

***Entwicklung einer kostengünstigen
Maßnahmenkombination für die Minimierung
von Schwermetalleinträgen
aus dem Raum Freiberg***



Abschlussbericht zum Werkvertrag

**„Entwicklung einer kostengünstigen
Maßnahmenkombination für die Minimierung von
Schwermetalleinträgen aus dem
Raum Freiberg“**

Dr. Eberhard Janneck
Dipl.-Chem. Mirko Martin
Dipl.-Ing. Tim Aubel
Dipl.-Chem. Joachim Lantzsch

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

Bearbeitungszeitraum: 21.08.2013 – 30.11.2013

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Ziel und Hintergrund..... | 8 |
| 3 | Gebietsbeschreibung und Rahmenbedingungen | 10 |
| 3.1 | Einordnung der Wasserlösestellen | 10 |
| 3.2 | Charakteristik des Rothschönberger Stollns | 10 |
| 3.3 | Schutzgebiete und Denkmalschutz..... | 11 |
| 3.4 | Hydrologie, Hydrogeochemie und Stofffrachten | 11 |
| 3.5 | Statistische Datenauswertung | 14 |
| 4 | Auswahl und Diskussion von Behandlungsmöglichkeiten | 17 |
| 4.1 | Ermittlung des Behandlungszielwertes | 17 |
| 4.1.1 | Ermittlung aus der Anforderung der OGewV | 17 |
| 4.1.2 | Ermittlung aus dem Hintergrundwert der Triebisch..... | 17 |
| 4.1.3 | Ermittlung aus der Reduzierungsanforderung für die Erreichung des Kriteriums des Elbe-Sedimentmanagements. 17 | |
| 4.2 | Maßnahmekombinationen | 19 |
| 4.2.1 | Kombination Fällung und Sandfilter | 20 |
| 4.2.2 | Nanofiltration und Fällung..... | 22 |
| 4.2.3 | Umkehrosmose und Fällung | 24 |
| 4.2.4 | Ionenaustauscher | 25 |
| 4.2.5 | Naturnahe Reinigungsmethoden (Wetlands)..... | 26 |
| 4.3 | Kostenschätzung | 26 |
| 4.3.1 | Investitionskosten | 26 |
| 4.3.2 | Personalkosten | 27 |
| 4.3.3 | Betriebskosten | 27 |
| 5 | Diskussion der Verhältnismäßigkeit und Priorisierung von Behandlungsvorschlägen | 29 |
| 6 | Alternativen und Forschungsbedarf | 33 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------|---|----|
| Abbildung 1: | Zeitverlauf von Abfluss und Cd-Gehalt des Rothschönberger Stollns 1955 – 2012 | 11 |
| Abbildung 2: | Zeitverlauf von Abfluss und Cd-Gehalt des Rothschönberger Stollns 1991 – 2012 | 12 |
| Abbildung 3: | Abfluss aus dem Rothschönberger Stolln..... | 12 |
| Abbildung 4: | Entwicklung von Durchfluss, Schweb- und Cd-Gehalt beim Hochwasser 2013 | 13 |
| Abbildung 5: | Durchflussverteilung Rothschönberger Stolln..... | 19 |
| Abbildung 6: | Anteil behandeltes Wasservolumen | 20 |
| Abbildung 7: | Verfahrenskombination Fällung und Filtration | 21 |
| Abbildung 8: | Nanofiltration mit Konzentratbehandlung..... | 23 |
| Abbildung 9: | Umkehrosmose mit Konzentratbehandlung..... | 24 |
| Abbildung 10: | Ionenaustauscherverfahren..... | 25 |
| Abbildung 11: | Strategien zur Verminderung von Cadmиеinträgen ins Oberflächenwasser | 33 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabelle 1: | UQN der OGewV (Auszug der in dieser Studie betrachteten Parameter)..... | 9 |
| Tabelle 2: | Abschätzung des Hochwasseranteils an der Cd-Jahresfracht..... | 14 |
| Tabelle 3: | Statistische Auswertung der Gütedaten der OBF 12710, 12780 und 12800 für den Zeitraum 2004 - 2012 | 15 |
| Tabelle 4: | UQN der OGewV (Auszug der in dieser Studie betrachteten Parameter)..... | 17 |
| Tabelle 5: | Statistik der Cd-Gehalte für die Monats-Mischproben an den Messstellen Schmilka und Zehren | 18 |
| Tabelle 6: | Investitionskosten der einzelnen Verfahrensvarianten..... | 26 |
| Tabelle 7: | Personalkosten | 27 |
| Tabelle 8: | Vergleich Betriebskosten | 27 |
| Tabelle 9: | Spezifische Kosten | 28 |
| Tabelle 10: | Schadstofffrachten des Baggerguts 2012 (aus [27])..... | 30 |
| Tabelle 11: | Cd-Frachten wesentlicher Punktquellen im Freiburger Raum | 34 |

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Ausschnitt aus der Topographischen Karte, Maßstab 1 : 10.000**
- Anlage 2: Ausschnitt aus der Topographischen Karte, Maßstab 1 : 10.000 mit Eintragung des FFH-Gebiets**
- Anlage 3: Ausschnitt aus der Topographischen Karte mit Eintragung freier Flächen, Maßstab 1 : 10.000**
- Anlage 4: Investitionskosten**
- Anlage 5: Betriebskosten**

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------|-------------------------------|
| RSS | Rothschönberger Stolln |
| EZG | Einzugsgebiet |
| UQN | Umweltqualitätsnorm |
| JD | Jahresdurchschnitt |
| ZHK | zulässige Höchstkonzentration |
| HKL | Härteklasse |
| WRRL | Wasserrahmenrichtlinie |

1 Ziel und Hintergrund

Der Rothschönberger Stolln stellt für das Schutzgut Oberflächenwasser die größte punktuelle Belastungsquelle aus dem Altbergbaugebiet 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 geotechnischen Verhältnissen zum Schutz der Infrastruktur zu erhalten.

In der zu erstellenden Studie sollen vor dem Hintergrund der Umsetzung der WRRL ([2] - [4]) unter der Voraussetzung, dass sich an den Verhältnissen des Rothschönberger Stolln nichts ändert und unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten, Möglichkeiten zur Schwermetallreduzierung aufgezeigt und diskutiert sowie die Verhältnismäßigkeit der Maßnahmen abgeschätzt werden. Der Schwerpunkt liegt auf dem Schwermetall Cadmium, das gemäß [5] als prioritärer „gefährlicher Stoff“ eingestuft ist.

Die G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH wurde mit dem Werkvertrag vom 04.09.2013 durch das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie mit den entsprechenden Arbeiten beauftragt.

2 Anforderungen der WRRL und deren nationaler 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 gelten für die Elemente Ag, Se, TI, Ni und Pb sowie Cd und Hg.

