

Weiterführende Untersuchungen zum Rothschönberger Stolln



Abschlussbericht zum Werkvertrag

„Weiterführende Untersuchungen zum Rothschönberger Stolln“

Dipl.-Chem. Mirko Martin
Dipl.-Ing. Tim Aibel
Dr. Rainer Sennewald
Dr. Eberhard Janneck

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

Bearbeitungszeitraum: 08.10.2014 – 30.11.2015

Inhaltsverzeichnis

1	<i>Hintergrund und Zielstellung</i>	10
2	<i>Herangehensweise</i>	11
3	<i>Anforderungen der WRRL und deren nationale Umsetzung</i>	12
4	<i>Formale Betrachtung und Bewertung von Eingriffsmöglichkeiten</i>	15
4.1	Eingriffe an der Quelle	16
4.1.1	Beseitigung der Quelle.....	16
4.1.1.1	Untertagebereich	16
4.1.1.2	Halden, Tailings	18
4.1.2	Einschluss der Quellen	18
4.1.2.1	Hydrodynamische Barrieren.....	18
4.1.2.2	Abdeckung/Abdichtung Halden, Tailings	18
4.2	Eingriffe am Ausbreitungspfad	19
4.2.1.1	Übertägige Ausbreitungspfade von Kontaminaten.....	19
4.2.1.2	Untertägige Ausbreitungspfade von Kontaminaten	20
4.3	Eingriff am Schutzgut (Stollnwasser oder Vorfluter)	20
4.4	Duldung	20
5	<i>Rechercheergebnisse zu den hydraulischen Verhältnissen</i>	22
5.1	Grube Brand	22
5.2	Grube Freiberg und Varianten zur Fassung belasteter Wasserströme	22
5.2.1	Einzelbeschreibung des Zustands der Grubenwässer der oberen Stolln.....	22
5.2.2	Rothschönberger Stolln - Einzelbeschreibung von Zuflüssen im Teilrevier Freiberg.....	34
5.2.3	Zusammenfassung - gegenwärtige Zuflüsse in den Flutungswasserraum des Teilreviers Freiberg	39
5.3	Grube Halsbrücke	40
6	<i>Schwermetallführung der Grubenwässer</i>	41
6.1	Geochemische Grundlagen	41
6.2	Verhalten der Schwermetalle im Grubenwasser	44
6.3	Überblick zur Herkunft der Schwermetalle	45
6.3.1	Teilrevier Brand-Erbisdorf einschließlich Stauraum Kavernenkraftwerk.....	46
6.3.2	Teilrevier Morgenstern-Muldenhütten	47
6.3.3	Haldenkomplex Davidschacht.....	48
6.3.4	Revier Halsbrücke mit den beiden Teilrevieren Beihilfe (Halsbrücke) und Churprinz (Großschirma).....	49
6.3.5	Diffuse Quellen im Freiburger Revier.....	49
7	<i>Hydrologische und hydrogeochemische Charakterisierung des Rothschönberger Stollns</i>	50
7.1	Hydraulische Verhältnisse	50

7.1.1	Teilrevier Brand.....	50
7.1.2	Teilrevier Freiberg.....	52
7.1.3	Teilrevier Halsbrücke - Großschirma.....	55
7.2	Teilströme des Wassers im Rothschönberger Stolln	55
8	<i>Übertägige cadmiumbelastete Wasserströme</i>	60
8.1	Charakterisierung	60
8.2	Schlussfolgerungen.....	70
9	<i>Schlussfolgerungen und Prämissen für Maßnahmen am Rothschönberger Stolln.....</i>	71
9.1	Allgemeines	71
9.2	Grube Brand	72
9.3	Grube Freiberg	72
9.3.1	Grube Freiberg - Fassen von Grubenwasser auf oberen Stolln, Behandeln am Mundloch.....	72
9.3.2	Grube Freiberg Verfällen von Grubenwasser aus oberen Stolln zum Rothschönberger Stolln. Behandeln am Mundloch	74
9.3.3	Grube Freiberg Behandeln von Grubenwasser aus oberen Stolln beim Verfällen zum Rothschönberger Stolln...74	
9.4	Grube Halsbrücke	76
9.5	Konzeptionelles Modell der Cd-Emissionen des gesamten Freiburger Reviers	76
9.6	Zwischenauswertung und Fazit	77
10	<i>In situ Grubenwassersanierung</i>	80
10.1	Zusammenfassung der End of Pipe-Verfahren für den Rothschönberger Stolln	80
10.2	In situ-Verfahren	82
10.3	Bewirtschaftung der Stollnwässer.....	84
11	<i>Immobilisierung der Schadstoffe in den Halden.....</i>	86
11.1	Abdecken / Abdichten	86
11.2	Einbringen von Stoffen in den Haldenkörper	86
11.3	Bereits umgesetzte Maßnahmen	86
11.4	Maßnahmen in Planung.....	87
11.5	Wirksamkeit	87
12	<i>Neutralseal-Technologie</i>	88
12.1	Beschreibung.....	88
12.2	Laboruntersuchungen.....	89
12.3	Untersuchte Wässer	90

12.4	Nanofiltration.....	92
12.4.1	Anlagenkonfiguration.....	92
12.4.2	Ergebnisse	93
12.5	Fällungsversuche	102
12.5.1	Fällung	102
13	Anlagenkonzeptionen	105
13.1	Membrananlage am Mundloch VGS	105
13.2	Membrananlage untertage (Neutralseal-Technologie).....	105
13.3	Fällungsverfahren am Mundloch VGS (Neutralseal-Technologie)	106
14	Kostenbetrachtung.....	108
15	Zusammenfassender Vergleich der Eingriffsmöglichkeiten.....	113
15.1	Wirkung innerhalb des Rothschönberger Stollns.....	113
15.2	Wirkung im Kontext des gesamten Freiburger Reviers	113
16	Fazit und Ausblick.....	116
16.1	Fazit	116
16.2	Weiterführende Arbeiten	116
16.2.1	Wasserstammbaum	116
16.2.2	Revierbezogene Wassergüte/-mengenmessungen.....	116
16.2.3	In situ-Grubenwasserbehandlung.....	117

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Charakterisierung der Lagerstätten der Teilreviere Brand und Freiberg.....	17
Abbildung 2: Altlastensituation am Standort Hütte Freiberg 1989 –im Vergleich zu 2007.....	19
Abbildung 3: Chemischer Zustand der Grundwasserkörper	21
Abbildung 4: Möglichkeit der Mobilisierung von Schwermetallen aus hoch mineralisierten Standwässern infolge Wasseranstiegs	44
Abbildung 5: Fällungs-pH wichtiger Metalle aus verdünnten Lösungen.....	45
Abbildung 6: Verlauf des Rothschnöberger Stollns in den Teilrevieren Halsbrücke und Freiberg (-Muldenhütten)	46
Abbildung 7: Oberer Grubenwasserablauf Grube Freiberg	48
Abbildung 8: Wasserstammbaum des Rothschnöberger Stollns, abgeschätzte Mittelwasser- verhältnisse	51
Abbildung 9: Skizze der Grubenwasser-Fließwege im Brander Revier	52
Abbildung 10: Skizze der Schächte, die im Revier Freiberg an den RSS angeschlossen sind	53
Abbildung 11: Ergebnis der Fließgeschwindigkeitsmessung im Jahre 2001.....	54
Abbildung 12: Teufenprofile von Temperatur und Fließgeschwindigkeit nach Messungen 1988.....	54
Abbildung 13: Temperaturprofil im gefluteten Reiche Zeche Schacht am 06.07.2006	54
Abbildung 14: Profil der el. Leitfähigkeit im gefluteten Reiche Zeche Schacht am 06.07.2006	54
Abbildung 15: Bilanzierung der Cadmiumfrachten der Zuflüsse innerhalb des Rothschnöberger Stollns	58
Abbildung 16: Punktquellen miterhöhten Cd-Gehalten im Freiberg Raum.....	64
Abbildung 17: Konzeptionelles Modell zur Bilanzierung der Cd-Frachten aus dem Freiberg Revier	76
Abbildung 18: Strategien zur Verminderung von Cadmumeinträgen ins Oberflächenwasser	80
Abbildung 19: pH und Na-Konzentration in der Beobachtungsbohrung GWMW 7037.....	82
Abbildung 20: Cd-, Ni- und Zn-Konzentration in der Beobachtungsbohrung GWMW 7037	83
Abbildung 21: konventionelle Wasserbehandlung	88
Abbildung 22: NeutraSeal-Wasserbehandlung	89
Abbildung 23: Übersicht Membranverfahren	90
Abbildung 24: Schematische Anlagenkonfiguration	92
Abbildung 25: Aufnahme Permeatfluss TUH-B-Wasser	93
Abbildung 26: Permeatfluss bei Aufkonzentrierung (TUH-B)	94
Abbildung 27: Leitfähigkeit im Konzentrat (TUH-B).....	94
Abbildung 28: Ionenkonzentration TUH-B original/Konzentrat/Permeat	95
Abbildung 29: Ionenrückhalt TUH-B.....	95
Abbildung 30: Aufnahme Permeatfluss TUH-V-Wasser	96
Abbildung 31: Permeatfluss bei Aufkonzentrierung (TUH-V)	97
Abbildung 32: Leitfähigkeit im Konzentrat (TUH-V).....	97
Abbildung 33: Ionenkonzentration TUH-V original/Konzentrat/Permeat.....	98
Abbildung 34: Ionenrückhalt TUH-V.....	98
Abbildung 35: Aufnahme Permeatfluss RSS-Wasser.....	99
Abbildung 36: Permeatfluss bei Aufkonzentrierung (RSS).....	100
Abbildung 37: Ionenkonzentration RSS original/Konzentrat/Permeat	101
Abbildung 38: Ionenrückhalt RSS	101
Abbildung 39: Cadmiumgehalt vor/nach Fällung/Filtration	103
Abbildung 40: Cadmiumgehalt vor/nach Fällung/Filtration (Rothschnöberger Stolln)	103
Abbildung 41: Füllortbereich Reiche Zeche (Rothschnöberger Stolln-Sohle)	105
Abbildung 42: Variante zur Ableitung der stark belasteten Wässer im VGS	107

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: UQN der OGewV (Auszug) unter Berücksichtigung der Neuregelungen	13
Tabelle 2: Änderung von UQN prioritärer Stoffe im Entwurf der OGewV Stand 29.04.2015	14
Tabelle 3: Schwellenwerte der GrwV (Auszug der im Projekt untersuchten Parameter)	14
Tabelle 4: Überblick über die Eingriffsmöglichkeiten	15
Tabelle 5: Mittlere Elementgehalte in aktuell beprobten Wässern des Untersuchungsgebietes Obere Freiburger Mulde	20
Tabelle 6: Charakterisierung der verschiedenen Typen von Resterzen	41
Tabelle 7: Sohlhöhen des Rothschnberger Stollns an den Füllrörtern wichtiger Schächte des Freiburger Reviers.....	53
Tabelle 8: Vergleich der Konzentrations-Mittelwerte im Wasser des RSS der Jahre 1999 [69] und 2004-2012	55
Tabelle 9: Mittlere gelöste Konzentrationen und Wasserparameter in den Hauptzuläufen zum Rothschnberger Stolln	56
Tabelle 10: Mittlere gelöste Frachten der 4 Hauptzuläufe zum Rothschnberger Stolln im Vergleich sowie die Anteile der Teilreviere	58
Tabelle 11: Charakterisierung der übertägigen Cd-belasteten Wasserströme im Gebiet von Freiberg.....	60
Tabelle 12: Relevante Punktquellen für Schwermetalle und Arsen im Freiburger Revier - Konzentrationen im Wasser (Mittelwerte).....	65
Tabelle 13: Relevante Punktquellen für Schwermetalle und Arsen im Freiburger Revier - Frachten	67
Tabelle 14: Vergleich von Frachten und Frachtanteilen der Punktquellen und des RSS.....	68
Tabelle 15: Relevante Punktquellen für Schwermetalle und Arsen im Freiburger Revier - Frachtanteile verglichen mit dem RSS	69
Tabelle 16: Möglichkeiten regulierender Eingriffe in den Grubenwasserkörper der drei Teilreviere.....	71
Tabelle 17: regulierende Eingriffe in den Grubenwasserkörper und Ziele der Grubenentwässerung.....	72
Tabelle 18: Ansatzpunkte zum Fassen von Grubenwasser auf oberen Sohlen	73
Tabelle 19: Investitionskosten der einzelnen Verfahrensvarianten	81
Tabelle 20: Vergleich der Betriebskosten bezogen auf ein Betriebsjahr.....	81
Tabelle 21: Vergleich der spezifische Kosten	81
Tabelle 22: Mögliche Ansatzpunkte zur In situ-Beeinflussung der Wasserqualität des Rothschnberger Stollns	83
Tabelle 23: Modellierungsergebnisse der Cd-Konzentration für Flutungswasser Teilrevier Freiberg bei einer in situ-Sanierung	84
Tabelle 24: Charakteristik der untersuchten Wasserproben	91
Tabelle 25: Chemische Zusammensetzung der untersuchten Wasserproben.....	91
Tabelle 26: Parameter Fällung	102
Tabelle 27: Basisfall 1 Behandlung Wasser RSS, Fällung/Filtration (Studie 2013).....	108
Tabelle 28: Variante 1.1 Behandlung Wasser aus VGS, Fällung/Filtration/ Neutralseal (abgeleitet aus Basisfall 1)	109
Tabelle 29: Basisfall 2, Behandlung Rothschnberger Stolln, Nanofiltration /Fällung/Filtration (Studie 2013).....	109
Tabelle 30: Variante 1.2, Behandlung Wasser VGS, Nanofiltration/Fällung/Filtration (abgeleitet aus Basisfall 1)	110
Tabelle 31: Variante 2, Behandlung Wasser beim Versturz Reiche Zeche, Nanofiltration/Fällung/Filtration (diese Studie).	110
Tabelle 32: Kostenvergleich.....	111
Tabelle 33: Gegenüberstellung der Maßnahmen am RSS und am VGS.....	112
Tabelle 34: Überblick über die wichtigsten Eingriffsmöglichkeiten zur Entlastung des RSS unter Einbeziehung des gesamten Reviers	114

Anlagen

- Anlage 1 Ausschnitt Lageplan Rothschnberger Stolln in den Gruben Freiberg und Brand mit Nummern der Stollintrakte, 1:10.000, Kartengrundlage aus Bericht 2006 [46] Anlage 4
- Anlage 2 Vereinfachtes hydraulisches Netzwerk zur Wasserl6sung im unterirdischen Einzugsgebiet des Rothschnberger Stollns, 6bernahme aus Bericht 2006 [46] Anlage 5
- Anlage 3 Wasserriss Grube Freiberg, obere Stollnsohlen mit den Blattnummern der Beschreibung, 1:10.000 aus Chronik der Grube Freiberg [22], Anlage 67
- Anlage 4 Wasserriss Grube Freiberg, Rothschnberger Stolln mit den Blattnummern der Beschreibung, 1:10.000 aus Chronik der Grube Freiberg [22], Anlage 67
- Anlage 5 Wasserstammbaum der Grube Freiberg bis zum Niveau Rothschnberger Stolln um 1960 aus Chronik der Grube Freiberg [46] Anlage 71

Abkürzungsverzeichnis

AG	Auftraggeber
EZG	Einzugsgebiet
GWK	Grundwasserkörper
HGW	Hintergrundwert
HSU	Hauptstollnumbruch
JD	Jahresdurchschnitt
Max	Maximum
Med	Median
Min	Minimum
MW	Mittelwert
n	Anzahl
OWK	Oberflächenwasserkörper
P90	90-Perzentil
RSS	Rothschönberger Stolln
SALKA	Sächsisches Altlastenkataster
THS	Turmhof Hilfsstolln
UQN	Umweltqualitätsnorm
VGS	Verträgliche Gesellschaft Stolln
ZHK	Zulässige Höchstkonzentration

1 Hintergrund und Zielstellung

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

Gemäß dem Schadstoffsedimentmanagementkonzept der FGG Elbe ist der Rothschönberger Stolln eine bedeutende Belastungsquelle für die Elbe. Er stellt die größte punktuelle Belastungsquelle aus dem Altbergbauggebiet des Freiburger Raums dar. Der Stollenwasseraustrag beträgt durchschnittlich 500 l/s. Der Rothschönberger Stolln ist jedoch auch der Hauptwasserlösestollen des Gebietes und damit dauerhaft als bergbauliche Entwässerungseinrichtung zur Gewährleistung von stabilen hydraulischen und geo-technischen Verhältnissen zum Schutz der Infrastruktur zu erhalten.

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Studie „Entwicklung einer kostengünstigen Maßnahmenkombination für die Minimierung von Schwermetalleinträgen aus dem Raum Freiberg“ [59] wird im Rahmen dieser Studie weiter nach einer kostengünstigen Maßnahmenkonzeption zur Reduzierung der Schwermetalleinträge gesucht. In Ergänzung zu der bereits vorliegenden Studie sollen Maßnahmen untersucht werden, die entweder direkt in der Grube durchgeführt werden können oder die zu einer Immobilisierung der Schadstoff in der Quelle (Berge- und Spülhalden) führen.

2 Herangehensweise

Die negativen Auswirkungen der Stollnwasserzuflüsse des Freiburger Bergbaureviers zu den Oberflächenflächengewässern besteht in einem Eintrag verschiedener Schwermetalle. Die Anforderungen an die Wasserqualität (Umweltqualitätsnormen, UQN) werden in der EU-WRRRL bzw. in der OGewVO geregelt. Die UQN stellen überwiegend Konzentrationen der Komponenten dar. Wenn Stoffe in die Oberflächengewässer eingetragen werden, so wird die resultierende Stoffkonzentration im Oberflächenwasser durch die eingetragene Menge an Komponenten pro Zeiteinheit bestimmt, also durch die eingetragene Stofffracht. Daher ist der maßgebende Parameter nicht die Konzentration im Stollnwasser, sondern die Fracht.

Um Eingriffsmöglichkeiten zur Verringerung der Schwermetallausträge über den Rothschnberger Stolln erarbeiten und beurteilen zu können, müssen möglichst detaillierte Informationsvorliegen über

- Fließwege des Wassers in der Grube und in den Stolln
- Herkunft der Schwermetalle in den Grubenwässern
- Zugänglichkeit der Grubenbaue unter den heutigen Verhältnissen.

Bezüglich des Rothschnberger Stollns muss die Grube als Gesamtsystem betrachtet werden. Es müssen also neben dem Teilbereich Grube Freiberg auch die Teilbereiche Grube Brand-Erbisdorf und Grube Halsbrücke mit einbezogen werden. Darüber hinaus sind auch die beiden Vorfluter der Grubenwässer, Freiburger Mulde und Triebisch zu berücksichtigen.

Die Studie gliedert sich in drei Abschnitte:

- Im ersten Abschnitt wird eine *formale Betrachtung* grundsätzlicher Eingriffsmöglichkeiten vorgenommen.
- Im zweiten Teil der Studie werden die Ergebnisse der *Recherche und Untersuchung der hydrologischen Verhältnisse* in der Grube als Voraussetzung für die Ableitung von möglichen Eingriffen zusammengestellt.
- Im dritten Abschnitt erfolgen Beschreibung und Auswertung der durchgeführten technischen Untersuchungen sowie die *Ableitung realistischer Szenarien*.

Der erste Teil dieser Studie beschäftigt sich daher mit der Recherche und Zusammenstellung dieser Informationen. Das Grubengebäude wird einerseits hinsichtlich der Wasser-Fließwege und andererseits der Quellen und Ausbreitungspfade der Schwermetalle beschrieben. Bei letzteren erfolgt eine Konzentration auf das Cadmium, da dieses einerseits einen prioritären gefährlichen Stoff und andererseits das geochemisch mobilste Element darstellt. Es hat somit eine „Indikatorfunktion“ für die Schwermetallausbreitung.

Im zweiten Teil der Studie werden dann auf Basis der Rechercheergebnisse Eingriffsmöglichkeiten in das Grubenwasserregime abgeleitet und bewertet.

3 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), die ständig fortgeschrieben wird (WRRL 2006, WRRL 2008). Für Sachsen gilt nach Ablösung der SächsWRRLVO (2004) die „Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer“ vom 01.08.2010. Für Schwebstoffe bzw. schwebstoffbürtige Sedimente wurden für die Elemente As, Cr, Cu und Zn verbindliche Umweltqualitätsnormen (UQN) festgelegt. Weitere Normen sind für die Elemente Ag, Se, Tl, Ni und Pb sowie Cd und Hg enthalten

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 einer WRRL-Tochterraichtlinie Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik festgelegt. In Anhang X 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) erlassen: Diese wurde zwischenzeitlich durch die Oberflächengewässerverordnung abgelöst. Zusammen mit der Grundwasserverordnung legt sie die für Bewertungen erhobener Daten relevanten Umweltqualitätsnormen (UQN) fest. Die Einhaltung dieser Norm ist an Messstellen nachzuweisen, die die Belastungen der Oberflächenwasserkörper repräsentativ abbilden.

Änderungen im Entwurf der geänderten Oberflächengewässerverordnung

Am 12.08.2013 wurde die „RICHTLINIE 2013/39/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 12. August 2013 zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik“ verkündet. Diese Richtlinie wird im Entwurf der geänderten Oberflächengewässerverordnung, die voraussichtlich am 22.12.2015 in Kraft tritt, umgesetzt.

Diese beinhaltet u.a.

- eine völlige Neuregelung der UQN für Arsen, durch Umstellung von Schweb/Sedimentgehalten auf gelöste Konzentration
- eine Absenkung der UQN für die Metalle Nickel und Blei
- Neufestlegung von UQN-ZHK für Blei, Nickel und Quecksilber

Diese Normen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: UQN der OGewV (Auszug) unter Berücksichtigung der Neuregelungen

Parameter	Wert	Einheit	Kompartiment	Bezug	Bemerkungen
UQN für flussgebietsspezifische Schadstoffe zur Beurteilung des ökologischen Zustands und des ökologischen Potenzials					
Arsen	40 1 ¹	mg/kg µg/l	Schweb/Sediment gelöst	JD 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 (UQN-JD)	7,2 1,2 ²	µg/l	gelöst	JD	
Blei (UQN-ZHK)	14 ³	µg/l	gelöst	ZHK	
Quecksilber	0,05 ⁴	µg/l	gelöst	JD	
Quecksilber	0,07	µg/l	gelöst	ZHK	
Nickel	20 4 ²	µg/l	gelöst	JD	
Nickel	34 ³	µg/l	gelöst	ZHK	

¹ UQN von Schweb/Sediment auf gelösten Anteil umgestellt

² geänderter UQN-Wert

³ neu hinzugefügte UQN-ZHK

⁴ UQN-JD gestrichen, nur noch UQN-ZHK gültig

Tabelle 2 zeigt die Änderungen nochmals für die prioritären Stoffe.

Tabelle 2: Änderung von UQN prioritärer Stoffe (Entwurf der OGewV Stand 29.04.2015)

	UQN alt	UQN neu
Blei	7,2	1,2
Nickel	20	4

Darüber hinaus wurde bei Quecksilber die UQN-JD von 0,05 µg/l gestrichen, so dass künftig eine UQN-ZHK von 0,07 µg/l gilt.

Grubenwässer stehen gewöhnlich in Wechselwirkung mit dem Grundwasser. Daher können erhöhte Stoffkonzentrationen in GWK Auswirkungen auf das Oberflächenwasser haben. Die relevanten Schwellenwerte für das Grundwasser entsprechend GrWV sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Schwellenwerte der GrwV (Auszug der im Projekt untersuchten Parameter)

Parameter	Wert	Einheit	Bezug
Arsen	10	µg/l	MW
Cadmium	0,5	µg/l	MW
Blei	10	µg/l	MW
Quecksilber	0,2	µg/l	MW

Ein Schwellenwert gilt an einer Messstelle als eingehalten, wenn das arithmetische Mittel der im Zeitraum von einem Jahr gemessenen Konzentrationen an dieser Messstelle kleiner oder gleich dem Schwellenwert ist.

Durch das LfULG wurden in Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme für Wasserkörper, die Qualitätsprobleme aufweisen, erarbeitet. Diese wurden am 22.12.2009 veröffentlicht. Deren Umsetzung soll bis Dezember 2015 zu einem guten ökologischen und chemischen Zustand dieser Wasserkörper führen.

4 Formale Betrachtung und Bewertung von Eingriffsmöglichkeiten

In einer Studie zum Schlüsselstolln in Sachsen-Anhalt [53] wurden die Eingriffsmöglichkeiten zur Reduzierung von Schadstoffausträgen recherchiert, aufgelistet und bewertet. Da dieser Stolln für das Mansfelder Bergbaurevier eine ähnliche Funktion hat wie der Rothschnöberger Stolln für das Freiburger Revier, wird in diesem Abschnitt eine analoge Zusammenstellung formal möglicher Eingriffe gegeben und eine kurze Bewertung vorgenommen.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Eingriffsmöglichkeiten zur Schadstofffrachtenreduzierung im Rothschnöberger Stolln in Anlehnung an die in [53] verwendete Methodik. Dabei wird neben den Möglichkeiten des Eingriffs an der Quelle, im Ausbreitungspfad bzw. oder am Schutzgut selbst ebenfalls betrachtet, inwieweit eine gesellschaftliche Duldung durch Änderung von gesetzlichen Regularien angezeigt ist. Dabei muss die Erkenntnis aus früheren Untersuchungen eingebunden werden, dass je 50 % der Cadmiumfrachten aus dem Brander und dem Freiburger Teilrevier resultieren.

Tabelle 4: Überblick über die Eingriffsmöglichkeiten (in Anlehnung an [53])

Eingriffsmöglichkeiten (Szenarien)					Administrative Entscheidung
1 Eingriffe an der Quelle		2 Eingriff am Ausbreitungspfad		3 Eingriff am Schutzgut (Stollnwasser oder Vorfluter)	4 Duldung
1.1 Beseitigung der Quelle	1.2 Einschluss der Quelle	2.1 Immobilisierung	2.2 Schadstofftransport	3 Wasserbehandlung	4 Anpassung der Qualitätsziele
1.1.1 Untertagebereich	1.2.1 physische Barrieren	2.1.1 hydraulische Immobilisierung a) Versatz der Abbaue b) Verfüllung der Fließwege c) Verschluss der Stollen	2.2.1 Verringerung Lösungstransport a) Ausbinden von Teilströmen	3.1 technische Wasserbehandlung a) Fällung b) Membranverfahren c) Ionenaustausch d) Wetlands	4.1 Weniger strenges Qualitätsziel Triebisch
1.1.2 Halden	1.2.2 hydrodynamische Barrieren (Aufstau) a) Freiburger Revier b) Brander Revier c) Muldenhütten	2.1.2 chemische Immobilisierung a) Reduktion des Sauerstoffzutritts b) Aufstau c) Einbringen ba-sischer Materialien d) Einbringen von Reduktionsmitteln	2.2.2 Verringerung Feststofftransport a) Sedimentation	3.2 In-situ-Verfahren	4.2 Weniger strenges Qualitätsziel Freiberger Mulde
	1.2.3 Abdeckung/- Abdichtung Halden				

Das heißt im Konkreten in der ersten Ebene, dass bei Maßnahmen, die unmittelbar auf die Quelle wirken, die Freisetzung von Schadstoffen für mehrere Standorte betrachtet werden muss. Zudem sind Stoffeinträge von Übertage in die Gruben bereits untersucht und bekannt (z. B. Halden im Gebiet Muldenhütten oder dem Davidschachtkomplex).

Ähnliches muss für die Ebene 2 konstatiert werden – die unterirdischen Ausbreitungspfade in den Teilrevieren überstreichen ein großes Einzugsgebiet bzw. betreffen zwei unterschiedliche Grubengebäude. Maßnahmen innerhalb des Ausbreitungspfades werden daher mit hoher Wahrscheinlichkeit an mehreren Standorten entwickelt werden müssen.

Wesentlich einfacher wird die Umsetzung von Maßnahmen auf das Schutzgut der Ebene 3, auch genehmigungsrechtlich, sein, die außerhalb des Stollensystems wirken, also nach Austritt aus dem Rothschnberger Stolln beim Ausströmen nach Übertage.

In der Ebene 4 werden Maßnahmen zur Duldung des bisher erreichten oder zukünftig erreichbaren Zustandes, z. B. durch abgesenkte Umweltqualitätsziele diskutiert.

Nachfolgend werden die Eingriffsmöglichkeiten kurz beschrieben und eine Bewertung vorgenommen.

4.1 Eingriffe an der Quelle

4.1.1 Beseitigung der Quelle

Wie in Kapitel 6.1 ausführlich beschrieben, ist die Nachlieferung von Schadstoffen aus den Ausgangsmineralen an die Sauerstoffverfügbarkeit in den Atmosphären und die Wasserlöslichkeit der resultierenden Salze gebunden. Dieser Prozess wird solange stattfinden, solange in einer Matrix verbliebene Sulfide oxidativen Verhältnissen ausgesetzt sind. Dafür sind mehrere Genesen zu diskutieren:

- im Grubengebäude in Form von nicht abgebauten vererzten Bereichen (nicht bauwürdige Bereiche und verbliebene Vorräte, nicht abgebaut)
- in abgebauten Bereichen (Versatz)
- in überlagernden Halden.

4.1.1.1 Untertagebereich

Für eine Beseitigung der Quelle, die mit Sicherheit beste Variante, um einen kontinuierlich andauernden Schadstoffaustrag zu verhindern, wäre eine möglichst vollständige Entfernung aller Resterze notwendig. Hypothetisch müssen nach einer Beseitigung der Quelle zwei Möglichkeiten diskutiert werden, wie man mit dem gewonnenen Erz umginge.

Eine „Deponierung“ der abgebauten Erze verbietet sich aus dem Nachhaltigkeitsansatz, weil ein hohes Restrisiko bezüglich verbleibender Erze in der Grube besteht und sich aus ökologischen Gründen ein immenser Eingriff in die Umwelt (großräumiger Eingriff in die Landschaft, in den Wasserhaushalt, Energieaufwand, Abfallentstehung, Lärm- und Staubentstehung) verbietet, ohne dass diese Ökobilanz positiv besetzt wäre.

Um die Sinnfälligkeit einer Variante „Verwertung“ einzuschätzen sind in Abbildung 1 die noch in den Gruben vorhandenen Vorräte an Resterz aufgeführt. Daraus ist ersichtlich, dass zwar die Gesamtroherzmenge hoch ist, allerdings die Wertstoffkonzentrationen offenbar zu gering für einen wirtschaftlichen Abbau. Dabei darf nicht außer Acht gelassen werden, dass alleine die Sümpfung der Gruben mit einer Hebung der Wässer bis auf die Sohle des Rothschnberger Stollns immense Unkosten verursachen würde. Auf der Verwertungsseite wird seit einigen Jahren die Indiumführung der Freiburger Zinkblende diskutiert. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen hierzu sind nicht bekannt.

Dazu kommt, dass die Erzvorräte aufgrund von Mindestparametern, sog. „Konditionen“, berechnet wurden. Das bedeutet, dass die Erze eine Mindestmächtigkeit und einen Mindest-Metallgehalt haben mussten. Erze unterhalb dieser Konditionen wurden nicht abgebaut und verblieben in der Grube. Deren Menge ist nicht abschätzbar. Eine Beseitigung aller Resterze ist daher nicht durchführbar und somit keine realistische Sanierungsoption.

Nebengestein: <ul style="list-style-type: none"> • Biotitgneis • Muskowit-Biotit-Paragneis • Granatglimmerschiefer 	Lagerstättencharakteristik: Die polymetallische Lagerstätte Brand befindet sich im SW-Teil des Freiburger-Fürstenwalder Gneisblockes. In der sudetischen und erzgebirgischen Phase kam es während der variszischen Gebirgsbildung zu intensiver Bruchtektonik, die zu hydrothermalen Erzgangbildung führte. In einer späteren Phase bildete sich eine zweite Erzabfolge im Zuge der Herausbildung eines Scherspalten-Fiederspaltensystems über mehrere Kilometer Erstreckung. Bauwürdige Mächtigkeiten sind im Wesentlichen an die Kreuzungsbereiche der Gangtrümer gebunden.	Lage und Größe: 4 x – 4592350.00 y – 5636250.00 Erstreckung der Gänge in einem Areal von 3 x 4 km. Einzelgänge bis 1000 m Länge bei 0,3 bis 0,5 m Mächtigkeit und max. 800 m Tiefe
Vorräte und Gehalte: <ul style="list-style-type: none"> • C2-Vorräte: 64,1 kt Zn, Haltigkeit des Roherzes 33,0 kg/t 64,9 kt Pb Haltigkeit des Roherzes: 33,4 kg/t • Prognostische Vorräte: 17,0 kt Zn, Haltigkeit des Roherzes: 51,8 kg/t 16,0 kt Pb, Haltigkeit des Roherzes: 48,6 kg/t • Gesamtroherzmenge: 2,2 Mio. t 	<p style="text-align: center;">----- Brand -----</p> <p style="text-align: center;">Blei-, Zink- und Silbererz- Ganglagerstätte</p> 	Mineralogische und geochemische Besonderheiten: <ul style="list-style-type: none"> • Die polymetallische Lagerstätte ist reich an seltenen Elementen wie In, Ge und Tl • Die Vererzung der Lagerstätte ist intensiv untersucht worden und in zahlreichen Veröffentlichungen wurden die Ergebnisse der wissenschaftlichen Bearbeitung dargestellt
Art und Perioden des Bergbaus: <ul style="list-style-type: none"> • 1. Periode 1387 – 1910 • 2. Periode 1960 – 1969 • Firstenstoßbau mit Versatz bis in 680 m Tiefe in der letzten Bergbauperiode 		Angaben zur Aufbereitung: <ul style="list-style-type: none"> • Es wurden in der Flotation Blei-, Zink-, Schwefelkies- und Arsenkieskonzentrate mit Korngrößen < 0,2 mm erzeugt • Mit diesem Verfahren wurde ein Ausbringen > 80 % erzielt • Kupfer und Silber wurden im Hüttenprozess als Beiprodukte gewonnen
Grad der Erkundung: <ul style="list-style-type: none"> • Untertägige Kernbohrungen und Erkundungsquerschläge • Östliche und westliche Lagerstättenränder nicht erkundet 	Hinweise zur wirtschaftlichen Nutzung: <ul style="list-style-type: none"> • Die Lagerstätte ist weitgehend abgebaut. Ob neue Gangstrukturen in den Randbereichen erkundet werden können, ist völlig offen • Anlass zur Wiederaufnahme der Erkundung könnten die bedeutenden Gehalte der seltenen Spurenelemente sein, die im Erz nachgewiesen worden sind • Die geringe Gangmächtigkeit läßt keinen Abbau mit LHD-Technik zu 	Schutzgebiete: <ul style="list-style-type: none"> • keine

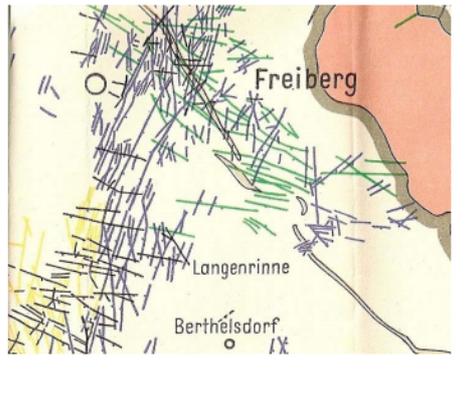
Nebengestein: <ul style="list-style-type: none"> • Biotitgneis • Lamprophyre, gangförmig • Rhyolite 	Lagerstättencharakteristik: Die polymetallische Ganglagerstätte Freiberg befindet sich im SW-Teil des Freiburger-Fürstenwalder Gneisblockes. Intensive Bruchtektonik während der variszischen Gebirgsbildung ließ ein engmaschiges hydrothermales Erzgangsystem in zwei Altersabfolgen entstehen. Es bildete sich ein ausgeprägtes Scherspalten-Fiederspaltensystem. Vor allem die N-S-streichenden Scherspalten hatten für den Bergbau wegen ihrer reichen Mineralisation und weitreichenden Erstreckung neben Ganggrenzen eine herausgehobene Bedeutung.	Lage und Größe: 6 x – 4594658,26 y – 5643821,98 Erstreckung der Gänge in einem Areal von 5x8 km. Einzelgänge bis 6 km Länge bei 0,3 - 2,0 m Mächtigkeit und > 800m Tiefe
Vorräte und Gehalte: <ul style="list-style-type: none"> • C1- und C2-Vorräte: 62,08 kt Pb, Haltigkeit des Roherzes: 31,5 kg/t 87,58 kt Zn, Haltigkeit des Roherzes: 44,5 kg/t • Prognostische Vorräte: 13,9 kt Pb, Haltigkeit des Roherzes: 22,1 kg/t 20,8 kt Zn, Haltigkeit des Roherzes: 32,8 kg/t • Nachgewiesene Roherzmenge: 2,6 Mio. t 	<p style="text-align: center;">----- Freiberg-Zentralteil -----</p> <p style="text-align: center;">Blei-, Zink- und Silbererz- Ganglagerstätte</p> 	Mineralogische und geochemische Besonderheiten: <ul style="list-style-type: none"> • Die Freiberge Lagerstätte ist die am besten wissenschaftlich bearbeitete Lagerstätte des Erzgebirges • Die polymetallische Lagerstätte ist reich an Spurenmitteln (In, Ge, Tl, Sb und Randbereiche Au) • Es treten neben den Haupterzmineralien auch bedeutende Erzmengen an Kupfer und Arsen auf
Art und Perioden des Bergbaus: <ul style="list-style-type: none"> • 1168-1913 1. Periode Silberbergbau • 1939-1969 2. Periode Polymetallbergbau • Strossen- und Firstenbau; ab der zweiten Periode Firstenstoßbau mit Versatz bis 736 m Tiefe • Seltener Strossenbau 		Angaben zur Aufbereitung: <ul style="list-style-type: none"> • Es wurden in der Freiburger Flotation Blei-, Zink-, Schwefelkies- und Arsenkieskonzentrate mit Korngrößen < 0,2 mm erzeugt • Das Ausbringen der Aufbereitung lag bei > 80% • Kupfer und Silber wurden im Hüttenprozess gewonnen • Im Mittelalter wurden in den Schmelzhütten auch geringe Goldmengen gesaigert
Grad der Erkundung: <ul style="list-style-type: none"> • Untertägige Kernbohrungen und bergmännische Erkundungsquerschläge • Östliche und westliche Lagerstättenränder nur schwach erkundet 	Hinweise zur wirtschaftlichen Nutzung: <ul style="list-style-type: none"> • Die Lagerstätte ist weitgehend abgebaut worden. Unbekannte Reserven könnten in den weniger erkundeten Randbereichen liegen • Die hohen Gehalte an Spurenelementen könnten diese Randbereiche der Lagerstätte nochmals interessant werden lassen • Die geringe Gangmächtigkeit läßt keinen Abbau mit LHD-Technik zu 	Schutzgebiete: <ul style="list-style-type: none"> • keine • Lehr- und Besucherbergwerk der TU Bergakademie Freiberg

Abbildung 1: Charakterisierung der Lagerstätten der Teilreviere Brand und Freiberg (aus [52])

4.1.1.2 Halden, Tailings

Im großräumigen Bergbaurevier existiert eine Vielzahl von Bergehalden, Schlacken und Tailings, die zum großen Teil nach ihrer ursprünglichen Anlage nie verändert wurden. Dies hat die unterschiedlichsten Gründe. Zu nennen seien die bergbauliche Landschaftsprägung, der Lebensraum von besonderer Flora und Fauna, aber auch denkmalschützerische Aspekte (Montanregion Erzgebirge – Unescoantrag). Bereits aus diesen wenigen Gründen verbietet sich eine vollständige Beseitigung der Quelle.

4.1.2 Einschluss der Quellen

Es können mehrere Möglichkeiten des Einschlusses der Quelle diskutiert werden. Als physische Barrieren im Untertagebereich werden Möglichkeiten verstanden, geologische Gegebenheiten so zu nutzen, dass eine Quelle abgesperrt wird. Mit hydrodynamischen Barrieren können Fließgefälle oder Fließrichtung von Wässern verändert und damit Stoffausträge verhindert werden. Halden und Tailings sind obertägige Quellen, wobei Stoffaustrag hier nur durch Abdeckung / Abdichtung verringert werden kann.

4.1.2.1 Hydrodynamische Barrieren (Aufstau)

a) Gesamtrevier

Grundsätzlich wäre ein langzeitsicherer Verschluss des Rothschnberger Stollns unterhalb von Halsbrücke möglich. Dadurch würde sich das Wasser in den Teilrevieren Halsbrücke, Freiberg, Brand und Muldenhütten bis zum Niveau der Talsohle der Freiburger Mulde in Halsbrücke aufstauen. Dies wäre der Zustand vor dem Bau des Rothschnberger Stollns, d.h. vor 1844. Der Wasseraustritt würde wahrscheinlich über den Treue Sachsen Stolln und den Hilfe Gottes Stolln bei Obergruna oder den Anna Stolln bei Rothenfurth erfolgen. Voraussetzung wäre daher, diese Stolln entsprechend zu ertüchtigen, wobei der Schwerpunkt auf der Hochwassersicherheit liegen müsste. Ein Aufstau über die Talsohle muss in jedem Falle vermieden werden, da dieser zu geotechnischen Problemen und unkontrollierten Wasseraustritten führen würde.

Der Effekt dieser Massnahme wäre der Aufstau der Grubenwässer auf ca. 120 m und eine entsprechende Verringerung des durchlüfteten Grubenbereichs und damit eine Reduzierung der in die Grubenwässer übergehenden Schadstofffracht auf ca. 50 %.

Einer solchen Maßnahme stehen folgende Interessen entgegen:

- Betrieb der Lehrgrube Reiche Zeche, alle Bereiche unterhalb der Stollnsohle (Hauptstollnumbruch) würden geflutet
- geplanter zukünftiger Betrieb des Kavernenkraftwerks Dreibrüderschacht.

b) Teilreviere

Ein separater Aufstau in den Teilrevieren Halsbrücke und Freiberg ist nicht möglich. Wegen der umfangreichen und nur teilweise bekannten alten Grubenbaue über dem Rothschnberger Stolln wäre keine Kontrolle der Fließverhältnisse möglich. Lediglich im Teilrevier Brand wäre ein solcher separater Aufstau möglich. Dies wurde bereits in [31] im Zusammenhang mit einem möglichen künftigen Betrieb des Kavernenkraftwerks Dreibrüder Schacht diskutiert.

Technisch wäre die Flutung des Brander Reviers relativ einfach durch Schließen des Verspündens im König Johann Spat möglich.

4.1.2.2 Abdeckung/Abdichtung Halden, Tailings

Die altbergbaulichen Rückstände wie Bergehalden, Schlacken und Tailings sind im überwiegenden Maße auch bis heute nicht verwahrt bzw. mit einer Abdeckung versehen. Eine Abschätzung der Minimierung der Stoffausträge durch eine möglichst flächendeckende Abdeckung aller Standorte (Verhinderung des Sauerstoff- und Wasserzutritts) ist nicht bekannt. Sie wäre wegen der aufgeführten Schutzgründe nur von mutmaßlicher Bedeutung (siehe 4.1.1.2).

4.2 Eingriffe am Ausbreitungspfad

Unter diesem Abschnitt werden Möglichkeiten abgeschätzt, inwieweit durch eine hydraulische Immobilisierung die Durchströmung der Quelle verringert werden kann.

4.2.1.1 Übertägige Ausbreitungspfade von Kontaminaten

Wie bereits weiter oben beschrieben, muss ein Teil der Schadstofffrachten, die nach untertage gelangen, Bergehalden, Schlacken und Tailings, aber auch alten Produktionsstandorten zugeordnet werden. So beherbergen Halden ein breites stoffliches und häufig enormes mengenmäßiges Inventar an Umweltschadstoffen. Das als „taub“ bewertete Gestein wurde seit Jahrhunderten nahe den die Gruben erschließenden Schächte und Stollen und somit häufig entlang der Ufer aufgeschüttet. Mit fortschreitender Gewinnungstätigkeit kamen Halden der Aufbereitungs- und Verhüttungsrückstände und schließlich auch Abfälle der modernen metallurgischen Produktion hinzu.

Je nach dem Grad ihrer Sanierung geben die in Betrachtung kommenden Standorte hauptsächlich über den Wasserpfad Schadstoffe in die Umwelt ab, da sie in der Regel keine Basisabdichtung besitzen. Sanierungsmaßnahmen in diesem Sinne wurden beispielhaft im Ökologischen Großprojekt „Altlasten Saxonia“ in den Jahren von 1993-2013 im Freiburger Raum durchgeführt [54]. Neben Schadstoffsorgungen zur Verminderung von Stoffausträgen als abgespülte oder verwehte Partikel (darunter von Flugstäuben unterschiedlicher Herkunft) in das Schutzgut Oberflächenwasser wurden vielfältige Maßnahmen zur Verringerung von Austrägen über den Wasserpfad in Oberflächen- und Grundwasser durchgeführt. Die Bodenbelastung am Standort Hütte Freiberg wurde z. B. 1993 mit Konzentrationen mit bis zu 18,7 g/kg As, 65 g/kg Pb und 24,4 g/kg Cd ermittelt.

Abbildung 2 zeigt beispielhaft für das abgeschlossene Großprojekt, dass durch eine Sanierung des Standortes „Hütte Freiberg“ bereits eine Stoffaustragsminimierung durch Abdeckung stattgefunden hat. Weitere Hüttenstandorte bzw. Abdeckungen von Halden waren Gegenstand der Sanierungstätigkeit (z. B. Davidschacht mit Grobbergehalde).

Für den gesamten Freiburger Betrachtungsraum der erfolgreichen Sanierung liegt aber nach eigenen Recherchen keinerlei Gesamtstoffminderungsbilanz vor (Teilerfolge wurden durch Monitoring nachgewiesen, z. B. am Stangenbergbach [55]). Daher wäre es angeraten, in einem Forschungsprojekt genau dieser Frage nachzugehen, welchen Beitrag bereits erfolgte Sanierungen zur Verringerung der Austräge an diesem Ausbreitungspfad in den letzten 25 Jahren hatten. Solange dies nicht erfolgt ist, kann eine Prognose inwieweit weitere Abdeckungen etc. sinnvoll sind, nicht erfolgen.



Abbildung 2: Altlastensituation am Standort Hütte Freiberg 1989 –im Vergleich zu 2007 (aus [http://www.fire-ev.de/Dokumente/Altlastenprojekt%20SAXONIA%202014-02-26_Vortrag%20FIRE_1.pdf])

4.2.1.2 Untertägige Ausbreitungspfade von Kontaminaten

Untertägige Ausbreitungspfade können durch Versatz in ehemaligen Abbaubereichen oder durch chemische Immobilisierung des Grubenwassers beeinflusst werden.

Während des aktiven Bergbaus erfolgte in den Gruben des Freiburger, Halsbrücker bzw. Brander Reviers Versatzarbeiten zumeist aus Standsicherheitsgründen oder um überschüssiges Gestein nicht nach über Tage transportieren zu müssen (Firstenstoßbau mit Bruchversatz). Versatzarbeiten aus Gründen Ausbreitungspfade einzudämmen fanden nicht statt [56]. Der Versatz hat einen hohen aktiven Porenanteil (Gneise in Steinkorngröße) und ist daher hydraulisch durchlässig. Eine nachträgliche Abdichtung des Porenanteils z. B. durch Injektion von hydraulisch abbindenden oder anderen Abdichtungsmaterialien ist großflächig, aber auch in lokal eingegrenzten Bereichen, nicht denkbar.

4.3 Eingriff am Schutzgut (Stollnwasser oder Vorfluter)

Eingriffe am Schutzgut können einerseits in Form von Wasserbehandlungsanlagen an geeigneten Stellen, andererseits durch In Situ-Maßnahmen erfolgen. Diese Möglichkeiten bilden einen Schwerpunkt dieser Studie und werden ab Abschnitt 10 näher betrachtet.

4.4 Duldung

Der Eintrag der Schwermetalle in die Stollnwässer und die Vorfluter läßt sich zwar durch technische Maßnahmen verringern, aber nicht verhindern. Die Verringerung erfordert hohe finanzielle Aufwendungen.

Mit Erlass des Sächsischen Ministeriums für Umwelt und Landwirtschaft vom 11. August 2010 wurde klargestellt, dass aus Wasserlösestolln austretendes Wasser aus dem Erz-Altbergbau zutage tretendes Grundwasser und kein Abwasser ist (Ausnahme: Kühlwassereinträge bis zum Roten Graben). Zudem wurde festgestellt, dass gemäß Anhang V Nr. 1.2 WRRL Schadstoffkonzentration nicht so weit zu verringern sind, dass sie unter den Hintergrundwerten liegen. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass geogen bedingte Belastungen nicht saniert und damit geduldet werden müssen. Daher wurde eine Ableitung von Hintergrundwerten für die Freiburger Mulde für Oberflächengewässer herbeigeführt [57].

In Rahmen dieser Untersuchungen wurden im Referenzgebiet „Oberlauf der Freiburger Mulde und Einzugsgebiet der Bobritzsch“ 38 Messpunkte (ca. 1 Probe / 10 km²) insbesondere auf die umweltgeochemisch bzw. ökotoxikologisch besonders bedeutsamen Elemente As, Cd, Cu, Pb, Zn unter anderem auch in Wasserproben bestimmt.

Folgende Ergebnisse wurden erlangt:

Tabelle 5: Mittlere Elementgehalte (P50 und P90) in aktuell beprobten Wässern des Untersuchungsgebietes Obere Freiburger Mulde [57]

Element	Konzentration filtriert	Konzentration filtriert	Konzentration gesamt	Konzentration gesamt
	(µg/l) P50	(µg/l) P90	(µg/l) P50	(µg/l) P90
As	1,7	3,9	2,5	6,0
Cd	0,23	0,85	0,23	0,85
Cu	1,5	2,9	2,3	4,6
Pb	<0,5	0,72	0,68	2,4
Zn	8,8	32	17	46

Für das Leitelement Cadmium muss festgestellt werden, dass bereits die geogenen Hintergrundwerte des Oberflächengewässer weit über den UQN (sowohl JD als auch ZHK, Tabelle 1) liegen. Wie oben erwähnt, müssten dann die ermittelten Hintergrundwerte in der Freiburger Mulde aus Sicht der WRRL „geduldet“ werden.

Die hier in Betracht zu ziehenden Bergbauwässer (laut SMUL Grundwasser) liegen allerdings in ihren Konzentrationen zwei Größenordnungen höher, wie aus der Tabelle 11 ersichtlich ist und würden die für Oberflächengewässer ermittelten Hintergrundbelastungen derart überschreiten, dass es zweifelhaft wäre, diese zum Vergleich heranzuziehen.

