnommen. Bei allen Wasser- und Sedimentproben erfolgte die Bestimmung der chemischen Hauptparameter, der Hauptinhaltsstoffe (An- und Kationen) und der Schwermetalle Pb, Cu, Cd, Zn, Cr, Ni, Hg, U und Th sowie As. In den Wasserproben wurde für die Metalle der Gesamtgehalt und der Gehalt nach Filtration (gelöste Stoffe) im Labor bestimmt und bei 3 Wasserproben zusätzlich eine Filtration vor Ort durchgeführt. Die Laborberichte sind in Anlage 3 zusammengestellt.

Bei den Sedimentproben wurde zusätzlich halbquantitativ das Absetzverhalten in natürlichem und salzhaltigem Wasser bestimmt.

Abbildung 33: Probenahmepunkte zwischen Mundloch Schlüsselstollen und Saale (Beprobung 07/2011)

Die Nummern der Probenahmepunkte in den Abbildungen 34 - 38 sind folgenden Orten zuzuordnen:

15	W-Schacht, Anstau
1	Freieslebenschacht, Hauptstrom
2-1	Freieslebenschacht, Anstau Mansfelder Mulde (2-2: Probe vor Ort filtriert)
3	LL 26, Hauptstrom
4	LL 26, Gebirgswasser

5-1 LL 20Z (5-2 Probe vor Ort filtriert)
6 LL 20Z ca. 20 m abstromig im Hauptstrom, ohne Aufwirbelung
7 LL 20Z ca. 20 m abstromig im Hauptstrom, kurz nach Aufwirbelung
9 Mundloch innen
10 Mundloch außen
11-1 Schlüsselstollen übertage, vor Zusammenfluss mit Schlenze
(11-2: Probe vor Ort filtriert)
12 Schlenze, vor Zusammenfluss mit Schlüsselstollen
13 Schlenze, vor Einmündung in Saale (nach Zufluß Schlüsselstollen)
14 Saale, linkes Ufer, ca. 100 m nach Einmündung der Schlenze

Die Probenahmestelle Nr. 14 in der Saale wurde gewählt, um die Größenordnung des Verdünnungseffektes schon kurz nach Einmündung der Schlenze zu erfassen. Diese Probenahmestelle ist jedoch nicht repräsentativ für die Beurteilung der Auswirkungen des Schlüsselstollens in der Saale, da hier die Einmischung noch nicht erfolgt ist.

4.1. Ergebnisse der Wasseruntersuchungen

Die Wasserproben wurden im Labor nicht vorbehandelt. Die Abfüllung der Proben erfolgte in mit Salpetersäure stabilisierte Kunststofflaschen, die ohne weitere Vorbehandlung für die Analytik verwendet wurden. Die zur Filtration vorgesehenen Proben wurden durch ein 0,45 µm Filter filtriert.

Die bestimmten Summenparameter sind in ihrem Verlauf in Abbildung 34 dargestellt. Der pH-Wert zeigt den ruhigsten Verlauf mit dem geringsten Wert für die Anstauwässer der Mansfelder Mulde (pH=6,7) und dem höchsten Wert für die Schlenze vor dem Zusammenfluss mit dem Schlüsselstollen. Die generell geringen Schwankungen von pH-Wert, Säurekapazität und Karbonathärte im Schlüsselstollenverlauf decken sich gut mit den bisherigen Untersuchungen.

Die beiden direkt mit dem Salzgehalt verknüpften Parameter el. Leitfähigkeit und Gesamthärte zeigen einen Kurvenverlauf, wie er von fast allen Ionen und Metallen in ähnlicher Form ebenfalls vorliegt:

→ geringe (Süßwasser-) Gehalte im Anstau W-Schacht

→ kontinuierlicher Anstieg bis LL 20Z mit Peak für die Anstauwässer Mansfelder Mulde

→ etwa gleichbleibende Gehalte für den gesamten Schlüsselstollenverlauf inkl. Abschnitt Übertage

→ Rückgang bis zu den meist geringsten Gehalten in der Saale.

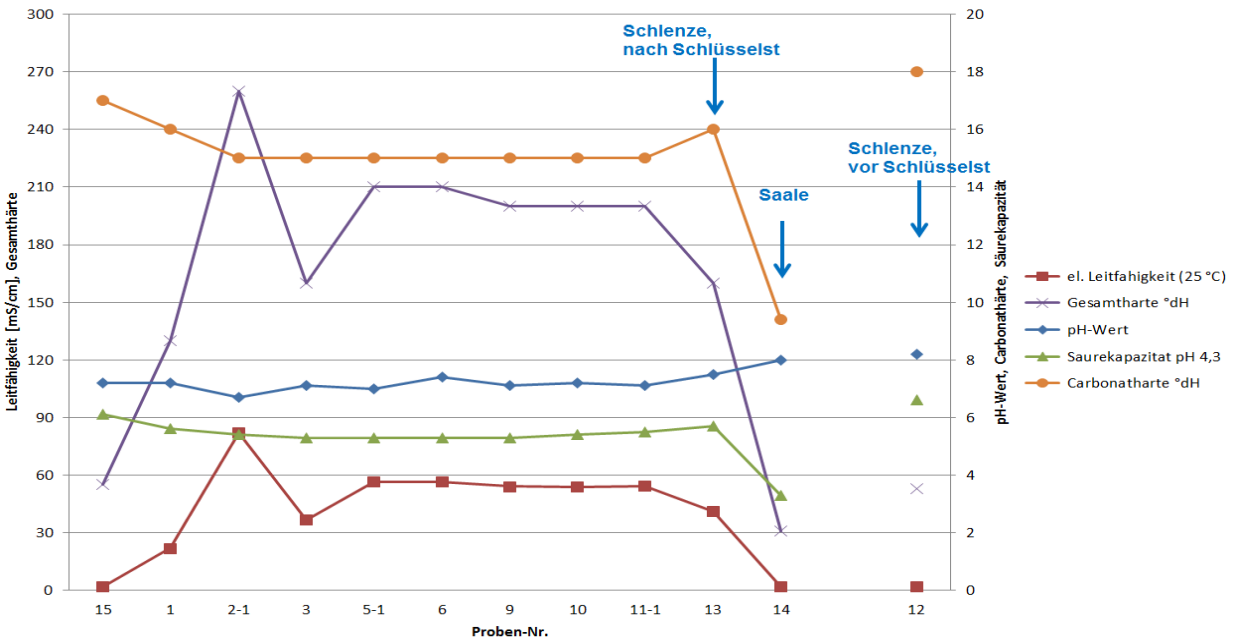


Abbildung 34: Konzentrationsverteilung im Verlauf Schlüsselstollen – Schlenze – Saale für Summenparameter, Beprobung 07/2011