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

In diesem Zusammenhang wurden in der Tochtrichtlinie [3] zur WRRL Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik festgelegt. In Anhang 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 [4] abgelöst. Zusammen mit der Grundwasserverordnung legt sie die für Bewertungen erhobener Daten relevanten Umweltqualitätsnormen (UQN) fest. Diese Normen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: UQN der OGewV (Auszug der in dieser Studie betrachteten Parameter)

| Parameter | Wert | Einheit | Kompartiment | Bezug | Bemerkungen |
|---|-------|---------|-----------------|-------|--------------------------------------|
| UQN für flussgebietspezifische Schadstoffe zur Beurteilung des ökologischen Zustands und des ökologischen Potenzials | | | | | |
| Arsen | 40 | mg/kg | Schweb/Sediment | JD | |
| Chrom | 640 | mg/kg | Schweb/Sediment | JD | |
| Kupfer | 160 | mg/kg | Schweb/Sediment | JD | |
| Zink | 800 | mg/kg | Schweb/Sediment | JD | |
| Selen | 3 | µg/l | gelöst | JD | |
| Silber | 0,02 | µg/l | gelöst | JD | |
| Thallium | 0,2 | µg/l | gelöst | JD | |
| UQN zur Beurteilung des chemischen Zustands – UQN prioritäre Stoffe | | | | | |
| Cadmium (UQN-JD) | ≤0,08 | µg/l | gelöst | JD | HKL 1 (<40 mg/l CaCO ₃) |
| | 0,08 | µg/l | gelöst | JD | HKL 2 (<50 mg/l CaCO ₃) |
| | 0,09 | µg/l | gelöst | JD | HKL 3 (<100 mg/l CaCO ₃) |
| | 0,15 | µg/l | gelöst | JD | HKL 4 (<200 mg/l CaCO ₃) |
| | 0,25 | µg/l | gelöst | JD | HKL 5 (≥200 mg/l CaCO ₃) |
| Cadmium (UQN – ZHK) | ≤0,45 | µg/l | gelöst | ZHK | HKL 1 (<40 mg/l CaCO ₃) |
| | 0,45 | µg/l | gelöst | ZHK | HKL 2 (<50 mg/l CaCO ₃) |
| | 0,6 | µg/l | gelöst | ZHK | HKL 3 (<100 mg/l CaCO ₃) |
| | 0,9 | µg/l | gelöst | ZHK | HKL 4 (<200 mg/l CaCO ₃) |
| | 1,5 | µg/l | gelöst | ZHK | HKL 5 (≥200 mg/l CaCO ₃) |
| Blei | 7,2 | µg/l | gelöst | JD | |
| Quecksilber | 0,05 | µg/l | gelöst | JD | |
| | 0,07 | µg/l | gelöst | ZHK | |
| Nickel | 20 | µg/l | gelöst | JD | |

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.

3 Gebietsbeschreibung und Rahmenbedingungen

3.1 Einordnung der Wasserlöseestollen

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

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

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

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

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

3.2 Charakteristik des Rothschönberger Stollns

Der Rothschönberger Stolln stellt den tiefsten Wasserlöseestolln des Bergbaureviere Brand-Erbisdorf – Freiberg – Halsbrücke dar. Er wurde von 1844 bis 1882 aufgefahren und hat mit seinen Nebenanlagen eine Gesamtlänge von 50,9 km. Auf dem von staatlicher Seite aufgefahrenen Abschnitt zwischen dem Mundloch und Halsbrücke hat er 8 Lichtlöcher, die als Zwischenangriffspunkte der Beschleunigung der Auffahrung bzw. später der Unterhaltung dienen.

Das Röschenmundloch, aus dem das Stollnwasser in die Triebisch austritt, liegt in der Gemeinde Klipphausen in der Nähe der Ortsteils Rothschönberg im Landkreis Meißen. Der mittlere Abfluss beträgt ca. 500 l/s (HHQ: 14.000 l/s am 12. August 2002 und NNQ: 80 l/s am 27. September 1942 (Quelle: **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Das mittlere Gefälle beträgt 0,63 %, die lichte Weite 2,50 m, die lichte Höhe im unteren Stollenabschnitt (zwischen Rothschönberg und dem VII. Lichtloch) 3,00 m.

Die Stollnsohle liegt am Röschenmundloch, durch das das Stollnwasser austritt, auf 191,38 m NN. Das repräsentativ gestaltete Hauptstollnmundloch, durch das der Zugang zum Stolln möglich ist, liegt etwa 695 m südöstlich vom Röschenmundloch.

3.3 Schutzgebiete und Denkmalschutz

Der Stollnverlauf zwischen Hauptstolln- und Röschenmundloch sowie die Flächen in deren Bereich liegen fast vollständig im FFH-Gebiet „Triebischtäler“. Die Lage des FFH-Gebietes in Bezug zum Rothschönberger Stolln ist in Anlage 2 dargestellt. Zu beachten ist dabei, dass die gesamte Aue des Triebischtalles innerhalb des FFH-Gebietes liegt.

Der Rothschönberger Stolln ist ein Technisches Denkmal und eine für die Kandidatur zum UNESCO-Welterbe „Montanregion Erzgebirge“ ausgewählte Stätte.

3.4 Hydrologie, Hydrogeochemie und Stofffrachten

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

Das Stollenwasser stellt ein annähernd neutrales Calcium-Magnesium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Wasser mit erhöhten Schwermetallgehalten dar. Aufgrund der neutralen pH-Verhältnisse liegen Aluminium und Eisen weitgehend partikulär (ausgefällt) im Wasser vor. Arsen ist dabei offensichtlich überwiegend am partikulären Eisen adsorbiert. Cadmium, Nickel und Zink liegen überwiegend als gelöste Species vor.

Aufgrund der großen Bedeutung des Rothschönberger Stollns für die Grubenentwässerung während der Bergbauzeit und danach sowie der signifikanten Schwermetallgehalte liegt für diesen ein umfangreicher Datenbestand vor. In Abbildung 1 ist der zeitliche Verlauf des Abflusses und der Cd-Konzentration für den Zeitraum 1955-2012 dargestellt. Es zeigt sich allgemein, dass die Cd-Gehalte während der Betriebszeit (1937-1969) nicht grundsätzlich anders waren als danach. Nach Ende des Bergbaus und der damit einhergehenden Flutung der Grubenbaue waren infolge von Auswaschungen von Verwitterungsprodukten deutlich höhere Gehalte festzustellen. Ausgehend von den hohen Gehalten in den 1970er Jahren ist bis zum Hochwasserereignis 2002 eine allgemein sinkende Tendenz festzustellen. Letzteres unterbrach diesen Trend und führte, zusammen mit den nachfolgenden Sanierungsarbeiten, zu deutlich höheren Cd-Gehalten. Seit 2004 ist keine deutliche Abnahme mehr festzustellen und die Gehalte schwanken mehr oder weniger um einen Wert von ca. 22 µg/l. Die Darstellung zeigt auch die Einzigartigkeit des Abflusses während des Hochwassers 2002. Während des Hochwassers 2013 erreichte der Abfluss 4,04 m³/s.

Die Darstellung des Zeitraumes 1999 – 2012 in Abbildung 2 zeigt, dass seit 2004 kein signifikanter Rückgang mehr erfolgt.

