

***Entwicklung einer kostengünstigen
Maßnahmenkombination für die Minimierung
von Schwermetalleinträgen aus Stollenwas-
sereinleitungen des Tiefen Sauberger Stollen***



Abschlussbericht zum Werkvertrag

***„Entwicklung einer kostengünstigen
Maßnahmenkombination für die Minimierung
von Schwermetalleinträgen aus Stollenwassereinleitungen
des Tiefen Sauberger Stolln“***

Dr. Frank Haubrich
Dipl.-Chem. Mirko Martin
Dipl.-Ing. Tim Aubel

G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke

Bearbeitungszeitraum: 28.08.2015 – 30.11.2016

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel und Hintergrund	8
2	Anforderungen der WRRL und deren nationale Umsetzung	9
3	Gebietsbeschreibung und Rahmenbedingungen	11
3.1	Einordnung der Wasserlösestollen	11
3.2	Charakteristik des Tiefen Sauberger Stollns.....	11
3.3	Schutzgebiete, Denkmalschutz, Hochwasserschutz.....	12
3.4	Oberes Einzugsgebiet der Wilisch	13
3.5	Elementkonzentrationen im Verlauf der Wilisch.....	14
3.6	Angetroffene Übertagesituation am Tiefen Sauberger Stolln und Vorfluter Wilisch	15
3.7	Angetroffene Untertagesituation im TSS bei Befahrung	16
3.8	Datenlage zur Hydrologie, Hydrogeochemie und Stofffrachten	16
3.9	Statistische Datenauswertung	19
4	Auswahl und Diskussion von Behandlungsmöglichkeiten	22
4.1	Ermittlung des Behandlungszielwertes	22
4.1.1	Ermittlung aus den Anforderungen der OGewV	22
4.1.2	Einschätzung der Bioverfügbarkeit von Nickel	23
4.1.3	Ermittlung aus den Hintergrundwerten von unbelasteten Oberflächengewässern.....	24
4.1.4	Ermittlung aus den Hintergrunddaten der Wilisch	24
4.2	Maßnahmenkombinationen	27
4.2.1	Maßnahmemöglichkeiten/Technische Umsetzung	28
4.2.2	Sandfilter/Kerzenfilter.....	30
4.2.3	Ionenaustauscher (Ni-, Cd-, Zn-Reduzierung).....	30
4.2.4	Sorptionskolonne (As-Reduzierung)	31
4.3	Kostenschätzung	32
4.3.1	Investitionskosten	32
4.3.2	Personalkosten	32
4.3.3	Betriebskosten	33
5	Forschungs- und Handlungsbedarf	34
6	Literaturverzeichnis	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ausweisung des unmittelbaren Bereichs des Tiefen Sauberger Stollns und angrenzender Wilisch in die Hochwasserintensitätseinstufungen [13]	12
Abbildung 2:	Überblick über die Lage von Entwässerungsstollen des Ehrenfriedersdorfer Reviers und den Oberflächenwasser-Meßstellen im Einzugsgebiet der Wilisch.	13
Abbildung 3:	Veränderungen der Elementkonzentrationen in der Wilisch von OBF36791_Mön bis OBF 36800_Sch = Mündung in die Zschopau), Angabe der Mittelwerte	14
Abbildung 4:	a) „normale“ Wasserführung der Wilisch 50 m flussaufwärts der Shell-Tankstelle, b) trockenes Bachbett der Wilisch (rechte Bildseite) auf Höhe Mündung des TSS	15
Abbildung 5:	Angetroffene Untertagesituation im Tiefen Sauberger Stolln mit seitlichen Zuflüssen aus der Trockenmauerung	16
Abbildung 6:	Zeitverlauf von Durchfluss und As-Gehalten des TSS zwischen 2002 und 2016 (Daten aus [9], [11], [12]).....	17
Abbildung 7:	Zeitverlauf der Nickel- und Cadmiumgehalte im TSS zwischen 2002 und 2016 (Daten aus [9], [11], [12]).....	17
Abbildung 8:	Zeitverlauf der Zink- und Mangangehalte im TSS zwischen 2002 und 2016 (Daten aus [9], [11], [12])	18
Abbildung 9:	Durchflussverteilung Tiefer Sauberger Stolln (Zeitraum 2008 – 2016).....	27
Abbildung 10:	Anteil behandeltes Wasservolumen des Tiefen Sauberger Stollns (Zeitraum 2008 – 2016).....	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	UQN der OGewV (Auszug der in dieser Studie prioritär betrachteten Parameter) nach [5]	10
Tabelle 2:	Korrektur der Koordinaten von OBF36790_TSS Mundloch und OBF36794_TSS Mündung (Angaben Gauss-Krüger, Bessel, Potsdam)	12
Tabelle 3:	Gegenüberstellung der Elementkonzentrationen, Frachten und prozentualen Anteile der Entwässerungsstollen im Ehrenfriedersdorfer Revier (TSS – Tiefer Sauberger Stolln, GRVIER – Großvierunger Stolln, GREIF – Greifenbachstolln, GoAd – Goldner Adler Stolln)	13
Tabelle 4:	Elementkonzentrationen in der der Wilisch von OBF 36791_Mön bis OBF 36800_Sch (Angabe der Mittelwerte, Datenbasis LfLUG [11]).....	15
Tabelle 5:	Statistische Kennwerte der Elementkonzentrationen im TSS in verschiedenen Zeitintervallen	18
Tabelle 6:	Statistische Auswertung der Gütedaten der OBF36793, 36794 und 36795 für den Zeitraum 2002 – 2016	20
Tabelle 7:	Mittelwerte und P90 der Elementkonzentrationen im TSS im Zeitraum 2008 - 2016	22
Tabelle 8:	UQN der OGewV (Auszug der in dieser Studie betrachteten Parameter für Cd)	23
Tabelle 9:	Klassen von Bioverfügbarkeitsfaktoren (BioF) in Abhängigkeit von pH und DOC in der gelösten Wasserprobe (nach [23]).....	23
Tabelle 10:	Bioverfügbarkeit von Ni in Abhängigkeit von pH und DOC-Gehalt im Wasser	24
Tabelle 11:	Elementkonzentrationen von unbelasteten Oberflächenwasserkörpern aus dem Einzugsbereich der Zschopau [16] - Wässer	24
Tabelle 12:	Elementkonzentrationen in der Wilisch vor und nach Zufluss des TSS.....	25
Tabelle 13:	Elementkonzentrationen in den Sedimenten von unbelasteten Oberflächenwasserkörpern und den Sedimenten der Wilisch (P 90% = 90 % Perzentil).....	25
Tabelle 14:	Elementkonzentrationen aus Tabelle 12 korrigiert mit den mittleren Faktoren zur Berechnung von Fraktion < 0,02 auf < 0,063 mm (Datengrundlage LfLUG [11])	26
Tabelle 15:	Gegenüberstellung der Konzentrationen und Frachten der gelösten und partikulären Anteile des Tiefen Sauberger Stollns (Datenbasis [9][11][12]).....	28
Tabelle 16:	Gelöste und partikulär transportierte Elementfrachten aus dem TSS.....	29
Tabelle 17:	Faktoren der Reduktion der betrachteten Elemente im Sediment und im Wasserkörper	30
Tabelle 18:	Investitionskosten der einzelnen Verfahrensvarianten	32
Tabelle 19:	Personalkosten.....	32

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Einzugsbereich der Wilisch mit Messstellen des Landesgewässernetzes von Sachsen
- Anlage 2: Grundriss des Tiefen Sauberger Stolln
- Anlage 3: Maßstäbliche Lage des TSS in Bezug zur Wilisch / Ermittlung des Flächenmanagements
- Anlage 4: Investitionskosten
- Anlage 5: Betriebskosten

Abkürzungsverzeichnis

BLM	Biologandenmodell
BioF	Bioverfügbarkeitsfaktor
DOC	gelöster organischer Kohlenstoff
TSS	Tiefer Sauberger Stolln
GREIF	Greifenbach Stolln
GoAd	Goldne Adler Stolln
GVIER	Großvierunger Stolln
EZG	Einzugsgebiet
UQN	Umweltqualitätsnorm
JD	Jahresdurchschnitt
ZHK	zulässige Höchstkonzentration
HKL	Härteklasse
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
OBF36791_Mön	Oberflächenwassermesspunkt Ehrenfriedersdorf, Gewerbegebiet am Mönchsbad
OBF36797_oSei	Oberflächenwassermesspunkt Ehrenfriedersdorf, oberhalb Seifental
OBF36797_Wet	Oberflächenwassermesspunkt Ehrenfriedersdorf, Wettinstraße
OBF36793_oTSS	Oberflächenwassermesspunkt Ehrenfriedersdorf, oberhalb Tiefer Sauberger Stolln
OBF36794_TSS	Oberflächenwassermesspunkt Ehrenfriedersdorf, Mündung Tiefer Sauberger Stolln
OBF36795_Her	Oberflächenwassermesspunkt Ehrenfriedersdorf, Herolder Straße
OBF36798_Ven	Oberflächenwassermesspunkt Venusberg/Gelenau
OBF36800_Sch	Oberflächenwassermesspunkt Schlößchen

1 Ziel und Hintergrund

Der Tiefe Saubeger Stollen (TSS) ist der Hauptentwässerungsstollen des Ehrenfriedersdorfer Grubenreviers. Der Stollenwasseraustrag beträgt durchschnittlich 252 m³/h (305 m³/h). Der dauerhafte Erhalt der Entwässerungseinrichtungen von Grubenbauen ist eine wesentliche Voraussetzung für stabile hydraulische und geotechnische Verhältnisse in den eingestellten Gruben und an der Tagesoberfläche. Da der Stollen als unterirdisches Drainagesystem wirkt, nimmt er auch metall- und arsenbelastete Sickerwässer aus dem Grubenrevier des ehemaligen Bergbaubetriebes Zinnerz Ehrenfriedersdorf GmbH auf und stellt eine große punktuelle Belastungsquelle hauptsächlich für Arsen des Altbergbaus im Ehrenfriedersdorfer Raum dar. Die Auswirkungen der Arsen- und Schwermetallfracht auf den Vorfluter Wilisch kann bis zur Mündung in die Zschopau verfolgt werden.

Im Rahmen der Umsetzung der WRRL sind kostengünstige Maßnahmenkombinationen zur Reduzierung von Schadstoffeinträgen zur Verbesserung der Gewässerqualität zu konzipieren.

In der zu erstellenden Studie sollen unter den Voraussetzungen, dass die untertägigen Verhältnisse im Stollen und der Schadstoffaustrag konstant bleiben sowie unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten, Möglichkeiten zur Schwermetallreduzierung aufgezeigt und diskutiert sowie die Verhältnismäßigkeit der Maßnahmen abgeschätzt werden. Die Schwerpunkte liegen auf Arsen, Nickel, Cadmium und Zink.

Die G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH wurde mit dem Werkvertrag vom 17.09.2016 durch das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie mit den entsprechenden Arbeiten beauftragt.

2 Anforderungen der WRRL und deren nationale Umsetzung

Die gesetzliche Grundlage für die Wasserqualität in den Ländern der Europäischen Union bildet die im Jahre 2000 verabschiedete Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000) [1], die ständig fortgeschrieben wird (WRRL 2006 [2], WRRL 2008 [3]). Für Sachsen gilt nach Ablösung der SächsWRRLVO (2004) [4] die „Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer“ (Oberflächengewässerverordnung – OGewV) vom 20.06.2016 [5]. Für Schwebstoffe bzw. schwebstoffbürtige Sedimente wurden für die Elemente As, Cr, Cu und Zn verbindliche Umweltqualitätsnormen (UQN) festgelegt. Weitere Normen gelten für die Elemente Ag, Se, Tl, Ni und Pb sowie Cd und Hg.

Die im Jahr 2000 durch das Europäische Parlament verabschiedete Richtlinie zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (WRRL) gibt die Rahmenbedingungen vor, um einen guten ökologischen und chemischen Zustand aller Gewässer Europas (Flüsse, Seen, Küstengewässer und Grundwasser) zu erreichen. Die Mitgliedsstaaten sind hierbei die Verpflichtung eingegangen, Oberflächenwasserkörper zu schützen, zu verbessern und zu sanieren, um bis 2015 diesen guten Zustand zu erreichen. Er wird durch biologische, hydromorphologische und chemisch-physikalische Qualitätskomponenten definiert.

In diesem Zusammenhang wurden in der Tochtrichtlinie [3] zur WRRL Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik festgelegt. In Anhang 4 wurden 33 prioritäre Stoffe festgelegt, unter denen prioritäre gefährliche Stoffe besonders hervorgehoben werden, die toxisch, bioakkumulierend und persistent sind oder vergleichbaren Anlass zur Besorgnis geben. In diese letztgenannte Gruppe gehören neben Pestiziden auch Cadmium und Cadmiumverbindungen sowie Quecksilber und Quecksilberverbindungen. Die Einleitungen und Emissionen dieser Stoffe soll innerhalb der kommenden 20 Jahre weitgehend eingestellt werden, so dass sie langfristig nicht mehr in Gewässern und der Meeresumwelt auftreten.

Zur Umsetzung der EU WRRL für Sachsen wurde am 07.12.2004 die Sächsische Wasserrahmenrichtlinienverordnung (SächsWRRL-VO) [4] erlassen. Diese wurde zwischenzeitlich durch die Oberflächengewässerverordnung [5] abgelöst. Zusammen mit der Grundwasserverordnung legt sie die für Bewertungen erhobener Daten relevanten Umweltqualitätsnormen (UQN) fest. Diese Normen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: UQN der OGewV (Auszug der in dieser Studie prioritär betrachteten Parameter) nach [5]

Parameter	Wert	Einheit	Kompartiment	Bezug	Bemerkungen
UQN für flussgebietsspezifische Schadstoffe zur Beurteilung des ökologischen Zustands und des ökologischen Potenzials					
Arsen	40	mg/kg	Schweb/Sediment	JD	
Chrom	640	mg/kg	Schweb/Sediment	JD	
Kupfer	160	mg/kg	Schweb/Sediment	JD	
Zink	800	mg/kg	Schweb/Sediment	JD	
Selen	3	µg/l	gelöst	JD	
Silber	0,02	µg/l	gelöst	JD	
Thallium	0,2	µg/l	gelöst	JD	
UQN zur Beurteilung des chemischen Zustands – UQN prioritäre Stoffe					
Cadmium (UQN-JD)	≤0,08	µg/l	gelöst	JD	HKL 1 (<40 mg/l CaCO ₃)
	0,08	µg/l	gelöst	JD	HKL 2 (<50 mg/l CaCO ₃)
	0,09	µg/l	gelöst	JD	HKL 3 (<100 mg/l CaCO ₃)
	0,15	µg/l	gelöst	JD	HKL 4 (<200 mg/l CaCO ₃)
	0,25	µg/l	gelöst	JD	HKL 5 (≥200 mg/l CaCO ₃)
Cadmium (UQN – ZHK)	≤0,45	µg/l	gelöst	ZHK	HKL 1 (<40 mg/l CaCO ₃)
	0,45	µg/l	gelöst	ZHK	HKL 2 (<50 mg/l CaCO ₃)
	0,6	µg/l	gelöst	ZHK	HKL 3 (<100 mg/l CaCO ₃)
	0,9	µg/l	gelöst	ZHK	HKL 4 (<200 mg/l CaCO ₃)
	1,5	µg/l	gelöst	ZHK	HKL 5 (≥200 mg/l CaCO ₃)
Blei	7,2	µg/l	gelöst	JD	
Quecksilber	0,05	µg/l	gelöst	JD	
	0,07	µg/l	gelöst	ZHK	
Nickel	4	µg/l	gelöst	JD	

3 Gebietsbeschreibung und Rahmenbedingungen

3.1 Einordnung der Wasserlösestollen

Aus bergbautechnisch-bergrechtlicher Sicht liegt folgende Stellungnahme des Sächsischen Oberbergamtes zur Bedeutung der Wasserlösestollen vor [6]:

„Nahezu alle sächsischen Bergbaureviere haben untertägige Entwässerungssysteme. Diese leiten das in den Grubenbauen anfallende Wasser in Oberflächengewässer ab. Der überwiegende Teil der Einrichtungen hat heute allerdings keinen Rechtsnachfolger aus der früheren Bergbautätigkeit. Das Sächsische Oberbergamt hat die wesentlichen etwa 60 Hauptwasserlösestollen im Freistaat Sachsen ermittelt und erstellt schrittweise für diese Konzepte zur Herstellung und dem dauerhaften Erhalt ihrer Funktionalität.