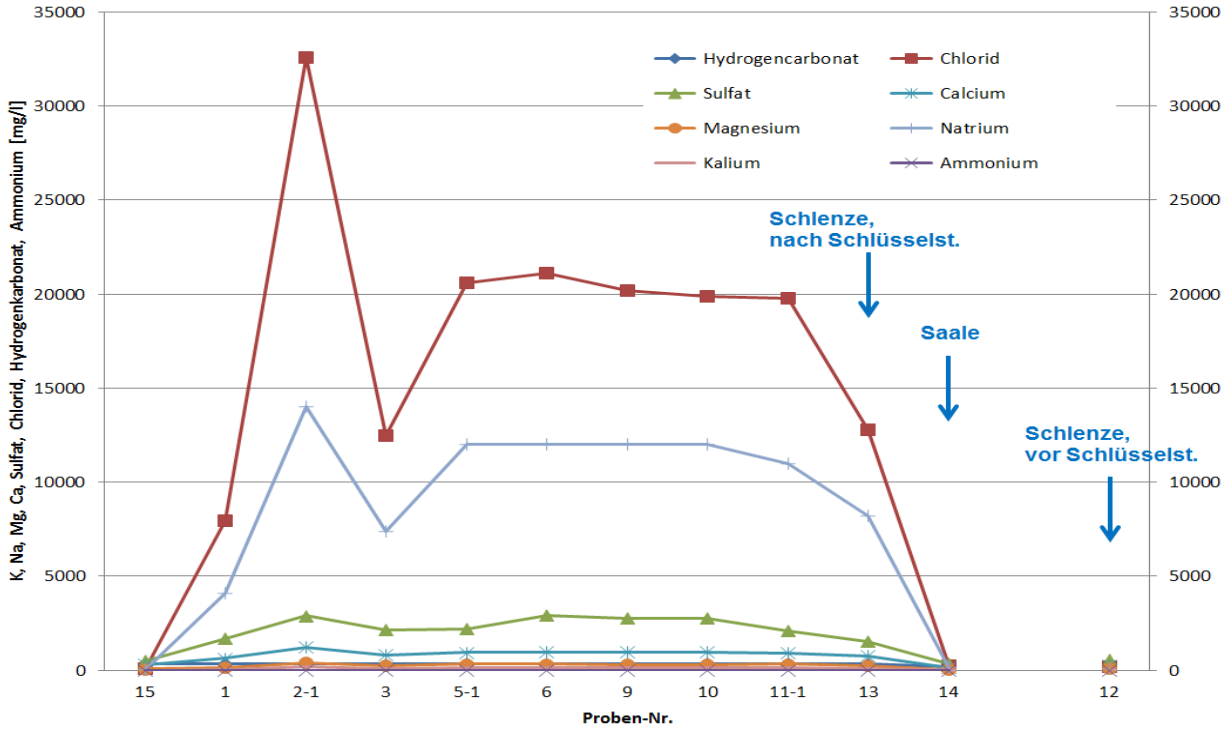


Abbildung 35: Konzentrationsverteilung im Verlauf Schlüsselstollen – Schlenze – Saale für An- und Kationen, Beprobung 07/2011

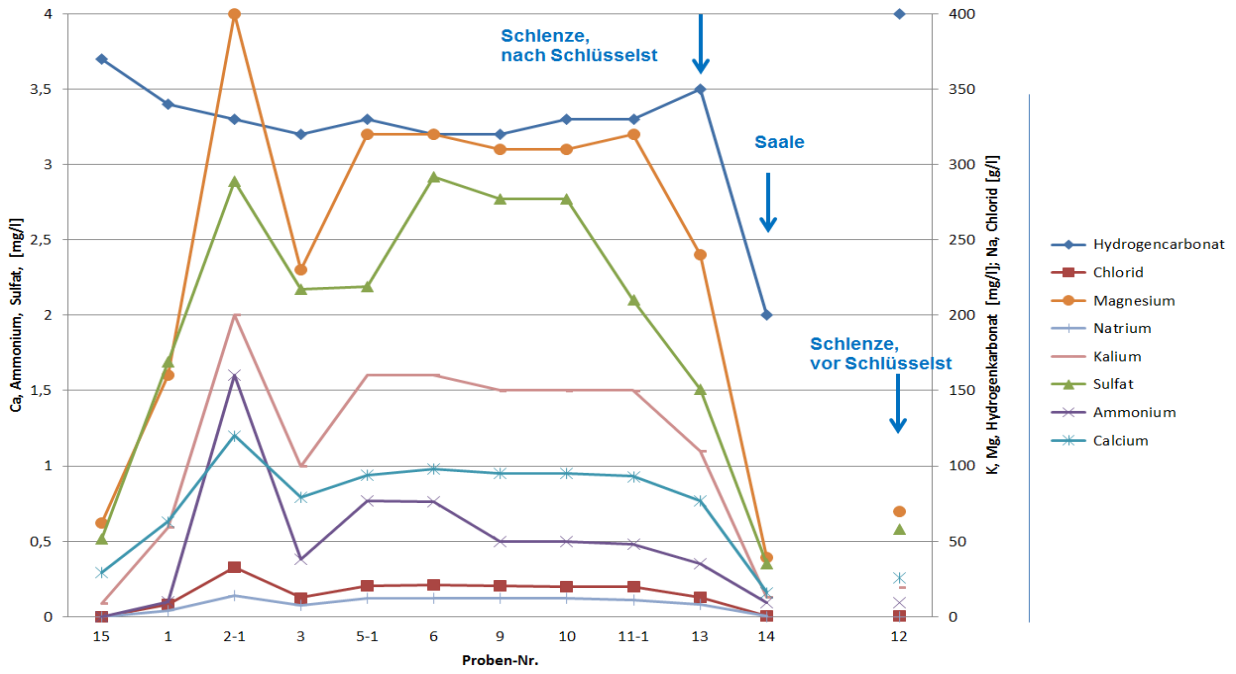


Abbildung 36: Konzentrationsverteilung im Verlauf Schlüsselstollen – Schlenze – Saale für An- und Kationen (ohne NaCl), Beprobung 07/2011

Alle An- und Kationen folgen, bis auf Hydrogencarbonat, mehr oder weniger deutlich ausgeprägt dem genannten Verlaufsmuster. Aus den Abbildungen 35 und 36 wird auch deutlich, dass es sich bei den Anstauwässern im Bereich des W-Schachts um zugesickertes Niederschlagswasser handelt und nicht um Anstauwasser der Mansfelder Mulde.

Die Gehalte der Schwermetalle und Arsen zeigen generell einen ähnlichen Verlauf (mit unterschiedlichen Gradienten), wobei einige Eigenheiten zu Tage treten (Abbildung 37):

- Die höchsten Bleigehalte wurden im Hauptstrom im Bereich des LL 20Z gemessen, ein weiterer Anstieg erfolgt, ebenso wie bei Nickel, nach dem Mundloch im übertägigen Bereich.

- Die niedrigsten Arsengehalte wurden mit 1,2 µg/l in den Anstauwässern der Mansfelder Mulde beim Freieslebenschacht bestimmt

- Der Urangehalt der Anstauwässer beim Freieslebenschacht überschreitet nicht die Werte vom Hauptstrom am Stollenmundloch. Ein signifikant erhöhter Urangehalt wurde in der Schlenze (vor Zusammenfluss mit Schlüsselstollen) gemessen

Generell unter der Nachweisgrenze lagen die Gehalte bei Cr, Hg und Th.