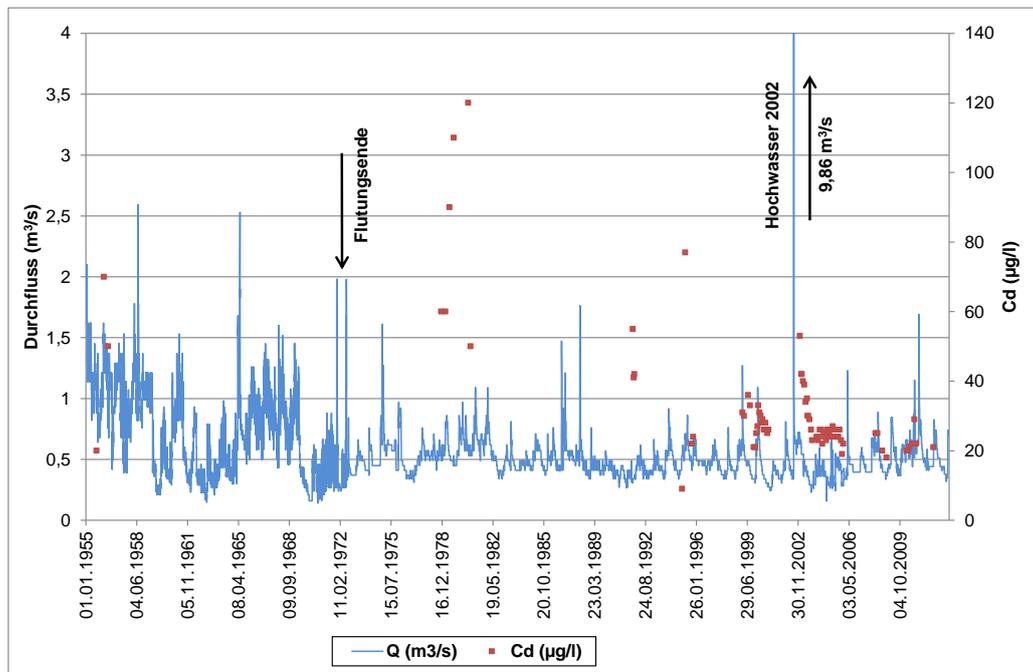


Abbildung 1: Zeitverlauf von Abfluss und Cd-Gehalt des Rothschönberger Stollns 1955 – 2012
(Daten aus: [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13])

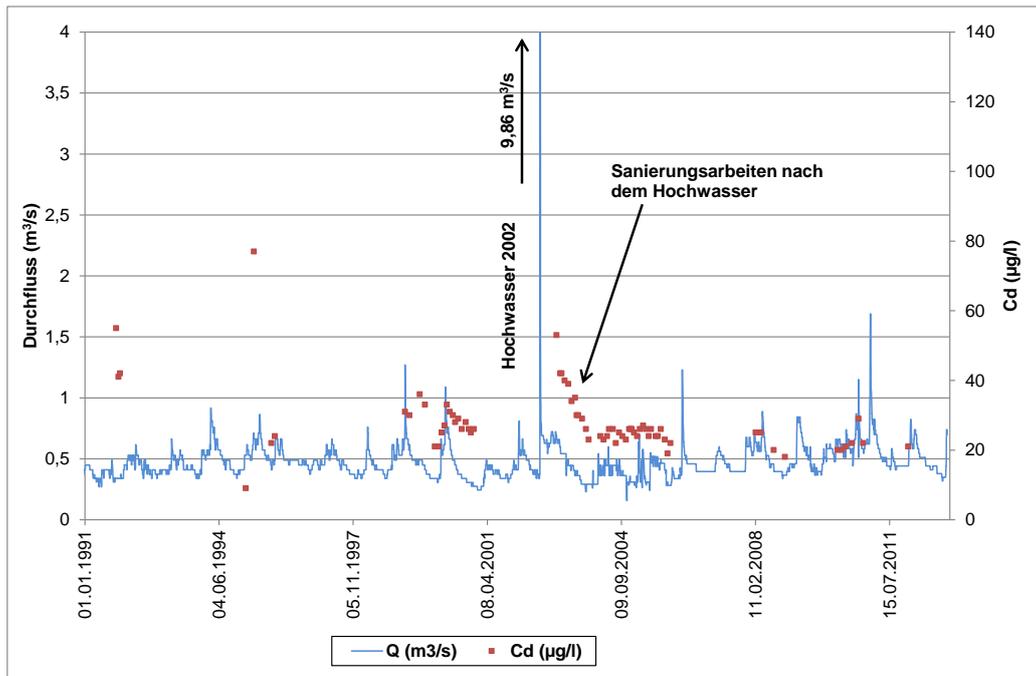


Abbildung 2: Zeitverlauf von Abfluss und Cd-Gehalt des Rothschöberger Stollns 1991 – 2012
(Ausschnitt aus Abbildung 1)

Abbildung 3 verdeutlicht die Abflussverhältnisse bei Niedrig-, Stark- und Extremabfluss.



Abbildung 3: Abfluss aus dem Rothschöberger Stolln
Links Niedrigabfluss $Q \approx 378 \text{ l/s}$ (16.10.2012), Mitte Starkabfluss $Q \approx 2.400 \text{ l/s}$ (03.06.2013), rechts Extremabfluss $\approx 9.000 \text{ l/s}$ (13.08.2002); Fotos links und Mitte [13], rechts [14]

Abbildung 4 zeigt den Verlauf für Durchfluss, Schwebstoffgehalt und Cd für das Hochwasserereignis Juni 2013. Dabei wird der hohe Schwebstoffgehalt infolge Auswaschung in Grubenbauen deutlich. Der Cd-Gehalt steigt noch während des Rückgangs des Hochwassers leicht an. Es ist davon auszugehen, dass die starke Wasserführung nicht zu einer signifikanten Verdünnung der Cd-Gehalte führt.

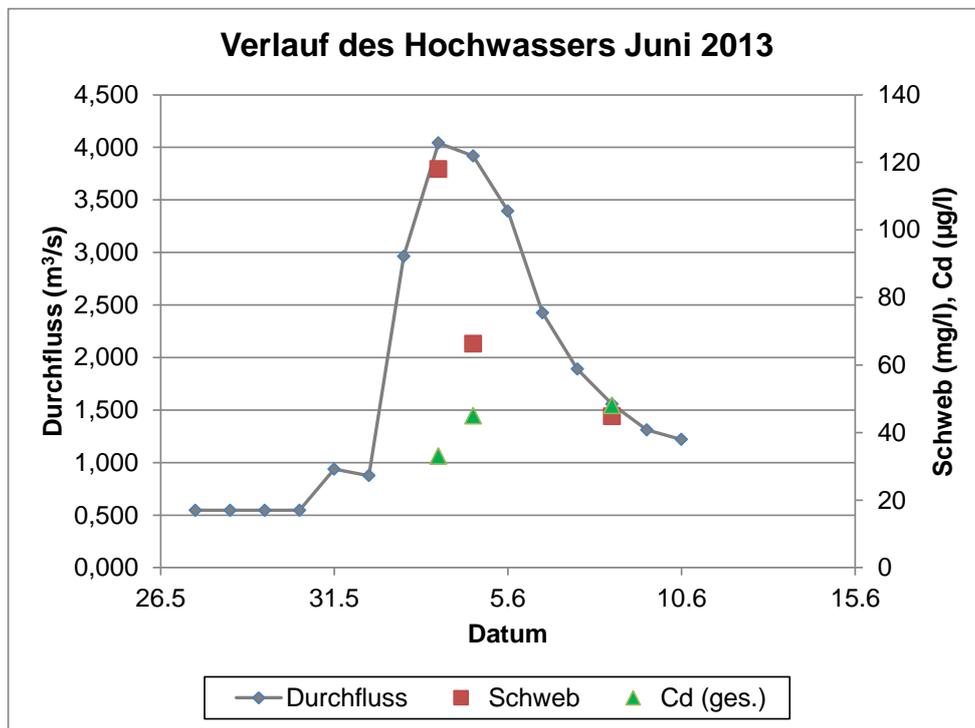


Abbildung 4: Entwicklung von Durchfluss, Schweb- und Cd-Gehalt beim Hochwasser 2013