Die wichtigsten Entwässerungsstollen haben nach ihrem zum Teil jahrhundertelangen Fortbestehen quasi die Funktion eines unterirdischen Drainagesystems und teilweise die Rolle eines Gewässers übernommen. Ein Verschluss oder Beseitigung eines wichtigen Wasserlösestollens würde demnach ähnliche Konsequenzen haben, wie Gewässerverschluss. Das Wasser steigt in den Grubenbauen an und tritt unkontrolliert aus bestehenden Tagesöffnungen bzw. Wasserwegsamkeiten aus, was folglich zu Vernässungen und Überflutungen an nicht vorhersehbaren Stellen führt. Weiterhin führen der Wasseranstieg bzw. Wasserschwankungen in den Grubenbauen zur Mobilisierung von Bruchprozessen, die wiederum Verbrüche bis an die Tagesoberfläche zur Folge haben. Mit den untertägigen Verbrüchen kommt es zur Durchströmung der Bruchmassen und zu Austrägen von gelösten Stoffen (v.a. Schwermetalle etc.) entweder bis in den Vorfluter bzw. diffus an der Tagesoberfläche. Die beim Sächsischen Oberbergamt gemeldeten bergbaubedingten Schäden zeigen einen signifikanten Zusammenhang mit Störungen der Funktionsfähigkeit der Entwässerungseinrichtungen.

Der dauerhafte Erhalt der Entwässerungseinrichtungen ist eine wesentliche Voraussetzung für stabile hydraulische und geotechnische Verhältnisse in den eingestellten Gruben und an der Tagesoberfläche. Er dient dem Schutz der Infrastruktur in den Bergbauregionen, der einen wesentlichen Aspekt des Umweltschutzes und des Gewässerschutzes darstellt und mindert in erheblichem Umfang Schäden an Verkehrswegen, der Bebauung und an Medienträgern. Die betroffenen Regionen können damit Standortverhältnisse bessern und sich ohne Beeinträchtigungen aus dem früheren Bergbau zielgerichteter entwickeln. Nach §§ 2 und 4 der Sächsischen Hohlraumverordnung sind Wasserlösestollen Schutzeinrichtungen, die dauerhaft funktionsfähig sein und unterhalten werden müssen.“

Aus der Stellungnahme leitet sich ab, dass ein Verschluss von Wasserlösestollen zur Vermeidung von Schwermetalleinträgen in Fließgewässer nicht möglich ist. Die Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet eines Stollens führt dann zu einem Aufstau der Grubenwässer und in der Folge zu unkontrollierten und diffusen Wasseraustritten, die dann sogar erhöhte Schwermetallfrachten führen. Die Erhaltung der geordneten Wasserableitungsfunktion von Stollen ist daher zwingend erforderlich.

3.2 Charakteristik des Tiefen Sauberger Stollns

Der Tiefe Sauberger Stolln (TSS) stellt den tiefsten Wasserlösestollen des Ehrenfriedersdorfer Bergbaureviere dar. Er wurde von 1536 bis 1570 auf einer Länge von 2,3 km zur Wasserlösung im Sauberggebiet aufgeföhren. Der mittlere Abfluss betrug zwischen 2002 und 2016 ca. 252 m³/h (HHQ: 1.000 m³/h am 31. März 2006 und NNQ: 64 m³/h November 2003). Die Auswertung der Daten zwischen 2008 und 2016 ergab eine Erhöhung des Durchflusses im Mittel auf 305 m³/h [8] [9].

Ursprünglich entwässerte der TSS die 6 Feldesteile der Grube Ehrenfriedersdorf: Röhrenbohrer, W-Feld, NW-Feld, E-Feld, Sauberg und Vierung. Im Rahmen der Stilllegung des Zinnerbergwerkes nach 1990 wurden die Feldesteile Röhrenbohrer und NW-Feld hydraulisch durch Dämme voneinander und dem Saubergrevier abgetrennt. Feld Vierung wurde bereits 1977 mittels Wasserdamm abgeworfen und entwässert seitdem über den Großvierunger Stolln in das Seifenbachtal [10]. Der TSS entwässert momentan nur die Reviere W-Feld, Sauberg und E-Feld. Er befindet sich im Niveau der 2. Sohle / Stollnsohle in ca. 110 m Teufe bezogen auf die Rasenhängebank des Sauberger Haupt- und Richtschacht [10].

Die Koordinaten von Mundloch (ODF36790) und Mündung des Tiefen Sauberger Stollns (OBF36794) wurden aus der Umweltdatenbank Sachsen [11] ermittelt. Dabei konnten relativ große Abweichungen von den tatsächlichen Koordinaten vor Ort festgestellt werden. Die exakteren Koordinaten wurden mittels GPS-Gerät (GARMIN etrex summit, relativer Fehler 5 m) ermittelt.

Tabelle 2: Korrektur der Koordinaten von OBF36790_TSS Mundloch und OBF36794_TSS Mündung
(Angaben Gauss-Krüger, Bessel, Potsdam)

	Rechtswert	Hochwert	Messstellen-Kennzahl (OBF)	Messstellen-Name	Distanz von Alt zu Neu [m]
Alt	4568425	5614375	OBF36790	Tiefer Sauberger Stolln, Mundloch	Korrektur der Koordinaten aus der Umweltdatenbank zum Mundloch 99 m SSE Richtung 154°
Neu	4568470	5614284			
Alt	4568470	5614290	OBF36794	Tiefer Sauberger Stolln, Mündung	Korrektur der Koordinaten aus der Umweltdatenbank zur Mündung in die Wilisch, 38 m NNW Richtung, 338°
Neu	4568459	5614321			

Die Auswertung der Daten des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und Geologie [11] zum TSS bezieht sich auf dessen Mündung in die Wilisch (OBF36794). Die Datenbasis auf Grundlage der Untersuchungen von EcoConcept Chemnitz GmbH und Südsachsen Wasser GmbH im Auftrag der Zinnerz Ehrenfriedersdorf GmbH [12], beziehen sich direkt auf die ausfließenden Wässer aus dem Mundloch des TSS (OBF36790). Beide Messstellen liegen innerhalb des gleichen Fließgewässers (Ausfluss des TSS bis zur Mündung in die Triebisch) ca. 30 m auseinander, werden in der Auswertung gleichgestellt und generell als TSS bezeichnet.

3.3 Schutzgebiete, Denkmalschutz, Hochwasserschutz

Der Tiefe Sauberger Stolln bzw. dessen Mundloch unterliegen nicht dem Denkmalschutz. Der Bereich der Wilisch und die oberflächlichen Bereiche des TSS befinden sich in keinem FFH-Gebiet. Nach [13] liegt der unmittelbare Bereich des TSS nicht in einem festgesetzten Überschwemmungsgebiet. Jedoch werden Teile des unmittelbaren Umfeldes des Tiefen Sauberger Stollns und der angrenzenden Wilisch in verschiedene Kategorien der Hochwasserintensität eingestuft (Abbildung 1) [13].

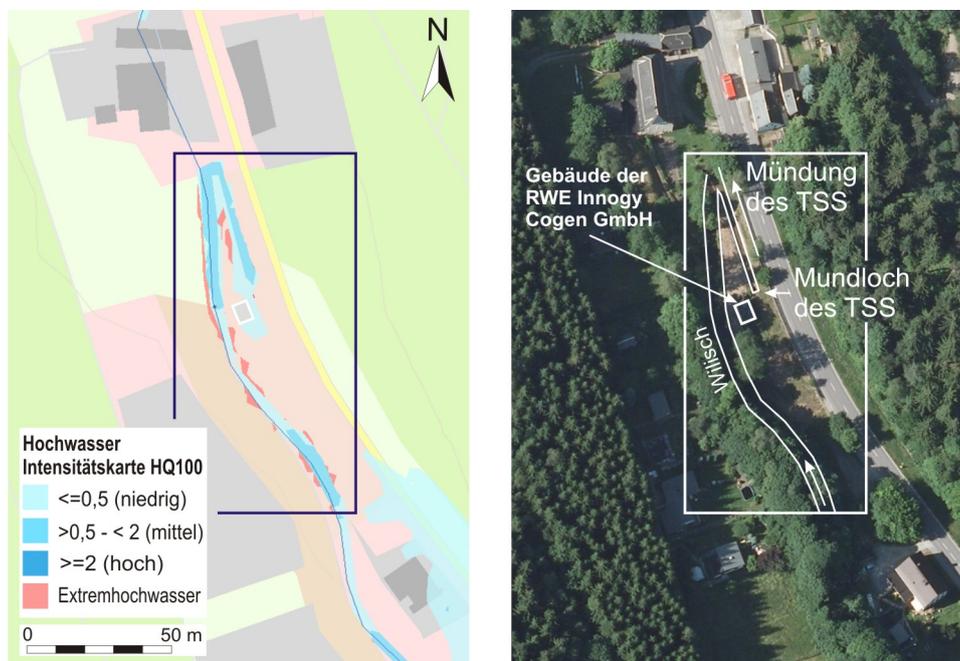


Abbildung 1: Ausweisung des unmittelbaren Bereichs des Tiefen Sauberger Stollns und angrenzender Wilisch in die Hochwasserintensitätseinstufungen [13]

Kartenausschnitte aus: <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/>

3.4 Oberes Einzugsgebiet der Wilisch

In den amtlichen Kartenwerken [TK10] wird der Ursprung der Wilisch im Seifental am Sauberg beschrieben (Abbildung 2). In den Ausführungen von Greif & Klemm [14] wird unter anderem der Seifenbach im Seifental genannt, wobei der Seifenbach als solcher in keiner Karte verzeichnet ist. Nach den amtlichen Kartenwerken entspricht der beschriebene „Seifenbach“ der Wilisch im Oberlauf.

Als Grundbelastung des Einzugsgebietes der Wilisch kann der Oberflächenwassermesspunkt OBF36791_Mön, Gewerbegebiet am Mönchsbad gelten (siehe Abbildung 2). Er weist die geringste Belastung mit Schwermetallen und Arsen auf, welche in den Messstellen des Landesamtes registriert wurden (Abbildung 3, Tabelle 4).

Die wesentlichen Kontaminationsquellen im oberen Einzugsbereich der Wilisch wurden von Greif & Klemm beschrieben und beprobt [14] und umfassen die Entwässerungsstollen „Greifenbachstolln“, „Goldne Adler Stolln“, „Großvierunger Stolln“ und „Tiefer Sauberger Stolln“. Durch Greif & Klemm [14] wurden die Entwässerungsstollen beprobt (2008) und analysiert. In der folgenden Tabelle 3 wurden die Elementkonzentrationen und abgeschätzten Durchflussmengen angegeben und die daraus folgenden Elementfrachten berechnet. Die Daten zum Tiefen Sauberger Stolln wurden innerhalb dieser Arbeit aus den Mittelwerten von 2002 bis 2016 ermittelt.

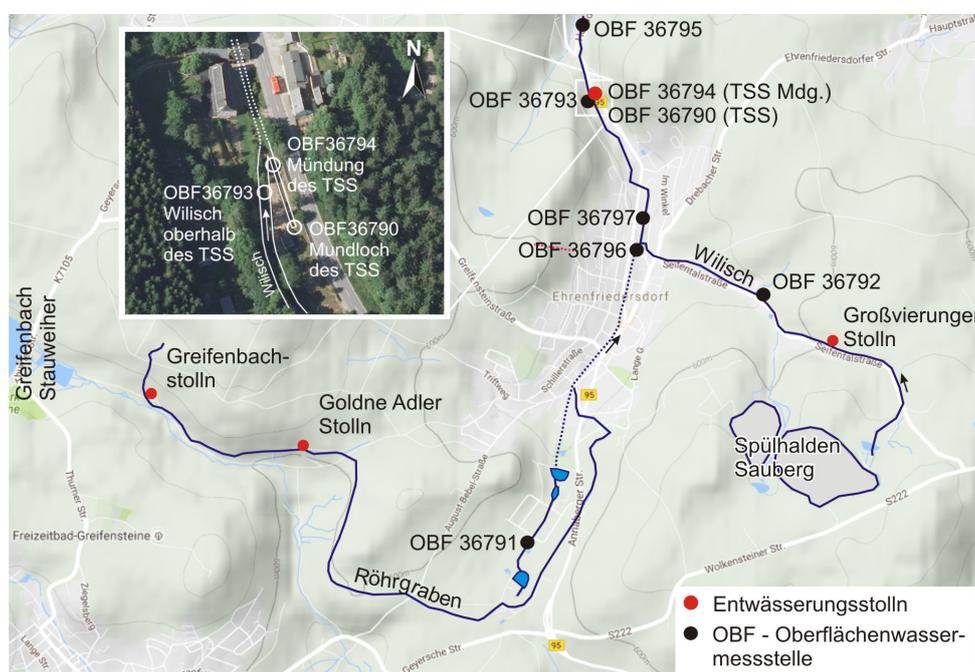


Abbildung 2: Überblick über die Lage von Entwässerungsstollen des Ehrenfriedersdorfer Reviers und den Oberflächenwasser-Messstellen im Einzugsgebiet der Wilisch.