Abbildung 37: Konzentrationsverteilung im Verlauf Schlüsselstollen – Schlenze – Saale für ausgewählte Schwermetalle, Beprobung 07/2011

Die Analysenergebnisse der im Rahmen des Projektes untersuchten Wasserproben bestätigen die Urangehalte, welche im Rahmen des GÜSA gewonnen wurden [LHW (2011a, 2012a)]. Danach ist von etwa gleichbleibenden Gehalten sowohl im Hauptstrom des Schlüsselstollens mit 52 µg/l +/- 10 µg/l, als auch in der Schlenze vor ihrem Zusammenfluss mit dem Schlüsselstollen mit 16,8 µg/l +/- 3 µg/l auszugehen. Diese Gehalte überschreiten die für Sachsen-Anhalt definierten maximalen Hintergrundwerte für ausgewählte Gewässerlandschaften von 4,5 bis 6,96 µg/l [C&E (2012)] deutlich. Die durchschnittlichen Urangehalte der Schlenze vor der Saalemündung liegen bei gleichbleibend etwa 40 µg/l +/- 6 µg/l. Nach dem Zufluss der Schlenze in die Saale ist analytisch keine Zunahme der Urankonzentration in der Saale feststellbar. Die für Wettin und Alsleben vorliegenden Einzelwerte für die Gesamtgealte der Jahre 2008-06/2011 zeigen vergleichbare Gehalte bei durchschnittlich 3,2 µg/l Uran. Entsprechend Analytik ($U_{ges.}$ und $U_{gel.}$) liegt Uran stets in gelöster Form im Wasser vor.

Aufgrund der Vielzahl der Unsicherheitsfaktoren bei der Frachtabschätzung wurde die Probenahme genutzt um festzustellen, ob und in welcher Größenordnung die Filtration der Wasserprobe vor Ort und im Labor voneinander differieren.

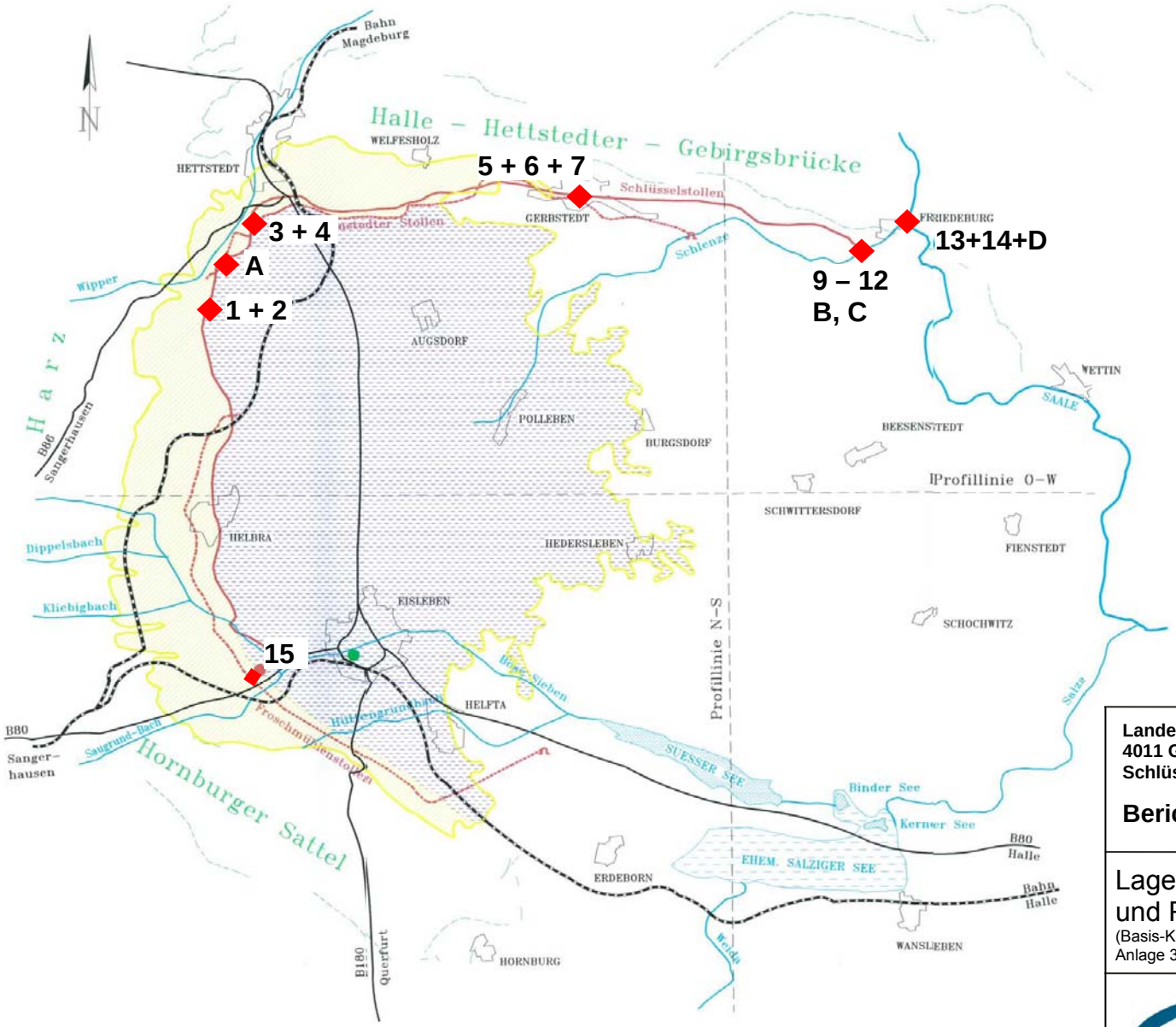
Dazu wurden an drei Standorten doppelte Proben entnommen und gleich vor Ort mittels Membranfilter (0,45 µm) filtriert und in Kunststoffflaschen gefüllt.

Der Vergleich der vor Ort filtrierten Proben mit denen vom Labor zeigt, dass die bestimmten Konzentrationen in ihren Absolutgehalten zwar nur relativ gering voneinander abweichen, jedoch in den meisten Fällen die Gehalte in den vor Ort filtrierten Proben höher ausfallen (s. Abbildung 38[3]). Dies könnte ein Indiz dafür sein, dass sich der kurzen Standzeit der Probe

[3] In Abbildung 38b) erfolgt die Darstellung ohne den Parameter Zink bzw. ohne die Parameter Blei und Kupfer, um eine höhere Auflösung des Wertebereichs zu ermöglichen

Anlage 2:

Lageplan mit Schlüsselstollen und Probenahmepunkten



Legende:

- Abbaufeld, lufterfüllt
- Abbaufeld, geflutet
- Stollen
- Froschmühlenstollen
- Zabenstedter Stollen
- Strasse
- Untersuchungsgebiet Wimmelburg
- Untersuchungsgebiet Eisleben
- Probenahmepunkte Beprobung 07/2011 (Detaillierter Lageplan zu den Probenahmepunkten 9 - 14 und B – D siehe Abb. 33 im Bericht)