Seitens des Auftraggebers bzw. der TU Bergakademie Freiberg [13] wurden Daten zum Hochwasser vom Juni 2013 zur Verfügung gestellt. Diese wurden verwendet, um den Anteil eines Hochwassers an der Cd-Fracht abzuschätzen. Dazu wurde für die Zeiträume vor und nach dem Hochwasser ein mittlerer Cd-Gehalt von 25 µg/l angesetzt. Das Ergebnis ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Abschätzung des Hochwasseranteils an der Cd-Jahresfracht

| Datum | Durchfluss | Cd (ges.) | Cd-Fracht | kumulierte Cd-Fracht | Anteil Hochwasser |
|---------------------|-------------------|-----------|-----------|----------------------|--------------------|
| | m ³ /s | µg/l | g/d | kg | % der Jahresfracht |
| 01.01. - 26.05.2013 | 0,5 | 25 | 1080 | 143,6 | 32 |
| 27.05.2013 | 0,546 | 33 | 1557 | 93,5 | 21 |
| 28.05.2013 | 0,546 | 33 | 1557 | | |
| 29.05.2013 | 0,546 | 33 | 1557 | | |
| 30.05.2013 | 0,546 | 33 | 1557 | | |
| 31.05.2013 | 0,938 | 33 | 2675 | | |
| 01.06.2013 | 0,876 | 33 | 2497 | | |
| 02.06.2013 | 2,963 | 33 | 8449 | | |
| 03.06.2013 | 4,042 | 33 | 11524 | | |
| 04.06.2013 | 3,918 | 45 | 15234 | | |
| 05.06.2013 | 3,394 | 45 | 13196 | | |
| 06.06.2013 | 2,426 | 45 | 9432 | | |
| 07.06.2013 | 1,889 | 45 | 7346 | | |
| 08.06.2013 | 1,556 | 48 | 6451 | | |
| 09.06.2013 | 1,311 | 48 | 5439 | | |
| 10.06.2013 | 1,220 | 48 | 5059 | | |
| 11.06. - 31.12.2013 | 0,5 | 25 | 1080 | 211,7 | 47 |
| Jahr 2013 | | | | 562,0 | 100 |

Die Abschätzung ergibt für den Hochwasserzeitraum einen Anteil von ca. 21 % an der Cd-Jahresfracht im Zeitraum vom 27.05.2013 bis 10.06.2013, was 3,5 % des Jahres entspricht. Dies ist einerseits durch den starken Durchflussanstieg, andererseits durch höhere Cd-Werte während des Hochwassers bedingt.

3.5 Statistische Datenauswertung

Für die Konzeption der Wasserbehandlungsanlage und die Festlegung von Behandlungszielwerten sind die statistischen Werte der Wassergüte von Bedeutung. In Tabelle 3 ist die statistische Auswertung für die relevanten Messstellen dargestellt.

- OBF 12710: Triebisch oberhalb Zufluss Rothschönberger Stolln
- OBF 12780: Rothschönberger Stolln
- OBF 12800: Triebisch unterhalb Zufluss Rothschönberger Stolln

Tabelle 3: Statistische Auswertung der Gütedaten der OBF 12710, 12780 und 12800 für den Zeitraum 2004 - 2012

| Parameter | | | OBF 12710 (oh Rothschönberger Stolln) | | | | | | OBF 12780 (Rothschönberger Stolln) | | | | | | OBF 12800 (uh Rothschönberger Stolln) | | | | | |
|------------------|------|------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------------------------|--------|-------|--------|--------|-------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | n | Min | Max | MW | Med | P90 | n | Min | Max | MW | Med | P90 | n | Min | Max | MW | Med | P90 |
| Hydrogencarbonat | gel. | mg/l | 71 | 41 | 130 | 79 | 79 | 100 | 47 | 79 | 120 | 99 | 98 | 110 | 31 | 59 | 120 | 86 | 92 | 100 |
| Sulfat | gel. | mg/l | 71 | 44 | 93 | 74 | 76 | 88 | 47 | 240 | 320 | 280 | 280 | 300 | 31 | 97 | 250 | 186 | 200 | 230 |
| Silber | gel. | µg/l | 71 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | 47 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | 31 | <0,2 | <0,2 | <0,2 | <0,2 | <0,2 |
| Silber | ges. | µg/l | 48 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | 38 | < 0,1 | 0,3 | < 0,1 | < 0,1 | 0,13 | 29 | <0,2 | 0,60 | <0,2 | <0,2 | <0,2 |
| Aluminium | gel. | µg/l | 71 | 5 | 690 | 78 | 25 | 230 | 47 | 18 | 210 | 87 | 48 | 184 | 31 | 11 | 240 | 77 | 58 | 180 |
| Aluminium | ges. | µg/l | 48 | 47 | 9400 | 888 | 370 | 1730 | 38 | 170 | 870 | 257 | 230 | 306 | 29 | 88 | 5100 | 528 | 240 | 1120 |
| Arsen | gel. | µg/l | 71 | 1,9 | 8,9 | 4,4 | 4,2 | 6,8 | 47 | 1,2 | 7,8 | 2,4 | 1,8 | 3,4 | 31 | 1,6 | 4,7 | 2,6 | 2,4 | 3,3 |
| Arsen | ges. | µg/l | 48 | 2,4 | 23,0 | 6,4 | 5,2 | 9,7 | 38 | 10,0 | 66,0 | 17,9 | 13,5 | 29,0 | 29 | 5,6 | 19,0 | 8,3 | 7,9 | 10,0 |
| Calcium | gel. | mg/l | 71 | 27 | 66 | 46 | 46 | 56 | 47 | 92 | 120 | 106 | 110 | 110 | 31 | 47 | 100 | 79 | 84 | 93 |
| Calcium | ges. | mg/l | 48 | 28 | 66 | 45 | 46 | 53 | 38 | 92 | 120 | 107 | 110 | 110 | 29 | 47 | 100 | 79 | 85 | 94 |
| Cadmium | gel. | µg/l | 69 | < 0,03 | 1,00 | 0,33 | 0,20 | 0,70 | 47 | 18,00 | 29,00 | 22,79 | 23,00 | 26,00 | 31 | 3,20 | 18,00 | 12,03 | 12,00 | 16,00 |
| Cadmium | ges. | µg/l | 48 | 0,20 | 1,80 | 0,59 | 0,45 | 1,00 | 38 | 19,00 | 30,00 | 24,58 | 25,00 | 27,30 | 29 | 4,90 | 20,00 | 12,58 | 12,00 | 17,00 |
| Cobalt | gel. | µg/l | 71 | < 0,1 | 2,1 | 0,4 | 0,2 | 1,0 | 47 | 4,0 | 9,0 | 6,7 | 6,8 | 8,0 | 31 | 1,5 | 5,4 | 3,5 | 3,5 | 4,7 |
| Cobalt | ges. | µg/l | 48 | < 0,1 | 5,7 | 1,0 | 0,6 | 2,1 | 38 | 4,7 | 9,4 | 7,3 | 7,5 | 8,6 | 29 | 1,9 | 5,6 | 3,8 | 3,6 | 5,1 |
| Kupfer | gel. | µg/l | 71 | < 2 | 3,8 | < 2 | < 2 | 2,2 | 46 | 2,4 | 30,0 | 10,0 | 8,4 | 17,0 | 31 | 2,3 | 18,0 | 6,2 | 5,0 | 8,4 |
| Kupfer | ges. | µg/l | 48 | < 2 | 16,0 | 3,8 | 3,3 | 6,9 | 38 | 14,0 | 63,0 | 23,4 | 22,0 | 31,1 | 29 | 6,6 | 22,0 | 11,7 | 11,0 | 16,6 |
| Eisen | gel. | mg/l | 71 | < 0,03 | 0,30 | 0,04 | < 0,03 | 0,09 | 32 | 0,03 | 0,40 | 0,12 | 0,12 | 0,18 | 31 | <0,03 | <0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,08 |
| Eisen | ges. | mg/l | 48 | 0,08 | 12,00 | 0,85 | 0,30 | 1,58 | 38 | 0,49 | 3,60 | 0,86 | 0,66 | 1,13 | 29 | <0,03 | 5,30 | 0,70 | 0,40 | 1,14 |
| Quecksilber | gel. | µg/l | 16 | < 0,02 | < 0,02 | < 0,02 | < 0,02 | < 0,02 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | - | - | - | - | n.a. | n.a. |
| Quecksilber | ges. | µg/l | 17 | < 0,02 | 0,13 | 0,02 | < 0,02 | 0,03 | 47 | < 0,02 | 0,12 | < 0,02 | < 0,02 | 0,03 | 13 | <0,02 | 0,02 | <0,02 | <0,02 | <0,02 |