Bewertete und regionalisierte Parameter für Grundwasser wurden für den Freistaat Sachsen im Rahmen der Fortschreibung der Bewirtschaftungspläne veröffentlicht. Beispielhaft zeigt Abbildung 3, dass behördlicherseits für den Bewirtschaftungszeitraum 2016 – 2021 die Problematik der bergbauinduzierten Probleme in Grundwasserkörpern erkannt wurde.

Für Cadmium [58] wurde aufgrund der geogenen erhöhten Konzentrationen der Schwellenmaximumwert auf 1 µg/l festgeschrieben, also immer noch viel geringer als die im Untersuchungsgebiet gemessenen Konzentrationen. Daher sollten weitere Detailuntersuchungen für das untersuchte mineralisationsintensive Bergbauggebiet in Sondermessnetzen erfolgen. Das Ziel muss es sein, eine für alle Seiten akzeptable Formulierung für die Beschreibung der vorhandenen Grundwasserbelastung zu finden, welche sowohl die hohen natürlichen (geogen bedingten) Hintergrundgehalte berücksichtigt, als auch den Einfluss des Jahrhunderts währenden Bergbaus. Nur wenn dies gegeben ist, können weitere Ableitungen zu weniger strengen Qualitätszielen bzw. Duldungen formuliert werden. Eine aktuelle Bewertung der Duldung von solchen extremen Grundwasserkonzentrationen ist daher für den Gutachter nicht möglich, da auch in einem gewissen Umfang technische Möglichkeiten (WBA, in-situ) bestehen, Maßnahmen zur Erreichung von UQN durchzuführen.

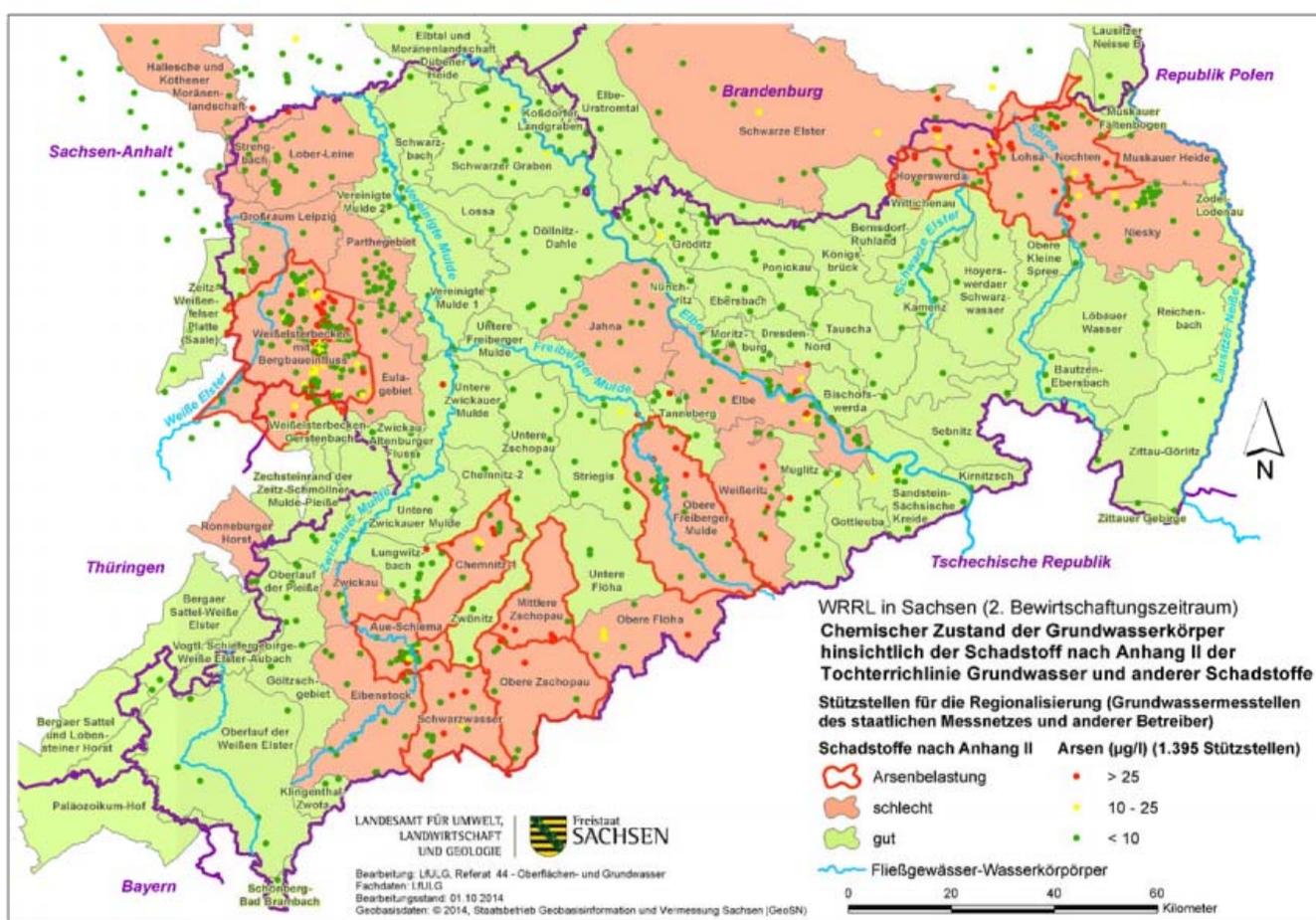


Abbildung 3: Chemischer Zustand der Grundwasserkörper hinsichtlich der Schadstoffe nach Anhang II der Tochterrichtlinie Grundwasser und anderer Schadstoffe – Arsen (aus [58])

5 Rechercheergebnisse zu den hydraulischen Verhältnissen

Das Grubenwasser aus dem hydraulisch verbundenen Freiburger Revier zwischen Langenau und Halsbrücke / Rothenfurt sowie den sich das Tal der Freiburger Mulde hinab bis Gersdorf bei Nossen hinziehenden Teilrevieren fließt über die Flussläufe der Striegis, der Freiburger Mulde und der Triebisch in die Elbe. Den weitaus größten Teil der Grubenwässer führt der Rothschönberger Stolln in die Triebisch ab. Zu den drei großen Teilrevieren der ehemaligen Gruben im Freiburger Revier (Brand, Freiberg, Halsbrücke) sind während der Betriebszeit des Bergbaus umfangreiche Untersuchungen zu den Wasserströmen durchgeführt worden. Diese hatten zum Ziel, die untertägigen Fließverhältnisse sowie den möglichen Einfluss von Oberflächenwässern aufzuklären, um Maßnahmen treffen zu können, die Wässer in möglichst hohen Niveaus abzufangen, vom Verstürzen in tiefere Grubenbereiche abzuhalten und dadurch Enrgiekosten für die Wasserhaltung zu sparen. Unterlagen dazu sind im Bergarchiv Freiberg vorhanden und wurden ausgewertet. Die wichtigsten Ergebnisse werden zusammen mit sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen nachfolgend dargestellt.

5.1 Grube Brand

Aus der Grube Brand führen gegenwärtig der Thelersberger Stolln und der Neue Segen Gottes Stolln Grubenwasser zum Mundloch im Striegistal ab. Die oberen Stolln bewirken angeblich nur noch eine Entwässerung auf den unteren Stollntrakten beim Thelersberger Stolln auf 2,3 km und beim Neuen Segen Gottes Stolln auf 1,3 km Länge [46] S.47f.

Der Zustand der Stollnstrecken ist bei sachkundigen Personen bekannt. Eine detaillierte Zusammenstellung der Beobachtungen zu einzelnen Grubenwasserzuflüssen liegt jedoch nicht vor. Die Frachten an den Zuflüssen sind nicht untersucht worden. Die Chronik der Grube Freiberg [22] behandelt auch die Grube Brand mit, jedoch ohne verwertbare Aussagen zu den oberen Stolln.

Das Grubenwasser vom Moritz Stolln und vom Kurfürst Johann Georg Stolln, die in der Grube Brand weit ausgreifend verflügelt sind, verfällt bereits unkontrollierbar in den Stauraum des Kavernenkraftwerkes Drei Brüder Schacht hinunter bis zum Rothschönberger Stolln. Hier fällt das meiste Grubenwasser aus oberen Stolln mit sehr wahrscheinlich den größten Frachten an. Beide Stolln speisen somit nicht mehr den Tiefen und Neuen Tiefen Fürstenstolln, der in der Grube Freiberg befahrbar ist. Ein Zugriff auf diese Grubenwässer auf deren Stollnsohle ist technisch nicht mehr möglich.

5.2 Grube Freiberg und Varianten zur Fassung belasteter Wasserströme

5.2.1 Einzelbeschreibung des Zustands der Grubenwässer der oberen Stolln

Der Grubenwasserwegsamkeiten der Grube Freiberg wurden in den Jahren 1952 und 1953 auf allen Sohlen erkundet und danach wurde u.a. die Wasserhaltung auf den oberen Stolln an bestimmten Stellen reguliert. Die dabei angefertigten Protokolle sind, was die Erkundung von Zuflüssen, Abflüssen und Standwasser betrifft, in die Betriebschronik der Grube Freiberg übernommen worden und heute eine der vorhandenen Beschreibungen mit hoher Aussagedichte zum Grubenwasser in der Grube Freiberg.

Das damalige Ziel des Grubenbetriebes kommt heutigen Überlegungen zur gesicherten Grubenwasserableitung und auch Überlegungen zur Grubenwasserbehandlung entgegen, wenn geschrieben wurde:

„Im Ergebnis dieser Aktion entstand eine Ausarbeitung, die einen eindeutigen Überblick der Wasserverhältnisse gab und Grundlage für die Arbeiten der Wasserhaltung war. Unter Ausnutzung des alten oberen Stollnhorizontes (Thurmhofer Hilfsstolln, Verträglicher Gesellschaftsstolln, Fürstenstolln mit Hauptstollnumbruch) im Muldenniveau und des Rothschönberger Stollns bei etwa 220 m Teufe bestand das Ziel, oberhalb dieser Horizonte anfallende Wässer hier abzuleiten, um den Zufluß für die tieferen Grubenbaue so gering wie möglich zu halten. Im Zusammenhang mit der Gründung eines Aktivs zur Senkung der Grubenwasserfeuchtigkeit am 10.3.1953 wurden erste Arbeiten durchgeführt.“ [22] S. 448

Der Text der Ausarbeitung mit den Blattnummern wird für die oberen Stolln wiedergeben, mit dem aktuellen Zustand soweit möglich ergänzt und erste Schlussfolgerungen für die Fragen dieser Studie gezogen. Die „durchzuführenden Maßnahmen“ aus der Ausarbeitung von 1953 werden hier jeweils mit aufgeführt, da heute meist Reparaturen oder Erneuerungen notwendig wären (z.B. verrottete Holzbauwerke, wie Gerinne oder Traufdächer).

In den Wasserrissen (Anlage 3) sind die Blattnummern im Riß eingetragen, wobei die rote Farbe Punkte in der Grube Freiberg markiert, an denen Stollnwasser der oberen Stolln auf tiefere Sohlen verfällt. Ergänzt wird diese Darstellung durch einen Auszug aus dem Wasserstammbaum um 1960 (Anlage 5).

Blatt 1: Kirschbaum Stehender auf dem Verträgliche Gesellschaft Stolln

Strecken:

Kirschbaum Stehender auf dem Verträgliche Gesellschaft Stolln

Beschreibung:	<i>Diese Strecke ist als Haupttrakt zum Mundloch des Verträgliche Gesellschaft Stolln anzusehen. Bis etwa 800 m vom Mundloch südlich ist die Sohle zementiert und dementsprechend die Befahrbarkeit gut. Von hier an bis Kirschbaum Schacht ist 80cm hoher Schlamm und Wasser, das hier vorhandene Tragwerk ist in schlechtem Zustand. Sämtliche Seitenstrecken sind mit Lehm- und Betonverspünden abgesperrt, zum Schutze des Grubengebäudes gegen Hochwasser in der Mulde. Die Strecken Neuglück Spat und Eduard Flacher nach SO sind nicht verspündet. Durch das Verspünden im Eduard Flachen nach SO besteht ein Mannloch breiter Durchstieg.</i>
Wasserführung:	<i>Am Mundloch 25 l/s. Vom Christian Spat ab Standwasser und Schlamm 0,8 m tief bei 1,0 - 1,5 m Streckenbreite. Vermutliche Erstreckung bis zum Gesprenge mit dem Turmhofer Hilfsstolln auf dem Kirschbaum Stehenden.</i>
Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	<i>Durch Verspünden am Glückaufspat 4 cm² breite Öffnung. Durch Neuglück Spat durch das Gewölbe, über dem zum Teil alter Abbau und Überhauen gefahren sind. Diese Zuflüsse etwa 6 l/s können nur Tageswässer sein. Durch Verspünden am Eduard Flachen SO etwa 0,5 l/s und Eduard Flachen NW ebenfalls 0,5 l/s, 15 l/s vermutlich vom Kirschbaum und St. Peter Schacht, ebenfalls Tageswässer.</i>
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	<i>Mundloch Verträgliche Gesellschaft Stolln in Roten Graben nach Halsbrücker Hütte.</i>
Gefahren für das Grubengebäude:	<i>Während der Tauperiode Anwachsen der Zuflüsse aus der Firste, sowie Neuglück Spat als Zubringertrakt. Höhenunterschied zur Mulde 3-4 m. Akute Gefahr besteht nicht.</i>
Durchzuführende Maßnahmen:	<i>Aufräumen des hereingebrochenen Gewölbes, etwa 30 m vom Mundloch aufwärts (zum Teil erledigt).</i>
Situation 2015:	<ul style="list-style-type: none"> – Zuläufe wie oben angegeben – Lt. Riss von 1953 gibt es zusätzlich einen Zufluss vom Christian Spat mit 2 l/s – Lt. Riss von 1953 gibt es zusätzlich einen Zufluss aus alten Abbauen bergseitig vom Christian Spat mit 1 l/s – In den Stolln gelangen über den Junge Löwe Schacht auf dem Löwenwärter Spat größere Mengen Tagewässer (Kühlwasser der Siltronic, Filterrückspülwasser vom Wasserwerk, Überlaufwasser Kunstgraben)

Schlussfolgerungen:

- Es verfällt kein Grubenwasser auf tiefere Sohlen
- Im Verträglichen Gesellschaft Stolln fließen drei Arten von Grubenwasser ab:
- Eingeleitetes Oberflächenwasser, das am Junge Löwe Schacht verfällt wird
- Kluff-/Versatzwasser, das im abgebauten Gangbereich des Haupttraktes versickert

- Seitliche Stollnwasserzuflüsse aus Kluft-/Versatzwasser
- Will man belastetes Wasser sammeln und reinigen, dann muss und kann das eingeleitete Oberflächenwasser separat abgeleitet werden.
- Technische Lösung für das Oberflächenwasser vom Junge Löwe Schacht: Rohrleitung zwischen und Mundloch des Verträgliche Gesellschaft Stolln
- Auf dem Haupttrakt verfällt kein Grubenwasser auf tiefere Sohlen. Ein langes Stück ist mit einer betonierten Stollnsohle gesichert.
- Seitlicher Zufluss Glückauf Spat – siehe Blatt 3
- Seitlicher Zufluss Neuglück Spat – siehe Blatt 5
- Seitlicher Zufluss Eduard Flacher/Carl Spat - siehe Blatt 6
- Seitlicher Zufluss Erzengel Stehender – siehe Blatt 7, ein Teil verfällt auf tiefere Sohlen
- Seitlicher Zufluss Daniel Spat – siehe Blatt 8
- Seitlicher Zufluss Abraham Stehender – siehe Blatt 9, verfällt wieder auf tiefere Sohlen
- Seitlicher Zufluss Julius Stehender – siehe Blatt 10, verfällt wieder auf tiefere Sohlen

Blatt 2: Johann Morgengang auf dem Verträgliche Gesellschaft Stolln

Strecken:

Bedingt befahrbar, unbrauchbare Fluter auf der ganzen Strecke.

Beschreibung:

Das Wasser vom Schlammteich bricht mit etwa 2,8 l/s aus der Firste hervor, um etwa 30 m vor dem Kreuz mit dem Glückauf Spat auf die 1. Sohle zu verfallen. Dieser Zufluß ist schon zu 4-5 l/s angewachsen. In einer Senke hat sich etwa 25 m³ Standwasser angesammelt.

Wasserführung:

Vermutete oder erkundete Zuflüsse:

Siehe oben

Vermutete oder erkundete Abflüsse:

Siehe oben

Gefahren für das Grubengebäude:

Durch die mechanische Arbeit des Wassers besteht die Möglichkeit, daß die Firste hereinbricht und das Schlammteichwasser bis auf die tieferen Sohlen gelangt.

Durchzuführende Maßnahmen:

Verlegen von 170 m Flutern bis zum Glückauf Spat und Abführung der Wässer in diesen (Siehe auch Blatt 3). Instandsetzung des Tragwerkes.

Situation 2015:

- Die Zuläufe aus dem Schlammteich sind noch vorhanden, aber seit dessen Stilllegung mit deutlich geringerem Volumenstrom
- Das Grubenwasser ist stark mineralisiert
- Die Fluter wurden nach 1953 erneuert, sind jedoch wieder unbrauchbar geworden.
- Das Grubenwasser verfällt zur 1. Sohle und von dort weiter bis zum Flutungswasserspiegel des Rothschnberger Stollns

Schlussfolgerungen.

- Es verfällt Grubenwasser auf tiefere Sohlen
- Wenn man die Fluter erneuert, fließt das in geringen Mengen anfallende stark mineralisierte Wasser wieder in den Glückauf Spat, nimmt dort die wenigen Grubenwässer auf und leitet alles zum Haupttrakt des Verträgliche Gesellschaft Stolln. Dieses Grubenwasser kann am Mundloch mit den anderen Grubenwässern behandelt werden.

- Alternativ kann man das Grubenwasser verringern, indem man den Schlammteich einschließlich der Schnittstellen zum Oberflächenwasser aus dem Gelände abdeckt und die endgültige Oberflächenentwässerung des gesamten Geländes einschließlich Haldenfuß baut und danach instand hält.

Blatt 3: Glückauf Spat auf dem Verträgliche Gesellschaft Stolln

Strecken:	Glückauf Spat auf dem Verträgliche Gesellschaft Stolln
Beschreibung:	Gegen den Kirschbaum Stehenden ein Betonverspünden. Strecke, auch Seitenstrecken befahrbar. Benjamin Schacht im Karl Stehenden verfüllt.
Wasserführung:	Standwasser (180 m ³) 50 m vom Johann Morgengang bis zum Verspünden
Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	Keine
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	Durch zwei kleine 4 cm ² große Öffnungen auf den Haupttrakt des Verträgliche Gesellschaft Stolln
Gefahren für das Grubengebäude:	keine
Durchzuführende Maßnahmen:	Einbau eines Rohres mit Schieber am Verspünden und Ableitung der Wässer vom Schlammteich über Johann Morgengang nach dem Haupttrakt des Verträgliche Gesellschaft Stolln. Verlegen von 100 m Flutern
Situation 2015:	– wie oben dargestellt

Schlußfolgerungen:

- Es verfällt hier kein Grubenwasser auf tiefere Sohlen
- Wenn man die Fluter erneuert, fließt das in geringen Mengen anfallende stark mineralisierte Wasser wieder in den Glückauf Spat, nimmt dort die wenigen Grubenwässer auf und leitet alles weiter zum Haupttrakt des Verträgliche Gesellschaft Stolln und kann am Mundloch mit den anderen Grubenwässern behandelt werden.
- Alternativ kann man das Grubenwasser verringern, indem man den Schlammteich einschließlich der Schnittstellen zum Oberflächenwasser aus dem Gelände abdeckt und die endgültige Oberflächenentwässerung des gesamten Geländes einschließlich Haldenfuß baut und danach instand hält.

Blatt 4: Friedliche Gesellschaft Flacher, Clemens Stehender, Christoph Stehender, Benjamin Spat

Strecken:	Friedliche Gesellschaft Flacher, Clemens Stehender, Christoph Stehender, Benjamin Spat
Beschreibung:	Schlecht befahrbar. Am Kreuz des Friedliche Gesellschaft Flachen mit dem Clemens Stehenden ist der alte Glückaufschacht, Schacht abgedeckt und gesichert. Alte Fluter vom Schacht bis Johann Morgengang
Wasserführung:	Im Clemens Stehenden Druckwasser in einem alten Überhauen, vermutlich ohne Anschluß zur 1. Sohle. Im Benjamin Stehenden etwa 30 m ³ Standwasser.
Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	Keine
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	Keine

Gefahren für das Grubengebäude:	Keine
Durchzuführende Maßnahmen:	Ableiten des Standwassers in die Fluter nach Glückauf Spat
Situation 2015:	– Im Glückaufschacht leicht fließender Zulauf zur Stollnsohle und Ableitung nach Johann Morgengang. Dort verfällt das Wasser zur 1. Sohle

Schlußfolgerungen:

- Es verfällt Grubenwasser auf tiefere Sohlen
- Wasser zum Glückauf Spat ableiten

Blatt 5: Neuglück Spat, Johann Stehender

Strecken: Neuglück Spat, Johann Stehender

Beschreibung:	Zubringertrakt zum Verträgliche Gesellschaft Stolln der Gänge Erzengel Stehender, Gottlob Morgengang und Gesellschafts Stehender vom Thurmhofer Hilfsstolln. Am Kreuz mit dem Gesellschafts Stehenden liegt ein Bretterstapel ca. 60 Stück, der eine Stauung bewirkt.
Wasserführung:	Schlamm 0,8 m bei 1,2 m Streckenbreite, Zufluß von genannten Strecken ca. 1,2 l/s. Standwasser im Johann Stehenden etwa 20 m ³ .
Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	0,8 l/s vom Gottlob Morgengang 0,45 l/s vom Neuglück Spat West
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	In den Kirschbaum Stehenden
Gefahren für das Grubengebäude:	keine
Durchzuführende Maßnahmen:	Beseitigung des Bretterstapels und Ableitung der Standwässer aus dem Johann und Unbenannt Stehenden.
Situation 2015:	– Das Grubenwasser fließt von Ost nach West zum Haupttrakt des Verträglichen Gesellschaft Stolln – Geringer Zufluss vom Donat Spat – Geringer Zufluss auf die Strecke vom Samuel Schacht – Starker Zufluss vom Unbenannt Stehenden – Zufluss vom Gottlob Morgengang

Schlußfolgerungen:

- Es verfällt kein Grubenwasser auf tiefere Sohlen
- Keine Maßnahmen notwendig, da das Grubenwasser ohne Verfallung auf tiefere Sohlen im Stollnniveau zum Mundloch des Verträgliche Gesellschaft Stolln fließt und dort behandelt werden kann.

Blatt 6: Eduard Flacher auf den Verträgliche Gesellschaft Stolln und Unbenannt Stehender sowie Carl Spat

Strecken: *Eduard Flacher auf den Verträgliche Gesellschaft Stolln und Unbenannt Stehender sowie Carl Spat*

Beschreibung:	Vom Abrahamschacht aus ist vor dem Kreuz mit dem Unbenannt Stehenden ein Betonverspünden. Zwischen diesem und Schacht ca. 120 m Standwasser, das hier hinter aufgefüllter Masse gestaut. Ein Teil sickert hindurch und verfällt in den Schacht. Bedingt befahrbar, schlechtes Tragewerk. Sämtliche Seitenstrecken sind verspündet. Fahrweg vom Thurmhofschacht auf dem Unbenannt Stehenden. Auf dem Eduard Flachen nach SO gute Befahrungsmöglichkeit durch den Einstieg am Verspünden. Auf der ganzen Strecke gutes Tragewerk. Nach 560 m Überhauen nach dem Morgenstern Stolln auf dem Gute Morgen Spat. Weiter 680 m bis zum Huthausschacht, hier Aufstieg zur Wernerstolln-Rösche mit Mundloch gegenüber Hüttenwerk Muldenhütten. Befahrungsmöglichkeit gut.
Wasserführung:	0,5 l/s über den Unbenannt Stehenden nach dem Kirschbaum Stehenden aus dem Versatz im Unbenannt Stehenden. Im Eduard Flachen SO etwa 600 m ³ Standwasser einschließlich der durchfahrenen Morgengänge.
Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	Sickerwasser vom alten Andreas Tageschacht
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	Durch Verspünden am Carl Spat 0,5 l/s in den Haupttrakt des Verträglichen Gesellschaft Stolln
Gefahren für das Grubengebäude:	Standwasser zwischen Abrahamschacht und Verspünden kann in den Schacht verfallen.
Durchzuführende Maßnahmen:	Einbau eines Schiebers in das Verspünden und Ableiten in den Eduard Flachen und Verträglichen Gesellschaft Stolln.
Situation 2015:	<ul style="list-style-type: none"> - wie zuvor - Umbau am Verspünden nicht aufgeklärt

Schlußfolgerungen:

- Es verfällt kein Grubenwasser auf tiefere Sohlen
- Seitliche Zuläufe noch intakt

Blatt 7: Hiob Spat, Erzengel Stehender, Neuglück Morgengang und Erzengel Flacher auf dem Thurmhofer Hilfsstolln

Strecken: *Hiob Spat, Erzengel Stehender, Neuglück Morgengang und Erzengel Flacher auf dem Thurmhofer Hilfsstolln*

Beschreibung:	Neuglück Morgengang nach NO versetzt sonst fahrbar. Hiob Spat ist hinter dem Kreuz mit dem Erzengel Stehenden stark verbrochen, geringe Wasseranstauungen, 30 m einwärts des Mundloches des Thurmhofer Hilfsstolln ist die Strecke verspündet mit einem Abflußrohr. Hier erfolgt Trinkwasserentnahme durch die Häuser am Roten Graben (Analyse siehe Anhang). Auf dem Erzengel Stehenden Nord Druckwasser in einem Überhauen, nicht gesichert. Anschluß nach 1. Sohle vermutlich nicht. Alle Strecken bedingt befahrbar. Zwischen Hiob und Neuglück Spat alte Fluter.
Wasserführung:	Hiob Spat 1,5 l/s Erzengel Nord Schlamm und Wasser bei einer Streckenbreite von 1,1 m und 0,4 m Höhe. Geringer Wasserlauf 0,2 l/s. Etwa 100 m südlich des Kreuzes mit dem Hiob Spat auf eine Erstreckung von 150 m ca. 80 m ³ Standwasser.

Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	Neuglück Morgengang 0,27 l/s aus Versatz Erzengel Stehender aus dem Versatz und 0,9 l/s im Süden, wovon ein Teil im Samuelschacht verfällt. Erzengel Flacher 0,15 l/s vom Donat Spat.
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	Mundloch, Thurmhofer Hilfsstolln, Neuglück Spat und somit zum Verträgliche Gesellschaft Stolln sowie durch den Samuelschacht auf tiefere Sohlen.
Gefahren für das Grubengebäude:	Während der Tauperiode Anwachsen der Zuflüsse und Verfallung dieser durch den Samuelschacht sowie durch alte Abbaue im Erzengel Stehenden zwischen Neuglück und Hiob Spat auf die unteren Sohlen.
Durchzuführende Maßnahmen:	Überflutern des Samuelschachtes sowie Erneuerung von 400 m Fluter im Erzengel Stehenden. Abfluß dann zum Neuglück Spat. Außerdem Sicherung des Fahrweges.
Situation 2015:	– Die Fluter mit Traufdächern sind gebaut und inzwischen wieder unbrauchbar geworden. Der beschriebene Zustand hat sich wieder eingestellt.

Schlußfolgerungen:

- Es verfällt Grubenwasser auf tiefere Sohlen am Südende im Erzengel Stehenden, beim Samuel Schacht und auf demselben Gang zwischen Hiob und Neuglück Spat, dort alte Fluter
- Seitliche Zuläufe noch intakt
- Das Wasser vom Samuel Schacht und dem Erzengel Stehenden sollte, wie vorgeschlagen, wieder gefasst werden.

Blatt 8: Donat Spat, Alt Elisabeth Stehender, Elende Seelen Stehender, Schwarzer Hirsch Stehender, Frisch Glück Morgengang, Caspar Spat, Gottlob Morgengang

Strecken: **Donat Spat, Alt Elisabeth Stehender, Elende Seelen Stehender, Schwarzer Hirsch Stehender, Frisch Glück Morgengang, Caspar Spat, Gottlob Morgengang**

Beschreibung:	Sehr schlechte Befahrungsmöglichkeiten der Strecken, zum Teil unbefahrbar. Am Kreuz Caspar Spat, Caspar Stehender und Gottlob Morgengang ist Masse aufgefüllt, um einen Abfluß des Wassers in den Davidschacht zu verhindern. Entfernung zum Schacht ca. 80 m. Der Alt Elisabeth Stehende ist am Hauptstollnumbruch verbrochen, dadurch Wasserstau.
Wasserführung:	In allen genannten Gangstrecken Standwasser zwischen 0,8 und 1,0 m Höhe. Vermutliche Menge 2.200 m³. Teilweise Druckwasser in alten Überhauen.
Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	Sickerwässer von Übertage vor allem aus dem Schwarzen Hirsch Nord und Frisch Glück Morgengang sowie Gottlob Morgengang
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	Etwa 0,2 l/s durch erwähnte Masse über Gottlob Morgengang nach Neuglück Spat.
Gefahren für das Grubengebäude:	Durch erhöhte Zuflüsse in der Tauperiode Anwachsen der Standwässer und eventuell Zulauf zum Davidschacht.
Durchzuführende Maßnahmen:	Beseitigen des Verbruches am Hauptstollnumbruch auf dem Elisabeth Stehenden und somit Abführung des Wassers zum Hauptstollnumbruch. Bau eines Verspünden am Davidschacht. Beseitigen der Massen am Kreuz Caspar Spat Gottlob Morgengang sowie Bau eines Verspünden mit Schieber und somit Abführung der Wässer nach dem Neuglück Spat. (Eventuell Verlegen von 400 m Flutern im Gottlob Morgengang)
Situation 2015:	– Im Gottlob Morgengang sind Fluter mit Traufdächern gebaut worden und inzwischen wieder unbrauchbar.

Schlußfolgerungen:

- Es verfällt Grubenwasser auf tiefere Sohlen im Gottlob Morgengang
- Abfluss aus Grubenfeld auf Donat Spat usw. bis Haupttrakt Verträgliche Gesellschaft Stolln
- Seitliche Zuläufe noch intakt
- Ablauf zum Hauptstollnumbruch wohl auch vorhanden und sollte so bleiben

Blatt 9: Abraham Stehender, August Spat, Friedrich Spat, Christian Stehender und Neue Hoffnung Flacher auf dem Thurmhofer Hilfsstolln

Strecken: *Abraham Stehender, August Spat, Friedrich Spat, Christian Stehender und Neue Hoffnung Flacher auf dem Thurmhofer Hilfsstolln*

Beschreibung:	<i>40 m westlich des Caspar Stehenden Gesprenge mit ca. 6 m Höhenunterschied. Schlechte zum Teil keine Befahrungsmöglichkeit.</i>
Wasserführung:	<i>In genannten Strecken Standwasser bis 0,3 m Höhe. Menge vermutlich 200 – 250 m³.</i>
Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	<i>Vom Friedrich Spat und Christian Stehenden. Genaue Herkunft wegen Unbefahrbarkeit nicht zu klären.</i>
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	<i>Im Kreuz August Spat mit dem Friedrich Spat verfällt das Wasser auf untere Sohlen. (War früher überflutert.)</i>
Gefahren für das Grubengebäude:	<i>Die erste Sohle am Abraham wird laufend mit Wasser gefüllt, ist aber vom Schacht aus unbefahrbar. Abflüsse konnten hier deshalb nicht festgestellt werden. (Vermutlich zur 2. Sohle und dort in den Schacht.)</i>
Durchzuführende Maßnahmen:	<i>Neuverlegen von Flutern bis zum Abraham Schacht und dort über Eduard Flachen nach dem Verträgliche Gesellschaft Stolln.</i>
Situation 2015:	<i>– Falls die Fluter gebaut worden sind, sind sie inzwischen wieder unbrauchbar geworden und der beschriebene Zustand hat sich wieder eingestellt.</i>

Schlußfolgerungen:

- Es verfällt Grubenwasser im Kreuz August Spat / Friedrich Spat auf tiefere Sohlen.
- Das Wasser kommt von Ost über den Friedrich Spat vom Christian Stehenden. Der Hohe Stolln liegt darüber und verzweigt sich ab dem Christian Stehenden.

Blatt 10: Eduard Flacher NW Abrahamschacht, Julius Stehender und Krieg und Frieden Stehender

Strecken: *Eduard Flacher NW Abrahamschacht, Julius Stehender und Krieg und Frieden Stehender*

Beschreibung:	<i>Ersterer gut befahrbar, neues Tragewerk, Julius Stehender dagegen nur bis 120 m vom Schacht.</i>
Wasserführung:	<i>Im Eduard Flachen und Krieg und Frieden Stehenden ca. 80 m³ Standwasser. Im Julius Stehenden zur Zeit geringer Wasserzufluß aus alten Abbauen, welches vor dem Schacht auf die 1. Sohle verfällt.</i>
Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	<i>Siehe oben</i>

Vermutete oder erkundete Abflüsse:	Siehe oben
Gefahren für das Grubengebäude:	Wasserverfällung auf tiefere Sohlen vor allen während der Tauperiode.
Durchzuführende Maßnahmen:	Überflutern von zwei Überhauen zur 1. Sohle und Abführung der Wässer wie unter Blatt 9.
Situation 2015:	– Falls die Fluter gebaut worden sind, sind sie inzwischen wieder unbrauchbar geworden und der beschriebene Zustand hat sich wieder eingestellt.

Schlußfolgerungen:

- Es verfällt Grubenwasser auf tiefere Sohlen im Julius Stehenden
- Das Wasser vom Julius Stehenden sollte, wie vorgeschlagen, wieder gefasst und abgeleitet werden.

Blatt 11: Thurmhof Stehender und Thurmhof Spat

Strecken: Thurmhof Stehender und Thurmhof Spat

Beschreibung:	Ersterer sehr gut befahrbar, neues Tragewerk. Thurmhof Spat unbefahrbar. Dies sind die ältesten Baue des Himmelfahrter Reviers auf welchen ein großer Teil der Maßschächte niedergebracht ist. Unter dem neuen Tragewerk laufen noch alte Strecken mit unbrauchbar gewordenen Flutern.
Wasserführung:	Zahlreiche Zuflüsse deren Stärke von der Witterung übertage abhängig ist, gelangen auf die unteren Sohlen vor allem über den IV. Maßschacht. Im Thurmhof Spat Schlamm und Wasser über 1 m Höhe bei 1,2 m Streckenbreite. Zufluß ca. 1,2 l/s. 50 m nördlich IV. Maßschacht Druckwasser in altem Schacht. Aus alten Akten geht hervor, daß hier schon zu früheren Zeiten erhebliche Wasserzuflüsse waren, da der Münzbach etwa im Streichen des Thurmhof Stehenden über diesen verläuft.
Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	Thurmhof Stehender siehe oben. Thurmhof Spat vermutlich Tageswässer vom St. Peter Schacht.
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	Im IV. Maßschacht bis zur 11. Sohle.
Gefahren für das Grubengebäude:	Verstärkung der Wasserzuläufe in der Tauperiode.
Durchzuführende Maßnahmen:	Hier keine Möglichkeiten. Nach eventueller Befahrung des Thurmhof Spates Bau eines Verspündens in diesem und somit Rückstaung der Wässer in den Verträgliche Gesellschaft Stolln
Situation 2015:	– unverändert

Schlußfolgerungen:

- Es verfällt sehr viel Grubenwasser auf tiefere Sohlen (Münzbachquerung, tagesnaher intensiver Bergbau). Der Thurmhofer Stolln als Flügel des Alten Fürstenstolln führt auf einer höheren Ebene Grubenwasser heran.
- Der Versuch 1950 /1951 auf der Stollnsohle eine geordnete Ableitung von Grubenwässern zu installieren, scheiterte am IV. Maßschacht nach einem Tagebruch. Es wurde kein Wasser gefasst [22] S. 462.

- Der Versuch 1954 /1956 auf der 3. Sohle eine geordnete Ableitung von Grubenwässern zu installieren, scheiterte kurz vor dem IV. Maßschacht an Bruchmassen [22] S. 463. Es wurden Fluter eingebaut die ca. 6 l/s gefasstes Grubenwasser abführten. Diese Fluter sind inzwischen unbrauchbar.

Blatt 12: Hoffnung Spat, Segen Gottes Stehender, Aaron Spat und Methusalem Spat

Strecken:	Hoffnung Spat, Segen Gottes Stehender, Aaron Spat und Methusalem Spat
Beschreibung:	Über den Joseph und Hoffnung Spat gelangt man über ein 2 m hohes Gesprenge zum Segen Gottes Stehenden. Von hier aus weiter zum Aaron Spat, der aber gegen das alte Methusalem Schacht Revier nach 50 m versetzt ist. Befahrungsmöglichkeiten sind vorhanden, außer dem Methusalem Spat.
Wasserführung:	Etwa 0,5 l/s aus dem Abbau im Segen Gottes Stehenden gelangt über den Hoffnung Spat, wo sich in einer Mulde bis zu 80 m ³ Standwasser gesammelt hat, in den Alt Elisabeth Stehenden, wo es weiter verfällt. Im Aaron Spat, der bis zu einer Höhe von 6 m aufgefahren ist, Standwasser und Schlamm bis 1 m Höhe. Wegen der Unbefahrbarkeit im Kuhschacht und Methusalem Schacht Revier sind hier die Wasserverhältnisse nicht zu klären.
Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	Siehe oben
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	Siehe oben
Gefahren für das Grubengebäude:	Erhöhter Wasserzulauf während der Tauperiode auf tiefere Sohle.
Durchzuführende Maßnahmen:	Hier keine Möglichkeiten. Die hier im Methusalem Spat verlegten Fluter (0,4 x 0,3 m) lassen darauf schließen, daß hier große Wasserzuflüsse gewesen sein müssen.
Situation 2015:	– unverändert

Schlußfolgerungen:

- Es verfällt Grubenwasser vom Segen Gottes und Josef Spat im Alt Elisabeth Stehenden auf tiefere Sohlen. Der verlorne Stolln als Flügel vom Alten Fürstenstolln führt auf einem höheren Niveau Grubenwasser zum Joseph Spat und Alte Elisabeth Stehenden heran.
- Dieses Wasser könnte vom Alt Elisabeth Stehenden mit Aufwand zum Glückauf Flachen / Hauptstollnumbruch abgeleitet werden
- Das Methusalem Grubenfeld entwässert wahrscheinlich auf den Hauptstollnumbruch. Daher ist der Aron Spat trotz alter Fluter trocken

Blatt 13: Glückauf Flacher, Hauptstollngang Stehender, Georgen Spat und Georgen Stehender sowie Jonas Spat

Strecken:	Glückauf Flacher, Hauptstollngang Stehender, Georgen Spat und Georgen Stehender sowie Jonas Spat
Beschreibung:	Befahrbarkeit gut bis zum Verspünden im Georgen Stehenden, hinter welchem das Wasser angestaut ist und somit die Vermutung zuläßt, daß hier ab bis über den Jonas Spat erhebliche Wassermengen anstehen. Hier findet Wasserentnahme durch die Lederfabrik Steyer statt

Wasserführung: *Im Wiesenschacht ca. 1.200 m³ Druckwasser. Zufluß von etwa 3,2 l/s vom Verspünden nach dem Hauptstollnumbruch. Führung der Wässer zwischen Georg Spat und Löffler Schacht in Blechflutem. Von hier bis zum Hauptstollnumbruch verfällt ein Teil der Wässer auf tiefere Sohlen.*

Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	<i>Siehe oben</i>
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	<i>Siehe oben</i>
Gefahren für das Grubengebäude:	<i>Während der Tauperiode sehr hoher Wasseranfall.</i>
Durchzuführende Maßnahmen:	<i>Verlegen von Flutern vom Löffler Schacht bis zum Hauptstollnumbruch.</i>
Situation 2015:	<ul style="list-style-type: none"> – Wasserentnahme im Jonas Spat findet nicht mehr statt – Wasserüberleitung in Fluter vom Georg Spat zum Hauptstollnumbruch undicht – Lt. Riß verfällt auch Wasser im Glückauf Flachen (Benjamin Spat) auf tiefere Sohlen. Hier führt eventuell auch der Verlorne Stolln als Flügel des Alten Fürstenstolln Grubenwasser von einem höheren Niveau heran.

Schlußfolgerungen:

- Es verfällt Grubenwasser vom Georg Spat kommend im Hauptstollgang Stehenden auf tiefere Sohlen.
- Dieses Wasser könnte mit Aufwand wieder vollständig zum Hauptstollnumbruch abgeleitet werden.
- Es verfällt Wasser im Glückauf Flachen (Benjamin Spat) kurz vor dem Hauptstollnumbruch auf tiefere Sohlen.

Blatt 14: Hauptstollgang Stehender, Glückauf Spat auf dem Tiefen Fürstenstolln

In der Bergbauperiode bis 1970 wurde ebenfalls noch der Mischbegriff Alter Tiefer Fürstenstolln verwendet, obwohl man den noch unterhaltenen Stolltrakt des Tiefen Fürstenstolln meinte. Der Alte Fürstenstolln war seit dem 16. Jahrhundert mit dem Stolltrakt des Tiefen Fürstenstollns ab dem mundlochnahen Gespreng unterteuft.

Strecken: ***Hauptstollgang Stehender, Glückauf Spat auf dem alten tiefen Fürstenstolln***

Beschreibung:	<i>Zwischen Hoffnung Schacht und Reiche Zeche schlechte Befahrungsmöglichkeiten. 35 m vor dem Glückauf Spat aufgefüllte Strecke.</i>
Wasserführung:	<i>Im Glückauf Spat 1 l/s Zufluß vom Hermser Stolln. Im Hauptstollgang selbst zahlreiche Stellen, an welchen Sickerwässer von übertage infolge unbrauchbar gewordener Fluter auf die 1. Sohle verfallen.</i>
Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	<i>Siehe oben</i>
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	<i>1. Sohle und Hauptstollnumbruch.</i>
Gefahren für das Grubengebäude:	<i>Sehr hoher Wasseranfall während der Tauperiode.</i>
Durchzuführende Maßnahmen:	<i>Erneuerung des Tragewerkes, Streckensicherung. Neuverlegen von 500 m Flutern, Abtragen der aufgefüllten Masse.</i>
Situation 2015:	<ul style="list-style-type: none"> – Fluter sind unbrauchbar geworden

Schlußfolgerungen:

- Es verfällt Grubenwasser im Hauptstollngang Stehenden auf tiefere Sohlen.
- Dieses Wasser könnte mit Aufwand wieder vollständig zum Hauptstollnumbruch abgeleitet werden.

Blatt 15: gesamtes Kobschacht Revier

Strecken:	gesamtes Kobschacht Revier
Beschreibung:	<i>Befahrung über den Fürstenstolln überhaupt unmöglich.</i>
Wasserführung:	<i>Hinter einem Verbruch im Riemer Spat Standwasser dessen Erstreckung nicht feststellbar ist, vermutlich aber das gesamte Gebiet am Kobschacht umfaßt Hauptstollngang Stehender bis 1 m Standwasser.</i>
Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	<i>Im Sohwarzen Hirsch Stehenden 1,1 l/s aus Versatz nach 1. Sohle. Vermutlich Tageswässer vom Kobschacht.</i>
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	<i>Vermutlich über Samuel Spat, Hauptstollngang zum Umbruch Stolln.</i>
Gefahren für das Grubengebäude:	<i>Ist nicht zu übersehen, da Strecken unbefahrbar.</i>
Durchzuführende Maßnahmen:	<i>Befahrung des Fürstenstolln vom Mundloch zur eventuellen genaueren Erforschung der Verhältnisse. Verspünden des gesamten Feldesteiles.</i>
Situation 2015:	– unverändert

Schlußfolgerungen:

- In diesem Bereich verfällt Grubenwasser im Schwarzen Hirsch Stehenden auf tiefere Sohlen.
- Dieses Wasser könnte mit Aufwand wieder vollständig zum Hauptstollnumbruch abgeleitet werden.

Blatt 16: Hauptstollnumbruch

Strecken:	Hauptstollnumbruch
Beschreibung:	<i>Verläuft von Rote Grube bis zum Muldental. Hoher Schlamm- und Wasserstand.</i>
Wasserführung:	<i>An der ersten befahrbaren Stelle am Kreuz mit dem Glückauf Flachen wurden 59 l/s Zufluß gemessen.</i>
Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	<i>Rote Grube sowie über den Reicher Trost Spat vom Methusalem Schacht Revier. Vom Glückauf Flachen, vom Glückauf Spat, vom Schwarzer Hirsch Stehenden sowie vermutlich vom Freundlichen Vertrag Stehenden.</i>
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	<i>Durch das Mundloch in den Roten Graben nach der Halsbrücker Hütte.</i>
Gefahren für das Grubengebäude:	<i>keine</i>
Durchzuführende Maßnahmen:	<i>Eventuell Befahrung bis zur Roten Grube</i>
Situation 2015:	– unverändert

Schlußfolgerungen:

- In diesem Bereich verfällt kein Grubenwasser im Hauptstollnumbruch auf tiefere Sohlen
- Dieser Stolln leitet Grubenwasser aus dem Teilrevier Zug und der Westflanke vom Freiburger Zentralrevier ab.

5.2.2 Rothschönberger Stolln - Einzelbeschreibung von Zuflüssen im Teilrevier Freiberg

Es gibt in der Grube Freiberg eine Anzahl wichtiger Zuflüsse von oberen Sohlen zum Rothschönberger Stolln. Ein systematischer Datensatz [22] für die Grubenwasserverhältnisse vor der Grubenflutung wird nachfolgend zugrunde gelegt. Nach der Flutung der Grube Freiberg spiegelt von oberen Sohlen zufließendes Grubenwasser über die Schächte und die unmittelbar unter dem Rothschönberger Stolln liegenden Sohlen (4. Sohle ½, 5. Sohle und 6. Sohle [48]) aus. Das so zufließende Grubenwasser steigt am tiefsten Punkt, dem Schacht Reiche Zeche, auf und fließt im Haupttrakt des Rothschönberger Stolln ab.

Die Anlage 1 zeigt den Verlauf des Haupttraktes und die nummerierten Flügel des Rothschönberger Stollns. Die in den Altdaten verzeichneten Zuflüsse von oberen Sohlen auf den Rothschönberger Stolln zeigt die Anlage 4 sowie im Wasserstammbaum aus der letzten Betriebsperiode der Grube Freiberg die Anlage 5. Ein erster neuerer, jedoch unvollständiger Versuch, die Fließwege in der Grube Freiberg unter dem Rothschönberger Stolln in ein Grubenwasserschema einzubinden, ist in Anlage 2 aus [46] wiedergegeben. Abgeschätzte Mittelwasserführungen des Rothschönberger Stollns sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** aus [46] übernommen worden.

Es folgt in kursiver Schreibweise der digitalisierte Text zum Verfällen von Grubenwasser bis auf den Rothschönberger Stolln aus der letzten Betriebsperiode aus [22] Anlage 67 mit eingefügten aktuellen Ergänzungen in Normalschrift. „Verfällen“ ist dabei der bergmännische Terminus für das gezielte Ableiten von Wässern in tiefere Niveaus, meist durch technische Einrichtungen (Schächte, Gesenke, Abbaue, Fallörter).

Blatt 33: Beschreibung

Zitat [22]:

Der Rothschönberger Stolln stellt den Hauptwasserlauf des gesamten Freiburger Erzbezirkes dar. Er beginnt am Frankenschacht in Himmelsfürst durch das gesamte Brander Revier, vorüber an der Roten Grube, Elisabethschacht, Reiche Zeche, Kobschacht, über das Halsbrückener Grubenfeld nach Rothschönberg. Er bietet den großen Vorteil, daß die gesamte Wasserhaltung nur bis zu dieser Sohle geführt werden braucht.

Zur Zeit unserer Befahrungen führte der Stolln am Reiche Zeche Schacht 440 l/s Wasser, was einer minütlichen Menge von 26,5 m³ entspricht. Der gesamte Zufluß aus dem Grubenfeld der BA Freiberg liegt etwa bei 80 l/s = 4,8 m³/min.

Der Wasserstand im Stolln betrug 0,55 m, ein entsprechend der Jahreszeit normaler Wert. Dieser wird mit einer Meßlatte am Verspünden an der Reichen Zeche abgelesen. Während der Tauperiode wird dies laufend erforderlich, hier werden Wasserstände von 1,2 - 1,3 m erreicht. Wegen Undichtheit des Rothschönberger Stolln auf dem Hauptstollngang und Schwarzen Hirsch Stehenden wurde der Stollnumbruch gefahren, der jetzt als Wasserweg vorhanden ist.

Die eigentliche Betreuung des Stollns erfolgt von der VEB Wasserwirtschaft Mulde, Außenstelle Freiberg. Der sogenannte innere Stolln vom Drei Brüder Schacht bis zum 8. Lichtloch wird durch EBO Freiberg betreut, so daß für die BA Freiberg lediglich die Kontrolle der Zubringertrakte Infrage kommt.

Es sind dies:

Pos.

Beschreibung

1. *Churprinz Friedrich August Flacher, der gegen sämtliche Seitenstrecken verspündet ist. Befahrungsmöglichkeiten bestehen hier wegen zu hohem Wasserstand nicht.*

Es handelt sich um den Trakt 35 mit dem anschließenden Teil des Traktes 7. Hier ist der Zugang im stark verschlammten Stollnquerschnitt noch ein Stück möglich. Der Schlamm bildet somit einen langgezogenen Damm im ehemals wasserableitenden Stollnflügel. Das Grubenwasser sucht sich daher seinen Weg vom Bereich Alte Elisabeth Schacht, David Schacht, Abraham Schacht, Thurmhof Schacht und Morgensterner Grubenfeld unter der Rothschönberger Stollnsohle zum Schacht Reiche Zeche. Diese Fließwege sind in der Anlage 2 nur bruchstückhaft erkannt und eingetragen worden. Die anderen Stollflügel des Rothschönberger Stollns in der Grube Freiberg sind verspündet und mit Schieber sowie teilweise auch mit verschließbarem Mannloch versehen.

- 1a *Querschlag vom Davidschacht. Wassersaige 0,9 x 0,8 m mit Fahrsteg. Zufluß etwa 60 l/s = 3,6 m³. Dies sind die gesamten gehobenen Wässer des Grubenfeldes. Das Wasser stürzt durch ein Überhauen von der 3. Sohle (Pumpensumpf) herunter direkt in die Strecke. Von der 4. Sohle besteht eine Befahrungsmöglichkeit, die vom Schacht aus kenntlich gemacht ist. Zum Querschlag ist hier ein Verspünden mit Mannloch. Die Wassersaige die hier z.T. gemauert ist, bedürfte einer Erneuerung, da sie oft vollkommen zusammengebrochen ist.*

Es handelt sich um den Trakt 32 auf dem gegenwärtig keine Grubenwasser fließt, weil der Trakt 35 und 7 verschlammte ist. Der David Schacht dient zur Ausspiegelung des Flutungswassers.