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Elementkonzentrationen, Frachten und prozentualen Anteile der Entwässerungsstollen im Ehrenfriedersdorfer Revier (TSS – Tiefer Sauberger Stolln, GRVIER – Großvierunger Stolln, GREIF – Greifenbachstolln, GoAd – Goldner Adler Stolln)

		TSS ⁽¹⁾	GRVIER ⁽²⁾	GREIF ⁽²⁾	GoAd ⁽²⁾
Q	Menge [m ³ /h]	252	ca. 10	ca. 10	ca. 1
As	Konz. [µg/l]	452	113	20,1	154
Cd	Konz. [µg/l]	1,5	1,0	2,5	3,1
Ni	Konz. [µg/l]	28,8	8,2	20	4,7
Zn	Konz. [µg/l]	488	122	316	403

As	Fracht [kg/a]	3637	36	6,3	4,9
Cd	Fracht [kg/a]	13,3	0,3	0,8	0,1
Ni	Fracht [kg/a]	222	2,6	6,3	0,1
Zn	Fracht [kg/a]	4096	38	100	13
As	Anteil [%]	98,7	0,97	0,17	0,13
Cd	Anteil [%]	91,7	2,18	5,44	0,68
Ni	Anteil [%]	96,1	1,11	2,72	0,06
Zn	Anteil [%]	96,5	0,91	2,35	0,30

(1) Datengrundlage zum TSS erfolgte in Auswertung [11] und [12] für den Zeitraum 2002 - 2016

(2) Datengrundlage nach Angaben von Greif & Klemm (2010) mit Angaben zu den Entwässerungsstollen 2008

Bezogen auf die von Greif & Klemm () erhobenen Daten Schwermetall- und Arsenfrachten der 4 Wasserlösungsstolln im Ehrenfriedersdorfer Revier sticht der TSS mit 91 bis 98 % der Belastung mit As, Ni, Cd und Zn heraus. Der Großvierunger Stolln mündet im Seifental in die Wilisch und bringt nur eine sehr geringe Fracht. Der Greifenbachstolln und Goldne Adlerstolln münden in den Röhrgraben, welcher von der Wilisch zwischen OBF36791 und OBF36796 aufgenommen wird.

3.5 Elementkonzentrationen im Verlauf der Wilisch

Der Verlauf der Elementkonzentrationen vom Oberlauf der Wilisch bis zur Mündung ist in Abbildung 3 dargestellt. Oberflächenwassermesspunkt OBF36791, Gewerbegebiet am Mönchsbad wird hierbei als Ausgangspunkt und Hintergrund des oberen Wilisch-Einzugsgebietes angesehen. Die As- und Zn-Gehalte sind hier noch am niedrigsten. Hinsichtlich der Cd-Belastung liegt dieser jedoch schon über der zulässigen UQN-JD.

Die Recherche über Kontaminationsquellen im Verlaufe der Wilisch neben dem Tiefen Sauberger Stolln ergab weitere Elementbelastungen zwischen OBF 36791_Mön und OBF 36796_oSei. Hier werden einerseits Sickerwasserzutritte der Spülhalden vom Sauberg (über Kluftsystem) und Böden als Kontaminationsquelle vermutet. Andererseits müssen die Zuflüsse von Greifenbachstolln und Goldne Adler Stolln über den Röhrgraben erwähnt werden (Abb. 2, Tab. 3). Ein sichtbarer Einfluss des Großvierunger Stollns über den Vorfluter des Seifenbachtalles ist nur bei As festzustellen (OBF36796_oSei zu OBF36797_Wet).

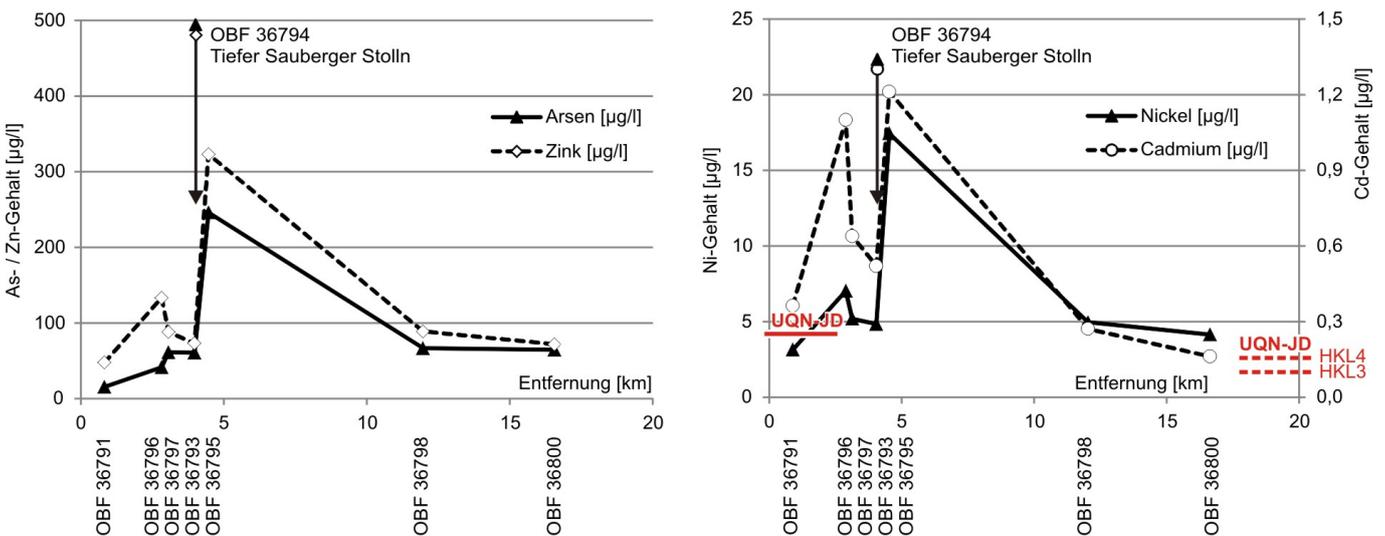


Abbildung 3: Veränderungen der Elementkonzentrationen in der Wilisch von OBF36791_Mön bis OBF 36800_Sch = Mündung in die Zschopau), Angabe der Mittelwerte

Tabelle 4: Elementkonzentrationen in der der Wilisch von OBF 36791_Mön bis OBF 36800_Sch (Angabe der Mittelwerte, Datenbasis LfLUG [11])

	OBF36791 Mön [µg/l]	OBF36796 oSei [µg/l]	OBF36797 Wet [µg/l]	OBF36793 oTSS [µg/l]	OBF36794 TSS [µg/l]	OBF36795 Her [µg/l]	OBF36798 Ven [µg/l]	OBF36800 Sch [µg/l]
Arsen	15,3	41,3	61,4	60,7	493,8	246,1	66,6	64,6
Nickel	3,15	7,03	5,20	4,84	22,51	17,44	4,96	4,15
Cadmium	0,36	1,10	0,64	0,52	1,33	1,21	0,27	0,16
Mangan	112,9	126,7	90,9	62,8	1067	521	57,5	52,7
Zink	47,7	133,3	88,1	73,1	487,0	323,0	88,8	71,7

Im Verlaufe der Wilisch ist deutlich das Ansteigen aller Elementkonzentrationen durch den Zufluss des Tiefen Sauberger Stolln auf das Doppelte bis Vierfache zu verzeichnen. Auf dem weiteren Fließweg Richtung Mündung in die Zschopau nehmen die Gehalte sukzessive wieder ab. Die Abnahme der Konzentrationen kann einerseits durch Verdünnung mit unbelasteten Oberflächenwässern, andererseits durch Adsorption an Eisenhydroxide und organische partikuläre Stoffe bedingt sein. Bis zur Mündung (OBF36800_Sch) nimmt die Ni-Konzentration wieder auf nahezu UQN-JD ab.

3.6 Angetroffene Übertagesituation am Tiefen Sauberger Stolln und Vorfluter Wilisch

Am 09.07.2016 und am 03.08.2016 wurden jeweils Oberflächenbegehungen zur Sondierung der unmittelbaren Umgebung des TSS durchgeführt. Dabei konnte festgestellt werden, dass auf einer Fließlänge von ca. 300 m das Wasser der Wilisch komplett aus dem Bachbett verschwindet. Auf Höhe 50 m oberhalb der Shell-Tankstelle war optisch der Wasserdurchfluss der Wilisch angemessen der meteorologischen Gegebenheiten (Abbildung 4a). Auf Höhe der Tankstelle bis zur Mündung des TSS waren deutliche Wasserverluste in der Wilisch zu vermerken. Am Zusammenfluss vom Wilisch und TSS war der Bach komplett trockengelegt (Abbildung 4b rechte Fotoseite). Sichtbar war, dass das Bachbett der der Wilisch ursprünglich mit Rasensteinen und Beton ausgemauert war. Dieses wies jedoch starke Schäden auf bzw. war nicht mehr als künstliches Bachbett zu erkennen.



Abbildung 4: a) „normale“ Wasserführung der Wilisch 50 m flussaufwärts der Shell-Tankstelle, b) trockenes Bachbett der Wilisch (rechte Bildseite) auf Höhe Mündung des TSS

Zu beiden Oberflächenbegehungen führte nur der TSS, aber nicht die Wilisch an der TSS-Mündung Wasser. Somit war die Vermutung, dass das komplette Wasser der Wilisch in den TSS sickert und am TSS-Mundloch als Mischwasser (gemäß TSS-Mündung) zutage tritt.

3.7 Angetroffene Untertagesituation im TSS bei Befahrung

Auf Grund der Wasserverluste der Wilisch wurde die Vermutung angestellt, dass das Wasser in den TSS aufgenommen wird. Die Befahrung des TSS vom Mundloch bis in den Grubenbereich der Zinnerz Ehrenfriedersdorf GmbH am 03.08.2016 ergab massive Wasserzutritte über die Trockenmauerung auf den letzten 300 m bis zum Mundloch (Abbildung 5). Der Bau des Tiefen Sauberger Stollns erfolgte ursprünglich in Trockenbauweise in den Auesedimenten der Wilisch. Die oben beschriebenen Wasserverluste aus der Wilisch werden demnach über „Kurzschlüsse“ aus dem undichten Bachbett der Wilisch zum TSS geleitet. Sämtliches Wasser der Wilisch wurde zum Befahrungszeitraum vom TSS über die seitlichen Zutritte aus der Trockenmauerung aufgenommen (siehe trockenes Bachbett in Abbildung 4b).



Abbildung 5: Angetroffene Untertagesituation im Tiefen Sauberger Stolln mit seitlichen Zuflüssen aus der Trockenmauerung (Foto: Martin)

Abbildung 5 zeigt einen der massiven Zutritte über eine Länge von ca. 200 m. Die Wasserzutritte nehmen in einer Entfernung > 300 m stromaufwärts von Mundloch aus sehr stark ab, da der TSS dort im Festgestein fließt.

3.8 Datenlage zur Hydrologie, Hydrogeochemie und Stofffrachten

Für die Abschätzung der erforderlichen Parameter zur Konzipierung einer Maßnahmenkombination zur Minimierung der Schwermetalleinträge wurden die verfügbaren Daten des Tiefen Sauberger Stollns recherchiert. Die bisherige Datenlage stützt sich auf eine Auswertung von Qualitätsmengendaten aus dem Landesmessnetz [11] zum Tiefen Sauberger Stollen und den in Fließrichtung befindlichen Messstellen der Wilisch (OBF36790 bis OBF36800). Daneben wurde im Auftrag der Zinnerz Ehrenfriedersdorf GmbH durch die Firma EcoConcept Chemnitz GmbH und Südsachsen Wasser GmbH Monitoring Daten zum Tiefen Sauberger Stollen erhoben [12]. Es stehen Daten zur Auswertung von 2002 bis 2016.

Für die gezielte Auswahl geeigneter Behandlungsmöglichkeiten bzw. Maßnahmekombinationen zur Reduzierung der Schwermetallfracht aus dem Tiefen Sauberger Stollen sind Wasserqualität und die Abflussmenge entscheidende Kriterien.

Das Stollenwasser stellt ein annähernd neutrales Calcium-Magnesium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Wasser mit erhöhten Schwermetallgehalten dar. Aufgrund der neutralen pH-Verhältnisse liegt Eisen weitgehend partikulär (ausgefällt) im Wasser vor. Die generellen Eisengehalte sind als sehr niedrig einzustufen. Arsen liegt zu 58 % in gelöster Form vor. Der hohe gelöste Arsenanteil wird vermutlich durch die geringen Eisengehalte unterstützt. Im Allgemeinen bindet sich Arsen an frisch gefällte Eisenhydroxide und sedimentiert mit diesem im Grubenraum. Durch die geringen Eisengehalte ist dieser natürliche Reinigungsmechanismus nur bedingt wirksam. Innerhalb des untersuchten Zeitraumes ist kein eindeutiger Trend einer Ab- oder Zunahme der Ar-

sengehalte zu erkennen (Abbildung 6). Die Nickel- und Cadmiumgehalte im TSS sind bis 2008 stark rückläufig (Abbildung 7). Die Daten ab 2008 liegen zum Teil unter der Bestimmungsgrenze und orientieren sich an der halben Nachweisgrenze. Die tatsächlichen Gehalte können niedriger liegen.

Seit 2008 pegelten sich auch die Zn-Gehalte von ursprünglich 1500 µg/l (Jahr 2002) auf < 100 µg/l ein. Aufgrund der sehr stark abnehmenden Tendenzen wurde auch Mn mit in die Darstellung aufgenommen (Abbildung 8). Hier ist im Gegensatz zu Ni, Zn und Cd eine sukzessive Abnahme bis 2016 festzustellen, wobei der Trend noch anhält. Generell ist bei den Elementen außer bei As eine stark abnehmende Tendenz zu verzeichnen, wobei keine Korrelationen der Element-Gehalte mit dem Durchfluss zu verzeichnen sind.

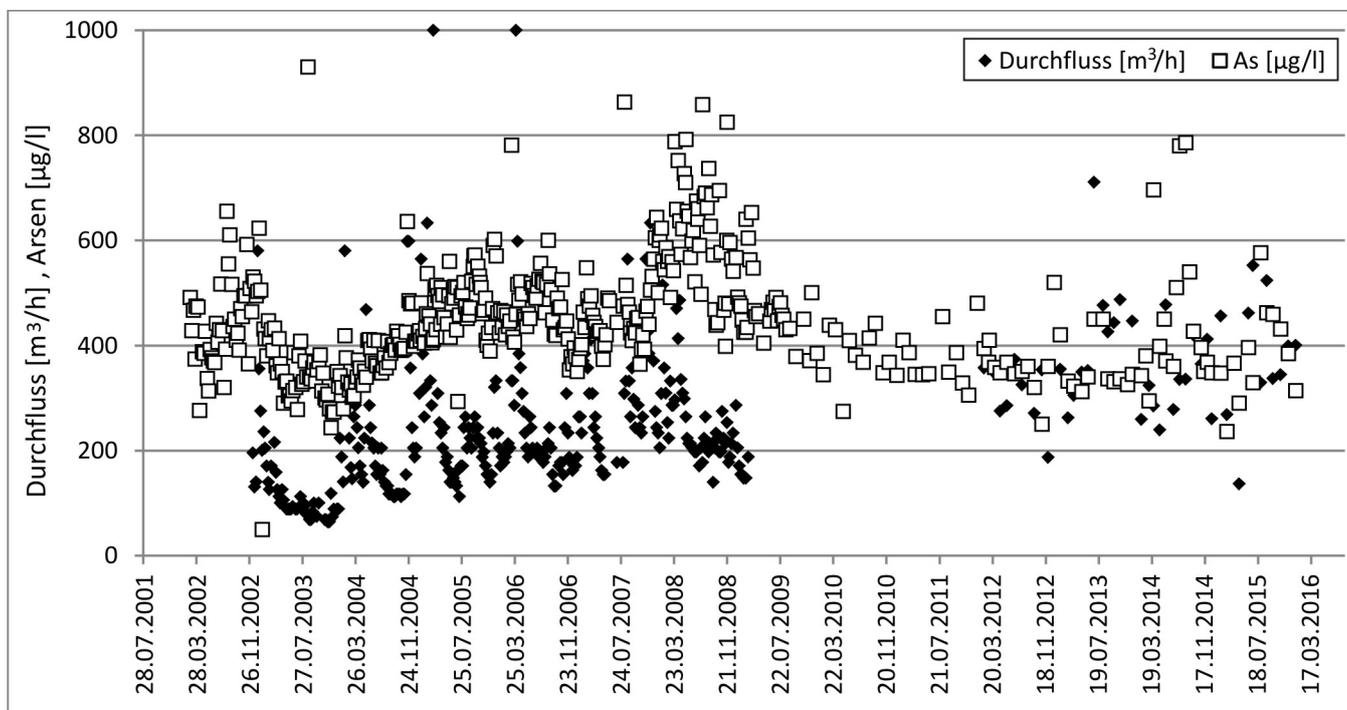


Abbildung 6: Zeitverlauf von Durchfluss und As-Gehalten des TSS zwischen 2002 und 2016 (Daten aus [9], [11], [12])