| Parameter | | | OBF 12710 (oh Rothschönberger Stolln) | | | | | | OBF 12780 (Rothschönberger Stolln) | | | | | | OBF 12800 (uh Rothschönberger Stolln) | | | | | |
|-----------|------|------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------------------|-------|------|------|------|------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|
| | | | n | Min | Max | MW | Med | P90 | n | Min | Max | MW | Med | P90 | n | Min | Max | MW | Med | P90 |
| Kalium | gel. | mg/l | 71 | 3,0 | 7,2 | 4,4 | 4,3 | 5,3 | 47 | 4,5 | 5,7 | 5,1 | 5,2 | 5,6 | 31 | 3,7 | 6,6 | 4,7 | 4,7 | 5,2 |
| Kalium | ges. | mg/l | 48 | 3,1 | 7,2 | 4,6 | 4,4 | 5,8 | 38 | 4,5 | 6,1 | 5,3 | 5,3 | 5,6 | 29 | 3,7 | 6,6 | 4,8 | 4,7 | 5,4 |
| Magnesium | gel. | mg/l | 71 | 7 | 15 | 11 | 11 | 13 | 47 | 21 | 29 | 25 | 25 | 27 | 31 | 11 | 22 | 19 | 20 | 21 |
| Magnesium | ges. | mg/l | 48 | 7 | 15 | 11 | 11 | 13 | 38 | 21 | 27 | 25 | 25 | 26 | 29 | 11 | 22 | 19 | 20 | 22 |
| Mangan | gel. | μg/l | 71 | 12 | 230 | 58 | 31 | 130 | 47 | 830 | 1600 | 1125 | 1100 | 1340 | 31 | 250 | 980 | 609 | 630 | 770 |
| Mangan | ges. | μg/l | 48 | 22 | 560 | 120 | 74 | 226 | 38 | 880 | 1600 | 1231 | 1250 | 1430 | 29 | 330 | 930 | 659 | 660 | 864 |
| Natrium | gel. | mg/l | 71 | 12 | 41 | 19 | 19 | 22 | 47 | 25 | 49 | 33 | 32 | 36 | 31 | 16 | 60 | 27 | 28 | 29 |
| Natrium | ges. | mg/l | 48 | 12 | 42 | 19 | 19 | 23 | 38 | 25 | 49 | 33 | 31 | 36 | 29 | 16 | 60 | 28 | 28 | 30 |
| Nickel | gel. | μg/l | 71 | < 0,5 | 13,0 | 2,8 | 2,2 | 4,9 | 47 | 17,0 | 41,0 | 32,5 | 35,0 | 39,0 | 31 | 6,6 | 31,0 | 19,0 | 19,0 | 26,0 |
| Nickel | ges. | μg/l | 48 | 1,3 | 18,0 | 4,7 | 3,8 | 7,8 | 38 | 17,0 | 45,0 | 35,6 | 38,0 | 41,3 | 29 | 7,9 | 33,0 | 20,0 | 20,0 | 26,0 |
| Blei | gel. | μg/l | 71 | < 0,2 | 4,9 | 0,6 | 0,3 | 1,6 | 47 | < 0,2 | 18,0 | 3,8 | 1,3 | 8,8 | 31 | <0,5 | 5,6 | 1,6 | 1,5 | 3,3 |
| Blei | ges. | μg/l | 48 | 0,3 | 41,0 | 4,8 | 1,9 | 10,6 | 38 | 8,7 | 98,0 | 23,3 | 20,0 | 34,6 | 29 | 4,4 | 30,0 | 9,5 | 7,7 | 13,4 |
| Thallium | gel. | μg/l | 71 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | 47 | 0,30 | 0,40 | 0,36 | 0,40 | 0,40 | 31 | <0,1 | 0,30 | 0,17 | 0,20 | 0,20 |
| Thallium | ges. | μg/l | 48 | < 0,1 | 0,10 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | 38 | 0,30 | 0,50 | 0,39 | 0,40 | 0,50 | 29 | <0,1 | 0,40 | 0,19 | 0,20 | 0,22 |
| Uran | gel. | μg/l | 71 | < 0,2 | 0,40 | 0,27 | 0,30 | 0,40 | 47 | 0,60 | 1,70 | 1,32 | 1,30 | 1,50 | 31 | 0,40 | 1,20 | 0,79 | 0,80 | 1,10 |
| Uran | ges. | μg/l | 48 | < 0,2 | 0,90 | 0,38 | 0,35 | 0,50 | 38 | 0,60 | 2,00 | 1,44 | 1,40 | 1,70 | 29 | 0,40 | 1,30 | 0,88 | 0,90 | 1,10 |
| Zink | gel. | μg/l | 71 | < 3 | 65 | 23 | 21 | 41 | 47 | 2500 | 4700 | 3700 | 3800 | 4240 | 31 | 500 | 3300 | 1936 | 1900 | 2600 |
| Zink | ges. | μg/l | 48 | 13 | 120 | 42 | 37 | 74 | 38 | 3200 | 6100 | 4021 | 4000 | 4400 | 29 | 740 | 3400 | 2001 | 1900 | 2720 |

Die Daten zeigen bereits vor Zufluss des Rothschönberger Stollns eine Vorbelastung der Triebisch u.a. mit As, Cd, Ni und Pb. Da im Einzugsgebiet der Triebisch kaum größere anthropogene Quellen existieren, ist dies wahrscheinlich auf geogene Einträge zurückzuführen. Das 90-Perzentil für Cadmium liegt bei 1,0 µg/l. Der Cd-Gehalt der Triebisch unterhalb des Rothschönberger Stollns beträgt fast genau die Hälfte des letzteren. Es ist daher davon auszugehen, dass sich die Wässer im Verhältnis von 1 : 1 mischen.