Landesanstalt für Altlastenfreistellung 4011 GVV: Frachtreduzierung Schlüsselstollen **Bericht zum Arbeitspaket A**	**Ermittlung der Auswirkungen des Schlüsselstollens auf den partikel-gebundenen Schadstofftransport in der Saale/Elbe**
Lageplan mit Schlüsselstollen und Probenahmepunkten (Basis-Karte TERRA-DATA GmbH, 08.06.2001 Anlage 3.1 – 1)	Auftr.-Nr. : 07-26 Anl.-Nr. : 2 M 1 : Ca. 60 700
PLEJADES Independent Experts	Gez.: YD Bearb : BB Datum : 28.09.2013

Anlage 3:

Analysenprotokolle

EUROFINS Umwelt Ost GmbH · Löbstedter Straße 78 · D-07749 Jena

GVV mbH
Am Petersenschacht 9

99706 Sondershausen

Titel:	**Prüfbericht zu Auftrag 61109566**
Prüfberichtsnummer:	**Nr. 6006959001**
Projektnummer:	**Nr. 6006959**
Projektbezeichnung:	**Niederröblingen**
Probenumfang:	**6 Proben**
Probenart:	**Wasser**
Probenehmer:	**PLEJADES Projekt-Team, Herr Bräutigam**
Probeneingang:	**21.07.2011**
Prüfzeitraum:	**21.07.2011 - 01.08.2011**

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände. Sofern die Proben nicht durch unser Labor oder in unserem Auftrag genommen wurden, wird die Verantwortung für die Richtigkeit der Probenahme abgelehnt. Dieser Prüfbericht ist nur mit Unterschrift gültig und darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen in jedem Einzelfall der Genehmigung der EUROFINS UMWELT.

Es gelten die Allgemeinen Verkaufsbedingungen (AVB) Stand Januar 2011, sofern nicht andere Regelungen vereinbart sind. Die aktuellen AVB können Sie jederzeit bei uns anfordern.

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.

Jena, den 01.08.2011

Dr. E. Riesenberg
Prüfleiterin
Tel.: 03641 / 4649 - 22

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14081-01-00

Projekt: Niederröblingen

			Probenbezeichnung	LL 20	LL 20 vor Ort filtriert	im Schlüssel-stollen, ohne Auf-wirbelung
			Labornummer	611067420	611067421	611067422
Parameter	**Einheit**	**BG**	**Methode**			
Bestimmung aus der Originalprobe						
pH-Wert	ohne		DIN 38404-C5	7,0	-	7,1
el. Leitfähigkeit (25 °C)	µS/cm	1	DIN EN 27888	56500	-	56500
Gesamttrockenrückstand (105°C)	mg/l	25	DIN 38409-H1-1	40000	-	40000
Hydrogencarbonat	mg/l	6	DIN 38405-D8	330	-	330
Säurekapazität pH 4,3	mmol/l	0,1	DIN 38409-H7	5,3	-	5,3
Gesamthärte	°dH	0,1	DIN 38409-H6	210	-	200
Carbonathärte	°dH	0,6	DIN 38409-H7	15	-	15
Chlorid	mg/l	0,1	DIN EN ISO 10304-1	20600	-	21200
Sulfat	mg/l	0,1	DIN EN ISO 10304-1	2190	-	2920
Ammonium	mg/l	0,04	DIN EN ISO 11732	0,77	-	0,73
Dichte bei 20°C	g/cm³		DIN EN ISO 12185	1,026	-	1,026
Bestimmung der Metalle aus der Originalprobe						
Calcium	mg/l	0,2	DIN EN ISO 11885	940	-	920
Magnesium	mg/l	0,1	DIN EN ISO 11885	320	-	320
Natrium	mg/l	0,5	DIN EN ISO 11885	12000	-	12000
Kalium	mg/l	5	DIN EN ISO 11885	160	-	160
Uran	mg/l	0,0002	DIN EN ISO 17294-2	0,058	-	0,066
Arsen	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,0039	-	0,017
Blei	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	1,9	-	5,8
Cadmium	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	0,082	-	0,087
Chrom, gesamt	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0050	-	0,0050
Kupfer	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	0,59	-	0,60
Thorium	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0010	-	< 0,0010
Nickel	mg/l	0,005	DIN EN ISO 17294-2	0,074	-	0,073
Quecksilber	mg/l	0,00005	DIN EN ISO 17852	< 0,000050	-	< 0,000050
Zink	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	27	-	28
Bestimmung aus der filtrierten Probe						
Uran, gelöst	mg/l	0,0002	DIN EN ISO 17294-2	0,053	0,061	0,064
Arsen, gelöst	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,0043	0,0048	0,0041
Blei, gelöst	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	1,4	1,7	1,4
Cadmium, gelöst	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	0,091	0,10	0,11
Chrom, gelöst	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	< 0,00050	< 0,0050	< 0,0050
Kupfer, gelöst	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	0,55	0,62	0,59
Thorium, gelöst	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010
Nickel, gelöst	mg/l	0,005	DIN EN ISO 17294-2	0,087	0,092	0,087
Quecksilber, gelöst	mg/l	0,00005	DIN EN ISO 17852	< 0,000050	-	< 0,000050
Zink, gelöst	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	28	31	31

Jena, den 01.08.2011

Dr. E. Riesenberg
Prüfleiterin

Projekt: Niederröblingen

			Probenbezeichnung	im Schlüssel-stollen, kurz nach Auf-wirbelung	Mundloch innen	Mundloch außen
			Labornummer	**611067423**	**611067424**	**611067425**
Parameter	**Einheit**	**BG**	**Methode**			
Bestimmung aus der Originalprobe						
pH-Wert	ohne		DIN 38404-C5	7,4	7,1	7,2
el. Leitfähigkeit (25 °C)	µS/cm	1	DIN EN 27888	56500	54000	53900
Gesamttrockenrückstand (105°C)	mg/l	25	DIN 38409-H1-1	40000	38000	38000
Hydrogencarbonat	mg/l	6	DIN 38405-D8	320	320	330
Säurekapazität pH 4,3	mmol/l	0,1	DIN 38409-H7	5,3	5,3	5,4
Gesamthärte	°dH	0,1	DIN 38409-H6	210	200	200
Carbonathärte	°dH	0,6	DIN 38409-H7	15	15	15
Chlorid	mg/l	0,1	DIN EN ISO 10304-1	21100	20200	19900
Sulfat	mg/l	0,1	DIN EN ISO 10304-1	2920	2770	2770
Ammonium	mg/l	0,04	DIN EN ISO 11732	0,76	0,50	0,50
Dichte bei 20°C	g/cm³		DIN EN ISO 12185	1,026	1,025	1,025
Bestimmung der Metalle aus der Originalprobe						
Calcium	mg/l	0,2	DIN EN ISO 11885	980	950	950
Magnesium	mg/l	0,1	DIN EN ISO 11885	320	310	310
Natrium	mg/l	0,5	DIN EN ISO 11885	12000	12000	12000
Kalium	mg/l	5	DIN EN ISO 11885	160	150	150
Uran	mg/l	0,0002	DIN EN ISO 17294-2	0,058	0,062	0,062
Arsen	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,0075	0,0051	0,0045
Blei	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	2,2	1,4	1,3
Cadmium	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	0,084	0,091	0,081
Chrom, gesamt	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Kupfer	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	0,60	0,58	0,52
Thorium	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010
Nickel	mg/l	0,005	DIN EN ISO 17294-2	0,074	0,082	0,064
Quecksilber	mg/l	0,00005	DIN EN ISO 17852	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050
Zink	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	28	28	26
Bestimmung aus der filtrierten Probe						
Uran, gelöst	mg/l	0,0002	DIN EN ISO 17294-2	0,058	0,062	0,062
Arsen, gelöst	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,0023	0,0011	0,0013
Blei, gelöst	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	1,3	1,00	1,0
Cadmium, gelöst	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	0,084	0,091	0,097
Chrom, gelöst	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Kupfer, gelöst	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	0,57	0,58	0,60
Thorium, gelöst	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010
Nickel, gelöst	mg/l	0,005	DIN EN ISO 17294-2	0,073	0,078	0,085
Quecksilber, gelöst	mg/l	0,00005	DIN EN ISO 17852	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050
Zink, gelöst	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	28	29	29