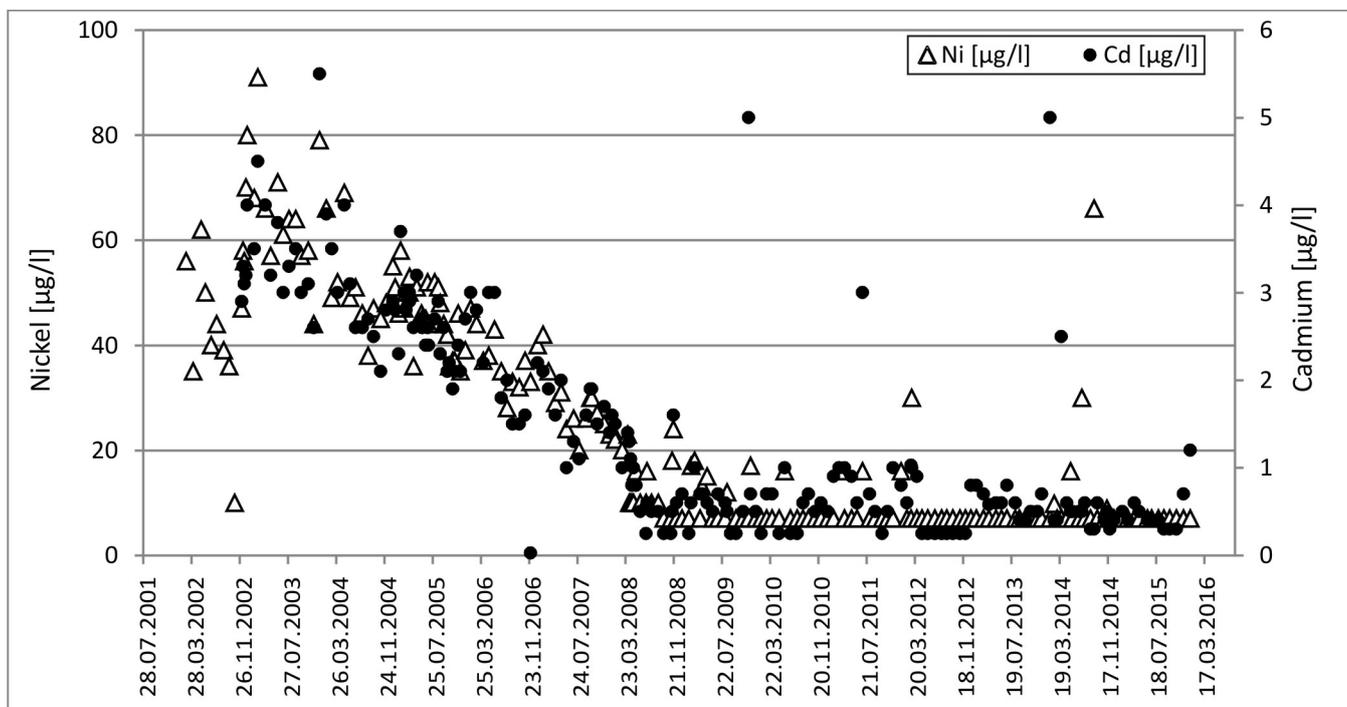


Abbildung 7: Zeitverlauf der Nickel- und Cadmiumgehalte im TSS zwischen 2002 und 2016 (Daten aus [9], [11], [12])

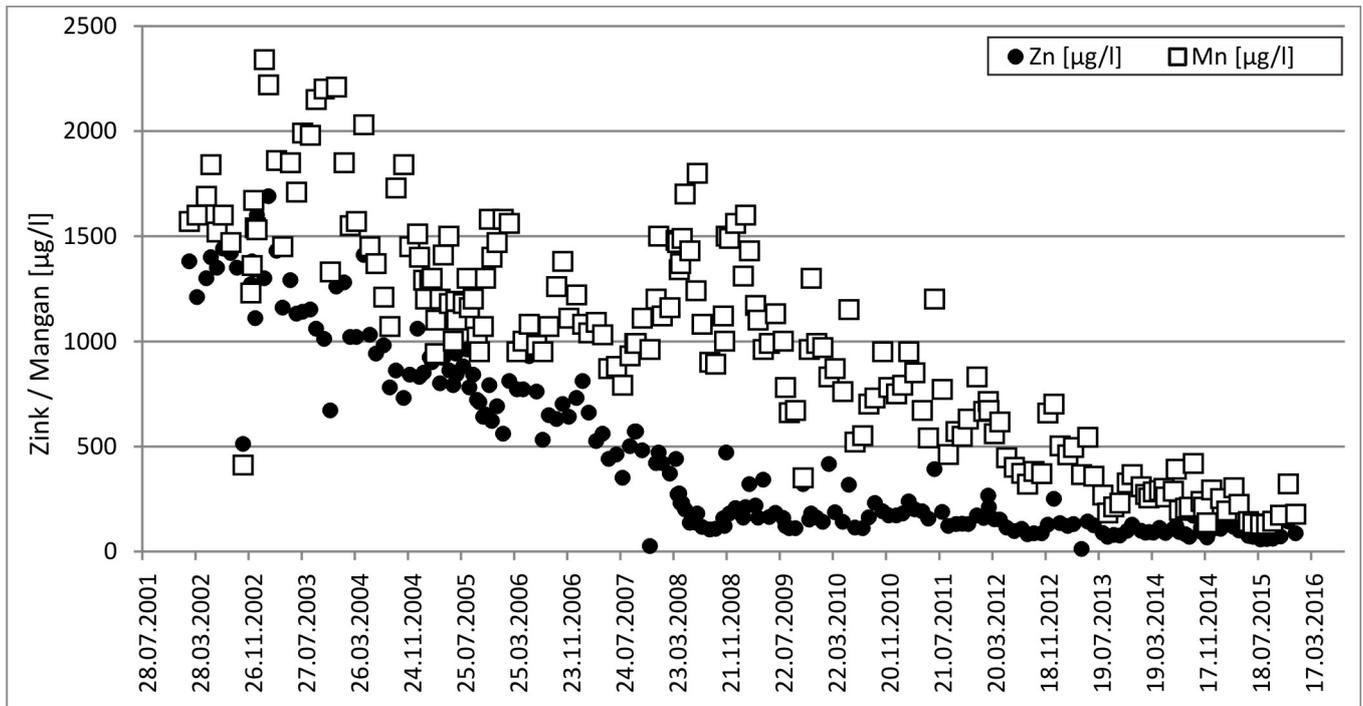


Abbildung 8: Zeitverlauf der Zink- und Mangangehalte im TSS zwischen 2002 und 2016 (Daten aus [9], [11], [12])

Das direkte Hochwasserereignis im August 2002 (Zeitspanne 12.08. bis 14.08.2002) wurde innerhalb des Monitorings nicht erfasst. Eine Analyse der Arsengehalte vom 16.08.2002 ergab nur eine 50 %-ige Erhöhung gegenüber dem As-Gesamt Mittelwert.

In Tabelle 5 wurden die wichtigsten Kennwerte der Elementkonzentrationen gegenübergestellt. Aus den Abbildungen 6 bis 8 ist ersichtlich, dass die Konzentrationen bei Ni, Cd und Zn von 2002 bis 2008 sehr stark abnahmen, um von 2008 bis 2016 nahezu konstant bzw. unter der Bestimmungsgrenze zu liegen. Deshalb wurden die Kennwerte sowohl für 2002 – 2016, als auch 2002 – 2008 und 2008 – 2016 separat dargestellt. Für die nachfolgende Beurteilung der rezenten Elementfrachten durch den TSS sind hierbei die Daten von 2008 bis 2016 relevant.

Tabelle 5: Statistische Kennwerte der Elementkonzentrationen im TSS in verschiedenen Zeitintervallen

		Durchfluss [m³/h]	Arsen ges [µg/l]	Arsen gel. [µg/l]	Nickel [µg/l]	Cadmium [µg/l]	Eisen ges [µg/l]	Zink [µg/l]	Mangan [µg/l]
2002 - 2016	Min	64	49	13	7	0,025	150	11,5	128
2002 - 2016	Max	1000	1850	684	664	5,5	1400	1690	7490
2002 - 2016	Mittelwert	252	452	307	29	1,5	573	488	1018
2002 - 2007		229	433	330	46	2,6	453	920	1438
2008 - 2016		305	488	283	16	0,7	781	162	701
2002 - 2016	Median	215	434	290	16	1,0	500	257	1000
2002 - 2007		204	428	321	46	2,7	475	860	1300
2008 - 2016		275	455	264	7	0,6	750	134	658
2002 - 2016	Perzentil 90%	413	591	424	56	3,1	1040	1159	1600
2002 - 2007		384	522	430	65	3,6	650	1362	1908
2008 - 2016		468	667	373	18	1,1	1200	300	1406

3.9 Statistische Datenauswertung

Für die Konzeption der Wasserbehandlungsanlage und die Festlegung von Behandlungszielwerten sind die statistischen Werte der Wassergüte von Bedeutung. In Tabelle 6 ist die statistische Auswertung für die relevanten Messstellen dargestellt:

- OBF 36793_oTSS: Wilisch oberhalb Zufluss Tiefer Sauberger Stolln
- OBF 36794_TSS: Tiefer Sauberger Stolln, Mundloch/Mündung
- OBF 36795_Her: Wilisch, Ehrenfriedersdorf, Herolder Straße unterhalb Zufluss Tiefer Sauberger Stolln

Es muss angemerkt werden, dass die Wilisch schon vor Zufluss des Tiefen Sauberger Stollns relativ hohe Schwermetall- und Arsengehalte aufweist, welche über den zulässigen Umweltqualitätsnormen liegen.

Tabelle 6: Statistische Auswertung der Gütedaten der OBF36793, 36794 und 36795 für den Zeitraum 2002 – 2016

Parameter			OBF36793_oTSS (oberhalb TSS)						OBF36794_TSS (Mündung)						OBF36795_Her (unterhalb TSS)					
			n	Min	Max	MW	Med	P90	n	Min	Max	MW	Med	P90	n	Min	Max	MW	Med	P90
Hydrogencarbonat	gel.	mg/l	52	19	51	29,3	29	36,9	54	35	57	46,1	46,5	53,7	30	23	49	36	35	44,1
Sulfat	gel.	mg/l	52	15	45	33,8	34,5	41,9	54	60	140	103	110	130	30	40	93	72	73,5	85,0
Silber	gel.	µg/l	53	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	54	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	33	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Silber	ges.	µg/l	30	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	29	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1	23	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Aluminium	gel.	µg/l	53	19	250	78	55	150	54	80	1600	483	275	994	33	64	380	143	140	198
Aluminium	ges.	µg/l	30	120	1600	346	240	494	29	150	1600	689	680	1200	23	110	1100	561	610	758
Arsen	gel.	µg/l	53	20	87	44,2	42	65,8	54	130	480	283	275	407	33	64	410	145	120	208
Arsen	ges.	µg/l	30	33	99	60,7	57	87,6	29	350	710	494	480	608	23	140	470	246	220	356
Calcium	gel.	mg/l	53	11	25	18,5	18	22,8	54	32	62	47	48	57	33	19	42	33,5	34	37,8
Calcium	ges.	mg/l	30	11	25	18,6	19	22,1	29	34	62	49	51	57	23	19	40	32,9	34	38
Cadmium	gel.	µg/l	53	0,1	1,6	0,52	0,4	1	54	0,3	3,7	1,33	0,7	2,6	33	0,2	2,2	1,21	1,2	1,98
Cadmium	ges.	µg/l	30	0,2	1,6	0,78	0,65	1,41	29	0,3	3,7	1,58	1,6	2,8	23	0,3	2,2	1,36	1,6	2,08
Cobalt	gel.	µg/l	53	0,5	5,2	0,60	0,5	0,5	54	0,5	2,3	0,55	0,5	0,5	33	0,5	0,5	0,50	0,5	0,5
Cobalt	ges.	µg/l	30	0,5	5,2	1,07	0,5	1,71	29	0,5	16	1,70	0,5	4,8	23	0,5	5,1	1,50	0,5	4,2
Kupfer	gel.	µg/l	53	1,0	8,2	3,20	2,7	6,1	54	1	8,9	2,43	2,15	4,3	33	1	5	2,55	2,4	4,54
Kupfer	ges.	µg/l	30	3,2	22	8,13	6,05	15,2	29	1	13	5,54	4,7	10,4	23	2,9	18	7,87	6,7	12
Eisen	gel.	mg/l	53	<0,03	0,11	0,04	0,03	0,078	54	<0,03	0,1	0,02	0,015	0,047	33	<0,03	0,04	0,02	0,015	0,015
Eisen	ges.	mg/l	30	0,1	1,9	0,37	0,225	0,52	29	0,19	1,4	0,58	0,41	1,2	23	0,1	1,2	0,38	0,27	0,5
Quecksilber	gel.	µg/l	13	<0,02	0,23	0,04	<0,02	0,07	16	<0,02	0,3	0,03	<0,02	0,055	7	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Quecksilber	ges.	µg/l	0						6	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02

Parameter			OBF36793_oTSS (oberhalb TSS)						OBF36794_TSS (Mündung)						OBF36795_Her (unterhalb TSS)					
			n	Min	Max	MW	Med	P90	n	Min	Max	MW	Med	P90	n	Min	Max	MW	Med	P90
Kalium	gel.	mg/l	53	1,9	4	2,6	2,5	3,4	54	3	5,2	3,9	3,9	4,4	33	2,3	4,2	3,3	3,4	3,8
Kalium	ges.	mg/l	30	1,9	3,9	2,6	2,6	3,2	29	3,2	4,5	4,0	4,0	4,4	23	2,3	4	3,3	3,3	3,8
Magnesium	gel.	mg/l	53	2,4	5,5	4,5	4,5	5,2	54	7,1	13	10	10,5	12	33	3,9	9,4	7,6	7,6	8,8
Magnesium	ges.	mg/l	30	2,5	5,5	4,6	4,7	5,4	29	7,1	13	11	11	13	23	3,9	9	7,6	7,6	8,8
Mangan	gel.	µg/l	53	1,3	120	34	26	72	54	200	1800	866	990	1300	33	140	710	478	490	644
Mangan	ges.	µg/l	30	15	230	63	56	101	29	210	1800	1067	1200	1520	23	140	860	521	550	688
Natrium	gel.	mg/l	53	6	44	14	12	19,8	54	13	25	16	15,5	19	33	7,9	40	16	14	21,6
Natrium	ges.	mg/l	30	6	24	14	12	19,3	29	14	26	16	16	18	23	7,9	22	15	14	20,6
Nickel	gel.	µg/l	53	2	8,3	4,8	4,8	6,9	54	3	57	22,8	15	46,4	33	4,4	28	17,4	19	25,6
Nickel	ges.	µg/l	30	2,4	15	6,8	7,1	8,7	29	8,9	66	32	30	51	23	6,9	46	21,7	23	31,8
Blei	gel.	µg/l	53	0,1	0,5	0,17	0,1	0,25	54	0,1	1,9	0,17	0,1	0,25	33	0,1	0,25		0,1	0,25
Blei	ges.	µg/l	30	0,25	5,7	1,10	0,75	1,64	29	0,1	1,2	0,53	0,5	0,84	23	0,1	3,9	0,91	0,6	2,0
Thallium	gel.	µg/l	53	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	54	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	33	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Thallium	ges.	µg/l	30	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	29	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	23	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Zink	gel.	µg/l	53	7	120	53	47	96	54	66	1200	400	180	830	33	48	490	296	340	430
Zink	ges.	µg/l	30	29	130	73	60	120	29	68	1200	487	470	944	23	57	570	323	400	470

Tabelle 6 enthält die aufbereiteten Daten des LfLUG [11], EcoConcept GmbH Chemnitz und Südsachsen Wasser GmbH [9] [12] im Zeitraum 2002 bis 2016. Alle Werte, die unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen, gingen in die Berechnung mit den jeweiligen Werten der halben Bestimmungsgrenze ein.