4 Auswahl und Diskussion von Behandlungsmöglichkeiten

4.1 Ermittlung des Behandlungszielwertes

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

- Ermittlung aus der UQN der OGewV
- Ermittlung aus dem Hintergrundwert der Triebisch
- Ermittlung aus der Reduzierungsanforderung des Sedimentmanagements

4.1.1 Ermittlung aus der Anforderung der OGewV

Die UQN für Cd in einem Fließgewässer ergibt sich formal aus der Härteklasse bzw. dem CaCO₃-Gehalt. Für die Bezugspunkte „Triebisch oberhalb Rothschönberger Stolln“, „Rothschönberger Stolln“ und „Triebisch unterhalb Rothschönberger Stolln“ und die Zeiträume 1999-2012 wurde aus den mittleren Ca-Konzentrationen die CaCO₃-Werte und damit die Härteklasse der Wässer ermittelt und in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: UQN der OGewV (Auszug der in dieser Studie betrachteten Parameter)

| Messpunkt | OBF | Ca (mg/l) | CaCO ₃ (mg/l) | HKL | UQN-JD (µg/l) | UQN-ZHK (µg/l) |
|--------------------------------------|-------|-----------|--------------------------|-----|---------------|----------------|
| Triebisch oh. Rothschönberger Stolln | 12710 | 46 | 115 | 4 | 0,15 | 0,9 |
| Rothschönberger Stolln | 12780 | 107 | 268 | 5 | 0,25 | 1,5 |
| Triebisch uh. Rothschönberger Stolln | 12800 | 74 | 185 | 4 | 0,15 | 0,9 |

Für den Rothschönberger Stolln ergibt sich demnach eine formale **UQN-JD von 0,25 µg/l**.

4.1.2 Ermittlung aus dem Hintergrundwert der Triebisch

Für die Messstelle OBF 12710 (Triebisch oh Rothschönberger Stolln) ergibt sich aus der Auswertung der Gewässergütedaten 1999-2012 ein Mittelwert für den Cd-Gehalt (gesamt) von 0,62 µg/l. **Das 90-Perzentil beträgt 1,0 µg/l**. Diese Werte im „Anstrom“ liegen bereits weit über der UQN-JD von 0,15 µg/l. Das 90-Perzentil kann als „geogener Hintergrund“ angesehen werden.

4.1.3 Ermittlung aus der Reduzierungsanforderung für die Erreichung des Kriteriums des Elbe-Sedimentmanagements

Das Schadstoff-/Sedimentmanagementkonzept Elbe sieht für Sediment einen Oberen Schwellenwert für Cd von 2,3 mg/kg vor. Tabelle 5 zeigt die Statistische Auswertung der Monats-Mischproben an den Messstellen Schmilka und Zehren. Um die Werte für die Fraktionen <0,02 mm und <0,063 mm vergleichen zu können, wurden beide aufgeführt.

Tabelle 5: Statistik der Cd-Gehalte für die Monats-Mischproben an den Messstellen Schmilka und Zehren

| Fraktion | Messstelle | n | Min (mg/kg) | Max (mg/kg) | MW (mg/kg) | Med (mg/kg) | P50 (mg/kg) | P90 (mg/kg) | Faktor der Zunahme (MW) |
|----------|------------|----|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------|
| | | | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | |
| <0,02mm | Schmilka | 12 | 1,1 | 1,8 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,8 | |
| <0,02mm | Zehren | 9 | 1,5 | 7,4 | 3,3 | 3,0 | 3,0 | 4,5 | 2,2 |
| <0,063mm | Schmilka | 12 | 0,9 | 1,8 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,7 | |
| <0,063mm | Zehren | 9 | 1,7 | 3,2 | 2,6 | 2,9 | 2,9 | 3,0 | 1,8 |

Es zeigt sich erwartungsgemäß, dass die Cd-Gehalte der feineren Fraktion höher sind als die der gröberen. Für Zehren ergeben sich dabei in der feineren Fraktion deutlich höhere Gehalte als für Schmilka. Vermutlich werden die unterhalb Schmilka in die Elbe eingetragenen Cd-Mengen zunächst bevorzugt an die kleinsten Schwebstoffpartikel gebunden, die sich erst weiter flussabwärts zu größeren zusammenlagern. Aufgrund der besseren Datenlage werden nachfolgend die Werte der Fraktion <0,02 mm verwendet.

Ein Rückschluss aus dem Cd-Gehalt des Wassers bzw. den Cd-Einträgen ist nicht ohne weiteres möglich, da hier Fällungs-, Sorptions- und Sedimenttransportprozesse eine Rolle spielen. Daher muss für die Ableitung des Zielwertes von verschiedenen Annahmen ausgegangen werden.

Im Flussabschnitt zwischen Schmilka und Zehren steigt der Cd-Gehalt des Sediments von 1,5 auf 3,3 mg/kg, das entspricht einem Faktor von 2,2. Der Gehalt von 3,3 mg/kg muss in Zehren auf 2,3 mg/kg gesenkt werden. Dies entspricht 30 % Reduzierung, welches als Handlungsziel für die notwendige Frachtreduzierung festgelegt wurde. Andererseits bedeutet dies, dass der Cd-Gehalt zwischen Schmilka und Zehren nur noch um 0,8 mg/kg entsprechend Faktor 1,5 bzw. 53 % steigen darf. In der Annahme, dass die Erhöhung des Cd-Gehaltes zwischen Schmilka und Zehren ausschließlich durch den Rothschönberger Stolln verursacht wird, ergibt sich daraus eine Reduzierungsanforderung für die Einträge des Rothschönberger Stollns von ca. 68 %. Bei einem mittleren Cd-Gehalt im Stollenwasser von 25 µg/l entspricht das einer Reduzierung auf 8 µg/l.

Aus zwei Gründen kann dieser Cd-Gehalt jedoch nicht als Behandlungszielwert verwendet werden:

1. Die Einträge an Cd erfolgen zwischen Schmilka und Zehren nicht ausschließlich durch den RSS. Eine Reduzierung um 68 % würde daher nicht zur Erreichung des Oberen Schwellenwertes führen.
2. Ein Gehalt von 8 µg/l liegt um den Faktor 32 über der UQN gemäß Tabelle 4. Der Cd-Gehalt im Wasser der Triebisch unterhalb des RSS würde von im Mittel 11 auf 3,5 µg/l sinken und läge damit um den Faktor 23 über der UQN-JD.