Jena, den 01.08.2011

Dr. E. Riesenberg
Prüfleiterin

EUROFINS Umwelt Ost GmbH · Löbstedter Straße 78 · D-07749 Jena

GVV mbH
Am Petersenschacht 9

99706 Sondershausen

Titel:	**Prüfbericht zu Auftrag 61109566**
Prüfberichtsnummer:	**Nr. 6006959002**
Projektnummer:	**Nr. 6006959**
Projektbezeichnung:	**Niederröblingen**
Probenumfang:	**2 Proben**
Probenart:	**Sediment**
Probenehmer:	**PLEJADES Projekt-Team, Herr Bräutigam**
Probeneingang:	**21.07.2011**
Prüfzeitraum:	**21.07.2011 - 29.07.2011**

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände. Sofern die Proben nicht durch unser Labor oder in unserem Auftrag genommen wurden, wird die Verantwortung für die Richtigkeit der Probenahme abgelehnt. Dieser Prüfbericht ist nur mit Unterschrift gültig und darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen in jedem Einzelfall der Genehmigung der EUROFINS UMWELT.

Es gelten die Allgemeinen Verkaufsbedingungen (AVB) Stand Januar 2011, sofern nicht andere Regelungen vereinbart sind. Die aktuellen AVB können Sie jederzeit bei uns anfordern.

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.

Jena, den 01.08.2011

Dr. E. Riesenberg
Prüfleiterin
03641 / 4649 - 22

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14081-01-00

Projekt: Niederröblingen

			Probenbezeichnung	Sediment-probe B	Sediment-probe D
			Labornummer	**611067426**	**611067427**
Parameter	**Einheit**	**BG**	**Methode**		
Bestimmung aus der Originalsubstanz					
Trockenmasse	Ma.-%	0,1	DIN EN 14346	35,1	59,9
Bestimmung aus dem Königswasseraufschluss					
Arsen	mg/kg TS	2	DIN ISO 22036	1600	8,3
Blei	mg/kg TS	2	DIN ISO 22036	64000	1400
Cadmium	mg/kg TS	0,2	DIN ISO 22036	2,1	1,4
Chrom	mg/kg TS	1	DIN ISO 22036	38	14
Kupfer	mg/kg TS	1	DIN ISO 22036	930	230
Nickel	mg/kg TS	1	DIN ISO 22036	43	14
Quecksilber	mg/kg TS	0,01	DIN EN ISO 16772	1,8	0,067
Thorium	mg/kg TS	0,1	DIN EN ISO 17294-2	7,7	5,5
Uran	mg/kg TS	0,1	DIN EN ISO 17294-2	15	1,2
Zink	mg/kg TS	2	DIN ISO 22036	5500	820
Bestimmung aus dem Eluat					
pH-Wert	ohne		DIN 38404-C5	7,6	7,6
el. Leitfähigkeit (25 °C)	µS/cm	1	DIN EN 27888	13300	2980
Chlorid	mg/l	0,1	DIN EN ISO 10304-2	4150	801
Sulfat	mg/l	0,1	DIN EN ISO 10304-2	571	88,4

Jena, den 01.08.2011

Dr. E. Riesenberg
Prüfleiterin

EUROFINS Umwelt Ost GmbH · Löbstedter Straße 78 · D-07749 Jena

GVV mbH
Am Petersenschacht 9

99706 Sondershausen

Titel:	**Prüfbericht zu Auftrag 61109593**
Prüfberichtsnummer:	**Nr. 6006959003**
Projektnummer:	**Nr. 6006959**
Projektbezeichnung:	**Niederröblingen**
Probenumfang:	**11 Proben**
Probenart:	**Wasser**
Probenehmer:	**PLEJADES Projekt-Team, Herr Bräutigam**
Probeneingang:	**22.07.2011**
Prüfzeitraum:	**22.07.2011 - 01.08.2011**

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände. Sofern die Proben nicht durch unser Labor oder in unserem Auftrag genommen wurden, wird die Verantwortung für die Richtigkeit der Probenahme abgelehnt. Dieser Prüfbericht ist nur mit Unterschrift gültig und darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen in jedem Einzelfall der Genehmigung der EUROFINS UMWELT.

Es gelten die Allgemeinen Verkaufsbedingungen (AVB) Stand Januar 2011, sofern nicht andere Regelungen vereinbart sind. Die aktuellen AVB können Sie jederzeit bei uns anfordern.

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.