Die Daten zeigen, dass bereits vor dem Zufluss des Tiefen Sauberger Stolln eine beträchtliche Stoffbelastung in der Wilisch vorliegt, welche die UQN-JD massiv übersteigen (Abbildung 3). Mögliche Schwermetallquellen sind die oberhalb des TSS zufließenden Wässer aus dem Greifenbachstolln, Goldne Adler Stolln über den Röhrgraben, dem Großvierunger Stolln über das Seifental (Abbildung 2, Tabelle 3) und diffuse Zuflüsse aus Böden und den Sickerwässern der Spülhalden des Saubergeres, obwohl diese möglicherweise nicht direkt hydraulisch zusammenhängen [15].

4 Auswahl und Diskussion von Behandlungsmöglichkeiten

4.1 Ermittlung des Behandlungszielwertes

Für die Ableitung des Behandlungszielwertes für das Wasser des Tiefen Sauberger Stollns kommen grundsätzlich 3 Wege in Frage:

- Ermittlung aus den Anforderungen der OGeW (UQN-JD, UQN-ZHK)
- Ermittlung aus den Hintergrundwerten „unbelasteter“ Oberflächengewässer des Einzugsbereiches [16]
- Ermittlung aus dem Hintergrundwerten der Wilisch

Für die Diskussion zu Behandlungszielwerten werden aufgrund der Ausführungen über die drastische Abnahme der Elementgehalte bei Zn, Ni, Cd (Mn) der Zeitraum 2008 bis 2016 betrachtet. Obwohl für As kein zeitlich abnehmender Trend seit 2002 feststellbar ist (Abbildung 3), wurden die Mittelwerte über den Zeitraum 2008 – 2016 ebenfalls als Grundlage für das Behandlungsziel genutzt.

Tabelle 7: Mittelwerte und P90 der Elementkonzentrationen im TSS im Zeitraum 2008 - 2016

	Durchfluss [m³/h]	Arsen [µg/l]	Nickel [µg/l]	Cadmium [µg/l]	Zink [µg/l]	Mangan [µg/l]
Mittelwert	305	488	15,8	0,7	162	701
P90	468	667	18	1,1	300	1406

4.1.1 Ermittlung aus den Anforderungen der OGeW

„Bei Cadmium und Cadmiumverbindungen hängt die Umweltqualitätsnorm von der Wasserhärte ab, die in fünf Klassenkategorien abgebildet wird (Klasse 1: < 40 mg CaCO₃/l, Klasse 2: 40 bis < 50 mg CaCO₃/l, Klasse 3: 50 bis < 100 mg CaCO₃/l, Klasse 4: 100 bis < 200 mg CaCO₃/l und Klasse 5: ≥ 200 mg CaCO₃/l). Zur Beurteilung der Jahresdurchschnittskonzentration an Cadmium und Cadmiumverbindungen wird die Umweltqualitätsnorm der Härteklasse verwendet, die sich aus dem fünfzigsten Perzentil der parallel zu den Cadmiumkonzentrationen ermittelten CaCO₃-Konzentrationen ergibt. (OGeW-Oberflächengewässerverordnung 2016)“ [5]. Für die Bezugspunkte „Wilisch oberhalb des Tiefen Sauberger Stolln“, „Tiefer Sauberger Stolln“ und „Wilisch unterhalb des Sauberger Stolln“ wurden die Härteklassen für die Zeiträume 2005 - 2014 aus den mittleren Ca- Konzentrationen ermittelt und in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: UQN der OGewV (Auszug der in dieser Studie betrachteten Parameter für Cd)

Messpunkt	Cd-Gehalt (µg/l)	Ca (mg/l) / 50 Perzentil	CaCO ₃ - Äquiv. (mg/l)	HKL	UQN-JD (µg/l)	UQN-ZHK (µg/l)	Überschreitungen (x-fach)	
							UQN-JD	UQN-ZHK
OBF36793 Wilisch oberhalb Tiefer Sauberger Stolln	0,52	20	50	2	0,08	0,45	6,5	3,6
OBF36794 Tiefer Sauberger Stolln Mündung	1,33	51	128	4	0,15	0,9	8,9	4,1
OBF36795 Wilisch unterhalb TSS, Herolder Straße	1,21	34	85	3	0,09	0,6	13,5	3,7

Für den Tiefen Sauberger Stolln ergibt sich demnach eine formale JD-UQN von 0,15 µg/l und eine ZHK-UQN von 0,9 µg/l. Beide Umweltqualitätsnormen werden sowohl vom TSS als auch schon an der Messstelle oberhalb des TSS mehrfach überschritten. Für die UQN-ZHK wurden die Höchstwerte der Überschreitung aus der Datenbasis (LflUG 2005 – 2014) [11] ausgewertet.

4.1.2 Einschätzung der Bioverfügbarkeit von Nickel

In der Richtlinie 2013/39/EU werden zur Überwachung des chemischen Zustands nach Wasserrahmenrichtlinie Umweltqualitätsnormen (JD-UQN) für Blei und Nickel festgelegt, die sich auf den Jahresdurchschnitt bioverfügbarer Konzentrationen beziehen. Demnach können bioverfügbare Konzentrationen dieser beiden Metalle anhand geeigneter Modelle und unter Berücksichtigung von Wasserqualitätsparametern wie Wasserhärte, pH-Wert und gelöster organischer Kohlenstoff bestimmt werden. Entsprechende praktikable Modelle sind derzeit für Kupfer, Zink und Nickel in Form der Excel-basierten Software „bio-met“ verfügbar. Nickel ist dabei das Element mit einer festgelegten UQN-JD in der Wasserphase, so dass der nach BLM ermittelte Wert derzeit für dieses Element relevant ist. Die Ergebnisse zeigen, dass die Bioverfügbarkeit von Nickel mit zunehmenden DOC abnimmt und folglich der BioF kleiner wird. Mit zunehmendem pH-Wert nimmt die Bioverfügbarkeit von Nickel dagegen zu. Bei einer Bioverfügbarkeit von 100 % ist der BioF gleich 1. Für eine bessere praktische Anwendbarkeit wurden aus den berechneten Daten Klassen gebildet, die in Tabelle 9 zusammenfassend dargestellt sind.

Tabelle 9: Klassen von Bioverfügbarkeitsfaktoren (BioF) in Abhängigkeit von pH und DOC in der gelösten Wasserprobe (nach [23])

DOC [mg/l]	pH		
	6,5 – 7,1	7,2 – 7,9	8,0 – 8,7
< 2	0,65	1,00	1,00
2 - < 6	0,45	0,80	1,00
6 - < 17	0,3	0,40	0,95
> 17	0,15	0,15	0,35

Anhand der bestimmten Werte für den pH und DOC kann aus der Tabelle 9 der BioF abgelesen werden, der dann mit der in derselben Wasserprobe gemessenen Nickelkonzentration multipliziert wird. Daraus resultiert die bioverfügbare Konzentration, die für die Berechnung des JD herangezogen werden kann.

Tabelle 10: Bioverfügbarkeit von Ni in Abhängigkeit von pH und DOC-Gehalt im Wasser

Messpunkt	Datenbasis	DOC [mg/l]	pH	Ni [µg/l]	Faktor BioF	Ni BioF [µg/l]
OBF36793_oTSS Wilisch oberhalb Tiefer Sauberger Stolln	LfLUG 2005-2014	4,72	7,25	4,84	0,8	3,87
OBF36794_TSS Tiefer Sauberger Stolln Mündung	LfLUG 2005-2014	1,80	6,63	22,5	0,65	14,6
OBF36794_TSS Tiefer Sauberger Stolln Mündung	Gesamt 2008-2016	1,80	6,63	15,8	0,65	10,3
OBF36795_Her Wilisch unterhalb des TSS, Herolder Straße	LfLUG 2005-2014	2,87	7,11	17,4	0,45	7,85

Bezogen auf den UQN-JD von 4 µg/l bioverfügbares Ni unterschreitet die Messstelle OBF36793_oTSS den zulässigen Wert. Der TSS und die nachfolgende Messstelle OBF36795_Her zeigen jedoch mehrfache Überschreitungen im langjährigen Mittel von 2005-2014 (Datenbasis LfLUG [11]). Trotz Rückgang der Ni-Gehalte im TSS seit 2008 liegen die bioverfügbaren Ni-Gehalte immer noch 2,5 bis 3,5-fach über den zulässigen UQN-JD.

4.1.3 Ermittlung aus den Hintergrundwerten von unbelasteten Oberflächengewässern

2014 wurden im Einzugsgebiet der Zschopau unbelastete Oberflächengewässer beprobt, um Informationen über generelle Hintergrundbelastungen der Oberflächenwasserkörper zu erhalten [16]. Daraus wurden die folgenden Hintergrundwerte für das Einzugsgebiet der Zschopau ermittelt (Tabelle 11).

Tabelle 11: Elementkonzentrationen von unbelasteten Oberflächenwasserkörpern aus dem Einzugsbereich der Zschopau [16] - Wässer

Parameter	Arsen [µg/l]	Nickel [µg/l]	Cadmium [µg/l]	Zink [µg/l]	Mangan [µg/l]
Min / Max	< 0,5 / 6,7	< 0,5 / 8,0	0,1 / 1,6	< 3 / 52	1,5 / 220
Mittelwert / Median	2,4 / 2,1	2,9 / 2,7	0,3 / 0,2	15,9 / 12,0	58,6 / 33,0
Perzentil 90%	4,5	5,9	0,6	38,0	130

Es ist zu bemerken, dass die Cadmiumgehalte auch in den „unbelasteten“ Oberflächenwasserkörpern im Einzugsbereich der Zschopau schon deutlich über den höchsten zulässigen UQN-JD liegen.

4.1.4 Ermittlung aus den Hintergrunddaten der Wilisch

Die Elementkonzentrationen oberhalb des TSS (OBF36793_oTSS), des TSS (OBF36794_TSS) und unterhalb des TSS (OBF36795_Her) sind in den Tabellen 12 und 13 dargestellt. Grundlegend wird die Wilisch durch den Zufluss des TSS stark in den Elementen erhöht, was am OBF36795_Her sichtbar ist. As wird von oberhalb zu unterhalb des TSS um den Faktor 4 erhöht.

Tabelle 12: Elementkonzentrationen in der Wilisch vor und nach Zufluss des TSS

	OBF36793_oTSS [$\mu\text{g/l}$]		OBF36794_TSS [$\mu\text{g/l}$]		OBF36795_Her [$\mu\text{g/l}$]	
	Mittelwert	P90	Mittelwert	P90	Mittelwert	P90
Arsen	60,7	87,6	494 (488)	608 (667)	246	356
Nickel	4,84	6,9	22,8 (15,8)	46,4 (18)	17,4	25,6
Cadmium	0,52	1,0	1,33 (0,7)	2,6 (1,1)	1,2	2,0
Zink	73,1	120	487 (162)	944 (300)	323	470

Datengrundlage 2005 - 2014 [11]. In Klammern: Datenbasis zum TSS von 2008-2016 im Vergleich

Tabelle 13: Elementkonzentrationen in den Sedimenten von unbelasteten Oberflächenwasserkörpern und den Sedimenten der Wilisch (P 90% = 90 % Perzentil)

Parameter	Unbelastet (1) MW	OBF36791 Mön (2)	OBF36797 Wet (2)	OBF36793 oTSS (2)	OBF36794 TSS (2)	OBF36795 Her (2)	OBF36798 Ven (2)
Arsen [mg/kg] (UQN-JD 40 mg/kg)	179 (77) P 90% 205	424	3367	3750	33250	12667	3225
Nickel [mg/kg]	43 P 90% 76,1	47	110	89	113	187	96
Cadmium [mg/kg]	4 P 90% 6,2	8	24	18	24	27	12
Zink [mg/kg] (UQN-JD 800 mg/kg)	266 P 90% 437	568	2233	1500	3350	5233	1525

(1) Ermittlung der Hintergrundwerte Einzugsgebiet Zwickauer Mulde, Zschopau und Flöha (LfLUG 2014 – Fraktion < 63 μm) [16]. Die Schwankungsbreiten in den As-Gehalten der „unbelasteten“ Oberflächengewässer sind als sehr hoch einzuschätzen. Hinsichtlich der Unterschiede zwischen Mittelwert und (Median) wurden deshalb beide Werte angegeben als Hintergrundwert. Für eine reale Einschätzung des Hintergrundwertes wäre der Median in diesem Falle realistischer.

(2) Ermittlung der Elementkonzentrationen an der Fraktion < 0,020 mm [11]. Datenerhebung 2006-2013 - Probenahme mittels Sedimentsauger und Sammelkiste (Mittelwerte).

In Tabelle 13 wurden die Elementkonzentrationen der Sedimente aus unbelasteten Oberflächenwasserkörpern den Sedimenten der Wilisch gegenübergestellt. Bei der Gegenüberstellung muss beachtet werden, dass erstere an der < 0,063 mm Fraktion letztere an der < 0,020 mm Fraktion erhoben wurden. Ab 2012 wurde in Sachsen auf Empfehlung der EU WRRL (Wasserrahmenrichtlinie) die Untersuchung von Schwebstoffen bzw. schwebstoffbürtigem Sediment generell für alle Parameter von der Fraktion < 0,020 mm auf die < 0,063 mm umgestellt. Dies schränkt potenziell die Vergleichbarkeit der vor bzw. ab 2012 erhobenen Sedimentdaten ein. Nach OGewV 2016 [11] werden die Elementkonzentrationen in Sedimenten generell an der < 0,063 mm Fraktion ermittelt. Durch [17] und [18] konnten Faktoren ermittelt werden, welche die Vergleichbarkeit der Sedimentanalysen herstellt. In Tabelle 14 wurden mit den ermittelten mittleren Faktoren die auf Fraktion < 0,063 μm korrigiert.