Der ohnehin nur formal abgeleitete Behandlungszielwert von 8 µg/l ist nach den getroffenen Aussagen weder wirksam im Hinblick auf die Erreichung des Oberen Schwellenwertes in Zehren noch nachhaltig hinsichtlich der Erreichung des guten Zustandes der Triebisch unterhalb des RSS.

Aus den angeführten Gründen wird für die nachfolgenden Betrachtungen ein Behandlungszielwert von 1 µg/l verwendet.

4.2 Maßnahmekombinationen

Die bereits im Angebot [15] kurz skizzierten Maßnahmekombinationen werden im Folgenden auf ihre Anwendbarkeit geprüft, bzw. eine qualitative Voreinschätzung auf Basis einer überschlägigen Dimensionierung bzw. Auslegung getroffen.

Dabei wurde die Dimensionierung auf Basis folgender Festlegungen durchgeführt:

- Zielkonzentration Cadmium im Ablauf < 1 µg/l (siehe 4.1)
- Auslegung für ein zu behandelndes Gesamtvolumen von 2.880 m³/h
- Zweistraßige Planung des jeweiligen Verfahrens

Die Dimensionierung der Wasserbehandlungsanlagen auf einen zu behandelnden Gesamtvolumenstrom von 2.880 m³/h ergibt sich aus der Auswertung der gemessenen Durchflussmengen des Rothschönberger Stollens von 2004 bis 2012. Dafür wurden die Durchflusswerte in Klassenbreiten von jeweils 0,1 m³/s aufgeteilt und die Häufigkeiten des Auftretens der jeweiligen Klassen ermittelt (Abbildung 5).

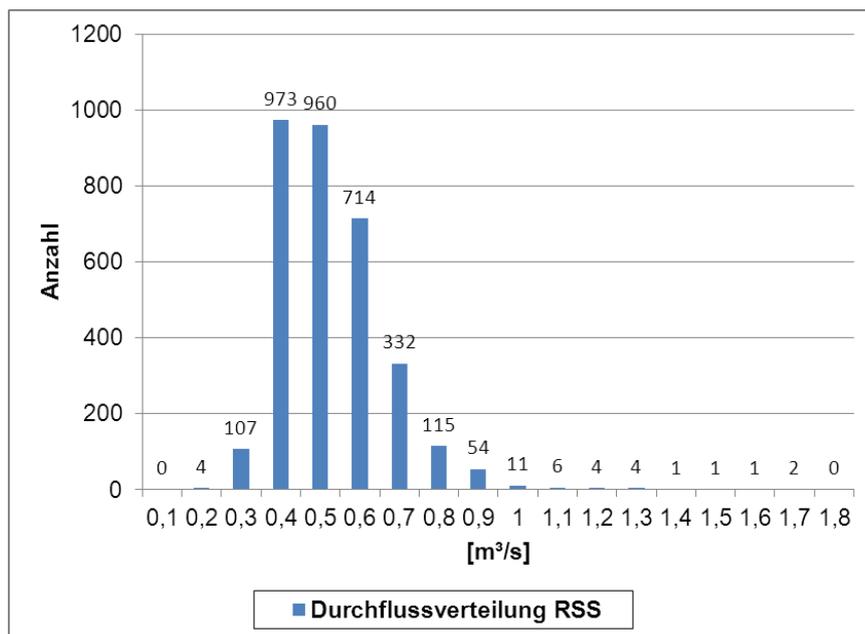


Abbildung 5: Durchflussverteilung Rothschönberger Stolln

Auf Basis dieser Verteilung wurde ermittelt, mit welcher Behandlungskapazität welcher Anteil des anfallenden Gesamtvolumens behandelt werden kann (Abbildung 6).

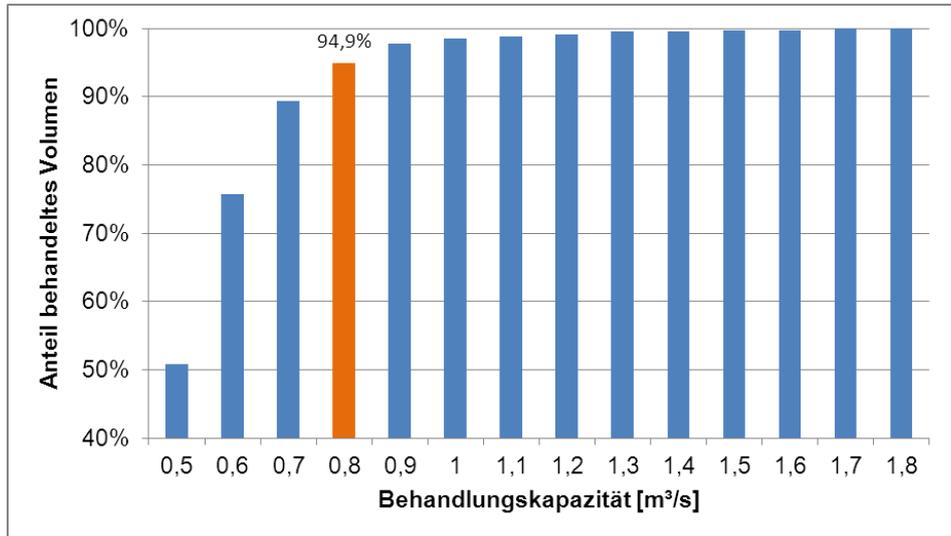


Abbildung 6: Anteil behandeltes Wasservolumen

Mit der gewählten Behandlungskapazität von 2.880 m³/h können 97,4% aller zeitlichen Ereignisse und 94,9% des anfallenden Gesamtvolumens aus dem Rothschönberger Stollen komplett behandelt werden.

Die Zweistraßigkeit wurde zum einen gewählt, da der anfallende Volumenstrom aus dem Rothschönberger Stollen großen Schwankungen unterliegt. Aus den Daten von 2004 bis 2012 kann abgeleitet werden, dass in ca. 33 % des Behandlungszeitraumes nur einer der beiden Behandlungsstränge betrieben werden muss. Zum anderen ist die Teilung in zwei Behandlungsstränge schon alleine aufgrund der reinen Größenordnungen der einzelnen Bauwerke technisch zweckmäßig. Hinzu kommen Forderungen hinsichtlich der notwendigen Redundanz von Ausrüstungen und Wartungsanforderungen, die zwei Behandlungsstränge sinnvoll erscheinen lassen.

Für alle Behandlungsmöglichkeiten muss festgehalten werden, dass die Auslegungen und Berechnungen sich auf theoretische Annahmen und Erfahrungswerte anderer Anlagen zur Behandlung bergbaubeeinflusster Wässer stützen. Teilweise wurde auf Erkenntnisse aus den Studien [16] und [17] zurückgegriffen. Vor einer detaillierteren Anlagenplanung müssen zwangsläufig Labor- und Pilotversuche mit dem Originalwasser des Rothschönberger Stollens durchgeführt werden.

Bei allen vorplanerischen Überlegungen wird davon ausgegangen, dass die im Kartenmaterial (Anlage 3) dargestellten Wiesenflächen für die Errichtung einer Wasserbehandlungsanlage genutzt werden können. Weiterhin erfolgte keine Prüfung, ob der Energiebedarf der Wasserbehandlungsanlage durch die im Tal zur Verfügung stehende elektrische Leistung gedeckt werden kann.