- 1b *Neue Hoffnung Flacher. Zubringer vom Morgensterner Grubenfeld, Abraham- und Thurnhofschacht. Wassersaige 0,9 x 0,4 m. Zufluß etwa 16 l/s. Befahrungsmöglichkeiten schlecht wegen hohem Wasser- und Schlammstand. 500 m südöstlich Glücksstern Stehender befindet sich das Hauptverspünden nach dem Morgensterner Grubenfeld mit einem 300er Schieber. Zulauf 12 - 13 l/s. Bei großem Wasseranfall im Haupttrakt des Stollns ist der Schieber zu schließen! Am Querschlag nach dem Davidschacht ist ebenfalls ein Verspünden mit 200er Schieber und Schwimmer. Letzterer wird bei hohem Wasserstand selbsttätig geschlossen und sperrt somit diesen Zulauf ab. Zulauf vom Abrahamschacht 2 l/s durch Fluter (Abgefangenes Traufwasser vom Schacht). Hier befindet sich ein Verspünden bis in halber Streckenhöhe. Zulauf vom Thurnhofschacht 0,3 l/s über den Hoffnung Spät und Glücksstern Stehenden. Am Schacht Verspünden mit Mannloch.*

Es handelt sich um die Trakte 7, 8 und 12a. Der Schieber DN 300 im Hauptverspünden nach dem Morgensterner Grubenfeld ist mit der Grubenschließung 1969 offen geblieben, um unkontrollierbare Überläufe in oberen Sohlen bzw. in die Freiburger Mulde zu verhindern. Das Grubenwasser kann nicht mehr über die Trakte 7 und 35 direkt zum Haupttrakt des Rothschnberger Stollns fließen und sucht sich daher den Weg über einen der Schächte und danach über die Sohle direkt unter dem Rothschnberger Stolln nach dem Schacht Reiche Zeche.

- 1c *Elisabeth Stehender. Zulauf 1,8 l/s Traufwasser aus dem Schacht. Beiderseits des Schachtes Betonverspünden mit 300er Schieber ohne Mannloch.*

Es handelt sich um den unteren Teil vom Trakt 7.

2. *Zubringer vom Ludwigschacht ist der Ludwig Spat. Wassersaige 1,0 x 0,4 m. Bedingt befahrbar, Seitenstrecken: verspündet. Zulauf 7 l/s. Am Schacht Betonverspünden mit Mannloch. Hier liegen Fluter, die Tropfwasser aus dem Schacht zuführen. Westlich des Königsee Stehenden halbhohes Betonverspünden mit 150er Schieber und direkt am Stolln Vollverspünden mit Mannloch und zwei 150er Schiebern. Ein Teil dieses Wassers geht nach dem Reiche Zeche Schacht als Bohrwasser.*

Es handelt sich um den Trakt 11 und die Bohrwasserstrecke ist der Trakt 38. Gegenwärtig nur unwesentlicher Zufluss auf diesem Stollnflügel zum Haupttrakt. Auch hier gibt es infolge Rückstau einen Unterstrom vom Ludwig Schacht zum Schacht Reiche Zeche.

3. *Am Reiche Zeche Schacht befindet sich ein Betonverspünden mit Mannloch. Der Hauptstollengang Stehende ist am Schacht durch ein halbhohes Verspünden getrennt. Von hier aus geht ein Teil des Wassers in die Bohrwasserversorgung, der Überlauf in den Pumpensumpf. Ist der Sumpf gefüllt werden die Pumpen automatisch betätigt und pumpen in den Stolln.*

Das anderenorts im Flutungsraum aus Zuläufen von oben versinkende Grubenwasser der Grube Freiberg steigt hier auf und fließt mit den Grubenwasser der Grube Brand und einzelnen Zuflüssen (Rote Grube) weiter im Haupttrakt des Rothschnberger Stollns ab.

Alter Rothschnberger Stolln (Hauptstollengang und Schwärzer Hirsch Stehender)

Nachdem der Stollnumbruch gefahren war, wurde am Hauptstollengang und am Schwarzen Hirsch voll verspündet. Etwa 100 m südlich Reiche Zeche Schacht wurde durch einen Aufbruch die Möglichkeit geschaffen über den Stollnumbruch zum alten Stolln zu gelangen. Hier ist vor dem Hauptverspünden ein starker Verbruch niedergegangen, der unbedingt auf gewältigt werden muß. Im gesamten alten Stolln schlechte Befahrungsmöglichkeiten, die z.T. über altes Tragwerk führen. Der Wasserstand beträgt etwa 0,6 m, teilweise ist starker Tropfwasseranfall zu verzeichnen. Andere Zuflüsse konnten hier nicht festgestellt werden. Im Schwarzen Hirsch sind mehrere undichte Stellen, von denen aus das Wasser über die einzelnen Sohlen und die dortigen Abbaue zur 11, Sohle gelangt. Da aber der Wasserstand immer konstant bleibt, müssen noch andere Zuflüsse vorhanden sein.' Am Kreuz Königsee Stehender - Ludwig Spat ist aus dem Versatz an einem Überhauen ein Zulauf von 2,1 l/s, dessen Ursprung nicht zu ermitteln ist, vermutlich aber auf dem verbrochenen Teil des alten tiefen Fürstenstolln zu suchen ist. Bei starkem Wasseranfall wird das Wasser von der 1. Sohle ebenfalls nach diesem über Überhauen umgeleitet (Siehe Blatt 17).

Blatt 34: Karl Stehender, Füllhorn Spat, Ludwig Flacher, Christoph Stehender

Strecken: *Karl Stehender, Füllhorn Spat, Ludwig Flacher, Christoph Stehender*

<i>Beschreibung:</i>	<i>Die Befahrbarkeit der Strecken ist durch die hohen Ansammlungen von Standwasser und Schlamm schlecht.</i>
<i>Wasserführung:</i>	<i>Im Karl Stehenden und Füllhorn Spat 300 m³ Standwasser, welches durch starke Sickerwässer aus der Firste seinen Zufluß erhält. Da das Streichen des Ganges und die Strömungsrichtung der Mulde annähernd gleich sind, dürfte hierin der Ursprung der starken Sickerwässer zu suchen sein. 150 m südlich Füllhorn Spat verfällt das Wasser als Überlauf durch ein Überhauen bis zur 8. Sohle. Der Ludwig Flache ist nach Osten verbrochen. Anfall von Sickerwasser von der zweiten Sohle, die durch einen alten Abbau weiter nach unten bis zur -8. Sohle verfallen (0,8 l/s). Eine alte hier noch verlegte Rohrleitung weist darauf hin, daß man bereits früher das Wasser nach dem Rothschnberger Stolln abgeführt hat. Durch die Unbrauchbarkeit dieser Leitung verfällt das Wasser durch alte Abbaue. Im Christoph Stehenden 30 m³ Standwasser mit geringem Zulauf durch ein Überhauen von der zweiten Sohle.</i>
<i>Vermutete oder erkundete Zuflüsse:</i>	<i>s.o.</i>
<i>Vermutete oder erkundete Abflüsse:</i>	<i>s.o.</i>
<i>Gefahren für das Grubengebäude:</i>	<i>Laufende Verfallung des Wassers nach den tieferen Sohlen.</i>
<i>Durchzuführende Maßnahmen:</i>	<i>Abführen des Standwassers im Karl Stehenden ist nur möglich durch Auspumpen der Strecke und Verwahrung des Überbauens und evtl. Verlegung von Flutern zum Ludwigschacht. Im Ludwig Flachen ebenfalls Verlegen von Flutern nach dem Zubringertrakt.</i>
<i>Situation 2015:</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Flutungswasserspiegel im Niveau Rothschnberger Stollnsohle, - Zulauf von oberen Sohlen aus diesem Abbaufeld unverändert, - Kein oder nur völlig unbedeutender Zulauf in den Haupttrakt des Rothschnberger Stolln über die Schieber im Verspünden. Der Flügel entwässert unterstromig über den Flutungsraum zum Schacht Reiche Zeche.

Schlussfolgerungen:

- Im Grubenfeld des Ludwig Schachtes gibt es wegen der Muldennähe nach wie vor relativ starke Wasserzuflüsse, die seit 1970 bis zum Flutungswasserspiegel (Rothschnberger Stolln) verfallen.
- Bis zur Grubenschließung wurde ein Teil der Wässer auf der 2. Sohle abgefangen und über eine Falleitung im Ludwig Schacht zum Rothschnberger Stollnsohle geleitet. Ob diese Falleitung noch funktioniert ist unbekannt.

Blatt 35: Ludwig Spat, Friedrich Stehender

Strecken: Ludwig Spat, Friedrich Stehender

Beschreibung:	<i>Der Friedrich Stehende ist durch zwei Verbrüche am Ludwig Spat und am Ludwig Flachen nach Süden unbefahrbar. Sonst bedingte Befahrbarkeit der Strecken infolge hohen Schlammstandes.</i>
Wasserführung:	<i>Im Friedrich Stehenden und Ludwig Spat östlich Friedrich Stehender 220 m³ Standwasser und Schlamm. 250 m nördlich Ludwig Spat ist im Friedrich Stehenden ein starker Wasserzulauf von insgesamt 7 l/s von der 2. Sohle, der aber auf dieser, wegen Unbefahrbarkeit nicht festgestellt werden konnte. Vermutlich handelt es sich wie in dieser gesamten Gegend um starken Zufluß von Spaltenwässern, die auf die unmittelbare Nähe der Mulde zurückzuführen sind. Im Ludwig Spat sind ebenfalls derartige starke Wasserzuläufe direkt aus der Firste festgestellt worden. Unmittelbar nördlich der Jahreszahl 1887 - hier liegt die Strecke direkt unter der Mulde - ist der Friedrich Stehende bis auf 20 cm unter die Firste entweder versetzt oder stark verschlammt. Dahinter Wasserstand 2 m, das wären 300 m³ Standwasser bis Streckenende. Von hier erfolgt ebenfalls ein starker Zufluß. Im verbrochenen Ludwig Flachen dürften ebenfalls derartige Wasserzugänge zu verzeichnen sein, da auf der 4. Sohle hier Zuläufe erfolgen.</i>
Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	s.o.
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	<i>Durch den Abbau bis zur 8. Sohle und dort zum Davidschacht. Etwa 7 l/s zum Rothschnberger Stolln (Zubringertrakt).</i>
Gefahren für das Grubengebäude:	<i>Laufende Verfallung großer Wassermengen auf tiefere Sohlen.</i>
Durchzuführende Maßnahmen:	<i>Schlämmen der Wassersaige nach dem Zubringertrakt, dadurch Ableiten der Standwässer. Evtl. Verlegen von Flutern, um eine Verfallung auf die tieferen Sohlen zu verhindern. Laufende Kontrolle des gesamten Feldesteiles vor allem während der Tauperiode. Anbringen eines Eisendeckels am Verspunden Ludwig-Schacht.</i>
Situation 2015:	<ul style="list-style-type: none">- Flutungswasserspiegel im Niveau Rothschnberger Stollnsohle,- Zulauf von oberen Sohlen aus diesem Abbaufeld unverändert,- Kein oder nur völlig unbedeutender Zulauf in den Haupttrakt des Rothschnberger Stolln über die Schieber im Verspunden. Der Flügel entwässert unterstromig über den Flutungsraum zum Schacht Reiche Zeche.

Anlage zu Blatt 35

Betr.: Abbau auf dem Friedrich Stehenden auf 2. Gezeugstrecke unter dem Muldenbett.

Im NO des Himmelfahrter Grubenfeldes in der Nähe des Ludwigschachtes ist auf dem Friedrich Stehenden südlich des Ludwig Spat. ein Abbau in Größe von 8640 qm im vergangenen Jahrhundert verführt worden. In Streckenfirste ist er 220 m lang, in seiner eigenen First 150 m. Er hat eine durchschnittliche Höhe von 50 m. erhebt sich aber bis 58 m über Firste der Grundstrecke, d.h. bis über Niveau der nicht auf gefahrenen 1. Gezeugstrecke. Der höchste Punkt des Abbaues liegt 14 m unter Niveau des Thurmhofer Hilfsstolln, d.h. 11 m unter Mulden Spiegel oder 9 m unter festem Muldenbett. Der Abbau dürfte befahren werden können, wenn bis zum Einstieg in ihn eine Fahrt mitgenommen würde. Aus Rissen ergibt sich, daß der südliche Teil dieses Abbaues auf ca. 50 m Länge direkt unter dem Muldenbett liegt, der anschließende nördliche Teil unmittelbar neben dem linken Muldenufer. Die Möglichkeit des Eindringens von Muldenwasser durch Klüfte und bei Hochwasser auch durch nicht risskundige Baue der Alten, die z.T. verrollt sein können ist gegeben, zumal innerhalb des Abbaues die früher stark bebauten Kreuze des Friedrich Stehenden mit dem Ludwig. Flachen und dem Ludwig Spat liegen und zwar gerade in den höchsten Teilen des Abbaues.

Ich verweise auf die zwar nicht akute, aber immerhin bestehende Gefahr eines unvermuteten Wassereintrittes. Ich möchte vorschlagen, in Verbindung mit der beabsichtigten Verspündung des unter dem Muldenbett aufgefahrenen Ludwig Spat in 2. Gezeugstrecke auf die ich im vergangenen Herbst, aufmerksam machte, die Verspündung der Zugänge zu besagtem Abbau zu erörtern. Auf Schwierigkeiten stößt sie dadurch, daß erwähnter Abbau unter 2. Gezeugstrecke bis Rothschnberger Stollnsohle fortsetzt und z.T. nur mangelhaft versetzt ist.

Gez. R. Schumann

Schlussfolgerungen:

- Im Grubenfeld des Ludwig Schachtes gibt es wegen der Muldennähe nach wie vor relativ starke Wasserzuflüsse, die seit 1970 bis zum Flutungswasserspiegel (Rothschönberger Stolln) verfallen.
- Bis zur Grubenschließung wurde ein Teil der Wässer auf der 2. Sohle abgefangen und über eine Falleitung im Ludwig Schacht zum Rothschönberger Stollnsohle geleitet. Ob diese Falleitung noch funktioniert ist unbekannt.

Blatt 36: Wilhelm Stehender, Goldener Friede Flacher

Strecken:

Wilhelm Stehender, Goldener Friede Flacher

Beschreibung:	<i>Befahrung des Wilhelm Stehenden ist nur durch die Abbaue von der 1. Gezeugstrecke aus möglich. Befahrbarkeit im Wilhelm Stehenden und Goldener Frieden Flachen gut. Im Goldenen Frieden Flachen nach Osten gelangt man über einen Laufsteg des alten Rothschönberger Stollns an das Verspünden am Neuen Rothschönberger Stolln heran. Das Verspünden ist mit einem 300 ø Schieber versehen. Eine Befahrung des Neuen Rothschönberger Stolln ist von hier aus nicht möglich.</i>
Wasserführung:	<i>Im Wilhelm Stehenden und Goldener Friede Flachen haben sich durch Sickerwässer aus den alten oberen Abbauen im Wilhelm Stehenden etwa 180 m³ Standwasser angesammelt. Im Goldenen Frieden Flacher nach W ist ein Wasserzufluß von 0,9 l/s aus der versetzten Strecke vorhanden. Da in diesem Gebiet auf den oberen Sohlen keine Auffahrungen zu verzeichnen sind, kann es sich hier nur um Quellwasser handeln.</i>
Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	s.o.
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	<i>In einem Durchschnittschacht im Wilhelm Stehenden verfällt 1,9 l/s Wasser zur 38 Lachterstrecke Siehe Blatt 42.</i>
Gefahren für das Grubengebäude:	<i>Laufende Verfallung großer Wassermengen bis zur 13. Sohle.</i>
Durchzuführende Maßnahmen:	<i>Die Sickerwässer fallen mit den Maßnahmen im Wilhelm Stehenden auf der 1. Sohle fort. Das Abführen des Wassers aus dem Goldenen Frieden Flachen ist nur in den alten Rothschönberger Stolln möglich Näheres muß noch erkundet werden.</i>
Situation 2015:	<ul style="list-style-type: none">– Flutungswasserspiegel des nach 1953 noch einmal stark bebauten Wilhelm Stehenden im Niveau Rothschönberger Stollnsohle,– Zulauf von 1. bis 3. Sohle unverändert,– Zulauf in den Haupttrakt des Rothschönberger Stolln wegen dem Verspünden wohl als Unterstrom über den Flutungswasserraum,

Schlussfolgerungen:

- Im Wilhelm Stehenden verfällt das Wasser von der 1. Sohle bis zum Flutungswasserspiegel im Niveau Rothschönberger Stolln.
- Eine Fassung in der Sohle vom Tiefen Fürstenstolln ist nicht möglich, weil die Abbaue erst unter diesem Sohlenniveau beginnen.

Blatt 37: Hoffnung Spat, Glücksstern Stehender, Neue Hoffnung Flacher, Kirschbaum Stehender

Strecken: *Hoffnung Spat, Glücksstern Stehender, Neue Hoffnung Flacher, Kirschbaum Stehender*

Beschreibung:	<i>Die Strecken sind infolge mehrerer Verbrüche und altem Tragewerk im Hoffnung Spat bedingt befahrbar. Im Neue Hoffnung Flachen vom Kreuz Kirschbaum Stehender zum Verspünden im Morgensterner Grubenfeld (etwa 500 m) schlechte Fahrmöglichkeit. Der Kirschbaum Stehende ist beiderseits des Neue Hoffnung Flachen verbrochen, so daß eine Befahrung des Neuglück Flachen, Mulde Stehenden und Versöhnung Stehenden nicht mehr möglich ist. Infolge hohen Schlammes ist die Befahrung des Neue Hoffnung Flachen nur bis zum Abrahamschacht möglich. Im Hoffnung Spat vom Kreuz des Glücksstern Stehenden bis vor Ort gute Fahrmöglichkeit.</i>
Wasserführung:	<i>Im Hoffnung Spat nördlich des Turmhofschachtes etwa 80 m³ Standwasser, aus einem Überhauen unmittelbar am Schacht ein geringer Zufluß von 0,2 l/s von der dritten Sohle der sich aber durch die zu treffenden Maßnahmen (siehe Blatt 31) erhöhen wird. Im Hoffnung Spat bis zum Kreuz des Glücksstern Stehenden 40 m³ Standwasser und Schlamm, im Glücksstern Stehenden geringe Sickerwässer aus der Firste, welche einen Abfluß über den Neue Hoffnung Flachen zum Haupttrakt des Rothschönberger Stolln haben. Im Hoffnung Spat 0,1 l/s Tropfwasser aus der Firste mit Abfluß zum Neue Hoffnung Flachen. Im Neue Hoffnung Flachen Zufluß von 2 l/s in Flutern vom Abrahamschacht. Geringe Mengen Standwasser im Kirschbaum Stehenden im Hoffnungsspat.</i>
Vermutete oder erkundete Zuflüsse:	s.o.
Vermutete oder erkundete Abflüsse:	s.o.
Gefahren für das Grubengebäude:	keine
Durchzuführende Maßnahmen:	<i>Schlämmen der Wassersaige und Beseitigung der Verbrüche im Hoffnung Spat und Glücksstern Stehenden. Instandsetzung des Fahrweges zum Verspünden im Morgensterner Grubenfeld. Anbringen einer Eisenklappe am Verspünden am Turmhofschacht.</i>
Situation 2015:	– unbekannt

Schlußfolgerungen:

- Es wird in den Gängen relativ wenig Wasser aus oberen Sohlen gefasst.
- Es gibt einen Zufluss in den Schächten zum Flutungswasserspiegel im Niveau Rothschönberger Stolln
- Der Schieber im Verspünden zum Morgensterner Grubenfeld auf dem Neue Hoffnung Flachen ist nach Schließung der Grube offen geblieben.
- Es fließt Wasser von oberen Sohlen auch auf anderen Gängen, als den mit dem Rothschönberger Stolln aufgefahren Gängen, in den Flutungswasserraum und drückt am Reiche Zeche Schacht nach oben.

5.2.3 Zusammenfassung - gegenwärtige Zuflüsse in den Flutungswasserraum des Teilreviers Freiberg

Im Teilrevier Freiberg verfällt relativ viel Grubenwasser bis zum Rothschönberger Stolln. Nach [69] liegt dieser Abfluss bei 65 l/s. Dieser Gesamtzufluss ist in mehrere Gruppen aufteilbar:

- Aufsteigendes Kluftwasser als sog. Thermalwässer des mittleren Kluftgrundwasserumlaufes.
- Zuflüsse auf Trakten des Rothschönberger Stollns
- Zuflüsse an Trakten des Rothschönberger Stolln vorbei in den Flutungswasserraum

Thermalwässer

Bei Gangauffahrungen oder dem Gangabbau auf den tiefen Sohlen hat man in der Grube Freiberg aufsteigende Thermalwässer angeschnitten, die zum mittleren Kluffgrundwasserumlauf gehören, indem benachbart kaltes Wasser auf Kluffkaskaden vorzugsweise in den Gängen und Störungen absteigt. In der letzten Betriebsperiode sind die Thermalwässer mit ihrem Einfluss auf den Erzabbau und die Wasserhaltung genau beobachtet worden. Die bedeutendsten Zuflüsse sind in [22] S. 451-457 mit Daten zur Grubenwasserhaltung beschrieben.

Gegenwärtig ist dieser Zufluss nur noch anteilig vorhanden, jedoch nach Örtlichkeit und Menge unbekannt. Zwei Maßnahmen haben den Zufluss verringert:

- a) Abdämmung der stärkeren Zuflüsse in der letzten Betriebsperiode zur Kostensenkung bei der Wasserhaltung
- b) Flutung der Grube Freiberg und damit Aufbau eines hydraulischen Gegendruckes bis zum Niveau ca. 200 mNN

Zuflüsse auf Trakten des Rothschnberger Stollns

Diese Wasserströme wurden bereits oben, Abschnitt 5.2.2 beschrieben.

Zuflüsse an Trakten des Rothschnberger Stolln vorbei

Zu den Zuflüssen, die direkt auf dem Haupttrakt und auf den Flügeln des Rothschnberger Stollns beobachtet worden sind, kommen Zuflüsse in den Flutungsraum der Grube Freiberg, weil einige Abstiegswege von oberen Sohlen am Streckennetz des Rothschnberger Stollns vorbei in die Tiefe führen.

Wertet man den alten Wasserbericht [22] Anlage 67 daraufhin aus, dann kann man folgende Abstiegswege des Grubenwassers bestimmen:

- Thurmhof Stehender IV. bis X. Maßschacht im Bereich des alten umfangreichen Kupfer-Silber-Bergbaus bis zum Flutungsniveau und danach als Unterstrom im Niveau der 5. Sohle, stark mineralisiertes Grubenwasser
- Gottlob Morgengang nördlich vom David Schacht bis zum Flutungsniveau und dann als Unterstrom auf der 4. Sohle zum David Schacht von dort mit bekannten Zuläufen als Unterstrom zum Schacht Reiche Zeche

5.3 Grube Halsbrücke

Die Hauptgänge der Grube Halsbrücke folgen dem Tal und den Talhängen der Freiburger Mulde. Die kurzen oberen Stolln in die Talhänge sind hinsichtlich der Wasserführung unbedeutend. Der dem Talverlauf folgende Anna Stolln verliert auf den Gängen das Grubenwasser an den Rothschnberger Stolln. Der Zustand der oberen Stolln ist bei sachkundigen Personen bekannt. Die Zuflussspunkte auf die oberen Stolln sind nicht dokumentiert. Es gibt auch keine Angaben zu den Frachten solcher Zuflüsse. Ein Schwerpunkt für Untersuchungen wären die Strecken und Abbaue unter der ehemaligen Hütte Halsbrücke und unter den Berge- und Sandhalden des Beihilfe Richtschachtes.

Im Istzustand verfällt fast das gesamte Grubenwasser bereits bis zum Rothschnberger Stolln mit seinen beiden Flügeln in der Lagerstätte.

Die Verfallpunkte auf den Rothschnberger Stolln liegen diffus verteilt auf den abgebauten Erzgängen. Es ist technisch nicht mehr möglich, das Wasser der oberen Stolln auf einen Verfallpunkt hin zu leiten.

6 Schwermetallführung der Grubenwässer

6.1 Geochemische Grundlagen

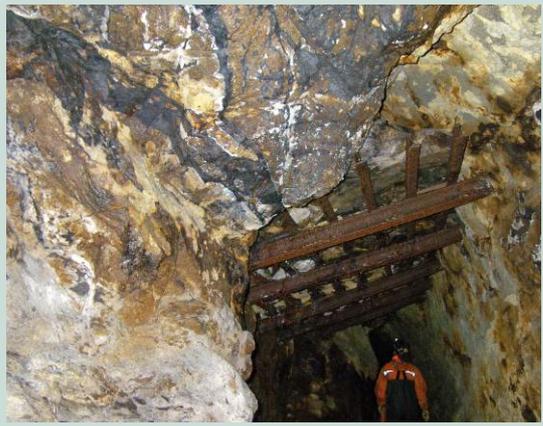
An dieser Stelle erfolgt eine kurze Darstellung der zur Interpretation der Ergebnisse dieser Studie wichtigen hydrogeochemischen Prozesse.

Die Freiburger Ganglagerstätte enthält an Massenerzen Pyrit, Arsenopyrit, Galenit und Sphalerit. Hinsichtlich der Umweltauswirkungen ist ein Gehalt von ca. 0,6 % Cd als CdS im Gitter des Sphalerits von großer Bedeutung. Außerdem finden sich geringe Mengen Chalkopyrit für sich oder mit Sphalerit verwachsen.

Diese Erze waren Ziel des Bergbaus und wurden untertage abgebaut, zur Oberfläche gefördert, dort aufbereitet (Gewinnung von Konzentraten von Sphalerit, Galenit, Pyrit und Arsenopyrit) und nachfolgend verhüttet. Alle diese Prozesse verliefen nicht mit 100 % iger Ausbeute:

- Bei der bergmännischen Gewinnung in der Zeit vor 1913 erfolgte ein selektiver Abbau der damals nutzbaren Erze: Erze mit einem Mindest-Silbergehalt (geschätzt 0,04 %), bleireiche Erze sowie Zinkblende-Reicherz. Alle anderen Erze wurden nicht abgebaut und verblieben in der Lagerstätte.
- In der Zeit ab 1945 erfolgte der Abbau nur, wenn die Erzgänge Mindestparameter erreichten: Mindesmächtigkeit 30 cm, Minimalgehalte von 2,3 % Pb und 2,7 % Zn. Gangpartien unterhalb dieser Minestanforderungen verblieben in der Grube.
- In der Erzaufbereitung nach 1937 wurden Ausbringen von 80-92 % bei Pb, 66-85 % bei Zn und 40-60 % bei S erzielt. das bedeutet, dass zeitweise 1/5 des Bleis, 1/3 des Zinks und mehr als die Hälfte des Schwefels in die Aufbereitungsabgänge gelangten. diese
- All dies bedeutet, dass sowohl in der Grube als auch auf den Halden große Mengen Resterze verblieben, die bei Kontakt mit Sauerstoff du Wasser oxident werden und so Schwermetalle freisetzen können.

Tabelle 6: Charakterisierung der verschiedenen Typen von Resterzen

Resterztyp	Charakteristik	Beispiel
nicht abgebaut	<ul style="list-style-type: none">– von Grubenbauen angeschnittene, aber nicht abgebaute Gangbereiche– Erzinhalt vollständig im Gang verblieben	

Restertyp	Charakteristik	Beispiel
Versatz	<ul style="list-style-type: none"> - von Grubenbauen angeschnittene Gangbereiche - Erze und Bereiche des Nebengesteins abgebaut - Abbauraum wieder verfüllt - große Restermengen im Versatz 	
Bergehalde	<ul style="list-style-type: none"> - über Tage aufgehaldet - grobkörniges Material aus Vortrieb und Abbau - Nebengesteinsfragmente - wechselnde Restermengen - infolge der Feinkörnigkeit und exponierten Lage der Verwitterung zugänglich - Sickerwässer gelangen unter Tage und führen zur Belastung der Grubenwässer 	
Spülhalde (Tailings)	<ul style="list-style-type: none"> - über Tage aufgehaldet - feinkörniges Material aus der Erzaufbereitung - wechselnde Mengen Resterz, abhängig von Effizienz der Aufbereitung 	
Hüttenindustrie - Altstandorte	<ul style="list-style-type: none"> - über Tage - Bodenverunreinigungen im Zuge des Hüttenbetriebs - dadurch Belastung des Grundwassers - Übertritt von Schwermetallen in die Grubenwässer 	

Resterztyp	Charakteristik	Beispiel
Hüttenindustrie - Schlacken- und Rückstandshalden	<ul style="list-style-type: none"> - über Tage aufgehaldet - variable Korngröße - infolge Verarbeitung von Fremderzen Elementspektrum nicht auf den Inhalt der Lagerstätte beschränkt 	

Unter atmosphärischen Bedingungen sind die Sulfide nicht stabil und werden oxidiert. Die Verwitterung von Zinkblende und Bleiglanz erfolgt dabei **ohne Säurebildung**:

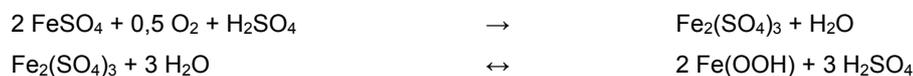


Saure Sickerwässer lassen sich hingegen nur durch die Oxidation von Pyrit und Arsenkies herleiten:



Diese Reaktionen bewirken eine starke (primäre) Säurefreisetzung (1 kg Pyrit liefert 0,82 kg Schwefelsäure).

Im Weiteren bewirkt die Oxidation und anschließende Hydrolyse der Fe(III)-Verbindungen zusätzliche Säurefreisetzung unter Abscheidung schwer löslicher Eisenverbindungen:



Diese Prozesse führen zur Entstehung der typischen sauren und an gelöstem Eisen armen Sicker- und Grubenwässer.

Sowohl die Sulfidoxidation als auch die Oxidation Fe(II) → Fe(III) werden durch Mikroben (z.B. „Thiobacillus ferrooxidans“) extrem, bis zum Mehrtausendfachen, beschleunigt. Voraussetzung ist die Anwesenheit von Sauerstoff und Wasser.

Zur Herkunft des Sauerstoffs ist folgendes zu bemerken. Die versickernden Oberflächenwässer sind zunächst sauerstoffgesättigt und enthalten um 10 mg/l O₂. Damit ist folgende Bilanz der Oxidation möglich:

Sauerstoffgehalt im Wasser	10 mg/l
entspricht	0,31 mmol/l O ₂
entspricht	0,62 mmol/l O
1 mol ZnS erfordert zur Oxidation zu ZnSO ₄	4 mol O
10 mg O ₂ können oxidieren	14,6 mg ZnS
dabei entsteht	24,2 mg ZnSO ₄
entspricht	9,8 mg Zn

Durch Einwirkung des Wassers mit 10 mg/l O₂ können demnach 9,8 mg Zn freigesetzt werden. Diese ergeben in dem 1 l Wasser eine Zn-Konzentration von 9,8 mg/l. Bei einem Zn-Cd-Verhältnis von 1 : 100 in der Zinkblende entspricht dies einem Cd-Gehalt von ca. 0,1 mg/l. Da in den Sickerwässern Cd-Gehalte bis 12 mg/l gefunden wurden, wird deutlich, dass die Oxidation der Sulfide nur zu einem kleinen Teil durch den gelösten Sauerstoff der versickernden Niederschlagswässer erfolgt, sondern eine Belüftung und damit Zufuhr von gasförmigem Sauerstoff erfordert.

Diese Bilanzierung zeigt, welche hohe Bedeutung freiliegende Resterze in Abbauen, Versatzräumen und Halden für die Mobilisierung der Schwermetalle aus dem Haldenmaterial haben.

Bei der Mobilisierung der Schwermetalle spielen noch andere Prozesse eine Rolle. Beispielsweise können sich in gewöhnlich nicht überstauten Grubenbereichen hoch mineralisierte und stark schwermetallhaltige Standwässer ansammeln, in denen ggf. durch Verdunstung eine noch stärkere Anreicherung stattfindet. Dies wird in Abbildung 4 verdeutlicht.

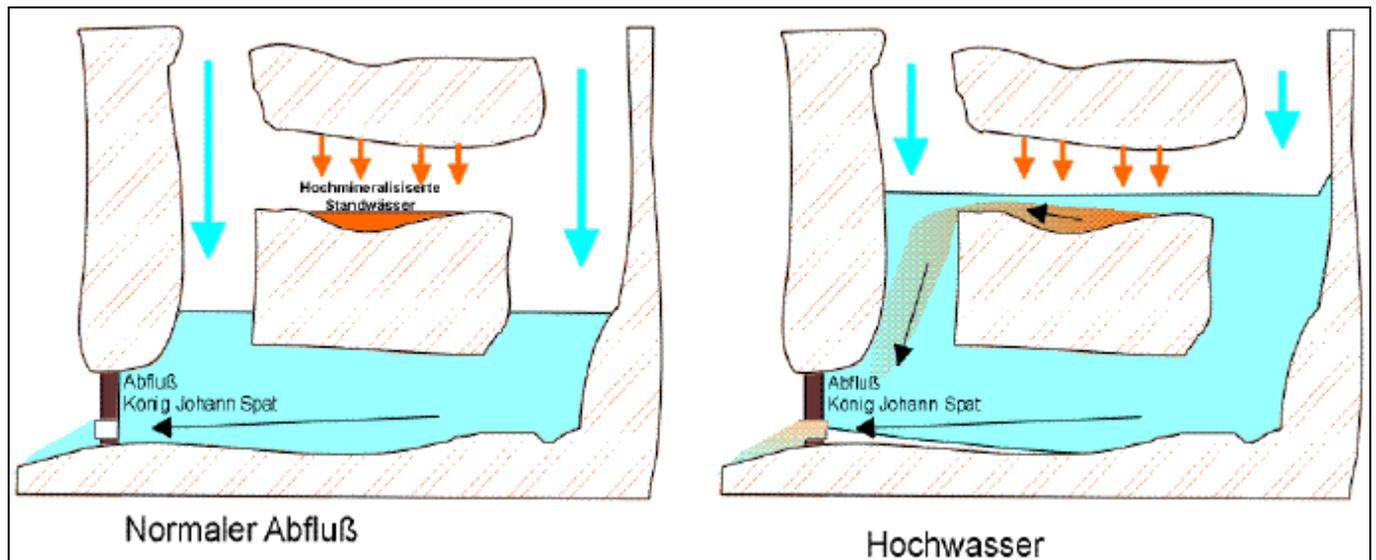


Abbildung 4: Möglichkeit der Mobilisierung von Schwermetallen aus hoch mineralisierten Standwässern infolge Wasseranstiegs (Beispiel: Ablauf Brander Revier am Verspünden König Johann Spat, aus [36])

Wird der Bereich dann infolge Wasseranstiegs überstaut, erfolgt eine Mobilisierung dieser Wässer und damit der Schwermetalle. Dies bewirkt verstärkte Mobilisierungsprozesse und damit Anstieg der Konzentrationen im Grubenwasser. Somit wirkt dieser Prozess der Verdünnung bei höheren Wasserständen entgegen.

6.2 Verhalten der Schwermetalle im Grubenwasser

Nach der Oxidation der Sulfide gelangen die Schwermetalle in die Grubenwässer und verhalten sich dort gemäß ihrer geochemischen Charakteristik. Dieses Verhalten wird vor allem von pH und Redoxpotential des Wassers bestimmt. Abbildung 5 gibt eine Übersicht über das Fällungsverhalten wichtiger Metalle anhand von Erfahrungen aus der Abwasserbehandlung.

Betrachtet man nur die Hydroxidfällung, so ergibt sich daraus folgende Fällungsreihe:



Dies zeigt deutlich die starke Mobilität des Cadmiums unter natürlichen Bedingungen. Weiterhin wird deutlich, dass Fe³⁺ und Al³⁺ bereits bei pH < 5 nahezu vollständig gefällt sind. Dies stimmt mit den Untersuchungsergebnissen überein. Die anderen Metalle fallen erst bei pH >> 7 aus. Das ungünstigste Fällungsverhalten weisen Nickel und Cadmium auf. Zu Fällung von Cd ist ein pH von fast 11 erforderlich. Das ungünstige Fällungsverhalten von Pb (ab pH 10,3) besätigt sich in den Grubenwässern

nicht. Vermutlich durch den großen Sulfatüberschuss wird Pb bereits bei viel niedrigerem pH gefällt und so aus den Grubenwässern abgetrennt. Dies erklärt die im allgemeinen sehr niedrigen Pb-Gehalte der Wässer.

In Anwesenheit von zusätzlichem Carbonat verändert sich die Fällungsreihenfolge folgendermassen:



In den Grubenwässern des Freiburger Reviers sind entsprechende Bedingungen mit $\text{pH} > 8,5$ und signifikanten Gehalten löslichen Carbonats jedoch nicht gegeben.

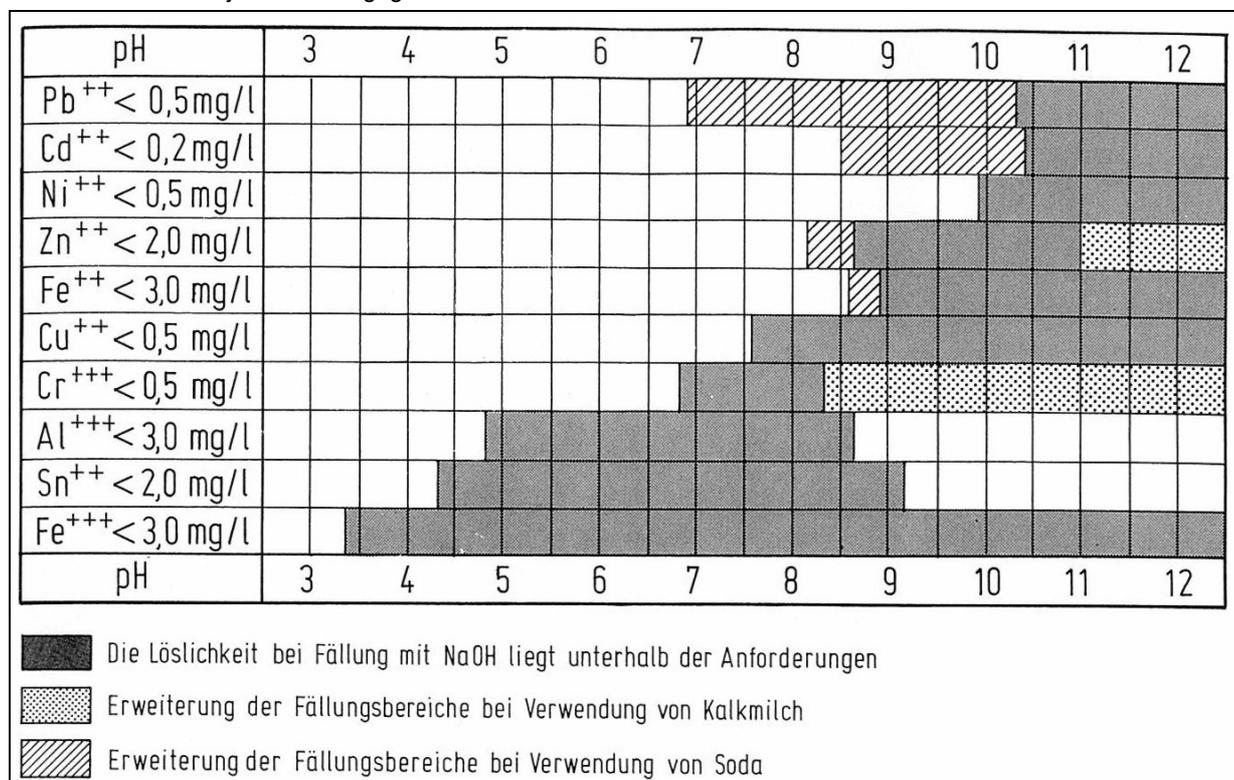


Abbildung 5: Fällungs-pH wichtiger Metalle aus verdünnten Lösungen (Anforderungen gemäß Rahmen VwV, aus [80])

Eine wesentliche Erkenntnis lässt sich aus diesen Betrachtungen ableiten: Derzeit existieren keine Prozesse, die natürlicherweise Cadmium in größerem Maße aus dem Grubenwasser entfernen. Dies bedeutet, dass ohne technische Maßnahmen Verringerungen von Cd-Frachten an einer zur Erhöhung der Fracht an anderer Stelle führen müssen.

6.3 Überblick zur Herkunft der Schwermetalle

In diesem Abschnitt soll die räumliche Herkunft der Schwermetallbelastungen in den Grubenwässern zusammengefasst werden. Nach obigen Ausführungen entstammen die Schwermetalle folgenden Quellen:

- aufgeschlossene, aber nicht abgebaute Lagerstättenteile
- Versatz
- Bergehalden
- Spülhalden (Tailings)
- Hüttenindustrie - Altstandorte
- Hüttenindustrie - Schlacken- und Rückstandshalden

Frühere Untersuchungen zeigten, dass die schwermetallbelasteten Wasserströme im RSS aus räumlicher Sicht hauptsächlich folgenden Bereichen entstammen:

- Revier Brand-Erbisdorf - Austritt aus Verspünden auf König Johann Spat (Grubenwässer)
- Bereich Morgenstern-Muldenhütten (Grubenwässer, Sickerwässert aus Bereich Muldenhütten)
- Haldenkomplex Davidschacht (Sickerwässer)
- Revier Halsbrücke mit den beiden Teilbereichen Beihilfe und Churprinz (Grubenwässer)
- Diffuse Quellen im Freiburger Revier (freiliegende Gangbereiche, Versatz)

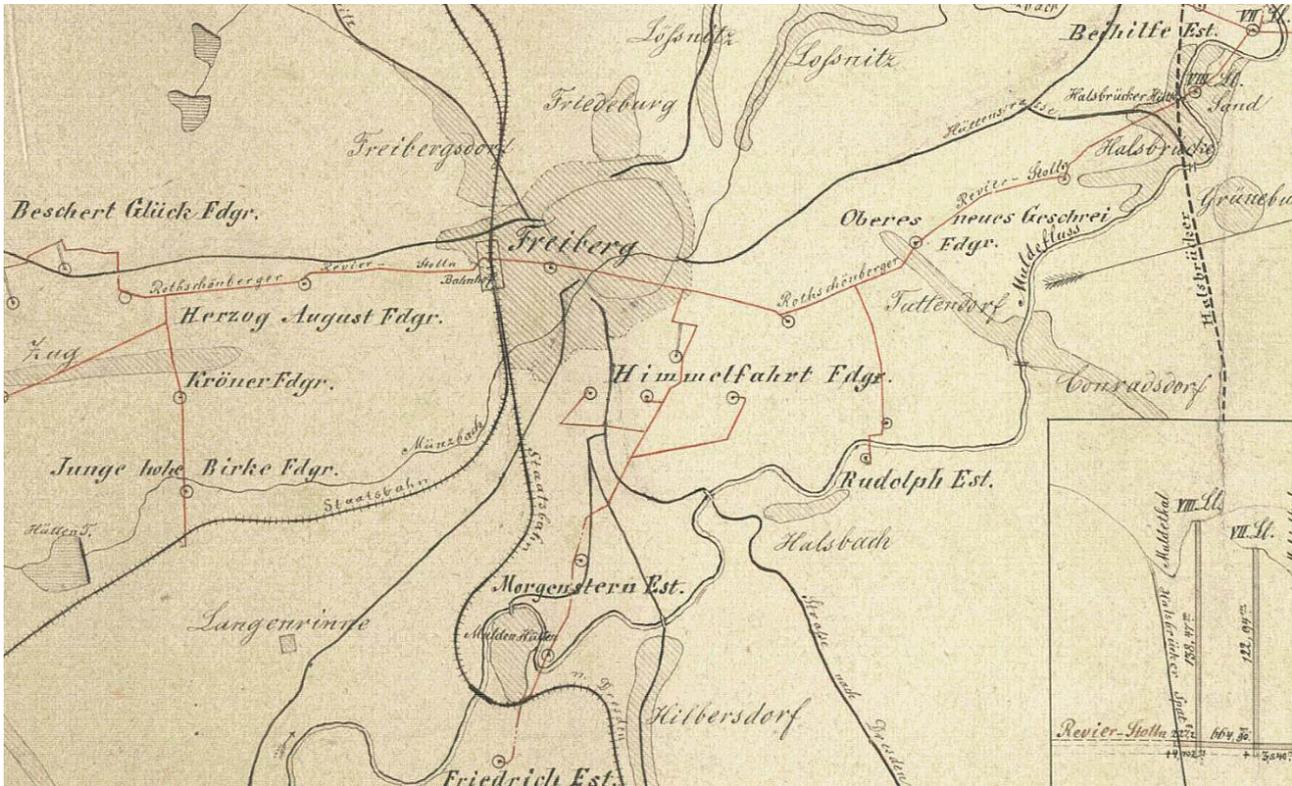


Abbildung 6: Verlauf des Rothschönberger Stollns in den Teilrevieren Halsbrücke und Freiberg (-Muldenhütten) (aus [49])

6.3.1 Teilrevier Brand-Erbisdorf einschließlich Stauraum Kavernenkraftwerk

Die Grubenwässer aus dem Revier Brand-Erbisdorf sammeln sich auf der RS-Stollnsohle und treten aus dem Verspünden auf dem König Johann Spat (etwa auf Höhe des Dreibrüder Schachtes) aus. Der Bereich dahinter ist derzeit nicht zugänglich, daher sind keine weiteren Aussagen möglich und es existieren nur geringe Eingriffsmöglichkeiten. Dieser Wasserstrom führt etwa 50% der Schwermetallfracht, ist jedoch möglichen Minderungsmaßnahmen entzogen.

Der obere Grubenwasserablauf über den Thelersberger Stolln und Neuen Segen Gottes Stolln wird

- von Sickerwässer von Bergehalden der Schächte
- von Resterzen in Gängen versetzten und offenen Grubenbauen über dem Flutungswasserspiegel
- von Kluftsystemen im Nebengestein mineralisiert. Das gegenwärtig nur noch sehr begrenzte Einzugsgebiet der beiden Stolln lässt keine hohe Konzentration erwarten

Der untere Grubenwasserablauf erfolgt im Rothschönberger Stolln und wird am Hauptverspünden auf dem König Johann Spat beim Drei Brüder Schacht gebündelt. Dieses Grubenwasser ist durch

- Sickerwässer von Bergehalden der Schächte
- Resterze in zahlreichen nicht abgebauten Gangbereichen
- versetzte und offene Grubenbaue über dem Flutungswasserspiegel

■ Kluftsystemen im Nebengestein

■ abfließende Wässer von Flutungs- und Stauräumen

mineralisiert, stellt demnach ein Mischwasser dar. Die Vermischung erfolgt beim Eintritt in den Flutungsraum. Das Mischwasser steigt im Constantin Schacht nach oben, wobei an diesem Schacht ein Reststrom vom oberen Niveau des Rothschnöberger Stollns zufließt, dem der Einfluss von Flutungswasser fehlt. Probenahmen am Constantin Schacht sind nicht ohne weiteres möglich. Der Drei Brüder Schacht wird 2015 rekonstruiert, so dass die Probenahme am Hauptverspünden künftig wahrscheinlich machbar sein wird.

6.3.2 Teilrevier Morgenstern-Muldenhütten

Das Teilrevier Morgenstern schließt sich östlich an die Grube Freiberg an. Während im 19. Jahrhundert ein umfangreicher Bergbau stattfand, erfolgten seitens des Buntmetallbergbaus im 20. Jahrhundert keine Bergbauarbeiten. Die letzten Aktivitäten fanden in den Jahren 1948-50 seitens der SAG Wismut zur Erkundung von Uranvererzungen mit geringer Erzgewinnung statt. Bereits in den hydrogeochemischen Untersuchungen zur Belastung von Mulde und Elbe anfang der 1990er Jahre (u.a. [81]) wurden z.T. extreme Schwermetall- und Arsenkonzentrationen in Oberflächenwässern des Bereichs Muldenhütten, insbesondere im Glücksilberstern Stolln, festgestellt. Parallel dazu fanden sich im Wasser des Glücksilberstern Stollns auch erhöhte Bromidgehalte bis 23 mg/l.

Bei der Untersuchung Freiburger Grubenwässer im Jahre 1993 wurden ebenfalls lokal vereinzelt erhöhte Bromidgehalte gemessen. Dies betraf das im Schacht Reiche Zeche aus dem Flutungsraum aufsteigende Wasser und setzte sich bis zum Mundloch des RSS fort. Da ansonsten an keinen anderen Messspunkten, merkliche Bromidgehalte festgestellt worden waren, führte dies zur Vermutung, dass Wässer aus dem Bereich Muldenhütten in den Flutungsraum der Grube Freiberg gelangen. Insbesondere waren die Ablaufwässer des Brander Reviers im RSS frei von Bromid.

Zur Prüfung dieser Vermutung wurde das umfangreiche Datenmaterial des Landesmessnetzes Oberflächengewässer einer Auswertung hinsichtlich Bromid unterzogen. Bei Betrachtung der Mittelwerte der Bromidgehalte zeigt sich Folgendes:

- Häufung erhöhter Gehalte im Gebiet Muldenhütten: MRU- und RWE-Kanal, Glücksilberstern Stolln, Hüttenrösche, Hüttenbach
- erhöhte Gehalte in der Freiburger Mulde unterhalb Muldenhütten (ab Messpunkt Hilbersdorf)
- durchgängig erhöhte Gehalte am Mundloch des RSS
- erhöhte Gehalte der Tribisch ab Mündung des RSS
- keine erhöhten Gehalte in Stangenbergbach, VGS und HSU

Dies belegt hinreichend, dass im Gebiet von Muldenhütten eine signifikante Quelle von Bromid für die Oberflächen- und Grubenwässern vorhanden ist. Da die Teilreviere Freiberg und Muldenhütten unterhalb des RSS nicht verbunden sind, kann der Übertritt der Wässer nur über den RSS selbst erfolgen. Als Fließweg kommt demnach nur der Morgensterner Flügel (siehe Anlage 1) in Frage. Dieser führt vom Morgensterner Abrahamschacht in Richtung Nordwest zum RSS-Haupttrakt. Erhöhte Bromidgehalte finden sich im RSS erst im Flutungswasserüberlauf der Reichen Zeche, nicht in dem aus Richtung Revier Brand kommende Wasser. Daher können die Wässer aus Muldenhütten nicht über den Westquerschlag zum RSS fließen (Anlage 1). Vielmehr müssen diese auf der Sohle des RSS in den Abrahamschacht oder Davidschacht verfallen. Dies wird durch die unterschiedlichen Sohlhöhen der Füllörter der Schächte bedingt (siehe Tabelle 7). Anschließend fließen die Wässer vermischt im Flutungsraum zur Reichen Zeche, steigen dort auf und fließen in den RSS. Das Bromid ist demnach ein Tracer für Wässer aus dem Teilrevier Muldenhütten.