Tabelle 14: Elementkonzentrationen aus Tabelle 12 korrigiert mit den mittleren Faktoren zur Berechnung von Fraktion < 0,02 auf < 0,063 mm (Datengrundlage LfLUG [11])

Parameter	mittlerer Faktor	Unbelastet	OBF36791 Mön (2)	OBF36797 Wet	OBF36793 oTSS	OBF36794 TSS	OBF36795 Her	OBF36798 Ven
Arsen [mg/kg] (UQN-JD 40 mg/kg)	0,9	179 (77) P 90% 205	382	3030	3375	29925	11400	2903
Nickel [mg/kg]	0,9	43 P 90% 76,1	42	99	80	102	168	86
Cadmium [mg/kg]	0,85	4 P 90% 6,2	6,8	20	15	20	23	10,2
Zink [mg/kg] (UQN-JD 800 mg/kg)	0,85	266 P 90% 437	483	1898	1275	2848	4448	1296

Bezüglich der UQN-JD in Sedimenten sind nur As und Zn zurzeit relevant. As mit UQN-JD 40 mg/kg wird selbst bei den Hintergrundwerten schon stark überschritten. Der als weniger belastete Messpunkt OBF36791_Mön zeigt ebenfalls schon eine sehr hohe As-Anreicherung ca. 10 fach gegenüber der UQN-JD. Im Verlaufe der Wilisch steigt dieser kontinuierlich bis OBF36795_Her auf das 285 fache an, einerseits durch den Einfluss der Entwässerungsstollen über Röhrgaben und Seifental, andererseits über den massiven Zufluss des TSS (750-fache Überschreitung des UQN-JD).

Hinsichtlich der Zinkkonzentrationen liegt OBF36791_Mön noch unter der UQN-JD. Im weiteren Verlauf steigt Zn in den Sedimenten bis auf das 5,6-fache des UQN-JD am Punkt OBF36795_Her an, um danach wieder auf das 1,6 fache am Punkt OBF36798_Ven abzufallen. Bemerkenswert ist hierbei, dass zwar der TSS einen erhöhten Beitrag an die Sedimente leistet, jedoch damit nicht die wesentlich höheren Elementkonzentrationen am Punkt OBF36795 unterhalb des TSS erklärbar sind. Die gleiche Beobachtung gilt für Nickel und Cadmium, welche jedoch nicht in den Sedimentkonzentrationen zu UQN-JD betrachtet werden. Für die zusätzlichen Zink und Cadmiumgehalte könnten natürliche Mineralisationen im unmittelbar angrenzenden Einzugsbereich der Wilisch infrage kommen. Am benachbarten Kreyerberg (nordöstlich des TSS) streichen Skarnlager mit massiver Zinkblende-Mineralisation (Cd-Gehalte nicht bekannt) aus, welche in geringem Maße auch abgebaut wurden. In den Halden- und Pingen sind die Erze und deren Verwitterungsprodukte noch vorhanden und können über Oberflächen- und Kluff-drainage eine Erhöhung der Zn- und Cd-Gehalte bewirken.

4.2 Maßnahmenkombinationen

Die im Angebot [21] kurz skizzierten Maßnahmenkombinationen wurden bezogen auf die Elementzusammensetzung und zu erwartenden Frachten auf ihre Anwendbarkeit geprüft, bzw. eine qualitative Voreinschätzung auf Basis einer überschlägigen Dimensionierung bzw. Auslegung getroffen. Dabei wurde die Dimensionierung auf Basis folgender Festlegungen durchgeführt:

- Zielkonzentrationen der Elemente As, Ni, Cd, Zn sind die für unbelastete Oberflächengewässer ermittelten 90% Perzentile (Tab. 11, 13, 14) [16]
- Auslegung für ein zu behandelndes Gesamtvolumen von im Mittel 500 m³/h
- Zweistraßige Planung des jeweiligen Verfahrens

Die Dimensionierung der Wasserbehandlungsanlagen auf einen zu behandelnden Gesamtvolumenstrom von 500 m³/h ergibt sich aus der Auswertung der gemessenen Durchflussmengen des Tiefen Sauberger Stollns im Mittel von 2008 bis 2016. Dafür wurden die Durchflusswerte in Klassenbreiten von jeweils 50 m³/h aufgeteilt und die Häufigkeiten des Auftretens der jeweiligen Klassen ermittelt (Abbildung 9).

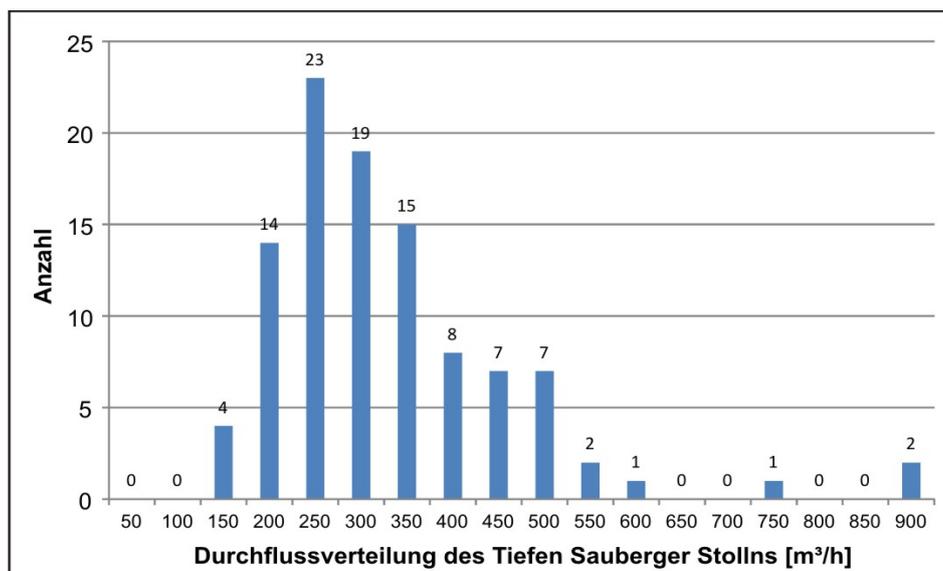


Abbildung 9: Durchflussverteilung Tiefer Sauberger Stolln (Zeitraum 2008 – 2016)

Auf Basis der Verteilung in Abbildung 9 wurde ermittelt, mit welcher Behandlungskapazität welcher Anteil des anfallenden Gesamtvolumens behandelt werden kann (Abbildung 9).

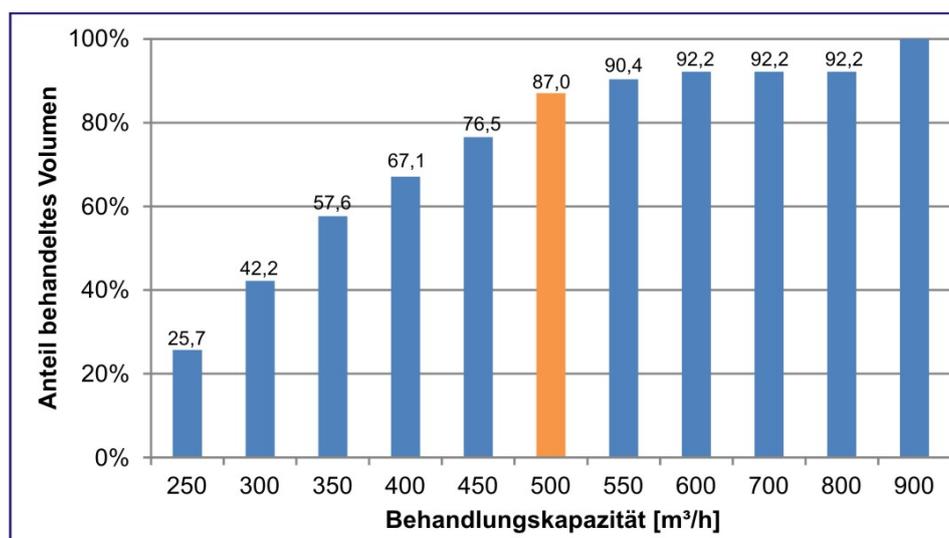


Abbildung 10: Anteil behandeltes Wasservolumen des Tiefen Sauberger Stollns (Zeitraum 2008 – 2016)

Mit der gewählten Behandlungskapazität von 500 m³/h können 94,1 % aller zeitlichen Ereignisse und 87,0 % des anfallenden Gesamtvolumens aus dem Tiefen Sauberger Stolln komplett behandelt werden.

Die Zweistraßigkeit wurde zum einen gewählt, da der anfallende Volumenstrom aus dem Tiefen Sauberger Stolln größeren Schwankungen unterliegt. Aus den Daten von 2008 bis 2016 kann abgeleitet werden, dass in ca. 42 % des Behandlungszeitraumes nur einer der beiden Behandlungsstränge betrieben werden muss. Zum anderen ist die Teilung in zwei Behandlungsstränge schon alleine aufgrund der reinen Größenordnungen der einzelnen Bauwerke technisch zweckmäßig. Hinzu kommen Forderungen hinsichtlich der notwendigen Redundanz von Ausrüstungen und Wartungsanforderungen, die zwei Behandlungsstränge sinnvoll erscheinen lassen.

Für alle Behandlungsmöglichkeiten muss festgehalten werden, dass die Auslegungen und Berechnungen sich auf theoretische Annahmen und Erfahrungswerte anderer Anlagen zur Behandlung bergbaubeeinflusster Wässer stützen. Teilweise wurde auf Erkenntnisse aus den Studien [18], [19], [20] und [21] zurückgegriffen. Vor einer detaillierteren Anlagenplanung müssen zwangsläufig Labor- und Pilotversuche mit dem Originalwasser des Tiefen Sauberger Stolln durchgeführt werden.

Bei allen vorplanerischen Überlegungen wird davon ausgegangen, dass die im Kartenmaterial (Anlage 3) dargestellten Wiesenflächen für die Errichtung einer Wasserbehandlungsanlage genutzt werden könnten. Das Gelände bzw. unmittelbar neben dem Mundloch stehende Gebäude ist Eigentum der Firma RWE Innogy Cogen GmbH mit Niederlassung in Berlin, Gaußstraße 11 10589 Berlin. Eine Erlaubnis zur Nutzung des Geländes wurde nicht angefragt bzw. eingeholt. Weiterhin erfolgte keine Prüfung, ob der Energiebedarf der Wasserbehandlungsanlage durch die im Tal zur Verfügung stehende elektrische Leistung gedeckt werden kann.

4.2.1 Maßnahmenmöglichkeiten/Technische Umsetzung

Für die Auslegung der Wasseraufbereitungsanlage muss berücksichtigt werden, dass die Elemente unterschiedliche Eigenschaften besitzen hinsichtlich ihres Vorkommens in der löslichen oder partikulären Phase. Es wird deshalb eine Gegenüberstellung der partikulären und löslichen Konzentrationen und Frachten betrachtet. Die Daten beziehen sich auf einen Durchfluss von 305 m³/h als Mittelwert für den Zeitraum 2008-2016.

Tabelle 15: Gegenüberstellung der Konzentrationen und Frachten der gelösten und partikulären Anteile des Tiefen Sauberger Stollns (Datenbasis [9][11][12])

Element		Konzentration		Anteil	Frachten		
		[µg/l]	[mg/l]		[kg/a]	[kg/d]	[g/h]
Eisen	gesamt	781			2087	5,72	238,2
	gelöst	78		10,0	208	0,57	23,8
	partikulär	703		90,0	1878	5,15	214,4
Fe als FeOOH	partikulär		1,117		2984	8,18	340,7
Arsen	gesamt	494			1319	3,61	150,6
	gelöst	283		57,3	757	2,07	86,4
	partikulär	211		42,7	563	1,54	64,2
As absorbiert als AsO ₄	partikulär		0,390		1042	2,85	119,0
Nickel	gesamt	31,6			84,5	0,23	9,6
	gelöst	22,5		71,2	60,2	0,16	6,9
	partikulär	9,1		28,8	24,3	0,07	2,8

Ni absorbiert	partikulär		0,0091		24,3	0,07	2,8
Aluminium	gesamt	689			1841	5,043	210,1
	gelöst	483		70,1	1290	3,534	147,3
	partikulär	206		29,9	551	1,509	62,9
Al als AlOOH	partikulär	458	0,458		1224	3,35	139,7
Cadmium	gesamt	1,58			4,23	0,0116	0,48
	gelöst	1,33		84,0	3,55	0,0097	0,41
	partikulär	0,25		16,0	0,68	0,0019	0,08
Cd absorbiert	partikulär		0,0002		0,53	0,0015	0,061
Zink	gesamt	487			1301	3,57	148,5
	gelöst	400		82,2	1070	2,93	122,1
	partikulär	87		17,8	232	0,63	26,4
Zn absorbiert	partikulär		0,087		232	0,63	26,4
abfiltrierbare Stoffe	mg/l	1,96	2,06		5245	14,4	598,7

Tabelle 16: Gelöste und partikulär transportierte Elementfrachten aus dem TSS

	Fe	As	Ni	Al	Cd	Zn	Abfiltrierbare Stoffe
	[kg/a] / [g/h]						
Partikulär	1878 / 214	563 / 64	24,3 / 2,8	551 / 63	0,68 / 0,08	232 / 26	5245 / 599
Gelöst	208 / 24	757 / 86	60,2 / 6,9	1290 / 147	3,55 / 0,41	1070 / 122	

Da Fe und Al als Hauptelemente in der partikulären Fracht auftreten und teilweise Schwermetallionen absorbieren, wurden diese mit in die Kalkulationen eingebunden.

Aufgrund der Elementfrachten, der Elementzusammenstellung und physikalischen Parameter wird die folgende Kombination von nacheinander folgenden Maßnahmen zur Entfernung der betrachteten Elemente vorgeschlagen:

1. Sandfilter zur Entfernung der partikulären Fracht
2. Ionenaustausch zur Entfernung von gelöstem Ni, Cd und Zn
3. Sorption an FerroSorp zur Entfernung von gelöstem Arsen. Es wird davon ausgegangen, dass Arsen in seiner höchsten Oxidationsstufe vorliegt und somit weitgehend vollständig an Eisenhydroxide absorbiert werden kann.

Die folgende Reduktion der Elemente As, Ni, Cd und Zn im Sediment und im Wasserkörper muss durch die Maßnahmenkombination erfolgen (Tab. 17)

Tabelle 17: Faktoren der Reduktion der betrachteten Elemente im Sediment und im Wasserkörper

Element	Sediment / Wasser	Hintergrund 90% Perzentil	TSS (nach Tab. 14) Mittelwerte	Reduktion um Faktor
As	Sediment [mg/kg]	205	29925	146
	Sediment nach [5] [mg/kg]	UQN-JD 40	29925	748
	Wasserkörper [µg/l]	3,4	488	144
Ni	Sediment [mg/kg]	76,1	102	1,3
	Wasserkörper [µg/l]	5,8	16	2,8
	Wasserkörper nach [5] [µg/l]	UQN-JD 4	16	4,0
Cd	Sediment [mg/kg]	6,2	20	3,2
	Wasserkörper MW [µg/l]	0,6	0,7	1,2
	Wasserkörper nach [5] [µg/l]	UQN-JD 0,15	0,7	4,7
Zn	Sediment [mg/kg]	437	2848	6,5
	Sediment nach [5][mg/kg]	UQN-JD 800	2848	3,6
	Wasserkörper [µg/l]	3,4	488	144

Die Reduktion der As, Ni und Zn-Gehalte dürfte nach den Erfahrungen durch die angedachte Maßnahmenkombination durchführbar sein. Die Reduktion der Cd-Gehalte wird indes kritisch gesehen, da eine Verringerung unter 1 µg/l technisch nicht mit vertretbarem Aufwand durchzuführen ist.