Jena, den 01.08.2011

Dr. E. Riesenberg
Prüfleiterin
Tel.: 03641 / 4649 - 22

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14081-01-00

Projekt: Niederröblingen

			Probenbezeichnung	Freiers-leben-Schacht	Freiers-leben-Schacht, Anstau M.Mulde	Freiers-leben-Schacht, Anstau M.Mulde (vor Ort filtriert)	LL 26, Haupt-strom
			Labornummer	**611067751**	**611067752**	**611067753**	**611067754**
Parameter	**Einheit**	**BG**	**Methode**				
Bestimmung aus der Originalprobe							
pH-Wert	ohne		DIN 38404-C5	7,2	6,7	-	7,1
el. Leitfähigkeit (25 °C)	µS/cm	1	DIN EN 27888	21800	82000	-	36700
Gesamttrockenrückstand (105°C)	mg/l	25	DIN 38409-H1-1	14000	62000	-	25000
Hydrogencarbonat	mg/l	6	DIN 38405-D8	340	330	-	320
Säurekapazität pH 4,3	mmol/l	0,1	DIN 38409-H7	5,6	5,4	-	5,3
Gesamthärte	°dH	0,1	DIN 38409-H6	130	260	-	160
Carbonathärte	°dH	0,6	DIN 38409-H7	16	15	-	15
Chlorid	mg/l	0,1	DIN EN ISO 10304-1	7940	32600	-	12500
Sulfat	mg/l	0,1	DIN EN ISO 10304-1	1690	2890	-	2170
Ammonium	mg/l	0,04	DIN EN ISO 11732	0,10	1,6	-	0,38
Dichte bei 20°C	g/cm³		DIN EN ISO 12185	1,009	1,040	-	1,016
Bestimmung der Metalle aus der Originalprobe							
Calcium	mg/l	0,2	DIN EN ISO 11885	630	1200	-	790
Magnesium	mg/l	0,1	DIN EN ISO 11885	160	400	-	230
Natrium	mg/l	0,5	DIN EN ISO 11885	4100	14000	-	7400
Kalium	mg/l	5	DIN EN ISO 11885	59	200	-	100
Uran	mg/l	0,0002	DIN EN ISO 17294-2	0,042	0,063	-	0,047
Arsen	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,0039	0,0012	-	0,0078
Blei	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,47	2,1	-	1,1
Cadmium	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	0,027	0,095	-	0,057
Chrom, gesamt	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0050	< 0,0050	-	< 0,0050
Kupfer	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	0,26	0,71	-	0,41
Thorium	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	< 0,001	< 0,001	-	< 0,001
Nickel	mg/l	0,005	DIN EN ISO 17294-2	0,052	0,11	-	0,058
Quecksilber	mg/l	0,00005	DIN EN ISO 17852	< 0,00005	0,00	-	< 0,00005
Zink	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	11	31	-	17
Bestimmung aus der filtrierten Probe							
Uran, gelöst	mg/l	0,0002	DIN EN ISO 17294-2	0,042	0,068	0,078	0,048
Arsen, gelöst	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,0048	< 0,0010	0,0015	0,0042
Blei, gelöst	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,45	3,3	4,0	1,1
Cadmium, gelöst	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	0,023	0,12	0,14	0,055
Chrom, gelöst	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Kupfer, gelöst	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	0,27	1,0	1,2	0,44
Thorium, gelöst	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010
Nickel, gelöst	mg/l	0,005	DIN EN ISO 17294-2	0,049	0,12	0,11	0,055
Quecksilber, gelöst	mg/l	0,00005	DIN EN ISO 17852	< 0,000050	0,00012	-	< 0,000050
Zink, gelöst	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	11	39	44	17

Jena, den 01.08.2011

Dr. E. Riesenberg
Prüfleiterin

Projekt: Niederröblingen

			Probenbezeichnung	LL 26, Gebirgs-wasser	vor Zusammen-fluss Schlenze	vor Zusammen-fluss Schlenze (vor Ort filtriert)
			Labornummer	**611067755**	**611067756**	**611067757**
Parameter	**Einheit**	**BG**	**Methode**			
Bestimmung aus der Originalprobe						
pH-Wert	ohne		DIN 38404-C5	7,7	7,1	-
el. Leitfähigkeit (25 °C)	µS/cm	1	DIN EN 27888	1640	54300	-
Gesamttrockenrückstand (105°C)	mg/l	25	DIN 38409-H1-1	1400	39000	-
Hydrogencarbonat	mg/l	6	DIN 38405-D8	300	330	-
Säurekapazität pH 4,3	mmol/l	0,1	DIN 38409-H7	4,8	5,5	-
Gesamthärte	°dH	0,1	DIN 38409-H6	50	200	-
Carbonathärte	°dH	0,6	DIN 38409-H7	14	15	-
Chlorid	mg/l	0,1	DIN EN ISO 10304-1	128	19800	-
Sulfat	mg/l	0,1	DIN EN ISO 10304-1	693	2100	-
Ammonium	mg/l	0,04	DIN EN ISO 11732	< 0,04	0,48	-
Dichte bei 20°C	g/cm³		DIN EN ISO 12185	0,999	1,025	-
Bestimmung der Metalle aus der Originalprobe						
Calcium	mg/l	0,2	DIN EN ISO 11885	270	930	-
Magnesium	mg/l	0,1	DIN EN ISO 11885	55	320	-
Natrium	mg/l	0,5	DIN EN ISO 11885	48	11000	-
Kalium	mg/l	5	DIN EN ISO 11885	8,6	150	-
Uran	mg/l	0,0002	DIN EN ISO 17294-2	0,0	0,054	-
Arsen	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,0020	0,0051	-
Blei	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,0041	1,4	-
Cadmium	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	< 0,00050	0,074	-
Chrom, gesamt	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0050	< 0,0050	-
Kupfer	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	< 0,010	0,52	-
Thorium	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	< 0,001	< 0,001	-
Nickel	mg/l	0,005	DIN EN ISO 17294-2	0,021	0,073	-
Quecksilber	mg/l	0,00005	DIN EN ISO 17852	< 0,00005	< 0,00005	-
Zink	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	0,33	26	-
Bestimmung aus der filtrierten Probe						
Uran, gelöst	mg/l	0,0002	DIN EN ISO 17294-2	0,012	0,055	0,055
Arsen, gelöst	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0010	0,0019	< 0,0010
Blei, gelöst	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,0050	0,92	0,95
Cadmium, gelöst	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	< 0,00050	0,085	0,080
Chrom, gelöst	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Kupfer, gelöst	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	< 0,010	0,50	0,54
Thorium, gelöst	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010
Nickel, gelöst	mg/l	0,005	DIN EN ISO 17294-2	0,017	0,079	0,077
Quecksilber, gelöst	mg/l	0,00005	DIN EN ISO 17852	< 0,000050	< 0,000050	-
Zink, gelöst	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	0,35	27	26

Jena, den 01.08.2011

Dr. E. Riesenberg
Prüfleiterin

Projekt: Niederröblingen

			Probenbezeichnung	Schlenze, vor Zusammen-fluss Schlüsselst.	Schlenz, vor Einmün-dung Saale	Saale, ca. 100 m nach Einmün-dung Schlenze	W-Schacht, Probe aus Anstau
			Labornummer	**611067758**	**611067759**	**611067760**	**611067761**
Parameter	**Einheit**	**BG**	**Methode**				
Bestimmung aus der Originalprobe							
pH-Wert	ohne		DIN 38404-C5	8,2	7,5	8,0	7,2
el. Leitfähigkeit (25 °C)	µS/cm	1	DIN EN 27888	1890	40800	1680	1690
Gesamttrockenrückstand (105°C)	mg/l	25	DIN 38409-H1-1	1700	28000	1400	1500
Hydrogencarbonat	mg/l	6	DIN 38405-D8	400	350	200	370
Säurekapazität pH 4,3	mmol/l	0,1	DIN 38409-H7	6,6	5,7	3,3	6,1
Gesamthärte	°dH	0,1	DIN 38409-H6	53	160	31	55
Carbonathärte	°dH	0,6	DIN 38409-H7	18	16	9,4	17
Chlorid	mg/l	0,1	DIN EN ISO 10304-1	209	12800	255	101
Sulfat	mg/l	0,1	DIN EN ISO 10304-1	578	1510	352	516
Ammonium	mg/l	0,04	DIN EN ISO 11732	0,09	0,35	0,09	< 0,04
Dichte bei 20°C	g/cm³		DIN EN ISO 12185	1,000	1,018	0,999	0,999
Bestimmung der Metalle aus der Originalprobe							
Calcium	mg/l	0,2	DIN EN ISO 11885	260	770	160	290
Magnesium	mg/l	0,1	DIN EN ISO 11885	70	240	39	62
Natrium	mg/l	0,5	DIN EN ISO 11885	79	8200	150	29
Kalium	mg/l	5	DIN EN ISO 11885	19	110	13	8,6
Uran	mg/l	0,0002	DIN EN ISO 17294-2	0,015	0,044	0,0028	0,047
Arsen	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0010	0,0033	< 0,0010	0,0010
Blei	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,012	0,88	0,0089	0,0063
Cadmium	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	< 0,00050	0,054	< 0,00050	0,0020
Chrom, gesamt	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Kupfer	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	< 0,010	0,39	< 0,010	0,12
Thorium	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Nickel	mg/l	0,005	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0050	0,054	0,0073	0,030
Quecksilber	mg/l	0,00005	DIN EN ISO 17852	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005
Zink	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	0,16	19	0,10	2,4
Bestimmung aus der filtrierten Probe							
Uran, gelöst	mg/l	0,0002	DIN EN ISO 17294-2	0,020	0,048	0,0045	0,052
Arsen, gelöst	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0010	0,0022	< 0,0010	0,0026
Blei, gelöst	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,0050	0,58	0,0019	0,012
Cadmium, gelöst	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	< 0,00050	0,055	< 0,00050	0,0020
Chrom, gelöst	mg/l	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Kupfer, gelöst	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	< 0,010	0,32	< 0,010	0,10
Thorium, gelöst	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010
Nickel, gelöst	mg/l	0,005	DIN EN ISO 17294-2	< 0,0050	0,050	< 0,0050	0,026
Quecksilber, gelöst	mg/l	0,00005	DIN EN ISO 17852	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050
Zink, gelöst	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2	0,11	19	0,22	2,9