Da in den Wässern des Gebietes Muldenhütten häufig neben erhöhten Bromidgehalten auch signifikante Schwermetallgehalte festgestellt wurden, ist es wahrscheinlich, dass auch merkliche Schwermetallfrachten aus diesem Bereich kommen. Eine Quantifizierung dieses Frachtanteils ist jedoch aufgrund fehlender Datengrundlage nicht möglich.

Zur Herkunft des Bromids sind keine Erkenntnisse vorhanden. Die Quelle ist aber in den Ablagerungen in Muldenhütten zu vermuten, aus denen Sickerwässer austreten und sowohl in Gruben- als auch Oberflächenwässer gelangen.

6.3.3 Haldenkomplex Davidschacht

Der obere Grubenwasserablauf über den Verträgeliche Gesellschaft Stolln wird in stofflicher Hinsicht von der großen Bergehalde des David Schachtes mit beiden Spülhalden (Davidschacht und Hammerberg) der Erzaufbereitung dominiert. Hinzu tritt ein großes Grubenfeld mit Erzgangresten, versetzten und offenen Grubenbauen über dem Flutungswasserspiegel und einige wenige Kluftsysteme im Nebengestein. Das Grubenwasser auf dem Haupttrakt des Verträgeliche Gesellschaft Stolln wird zusätzlich durch fremde Wassereinleitung am Junge Löwe Schacht beeinflusst (verbrauchtetes Kühlwasser, das ursprünglich aus dem Grabensystem südlich Freibergs stammt).

Die hydrochemischen Verhältnisse in diesem Bereich sind in der Vergangenheit insbesondere hinsichtlich Cadmium intensiv untersucht worden, z.B. in [49] und [76] und deshalb gut bekannt.

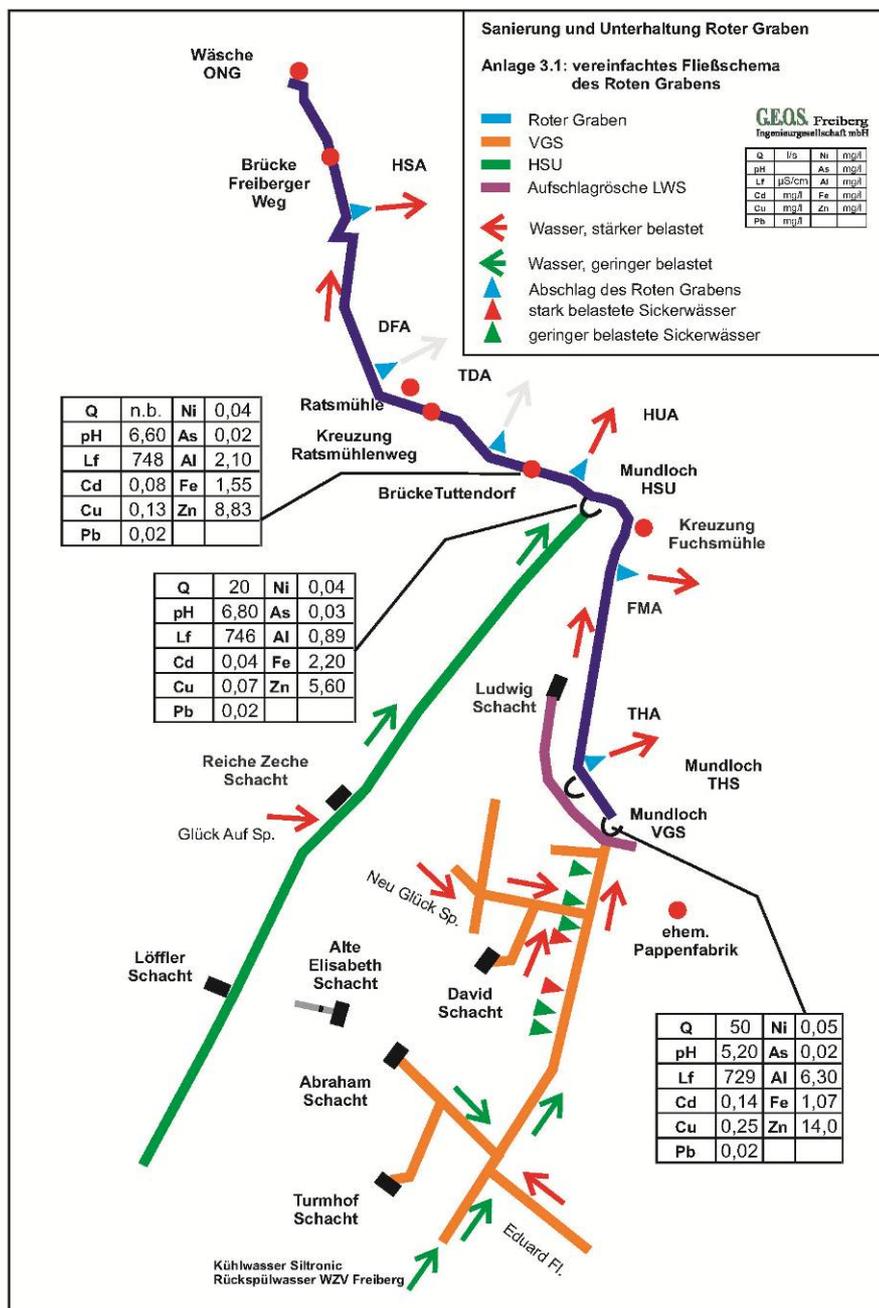


Abbildung 7: Oberer Grubenwasserablauf Grube Freiberg aus [49]

Der Haldenkomplex emittiert demnach ca. 514 g/d an Cd. Die aus dem Haldenkomplex Davidschacht ausgetragene Cd-Fracht ist damit etwas größer als die über den VGS abgeführte (479 g/d). Gewisse Cd-Mengen werden auf anderen Wegen emittiert, darunter ca. 68 g/d, die in Richtung RSS abgeführt werden. Da der RSS im Mittel 1062 g/d Cd abführt, sind dies ca. 6,4 %. Damit ist über den Wasserpfad vom Haldenkomplex Davidschacht zum RSS nur ca. 6,4 % der Cd-Fracht des RSS beeinflussbar.

6.3.4 Revier Halsbrücke mit den beiden Teilrevieren Beihilfe (Halsbrücke) und Churprinz (Großschirma)

Der obere Grubenwasserablauf im Niveau Freiburger Mulde über den Anna Stolln und mehrere Kleinstolln ist in der Menge unbedeutend und hinsichtlich der Mineralisation des Grubenwassers nicht untersucht.

Der untere Grubenwasserablauf erfolgt in der Grube Halsbrücke im Rothschönberger Stolln und wird am VII. Lichtloch gebündelt (Anlage 1, Anlage 2). Hier fließen drei Teilströme zusammen. Teilstrom 1 (Haupttrakt des RSS) kommt aus den Gruben Freiberg und Brand als Mischwasser an. Der Teilstrom 2 steigt im Beihilfe Richtschacht im Flutungsraum auf und fließt auf dem kurzen Beihilfe Flügel zum Haupttrakt des Rothschönberger Stolln. Der Teilstrom 3 fließt auf dem Churprinzer Flügel dem Haupttrakt zu.

Der Teilstrom 2 (Beihilfe Richtschacht) wird durch

- Sickerwässer aus Bergehalden der Schächte
- Sickerwässer aus Schlackenalden und Altlasten der Halsbrücker Schmelzhütten
- Resterze in zahlreichen nicht abgebauten Gangbereichen
- versetzte und offene Grubenbaue über dem Flutungswasserspiegel
- Kluftsysteme im Nebengestein
- durch den großen Flutungsraum

mineralisiert und stellt demnach ein Mischwasser dar. Die Vermischung erfolgt beim Eintritt in den Flutungsraum. Das Mischwasser steigt im Beihilfe Richtschacht nach oben.

Der Teilstrom 3 (Churprinzer Flügel) wird durch

- Sickerwässer aus Bergehalden der Schächte
- Resterze in zahlreichen nicht abgebauten Gangbereichen
- versetzte und offene Grubenbaue über dem Flutungswasserspiegel
- Kluftsysteme im Nebengestein

mineralisiert. In diesen Flügel tritt keine Grubenwasser ein, dass durch Flutungs- oder Stauräume mineralisiert ist.

6.3.5 Diffuse Quellen im Freiburger Revier

Neben den beschriebenen gut bekannten Quellen von Schwermetallen existiert eine große Zahl weiterer Quellen, die nicht genau lokalisierbar sind. Daher werden sie als diffuse Quellen aufgefasst. Diese bedingen die Schwermetallgehalte, welche sich in fast jedem untertägigen Wasserstrom finden.

Eine besondere Rolle spielen diese diffusen Quellen im oberen Grubenwasserablauf aus dem Bereich Reiche Zeche, der hauptsächlich über den Hauptstollnumbruch erfolgt. Die Schwermetallgehalte in dessen Wasser sind weniger durch Sickerwässer aus Halden und Altstandorten und stark durch Wässer aus vielen Gangbereichen mit Erzgangresten sowie versetzten und offenen Grubenbauen über dem Flutungswasserspiegel und von Wasser aus Kluftsystemen im Nebengestein bedingt. Das gegenwärtig relativ große Einzugsgebiet des Hauptstollnumbruchs mit der Vielzahl diffuser Quellen spiegelt sich im Grubenwasser am Mundloch in zwar verglichen mit dem VGS deutlich geringeren, aber dennoch signifikanten Konzentration wider (Tabelle 12 bis Tabelle 14).

7 Hydrologische und hydrogeochemische Charakterisierung des Rothschönberger Stollns

Da der Rothschönberger Stolln im Fokus vorliegender Studie steht, erfolgt an dieser Stelle eine Zusammenfassung der Rechercheergebnisse zu Hydrologie und Hydrogeochemie dieses Stollns.

7.1 Hydraulische Verhältnisse

Der Rothschönberger Stolln ist Bestandteil des Wassernetzwerkes der Freiburger Reviers im weiteren Sinne. Er entwässert die drei großen Teilreviere

- Brander Revier
- Freiburger Revier einschließlich Teilrevier Muldenhütten
- Halsbrücker Revier einschließlich Teilrevier Großschirma

Eine Gesamtübersicht findet sich in Abbildung 8.

Die Wasserschüttungsmengen der Teilströme im RSS betragen gemäß [69]

Brand : Freiberg : Halsbrücke : Großschirma \approx 63 : 14 : 12 : 11.

Demgemäß kommt aus dem Brander Revier die größte Wassermenge (63 %). Nachfolgend erfolgt eine kurze Charakterisierung der Teilströme.

7.1.1 Teilrevier Brand (63 % Anteil am Durchfluss)

Das Teilrevier Brand ist flächenmäßig sehr ausgedehnt. Es reicht vom Südrand des Reviers (Langenau) bis zum Drei Brüder Schacht im Norden. Auf oberen Stollen erfolgt nur eine geringfügige Entwässerung über den Thelersberger und den Neue Segen Gottes Stolln. Die Hauptwassermenge verfällt zum Rothschönberger Stolln. Dies war nach Einstellung des bergbaus 1969 planmäßig so eingerichtet worden, da die Wässer der oberen Stolln zum RSS verfällt, dort gestaut und für den Betrieb des Kavernenkraftwerks Dreibrüderschacht genutzt werden sollte.

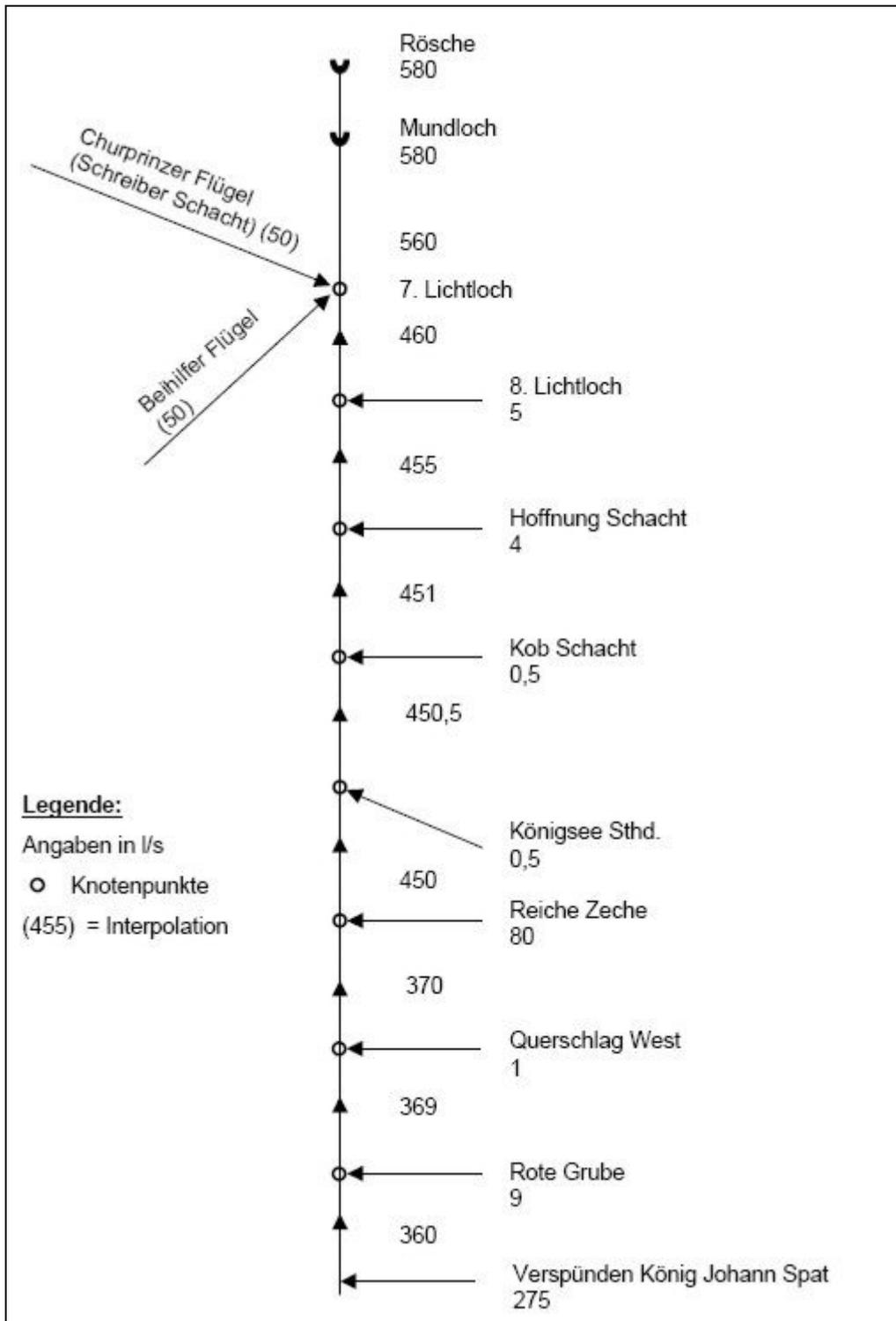


Abbildung 8: Wasserstammbaum des Rothschönberger Stollns, abgeschätzte Mittelwasser-
 verhältnisse (aus [46])

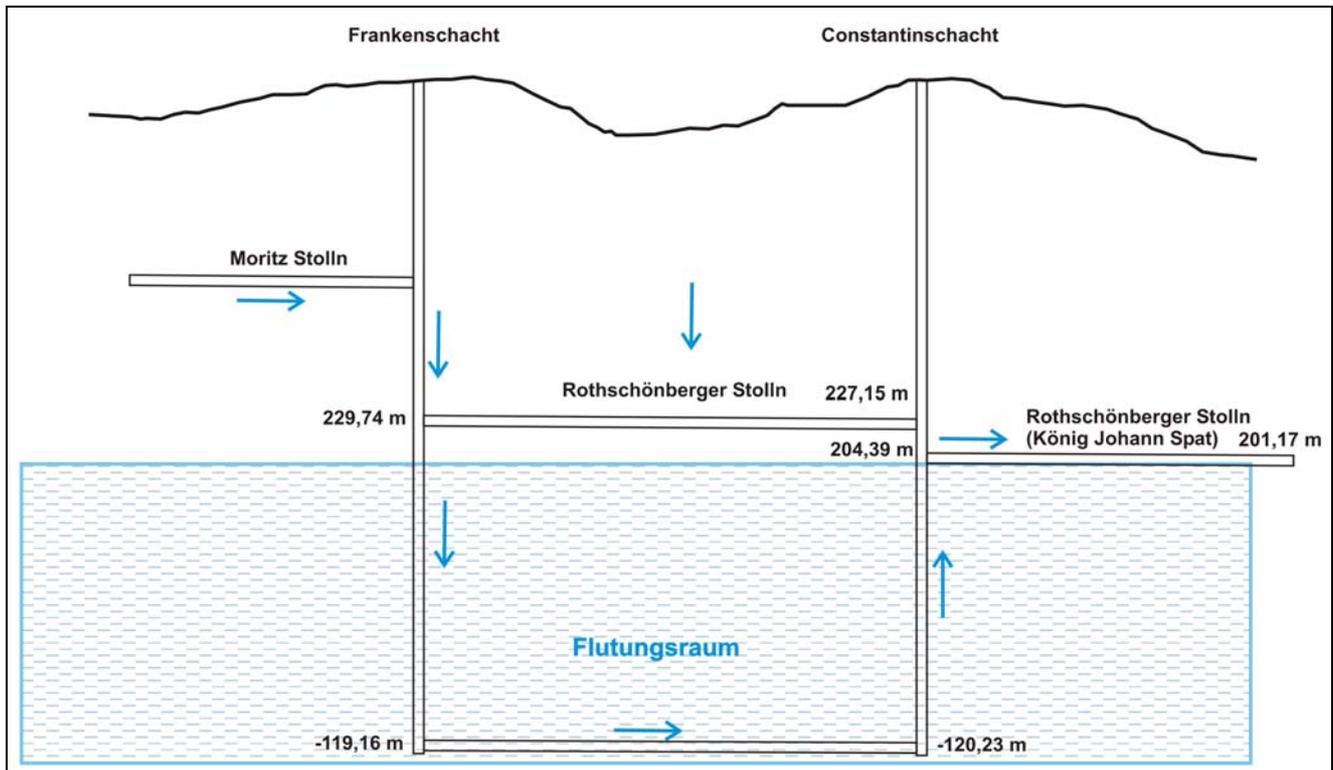


Abbildung 9: Skizze der Grubenwasser-Fließwege im Brander Revier (umgezeichnet aus [69])

Die beiden Faktoren großes Einzugsgebiet und geringe Ableitung durch obere Stolln erklären die großen Abflussmengen aus dem Revier (Anteil 63%) sowie die hohen Schwermetallfrachten.

7.1.2 Teilrevier Freiberg (14 % Anteil am Durchfluss)

Das Teilrevier Freiberg umfasst die Grube Freiberg im engeren Sinne. Dies entspricht dem Abschnitt des Rothschönberger Stollns zwischen Drei Brüder Schacht und der Grenze zum Halsbrücker Teilrevier zwischen Tuttendorf und Halsbrücke. Einen Überblick gibt Abbildung 10.

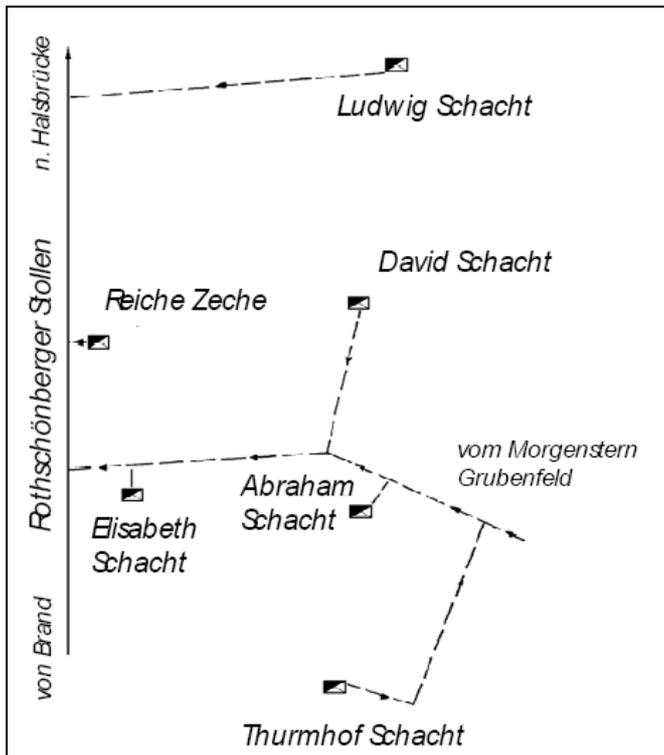


Abbildung 10: Skizze der Schächte, die im Revier Freiberg an den RSS angeschlossen sind (aus [48])

Eine Besonderheit des Reviers Freiberg ist, dass der Ablauf des über die Schachtröhre der Schachtes Reiche Zeche erfolgt. Der Grund dafür liegt in der unterschiedlichen Sohlhöhe der Füllörter der angeschlossenen Schächte.

Tabelle 7: Sohlhöhen des Rothschönberger Stollns an den Füllörtern wichtiger Schächte des Freiburger Reviers

Schacht	Sohlhöhe des Rothschönberger Stollns (m HN)
Reiche Zeche	198,56
Alte Elisabeth	199,10
Abraham Schacht	199,80
David Schacht	200,80
Turmhof Schacht	201,30

Es wird deutlich, dass die Reiche Zeche mit 198,56 m der tiefste Punkt des Reviers in der Rothschönberger Stollnsohle ist. Dies hat zur Folge, dass die Wässer an den anderen Schächten in den Flutungsraum verfallen und auf tieferen Sohlen der Reichen Zeche zuströmen, dort aufsteigen und schließlich am Füllort überlaufen und dem Stolln zugeführt werden.

Der Verlauf der Strömung wird in Abbildung 11 anhand einer Fließgeschwindigkeitsmessung aus dem Jahre 2001 verdeutlicht. Demnach herrscht im tiefsten Abschnitt der Schachtröhre eine geringe Fließgeschwindigkeit, die im Bereich der 13. Sohle merklich aufwärts gerichtet wird. Im Bereich von 11. und 12. Sohle finden sich turbulent durchströmte Abschnitte, was einerseits auf größere Zuflüsse, andererseits auf gewisse Einengungen der Schachtröhre hindeutet.

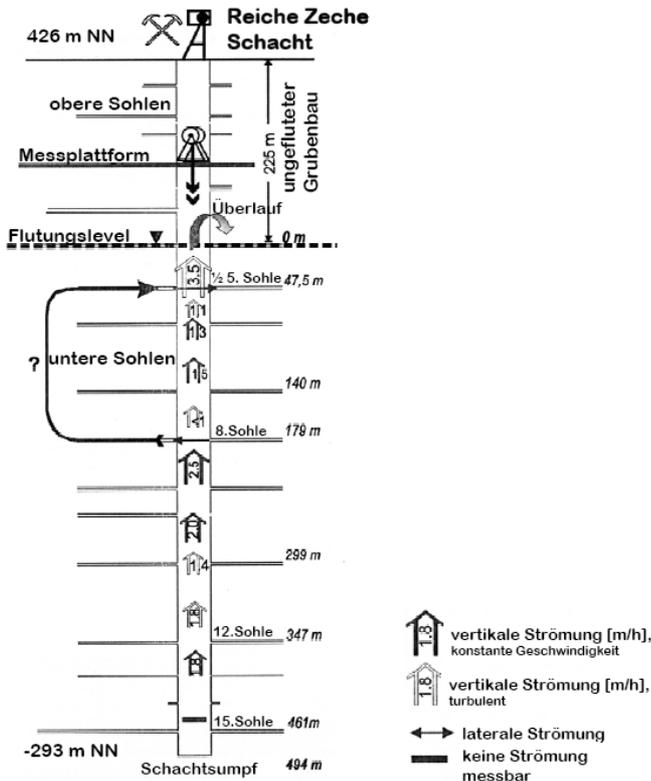


Abbildung 11: Ergebnis der Fließgeschwindigkeitsmessung im Jahre 2001 (aus [48])

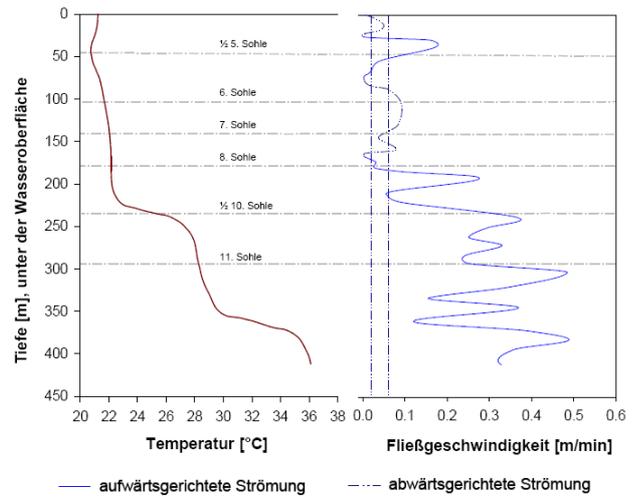


Abbildung 12: Tiefenprofile von Temperatur und Fließgeschwindigkeit nach Messungen 1988 (aus [48])

Frühere Untersuchungen aus dem Jahre 1988 (Abbildung 12) zeigten ähnliche Verhältnisse mit sprunghaften Änderungen der Wassertemperatur im Bereich der 1/2 10. und 13. Sohle bei insgesamt sehr ungleichmäßiger Fließgeschwindigkeit.

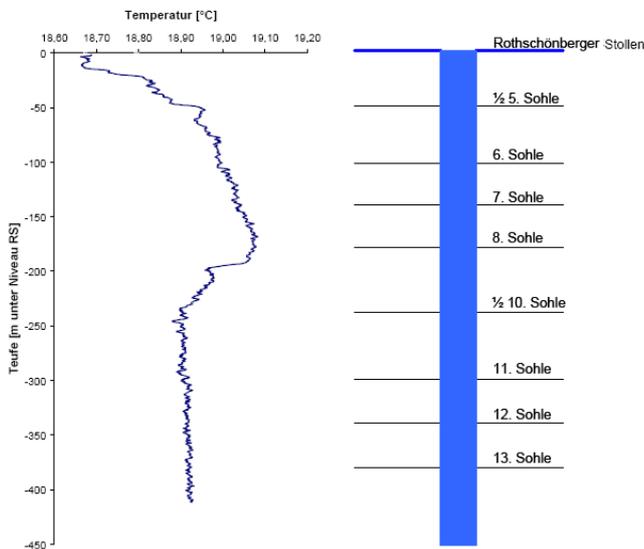


Abbildung 13: Temperaturprofil im gefluteten Reiche Zeche Schacht am 06.07.2006 (aus [48])

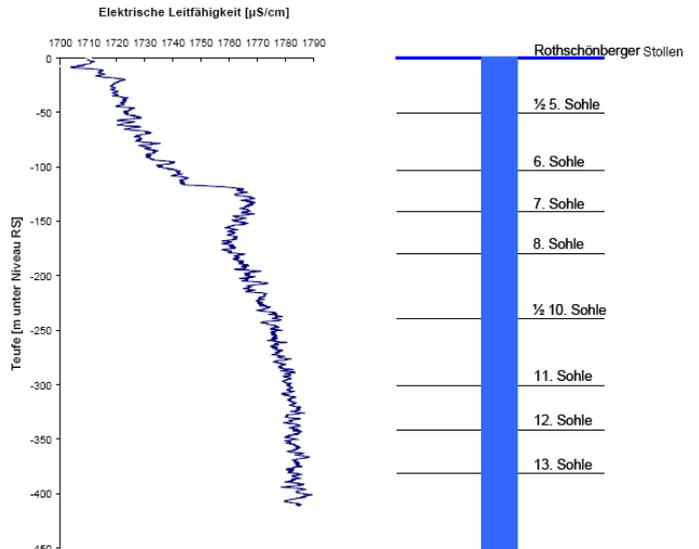


Abbildung 14: Profil der el. Leitfähigkeit im gefluteten Reiche Zeche Schacht am 06.07.2006 (aus [48])

In Abbildung 13 und Abbildung 14 sind die Profile von Wassertemperatur bzw. elektrischer Leitfähigkeit der jüngsten Messung im Jahre 2006 dargestellt. Die Wassertemperatur zeigt einen Anstieg bis zur 8. Sohle, dann einen sprunghaften Rückgang und anschließend bis zum Ende der Messung gleich bleibende Tendenz. Dies deutet auf den Zufluss kälterer Wässer hin, die aus

höheren Niveaus stammen. Auf der 8. Sohle besitzt der Schacht Reiche Zeche mehrere Verbindungen zu den Schächten David, Abraham, Turmhof und Ludwig, also den Hauptschächten der Grube. Auf dieser Sohle könnten die in den anderen Schächten versinkenden Wässer der Reichen Zeche zufließen.

In der Zusammenschau der Ergebnisse zeigen sich zu den einzelnen Messzeitpunkten deutliche Abweichungen der angetroffenen hydraulischen Verhältnisse. Dies ist entweder auf unterschiedliche und evtl. fehlerbehaftete Messmethoden oder Änderungen der Strömungsverhältnisse, z.B. infolge jahreszeitlich bedingter Wassertemperaturschwankungen bedingt.

7.1.3 Teilrevier Halsbrücke - Großschirma (zusammen 24 % Anteil am Durchfluss)

Das Teilrevier Großschirma stellt die westliche Fortsetzung des Teilreviers Halsbrücke dar und bildet mit diesem geologisch und lagerstättenmäßig eine Einheit. Aus bergbaulicher Sicht erfolgt jedoch eine getrennte Entwässerung (Anlage 2). Diese erfolgt

- über den Halsbrücker Flügel aus Richtung Beihilfe Schacht
- über den Churprinzer Flügel aus Richtung Schreiberschacht - Ferdinandschacht

Beide Flügel münden nur wenig voneinander entfernt in der Nähe des VII. Lichtloches östlich Halsbrücke in den Rothschnöberger Stolln.

7.2 Teilströme des Wassers im Rothschnöberger Stolln

Letzte detaillierte Untersuchungen zur Auflösung der einzelnen Quellen von Schwermetallen im Rothschnöberger Stolln liegen aus dem Jahre 2001 vor [69], sind also ca. 15 Jahre alt. Zur Prüfung, ob die damaligen Messwerte trotzdem in die Betrachtungen einbezogen werden können, wird in Tabelle 8 für die Messstelle „Mundloch Rothschnöberger Stolln“ ein Vergleich zwischen den Daten aus dem Jahre 1999 [69] mit den Mittelwerten 2004-2012 [59] angestellt.

Tabelle 8: Vergleich der Konzentrations-Mittelwerte im Wasser des RSS der Jahre 1999 [69] und 2004-2012

Parameter	Einheit	1999	2004-2012	Differenz (%)
HCO ³⁻	mg/l	103	98,8	-4,1
SO ₄ ²⁻	mg/l	313	279,7	-10,6
Ca	mg/l	112	106,7	-4,7
Mg	mg/l	29	24,6	-15,2
Na	mg/l	39	32,4	-17,0
K	mg/l	6	5,3	-11,8
gelöste Konzentration				
Al	µg/l	42	63,22	+50,5
As	µg/l	1,5	2,15	+43,3
Cd	µg/l	30	22,62	-24,6
Cu	µg/l	16	8,46	-47,2
Fe	µg/l	17	0,091	-99,5

Parameter	Einheit	1999	2004-2012	Differenz (%)
Mn	µg/l	2015	1112,0	-44,8
Ni	µg/l	43	31,90	-25,8
Pb	µg/l	6	1,70	-71,6
Zn	µg/l	4735	3672	-22,5
Gesamtkonzentration				
Al	µg/l	291	243,2	-16,4
As	µg/l	17	15,5	-8,9
Cd	µg/l	31	24,4	-21,2
Cu	µg/l	40	22,2	-44,4
Fe	µg/l	1217	0,75	-99,9
Mn	µg/l	2180	1218	-44,1
Ni	µg/l	44	34,9	-20,6
Pb	µg/l	40	20,2	-49,4
Zn	µg/l	4852	3990	-17,8

Es zeigt sich, dass bei Al, As, Cu, Fe, Mn und Pb Differenzen >30% (sowohl Zuwachs als auch Rückgang) auftreten. Dies ist hauptsächlich durch den stärker partikulären Transport dieser Metalle und dessen größere Variabilität bedingt. Außerdem könnte das Hochwasser 2002 von Einfluss gewesen sein.

Bei den im Stollwasser hinsichtlich der Anforderungen der WRRL besonders relevanten Elemente Cd, Ni und Zn liegen die Differenzen in der Größenordnung von -20%. Mit dieser begrenzten Abweichung sind die Daten grundsätzlich verwendbar.

Tabelle 9 zeigt Mittelwerte relevanter Parameter der 4 Zuflüsse. In Tabelle xxx sind die Frachten und die Frachtanteile der einzelnen Teilreviere dargestellt.

Tabelle 9: Mittlere gelöste Konzentrationen und Wasserparameter in den Hauptzuläufen zum Rothschnberger Stolln [69]

Parameter	Einheit	Teilrevier			
		Brand	Freiberg	Halsbrücke	Großschirma
Abfluss	l/s	300	65	58	54
Leitfähigkeit	µ/cm	581	2667	986	863
O2 Konz.	mg/l	9	0,5	8,5	9,4
Temperatur	°C	13,1	18,4	14,1	13,8
Schweb	mg/l	1,4	5,7	1,5	1,1

Parameter	Einheit	Teilrevier			
		Brand	Freiberg	Halsbrücke	Großschirma
Cl	mg/l	34	210	75	63
HCO ₃ ⁻	mg/l	106	101	98	87
NO ₃ ⁻	mg/l	9,1	3,6	5	6,4
SO ₄ ²⁻	mg/l	235	1200	224	235
Ca	mg/l	82	290	91	89
Mg	mg/l	25	19	17	19
Na	mg/l	19	244	48	39
K	mg/l	4,5	16	7,3	7,2
Al	µg/l	43	500	1	7
As	µg/l	7	3	64	44
Cd	µg/l	22	70	23	14
Cu	µg/l	14	41	136	48
Fe	µg/l	90	1200	1778	1867
Mn	µg/l	768	11100	2543	2323
Ni	µg/l	16	58	n.b.	n.b.
Pb	µg/l	6	24	52	46
Zn	µg/l	3737	14400	1680	3248

Konzentrationen

Es wird deutlich, dass der Zufluss aus dem Freiburger Teilrevier (Reiche Zeche) die höchsten Schwermetallkonzentrationen aufweist. Der mittlere Cd-Gehalt liegt bei 70 µg/l, der Zn-Gehalt bei 14.000 µg/l. Demgemäß ist auch die Leitfähigkeit mit 2700 µS/cm hoch. Die hohe Wassertemperatur von im Mittel 18,4 °C zeigt, dass in der Schachtröhre der Reichen Zeche Wässer aus tieferen Sohlen aufsteigen.

Die anderen drei Teilströme weisen überwiegend deutlich geringere Gehalte auf.

Frachten

In Tabelle 10 sind die mit den Teilströmen mitgeführten Frachten sowie die jeweiligen Anteile an der gesamten Cd-Fracht des RSS dargestellt.

Tabelle 10: Mittlere gelöste Frachten der 4 Hauptzuläufe zum Rothschönberger Stolln im Vergleich sowie die Anteile der Teilreviere [69]

	Frachten (g/h)				Frachtanteil (%)			
	Brand	Freiberg	Halsbrücke	Großschirma	Brand	Freiberg	Halsbrücke	Großschirma
Cl ⁻	36.756	49.140	15.660	12.247	32	43	14	11
HCO ₃ ⁻	114.696	23.634	20.462	16.913	65	13	12	10
SO ₄ ²⁻	253.800	280.800	46.771	45.684	40	45	7	7
Ca	88.992	67.860	19.001	17.302	46	35	10	9
Mg	27.468	4.446	3.550	3.694	70	11	9	9
Na	20.916	57.096	10.022	7.582	22	60	10	8
K	4.831	3.744	1.524	1.400	42	33	13	12
Al	47	117	0,2	1,4	28	71	0,1	1
As	7,5	0,7	13	8,6	25	2	44	29
Cd	24	16	4,8	2,7	51	34	10	6
Cu	15	10	28	9,3	24	16	45	15
Fe	97	281	371	363	9	25	33	33
Mn	829	2.597	531	452	19	59	12	10
Ni	17	14	-	-	55	45	-	-
Pb	6,3	5,6	11	8,9	20	18	35	28
Zn	4.036	3.370	351	631	48	40	4	8

Die Verhältnisse werden in Abbildung 15 graphisch verdeutlicht.

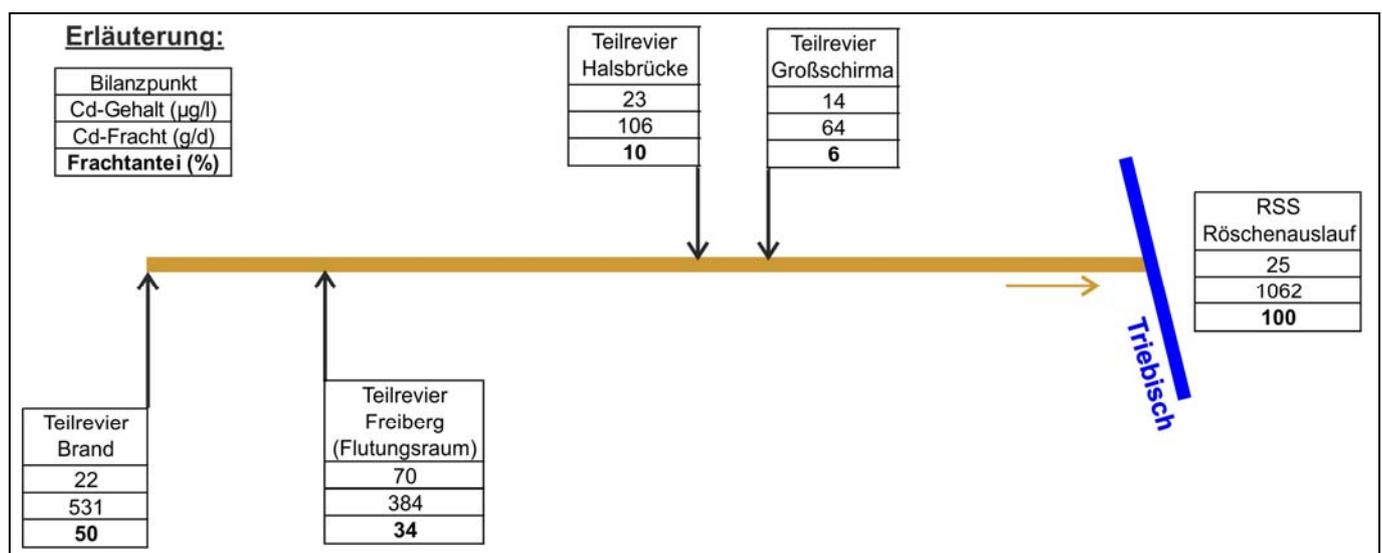


Abbildung 15: Bilanzierung der Cadmiumfrachten der Zuflüsse innerhalb des Rothschönberger Stollns (Daten aus [69])

Es lassen sich folgende wesentliche Erkenntnisse ableiten:

- Etwa die Hälfte der Schwermetallfracht stammt aus dem Brander Revier und fließt über das Verspünden im König Johann Spat zu
- Nur etwa 1/3 der Fracht entstammt dem Freiburger Teilrevier
- Der Anteil des Halsbrücke-Großschirmaer Teilreviers liegt bei nur 16 %

8 Übertägige cadmiumbelastete Wasserströme

Wie bereits mehrmals erwähnt, sind die untertägigen Wasserströme häufig mit übertägigen verknüpft. Daher werden nachfolgend die bekannten signifikant Cd-führenden Wasserströme im Sinne von Punktquellen beschrieben. Da die Stollnwässer der oberen Sohlen (VGS, HSU) ebenfalls den Charakter von Punktquellen haben, werden sie hier mit eingeordnet.

8.1 Charakterisierung

Tabelle 11 und Abbildung 16 geben einen Überblick über die bekannten Punktquellen. Dabei wurden Messstellen des Landesmessnetzes sowie aus [75] berücksichtigt.

Tabelle 11: Charakterisierung der übertägigen Cd-belasteten Wasserströme im Gebiet von Freiberg

Quelle	Vorfluter	Charakterisierung	Foto
RWE-Kanal	Freiberger Mulde (r)	Kanal (Rohrauslauf) Rohrauslauf aus Ufermauer der Freiberger Mulde in Muldenhütten	
MRU-Kanal	Freiberger Mulde (r)	Kanal (Rohrauslauf) Mündung im Bereich der Straßenbrücke Hüttenstraße über die Freiberger Mulde	
Glücksilberstern Stolln	Freiberger Mulde (r)	Stolln Mündung in die Freiberger Mulde, entwässert Teile von Muldenhütten	

Quelle	Vorfluter	Charakterisierung	Foto
Hüttenbach	Freiberger Mulde (I)	<p>Bach</p> <p>entwässert einen kleinen Teil des Geländes der Hütte Freiberg</p> <p>Mündung über Kaskade in die Freiberger Mulde gegenüber Muldenhütten</p>	
Mundloch Hüttenrösche Morgenstern	Freiberger Mulde (I)	<p>Stolln / Kanal</p> <p>entwässert Teile des Geländes Muldenhütten,</p> <p>Mündung in die Freiberger Mulde unterhalb Muldenhütten</p>	
Stangenbergbach	Freiberger Mulde (I)	<p>Bach</p> <p>entwässert einen großen Teil des Geländes der Hütte Freiberg und des Bahneinschnittes,</p> <p>Mündung im Bereich der Straßenbrücke Hüttenstraße über die Freiberger Mulde</p>	

Quelle	Vorfluter	Charakterisierung	Foto
Ablauf Spülhalde Hammerberg	Freiberger Mulde (I)	<p>Kanal (Rohrauslauf)</p> <p>führt die Sickerwässer der Spülhalde Hammerberg ab, Mündung in die Freiberger Mulde an der Hammerbrücke in Halsbach</p>	
Verträgliche Gesellschaft Stolln	<p>Roter Graben → Freiberger Mulde (I)</p>	<p>Stolln</p> <p>entwässert den Bereich Davidschacht, Einleitung von Fremdwasser durch Fa. Wacker Siltronic, Mündung in Roten Graben, dieser wiederum über mehrere Abschlagbauwerke in Freiberger Mulde</p>	

Quelle	Vorfluter	Charakterisierung	Foto
Hauptstolln Umbruch	Roter Graben → Freiberger Mulde (l)	Stolln entwässert den Bereich Hauptstollgang Stehender - Lehrgrube Reiche Zeche / Alte Elisabeth Mündung in Roten Graben, dieser wiederum über mehrere Abschlagbauwerke in Freiberger Mulde	
Neuer Segen Gottes Stolln	Große Striegis (l)	Stolln entwässert den westlichen Teil des Brander Reviers, Mündung in die Große Striegis unterhalb Ortslage Linda	
Thelersberger Stolln	Große Striegis (r)	Stolln entwässert den östlichen Teil des Brander Reviers	

l - Mündung linksseitig

r - Mündung rechtsseitig

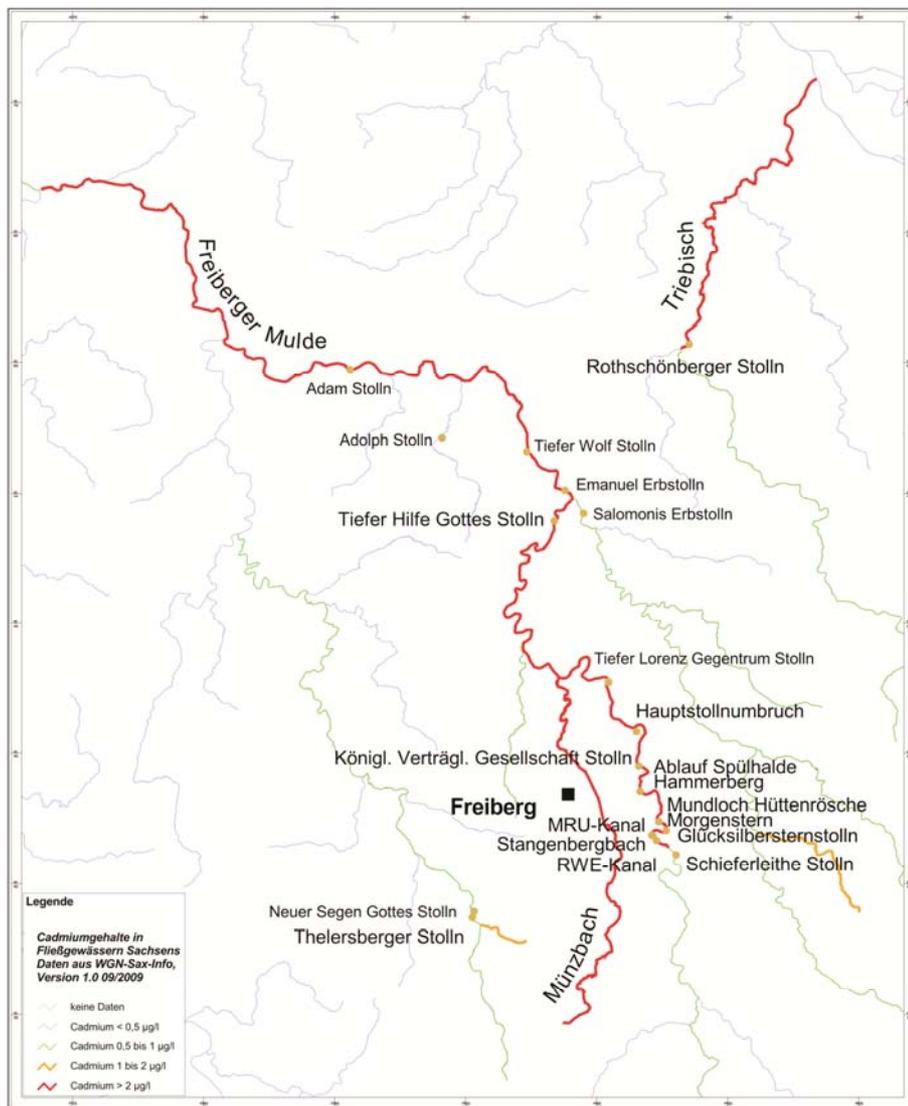


Abbildung 16: Punktquellen miterhöhten Cd-Gehalten im Freiberg Raum (aus [75])

Tabelle 12 zeigt die Wassergütedaten in Form der Mittelwerte gemäß Wassergütedaten und [55]. Die Frachten an Schwermetallen und Arsen sind in Tabelle 13 dargestellt. Die Durchflussdaten beruhen dabei auf eigenen Messungen im Jahre 2015.

Um die Bedeutung der Punktquellen einschätzen zu können wurden die Frachten summiert und denen im Rothschönberger Stolln gegenübergestellt (Tabelle 14). Die Aufstellung der prozentuellen Anteile der einzelnen Punktquellen findet sich schließlich in Tabelle 15.