4.2.2 Sandfilter/Kerzenfilter

Der Sandfilter wird vorgeschlagen, um die partikulären Anteile des Wasserkörpers aus dem TSS zurück zu halten. Der Sandfilter muss so ausgelegt sein, dass eine Fracht von im Mittel 5245 kg/a abfiltrierbare Stoffe (Schwebstoffe, Tab. 15) aus dem Wasserkörper entfernt werden kann. Die Entfernung der partikulären Stoffe ist außerdem notwendig zum Schutz der Ionenaustauscher, um eine Verblockung durch Feinmaterial zu verhindern.

Mit dem Sandfilter können nach der Datenlage [9][11][12] 42 % der Arsen-, 29 % der Nickel-, 16 % der Cadmium- und 18 % der Zinkfracht zurückgehalten werden. Die nachfolgenden Schritte umfassen demzufolge nur einen geringeren Anteil an löslicher Fracht. Als Sandfiltereinheit wird pro Behandlungsstraße jeweils eine Filterbatterie aus 4 Teilfiltern vorgeschlagen.

4.2.3 Ionenaustauscher (Ni-, Cd-, Zn-Reduzierung)

Das Wasser des Tiefen Sauberger Stolln besitzt im Vergleich zu anderen Bergbauwässern relativ geringe Ionenkonzentrationen. Eine kombinierte Behandlung der Wässer in zwei Stufen wird in Betracht gezogen.

Die erste Behandlung erfolgt durch Selektiv-Kationenaustauscher. Vorgesehen ist der Ionenaustauscher Lewatit TP 207, welcher ein schwach saures makroporöses Kationenaustauscherharz mit chelatisierenden Iminodiessigsäuregruppen zur selektiven Bindung von Schwermetall-Kationen aus schwachsauren bis schwachbasischen Lösungen darstellt. Zweiwertige Kationen werden in der folgenden Reihenfolge aus den Wässern entfernt:

Kupfer > Vanadium (VO) > Uran (UO_2^{2+}) > Blei > Nickel > Zink > Cadmium > Eisen(II) > Beryllium > Mangan > Calcium > Magnesium > Strontium > Barium > Natrium.

Da die Zielelemente Nickel, Zink und Cadmium in höheren Konzentrationen vorkommen als die ersteren vier Elemente, dürfte die Selektivität des Kationenaustauschers in vollem Umfang genutzt werden können. Es muss darauf hingewiesen werden,

dass hier Bedarf an Untersuchungen erforderlich ist, um weitere selektive Ionenaustauscher zu testen, welche Mangan und Eisen nicht absorbieren. Mangan ist mit höheren Konzentrationen (701 µg/l, Fracht 200 g/h, Tabelle 5) an der löslichen Fracht beteiligt. Eisen(II) liegt mit 78 µg/l und einer Fracht von 23,8 g/h vor (Tabelle 15).

4.2.4 Sorptionskolonne (As-Reduzierung)

Eine zweite Behandlungsstufe ist vorgesehen, um lösliches Arsenat aus dem Wasser zu entfernen. Hier würde bevorzugt das Adsorptionsmittel Ferrosorp bzw. FerrosorpPlus in granulierter Form eingesetzt werden. Ferrosorp bzw. Ferrosorp Plus besteht aus Eisen (III)-hydroxid, welches aufgrund seiner chemischen Aktivität sehr gut für die Bindung von Arsenat-, Phosphat- oder Sulfid-Ionen in wässrigen Medien geeignet ist.

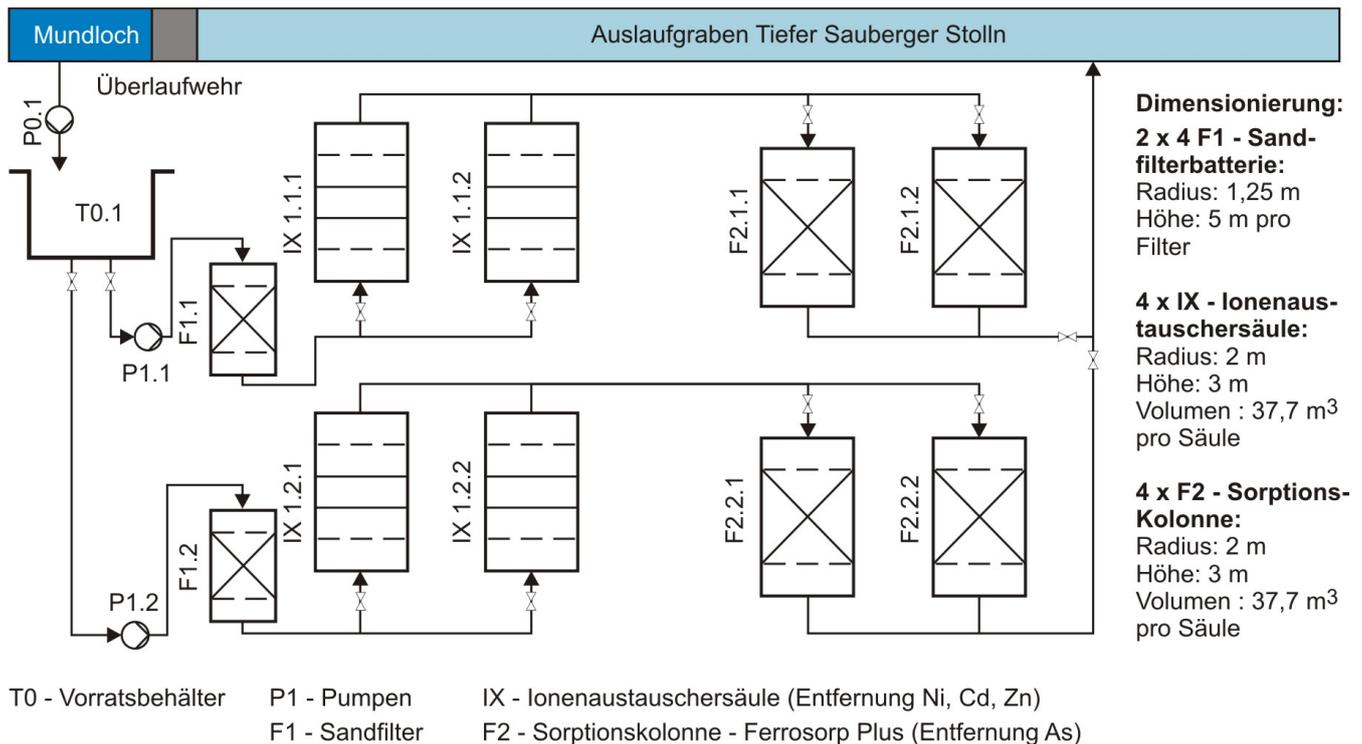


Abbildung 11: Grobschema der zweistraßigen Wasserbehandlungsanlage zum Auslaufwasser des Tiefen Sauberger Stolln

Das Grobschema zur Wasseraufbereitung ist in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**1 dargestellt. Aufgrund der notwendigen Austauschzyklen wurde jeder Behandlungsstrang nochmals in Einzelsäulen unterteilt, so dass mit Ausnahme des seltenen Volllastbetriebes immer genügend Puffer zum Austausch des Harzes bzw. Sorptionsmittels einzelner Säulen vorhanden ist. Im Falle des Sandfilters wird pro Behandlungsstraße eine Filterbatterie a 4 Filter vorgeschlagen.

Ausgehend von einer von Herstellern für Austauscherharze vorgegebenen Filtergeschwindigkeit von 50 m/h und dem entsprechenden maximalen Volumenstrom müssen die Säulen dimensioniert werden.

Die Auslegung der Ionenaustauschersäulen IX wurde gewählt mit einmaligem Wechsel des Harzes pro Jahr. Die Sorptionsäulen F2 sind halbjährig zu wechseln (Angaben nach bestehenden Frachten [11]). Da der tatsächliche Volumenstrom geringer ist, verlängern sich auch die Betriebszyklen der einzelnen Säulen entsprechend, so dass jede Säule ca. einmal pro Jahr regeneriert werden muss. Die Gehalte an Ni, Cd und Zn sind immer noch rückläufig (Abb. 7 und 8). Deshalb werden sich die Austauschzyklen in Zukunft verlängern. Eine Regeneration der Ionenaustauscherharze vor Ort ist nicht vorgesehen, da dazu eine komplette Behandlungsstufe mit integriert werden müsste, welcher einerseits zusätzlichen Platzbedarf benötigt, andererseits die Investitionskosten erheblich erhöht. Das Harz soll extern über entsprechende Unternehmen regeneriert werden.

4.3 Kostenschätzung

Für die Schätzung der Investitionskosten erfolgt die Auslegung der Anlagen für die maximale Anlagenkapazität von 500 m³/h. Die durchsatzunabhängigen Betriebskosten, wie z. B. Personalkosten, Abschreibungen und Wartungskosten werden auf ein Kalenderjahr bezogen. Die maximale Anlagenkapazität wird im Jahresmittel nicht ausgeschöpft. Für die durchsatzabhängigen Betriebskosten (z.B. Chemikalien, Elektroenergie) wird eine Auslastung von ca. 61% (entspricht mittlerem Durchsatz von 305 m³/h) angenommen.

4.3.1 Investitionskosten

In der vorliegenden Studie werden die Kosten für den Bau einer Wasseraufbereitung anhand von vorliegenden Angeboten für Bau und Ausrüstung abgeschätzt. In Anlage 4 wurden die Einzeleinheiten aufgelistet. Eine detailliertere Berechnung ist in diesem Rahmen noch nicht möglich. Ausführliche Planungen und Kostenaufstellungen können erst nach durchgeführten Versuchen reell berechnet werden. Die Kosten für die externe Medienerschließung (Elektroenergie, Wasser, etc.) wurden daher ebenso nicht berücksichtigt.

In der folgenden Tabelle 18 sind die Investitionskosten dargestellt:

Tabelle 18: Investitionskosten der einzelnen Verfahrensvarianten

Baukosten [€]	Ausrüstungskosten [€]	Gesamtsumme Bau + Ausrüstung [€]
435.000	2.240.708	2.675.708

Die Gesamt-Investitionskosten belaufen sich auf 2.675.708 €.

4.3.2 Personalkosten

Es wird angenommen, dass während des Betriebes die Anlage einschichtig mit einer Person besetzt wird, wobei die Regeln für Einzelarbeitsplätze Beachtung finden müssen. In der übrigen Zeit wird ein Bereitschaftsdienst eingerichtet, der über das Prozessleitsystem automatisch bei entsprechenden Alarmmeldungen benachrichtigt wird. Über einen Fernzugriff kann er in die Steuerung der Anlage eingreifen. Es wird ein Stundensatz von 40 € und für den Bereitschaftsdienst von 3,00 € angesetzt (Tabelle 19).

Tabelle 19: Personalkosten

Tätigkeit	Personen	Zeit	Kostensatz	Kosten	
				[€/d]	[€/a]
Betreiben	1	8	40,00	320	116.800
Bereitschaft	1	16	3,00	48	17.520
Summe				368	134.320

Nach vorliegender Kalkulation fallen pro Tag Personalkosten von 368 € an.

4.3.3 Betriebskosten

Für die Betriebskosten werden Abschreibungszeiträume von 25 Jahren (Bauwerke) bzw. 10 Jahren (Ausrüstung) angenommen. Für die Verbräuche an Strom und Chemikalien wird ein mittlerer Durchsatz von 305 m³/h angesetzt. Die nachfolgende Tabelle 20 stellt die jährlichen Betriebskosten dar. Die Aufschlüsselung der einzelnen Posten ist in Anlage 5 niedergelegt.

Tabelle 20: Vergleich Anteile Betriebskosten

Abschreibungen Bau/ Ausrüstung	Wartung/ Instandhaltung	Personal- kosten	Verbrauchs- mittel	Energie	Analytik	Rückstands- entsorgung	Gesamt
€/a							
241.471	160.542	134.320	603.600	310.900	18.250	18.000	1.487.083

Daraus resultieren folgende spezifische Kosten (Tabelle 21) für den angenommenen mittleren Durchsatz von 305 m³/h.

Tabelle 21: Spezifische Kosten

Spezifische Kosten Abschreibung und Wartung	Spezifische Kosten Wasserbehandlung		Spezifische Gesamtkosten
€/m ³	€/m ³	davon Energie €/m ³	€/m ³
0,09	0,47	0,12	0,56

Hierbei ist die zukünftige Entwicklung der Energiepreise von 6% Steigerung im Jahr 2017 berücksichtigt.

Die Aufschlüsselung der Einzelpositionen ist in Anlage 4 und 5 einzusehen.

5 Forschungs- und Handlungsbedarf

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt (2016) dringt die die Wilisch über Undichtigkeiten des ursprünglich ausgebauten Bachbettes in den in Trockenbauwerk ausgebauten Bereich des TSS ein und verdünnt zu großen Teilen dessen Grubenwasser. Der Kurzschluss findet statt über das zerstörte künstliche Beton-Bachbett und dem seitlichen Versickern der Wilisch in den Auesedimenten. Der Tiefe Sauberger Stolln führt deshalb im Moment das gesamte Wasser der Wilisch über das Mundloch ab. Bevor Maßnahmen zur Wasseraufbereitung des TSS ergriffen werden können, muss zwangsläufig der ordnungsgemäße Zustand des Wilisch-Bachbettes wieder hergestellt werden.

Alternativ könnte innerhalb des TSS vor unmittelbarem Zufluss der Oberflächenwasser (ca. 300 m vor Mundloch) das Grubenwasser gefasst und der Wasseraufbereitungsanlage außerhalb des Grubengebäudes zugeführt werden. Damit würden die Wässer der Wilisch nicht mit in die Wasserbehandlung mit einbezogen werden.

Die Möglichkeit die Aufbereitungsanlagen im Grubenbau zu installieren, somit die Menge des ausfließenden Wassers zu reduzieren wurde mit angedacht, wird in dieser Studie aber nicht diskutiert. Die Möglichkeiten bestehen jedoch die komplette Wasserbehandlungsanlage in den Grubenbau zu verlagern.