Jena, den 01.08.2011

Dr. E. Riesenberg
Prüfleiterin

EUROFINS Umwelt Ost GmbH · Löbstedter Straße 78 · D-07749 Jena

GVV mbH
Am Petersenschacht 9

99706 Sondershausen

Titel:	**Prüfbericht zu Auftrag 61109593**
Prüfberichtsnummer:	**Nr. 6006959004**
Projektnummer:	**Nr. 6006959**
Projektbezeichnung:	**Niederröblingen**
Probenumfang:	**2 Proben**
Probenart:	**Sediment**
Probenehmer:	**PLEJADES Projekt-Team, Herr Bräutigam**
Probeneingang:	**22.07.2011**
Prüfzeitraum:	**22.07.2011 - 29.07.2011**

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände. Sofern die Proben nicht durch unser Labor oder in unserem Auftrag genommen wurden, wird die Verantwortung für die Richtigkeit der Probenahme abgelehnt. Dieser Prüfbericht ist nur mit Unterschrift gültig und darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen in jedem Einzelfall der Genehmigung der EUROFINS UMWELT.

Es gelten die Allgemeinen Verkaufsbedingungen (AVB) Stand Januar 2011, sofern nicht andere Regelungen vereinbart sind. Die aktuellen AVB können Sie jederzeit bei uns anfordern.

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.

Jena, den 01.08.2011

Dr. E. Riesenberg
Prüfleiterin
03641 / 4649 - 22

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14081-01-00

Projekt: Niederröblingen

			Probenbezeichnung	Sediment-probe A	Sediment-probe C, Schlenze, vor Ein-mündung Saale
			Labornummer	**611067762**	**611067763**
Parameter	**Einheit**	**BG**	**Methode**		
Bestimmung aus der Originalsubstanz					
Trockenmasse	Ma.-%	0,1	DIN EN 14346	36,0	52,8
Bestimmung aus dem Königswasseraufschluss					
Arsen	mg/kg TS	2	DIN ISO 22036	5200	98
Blei	mg/kg TS	2	DIN ISO 22036	5700	8800
Cadmium	mg/kg TS	0,2	DIN ISO 22036	4,3	1,3
Chrom	mg/kg TS	1	DIN ISO 22036	40	22
Kupfer	mg/kg TS	1	DIN ISO 22036	700	460
Nickel	mg/kg TS	1	DIN ISO 22036	40	36
Quecksilber	mg/kg TS	0,01	DIN EN ISO 16772	2,9	0,100
Thorium	mg/kg TS	0,1	DIN EN ISO 17294-2	7,4	6,4
Uran	mg/kg TS	0,1	DIN EN ISO 17294-2	12	2,7
Zink	mg/kg TS	2	DIN ISO 22036	6100	1800
Bestimmung aus dem Eluat					
pH-Wert	ohne		DIN 38404-C5	7,6	7,8
el. Leitfähigkeit (25 °C)	µS/cm	1	DIN EN 27888	8710	6140
Chlorid	mg/l	0,1	DIN EN ISO 10304-2	2660	1810
Sulfat	mg/l	0,1	DIN EN ISO 10304-2	400	230

Jena, den 01.08.2011

Dr. E. Riesenberg
Prüfleiterin

Anlage 4:

Fotodokumentation Probenahme

Fotodokumentation

Foto 1: Schlüsselstollen ca. 70 0 m stromab Freiesleben Schacht; Probenahmepunkt der Sedimentprobe A (20.07.2011)

Foto 2: Schlüsselstollen am Lichtloch 20Z; Probenahmepunkt der Wasserprobe 1 (21.07.2011)

Anlage 4

Foto 7: Schlenze; Probenahmepunkt der Wasserprobe 12: (20.07.2011)

Foto 8:

Schlenze vor Einmündung in die Saale; Probenahmepunkt der Wasserprobe 13 und Sedimentprobe D: (20.07.2011)

Foto 9: Saale, Wasserprobe 14: Messung der Feldparameter (20.07.2011)

Foto 10: Sedimentprobe A, Absetzversuch; links: nach 30 Minuten in Leitungswasser; rechts: nach 20 Minuten in Salzwasser (40,2 mS/cm) (28.09.2011)

Foto 11:

Sedimentprobe B, Absetzversuch;
links: nach 60 Minuten in Leitungswasser;
rechts: nach 25 Minuten in Salzwasser (39,8 mS/cm)

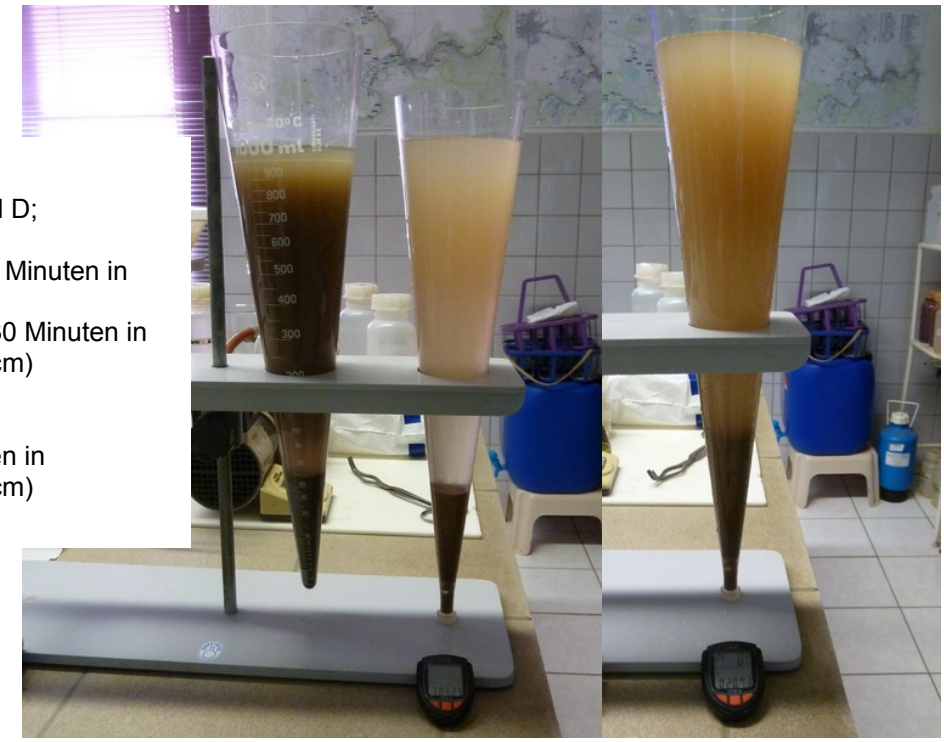


Foto 11:

Sedimentproben C und D;
linkes Foto:
links: Probe D nach 60 Minuten in Leitungswasser;
rechts: Probe C nach 30 Minuten in Salzwasser (42,6 mS/cm)

rechtes Foto:
Probe C nach 2 Minuten in Salzwasser (42,6 mS/cm)
(28.09.2011)

Anlage 5:

Ergebnisse der Frachtberechnungen im Rahmen der ad hoc AG Schadstoffe/ Sedimentmanagement der AG OW der FGG Elbe für die Schlenze

Ergebnisse der Frachtberechnungen im Rahmen der ad hoc AG Schadstoffe/ Sedimentmanagement der AG OW der FGG Elbe für die Schlenze [LHW (2012c)]

	Jahr	Fracht [t/a], in der Schlenze, Mündung Saale *Mittelwerte in Abhängigkeit von Berechnungsmethode*							
		1.1a)_EP	1.1b)_EP	1.2a)	1.2b)	1.2.2e)	1.2.2f)	2.1.2a)	2.2b)
		Real	Trend	Real	Trend	Real	Trend	Real	Trend
Hg	2004	-	-	-	-	-	-	-	-
	2005	-	-	-	-	-	-	-	-
	2006	-	-	-	-	-	-	-	-
	2007	-	-	-	-	-	-	-	-
	2008	-	-	-	-	-	-	-	-
	2009	-	-	-	-	-	-	0,00002	0,00002
	Ø 2004-09								
	2010	-	-	-	-	-	-	0,00005	0,00004
	Ø gesamt							0,000035	0,00003
Cd	2004	0,118	0,149	-	-	-	-	-	-
	2005	0,129	0,158	-	-	-	-	-	-
	2006	-	-	0,126	0,15	-	-	-	-
	2007	-	-	0,121	0,159	-	-	-	-
	2008	0,188	0,252	0,182	0,244	-	-	-	-
	2009	0,159	0,21	0,157	0,208	0,1571	0,2082	0,0001	0,0002
	Ø 2004-09	0,1485	0,19225	0,1465	0,19025				
	2010	0,231	0,184	0,227	0,181	0,2273	0,1812	0,0003	0,0002
	Ø gesamt	0,165	0,1906	0,1626	0,1884	0,1922	0,1947	0,0002	0,0002
Pb	2004	2,942	3,733	-	-	-	-	-	-
	2005	2,514	3,098	-	-	-	-	-	-
	2006	-	-	1,55	1,84	-	-	-	-
	2007	-	-	1,32	1,741	-	-	-	-
	2008	3,066	4,119	1,964	2,638	-	-	-	-
	2009	2,367	3,122	1,648	2,174	2,298	3,032	0,65	0,858
	Ø 2004-09	2,72225	3,518	1,6205	2,09825				
	2010	3,767	3,003	2,477	1,974	4,337	3,457	1,86	1,483
	Ø gesamt	2,9312	3,415	1,7918	2,0734	3,3175	3,2445	1,255	1,1705
Zn	2004	54,423	69,047	-	-	-	-	-	-
	2005	61,426	75,687	-	-	-	-	-	-
	2006	66,125	78,506	-	-	-	-	-	-
	2007	52,499	69,268	-	-	-	-	-	-
	2008	70,362	94,529	-	-	-	-	-	-
	2009	60,061	79,241	-	-	-	-	0,163	0,215
	Ø 2004-09	60,816	77,713						
	2010	82,624	65,865	-	-	-	-	0,29	0,231
	Ø gesamt	63,93143	76,02043					0,2265	0,223

	Jahr	Fracht [t/a], in der Schlenze, Mündung Saale *Mittelwerte in Abhängigkeit von Berechnungsmethode*							
		1.1a)_EP	1.1b)_EP	1.2a)	1.2b)	1.2.2e)	1.2.2f)	2.1.2a)	2.2b)
		Real	Trend	Real	Trend	Real	Trend	Real	Trend
Cu	2004	1,253	1,59	-	-	-	-	-	-
	2005	1,167	1,438	-	-	-	-	-	-
	2006	1,164	1,382	-	-	-	-	-	-
	2007	1,05	1,386	-	-	-	-	-	-
	2008	1,5	2,016	-	-	-	-	-	-
	2009	1,046	1,381	-	-	-	-	0,065	0,086
	Ø 2004-09	1,196667	1,532167						
	2010	1,594	1,27	-	-	-	-	0,141	0,113
	Ø gesamt	1,253429	1,494714					0,103	0,0995
Ni	2004	0,207	0,263	-	-	-	-	-	-
	2005	0,192	0,237	-	-	-	-	-	-
	2006	-	-	0,222	0,263	-	-	-	-
	2007	-	-	0,151	0,199	-	-	-	-
	2008	0,225	0,303	0,186	0,25	-	-	-	-
	2009	0,169	0,223	0,166	0,219	0,168	0,222	0,002	0,003
	Ø 2004-09	0,19825	0,2565	0,18125	0,23275				
	2010	0,276	0,22	0,267	0,213	0,271	0,216	0,004	0,003
	Ø gesamt	0,2138	0,2492	0,1984	0,2288	0,2195	0,219	0,003	0,003
As	2004	0,022	0,028	-	-	-	-	-	-
	2005	0,016	0,02	-	-	-	-	-	-
	2006	0,017	0,02	-	-	-	-	-	-
	2007	0,019	0,025	-	-	-	-	-	-
	2008	0,014	0,018	-	-	-	-	-	-
	2009	<0,012	<0,016	-	-	-	-	0,003	0,004
	Ø 2004-09	0,0176	0,0222						
	2010	0,036	<0,028	-	-	-	-	0,008	0,006
	Ø gesamt	0,020667	<0,028					0,0055	0,005
Cr	2004	0,01	0,013	-	-	-	-	-	-
	2005	<0,015	<0,019	-	-	-	-	-	-
	2006	<0,023	<0,027	-	-	-	-	-	-
	2007	<0,021	<0,027	-	-	-	-	-	-
	2008	<0,02	<0,027	-	-	-	-	-	-
	2009	<0,021	<0,027	-	-	-	-	0,003	0,004
	Ø 2004-09	<0,01	<0,013						
	2010	<0,034	<0,027	-	-	-	-	0,006	0,005
	Ø gesamt	<0,034	<0,027					0,0045	0,0045