Tabelle 12: Relevante Punktquellen für Schwermetalle und Arsen im Freiburger Revier - Konzentrationen im Wasser (Mittelwerte)

			RWE-Kanal	MRU-Kanal	Ablauf Spülhalde Hammerberg	Stangenbergbach	Hüttenbach	Mundloch Hüttenr. Morgenstern	Vertr.-Ges.-Stolln	Hauptstolln-Umbruch	Neuer Segen Gottes Stolln	Thelersberger Stolln	Glücksilbersternstolln
			OBF31501	OBF31502	OBF31511	OBF31530	OBF31540	OBF31541	OBF33010	OBF33020	OBF33603	OBF33650	-
El.Leitfähigkeit	ges.	µS/cm	906	2.822	1.948	676	2.777	806	643	702	426	353	860
pH-Wert	gel.	[-]	6,63	7,32	5,51	6,43	8,02	6,40	5,27	6,92	7,04	7,19	5,04
Sulfat	gel.	mg/l	313	500	1.343	283	397	253	270	255	159	96	547
Silber	gel.	µg/l	0,3	0,1	0,2	<0,1	0,4	<0,1	0,2	0,2	0,1	<0,1	<0,1
Silber	ges.	µg/l	0,4	0,3	0,4	0,4	2,1	1,3	0,4	0,3	0,4	1,1	0,254
Aluminium	gel.	µg/l	369	356	9.093	172	193	2.650	3.800	187	2.033	29	3.740
Aluminium	ges.	µg/l	949	789	15.162	450	2.077	550	6.654	1.029	408	240	5.150
Arsen	gel.	µg/l	15,1	24,3	2,9	1,3	6,6	432,0	3,7	6,7	11,0	1,3	20,1
Arsen	ges.	µg/l	45,3	70,3	22,7	3,8	35,0	37,8	17,0	30,0	8,0	32,3	82,3
Cadmium	gel.	µg/l	174,9	58,8	339,4	212,2	10,9	212,5	135,0	42,2	70,9	0,8	514
Cadmium	ges.	µg/l	183,1	65,1	376,9	214,8	16,2	210,0	143,5	46,2	91,7	1,6	514
Kupfer	gel.	µg/l	531,9	95,8	776,9	18,4	7,7	265,0	228,2	27,3	177,0	<2	1.610
Kupfer	ges.	µg/l	731,5	154,0	877,7	22,0	31,8	510,0	271,2	80,8	687,2	8,7	1.650
Eisen	gel.	mg/l	0,1	0,1	0,1	<0,02	0,1	0,0	0,2	0,3	0,4	0,1	0,08
Eisen	ges.	mg/l	0,3	0,4	1,0	0,4	3,4	0,9	1,0	2,1	1,5	7,3	0,485
Nickel	gel.	µg/l	193,0	54,7	105,5	33,4	4,9	120,0	42,2	39,3	111,9	11,6	261

			RWE-Kanal	MRU-Kanal	Ablauf Spülhalde Hammerberg	Stangenbergbach	Hüttenbach	Mundloch Hüttenr. Morgenstern	Vertr.-Ges.-Stolln	Hauptstolln-Umbruch	Neuer Segen Gottes Stolln	Thelersberger Stolln	Glücksilbersternstolln
			OBF31501	OBF31502	OBF31511	OBF31530	OBF31540	OBF31541	OBF33010	OBF33020	OBF33603	OBF33650	-
Nickel	ges.	µg/l	204,4	68,9	116,2	35,7	14,8	122,5	48,2	43,7	149,2	15,5	260,8
Blei	gel.	µg/l	92,6	144,1	16,1	4,6	18,8	552,5	12,5	2,6	1.287	1,3	1.747
Blei	ges.	µg/l	217,1	285,2	47,3	16,5	220,1	202,5	23,3	19,3	235,2	21,4	1.760
Thallium	gel.	µg/l	3,8	4,1	0,4	0,8	62,3	2,8	0,2	0,1	4,5	<0,1	2,07
Thallium	ges.	µg/l	3,9	3,8	0,4	2,7	76,6	2,7	0,4	0,2	4,4	<0,1	9,17
Uran	gel.	µg/l	0,7	0,4	4,0	<0,2	0,6	0,5	2,5	0,5	0,5	0,1	1,43
Uran	ges.	µg/l	0,9	0,4	5,5	0,4	1,1	1,1	3,2	1,0	0,4	0,5	1,69
Zink	gel.	µg/l	17.910	3.699	42.059	12.450	847	11.400	14.018	5.534	5.521	134	26.700
Zink	ges.	µg/l	20.000	2.229	46.077	12.437	1.212	11.275	14.720	6.008	7.551	233	27.100

Tabelle 13: Relevante Punktquellen für Schwermetalle und Arsen im Freiburger Revier - Frachten (Angaben in g/d)

	RWE-Kanal	MRU-Kanal	Ablauf Spülhalde Hammerberg	Stangenbergbach	Hüttenbach	Mundloch Hüttenr. Morgenstern	Kgl.-Vertr.-Ges.-Stolln	Hauptstolln-Umbruch	Glücksilbersternstolln	Erzbahnstolln	Schieferleithe Stolln	Summe
Sulfat	4.518	43.167	19.377	39.078	5.735	10.908	1.166.141	440.101	3.781	95.904	6.480	1.835.190
Aluminium	14	68	219	62	30	24	28.743	1.777	36	4.018	8	34.999
Arsen	0,7	6,1	0,3	0,5	0,5	1,6	73	52	0,6	2,4	0,3	138
Cadmium	2,6	5,6	5,4	29,7	0,2	9,1	620	80	3,6	68,7	0,4	825
Kupfer	10,6	13,3	12,7	3,0	0,5	22,0	1.171	140	11,4	138	1,5	1.524
Eisen	3,8	32,7	14,4	55,1	49,7	37,6	4.511	3.702	3,4	134,1	562	9.105
Nickel	2,9	5,9	1,7	4,9	0,2	5,3	208	76	1,8	2,1	0,5	309
Blei	3,1	24,6	0,7	2,3	3,2	8,7	101	33	12,2	0,4	0,5	190
Zink	289	193	665	1.719	17	487	63.590	10.382	187	7.517	34	85.080
Mangan	22	39	121	37	3	80	22.712	7.583	54	272	5	30.929

Tabelle 14: Vergleich von Frachten und Frachtanteilen der Punktquellen und des RSS

	Summe Punktquellen Freiberger Revier (g/d)	Rothschönberger Stolln (g/d)	gesamte Fracht (g/d)	Anteil Punktquellen Freiberger Revier (%)	Anteil Rothschönberger Stolln (%)
Sulfat	1.835.190	12.105.191	13.940.381	13,2	86,8
Aluminium	34.999	11.107	46.106	75,9	24,1
Arsen	138	774	912	15,1	84,9
Cadmium	825	1.062	1.887	43,7	56,3
Kupfer	1.524	1.013	2.537	60,1	39,9
Eisen	9.105	36.936	46.041	19,8	80,2
Nickel	309	1.536	1.845	16,8	83,2
Blei	190	1.005	1.194	15,9	84,1
Zink	85.080	173.709	258.789	32,9	67,1
Mangan	30.929	53.193	84.122	36,8	63,2

Tabelle 15: Relevante Punktquellen für Schwermetalle und Arsen im Freiburger Revier - Frachtanteile verglichen mit dem RSS (Angaben in %)

	RWE-Kanal	MRU-Kanal	Ablauf Spülhalde Hammerberg	Stangenbergbach	Hüttenbach	Mundloch Hüttenrösche Morgenstern	Kgl.-Vertr.-Ges.-Stolln	Hauptstolln-Umbruch	Glücksilbersternstolln	Erzbahnstolln	Schieferleithe Stolln	RSS
Sulfat	0,03	0,31	0,14	0,28	0,04	0,08	8,4	3,2	0,03	0,7	0,05	86,8
Aluminium	0,03	0,15	0,47	0,14	0,06	0,05	62,3	3,9	0,08	8,7	0,02	24,1
Arsen	0,07	0,67	0,04	0,06	0,06	0,18	8,0	5,7	0,06	0,3	0,03	84,9
Cadmium	0,14	0,30	0,29	1,57	0,01	0,48	32,8	4,2	0,19	3,6	0,02	56,3
Kupfer	0,42	0,52	0,50	0,12	0,02	0,87	46,2	5,5	0,45	5,4	0,06	39,9
Eisen	0,01	0,07	0,03	0,12	0,11	0,08	9,8	8,0	0,01	0,3	1,22	80,2
Nickel	0,16	0,32	0,09	0,27	0,01	0,29	11,3	4,1	0,10	0,1	0,03	83,2
Blei	0,26	2,06	0,06	0,19	0,27	0,73	8,4	2,8	1,02	0,0	0,04	84,1
Zink	0,11	0,07	0,26	0,66	0,01	0,19	24,6	4,0	0,07	2,9	0,01	67,1
Mangan	0,03	0,05	0,14	0,04	0,00	0,10	27,0	9,0	0,06	0,3	0,01	63,2

8.2 Schlussfolgerungen

Tabelle 14 zeigt, dass der RSS trotz seiner großen Durchflussmenge nicht bei allen Parametern frachtmäßig die Summe der Punktquellen deutlich überwiegt. Sein Anteil beträgt >80% bei Sulfat, As, Fe, Ni und Pb. Ein besonders großer Anteil (>50 %) wird bei Al und Cu über die oberen Sohlen in die Freiburger Mulde angeführt.

Bei Cd beträgt das Verhältnis zwischen RSS und der Summe der Punktquellen nahezu 1:1. Dies bedeutet, dass aus dem gesamten Freiburger Revier etwa gleiche Frachten Cd in Freiburger Mulde und Triebisch eingetragen werden. Dies stimmt mit den Ergebnissen der Studie [75] überein.

Der Frachtanteil am gesamten Freiburger Revier gemäß Tabelle 15 gibt auch Hinweise zur Relevanz dieser Punktquelle für eine Sanierung bzw. Frachtreduzierung. Hinsichtlich Cadmium ergibt sich folgende Rangfolge:

RSS \approx VGS \gg HSU \approx EBS > Stangenbergbach \gg Hüttenrösche > Ablauf Hammerberg = MRU-Kanal > Glücksilbersternstolln = RWE-Kanal \gg Schieferleithestolln = Hüttenbach.

Die beiden frachtstärksten Punktquellen RSS und VGS liefern fast 90 % der Cd-Fracht und nur für die beiden erscheinen Eingriffe größeren Aufwands verhältnismäßig. Für die Punktquellen mit einer Fracht kleiner als der Stangenbergbach kommt als Maßnahme höchstens eine „Mitbehandlung“ in Frage, wenn sich der Aufwand in Grenzen hält.

9 Schlussfolgerungen und Prämissen für Maßnahmen am Rothschönberger Stolln

Das Stollnsystem des Freiburger Reviers wurde über Jahrhunderte in erster Linie mit dem Ziel der Wasserableitung aus den Bereich der Erzgewinnung aufgeföhren. Der Bergmann war daher bemüht, das Wasser in möglichst hohen Niveaus (obere Stollnsohlen) abzuleiten. Dies galt auch nach Aufföhren tieferer Sohlen weiter. Grund dafür war, die Wässer möglichst von Abbauen fern zu halten und Wasseransammlungen in größeren Teufen zu vermeiden. Heute gilt der Grundsatz prinzipiell weiter, indem aus Gründen des Hochwasserschutzes eine Entlastung der tiefen Stollnsohlen im Tauwetter- und Starkregenfall erfolgen muss. Maßnahmen, die auf eine Verstärkung von Wässern aus oberen Sohlen in tiefere abzielen, stehen dazu in einem gewissen Widerspruch. Zur Bewertung muss daher eine Nutzenabwägung erfolgen.

Aufgrund des großen Einzugsgebietes des Rothschönberger Stollns und dessen Teufenreichweite, der Vielzahl einzelner Wasserströme sowie deren Komplexität ist es sehr schwierig, potentiell geeignete Maßnahmen abzuleiten. Des Weiteren muss wegen der geochemischen Mobilität des Cadmiums und der vielfältigen Verknüpfungen und Abhängigkeiten der Teilströme das gesamte Freiburger Revier einschließlich der oberen Sohlen einbezogen werden. Es wurde daher auf Basis der Rechercheergebnisse ein konzeptionelles Modell der Cd-Frachten für das Freiburger Revier erarbeitet. Dieses ermöglicht die Verwendung des Anteils des Teilstromes an der gesamten Cd-Fracht als Vorauswahl-Kriterium für solche Maßnahmen. Gleichzeitig dient es als Beurteilungskriterium für die Wirksamkeit der Szenarien.

9.1 Allgemeines

Im Freiburger Revier gibt es in den Gruben Freiberg, Brand und Halsbrücke grundsätzlich drei Möglichkeiten für regulierende Eingriffe in den Grubenwasserkörper:

- Variante I: Zusammenführen von Grubenwasser auf den oberen Stolln und Ableitung zum Mundloch mit dortiger Behandlung
- Variante II: Verfällen (Begriffserklärung siehe Abschnitt 5.2.2) von Grubenwasser der oberen Stolln auf den Rothschönberger Stolln und Behandlung der Stollnwässer an dessen Mundloch
- Variante III: Verfällen von Grubenwasser der oberen Stolln auf den Rothschönberger Stolln und Behandlung der Stollnwässer in einem geeigneten Schacht, ggf. unter Nutzung der Energie beim Verfällen.

Tabelle 16: Möglichkeiten regulierender Eingriffe in den Grubenwasserkörper der drei Teilreviere

Grube	I Zusammenfassen auf Oberen Stolln, Behandeln am Mundloch	II Verfällen zum Rothschönberger Stolln. Behandeln am Mundloch	III Behandeln beim Verfällen	Bemerkung
Brand	x	x	-	III scheitert an geeignetem Schacht
Freiberg	x	x	x	III am Reiche Zeche Schacht
Halsbrücke	-	x	-	I keine Gelegenheit wegen zu geringer Teufe II Istzustand

Die Stollnentwässerung wurde von den Bergbaubetrieben stets und allein unter dem Gesichtspunkt der wirtschaftlichsten technischen Lösung für die Ableitung der Grubenwassermengen, nicht jedoch der unterschiedlichen Grubenwasserqualitäten

eingrichtet. Nach der Grubenschließung hat sich ein Istzustand eingestellt, der wie zuvor beim Grubenbetrieb, nur auf die Ableitung der Grubenwassermengen ausgerichtet ist und der nur zufällig auch den Zielen der Grubenwasserbehandlung dienlich ist. Bei der immer noch anstehenden Rekonstruktion der Hauptstolln (bestimmte obere Stolln und Rothschönberger Stolln) wird die Sicherheit der Stollnquerschnitte zur dauerhaften Grubenwasserableitung stets erstes technisches Ziel sein.

Tabelle 17: regulierende Eingriffe in den Grubenwasserkörper und Ziele der Grubenentwässerung

Variante	Übereinstimmung / Widerspruch zu den Zielen der Stollenentwässerung
I Einsammeln auf Oberen Stolln, Behandeln am Mundloch	<ol style="list-style-type: none"> 1. Übereinstimmung: Der Grubenbetrieb war zu jeder Betriebsperiode bestrebt, so viel Grubenwasser als möglich auf den oberen Sohlen einzusammeln und abzuführen. 2. Übereinstimmung: Die damaligen Fassungsbauwerke im Stolln können bei Stollnrekonstruktionen in moderner Bauweise wieder hergestellt werden und ein Strang für Grubenwasser mit höheren Frachten eingezogen werden. Das erfordert sehr hohe Baukosten und Nachsorgekosten. 3. Übereinstimmung: Die oberen Stolln dienen im Istzustand der notwendigen Entlastung des Rothschönberger Stollns im Starkregen und Tauwetterfall 4. Nachteilig für die Grubenwasserbehandlung ist, dass an mehreren Mundlöchern Anlagen arbeiten müssten und die Wassermenge am Mundloch des Rothschönberger Stollns sehr groß ist.
II Verfällen zum Rothschönberger Stolln. Behandeln am Mundloch	<ol style="list-style-type: none"> 1. Widerspruch: Ein Verfällen von Grubenwasser bis auf den Rothschönberger Stolln widerspricht dem Ziel der Entlastung des Rothschönberger Stollns im Starkregen- und Tauwetterfall von jenen Grubenwässern, die auf oberen Stolln bereits abgeleitet werden können. 2. Übereinstimmung: Die Dammbauwerke auf den oberen Stolln zum Rückstau des Grubenwassers bis zum Niveau des Überlaufes in alte Schächte dienen zugleich zum Schutz vor eindringendem Flusswasser bei Extremhochwassern. 3. Nachteilig für die Grubenwasserbehandlung ist, dass die Wassermenge am Mundloch des Rothschönberger Stollns sehr groß ist.
III Behandeln beim Verfällen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Widerspruch: Ein Verfällen von Grubenwasser bis auf den Rothschönberger Stolln widerspricht dem Ziel der notwendigen Entlastung des Rothschönberger Stollns im Starkregen und Tauwetterfall (siehe auch Einleitung Punkt 9) 2. Kompromiss: Es ist technisch hier und da möglich, nur die stark belasteten Teilströme auf den oberen Stolln zu fassen und beim Verfällen zu reinigen.

Nachfolgend werden die technisch unter Umständen noch möglichen Eingriffe in die Grubenwasserkörper zur Verringerung der Frachten anhand der drei aufgegebenen und gefluteten Gruben dargestellt, wobei die Grube Freiberg im Mittelpunkt steht.

9.2 Grube Brand

Für die obere Stollnsohle des Teilreviers Brand wäre eine Behandlungsmaßnahme für die beiden oberen Stolln (Thelersberger Stolln und Neue Segen Gottes Stolln) möglich, weil die beiden Mundlöcher nahe beieinander im Striegistal liegen. Aufgrund der relativ geringen Schwermetallfrachten erscheint dies aber nicht verhältnismäßig.

Der Hauptabstrom des Teilreviers verläuft zum Rothschönberger Stolln. Es ist daher theoretisch möglich, diesen von Schwermetallfrachten zu entlasten. Mangels Zugangs sind solche Möglichkeiten derzeit jedoch nicht absehbar.

9.3 Grube Freiberg

9.3.1 Grube Freiberg - Fassen von Grubenwasser auf oberem Stolln, Behandeln am Mundloch

Zur Grube Freiberg gibt es eine Reihe von historischen Daten [22], mit denen Punkte in der Grube bestimmt werden können, wo zusätzlich zum Istzustand Grubenwasser im Niveau der oberen Stolln gefasst und zum Mundloch abgeleitet werden kann. Die Baumaßnahmen wären bei einer Rekonstruktion des Verträgliches Gesellschaft Stollns und von einzelnen Trakten des

Tiefen Fürstentollns machbar und würden zugleich eine Entlastung des Rothschönberger Stollns bewirken. Ein wichtiger Datensatz für die Grubenwasserverhältnisse auf den oberen Stolln und Möglichkeiten für das Einsammeln von Grubenwässern wird nachfolgend zugrunde gelegt. Die laufende Überwachung von Sickerwässern in einem Teilbereich des Verträgliche Gesellschaft Stolln [51] und ausgewählte Beobachtungen bei Stollnbefahrungen [50] dienen der Ergänzung der Altdaten.

Maßnahmen und Effekte beim Fassen von Grubenwasser

Überblickt man die Ansatzpunkte zur Fassung von zusätzlichem Grubenwasser auf den oberen Stolln indem man es vom Verfällen auf tiefere Sohlen abhält, so ergibt sich folgendes Bild, das in der Tabelle genauer aufgelistet ist:

- Das am stärksten fließende und zugleich stark mineralisierte Grubenwasser vom Thurmhof Stehenden (Punkt 11) im Bereich des Münzbaches ist trotz aller Bemühungen der Grube Freiberg in den 1950er Jahren auch heutzutage technisch nicht fassbar, verfällt weiterhin in den Flutungsraum der Grube Freiberg und fließt auf dem Rothschönberger Stolln ab. Unter Umständen sind bei den Maßschächten noch Probenahmen möglich. Ob kleinere Teile des Wassers dort gefasst und abgeleitet werden können, wäre dabei mit klärbar.
- Eine größere Wassermenge aus dem Bereich Münzbachtal, die beiderseits und auf dem Hauptstollngang Stehender zufließt und jetzt in die Tiefe verfällt, ist fassbar und zum Hauptstollnumbruch ableitbar (Punkte 12, 13, 14). Gegenwärtig ist der Mineralisierungsgrad dieser Grubenwässer nicht bekannt.
- Es kann eine gewisse, jetzt über Abbaue und Schächte verfallende, Grubenwassermenge wieder zum Verträgliche Gesellschaft Stolln geleitet werden. Das betrifft die Punkte 2, 7, 9 und 10. Die dazu notwendigen Arbeiten können bei einer Stollnrekonstruktion mit erledigt werden. Der Mineralisierungsgrad dieser Grubenwässer ist nur für die Punkte 2 und 7 bekannt.

Tabelle 18: Ansatzpunkte zum Fassen von Grubenwasser auf oberen Sohlen

Punkt Nr.	Örtlichkeit	Maßnahmen, Effekt
2	Verträgliche Gesellschaft Stolln, Abbau auf dem Johann Stehenden	Grubenwasser zum Glückauf Spat ableiten, gelangt in Verträgliche Gesellschaft Stolln. Im Rahmen der Stollnrekonstruktion technisch machbar. Mineralisierungsgrad bekannt [49], [51].
7	Verträgliche Gesellschaft Stolln a) Samuel Schacht	
7	Verträgliche Gesellschaft Stolln b) Erzengel Stehender Süd	Grubenwasser zum Neuglück Spat ableiten, gelangt in Verträgliche Gesellschaft Stolln. Im Rahmen der Stollnrekonstruktion technisch machbar. Mineralisierungsgrad bekannt [49], [51].
7	Verträgliche Gesellschaft Stolln c) zwischen Neuglück und Hiob Spat	
9	Thurmhofer Hilfsstolln Kreuz August Spat / Friedrich Spat	Grubenwasser zum Eduard Flachen ableiten, gelangt in Verträgliche Gesellschaft Stolln. Im Rahmen der Stollnrekonstruktion technisch machbar. Mineralisierungsgrad unbekannt.
10	Julius Stehender südlich vom Abraham Schacht	Grubenwasser zum Eduard Flachen ableiten, gelangt in Verträgliche Gesellschaft Stolln. Im Rahmen der Stollnrekonstruktion technisch machbar. Mineralisierungsgrad unbekannt.

Punkt Nr.	Örtlichkeit	Maßnahmen, Effekt
11	Thurmhof Stehender zwischen IV. Maßschacht und Joseph Stehenden	Dieses Grubenwasser aus alten kupfererzführenden Abbauen ist stark mineralisiert. Es bildet sich gegenwärtig noch Zementkupfer. Das Grubenwasser ist nicht fassbar und verfällt in den Rothschönberger Stolln
12	Alt Elisabeth Stehender	Grubenwasser zum Glückauf Flachen und weiter zum Hauptstollnumbruch ableitbar. Vom Lehr- und Forschungsbergwerk aus technisch machbar. Mineralisierungsgrad unbekannt.
13	Glückauf Flacher	Grubenwasser auf kurze Distanz zum Hauptstollnumbruch ableitbar, Mineralisierungsgrad unbekannt
13	Hauptstollgang Stehender beim Löffler Schacht	Größere Wassermenge vom Georg Flügel des Tiefen Fürstenstollns wieder vollständig zum Hauptstollnumbruch ableitbar. Vom Lehr- und Forschungsbergwerk aus technisch machbar. Mineralisierungsgrad unbekannt
14	Hauptstollgang Stehender zwischen Hoffnung Schacht und Glückauf Spat	Auf langer Stollnstrecke viele Zuflusspunkte fassbar und Grubenwasser in Hauptstollnumbruch ableitbar. Vom Lehr- und Forschungsbergwerk aus technisch machbar. Mineralisierungsgrade unbekannt.

9.3.2 Grube Freiberg Verfällen von Grubenwasser aus oberen Stolln zum Rothschönberger Stolln. Behandeln am Mundloch

Zur gegenwärtigen Verfallung von Grubenwasser in den Flutungsraum und dadurch verursachte Fließbewegungen im Flutungsraum liegen kaum belastbare neuere Untersuchungen vor [43], [48], weil man sich mit einem verengten Blick auf die Grubenwasserchemie und Wärmebewegung konzentriert hat [25], [28], [30], [31], [36]. Darüber hinaus sind Abflussmessungen am Rothschönberger Stolln mit Frachtbetrachtungen durchgeführt worden [26], [27], [35], [41], [42] und der Zustand des Rothschönberger Stollns ist aus Befahrungen dokumentiert worden [23], [24], [33], [34], [38], [40], [43], [44], [45], wobei Wasserwegsamkeiten mit beobachtet worden sind.

Es gibt allerdings aus der Betriebszeit grundlegende Erkenntnisse [22] zum Abstieg des Grubenwasser von den oberen Stolln bis zur tiefsten Sohle, die mit neuen Beobachtungen in der Grube ergänzt werden können und damit ein aktuelles Bild zum Verfällen von Grubenwasser erkennbar werden lassen. Die Kenntnisse darüber sind wichtig, wenn man den Grubenwasserstrom so regulieren will, das zusätzlich möglichst viel mineralisiertes Grubenwasser von den oberen Stolln in den Stauraum verfällt und auf dem Rothschönberger Stolln abfließt.

Oben ist bereits auf den grundsätzlichen Widerspruch dieser technischen Lösung zu Zielen der Grubenentwässerung und zum Hochwasserschutz in der Grube Freiberg eingegangen worden. Die Variante II führt demnach zur Verschlechterung anderer wichtigster Aspekte der Grubenentwässerung und ist daher nicht ideal für die Grube Freiberg. In den Gruben Brand und Halsbrücke verfällt unvermeidlich ohnehin schon fast das gesamte Grubenwasser zum Rothschönberger Stolln.

9.3.3 Grube Freiberg Behandeln von Grubenwasser aus oberen Stolln beim Verfällen zum Rothschönberger Stolln

Stellt man sich die Frage nach einem gezielten Behandeln von stark mineralisierten Grubenwässern, dann ist bereits bei der Variante I (Einsammeln von Grubenwasser auf den oberen Stolln) bereits dahin gedacht worden, Teilströme mit stärker mineralisiertem Grubenwasser zu bestimmen, dann separat abzuleiten und am Mundloch zu behandeln. Das ist beim

Verträgliche Gesellschaft Stolln technisch machbar. Im Hauptstollnumbruch ist der Mischwasserstrom schwerlich vorher in Teilströme separierbar. Insgesamt fehlt für diese Lösung in der Grube Freiberg noch eine flächenhafte Analyse und Kategorisierung der auf oberen Stolln zu- und gemeinsam abfließenden Wässer. Lediglich für den Einzugsbereich des Verträgliche Gesellschaft Stolln liegen aus Teilflächen Analysen vor [49], [51].

Bei den stark mineralisierten Grubenwässern handelt es sich um kleinere Mengen mit großer Wirkung auf den Abstrom im Rothschönberger Stolln. Daher ist eine Variante zur Behandlung solcher Grubenwässer beim Verfällen in einem Schacht denkbar, wobei der vertikale Wasserfluss im Schacht zugleich die Antriebsenergie liefert.

Für die Variante II ist der nur oben verplombte, sonst offene David Schacht eine Vorzugsoption. Die wenig mineralisierten Zuflüsse aus dem Haupttrakt und den Flügeln des Verträgliche Gesellschaft Stolln könnten frei abfließen. Die belasteten Wässer müssten in Leitungen gefasst bis zum Abzweig Gesellschaft Stehender vom Neuglück Spat geleitet werden, wo sie dann mittels Damm zum David Schacht fließen. Die Sohlhöhen des Verträgliche Gesellschaft Stolln lassen diese Lösung zu. Solche Arbeiten sind nur im Zuge einer generellen Stollnrekonstruktion mit machbar.

Liste der Maßnahmen und Effekte zum generellen Verfällen gefasster Stollnwässer in der Grube Freiberg

Neben den ohnehin schon in der Grube in Freiberg in größeren Mengen zum Flutungswasserraum absteigenden Grubenwässern kann man auch das Grubenwasser aus dem Verträgliche Gesellschaft Stolln und dem Hauptstollnumbruch in die Tiefe verfällen.

Theoretisch und praktisch ist es möglich, Grubenwasser des Hauptstollnumbruchs, das nahe am Schacht RZ vorbeigeführt wird, in den im Reiche Zeche Schacht verrohrt bis zum Flutungswasserspiegel zu verfällen.

Beim Verträgliche Gesellschaft Stolln ist das schwieriger, weil keine großen Schächte vom Haupttrakt tangiert werden. Mit einem mundlochnahen Verspünden im Haupttrakt dieses Stollns kann man das Grubenwasser in den David Schacht zurückdrücken, wo es bis zum Flutungswasserraum verfällt.

Zusätzliche Maßnahmen sind nötig, um im Hochwasserfall den Zustrom aus beiden Stolln zeitweilig wieder in die Freiburger Mulde zu leiten, um den Rothschönberger Stolln nicht zu überlasten und einen Notüberlauf für diesen Stolln zu gewährleisten. Insgesamt gesehen verkompliziert man damit das System der Grubenwasserableitung unnötig.

Der gewünschte Effekt einer Sammlung des Grubenwassers auf dem Rothschönberger Stolln funktioniert nur im Normalzustand, also ohne kurzzeitigen Tauwetter- oder Starkregeneinfluss, der die meiste Zeit des Jahres herrscht.

Im Endeffekt sammelt man das gesamte Grubenwasser im Haupttrakt des Rothschönberger Stolln, erhöht dort die Wassermenge zu dem einzigen Zweck, um an dessen Mundloch eine aufwendige zentrale Wasserbehandlung an einem Mischwasser zu betreiben.

Die beiden oberen Stolln führen zudem einen großen Anteil wenig mineralisierter Grubenwässer mit ab. Auf den Verträgliche Gesellschaft Stolln wird sogar Frischwasser eingeleitet. Insgesamt deutet sich schon an, dass das Verfällen von möglichst viel Grubenwasser von den oberen Stolln auf den Rothschönberger Stolln kein sinnvoller Schritt in Richtung Verringerung der Frachten im Grubenwasser sein wird.

9.4 Grube Halsbrücke

Das Teilrevier Halsbrücke / Großschirma ist gekennzeichnet durch

- relativ geringen Grubenwasseranfall
- geringe Schwermetallfrachten
- derzeit keine Möglichkeiten technischer Eingriffe

Wegen dieser Charakteristik werden keine Eingriffsmöglichkeiten erwogen.

9.5 Konzeptionelles Modell der Cd-Emissionen des gesamten Freiburger Reviers

Für die Ableitung von Maßnahmen zur Entlastung des Rothschönberger Stollns von Schwermetallen und insbesondere Zur Einschätzung von deren Wirksamkeit sind Kenntnisse über die Frachten einzelner Wasserströme notwendig am besten in Form eines Modells. Im Verlauf der Erarbeitung dieser Studie wurde klar, dass die sehr begrenzten Datenlage die Entwicklung eines regulären Bilanzmodells nicht gestattet. aber wurde für den Rothschönberger Stolln an sich ein konzeptionelles Modell entwickelt (Abbildung 15).

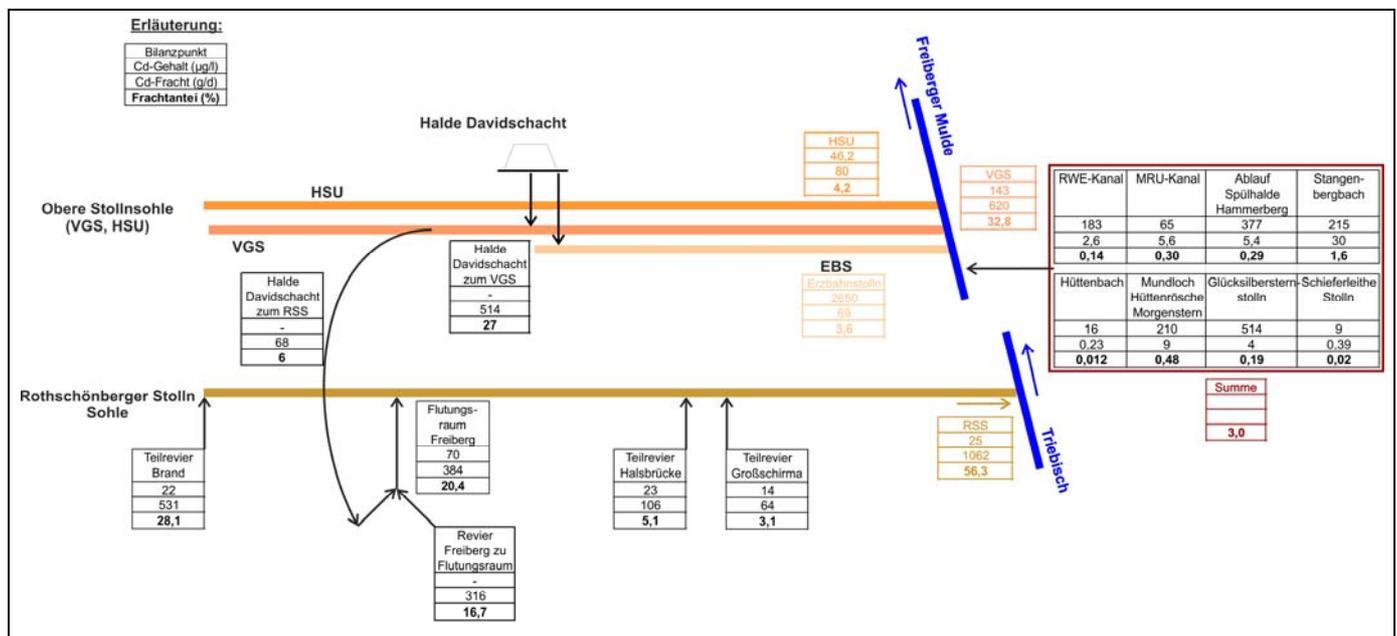


Abbildung 17: Konzeptionelles Modell zur Bilanzierung der Cd-Frachten aus dem Freiburger Revier (Daten aus [69])

Rot umrandet sind die übertägigen Punktquellen dargestellt. Die geringen Cd-Frachtanteile (Summe 3 %) zeigen jedoch, dass sie nur einen geringen Beitrag zur Gesamtfracht liefern.

9.6 Zwischenauswertung und Fazit

Nachfolgend wird eine kurze Zusammenfassung der Charakteristik des EZG des RSS gegeben.

Der Rothschönberger Stolln ist Bestandteil des Wassernetzwerkes der Freiburger Reviers im weiteren Sinne. Er entwässert die drei großen Teilreviere

- Brander Revier
 - Freiburger Revier einschließlich Teilrevier Muldenhütten
 - Halsbrücker Revier einschließlich Teilrevier Großschirma
- Die Wasserschüttungsmengen der Teilströme im RSS betragen

Brand : Freiberg : Halsbrücke : Großschirma \approx 63 : 14 : 12 : 11 [69].

Das Brander Revier liefert mit 63 % die größte Wassermenge. Es ist flächenmäßig sehr ausgedehnt: vom Südrand des Reviers (Langenau) bis zum Drei Brüder Schacht im Norden. Auf oberen Stollen erfolgt nur eine geringfügige Entwässerung, die Hauptwassermenge verfällt zum Rothschönberger Stolln. Die beiden Faktoren großes Einzugsgebiet und geringe Ableitung durch obere Stollen erklären die großen Abflussmengen aus dem Revier (Anteil 63%) sowie die hohen Schwermetallfrachten.

Das Teilrevier Freiberg umfasst die Grube Freiberg im engeren Sinne. Dies entspricht dem Abschnitt des Rothschönberger Stollns zwischen Drei Brüder Schacht und der Grenze zum Halsbrücker Teilrevier zwischen Tuttendorf und Halsbrücke. Die Reiche Zeche ist mit 198,56 m der tiefste Punkt des Reviers in der Rothschönberger Stollnsohle. Die Wässer an den anderen Schächten verfallen in den Flutungsraum und strömen auf tieferen Sohlen der Reichen Zeche zu, wo sie aufsteigen und schließlich am Füllort überlaufen und dem RSS zugeführt werden. Veträchtliche Ablüsse erfolgen auf oberen Stollnsohlen, über den Hauptstolln Umbruch und den Verträglich Gesellschaft Stolln.

Das Teilrevier Großschirma stellt die westliche Fortsetzung des Teilreviers Halsbrücke dar und bildet mit diesem geologisch und lagerstättenmäßig eine Einheit. Aus bergbaulicher Sicht erfolgt jedoch eine getrennte Entwässerung

- über den Halsbrücker Flügel aus Richtung Beihilfe Schacht
 - über den Churprinzer Flügel aus Richtung Schreiberschacht - Ferdinandschacht
- Beide Flügel münden nur wenig voneinander entfernt in der Nähe des VII. Lichtloches östlich Halsbrücke in den Rothschönberger Stolln.

Die Freiburger Ganglagerstätte enthält an Massenerzen Pyrit, Arsenopyrit, Galenit und Sphalerit. Hinsichtlich der Umweltauswirkungen ist ein Gehalt von ca. 0,6 % Cd als CdS im Gitter des Sphalerits von großer Bedeutung. Außerdem finden sich geringe Mengen Chalkopyrit für sich oder mit Sphalerit verwachsen. Da die Erze nicht vollständig abgebaut wurden, verblieben beträchtliche Mengen in der Lagerstätte und bilden zusammen mit Rückständen von Erzaufbereitung und Verhüttung die Quelle der Schwermetallführung der Grubenwässer:

- nicht abgebaute Erze
- als Versatz eingebrachtes Material mit Erzurückständen (ubiquitäre Verbreitung)
- Bergehalde mit Resterzen (von besonderer Bedeutung ist die Grobbergehalde Davidschacht)
- Spülhalden (Tailings) mit Resterzen infolge unvollständiger Aufbereitung (von besonderer Bedeutung ist die Spülhalde Davidschacht)
- Hüttenindustrie -Altstandorte (z.B. Gelände Hütte Freiberg)
- Hüttenindustrie - Schlacken- und Rückstandshalden (z.B. Gelände Muldenhütten)

Der Zufluss aus dem Freiburger Teilrevier (Reiche Zeche) zum RSS weist die höchsten Schwermetallkonzentrationen auf. Der mittlere Cd-Gehalt liegt bei 70 µg/l, der Zn-Gehalt bei 14.000 µg/l. Die anderen drei Teilströme weisen überwiegend deutlich geringere Gehalte auf. Die Wässer der oberen Stollnsohlen im Freiburger Revier weisen hohe, z.T. extreme Schwermetallgehalte auf (HSU, VGS).

Etwa die Hälfte der Schwermetallfrachten (bezogen auf Cadmium) des RSS stammt aus dem Brand Revier und fließt über das Verspünden im König Johann Spat zu. Nur etwa 1/3 der Fracht entstammt dem Freiburger Teilrevier. Der Anteil des Halsbrücke-Großschirmaer Teilreviers liegt bei nur 16 %

Das Stollnsystem des Freiburger Reviers wurde über Jahrhunderte in erster Linie mit dem Ziel der Wasserableitung aus den Bereich der Erzgewinnung, d.h. die Wässer möglichst von Abbauen fern zu halten und auf möglichst hohem Niveau über die Stolln abzuleiten. Heute gilt der Grundsatz prinzipiell weiter, indem aus Gründen des Hochwasserschutzes eine Entlastung der tiefen Stollnsohlen im Tauwetter- und Starkregenfall erfolgen muss.

Für regulierende Eingriffe in den Grubenwasserkörper sind in den Grubenbereichen Freiberg, Brand und Halsbrücke grundsätzlich drei Möglichkeiten denkbar:

- Variante I: Zusammenführen von Grubenwasser auf den oberen Stolln und Ableitung zum Mundloch mit dortiger Behandlung
- Variante II: Verfällen (Begriffserklärung siehe Abschnitt 5.2.2) von Grubenwasser der oberen Stolln auf den Rothschnberger Stolln und Behandlung der Stollnwässer an dessen Mundloch
- Variante III: Verfällen von Grubenwasser der oberen Stolln auf den Rothschnberger Stolln und Behandlung der Stollnwässer in einem geeigneten Schacht, ggf. unter Nutzung der Energie beim Verfällen.

Aufgrund der signifikanten Schwermetallfrachten sollten diese sich auf die Teilreviere Brand und Freiberg konzentrieren. Die Varianten I und II sind dabei für beide Teilreviere relevant, während die Variante III nur für Freiberg in Betracht kommt.

Für die obere Stollnsohle des Teilreviers Brand wäre eine Behandlungsmaßnahme für den Thelersberger Stolln und den Neue Segen Gottes Stolln möglich, weil die beiden Mundlöcher nahe beieinander im Striegistal liegen. Aufgrund der relativ geringen Schwermetallfrachten erscheint dies aber nicht verhältnismäßig. Der Hauptabstrom des Teilreviers verläuft zum Rothschnberger Stolln. Es ist daher theoretisch möglich, diesen von Schwermetallfrachten zu entlasten. Mangels Zugangs sind solche Möglichkeiten derzeit jedoch nicht absehbar.

In der Grube Freiberg wären Maßnahmen der Grubenwasserverfällung bei einer Rekonstruktion des Verträgeichen Gesellschaft Stollns und von einzelnen Trakten des Tiefen Fürstestollns machbar und würden zugleich eine Entlastung des Rothschnberger Stollns bewirken.

- Verfällen des Grubenwassers aus dem Verträgeiche Gesellschaft Stolln und dem Hauptstollnumbruch in die Tiefe (RSS).
- Verfällen des Grubenwassers des Hauptstollnumbruchs, das nahe am Schacht RZ vorbeigeführt wird im Reiche Zeche Schacht verrohrt bis zum Flutungswasserspiegel
- Mit einem mundlochnahen Verspünden im Haupttrakt des VGS könnte man das Grubenwasser in den David Schacht zurückdrücken, wo es bis zum Flutungswasserraum verfällt.
- Zusätzliche Maßnahmen sind nötig, um im Hochwasserfall den Zustrom aus VGS und HSU zeitweilig wieder in die Freiburger Mulde zu leiten, um den Rothschnberger Stolln nicht zu überlasten und einen Notüberlauf für diesen Stolln zu gewährleisten.
- Der gewünschte Effekt einer Sammlung des Grubenwassers auf dem Rothschnberger Stolln funktioniert nur im Normalzustand, also ohne kurzzeitigen Tauwetter- oder Starkregeneinfluss, der die meiste Zeit des Jahres herrscht.
- Mit diesen Maßnahmen würde man das gesamte Grubenwasser im Haupttrakt des Rothschnberger Stollns sammeln und dementsprechend die Wassermenge erhöhen. Am Mundloch des RSS müsste eine zentrale Wasserbehandlung betrieben werden..
- Die beiden oberen Stolln (VGS, HSU) führen einen großen Anteil wenig mineralisierter Grubenwässer ab.

Das Teilrevier Halsbrücke / Großschirma ist gekennzeichnet durch

- relativ geringen Grubenwasseranfall
- geringe Schwermetallfrachten
- derzeit keine Möglichkeiten technischer Eingriffe

Wegen dieser Charakteristik werden keine Eingriffsmöglichkeiten erwogen.

10 In situ Grubenwassersanierung

Für die Reinigung von Wässern stehen grundsätzlich Verfahren der in situ-Sanierung und End of Pipe-Verfahren zur Verfügung, wie in Abbildung 18 dargestellt

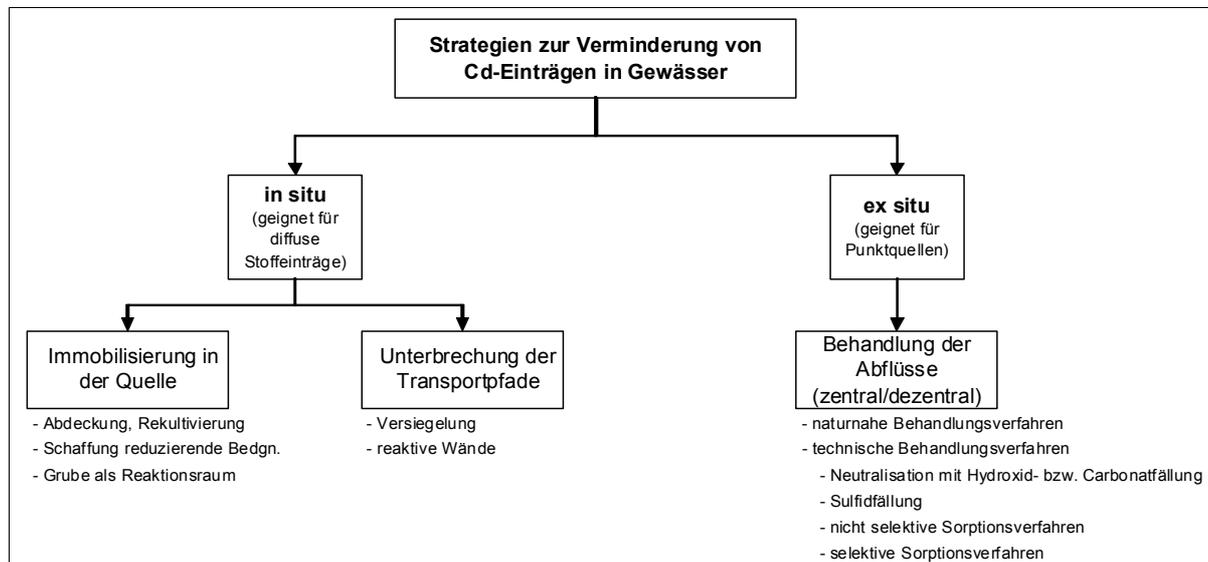


Abbildung 18: Strategien zur Verminderung von Cadmиеinträgen ins Oberflächenwasser (aus [59])

10.1 Zusammenfassung der End of Pipe-Verfahren für den Rothschnöberger Stolln

Verschiedene End of Pipe-Behandlung des Wassers des Rothschnöberger Stollns wurden in [59] entwickelt. Dabei wurde von folgenden Prämissen ausgegangen:

- Zielkonzentration Cadmium im Ablauf < 1 µg/l
- Auslegung für ein zu behandelndes Gesamtvolumen von 2.880 m³/h (entsprechend einer Behandlung von 95% des Gesamtabflusses)
- Zweistraßige Planung des jeweiligen Verfahrens

In die Betrachtungen wurden 5 Behandlungsmöglichkeiten einbezogen:

- Kombination Fällung und Sandfilter
- Nanofiltration und Fällung
- Umkehrosmose und Fällung
- Ionenaustauscher
- Naturnahe Reinigungsmethoden (Wetlands)

Naturnahe Verfahren, wie Wetlands, wurden nach Prüfung nicht näher ausgearbeitet, da die großen Abflussmengen des Rothschnöberger Stollns einen extremen Bedarf an Flächen bedingen würden, die wegen der Besiedlung des Tales der Triebisch und des bestehenden FFH-Gebietes nicht zur Verfügung stehen.

In der Studie wurde gezeigt, dass die Reinigung des Wassers aus dem Rothschnöberger Stolln bis zum Erreichen des festgelegten Behandlungszieles <1 µg Cd/l bei Erfassung von 95% der Abflussmenge mit allen betrachteten Verfahren im Grundsatz technisch realisierbar ist, allerdings mit unterschiedlichem finanziellen Aufwand. Tabelle 19 zeigt den Vergleich der Investitionskosten für die betrachteten vier Maßnahmevarianten, Tabelle 20 einen Vergleich der Betriebskosten und Tabelle 21 einen solchen der spezifischen Kosten.

Tabelle 19: Investitionskosten der einzelnen Verfahrensvarianten

Verfahrensvariante	Baukosten [€]	Ausrüstungskosten [€]	Gesamtsumme Bau + Ausrüstung [€]
Fällung und Filtration	8.360.440	2.656.500	11.016.940
Nanofiltration	8.047.820	18.253.620	26.301.440
Umkehrosmose	6.417.620	7.729.040	14.146.660
Ionenaustauscher	7.232.500	13.350.700	20.583.200

Tabelle 20: Vergleich der Betriebskosten bezogen auf ein Betriebsjahr

Verfahrensvariante	Abschreibungen	Wartung/ Instandh.	Personal-kosten	Chemikalien/ Module	Energie	Ana-lytik	Rückstands-entsorgung	Gesamt
	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Fällung	600.068	771.186	242.360	357.934	1.918.440	18.250	404.400	4.320.637
Nanofiltration	2.147.275	1.841.101	242.360	7.173.834	2.409.876	18.250	404.400	14.237.096
Umkehr-osmose	1.030.609	990.966	242.360	2.472.934	2.409.876	18.250	404.400	7.569.395
Ionen-austauscher	1.624.370	1.440.824	242.360	30.885	1.009.152	18.250	780.000	5.145.841

Tabelle 21: Vergleich der spezifische Kosten

Verfahrensvariante	Abschreibung und Wartung	Spezifische Kosten Wasserbehandlung	Spezifische Gesamtkosten
	€/m ³	€/m ³	€/m ³
		davon Energie	
Fällung	0,08	0,17	0,25
Nanofiltration	0,23	0,58	0,81
Umkehrosmose	0,11	0,32	0,43
Ionenaustauscher	0,17	0,12	0,29

Im Ergebnis zeigten sich erwartungsgemäß große Differenzen in der Kostensituation. Das konventionelle Fällungs-Sedimentationsverfahren ist in allen Bereichen das günstigste. Günstige spezifische Gesamtkosten weist auch das Ionenaustauschverfahren auf.

Nach dieser Darstellung der möglichen Maßnahmen zur Stollnwasserbehandlung über Tage werden im folgenden Abschnitt Optionen zur Behandlung „im Berg“ diskutiert.

10.2 In situ-Verfahren

Eine zur Reinigung von Bergbauwässern viel diskutierte Variante ist die in situ-Sanierung. Diese beinhaltet die Behandlung von Bergbauwässern in der Grube. Dabei werden Maßnahmen zur Fällung von Schwermetallen und/oder Arsen getroffen. Nachfolgend werden untertägige Hohlräume zur Sedimentation der Fällprodukte genutzt. Parallel kann es zu einer Verringerung der Schwermetallmobilisierung kommen.

Die in situ-Behandlung weist eine Reihe von Vorteilen auf:

- Einsparung von Investitionskosten, da nur technische Einrichtungen geringen Umfangs benötigt werden
- Einsparung von Betriebskosten, insbesondere Energie, Personal und Abfallentsorgung

Aus genehmigungsrechtlicher Sicht bestehen jedoch zwei grundsätzliche Probleme:

- Schwierige Kontrollierbarkeit der Fließwege untertage
- Einbringen von Stoffen in das Grundwasser

Des Weiteren muss genug Sedimentationsraum zur Verfügung stehen. Diese Problemlage hat zur Folge, dass es in Sachsen nur zwei Projekte gibt, in denen die in situ-Bergbauwassersanierung erprobt wurde.

Im Falle Ehrenfriedersdorf werden arsenhaltige Sickerwässer der Spülhalden des Bergbaus in den Flutungsraum der Grube verströmt. Dabei erfolgt eine Belüftung mit Oxidation von Fe^{2+} und As^{3+} und Sedimentation auf dem Fließweg. Dadurch wird eine deutliche Abreicherung der Arsengehalte erreicht.

Der zweite Fall ist ein Feldexperiment in der in Flutung befindlichen Uranerzgrube Königstein [82]. Dabei wurden in den Jahren 2010/2011 insgesamt 120 t Alkalinität in die teilweise geflutete Grube injiziert. Die Wirkung wird in Abbildung 19 und Abbildung 20 dargestellt.

Wie Abbildung 19 zeigt, führt die Dosierung des NaOH (TV3) zu einem pH-Anstieg von 3,5 auf ca. 9. Nach Ende der Dosierung fällt der pH wieder nahezu auf den Ausgangszustand.

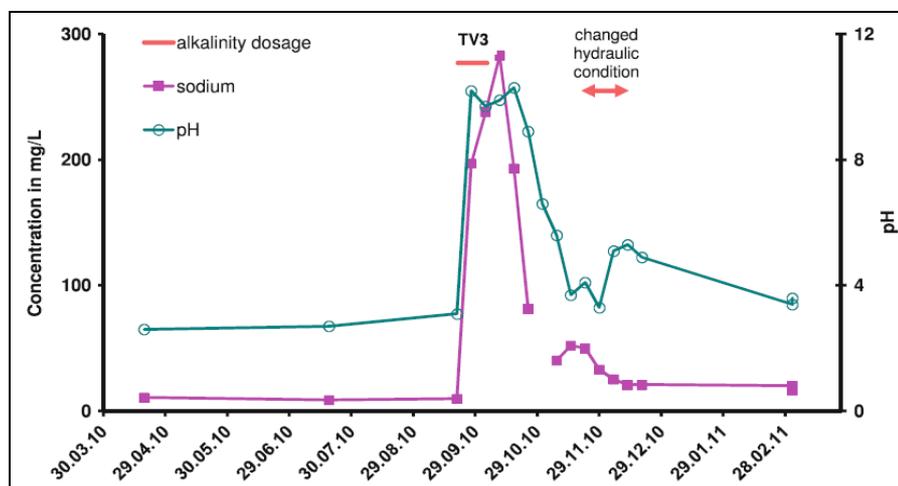


Abbildung 19: pH und Na-Konzentration in der Beobachtungsbohrung GMMW 7037 (aus [82])

Hauptziel der Maßnahme in Königstein war eine Abreicherung von Uran im Flutungswasser. Für den RSS ist dieses Element nicht relevant. Interessant ist aber das Verhalten anderer Elemente, u.a. Cadmium, das in Abbildung 20 dargestellt ist.