Die Kalkulationen zur Entfernung der Elemente aus dem Bergbauwasser beruhen auf der zur Verfügung stehenden Datenbasis und sind als Richtwerte zu sehen. Eine exakte Planung der Wasserbehandlungsanlage ist nur möglich durch Laborversuche am unmittelbaren Wasserkörper (partikuläre Fracht) bzw. den löslichen Schwermetallen und Arsen im Wasser. Diese Versuche würden umfassen:

- Untersuchungen zur Entfernung der partikulären Fracht (Installation von Sandfiltern, Filterkerzen) vor Ort (Beinhaltet die Abtrennung eines Teilstroms und Ermittlung der Effektivität der Sandfilter/Filterkerzen in Abhängigkeit der Korngröße und Filterlänge;
- Untersuchungen zur Entfernung der löslichen Schwermetalle durch verschiedene selektive Ionenaustauscher
- Untersuchungen zur Effektivität der Arsenreduzierung durch Ferrosorp oder FerrosorpPlus

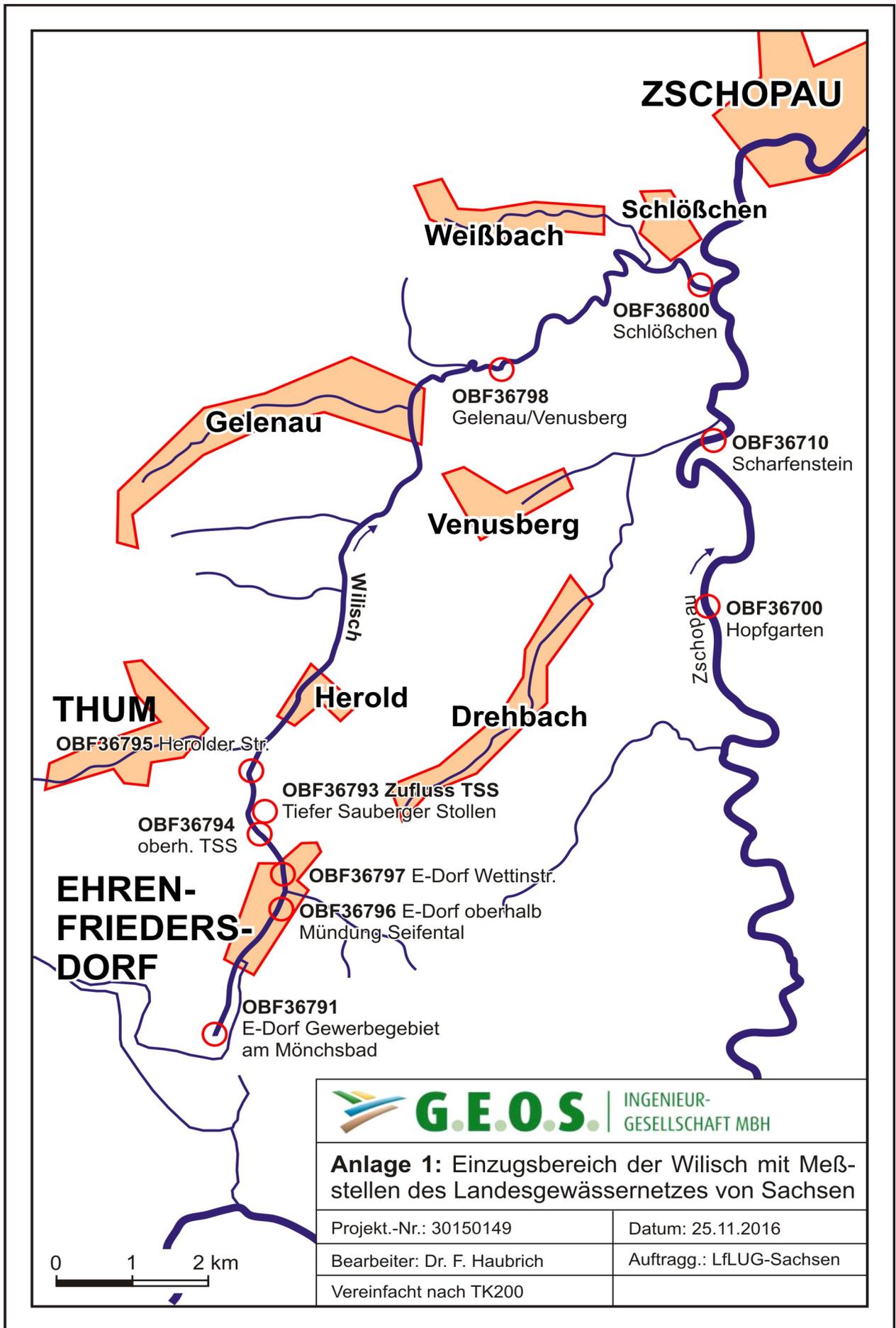
Die detaillierten Untersuchungen sollten in einem separaten Projekt bearbeitet werden.

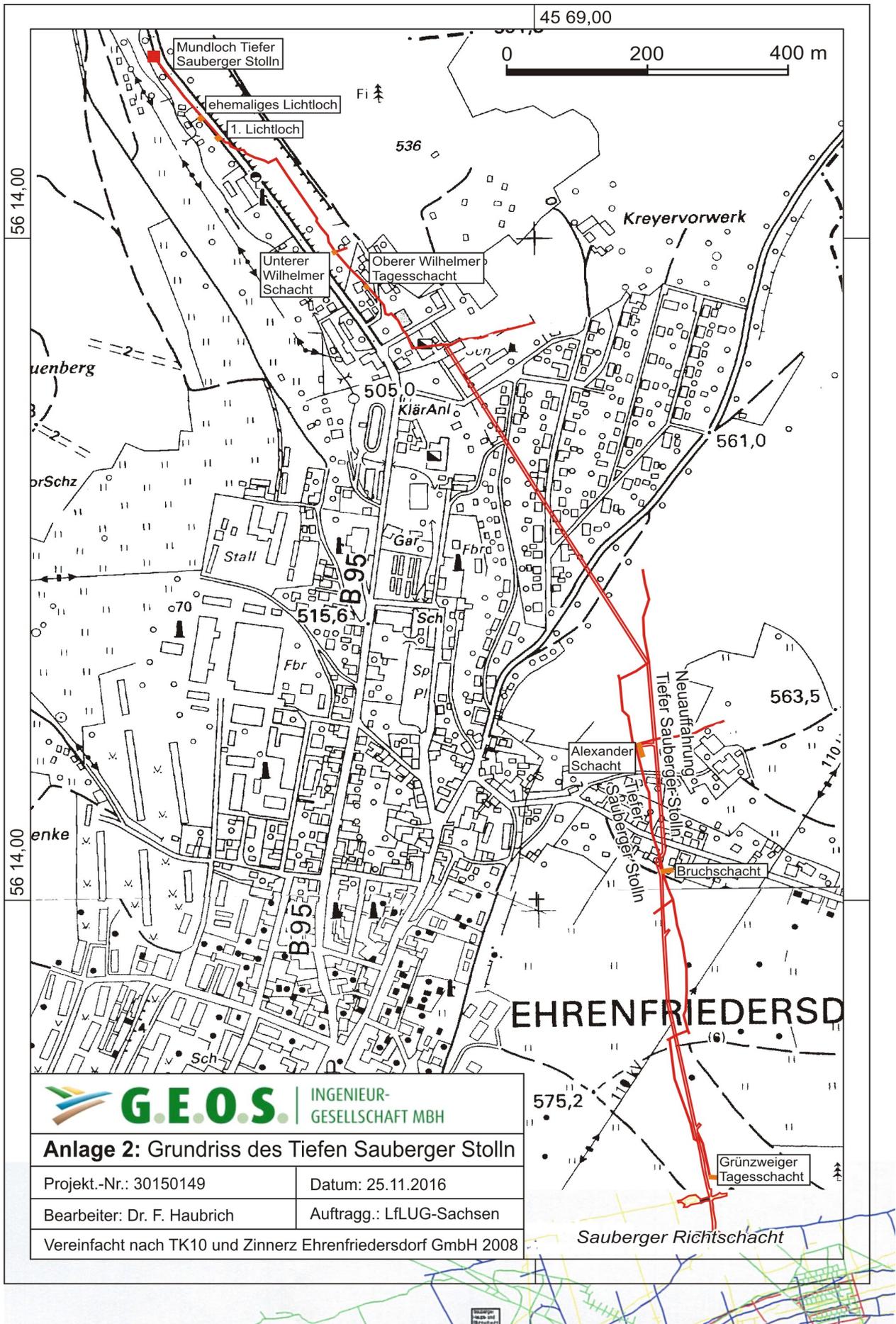
6 Literaturverzeichnis

- [1] WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 327 vom 22.12.2000.
- [2] WRRL (2006): Richtlinie 2006/11/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 betreffend die Verschmutzung infolge der Ableitung bestimmter gefährlicher Stoffe in die Gewässer der Gemeinschaft, Amtsblatt der Europäischen Union L 64 vom 04.03.2006.
- [3] WRRL (2008): Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG, Amtsblatt der Europäischen Union L 348 vom 24.12.2000.
- [4] SächsWRRLVO - Sächsische Wasserrahmenrichtlinienverordnung Verordnung zur Bestandsaufnahme, Einstufung und Überwachung der Gewässer vom 7. Dezember 2004.
- [5] OgewV (2016): Verordnung zum Schutz von Oberflächengewässern (Oberflächengewässerverordnung – OgewVO), Stand: 23.06.2016, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2016 Teil I Nr. 28, ausgegeben zu Bonn am 23. Juni 2016, S. 1373 – 1443.

- [6] Bericht des Sächsischen Oberbergamtes und des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Referat Rohstoffgeologie) für das Jahr 2010, http://www.oba.sachsen.de/download/2011_10_21_JB2010Druckfassung.245462.pdf.
- [7] GrwV (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung - GrwV), 9. November 2010, BGBl. I S. 1513.
- [8] Hartmann, J. (2010): Nutzung des gefluteten Grubengebäudes in Ehrenfriedersdorf als Retentionsraum und daraus resultierende Effekte auf die Grubenwasserhydraulik und geochemischen Bedingungen. In: Proceedings zum 61. Berg- und Hüttenmännischer Tag, TU Bergakademie Freiberg, „Grubenwässer – Herausforderungen und Lösungen“, 10. und 11. Juni 2010.
- [9] EcoConcept GmbH Chemnitz (2016): Persönliche Mitteilungen.
- [10] Tauber, A. (2008): Hydraulische quantitative Analyse und Untersuchung des Wasserhaushaltssystemes des gefluteten Grubengebäudes der Zinnerz Ehrenfriedersdorf GmbH. Studienarbeit, Institut für Bergbau und Spezialtiefbau, TU Bergakademie Freiberg.
- [11] Umweltdatenbank Sachsen (2016): Gewässergütedaten - <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/7112.htm>, Einzugsgebiet Freiburger Mulde (1999-2015) [Download,* .zip, 24,02 MB]
- [12] Zinnerz Ehrenfriedersdorf GmbH (2016): Zusammenstellung der Daten 2002 – 2016 zum Monitoring des Tiefen Sauberger Stoll. Datenbasis auf Grundlage der Untersuchungen von EcoConcept Chemnitz GmbH und Südsachsen Wasser GmbH im Auftrag der Zinnerz Ehrenfriedersdorf GmbH. Persönliche Datenübermittlung vom 30.05.2016.
- [13] Umwelt.Sachsen: Umweltinformationssysteme des Landes Sachsen. <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/weboffice101/synserver?project=wasser-flg&view=flg&language=de>.
- [14] Greif, A. & Klemm, W. (2010): Geogene Hintergrundbelastungen, Oberflächenwassergenaue Ableitung von Referenzwerten geogener Hintergrundbelastungen für Schwermetalle und Arsen in der Wasserphase sowie im schwebstoffbürtigen Sediment sächsischer Fließgewässer im Einzugsgebiet des Erzgebirges/Vogtlandes. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen, Schriftenreihe, Heft 10/2010, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/14924/documents/17872>.
- [15] Martin, M. & Janneck, E. (2010): Erstellung eines technologischen Konzeptes zur Reinigung kontaminierter Haldensickerwässer (Machbarkeitsstudie), im Auftrag der Zinnerz Ehrenfriedersdorf GmbH, Projektnummer: 300 900 02.
- [16] Haubrich (2014): Ermittlung von Hintergrundwerten in ausgewählten Oberflächenwasserkörpern in den Einzugsgebieten der Zwickauer Mulde und der Zschopau (zusätzlich Flöha) - Fortschreibung von Grundlagendaten und Untersuchung ausgewählter Sachverhalte der Maßnahmen- und Bewirtschaftungsplanung zur Reduzierung von Schadstoffeinträgen. Bericht im Auftrag des LfLUG Sachsen, Referat 44 "Oberflächen- und Grundwasser".
- [17] Rhode (2013): Persönliche Mitteilungen zu UBA14. In Martin, M. (2013) [18].
- [18] Martin, M. (2013): „Fortschreibung von Grundlagendaten und Untersuchung ausgewählter Sachverhalte der Maßnahmen- und Bewirtschaftungsplanung zur Reduzierung von Schadstoffeinträgen, Teil: Hintergrundkonzentrationen - Betrachtungen für ausgewählte Oberflächenwasserkörper in den Einzugsgebieten von Spree und Schwarzer Elster“. Abschlussbericht zum F&EVorhaben im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie Dresden, G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Halsbrücke.
- [19] G.E.O.S. (2008): Erarbeitung einer Vorplanung mit Kostenabschätzung zur Sanierung und Unterhaltung des künstlichen Gewässers Roter Graben, Bericht für Landesdirektion Chemnitz
- [20] G.E.O.S. (2010): Sanierungsuntersuchungen am Stangenbergbach zur Verminderung des Schwermetalleintrages in die Freiburger Mulde, Auftraggeber: SAXONIA Standortentwicklungs- und Verwaltungsgesellschaft mbH; Bearbeitungszeitraum: 12/2008 – 01/2010, Bericht vom: 25.02.2010
- [21] G.E.O.S. (2013): Entwicklung einer kostengünstigen Maßnahmekombination für die Minimierung von Schwermetalleinträgen aus dem Raum Freiberg, Vergabe Nr. B656, Angebot für LfULG
- [22] G.E.O.S. (2015): Entwicklung kostengünstiger Maßnahmekombinationen für die Minimierung von Schwermetalleinträgen aus Stollenwassereinleitungen des Tiefen Sauberger Stollns, Vergabe Nr. B751/15, Angebot für LfULG Nr. 3027415.
- [23] Drucksache 627/15 (2015): Bioverfügbarkeit von Nickel. Verordnung zum Schutz von Oberflächengewässern vom 16.12.2015, Tabelle S. 114.

Anlagen





G.E.O.S. | INGENIEUR-GESELLSCHAFT MBH

Anlage 2: Grundriss des Tiefen Sauberger Stolln

Projekt.-Nr.: 30150149 Datum: 25.11.2016

Bearbeiter: Dr. F. Haubrich Auftrag.: LfLUG-Sachsen

Vereinfacht nach TK10 und Zinnerz Ehrenfriedersdorf GmbH 2008

Sauberger Richtschacht



**Anlage 3: Ermittlung Flächenmanagement
Tiefer Sauberger Stolln in Bezug zur Wilisch**

Projekt.-Nr.: 30150149	Datum: 25.11.2016
Bearbeiter: Dr. F. Haubrich	Auftrag.: LfLUG-Sachsen
Projektion auf Google Earth	

Herausgeber:

**Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden**

Telefon: +49 351 2612-0

Telefax: +49 351 2612-1099

E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de

www.smul.sachsen.de/lfulg

Redaktion:

Referat 44 / Oberflächen- und Grundwasser

Ansprechpartnerin Sylvia Rohde

Telefon: +49 351 8928-4401

Telefax: +49 351 8928-4099

E-Mail: Sylvia.Rohde@smul.sachsen.de

Fotos:

Dr. Frank Haubrich/M. Martin

Redaktionsschluss:

30.11.2016

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung. Die PDF-Datei ist im Internet unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg> verfügbar.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.