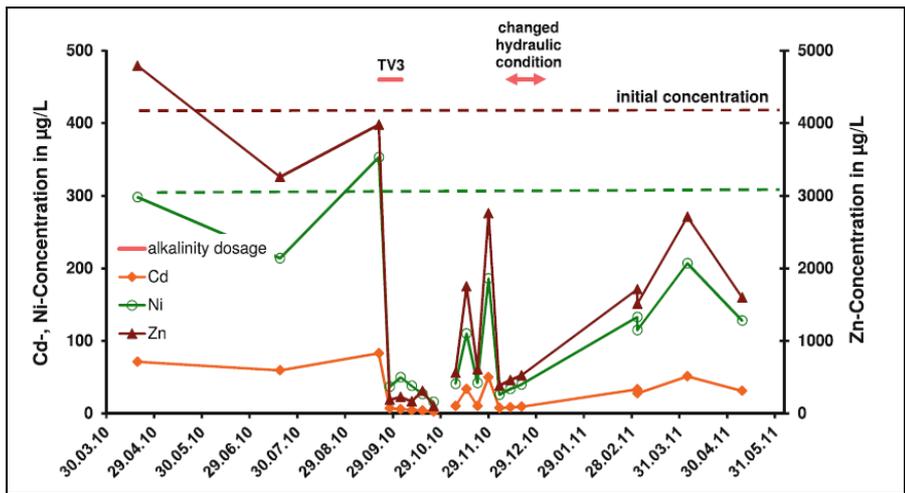


Abbildung 20: Cd-, Ni- und Zn-Konzentration in der Beobachtungsbohrung GMMW 7037 (aus [82])

Es zeigt sich, dass mit Beginn der NaOH-Dosierung (TV3) der Cd-Gehalt des Flutungswassers von einem Niveau bei 80 µg/l auf ca. 5 µg/l zurückgeht. Nach Ende der Dosierung erfolgt ein allmählicher Wiederanstieg der Konzentration.

Die Maßnahme war nicht auf die Immobilisierung von Cd optimiert, trotzdem wurde ein beträchtlicher Rückgang der Konzentration erzielt. Durch ergänzenden Zusatz von Carbonat, z.B. als Soda, könnte eine weitere Absenkung erreicht werden.

Aus derzeitiger Sicht besteht nur im Flutungsraum des engeren Freiburger Teilreviers eine Möglichkeit zur in-situ-Sanierung. Wie in den Abschnitten 6.3.2 und 7.1.2 dargestellt, versinken die Wässer des gesamten Teilreviers einschließlich des Anteils aus dem Bereich Muldenhütten zunächst in den Flutungsraum und strömen unterhalb der RSS-Sohle zum Schacht Reiche Zeche, dessen Füllort den niedrigsten Überlaufpunkt bildet. Dort steigen sie auf und fließen in den RSS über.

Somit existieren an mehreren Stellen Ansatzpunkte für das Einbringen alkalischer Stoffe zu Beeinflussung des Flutungswassers (. Aus derzeitiger Sicht sind dies:

Tabelle 22: Mögliche Ansatzpunkte zur In situ-Beeinflussung der Wasserqualität des Rothschönberger Stollns

Zugabepunkt	Beschreibung	Bemerkungen
Davidsschacht über VGS-Sohle	Transport über VGS-Sohle zum Anschluss Davidsschacht, Einbringen über Zugabevorrichtung	sicherer, aber beschwerlicher Zugang, größere bergmännische Aufwältigungsarbeiten notwendig (Schlammeräumung in Flügel des VGS auf Neuglück Spat und Gesellschaft Flachem), relativ hoher Transportaufwand
Davidsschacht über Bohrung	Bohrung von übertage zum Davidsschacht unter die Schachtplombe, Zugabe über Rohrleitung in der Bohrung	Bohrung erforderlich, ansonsten problemlos
Turmhofschacht	Zugabe über die zugängliche Radstube in die Schachtröhre	Zugabemöglichkeit muss geklärt werden
Morgensterner Abrahamschacht	Transport über die Rösche zum Schacht, Einbringen mit Zusatzwasserstrom	tonnlägiger Schacht, Zugabe muss daher durch „Einspülen“ erfolgen

Bei einer In situ-Grubenwassersanierung im Teilrevier Freiberg kommt dem Cd die größte Bedeutung zu. Gemäß den Ausführungen in Abschnitt 6.2 ist eine Anhebung des pH nötig, wobei ein Zusatz von Carbonat unterstützend wirkt. Mittels der hydrochemischen Modellierungs-Software PHREEQC wurden daher Berechnungen zur Wirkung der Zugabe von NaOH bzw $\text{Ca}(\text{OH})_2$ und Na_2CO_3 angestellt. Als Basis wurde dabei die Zusammensetzung des Flutungswassers gemäß Tabelle 9 verwendet. Aufgrund der nicht bekannten genauen aktuellen Zusammensetzung des Flutungswassers konnten nur Abschätzungen vorgenommen werden. Außerdem wurde nur die Abtrennung des Cadmiums berücksichtigt. Eine Auswahl von Ergebnissen ist in Tabelle 23 dargestellt.

Tabelle 23: Modellierungsergebnisse der Cd-Konzentration für Flutungswasser Teilrevier Freiberg bei einer in situ-Sanierung

Pos.	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Zusatz (mg/l)	NaOH-Zusatz (mg/l)	Na_2CO_3 -Zusatz (mg/l)	resultierender pH	resultierender Cd-Gehalt ($\mu\text{g/l}$)
	<i>Flutungswasser</i>			7,00	70
1	74	-	106	9,95	2,5
2	37	-	53	9,23	4,9
3	-	120	318	10,76	4
4	-	40	53	9,25	4,7

Es wurden jeweils $\text{Ca}(\text{OH})_2$ und Na_2CO_3 sowie NaOH und Na_2CO_3 kombiniert. Es zeigt sich, dass Cd-Restkonzentrationen von 2-5 $\mu\text{g/l}$ erreicht werden können. Dabei scheinen bereits relativ geringe Zugabemengen ausreichend zu sein (Fälle 2 und 4). Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich um modellierte „ideale“ Fälle handelt. Die real erforderlichen Zugabemengen und resultierenden Restkonzentrationen müssen experimentell ermittelt werden.

Aufgrund der für die Cd-Abtrennung erforderlichen hohen pH-Werte weisen die resultierenden Wässer ebenfalls erhöhte pH-Werte im Bereich 9 - 11 auf. Die macht eine Nachjustierung erforderlich, was durch Zugabe geringer Säuremengen (H_2SO_4) oder ggf. durch Mischen mit sauren Wässern geringer Schwermetallgehalte erreicht werden kann.

10.3 Bewirtschaftung der Stollnwässer

An dieser Stelle soll die Steuerung der Stollnwasserabflüsse mit Nutzung natürlicher Prozesse zur Schwermetalleliminierung (entspricht etwa „Natural Attenuation“) angesprochen werden.

Wie bereits beschrieben, erfolgt der Austrag der Schwermetalle aus dem Friberger Revier als Ganzes auf zwei höhenmäßig verschiedenen Niveaus, der oberen Stollnsohle und der Sohle des RSS:

- über VGS/HSU zum EZG Freiberg Mulde (Vereinigte Mulde, Elbe).
- über den RSS zum EZG Triebisch (Elbe)

Ein kleiner Anteil, der über die beiden wasserführenden Stolln des Brander Reviers zur Striegis abgeführt wird, ist nach den Messergebnissen des Landesmessnetzes Oberflächenwasser zu vernachlässigen.

Die Beschaffenheit des Grubengebäudes erlaubt damit grundsätzlich eine „Bewirtschaftung“ der Stollnwässer im Sinne einer Verteilung der Grubenwasserabflüsse und damit zusammenhängend der Schwermetallfrachten zwischen den EZG von Triebisch und Freiberg Mulde. Beide Pfade führen die Schwermetallfrachten am Ende der Elbe zu und lassen sich wie folgt charakterisieren:

Triebisch

- Fließweg vom Stollnwasseraustritt RSS in Rothschönberg bis zur Elbe ca. 15 km
- relativ kleiner Fluss (Abfluss Triebisch : RSS ca. 1 : 1)

Freiberger Mulde

- Fließweg vom Stollnwasseraustritt (VGS, HSU bzw. Ablauf Roter Greben) bis zur Elbe ≈200 km
- Durchfluss der Mulde deutlich höher als bei den Stolln
- bei ca. 150 km des Fließweges liegt der Muldestausee, in dem eine gewisse Sedimentation erfolgt.

Der Weg der Wässer über die Freiberger und Vereinigte Mulde bietet somit neben zeitlich verzögertem Zufluss zur Elbe auch mehr Fällungs- und Retentionsraum für die Schwermetalle.

Auf dem Fließweg finden verschiedene hydrogeochemische Prozesse statt:

- Verdünnung
- Anstieg des pH
- Zunahme des DOC/TOC und damit Kontakt des Wassers mit gelösten oder partikulären organischen Substanzen
- Sedimentation partikulärer Substanzen

Durch diese Prozesse kommt es zu einer Verringerung der Cd-Konzentration im Wasser durch natürliche Prozesse. Aus dieser Sicht wäre es eigentlich günstig, mehr Grubenwässer auf oberen Sohlen abzuführen und damit den größeren Fließweg in der Freiberger Mulde auszunutzen. Dies deckt sich mit den oben angesprochenen Interessen des ehemaligen aktiven Bergbaus im Freiberger Revier einer Ableitung der Grubenwässer in möglichst hohem Niveau.

Die Recherchen (Abschnitte 5 und 7) haben gezeigt, dass diese Variante bereits weitgehend umgesetzt ist und nur sehr begrenzte Möglichkeiten für eine Ableitung weiterer Grubenwässer auf oberen Sohlen bestehen. Außerdem würden solche Maßnahmen zu einer zusätzlichen Verschlechterung der Wasserqualität der Freiberger Mulde im Freiberger Raum führen.

11 Immobilisierung der Schadstoffe in den Halden

Eine Immobilisierung von Schwermetallen in Bergbauhalden kann auf zwei Wegen erfolgen:

- Verhinderung des Luft- und Wasserzutritts (Abdecken, Abdichten)
- Einbringen von Stoffen in den Haldenkörper bzw. in Form reaktiver Wände

Beiden ist gemeinsam, dass eine „Konservierung“ der Halde und keine Entfrachtung von Schwermetallen erreicht wird. Die natürlichen Prozesse der Verwitterung und Auflösung werden nur sehr stark verlangsamt und es besteht die Gefahr, dass sie infolge Verletzung der Abdeckung (z.B. Baumaßnahmen) erneut beschleunigt werden und der Schwermetallaustrag wieder einsetzt.

11.1 Abdecken / Abdichten

Mittel der Wahl zur Immobilisierung von Schwermetallen in Bergbauhalden ist das Abdecken bzw. Abdichten. Wesentlicher Schritt ist dabei die möglichst weitgehende Verhinderung des Zutritts von Wasser (Niederschlag) und Luftsauerstoff zum Haldenkörper.

Die damit erzielte Minderung der Grundwasserneubildung bestimmt unmittelbar den Grad der Emissionsreduzierung. Durch die Verringerung der Grundwasserneubildung werden einerseits der Niederschlagswassereintrag in die Halde und der Austritt von Sickerwässern reduziert, andererseits wird durch die Abdichtung und durch die Anlage einer Rekultivierungsschicht das Eindringen von Sauerstoff verringert. Damit kommen o.g. Prozesse der Schadstofffreisetzung langfristig weitgehend zum Erliegen, so dass eine langsame Abnehmende Schadstofffracht aus dem Bereich der Halde erwartet werden kann.

11.2 Einbringen von Stoffen in den Haldenkörper

Neben der reinen Abdeckung/Abdichtung besteht auch die Möglichkeit, gezielt Stoffe in Haldenkörper einzubringen. Dies können z.B. basische Stoffe, wie Kalk oder Aschen, sein. Außerdem können mikrobiologische Prozesse induziert werden, die zu einer Festlegung von Schwermetallen führen.

Basische Stoffe werden häufig im Zuge von Abdeckmaßnahmen in gewissem Umfang in die Halden eingebracht, indem kalkhaltiger Bauschutt für Konturierungsmaßnahmen eingesetzt wird. Dieser erhöht den pH der durchsickernden Wässer, die dann in gewissem Umfang in die Halde gelangen und dort die Mobilität der Schwermetalle herabsetzen.

Mikrobiologische Prozesse, insbesondere solche unter Sulfatreduktion führen zu einer deutlichen Immobilisierung der Schwermetalle. Diese erfordern allerdings das Einbringen organischer Substanzen in den Haldenkörper. Ein Beispiel sind die Untersuchungen am Skado-Damm [85]. Im Ergebnis wurde eine Verringerung von SO_4^{2-} um 40 % und von Fe^{2+} um 90 % erzielt.

Die Wirksamkeit solcher Maßnahmen erfordert jedoch eine gewisse Mindest-Wasserdurchlässigkeit, damit die organischen Verbindungen eingebracht werden können, was in Bergbau-Spülhalden meist nicht gegeben ist.

11.3 Bereits umgesetzte Maßnahmen

Im Freiburger Revier wurde im Zuge des Ökologischen Großprojektes SAXONIA bereits eine Reihe von Maßnahmen an Bergbau- und Hüttenhalden sowie Altstandorten umgesetzt. Für die Grubenwässer besonders relevant sind dabei:

- Abdichtung Teilbereich Grobbergehalde Davidschacht (Errichtung einer Photovoltaikanlage)

- Areal der ehemaligen Cadmiumanlage Hütte Freiberg (Errichtung Betriebsgebäude der SolarWorld AG)
- Absetzbecken Hütte Freiberg (Errichtung einer Photovoltaikanlage)
- Abdeckmaßnahmen in Muldenhütten

11.4 Maßnahmen in Planung

Für die Zukunft sind insbesondere noch zwei potenziell relevante Maßnahmen in Planung:

- Sanierung Spülhalde Hammerberg
- Sanierung Spülhalde Davidschacht

Erstere Maßnahme ist bereits in Umsetzung begriffen. Die Sanierung der Spülhalde Davidschacht befindet sich in der Planungsphase [76].

Beide Maßnahmen sollten sich insbesondere auf die Schwermetalleinträge in den VGS auswirken. Die Auswirkungen auf den RSS sind als sehr gering zu prognostizieren (Abbildung 17).

11.5 Wirksamkeit

Die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Immobilisierung der Schwermetalle in Bergbauhalden hinsichtlich Schwermetallausträgen im Grubenwasser ist ohne ein sehr gezieltes Monitoring schwierig abzuschätzen, da sich die Auswirkungen mit dem allgemeinen Rückgang infolge Auswaschung überlagern können. Es handelt sich um Prozesse mit großer Zeitskala.

Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen werden seitens der SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mit Monitoringprogrammen überwacht. Es handelt sich insbesondere im Gelände Hütte Freiberg um die Teilobjekte „Absetzbecken“ und „Zentralfläche / Stangenbergbach“. Gemäß den Auswertungen in [84] sind teilweise deutliche Rückgänge von Schwermetallkonzentrationen und -frachten festzustellen. Allerdings finden sich auch steigende Tendenzen. Außerdem können die Entwicklungen kausal nicht eindeutig konkreten Sanierungsmaßnahmen zugeordnet werden. Eine Quantifizierung ist daher nicht möglich.

Maßnahmen zur Haldensanierung am Davidschacht werden nach den angestellten Berechnungen nur geringe Auswirkungen auf den RSS haben. In Richtung des VGS ist die Wirksamkeit viel größer. Als vorläufiger Sanierungszielwert für die Spülhalde Davidschacht wurde aus der Detailuntersuchung [76] eine „Reduzierung der Cd-Austräge (Fracht) um $\geq 80\%$ “ abgeleitet. Wird diese für den gesamten Haldenkomplex Davidschacht erreicht so ist eine Cd-Frachtreduzierung aus dem Freiburger Revier um ca. 25% erreichbar. Diese Auswirkung verteilt sich auf den RSS und den VGS. Die Anteile lassen sich jedoch derzeit nicht beziffern.

12 Neutralseal-Technologie

12.1 Beschreibung

Die in dieser Studie betrachtete Neutralseal-Technologie ist eine von der britischen Firma MinusEngineering entwickelte Technologie u.a. zur Behandlung von Bergbauwässern. Dabei werden im Unterschied zu klassischen Wasserbehandlungsanlagen die einzelnen Prozessstufen gekapselt durchgeführt.

Die Technologie weist insbesondere folgende Vorteile auf:

- Das zu behandelnde Wasser muss nicht kontinuierlich in die Anlage gepumpt werden, sondern gelangt nach dem erstmaligen Füllen des Systems nach dem Heberprinzip aus eigenem Antrieb heraus in die Anlage.
- Durch Einsparung des Pumpens ergeben sich signifikante Einsparungen von Elektroenergie. Dies ist insbesondere bei lahnjährig zu betreibenden Anlagen wichtig.
- Die gekapselte Bauweise erlaubt den Bau kompakterer Anlagen, die weniger Platz beanspruchen.
- Optimierte Vermischungs- und Reaktionsbedingungen im geschlossenen System erlauben ggf. die Einsparungen von Chemikalien bei verbesserter Betriebscharakteristik.

Voraussetzung für die Technologie ist, dass der Auslauf der Anlage mindestens 2 m unterhalb des Einlaufes liegt. Die Anlage selbst kann dabei bis zu 10 m oberhalb des eigentlichen Wasserspiegels im Einlauf liegen.

Das Anlagenkonzept wurde in einer Pilotanlage in Großbritannien (Fällung, Flockung, Schrägklärer) getestet und mit der am Standort Wheal Jane befindlichen, klassischen Großanlage verglichen. Dabei ergaben sich Energieeinsparungen von mehr als 45% ([77]).

Generell und in dieser Studie auch mitbetrachtet sind alle klassischen Wasserbehandlungstechnologien auch in der NeutraSeal-Technik denkbar. Real erprobt wurde bisher nur die Kombination Belüftung, Fällung/Flockung, Sedimentation.

Abbildung 21 und Abbildung 22 geben einen guten schematischen Überblick über den Unterschied bzw. den Vorteil der NeutraSeal-Technologie bei Vorliegen der richtigen Standortvoraussetzungen.

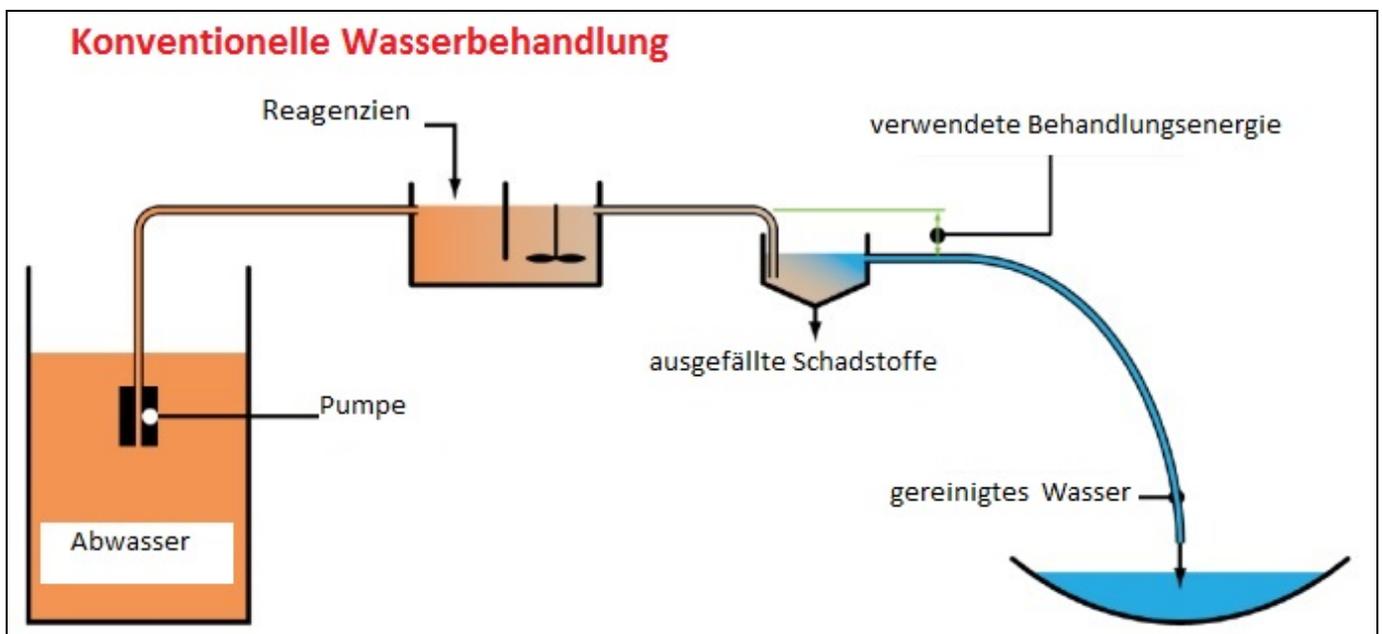


Abbildung 21: konventionelle Wasserbehandlung (Quelle: MinusEngineering, modifiziert)

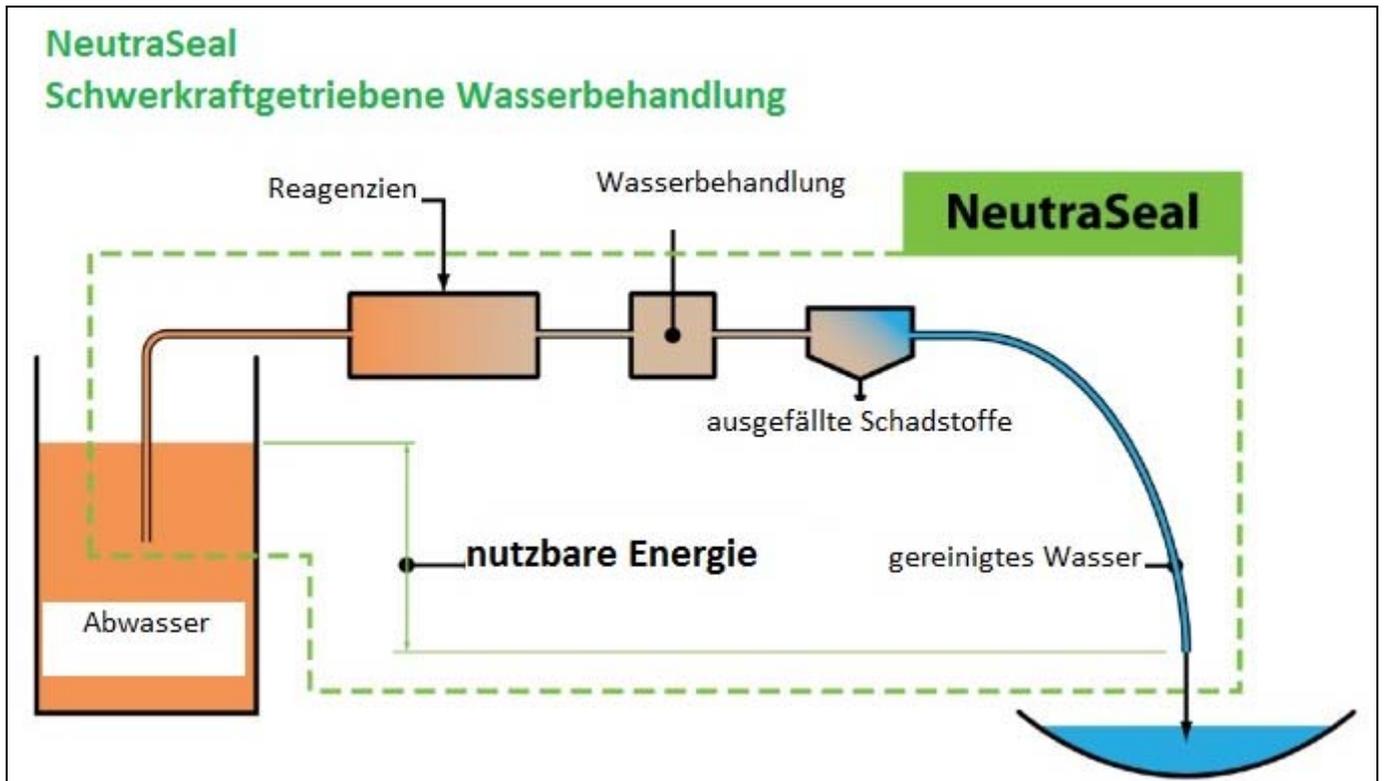


Abbildung 22: NeutraSeal-Wasserbehandlung (Quelle: MinusEngineering, modifiziert)

Neben der Energieeinsparung, die die Betriebskosten von langjährigen Wasserbehandlungen erheblich senken kann, ist auch das Ausnutzen von optimierten Vermischungs- und Reaktionsbedingungen im geschlossenen System denkbar. Dies wurde aber bisher noch nicht wissenschaftlich und technisch näher untersucht, kann aber durchaus noch weiteres Verbesserungspotenzial der Technologie bieten.

12.2 Laboruntersuchungen

Bisherige Laboruntersuchungen von Wässern aus dem Rothschönberger Stolln bzw. seinen Zuflüssen konzentrierten sich auf Untersuchung von Fällungsverfahren mit anschließender Sedimentation. Dabei sind entsprechend große Mischungs- und Absetzräume bzw. -behälter notwendig. Eine Möglichkeit diese Anlagengrößen zu reduzieren, besteht im Einsatz der Membrantechnologie zur Aufkonzentration von Teilströmen und damit zur Volumenreduzierung der im Anschluss zu behandelnden Ströme.

Dabei kommen grundsätzlich die Nanofiltration und die Umkehrosiose als mögliche Membrantrennverfahren in Betracht. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen durch den benötigten Druck sowie ihre Trennleistung.

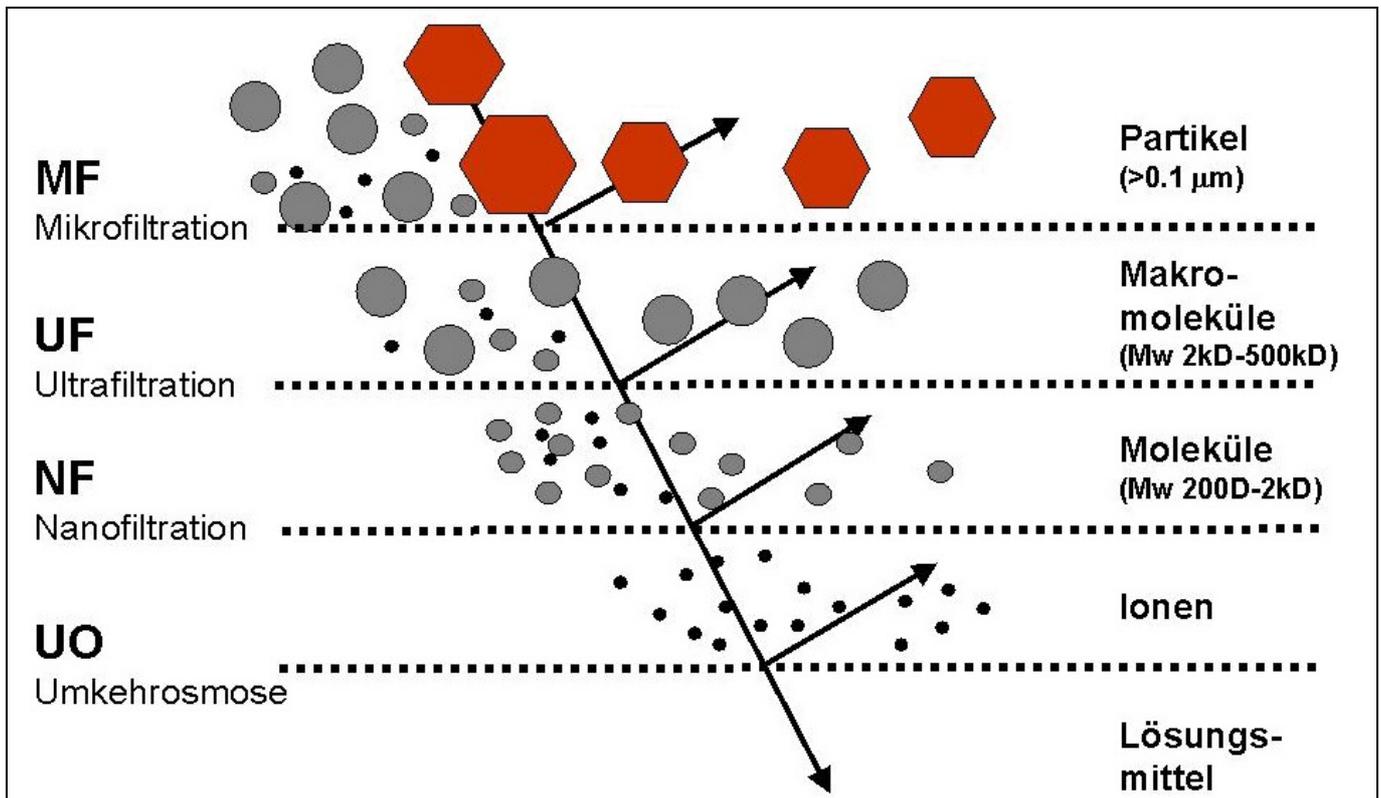


Abbildung 23: Übersicht Membranverfahren [78]

Die Druckbereiche liegen dabei im Bereich der Mikrofiltration (MF) bei 0,1-2 bar, bei der Ultrafiltration (UF) zwischen 0,1 – 5 bar, bei der Nanofiltration (NF) zwischen 3 und 20 bar sowie bei der Umkehrosmose (RO) zwischen 10 und 100 bar.

Für erste orientierende Versuche im Labormaßstab wurde die Nanofiltration als mögliche Prozessstufe gewählt, da im Druckbereich von 5-10 bar noch eine Realisierung mittels der Neutraseal-Technologie (12) realisierbar scheint. Prinzipiell ist auch der Einsatz einer Umkehrosmose-Stufe vorstellbar, wobei hier die verbesserte Trennleistung auf Kosten einer höheren Druckstufe und damit einem höheren Energiebedarf realisiert wird.

Durch die Membrantrennung werden dabei die abzutrennenden Komponenten aber noch nicht endgültig aus dem Wasserstrom entfernt. Es kommt zu einer Anreicherung im Konzentrat, wo sich je nach Ionenart (mono-/polyvalent) zwischen 50 und 99% der jeweiligen Spezies aufkonzentrieren. Zudem kommt es zu einer Volumenverminderung bis auf ca. 25% im Konzentratstrom. Der Permeatvolumenstrom kann als gereinigter Teilstrom direkt in die Vorflut gegeben werden.

Für die endgültige Abtrennung muss der Konzentratstrom noch einer Fällungsbehandlung unterzogen werden, um die abzutrennenden Komponenten aus der Flüssig- in die Festphase zu überführen. Dabei werden die Versuche analog zu den Versuchen in [72] durchgeführt. Durch die Behandlung des Konzentrat-Stromes können im Vergleich zur Vollstrombehandlung die notwendigen Fällungs- und Sedimentationsbehälter wesentlich verkleinert werden.

12.3 Untersuchte Wässer

Grubenwässer sind einerseits in ihrer chemischen Zusammensetzung und damit Schwermetallführung sowohl sehr divers als auch zeitlich sehr schwankend. Andererseits weisen die Freiburger Grubenwässer große qualitative Ähnlichkeiten auf. Unterschiede liegen vor allem in der Höhe der Konzentrationen von Komponenten

- gleiches Schwermetallspektrum: dominiert von Zn, Cd, Mn,
- meist relativ geringe Pb-, Fe- und As-Gehalte
- erhöhte Sulfat- und Ca-Gehalte
- moderate bis geringe Na-, K- und Mg-Gehalte

Diese Ähnlichkeiten in der hydrogeochemischen Charakteristik erlauben eine weitgehende Übertragung experimenteller Ergebnisse mit Skalierung entsprechend den Konzentrationen. Daher ist eine exemplarische Untersuchung der ausgewählten Wässer in der derzeitigen Bearbeitungsphase ausreichend.

Für die experimentellen Untersuchungen wurden drei Grubenwassertypen ausgehalten:

- TUH-B: typisches Zulaufwasser zum VGS (Firstzulauf), starke Belastung durch Sickerwässer der Halde Davidschacht
- TUH-V: ein typisches Wasser, das aus dem Bereich VGS zum Rothschönberger Stolln abfließt
- RSS: das Wasser des Rothschönberger Stollns

Die Charakteristik der Wässer ist in Tabelle 24 und deren chemische Zusammensetzung in Tabelle 25 angegeben.

Tabelle 24: Charakteristik der untersuchten Wasserproben

Probe	Ort	Charakteristik	repräsentiert	
TUH-B	Turmhof Hilfsstolln, Caspar Stehender, Firstzulauf	Wasserzulauf aus Firste, durch Sickerwässer aus Halde Davidschacht stark beeinflusst	hohe Schwermetallgehalte bei niedrigem pH	Wässer nahe der Schwermetallquellen, stark schwermetallhaltige Wässer mit geringer Abflussmenge
TUH-V	Turmhof Hilfsstolln, Caspar Stehender, Sohle	Wasser auf der Streckensohle; versinkt zum Rothschönberger Stolln	mittlere Schwermetallgehalte	
RSS	Rothschönberger Stolln (Gesamtablauf des Reviers Halsbrücke-Freiberg-Brand)	Röschenauslauf	relativ niedrige Schwermetallgehalte infolge stärkerer Verdünnung	Stollnwässer im Sinne von Mischwässern aus verschiedenen Zuflüssen einschließlich gering belasteter versickernder Oberflächenwässer

Tabelle 25: Chemische Zusammensetzung der untersuchten Wasserproben

Probe	Sulfat	Chlorid	Aluminium	Arsen	Blei	Cadmium	Calcium	Eisen	Kalium
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
TUH-B	2669,11		120	0,12	0,003	1,0	340	11	0,05
TUH-V	1791,9		22	0,073	0,044	0,53	350	3,9	9,4
RSS	253	60	1,8	0,014	0,005	0,022	110	0,44	1,4
Probe	Cobalt	Kupfer	Magnesium	Mangan	Natrium	Nickel	Uran	Zink	pH
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
TUH-B	n.b.	5,1	170	69	18	0,61	0,065	120	3,09
TUH-V	n.b.	0,34	150	36	18	0,25	0,0053	70,0	3,72
RSS	0,004	<0,001	27	0,70	37	<0,001	0,001	3,9	6,95

12.4 Nanofiltration

12.4.1 Anlagenkonfiguration

Die Laboruntersuchungen wurden mit einer Membrantestanlage des Typs „Maximen“ der Firma PS Prozesstechnik durchgeführt. Eine schematische Anlagenkonfiguration ist in Abbildung 24 dargestellt.

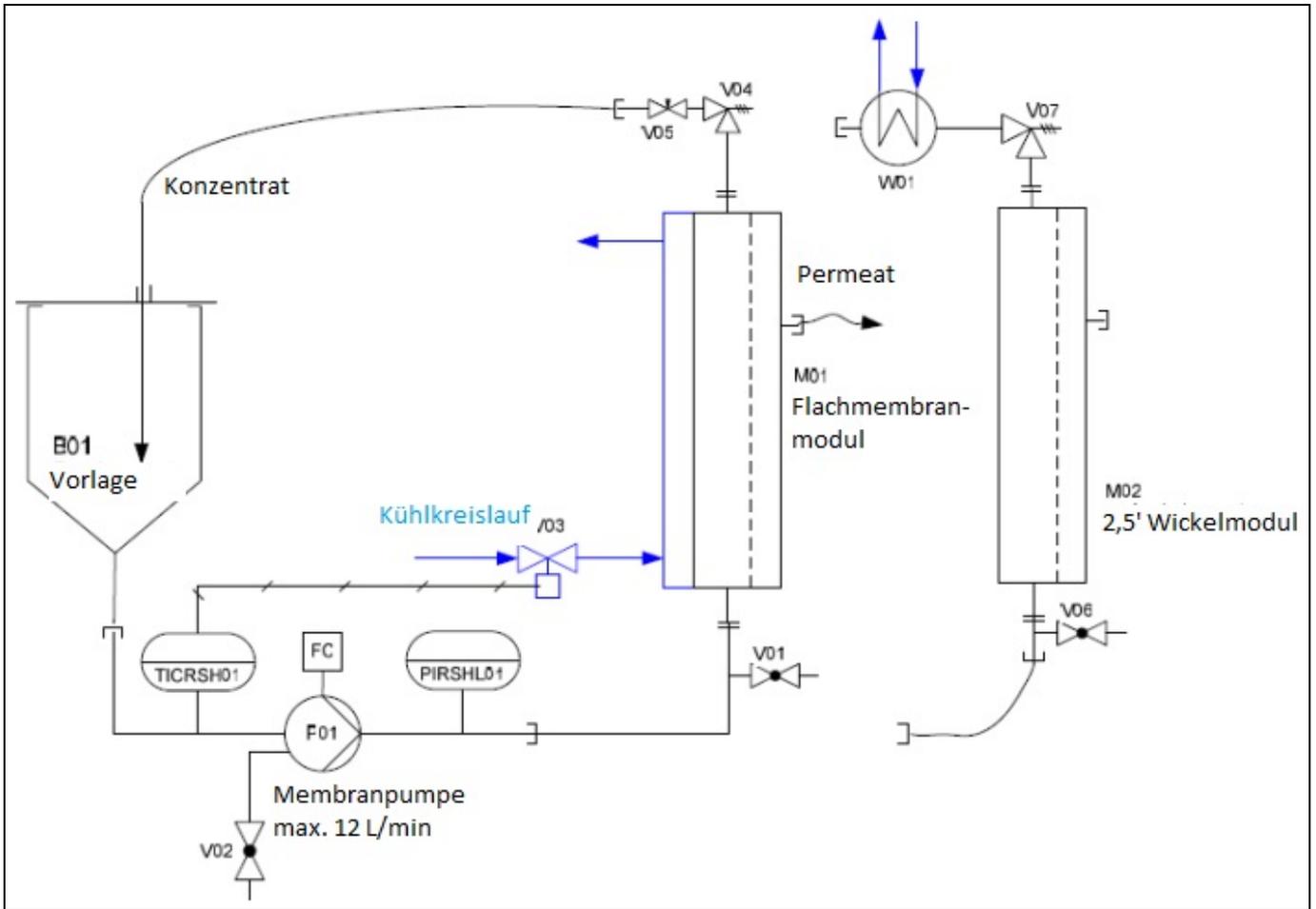


Abbildung 24: Schematische Anlagenkonfiguration

Vom Feed-Behälter B01 wird das zu untersuchende Wasser mittels Membranpumpe (P01) über das Flachmembranmodul (M01) gefördert. Die Fördermenge der Pumpe wird dabei über einen Frequenzumrichter reguliert. Durch die Ventile V04 und V05 wird der transmembrane Druck eingestellt, wobei das Permeat im freien Auslauf abfließen kann. Die zur Verfügung stehende Membranfläche im Flachmembranmodul beträgt 200 cm². Für Langzeitversuche werden Permeat und Konzentrat jeweils wieder in den Feed-Behälter zurückgeführt, für die Ermittlung von Permeatflüssen und Ionenrückhalten bei entsprechenden Permeatanteilen wird das Permeat nicht wieder zurückgeführt bis die jeweilige Aufkonzentrierung erreicht ist. Durch den Energieeintrag und die Kreislaufführung würde sich die Feedlösung erwärmen. Um dies zu verhindern wird die Anlage über einen Wärmetauscher mit angeschlossenem Kryostat am Flachmembranmodul temperiert.

Da die Versuche lediglich ersten orientierenden Charakter hatten, wurde nur eine kommerziell erhältliche Nanofiltrationsmembran getestet und der Druck nur in zwei Stufen variiert.

Die verwendete Membran war eine Nanofiltrationsmembran vom Typ GE DL (Polyamid Thin Film) mit der in vorherigen Projekten zur Bergbauwasserbehandlung gute Erfahrungen hinsichtlich Permeabilität, Stabilität und Trennleistung gemacht wurden.

Die Versuchsparameter für die drei untersuchten Wässer waren wie folgt:

Verwendete Membran: GE DL
Druckstufen: 5/10 bar
Volumenstrom: 2,9 L/min
Überströmgeschwindigkeit: 0,5 m/s
Temperatur: 18-19°C

Es wurden zum einen 24h-Stunden-Versuche bei konstantem Druck und Kreislaufführung von Permeat und Konzentrat sowie jeweils ein Versuch zur Aufkonzentrierung bis auf 80% Permeatanteil durchgeführt.

Bei beiden Wässern wurde dem Feed ein Antiscalant (Typ Flocon 135, Dosierung 5 ppm) zugesetzt, um insbesondere ein Ausfällen von Gips und damit ein blockieren der Membran durch Scaling zu vermeiden.

12.4.2 Ergebnisse

12.4.2.1 TUH-B-Wasser

Die Charakteristik des TUH-B-Wassers ist in Abschnitt 12.3 beschrieben.

Zunächst wurde über 24h das mit Antiscalant versetzte Originalwasser im Kreislauf über die Membran gefahren und Permeat und Konzentrat wieder in den Feed-Behälter zurückgeführt. Über den Versuchszeitraum wurde der Permeatfluss aufgenommen, um zu ermitteln, ob schon frühzeitig Veränderungen an der Membran auftreten (Abbildung 25).

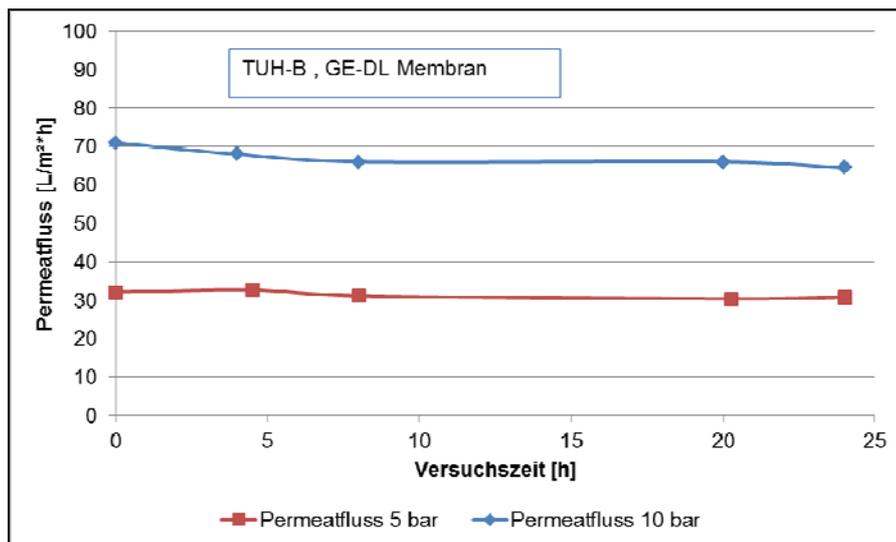


Abbildung 25: Aufnahme Permeatfluss TUH-B-Wasser

Der 24h-Versuch erfolgte bei zwei verschiedenen Druckstufen. Es ist erkennbar, dass über den Versuchszeitraum kein nennenswerter Abfall im Permeatfluss zu verzeichnen ist. Durch die höhere Triebkraft bei der Druckstufe von 10bar ist der Durchfluss entsprechend erhöht. Umgerechnet auf die Permeanz ($L/m^2 \cdot h \cdot bar$) ergibt sich im Mittel ein leicht besserer Wert von $6,71 L/m^2 \cdot h \cdot bar$ bei 10 bar gegenüber $6,29 L/m^2 \cdot h \cdot bar$ bei 5 bar.

Das TUH-B-Wasser soll in der Konzeption am Mundloch des VGS behandelt werden. Daher kommt in diesem Falle eine Behandlung mittels Neutraseal-Technologie mit integrierter Membrantrennung nicht in Betracht (Abschnitt 13.3). Daher wurden die folgenden Versuche zur Aufkonzentrierung und Ionenrückhalt mit der Druckstufe von 10 bar durchgeführt.

Dabei wurde das erzeugte Permeat nicht in den Feed-Behälter zurückgeführt, sondern separat gesammelt. Über den Verlauf der Aufkonzentrierung wurde der Permeatfluss bestimmt (Abbildung 26) und die Leitfähigkeit im Konzentrat gemessen (Abbildung 27). Um ein ausreichendes Volumen an Konzentratlösung (nur noch 20% des Ausgangsvolumens) für anschließende Fällungsversuche zu erzeugen, wurde der Versuch dreimal wiederholt.

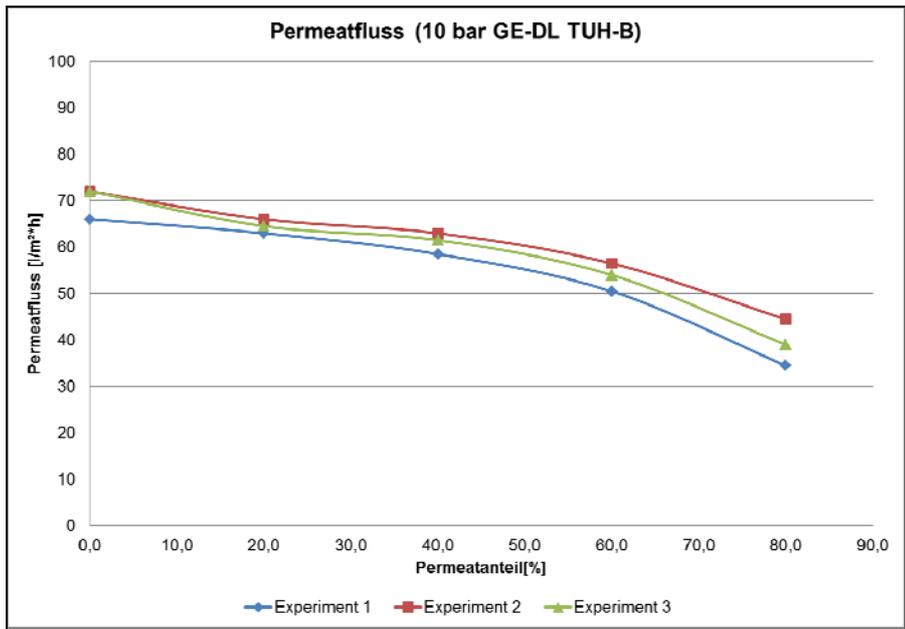


Abbildung 26: Permeatfluss bei Aufkonzentrierung (TUH-B)

Deutlich erkennbar ist der abnehmende Permeatfluss mit zunehmender Aufkonzentrierung. Dies ist durch die ansteigende Salzkonzentration auf der Feed-Seite und den damit zunehmenden osmotischen Druck, der überwunden werden muss, bedingt. Erkennbar ist dies ebenso durch die stetig ansteigende Leitfähigkeit im Konzentrat während des Verlaufes der Aufkonzentrierung (Abbildung 27).

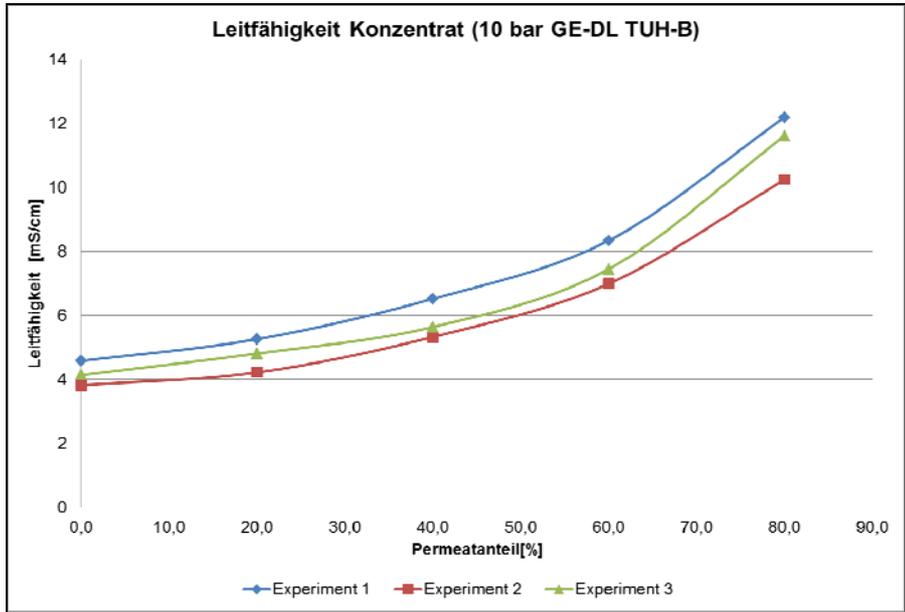


Abbildung 27: Leitfähigkeit im Konzentrat (TUH-B)

Nanofiltrationsmembranen weisen generell höhere Rückhalte für zweiwertige Ionen auf. Einwertige Ionen werden nur in einem geringeren Maße zurückgehalten. In Abbildung 28 sind die analysierten Werte für das Konzentrat und das Permeat bei einem 80%igen Permeatanteil dargestellt. Zum Vergleich sind die Ausgangswerte des Originalwassers noch mit dargestellt.

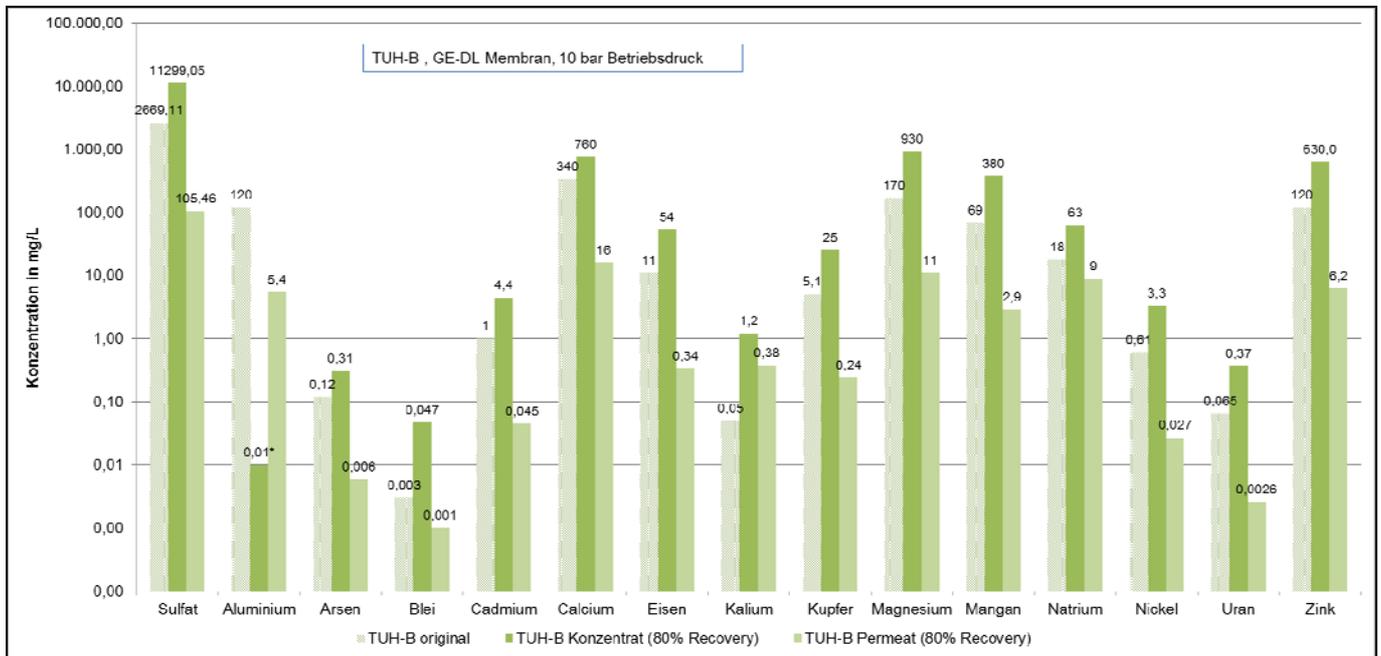


Abbildung 28: Ionenkonzentration TUH-B original/Konzentrat/Permeat

Deutlich ist zu erkennen, dass ein Großteil der Ionen im Konzentrat zurückgehalten werden (Achtung: logarithmische Skalierung/ *Al im Konzentrat wahrscheinlich Problem bei Analyse,, nicht auswertbar*).

Wenn man aus den Werten den Rückhalt für die einzelnen Ionen bestimmt ($R = 1 - (C_{\text{Permeat}}/C_{\text{Konzentrat}})$), dann ergeben sich die im Anschluß folgenden Rückhalte:

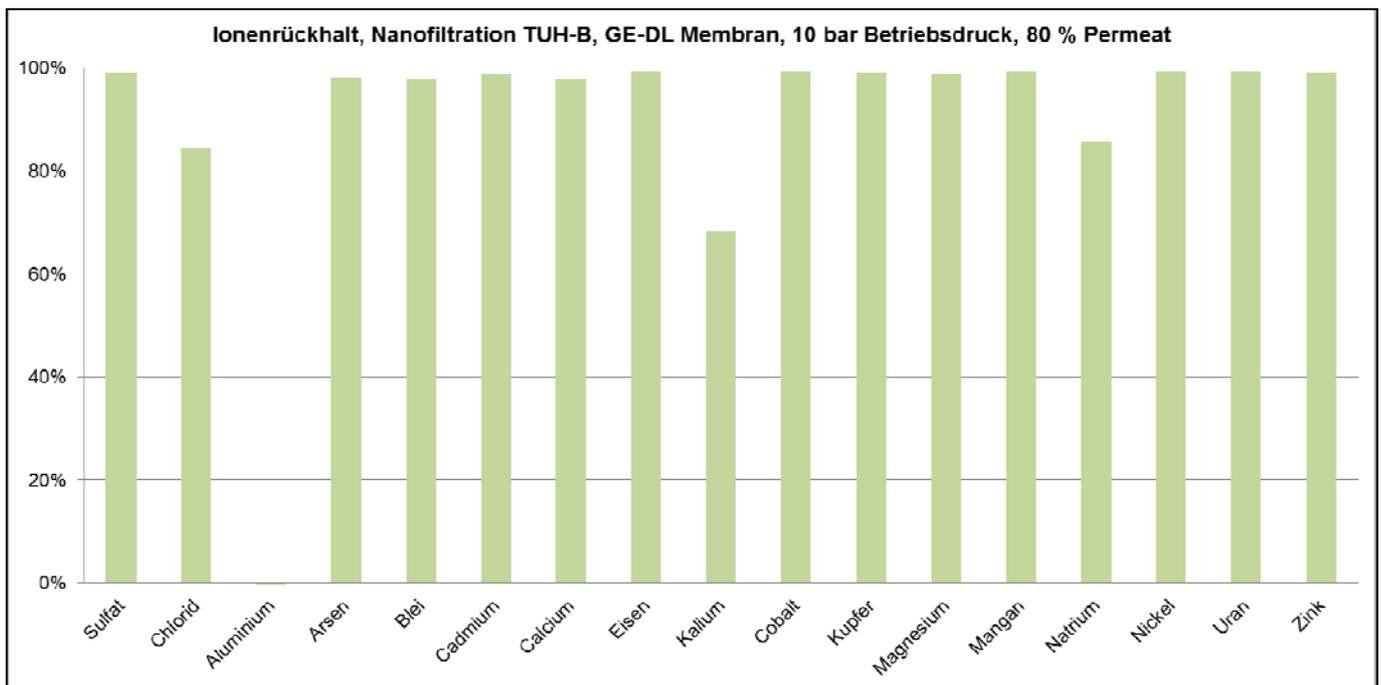


Abbildung 29: Ionenrückhalt TUH-B

Für die polyvalenten Ionen liegt der Rückhalt durchgängig >95%, während der Rückhalt der einwertigen Ionen im erwarteten Bereich um die 80% liegt. Im Unterschied zu Literaturangaben [79] liegt auch der Rückhalt für das Cadmium-Kation bei über 99%. Dies überrascht etwas, kann aber damit zusammenhängen, dass die relativ komplexe Zusammensetzung der Stolln-Wässer, verbunden mit dem hohen Sulfat-Anteil auf der Anionen-Seite zu einem erhöhten Rückhalt aus Gründen der

Elektroneutralität führt (Donnan-Effekt). In weiteren Untersuchungen sollte dieser Effekt an synthetischen Modelllösungen, Originallösungen sowie evtl. modifizierten Originallösungen weiter untersucht werden.

Wenn sich der hohe Rückhalt für den Zielparameter Cadmium bestätigt, dann hat dies große Auswirkungen auf eine mögliche Anlagentechnologie.

Die in Vorstudien ([59]) auf der Basis von Literaturangaben konzeptionierte 3-stufige Nanofiltration könnte dann auf zwei oder sogar eine Membranstufe reduziert werden.

Es muss nochmals betont werden, dass die hier gemachten Untersuchungen nur orientierenden Charakter besitzen und für eine komplette Anlagendimensionierung keinesfalls ausreichen.

Während der Aufkonzentrierungsversuche stellte sich auf der Konzentratseite ein feiner, weißer Niederschlag ein, der sich aber nicht als feste Kruste (Scaling) auf der Membran festsetzte. Für die nähere Bestimmung dieses Niederschlages und die langzeitlichen Auswirkungen auf die Leistung einer Membranstufe sowie eine mögliche Optimierung des eingesetzten Antiscalants sind ebenfalls noch weitere Untersuchungen notwendig.

12.4.2.2 TUH-V-Wasser

Für das zweite untersuchte Wasser (TUH-V) gelten im Wesentlichen die gleichen Aussagen wie für das TUH-B-Wasser (12.4.2.1).

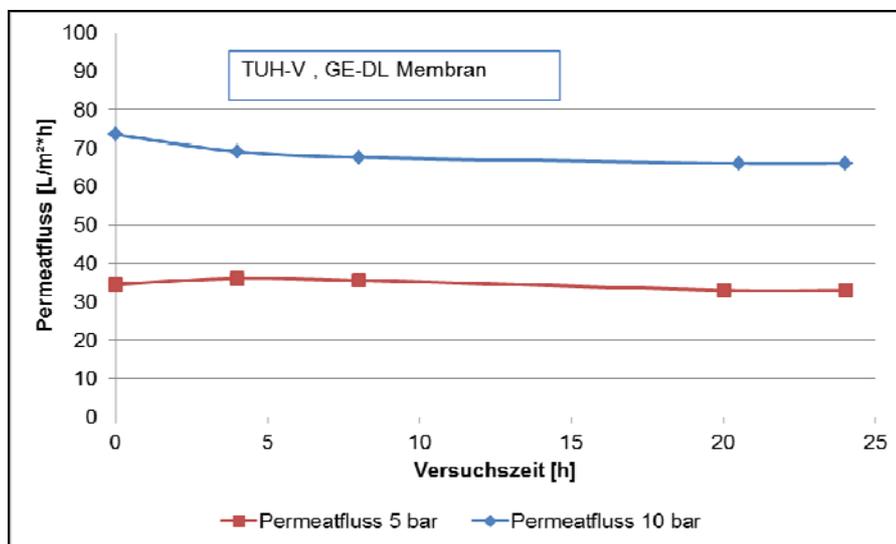


Abbildung 30: Aufnahme Permeatfluss TUH-V-Wasser

Der Permeatfluss bleibt über die 24h relativ konstant, die ermittelten Permeanzen liegen für beide Druckstufen bei 6,6 L/m²·h·bar.

Bei der Aufkonzentrierung des Wassers sinkt der Permeatfluss und die Leitfähigkeit im Konzentrat steigt an. Aufgrund der potentiellen Behandlung dieses Wassers untertage mithilfe der gekapselten Neutraseal-Technologie (siehe Abschnitt 13.2) wurden die Aufkonzentrierungen nur mit 5bar durchgeführt, da diese Druckstufe noch mit der Nutzung der natürlichen Höhendifferenz erzielt werden könnte.

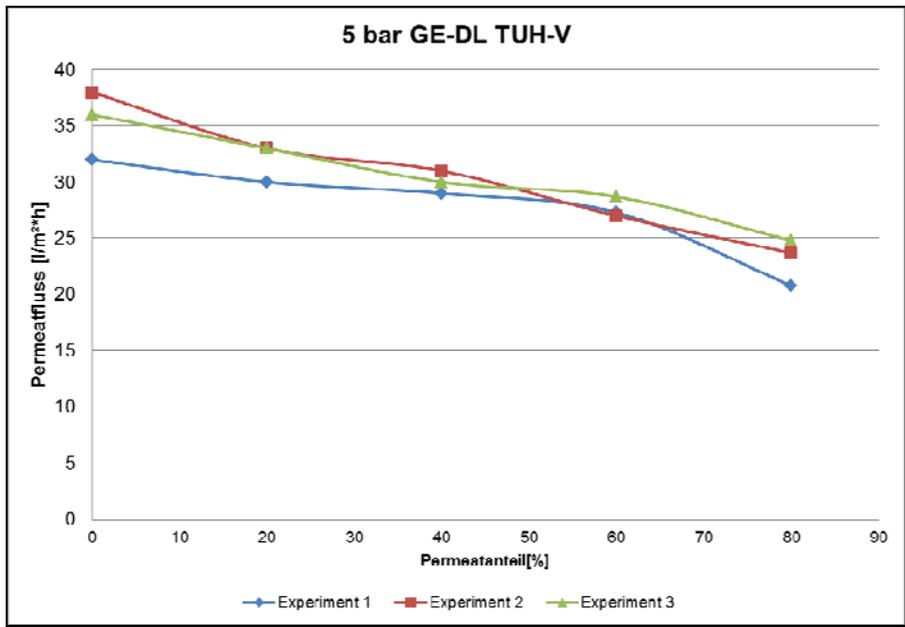


Abbildung 31: Permeatfluss bei Aufkonzentrierung (TUH-V)

Da die verwendete Druckstufe (5 bar) nur der halben Druckhöhe des ersten Versuches entspricht, ist auch der Permeatfluss im Vergleich entsprechend reduziert. Wenn man die beiden Permeanzen vergleicht, dann zeigt sich, dass beim TUH-V-Wasser bei 80% Permeatanteil aufgrund des niedrigeren Salzgehaltes eine etwas höhere Permeanz erreicht wird (4,62 gegenüber 3,93 L/m²*h*bar).

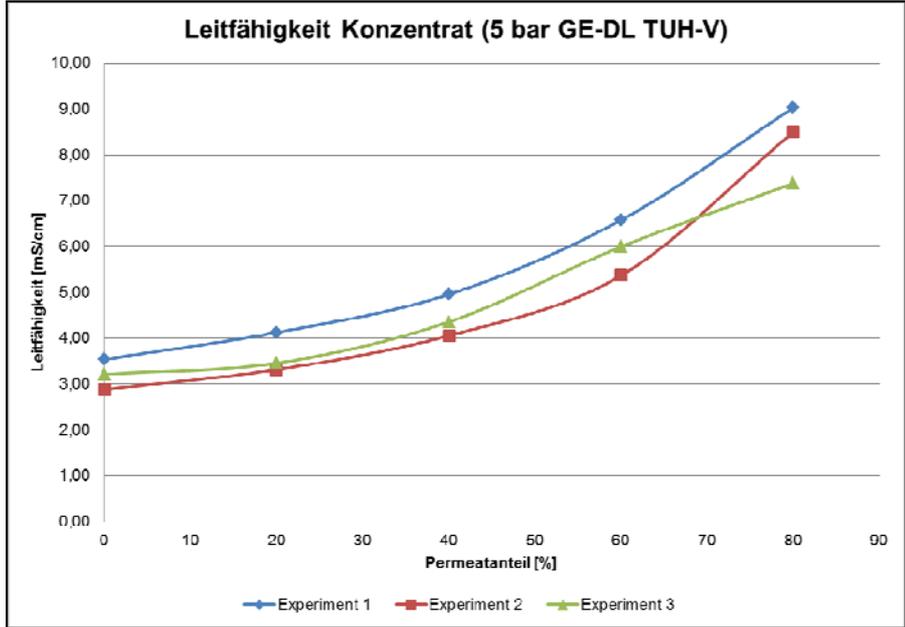


Abbildung 32: Leitfähigkeit im Konzentrat (TUH-V)

Aufgrund der niedrigeren Ausgangskonzentrationen im Originalwasser steigt die Leitfähigkeit im Konzentrat auch nicht ganz so hoch an im Vergleich zum TUH-B-Wasser an.

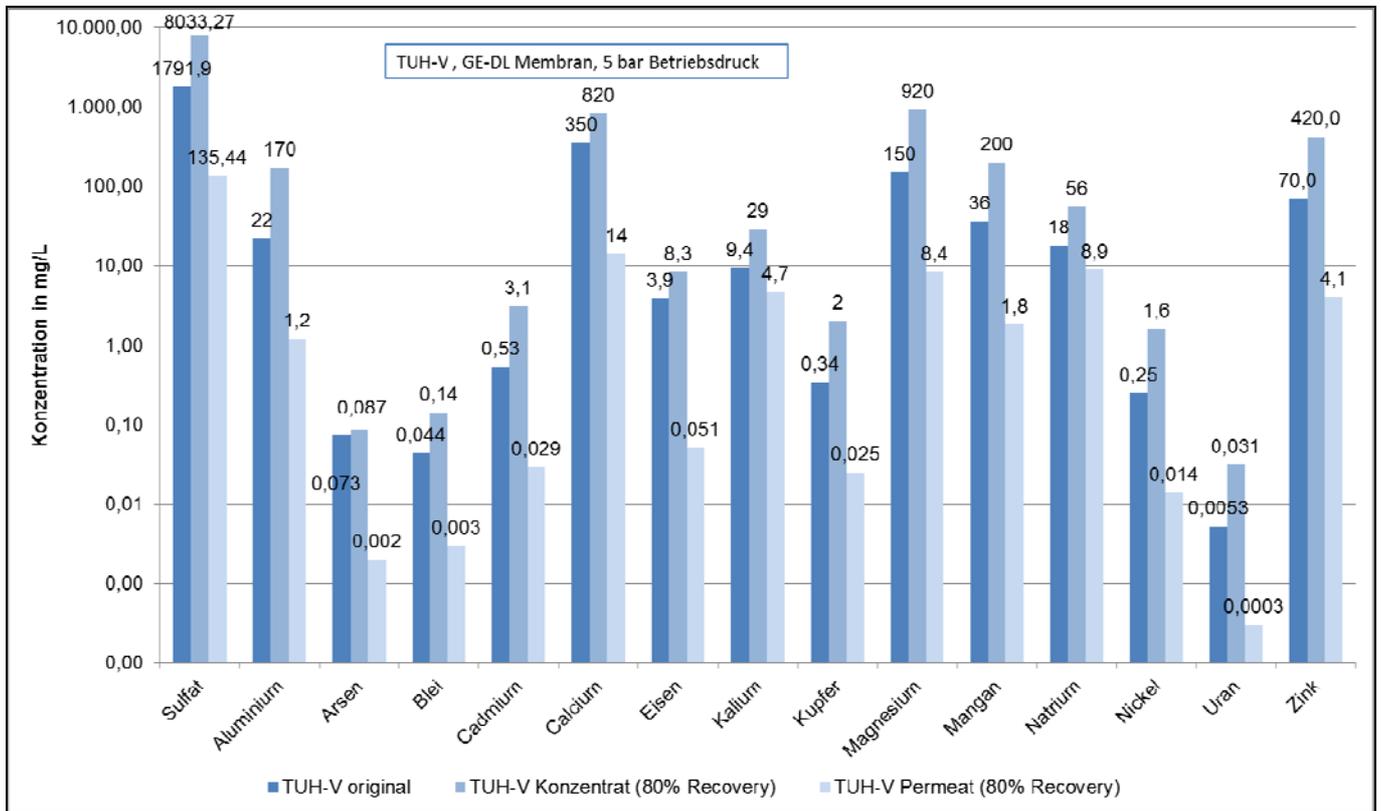


Abbildung 33: Ionenkonzentration TUH-V original/Konzentrat/Permeat

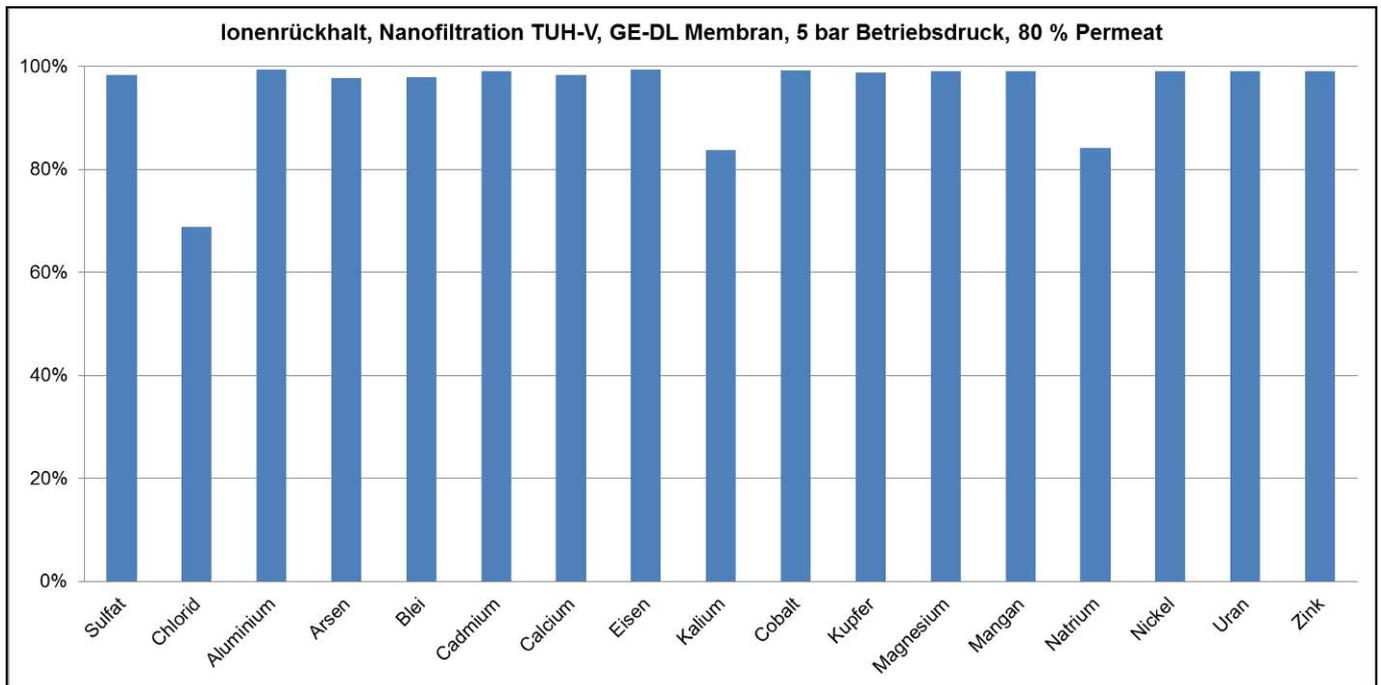


Abbildung 34: Ionenrückhalt TUH-V

12.4.2.3 RSS-Wasser

Die Charakteristik des RSS-Wassers ist in Abschnitt 12.3 beschrieben.

Zunächst wurde über 24h das mit Antiscalant versetzte Originalwasser im Kreislauf über die Membran gefahren und Permeat und Konzentrat wieder in den Feed-Behälter zurückgeführt. Über den Versuchszeitraum wurde der Permeatfluss aufgenommen, um zu ermitteln, ob schon frühzeitig Veränderungen an der Membran auftreten (Abbildung 35).

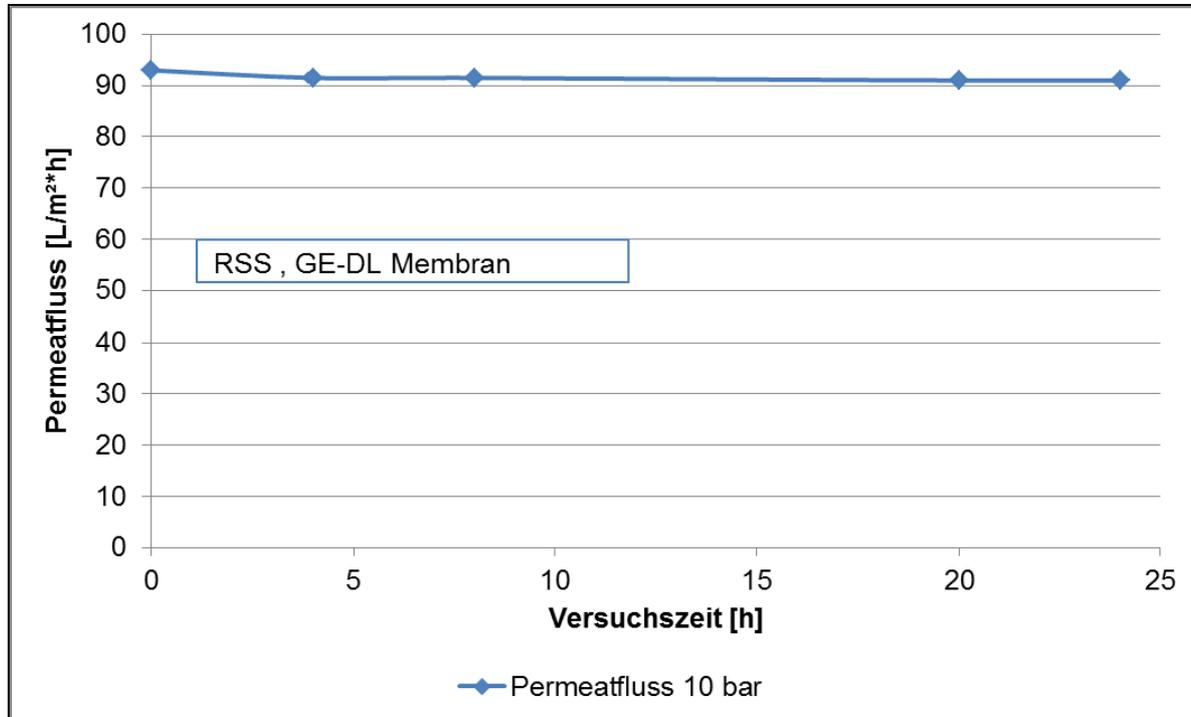


Abbildung 35: Aufnahme Permeatfluss RSS-Wasser

Es ist deutlich zu erkennen, dass es über die 24h zu keinen Veränderungen im Membranverhalten gekommen ist. Die Permeanz lag mit $9,1 \text{ L/m}^2\text{h}\cdot\text{bar}$ deutlich über den für das TUH-V und TUH-B-Wasser ermittelten Permeanzen. Dies ist aufgrund des wesentlich geringeren Gesamtsalzgehaltes und dem damit verbundenen niedrigeren osmotischen Drucks aber auch plausibel.

Bei der Aufkonzentrierung kommt es zu einem Absinken des Permeatflusses (Abbildung 36).

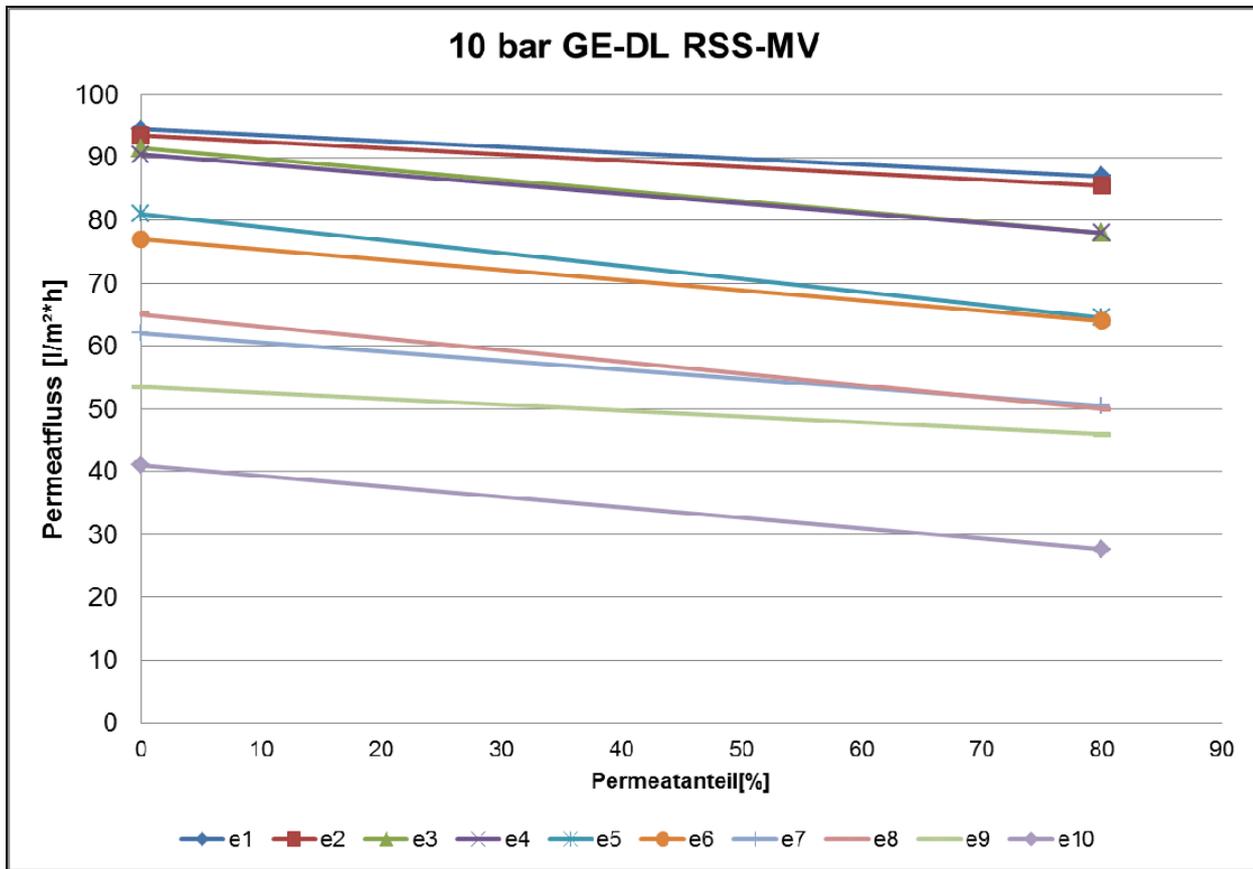


Abbildung 36: Permeatfluss bei Aufkonzentrierung (RSS)

Dabei zeigt sich bei der mehrfachen Wiederholung der Versuche zur Erzeugung einer ausreichenden Konzentratmenge, dass im Gegensatz zum TUH-V und TUH-B-Wasser eine signifikante Abnahme des Permeatflusses zu verzeichnen ist. Dies war aufgrund der eigentlich niedrigeren Sulfat- und Calciumgehalte im Rohwasser nicht zu erwarten, zeigt aber deutlich, dass für die Dimensionierung einer großtechnischen Anlage auf jeden Fall Langzeitexperimente erforderlich sind, um den Einfluss auf die Membranleistung genauer abschätzen zu können.

In Abbildung 37 sind die analysierten Werte für das Konzentrat und das Permeat bei einem 80%igen Permeatanteil dargestellt. Zum Vergleich sind die Ausgangswerte des Originalwassers noch mit dargestellt.

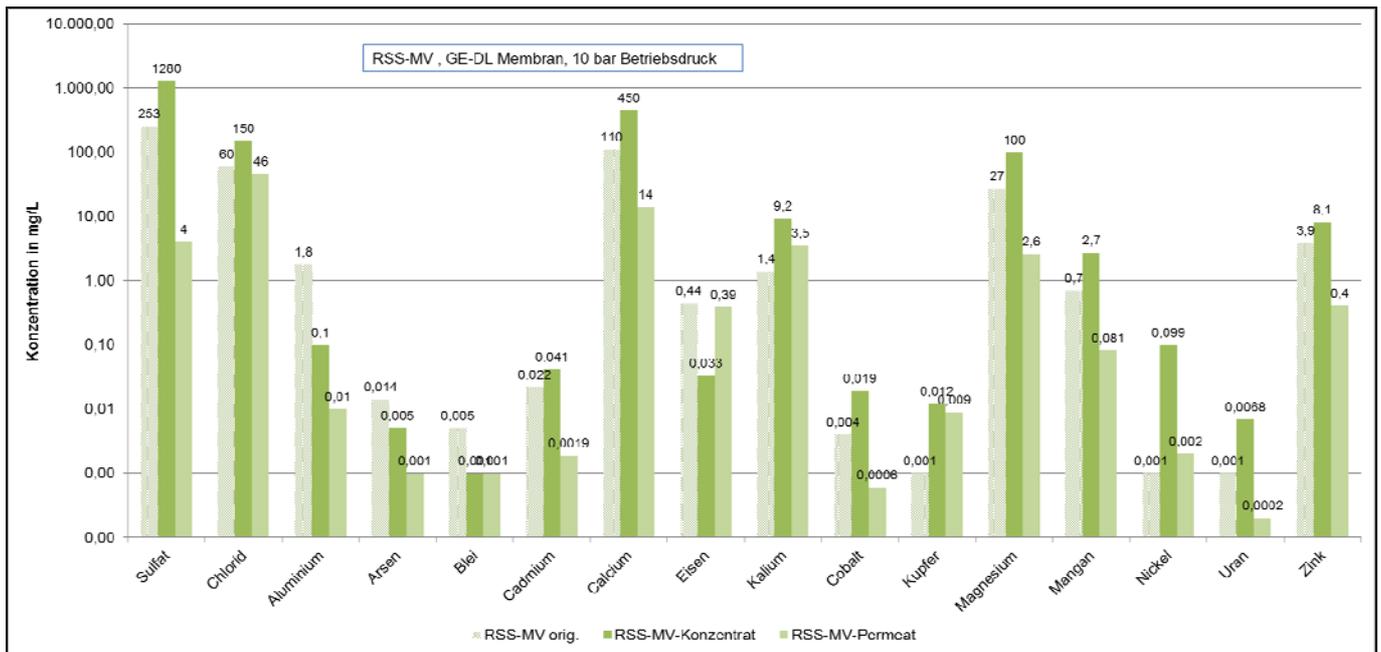


Abbildung 37: Ionenkonzentration RSS original/Konzentrat/Permeat

Aus den Ionenkonzentrationen lässt sich anschließend der Rückhalt für die einzelnen Ionen berechnen (Abbildung 38).

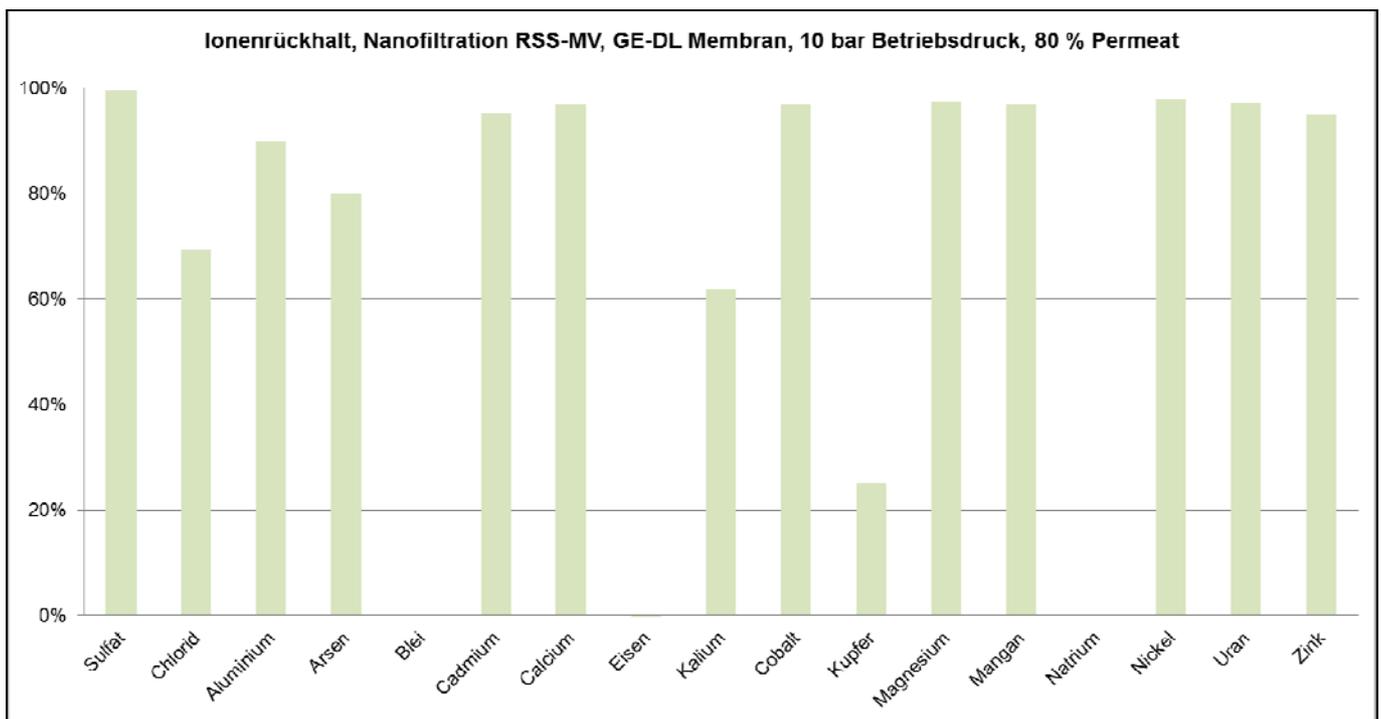


Abbildung 38: Ionenrückhalt RSS

Wie auch für die anderen Wässer liegt der Rückhalt für die polyvalenten Ionen durchgängig >95%, während der Rückhalt der einwertigen Ionen im erwarteten Bereich um die 60-80% liegt.

12.5 Fällungsversuche

12.5.1 Fällung

Um die Cadmium-Fracht endgültig aus dem Wasser zu entfernen und um das Konzentrat wieder in die Vorflut abgeben zu können, muss das Cadmium aus den Nanofiltrationskonzentraten ausgefällt werden. Aus Voruntersuchungen ([49],[59]) ist bekannt, dass eine einzelne Fällungsstufe nicht ausreicht, um die Cadmiumkonzentration auf den Zielwert von <1 µg/L zu drücken. Daher wird das Klarwasser nach der Fällung noch über einen Travertinfilter geleitet.

Die Versuche wurden mit den folgenden, in Tabelle 26 zusammengefassten Parametern, durchgeführt:

Tabelle 26: Parameter Fällung

Fällungsmittel	TUH-B-Wasser NF-Konzentrat		TUH-V-Wasser NF-Konzentrat		RSS-Wasser NF-Konzentrat		
	Kalkmilch (10 Ma-%)	Soda (1molar)	Kalkmilch (10 Ma-%)	Soda (1molar)	Kalkmilch (10 Ma-%)	Soda (1molar)	NaOH (1molar)
Eingestellter pH-Wert	8,5	8,0	8,5	8,0	9,0	9,0	9,0
Schlammvolumen [nach 24h]	45%	25%	30%	21%	Minimal	Kein Schlamm	Kein Schlamm
Filtration	Travertin	Travertin	Travertin	Travertin	Travertin	Travertin	Travertin
Verweilzeit Filtration	1h	1h	1h	1h	1h	1h	1h

Da auch im Konzentrat des RSS-Wassers die Konzentrationen an fällungsrelevanten Spezies niedrig ist, da das RSS-Wasser insgesamt sehr verdünnt ist, sind hier auch keine nennenswerten Schlammvolumina zu verzeichnen.

In der folgenden Abbildung 39 sind die Cadmiumgehalte von den Ausgangswässern TUH-B und TUH-V über die einzelnen Prozessstufen dargestellt.

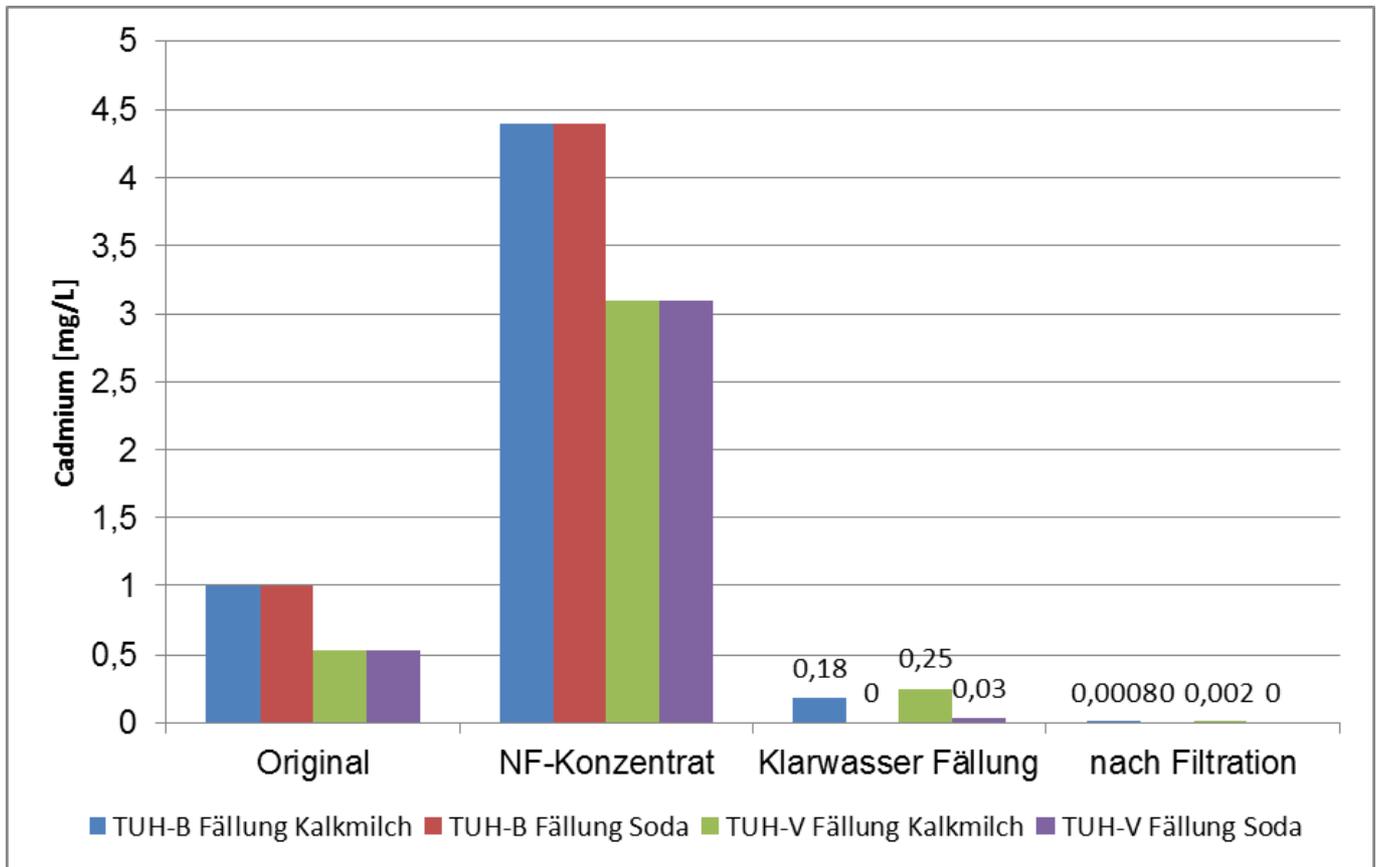


Abbildung 39: Cadmiumgehalt vor/nach Fällung/Filtration

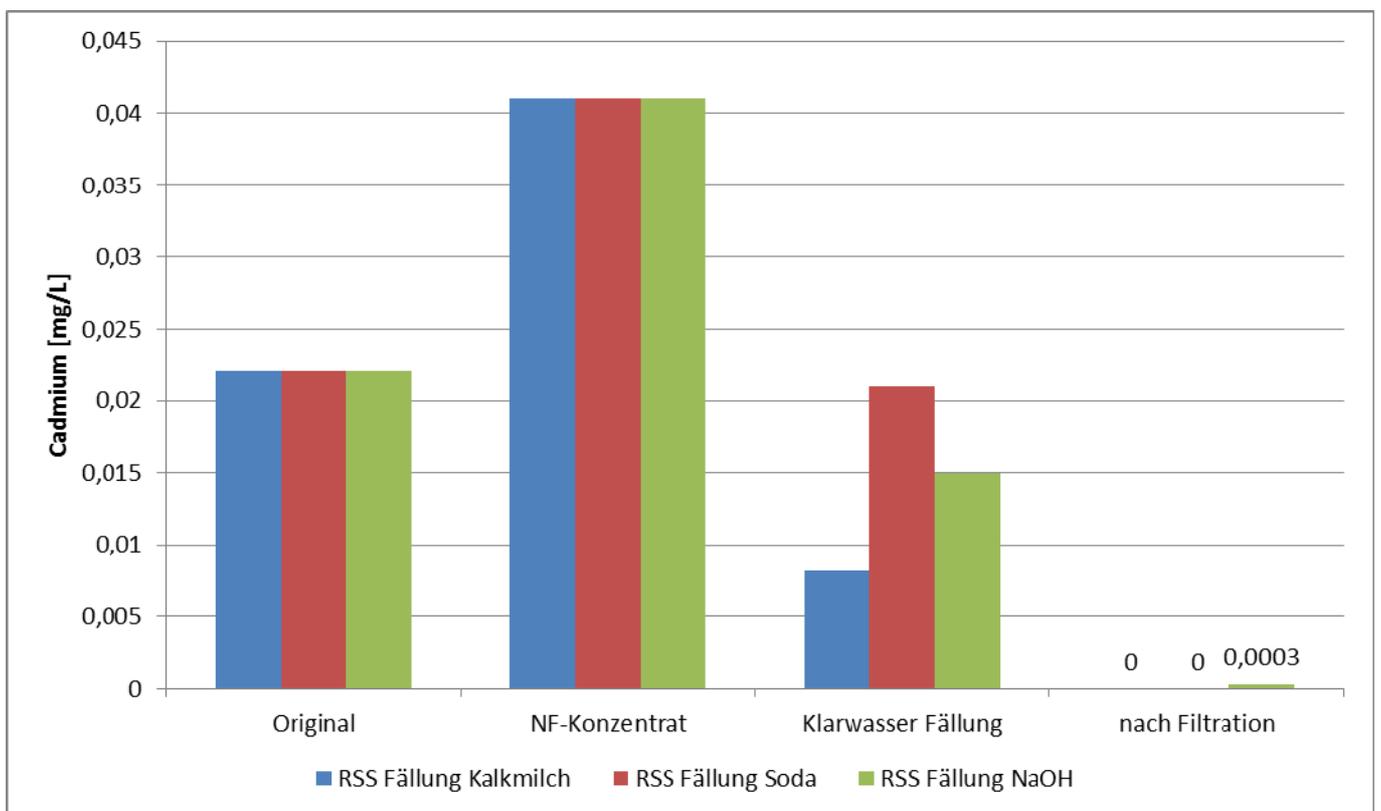


Abbildung 40: Cadmiumgehalt vor/nach Fällung/Filtration (Rothschönberger Stolln)

Es ist deutlich zu erkennen, dass in der Nanofiltration eine Aufkonzentrierung um den Faktor 3-6 stattfindet und in der Fällungsstufe insbesondere bei der Fällung mit Soda eine Reduzierung der Cadmium-Konzentration bis in die Nähe des Zielwertes bzw. darunter stattfindet (Bestimmungsgrenze 0,2 µg/L).

Durch die nachgeschaltete Filtrationsstufe wird in drei von vier Fällen der Zielwert von 1 µg/L unterschritten.

Das Wasser des Rothschnberger Stollns wurde analog zu den TUH-Wässern behandelt und zusätzlich noch einer Fällung mit NaOH unterzogen. In Abbildung 40 sind die Ergebnisse hinsichtlich des Zielwertes Cadmium über die einzelnen Prozessstufen abgebildet.

Auch hier ist eine Aufkonzentrierung um den Faktor 2 in der Nanofiltrationsstufe sowie die Abreicherung in der Fällung und anschließenden Filtration zu erkennen. Aufgrund der sehr viel niedrigeren Ausgangskonzentrationen im Rohwasser und auch im Konzentrat der Nanofiltration wird nach der Filtration in allen drei Fällen der Zielwert für das Cadmium erreicht.

13 Anlagenkonzeptionen

Für die Behandlung der Wässer im Rothschnberger Stolln stehen verschiedene Behandlungstechnologien und -strategien zur Verfügung. Eine Übersicht über alle möglichen Behandlungstechnologien wurde in der vorherigen Studie ([59]) gegeben. Die hier im Folgenden dargestellten Konzeptionen konzentrieren sich auf die Behandlung von (hochbelasteten) Teilströmen. Die Behandlung dieser Teilströme trägt zu einer deutlichen Reduzierung der Gesamtbelastungssituation bei, wobei die zu behandelnden Volumenströme wesentlich geringer sind als bei einer Vollstrombehandlung am Mundloch des Rothschnberger Stolln.

13.1 Membrananlage am Mundloch VGS

Bei Fassung der wenig bis nicht belasteten Wässer am Rande des Freiburger Bergbaureviers und direkter Umleitung in die Mulde wird eine Verdünnung der belasteten Wässer vermieden und der zu behandelnde Volumenstrom deutlich reduziert [49]. Es ist damit denkbar, dass am Mundloch des Verträgliches Gesellschaft Stolln eine Membrananlage mit anschließender Konzentratbehandlung installiert wird. Eine einstufige Nanofiltration kann aus dem hochbelasteten Wasser des TUH-B konservativ angenommen bis zu 95% des Cadmiums im Konzentrat zurückhalten. Das Permeat besitzt nur noch eine Belastung von 4,5 µg/L. Das aufkonzentrierte Cadmium im Konzentrat (nur noch 25% des ursprünglichen Volumenstroms) kann einer Fällungsbehandlung unterzogen werden. Mit der Fällung können mehr als 90% des Cadmiums aus diesem Teilstrom herausgeholt werden und damit zu einer deutlichen Entlastung der Vorfluter beitragen.

Für die Nanofiltration und auch die Fällungsbehandlung ist auf jeden Fall klassische Pumpen- und Rührtechnologie notwendig.

13.2 Membrananlage untertage (Neutralseal-Technologie)

Ebenfalls denkbar ist die Installation einer Nanofiltration mit Konzentratbehandlung untertage. Dabei könnte mittels der NeutraSeal-Technologie die Höhen- und damit entstehende Druckdifferenz zum Rothschnberger Stolln genutzt werden, um das TUH-V-Wasser ohne große weitere Pumpentechnik durch eine Nanofiltration aufzukonzentrieren. Das entstehende Konzentrat muss ebenfalls einer Fällungsbehandlung unterzogen werden.



Abbildung 41: Füllortbereich Reiche Zeche (Rothschönberger Stolln-Sohle)

Aufstellungsort der Behandlungsanlage könnte eine kleine Kaverne am Füllort des Reiche Zeche Schachtes in der Rothschönberger Stolln-Sohle (Abbildung 41) sein. Dieser weist folgende Charakteristik auf:

- Fläche geschätzt 50m² (ca. 6m x 8m) mit 3m Höhe
- daneben 40 m Strecke, 3 m hoch, 2 m breit
- Höhendifferenz HSU-Sohle bis 1. Sohle: 43,3 m (obere Kaskade)
- Höhendifferenz 1. Sohle bis RSS-Sohle: 82,7 m (untere Kaskade)
- geschätzter Durchfluss 20 l/s = 72 m³/h, für mehr ist kein Platz
- Wasserqualität: qualifizierte Annahme anhand von Analysen

Vorstellbar wäre auch, die durch den weiteren Versturz des Permeats erzeugte Energie zu nutzen, um den erzeugten Schlamm wieder an die Oberfläche zu pumpen und einer weiteren Entsorgung zuzuführen. Aufstellungsort müsste dann die 1. Sohle der Reiche Zeche sein.

13.3 Fällungsverfahren am Mundloch VGS (Neutralseal-Technologie)

Eine dritte Möglichkeit ist die Installation einer reinen Fällungsbehandlung am Mundloch des VGS. Für diese Variante sollte ebenfalls das wenig bis nicht belastete Wasser am Rande des Freiburger Bergbaureviers abgefangen und anderweitig abgeleitet werden.

Im Unterschied zur ersten Variante (Abschnitt 13.1) müsste aber der gesamte Teilstrom, der noch aus dem VGS herausströmt, behandelt werden. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten vor Ort und dem Höhenunterschied zum Vorfluter Mulde ist es denkbar, dass mit einem kleinen Anstau im Stolln und einer verrohrten Zuleitung zur Anlage bei Nutzung der Neutralseal-Technologie eine quasi pumpenfreie Behandlung möglich ist.

Das Stollwasser des VGS ist eine Mischung von

- unkontaminiertem Oberflächenwasser, das als „verbrauchtes“ Kühlwasser eingeleitet wird
- abfließenden Grubenwässern geringer Schwermetallbelastung, vor allem aus dem Bereich Abraham Schacht
- stark schwermetallbelasteten Sickerwässern des Haldenkomplexes Davidschacht (Grobbergehalde und Spülhalden Davidschacht und Hammerberg)

Für den VGS wird ein MQ-Wert von 50 l/s ([49]) angegeben. Dieser setzt sich zusammen aus

- unkontaminiertes Oberflächenwasser: 30 l/s
- abfließende Grubenwässer geringer Belastung: 10 l/s
- Sickerwässer 10 l/s

Für die nachfolgende Anlagenkonzeption wird davon ausgegangen, dass die stark belasteten Wässer getrennt gefasst werden. Dies ist möglich durch Einbau eines Wasserdammes in der Nähe des Straßenschachtes zum Fassen und Ableiten der wenig belasteten Wässer in einer Rohrleitung in den Roten Graben.

Der Stolln selbst dient als Kanal zur Fassung und Ableitung der stark schwermetallhaltigen Sickerwässer. In diesen können auch die Wässer des Turmhof Hilfsstolln eingebunden werden, die derzeit zum Rothschönberger Stolln versinken. Das Prinzip ist in Abbildung 42 dargestellt.

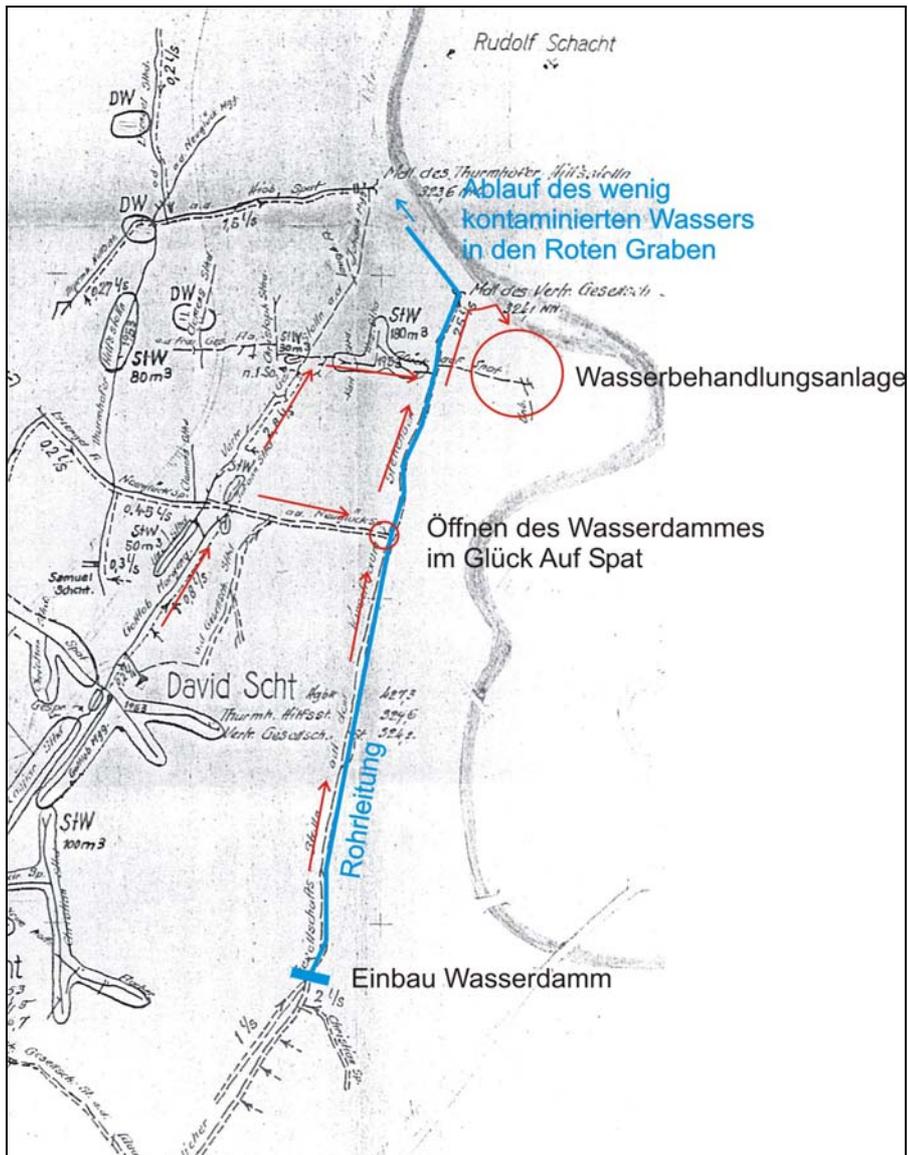


Abbildung 42: Variante zur Ableitung der stark belasteten Wässer im VGS

Höhendifferenzen:	
Referenzpunkt "Weg"	0 m
Wasserspiegel Roter Graben	-0.6 m
Sohle Kraftwerksgraben (Ablauf)	-3.5 m

14 Kostenbetrachtung

Im Bericht von 2014 [59] wurden die absoluten und spezifischen Kosten für die Behandlung des Wassers am Mundloch des Rothschönberger Stollns auf dem Niveau einer Vorplanung abgeschätzt.

Die Varianten Fällung Filtration sowie Nanofiltration/Fällung/Filtration werden dabei als Basisfälle für den Vergleich zu den anderen in diesem Bericht vorgestellten Varianten herangezogen

In Tabelle 27 ist gemäß [59] die Kostenermittlung für den Basisfall 1 aufgeschlüsselt.

**Tabelle 27: Basisfall 1 Behandlung Wasser RSS, Fällung/Filtration
(Studie 2013 [59])**

Durchfluss	800	L/s		
Durchfluss	2.000	m ³ /h		
Gesamtvolumen	17.520.000	m ³ /a		
Abschreibung/Ausrüstung	600.068	€/a	0,03425	€/m ³
Wartung/Instandhaltung	771.186	€/a	0,044017	€/m ³
Personalkosten	242.360	€/a	0,013833	€/m ³
Chemikalien/Module	357.934	€/a	0,02043	€/m ³
Energie	1.918.440	€/a	0,1095	€/m ³
Analytik	18.250	€/a	0,001042	€/m ³
Rückstandsentsorgung	404.400	€/a	0,023082	€/m ³
Dambauwerk und Rohrleitung	0	€/a	0	€/m ³
Gesamt	4.312.638	€/a	0,246155	€/m³

Dieser Basisfall dient als Grundlage für die Ermittlung der Kosten für eine Behandlung der höher kontaminierten, separat gefassten Wässer am Mundloch des VGS-Stolln.

Dabei werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Kosten für Ausrüstung/Wartung/Chemikalien/Module lassen sich linear auf die jeweilige Wassermenge runterskalieren
 - Die Personalkosten (1 Schicht, 2 Personen + Bereitschaft) der Basisfälle werden wegen der wesentlich geringeren Wassermengen der Varianten auf 1 Person/Schicht + Bereitschaft halbiert
 - Die Analysenkosten bleiben unverändert, da die Anzahl der Beprobungen und die Parameter unabhängig von der Wassermenge sind
 - Für die Varianten mit gekapselter NeutraSeal-Technologie wird eine Energieeinsparung von 45% [77] angenommen Diese Annahmen dienen dabei als Hilfe, um mit einem im Rahmen der Studie vertretbaren Aufwand zumindest für eine Abschätzung ausreichende Zahlen hinsichtlich jährlicher Gesamt- und spezifischer Kosten zu ermitteln.
- In Tabelle 28 sind die aus dem Basisfall 1 abgeleiteten Kosten für die Behandlung der höher kontaminierten, separat gefassten Wässer am Mundloch des VGS mittels Fällung und Filtration im gekapselten System (NeutraSeal) zusammengefasst.

Tabelle 28: Variante 1.1 Behandlung Wasser aus VGS, Fällung/Filtration/Neutralseal (diese Studie, abgeleitet aus Basisfall 1)

Durchfluss	20	L/s		
Durchfluss	72	m³/h		
Gesamtvolumen	630.720	m³/a		
Abschreibung/Ausrüstung	21.602	€/a	0,03425	€/m³
Wartung/Instandhaltung	27.763	€/a	0,044017	€/m³
Personalkosten	121.180	€/a	0,19213	€/m³
Chemikalien/Module	12.886	€/a	0,02043	€/m³
Energie	37.985	€/a	0,060225	€/m³
Analytik	18.250	€/a	0,028935	€/m³
Rückstandsentsorgung	14.558	€/a	0,023082	€/m³
Dammbauwerk und Rohrleitung	27.000	€/a	0,042808	€/m³
Gesamt	281.224	€/a	0,445878	€/m³

Insbesondere die hohen Personalkosten im Vergleich zur wesentlich größeren Anlage am Mundloch des Rothschönberger Stollns erhöhen die spezifischen Kosten pro m³ erheblich.

Aufgrund der wesentlich geringeren Wassermenge sind aber die absoluten, jährlichen Kosten, die hinsichtlich der Cadmium-Entfernung aus dem Gesamtrevier einen ähnlichen Effekt hätten absolut signifikant verringert. In Tabelle 29 wird der zweite Basisfall aus nochmals zusammengefasst.

Tabelle 29: Basisfall 2, Behandlung Rothschönberger Stolln, Nanofiltration /Fällung/Filtration (Studie 2013 [59])

Durchfluss	800	L/s		
Durchfluss	2.000	m³/h		
Gesamtvolumen	17.520.000	m³/a		
Abschreibung/Ausrüstung	2.147.275	€/a	0,122561	€/m³
Wartung/Instandhaltung	1.841.101	€/a	0,105086	€/m³
Personalkosten	242.360	€/a	0,013833	€/m³
Chemikalien/Module	7.173.834	€/a	0,409465	€/m³
Energie	2.409.876	€/a	0,13755	€/m³
Analytik	18.250	€/a	0,001042	€/m³
Rückstandsentsorgung	404.400	€/a	0,023082	€/m³
Dammbauwerk und Rohrleitung		€/a		€/m³
Gesamt	14.237.096	€/a	0,81262	€/m³

Der Vergleich mit diesem Basisfall wird mit der Variante Behandlung der höher kontaminierten, separat gefassten Wässer am Mundloch des VGS mittels Nanofiltration und Fällung/Filtration des volumenreduzierten Konzentratstromes (Tabelle 30) und mit einer untertägigen Anlage im Versturz des Reichen Zeche und Ausnutzung des erzeugten Drucks für eine Nanofiltration und anschließende Behandlung des volumenreduzierten Konzentratstromes mittels Fällung/Filtration (Tabelle 31) durchgeführt.

Tabelle 30: Variante 1.2, Behandlung Wasser aus VGS, Nanofiltration/Fällung/Filtration (diese Studie, abgeleitet aus Basisfall 1)

Durchfluss	20	L/s		
Durchfluss	72	m³/h		
Gesamtvolumen	630.720	m³/a		
Abschreibung/Ausrüstung	77.302	€/a	0,122561	€/m³
Wartung/Instandhaltung	66.280	€/a	0,105086	€/m³
Personalkosten	121.180	€/a	0,19213	€/m³
Chemikalien/Module	258.258	€/a	0,409465	€/m³
Energie	86.756	€/a	0,13755	€/m³
Analytik	18.250	€/a	0,028935	€/m³
Rückstandsentsorgung	14.558	€/a	0,023082	€/m³
Dammbauwerk und Rohrleitung	27.000	€/a	0,0428	€/m³
Gesamt	669.583	€/a	1,0616	€/m³

Tabelle 31: Variante 2, Behandlung Wasser Versturz Reiche Zeche, Nanofiltration/Fällung/Filtration (diese Studie)

Durchfluss	20	L/s		
Durchfluss	72	m³/h		
Gesamtvolumen	630.720	m³/a		
Abschreibung/Ausrüstung	77.302	€/a	0,122561	€/m³
Wartung/Instandhaltung	66.280	€/a	0,105086	€/m³
Personalkosten	121.180	€/a	0,19213	€/m³
Chemikalien/Module	258.258	€/a	0,409465	€/m³
Energie	47.716	€/a	0,075653	€/m³
Analytik	18.250	€/a	0,028935	€/m³
Rückstandsentsorgung	14.558	€/a	0,023082	€/m³
Dammbauwerk und Rohrleitung	9.103	€/a	0,014432	€/m³
Gesamt	612.646	€/a	0,971344	€/m³

In beiden Fällen sind die spezifischen Kosten wesentlich höher als in den übrigen Varianten. Dies ist insbesondere durch den angenommenen, hohen notwendigen Austausch der NF-Module (50% pro Jahr) bedingt.

Da die Versuche mit dem Wasser des Rothschönberger Stollns hier eindeutige Tendenzen zu einer schnellen Membranschädigung zeigen, ist diese Annahme nicht komplett abwegig.

Insgesamt müssen die Membranversuche aber für eine zuverlässigere Kostenschätzung über einen längeren Zeitraum und mit größeren Wassermengen durchgeführt werden, sofern diese Technologievariante weiter betrachtet werden soll.

In Tabelle 32 sind die Kosten für die einzelnen Betrachtungsfälle nochmal vergleichend zusammengefasst.

Tabelle 32: Kostenvergleich

	Kosten pro Jahr		spez. Kosten	
Basisfall 1	4.312.638	€/a	0,246155	€/m³
Variante 1.1	281.224	€/a	0,445878	€/m³
Basisfall 2	14.237.096	€/a	0,81262	€/m³
Variante 1.2	669.583	€/a	1,0616	€/m³
Variante 2	612.646	€/a	0,9711344	€/m³

Dabei dürfen weder die absoluten Kosten pro Jahr noch die spezifischen Kosten pro m³ zu behandelndes Wasser für eine endgültige Bewertung herangezogen werden. Entscheidend ist vielmehr, mit welcher Maßnahme die Cadmium-Fracht entscheidend reduziert werden kann. (Tabelle 34).

In Tabelle 33 erfolgt nochmals eine Gegenüberstellung der vorstehend beschriebenen Szenarien.

Für einen wirklich nachhaltigen Effekt bei der Reduzierung der Cadmium-Frachten aus dem Gesamtrevier ist das Aufstauen und füllhöhenregulierte Ablassen des Wassers aus dem Brander Revier (siehe auch Tabelle 34) notwendig, da nur durch diese Maßnahmen Wirkungen am Cd-Frachtanteil des Brander Reviers zu erzielen sind. Folgende Kosten ergeben sich für eine solche Maßnahme:

- Die Kosten für den Verschluss des Rohres und eine druckregulierte Öffnung liegen bei geschätzten 75.000 €.
- Hinzu kommen geschätzte Ausgaben für Wartung und Überwachung von 5-10.000 € pro Jahr.

Bei Durchführung dieser Maßnahme ist eine Behandlung am Mundloch des Rothschönberger Stollns aufgrund der dann drastisch reduzierten Konzentrationen/Frachten an Cd wahrscheinlich nicht mehr notwendig bzw. verhältnismäßig.

Tabelle 33: Gegenüberstellung der Maßnahmen am Rothsönberger Stolln und am Verträglische Gesellschaft Stolln

	Basisfall 1: Behandlung RSS-Wasser mit Fällung/Filtration (Studie RSS 2013 [59])		Variante 1.1: Behandlung Wasser aus VGS mit Fällung/Filtration/Neutraseal (diese Studie)		Basisfall 2, Behandlung Rothsönberger Stolln, NF/Fällung/Filtration (Studie RSS 2013 [59])		Variante 1.2, Behandlung Wasser aus VGS, NF/Fällung/Filtration (diese Studie)		Variante 2, Behandlung Wasser Versturz Reiche Zeche, NF/Fällung/Filtration (diese Studie)	
	Kosten (€/a)	spezif. Kosten (€/m³)	Kosten (€/a)	spezif. Kosten (€/m³)	Kosten (€/a)	spezif. Kosten (€/m³)	Kosten (€/a)	spezif. Kosten (€/m³)	Kosten (€/a)	spezif. Kosten (€/m³)
Durchfluss (L/s)	800	-	20	-	800	-	20	-	20	-
Durchfluss (m³/h)	2.000	-	72	-	2.000	-	72	-	72	-
Gesamtvolumen (m³/a)	17.520.000	-	630.720	-	17.520.000	-	630.720	-	630.720	-
Abschreibung/Ausrüstung	600.068	0,03425	21.602	0,03425	2.147.275	0,122561	77.302	0,122561	77.302	0,122561
Wartung/Instandhaltung	771.186	0,044017	27.763	0,044017	1.841.101	0,105086	66.280	0,105086	66.280	0,105086
Personalkosten	242.360	0,013833	121.180	0,19213	242.360	0,013833	121.180	0,19213	121.180	0,19213
Chemikalien/Module	357.934	0,02043	12.886	0,02043	7.173.834	0,409465	258.258	0,409465	258.258	0,409465
Energie	1.918.440	0,1095	37.985	0,060225	2.409.876	0,13755	86.756	0,13755	47.716	0,075653
Analytik	18.250	0,001042	18.250	0,028935	18.250	0,001042	18.250	0,028935	18.250	0,028935
Rückstandsentsorgung	404.400	0,023082	14.558	0,023082	404.400	0,023082	14.558	0,023082	14.558	0,023082
Dammbauwerk und Rohrleitung	-	-	27.000	0,042808	-	-	27.000	0,0428	9.103	0,014432
Gesamt	4.312.638	0,246155	281.224	0,445878	14.237.096	0,81262	669.583	1,0616	612.646	0,971344

15 Zusammenfassender Vergleich der Eingriffsmöglichkeiten

In Tabelle 34 wird ein Vergleich der 8 wichtigsten Eingriffsmöglichkeiten, die in dieser Studie herausgearbeitet wurden, angestellt. Außerdem wurden 2 kombinierte Varianten mit einbezogen.

Bei dem derzeitigen Bearbeitungsstand gibt es noch große Kenntnisdefizite hinsichtlich

- der einzubeziehenden Wasserströme
- der technischen Machbarkeit, die häufig nur im Zusammenhang mit Sanierungsarbeiten an den Bergbaustolln möglich sind
- der Verhältnismäßigkeit der Maßnahmen
- der Genehmigungsfähigkeit der Maßnahmen

Daher kann als Kriterium für die Bewertung der Maßnahmen nur die Reduzierung der Cd-Fracht anhand des konzeptionellen Modells herangezogen werden. Diese wurde in der Tabelle einerseits hinsichtlich der Wirkung im Rothschönberger Stolln an sich und andererseits hinsichtlich der Wirkung im gesamten Freiburger Revier abgeschätzt.

15.1 Wirkung innerhalb des Rothschönberger Stollns

Die Wirksamkeit innerhalb des RSS wird durch die beiden Fakten bestimmt:

- Fehlender Zugriff auf das Brander Revier (50 % Cd-Frachtanteil) und
- begrenzte zugriffsmöglichkeit auf den Flutungsraum des Freiburger Teilreviers (34 % Cd-Frachtanteil).

Alle Maßnahmen, die an diesen beiden Punkten keine signifikante Verbesserung erreichen, entfalten auch für den RSS nur geringe Wirkung. Es leitet sich folgende Reihung der Wirksamkeit ab:

WBA am Mundloch RSS (100 %) >> Kombination der Szenarien 1/2/4 (60 %) > in situ-Sanierung Freiburger Revier (>30 %).

Maßnahmen in der oberen Stollsohle (VGS, HSU) haben nur geringe Wirksamkeit im RSS. Lediglich eine (nahezu) vollständige Fassung der oberen Stollnwässer (Maßnahme 8) hätte eine signifikante Wirkung. Diese ist aber aus technischen Gründen (Zugänglichkeit, Materialtransport, Sicherheit) nicht möglich.

Sanierungsarbeiten am Haldenkomplex Davidschacht wirken sich auf den RSS nur gering aus.

15.2 Wirkung im Kontext des gesamten Freiburger Reviers

Aufgrund des relativ hohen Anteils des RSS an der gesamten Cd-Fracht des Freiburger Reviers haben signifikante Verbesserungen im RSS auch größere Auswirkung auf die Gesamtfracht.

Maßnahmen mit signifikanter Wirksamkeit sind neben der Wasserbehandlung am Mundloch des RSS (Pos 6, 56 %):

- Wasserbehandlung am Mundloch des VGS (36 %)
- Sanierung des Haldenkomplexes Davidschacht (ca. 26 %)

Die beste Wirksamkeit lassen jedoch Maßnahmekombinationen, insbesondere die Kombination der Pos. 1-2-4 mit ca. 2/3 Cd-Frachtreduzierung erwarten.

Tabelle 34: Überblick über die wichtigsten Eingriffsmöglichkeiten zur Entlastung des RSS unter Einbeziehung des gesamten Reviers

Maßnahme	Beschreibung	Wirkung	Machbarkeit	Genehmigungsfähigkeit	Reduzierung Cd-Fracht im RSS in Richtung Triebisch (%)	Reduzierung Cd-Fracht aus Freiburger Revier (%)	
1	Aufstau Brander Teilrevier	Schließen Verspünden im König Johann Spat Steuerung des Abflusses	Minimierung O ₂ -Zutritt Minimierung Verwitterung	nach Rekonstruktion des Dreibrüder Schachtes technisch einfach machbar	Genehmigungsfähig, da identisch mit ehemaliger und künftig geplanter Nutzung Kavernenkraftwerk	20	11
2	In Situ Sanierung Grubenwasser Teilrevier Freiberg	Einbringen Alkalinität und Carbonat in den Flutungsraum untertägige Sedimentation der Fällprodukte	Untertägige Fällung der Schwermetalle (Cd, Zn, Ni u.a.) Sedimentation Wirkung bisher nur theoretisch ermittelt Abreicherung bis zu 100 %	technisch grundsätzlich machbar	fraglich, aber „Präzedenzfall“ Königstein als Vergleich	34	20
3	Untertage-Wasserbehandlung am Schacht Reiche Zeche (Wässer oberer Stollnsohlen)	Beschreibung in Abschnitt 13.2	Entfernen der Schwermetalle durch Fällung		nicht einschätzbar	<30	<20
4	Wasserbehandlung am Mundloch VGS unter Einbeziehung der zum RSS versinkenden Wässer und des EBS	Beschreibung in Abschnitt 13.1	Entfernen der Schwermetalle durch Fällung		grundsätzlich genehmigungsfähig	6	36
5	Sanierung Haldenkomplex Davidschacht mit Reduzierung Cd-Austrag um 80 %	Abdecken/Abdichten der Haldenplateaus Teilabdecken der Böschungen	Minimierung O ₂ - und Wasserzutritt und damit der Mobilisierungs- und Austragungsprozesse	technisch machbar, Plateau Grobbergehalde bereits erfolgt Spülhalde Hammerberg in Arbeit Spülhalde Davidschacht in Planung	genehmigungsfähig Nutzungskonflikt Natur- und Denkmalschutz	5	26
6	Wasserbehandlung am Mundloch RSS	Beschreibung in [59]	Entfernen der Schwermetalle durch Fällung	technisch machbar	grundsätzlich genehmigungsfähig	100	56

Tabelle 34 (Fortsetzung)

Maßnahme	Beschreibung	Wirkung	Machbarkeit	Genehmigungsfähigkeit	Reduzierung Cd-Fracht im RSS in Richtung Triebisch (%)	Reduzierung Cd-Fracht aus Freiberg Revier (%)	
7	Fassen der aus dem Bereich Davidschacht zum RSS versinkenden Wässer und Ableiten im VGS	Einbau von Gerinnen im THS auf Caspar Stehendem, Ableiten über Glückauf Spat zum VGS	gesonderte Ableitung auf oberer Stollnsohle	technisch machbar	grundsätzlich genehmigungsfähig	6	0 (nur Verlagerung)
8	Fassen aller zum RSS versinkenden Wässer und Ableiten in VGS bzw. HSU	Einbau von Gerinnen auf allen wasserführenden Strecken auf der oberen Stollnsohle	gesonderte Ableitung auf oberer Stollnsohle	technisch wegen des diffusen Charakters der schwermetallführenden Grubenwässer <u>nicht machbar</u> , daher nur theoretische Möglichkeit	derzeit nicht absehbar	ca. 30	0 (nur Verlagerung)
9	Kombination der (realistischen) Szenarien 1 und 4				26	47	
10	Kombination der (realistischen) Szenarien 1 und 4 unter Einbeziehung Szenario 2				60	67	

16 Fazit und Ausblick

16.1 Fazit

Das Freiburger Revier ist nach Sanierung der Grube Schlema-Hartenstein das derzeit komplexeste Altobjekt des Untertage-Bergbaus in Sachsen. Parallel dazu ist der Untersuchungsgrad zwar an einigen Stellen sehr detailliert, hinsichtlich des gesamten Grubengebäudes aber eher gering. Dies ist darin begründet, dass es für den Untertage-Bereich keine Eigentumsnachfolge des ehemaligen Bergbautreibenden (Bergbau- und Hüttenkombinat „Albert Funk“) gibt.

Die große Mobilität des Cd führt dazu, dass eine Verbesserung der Situation in den Vorflutern (Cd-Konzentration) nur möglich ist, wenn eine echte Entfrachtung der Wässer von Cd erfolgt. Ansonsten ergibt sich nur eine Verlagerung der Frachten mit einer nur sehr langsamen Abnahme, wie bereits in den letzten Jahrzehnten.

Wegen dieser Komplexität sind mögliche Eingriffe im Freiburger Grubengebäude sehr aufwändig, zumal bisher kaum Sanierungsarbeiten an den Wasserlösestellen erfolgt sind. Ausnahme ist die Wiederherstellung der Wasserabtragsfähigkeit des RSS nach dem Hochwasser 2002.

Damit ergibt sich als wichtige Schlussfolgerung die unbedingte Notwendigkeit, bei den in den nächsten Jahren erforderlichen Sanierungsarbeiten an den Wasserfließwegen die Umweltbelange (Schwermetalle) mit zu berücksichtigen. Dazu müssen solche Belange möglichst frühzeitig in die Planungen einbezogen werden. Erst durch die Schaffung von Voraussetzungen, z.B. hinsichtlich Zugang ergibt sich die Möglichkeit, Maßnahmen überhaupt umsetzen zu können.

16.2 Weiterführende Arbeiten

Im Zuge der Bearbeitung dieser Studie zeigten sich verschiedene Defizite hinsichtlich der Beurteilung von Umsetzbarkeit und Wirksamkeit von Maßnahmen. Ein besonders spürbares Defizit ist nach wie vor das Fehlen einer ausreichenden Anzahl von Abflussmessungen. Daher werden nachfolgend Ansätze für weiterführende Arbeiten aufgelistet.

16.2.1 Wasserstammbaum

Im Bericht wurde ein erster Schritt zur Zusammenstellung der Teile hin zu einem Wasserstammbaumes der Gruben Brand, Freiberg und Halsbrücke getan. Das betrifft die Einbindung der Untersuchungen des Oberbergamtes zum Rothschönberger Stolln, historischen Daten zu den oberen Stolln sowie die Untersuchungen des VEB Bleierzgruben Freiberg um 1954. Ein aktueller Wasserstammbaum kann mundlochseitig vom Constantin Schachtes in Zug (Stauraum des Kavernenkraftwerkes) erstellt werden, wenn die Altdaten zusammengetragen werden und in der Grube Freiberg einige Kontrollbefahrungen durchgeführt werden. Dazu können die Zugänge über die Schächte Reiche Zeche und Alte Elisabeth sowie den Vertraglichen Gesellschaftsstolln genutzt werden. Künftig ist es auch vom rekonstruierten Drei Brüder Schacht aus möglich, Wasserwegsamkeiten in Teilen der Grube Zug/Brand zu kontrollieren. Ziel ist es, ausgehend vom Niveau Rothschönberger Stolln, die dort zufließenden Wassermengen den Fließwegen zuzuordnen und zugleich die aus der Tiefe aufsteigenden, d.h. auch die zuvor versinkenden Wässer mit ihren Fließwegen einzubinden. Damit sind Maßnahmen am Fließweg und deren Wirkungen auf den Gesamtabfluss/Gesamtbelastung gut zu überschauen und besser als bisher bewertbar.

16.2.2 Revierbezogene Wassergüte/-mengenmessungen

Die Wassermengen und die Wassergüten folgen mit ihren Schwankungen dem Gang der Witterung. Messungen und Beobachtungen müssen daher immer an bestimmte Wetterlagen gebunden werden. Bewährt hat sich eine Klassifikation nach Tauwetter, Starkregen, Anhaltende Trockenheit, Frostperioden, Zeiten mit Niederschlägen < 5 mm/Tag. Eine Beobachtung/Messung über ein hydrologisches Jahr ist daher sinnvoll. Da ausgeprägte Wetterlagen hinsichtlich der Niederschläge/Trockenheit nicht jedes Jahr auftreten, sind in der Regel Nachbeobachtungen solcher Wetterlagen in einem

zweiten oder dritten Jahr nötig. Man muss zunächst ein sicheres Gefühl für die den Wetterlagen etwas nachlaufenden Maxima/Minima der Abflüsse entwickeln, vor Ort präsent sein, um einerseits die Probenmenge im wirtschaftlichen Rahmen zu halten und andererseits die richtigen Zeitfenster konsequent für Messungen zu nutzen.

Legt man den Wasserstammbaum, die Zugänglichkeit der Gruben und das Erkenntnisziel zugrunde, so ergeben sich beim Rothschönberger Stollniveau folgende Messpunkte:

- Drei Brüder Schacht (Gesamtmenge Brander Revier)
 - Ev. Rote Grube Schacht (w.o. mit Zuläufen aus dem Grubenfeld Zug)
 - Reiche Zeche (aufsteigendes Grubenwasser und zu-/abfließendes Grubenwasser im Stolln)
 - VIII. Lichtloch Rothschönberger Stolln (erreichbar über VII. Lichtloch, Zuflüsse der Grube Halsbrücke)
- Hinzu kommen Beobachtungspunkte in den Hauptstolln der oberen Sohlen:
- Verträgliche Gesellschaft Stolln
 - Hauptstolln Umbruch

16.2.3 In situ-Grubenwasserbehandlung

Eine in situ-Grubenwassersanierung ist für das Teilrevier Freiberg potenziell eine relativ kostengünstige Möglichkeit, die Cd-Austräge zu reduzieren.

Die in situ-Grubenwassersanierung ist ein international etabliertes Verfahren zur Reduktion von Schwermetallemissionen. In Sachsen gab es bisher nur den Fall Königstein [82]. Entsprechende Ansätze werden gewöhnlich als nicht genehmigungsfähig angesehen aus zwei Gründen:

- keine Kontrollierbarkeit der Fließwege
- Einbringen schädlicher Stoffe in das Grundwasser

Für eine Bewertung hinsichtlich Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit gibt es derzeit keine Datenbasis. Daher werden folgende Untersuchungen empfohlen:

- Erstellen eines räumlichen Modells des Flutungsraumes (kann ggf. in Zusammenarbeit mit SOBA erfolgen), insbesondere zur Festlegung des am besten geeigneten Zugabepunktes
- Durchführung von Laborversuchen zur Ermittlung des Verbrauchs an basischen Mitteln
- Ermittlung der resultierenden Wasserqualität
- Aufstellung eines Versuchsplans für den Feldversuch
- Durchführung eines Feldversuch, geeigneter Zugabeort aus heutiger Sicht: Turmhof Schacht (Bereich Radstube)

Quellen

1. Literatur, Berichte

- [1] Weisbach, Julius (1851): Die neue Markscheidekunst und ihre Anwendung auf den Rothschönberger Stolln. – Braunschweig 1851
- [2] Gätzschmann, Moritz, Ferdinand (1877): Bemerkungen über geschichtliche und andere Verhältnisse einiger älterer Stolln und Gruben des Freiburger Reviers. – In: Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1876, Freiberg 1877, S. 3-51
- [3] Müller, Carl Hermann (1878): Die Ausführung des Rothschönberger Stollns in den Jahren 1844-1877. – In: Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1877, Freiberg 1878, S. 3-27
- [4] Jahrbuch über das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1879 S. 144
- [5] Bornemann, Carl, Rudolf (1893): Revierwasserlaufanstalt. – In: Freibergs Berg- und Hüttenwesen. Herausgegeben durch den Bergmännischen Verein zu Freiberg. 2. neu bearbeitete und vermehrte Auflage, Freiberg 1893, S. 110-141
- [6] Sickel, Carl August (1893): Der Grubenausbau. – In: Freibergs Berg- und Hüttenwesen. Herausgegeben durch den Bergmännischen Verein zu Freiberg. 2. neu bearbeitete und vermehrte Auflage, Freiberg 1893, S. 160-191
- [7] Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreich Sachsen auf das Jahr 1899
- [8] Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreich Sachsen auf das Jahr 1900
- [9] Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreich Sachsen auf das Jahr 1901
- [10] Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreich Sachsen auf das Jahr 1902
- [11] Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreich Sachsen auf das Jahr 1903
- [12] Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreich Sachsen auf das Jahr 1913
- [13] Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreich Sachsen auf das Jahr 1914
- [14] Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreich Sachsen auf das Jahr 1915
- [15] Löwe, Karl (1935): 1. Die Entwicklung der „Freiberger Revierwasserlaufanstalt“ seit Inkrafttreten des Gesetzes vom 12. Juli 1912 (G.h.V. Bl. 1912) ist in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht kritisch zu bearbeiten. 2. Dabei sind die Verhältnisse dieser Anstalt zu den Wasserbenutzern der Flöha und der Freiburger Mulde mit zu behandeln. – Erste Aufgabe zur zweiten Prüfung für den höheren technischen Staatsdienst in der Bergverwaltung, Freiberg 1935, 139 S. (Sächsisches Bergarchiv Freiberg, Bibliothek 97B831)
- [16] Meyer, Manfred (1960): Die Wasserverhältnisse der Betriebsabteilung Freiberg des VEB Bleierzgruben „Albert Funk“ unter besonderer Berücksichtigung der Hochwassersicherungsmaßnahmen. – In: Freiburger Forschungsheft A 176, Berlin 1960, S. 26-40
- [17] Gotte, Wolfgang; Richter, Gottfried (1960): Geologische und bergmännische Probleme beim Anfahren einer wasserführenden Gangzone im Brander Revier. – In: Freiburger Forschungsheft A 176, Berlin 1960, S. 5-25
- [18] Nestler, Johannes (1963): Der Rothschönberger Stolln – einige Bemerkungen über seine Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft (Teil I, II). – In: Bergakademie, 15(Leipzig 1963)3, S. 203-208, 15(Leipzig 1963)3, S. 279-289
- [19] Nestler, Johannes (1970): Die Entstehung des Rothschönberger Stollns. – In: Freiburger Forschungsheft D 70, Leipzig 1970, S. 51-58
- [20] Moschner, G. (1970): Das Untertage-Kraftwerk Freiberg. - In: Freiburger Forschungsheft D 70, Leipzig 1970
- [21] Wagenbreth, Otfried; Wächtler, Eberhard (Hrsg.) (1986): Der Freiburger Bergbau. Technische Denkmale und Geschichte. – Leipzig 1986
- [22] Autorenkollektiv (1992): Chronik der Grube Freiberg. – Manuskript 1992. SAXONIA AG Metallhütten und Verarbeitungswerke Freiberg
- [23] Mucke, Dieter; Tegtmeier, R. (1995): Bericht über die Erstbefahrung des Rothschönberger Stollns am 24.08.1995 im Bereich Reiche Zeche – Drei Brüder Schacht im Rahmen des Sonderbetriebsplanes der GEOMONTAN. - GEOMONTAN 27.08.1995
- [24] Mucke, Dieter (1995): Bericht über die Erstbefahrung des Rothschönberger Stollns am 30.06./01.07.1995 - GEOMONTAN 13.08.1995
- [25] Degner, Thomas. (1996): Der Schwermetalltransport im Rothschönberger Stolln in Abhängigkeit von gegenwärtigen und zukünftigen Abflußraten. - Diplomarbeit TU Bergakademie Freiberg 31.07.1996
- [26] Mucke, Dieter, Preusser, R. u. a. (1996): Studie Wasseruntersuchungen im Rothschönberger Stolln. - GEOMONTAN Freiberg 1996
- [27] Mucke, Dieter (1997): Der Rothschönberger Stolln – eine Alltlast mit ständig wachsendem Gefährdungspotential für Triebisch und Elbe. - GEOMONTAN Freiberg, 1997
- [28] Degner, Thomas., Baake, D., Kluge, A. (1998): Geochemische Probleme bei der zukünftigen Nutzung von wasserabführenden Bergwerksstollen im Freiburger Revier. - Wissenschaftliche Mitteilungen Institut für Geologie, TU Bergakademie Freiberg Sonderheft 7, Freiberg 1998, S. 188-195
- [29] Rentzsch, W.; Fahning, Egon.; Bachmann, Mathias; Gerlach, R.; Bachmann, S. (1999): Möglichkeiten der untertägigen Überleitung von Kühlwasser der Firma Wacker Siltronic, Werk Freiberg, in den Stau des Kavernenkraftwerkes Drei Brüder Schacht. Befahrungsbericht und Auswertung. – Förderverein Drei-Brüder-Schacht e.V., 26.11.1999
- [30] Baacke, D. (2000): Geochemisches Verhalten umweltrelevanter Elemente in stillgelegten Polysulfiderzgruben am Beispiel der Grube „Himmelfahrt“ in Freiberg/Sachsen. - Dissertation TU Bergakademie Freiberg 26.06.2000
- [31] Beuge, Peter; Kluge, Andreas; Degner, Thomas. (2001): Prognose geochemischer Auswirkungen der Nachnutzung stillgelegter Bergbau Stollnsysteme. - Abschlussbericht über ein Forschungsprojekt gefördert unter dem Az: 15339 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Mineralogie 2001

- [32] Galinsky, Gunther; Leistner, Jürgen; Scheuermann, Gernot; Ebert, Sabine (2001); Förderverein Drei-Brüder-Schacht e.V.: Kavernenkraftwerk Drei-Brüder-Schacht. Geschichte und Überlegungen zur Rekonstruktion. - 2. Auflage, Saxonia Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH Freiberg 2001
- [33] Fahning, Egon (2002): Rothschönberger Stolln, Befahrungsbericht, Konzeption zur provisorischen Wasserlösung - IBUR Ingenieurbüro für Baugrund, Umwelt Rohstoffe GmbH, Freiberg 19.12.2002
- [34] Dietrich, Mathias; Maruschke, Thomas (2002): Rothschönberger Stolln im Brander Revier. - Unveröffentlichte Dokumentation 2002
- [35] Mucke, Dieter. u.a. (2002): Schüttung und Schadstofffracht des Rothschönberger Stollns während des Auguthochwassers 2002. – GEOMONTAN 2002
- [36] Degner, Thomas. (2003): Prognosen von geochemischen Auswirkungen der Nachnutzung stillgelegter Bergbau-Stollen-Systeme am Beispiel des Freiburger Grubenreviers. - Dissertation TU Bergakademie Freiberg Oktober 2003
- [37] Kießling, Wolfgang (2003): Die Rechtsverhältnisse am Rothschönberger Stolln. – Manuskript um 2003
- [38] Mucke, Dieter (2003): Analyse der hydraulischen Verhältnisse im Verbruch- und Rückstaubereich des Rothschönberger Stolln. – Geomontan mbH & Co. KG Sachsen, 16.02.2003
- [39] Benthin, Andreas; Tittes, M; Kugler, Jens (2003): Erkundung und Sanierung des Verbruches vom Rothschönberger Stolln im Bereich des Halsbrücker Spates – Lagerstättenkundliche Bewertung/Montanhistorische Analyse. - Geologische Landesuntersuchung GmbH Freiberg 03.03.2003
- [40] Baumann, André; Zimmermann, Martin: Bautechnische Zustandsanalyse des Rothschönberger Stollns zwischen dem VIII. Lichtloch und dem Hauptstollnmundloch (fiskalischer Teil). – G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH, 17.12.2003
- [41] Mucke, D.; Welcker, F. (2004): Brauchwasserversorgung des Werkes Hirschfeld der UKM Fahrzeugteile GmbH Meißen durch Reaktivierung des Wasserleitungs- und Aufbereitungssystems aus dem Rothschönberger Stolln. 2. Zwischeninformation: - Untersuchung der Verfügbarkeit und Qualität des Stollenwassers des Rothschönberger Stollns. -. GEOMONTAN 15.01.2004
- [42] Welcker, F. (2005): Durchflussmessung Röschenmundloch des Rothschönberger Stollns am 21.03.2005, 19.04.2005, 31.05.2005. - Messprotokolle GEOMONTAN 2005
- [43] Lucas, E. (2005): Erfassung der gegenwärtigen Entwässerung des Freiburger/ Brander Reviers. - Abschlussarbeit. Berufliches Schulzentrum für Technik „Julius Weisbach“ Juli Freiberg. 2005
- [44] Preusser, R. (2005): Befahrungen Rothschönberger Stolln 1995 und 1996. - Schreiben AQUATERRA Dresden GmbH an GEOMONTAN 15.07.2005
- [45] Meier, Günther, Halke L. u. a. (2005): Abschlussdokumentation zur Aufwältigung, Sicherung und Rekonstruktion der Verbruchstelle im Kreuzungsbereich des Halsbrücker Spatgangs mit dem Rothschönberger Stolln. - Ingenieurbüro G. Meier, Wegefardth, 10.06.2005
- [46] Autorenkollektiv (2005): Erarbeitung eines Handlungskonzeptes zur Gewährleistung der dauerhaften Funktionsfähigkeit des Rothschönberger Stollns. – Abschlussbericht Geokompetenzzentrum Freiberg 26.11.2005
- [47] Sennwald, Rainer (2006): Meißner Stolln und Rothschönberger Stolln - Das Projekt und seine Zeit. – In: Andreas Möller Geschichtspreis 2004 und 2005, Freiberg 2006, S. 19-53
- [48] Neumann, Christian (2007): Ermittlung der Hydrodynamik mit Hilfe von Tracertests im Richtschacht Reiche zeche / Freiberg (Sachsen). – Studienarbeit TU Bergakademie Freiberg Lehrstuhl für Hydrogeologie 2007
- [49] Janneck, Eberhard; Martin, Mirko; Zimmermann, Martin (2008): Erarbeitung einer Vorplanung mit Kostenabschätzung zur Sanierung und Unterhaltung des künstlichen Gewässers Roter Graben. – G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH 28.11.2008
- [50] Adlung, Stephan (2014): Mittelalterliche Stolln und Gruben im Freiburger Zentralrevier. – In: Tagungsband 17. Internationaler Montanhistorik Bergbau Workshop Freiberg in Sachsen 3. bis 5. Oktober 2014, S. 71-86
- [51] Martin, Mirko: Wassermonitoring Spülhalde Davidschacht. Jahresberichte 2013 und 2015, GEOS Ingenieurgesellschaft, im Auftrag der SAXONIA Standortentwicklungs- und -bewertungsgesellschaft mbH
- [52] Sächsisches Ministerium für Wirtschaft und Arbeit (2008): Neubewertung von Spat- und Erzvorkommen im Freistaat Sachsen
- [53] Plejades GmbH (2013): Frachtreduzierung Schlüsselstollen - Bericht zum Arbeitspaket B: Bewertung von technisch realisierbaren und verhältnismäßigen Maßnahmen. Auftraggeber: Landesanstalt für Altlastenfreistellung des Landes Sachsen-Anhalt, Magdeburg 2013
- [54] Mollée, R. (2013): Altlastenprojekt SAXONIA – eine Retrospektive. Freiberg 2013
- [55] Greif, A. (2013): Studie zur Charakterisierung der Schadstoffeinträge aus den Erzbergbaurevieren der Mulde in die Elbe. Im Auftrag Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU), Amt für Umweltschutz Hamburg, Abteilung Wasserwirtschaft, Projekt ELSA der Freien und Hansestadt Hamburg
- [56] Jobst, Wolfgang et al (1993): Bergwerke im Freiburger Land. Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg
- [57] Greif, A., Klemm, W.; Geogene Hintergrundbelastungen; Schriftenreihe Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 10/2010
- [58] LfULG: Bericht über die sächsischen Beiträge zu den Bewirtschaftungsplanentwürfen der Flussgebietseinheiten Elbe und Oder nach § 83 WHG bzw. Artikel 13 der Richtlinie 2000/60/EG für den Zeitraum von 2016 bis 2021
- [59] Janneck, E.; Martin, M.; Aubel, T.; Lantzsch, J. (2013): Entwicklung einer kostengünstigen Maßnahmenkombination für die Minimierung von Schwermetalleinträgen aus dem Raum Freiberg Abschlussbericht zum F&E-Vorhaben im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie Dresden, G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Halsbrücke
- [60] WRRRL (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

- [61] 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
- [62] 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
- [63] OgewV (2010): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung – OgewVO), Stand: 01.08.2010, http://www.agw-nrw.de/fileadmin/pdf/Dokumente_extern_2010/entwurf_uqn-vo_01082010.pdf
- [64] GrwV (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung - GrwV), 9. November 2010, BGBl. I S. 1513
- [65] Östreich, W. (1956): Hydrogeochemische Untersuchungen an Stollen- und Grubenwässern des Freiburger Erzbezirks, Diplomarbeit Bergakademie Freiberg, unveröff.
- [66] Rösler, H.J.; Meier, U. (1981): Zur Geochemie Freiburger Grubenwässer. Forschungsbericht Institut für Mineralogie, Geochemie und Lagerstättenlehre, unveröff.
- [67] Haubrich, F. (1992): Schwefelisotopengeochemie und Schwermetallführung von Grubenwässern des Raumes Freiberg. Studienarbeit Bergakademie Freiberg, unveröff.
- [68] Martin, M. (1994): Genese, Chemismus und Bedeutung von Grubenwässern im Erzgebirge.- in: GUHR, H. u.a. (Hrsg.): Die Elbe im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie.- B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Stuttgart – Leipzig
- [69] Beuge, P.; Kluge, A.; Degner, T. (2001): Prognose geochemischer Auswirkungen der Nachnutzung stillgelegter Bergbau-Stollensysteme. Abschlußbericht Forschungsprojekt Az: 15339 (Deutsche Bundesstiftung Umwelt), Freiberg 2001
- [70] Greif, A. (2013): pers. Mitt.
- [71] Benthin, A. (2010): Der Rothschönberger Stolln und die Arbeit des Vereins VII. Lichtloch e.V. in Halsbrücke. in: Tagungsband 10. Internationaler Montanhistorik-Workshop Ditttrichshütte/Thüringen. S. 91-102
- [72] G.E.O.S. (2008): Erarbeitung einer Vorplanung mit Kostenabschätzung zur Sanierung und Unterhaltung des künstlichen Gewässers Roter Graben, Bericht für Landesdirektion Chemnitz
- [73] 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
- [74] Aabel, T.; Janneck, E.; et. al. (2013): Sulfat- und Schwermetallentfernung aus Bergbauwässern – Verfahrensvergleich Ettringitfällung vs. Nanofiltration im Pilotversuch, Mine Water Symposium, Freiberg
- [75] Martin, M.; Janneck, E. (2010): Fortschreibung von Grundlagendaten und Untersuchung ausgewählter Sachverhalte der Maßnahmen- und Bewirtschaftungsplanung zur Reduzierung von Schadstoffeinträgen, Teil: Vorstudie – selektiver Rückhalt von Cadmium. G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft 2010 (AG: LfJULG)
- [76] G.E.O.S. (2012): Detailuntersuchung des Wasserpfades am Objekt „Spülhalde Davidschacht“ Teil II; Auftraggeber: FSB Freiburger Silicium Bearbeitungsgesellschaft mbH; 02.07.2012
- [77] Sawyer, Daglish et al.: “Validation of Neutra Seal: A new lower energy cost mine water treatment process.” Journal of Environmental Chemical Engineering 2, 2014, p. 2306-2311
- [78] Webseite <http://www.membran.com/de/membrantechnik/membran-verfahren-entwicklung/prinzip-membrantechnik.html> (abgerufen am 23.05.2016)
- [79] Murthy, Z.; Chaudhari, L.: “Separation of cadmium ions and estimation of membrane transport parameters of a nanofiltration membrane”, Indian Journal of Chemical Technology, Vol 15, März 2008, p. 107 - 112
- [80] Hartinger, L.: Handbuch der Abwasser- und Recyclingtechnik für die metallverarbeitende Industrie. 2. Auflage 1995
- [81] Beuge, P.; Greif, A.; Hoppe, T.; Klemm, W.; Martin, M.; Mosler, U.; Starke, R.; Alfaro, J.; Anders, B.; Behrens, K.; Grünwald, N.; Haurand, M.; Knöchel, A.; Meyer, A.; Potgeter, H.; Staub, S.; Stocker, M.: Die Schwermetallsituation im Muldesystem. – Vol. I – III, Eigenverlag der Universität Hamburg, Freiberg und Hamburg 1999
- [82] Jenk, U.; Zimmermann, U.; Uhlig, U.; Schöpke, R.; Paul, M.: In Situ Mine Water Treatment: Field Experiment at the Flooded Königstein Uranium Mine (Germany). Mine Water Environ (2014) 33, 39–47
- [83] HGC GmbH: Wassermonitoring SAXONIA 2009-12. Jahresbericht 2011. Freiberg 2012
- [84] EcoConcept GmbH: Wassermonitoring SAXONIA. Jahresbericht 2014. Freiberg 2015
- [85] <https://www.lmbv.de/index.php/pressemitteilung/1315.html>, Abruf 27.02.1016

2. Akten des Sächsischen Bergarchivs Freiberg

- [86] Bestand Bergamt Freiberg BA-F/B/4/4198, Vol. 1 (1826) bis Vol. 22 (1908) (Verwaltungsaktenreihe zum Rothschönberger Stolln) Bl. 212 im Aufsatz NESTLER1963
- [87] Bestand Revierwasserlaufanstalt, 40089-1 RWA 518 Betrieb des Rothschönberger Stollns Vol. IX 1885-1893
- [88] Bestand Revierwasserlaufanstalt, 40089-1 RWA 564 Betrieb des Rothschönberger Stollns Vol. X 1893-1939
- [89] Bestand Revierwasserlaufanstalt, 40089-1 RWA 1226 Betrieb des Rothschönberger Stollns Vol. XI 1939-1949
- [90] Bestand Revierwasserlaufanstalt, 40089-1 RWA 1172 Revierstolln im Freiburger Revier 1883-1897
- [91] Bestand Revierwasserlaufanstalt, 40089-1 RWA 613 Revierstolln im Freiburger Revier 1898-1902
- [92] Bestand Revierwasserlaufanstalt, 40089-1 RWA 702 Revierstolln im Freiburger Revier 1902-1925
- [93] Bestand Revierwasserlaufanstalt, 40089-1 RWA 47 Jahresberichte 1889-1894
- [94] Bestand Revierwasserlaufanstalt, 40089-1 RWA 51 Jahresberichte 1894-1904
- [95] Bestand Revierwasserlaufanstalt, 40089-1 RWA 48 Unterlagen zu den Jahresberichten 1892-1900

- [96] Bestand Risse VEB Bergbau- und Hüttenkombinat „Albert Funk“ Freiberg, 40095-8 BHK-Msch/Fach.../Nr...
Sohlengruppenrisse des Betriebsgrubenbildes 1:2.000 und Ersatzgrubenbild 1:2.000
- [97] Bestand Akten VEB Bergbau- und Hüttenkombinat „Albert Funk“ Freiberg, BHK-BEG 454/15469 Abschlußbericht der
sozialistischen Arbeitsgemeinschaft „Rißwesen“ 1964 (vgl. Chronik der Grube Freiberg [22] S. 777-855, Anl. 106)
- [98] Riss ODE-H 366

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:

Mirko Martin

Redaktionsschluss:

30.06.2015

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 Parteinarbeit 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.