In den nachfolgenden Unterkapiteln (4.2.1 bis 4.2.5) werden insgesamt fünf Verfahrensvarianten auf ihre technische Machbarkeit hin untersucht. In Kapitel 4.3.1 werden die Investitionskosten der einzelnen Varianten ermittelt und in Kapitel 4.3.3 die absoluten und spezifischen Betriebskosten der einzelnen Verfahren miteinander verglichen.

4.2.1 Kombination Fällung und Sandfilter

Die Behandlung von bergbaubeeinflussten Wässern mittels einer pH-Wert-Anhebung durch Zugabe von Neutralisationsäquivalenten und daraus resultierender Fällung der Schwermetalle wird seit mehr als 100 Jahren durchgeführt. Aufgrund des gewählten Zielwertes von < 1 µg/l Cadmium im Ablauf der Wasserbehandlungsanlage ist eine klassische Fällung und Sedimentation aber nicht ausreichend.

Wie schon in früheren Untersuchungen nachgewiesen [16] kann dieser Zielwert aber mithilfe einer zweistufigen Behandlung bei einem maximalen pH-Wert von 8 erreicht werden. Dabei werden Zink und Cadmium, aber auch alle übrigen Elemente sehr gut, meist bis unter die analytische Nachweisgrenze abgetrennt.

Die zwei Stufen sind folgende:

- Fällung mit Kalkmilch-Lösung bis pH 8 und Sedimentation
- Filtration des Klarwassers aus der 1. Stufe über einen mit Travertinsand gefüllten Sandfilter

Dabei funktioniert der Sandfilter auf der Basis des Abbaus der Übersättigung hinsichtlich Gips und Calcit und der Mitfällung der restlichen Metalle.

Aufgrund des hohen Hydrogencarbonatgehaltes des Wassers aus dem Rothschönberger Stollen (~99 mg/l) würde der in der Fällungsstufe erzeugte Schlamm allerdings zu 96,5% aus Calciumcarbonat bestehen.

Die Vorüberlegung, dass die zur Fällung notwendige pH-Wert-Anhebung mit Soda anstelle von Kalkmilch durchgeführt wird, wurde wieder verworfen, da zum einen die Kosten für Soda wesentlich höher als für Kalkmilch sind und zum anderen dies zur Ausfällung des im Wasser ebenfalls befindlichen Ca (~ 107 mg/l) als Calciumcarbonat führen würde.

Stattdessen wurde aus den Erfahrungen mit anderen Bergbauwässern mit hohen TIC/Carbonatwerten heraus eine zusätzliche Vorbelüftung in die Anlagenplanung integriert. Durch intensive Belüftung, z.B. mit einem Oberflächenbelüfter, kann der Carbonatgehalt durch physikalisches Austreiben als CO₂ auch bei neutralen pH-Werten deutlich reduziert werden. Das Verfahrensschema ist in Abbildung 7 dargestellt.

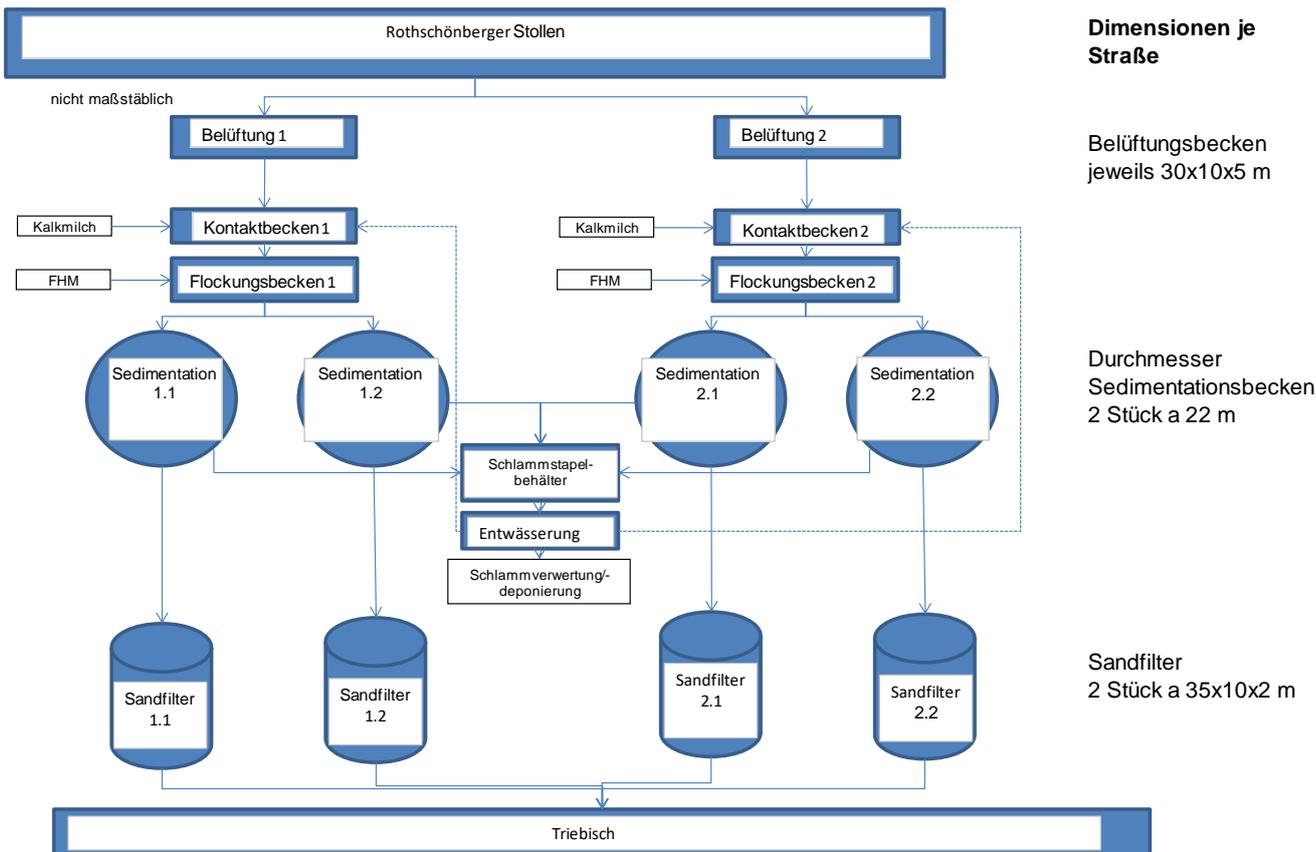


Abbildung 7: Verfahrenskombination Fällung und Filtration

In der Belüftungsstufe wird das Wasser über eine Verweilzeit von 1h intensiv zwangsbelüftet und anschließend im Kontaktbecken auf einen pH-Wert von 8 eingestellt. Im Anschluss wird Flockungshilfsmittel zugegeben und das Wasser in die Sedimentationsstufe überführt. Das Klarwasser wird über den Klarwasserablauf in die offenen Raumfilter, gefüllt mit Travertinsand, geführt und kann anschließend gereinigt in die Triebisch abgeleitet werden.

Es kann aufgrund fehlender Pilotversuche nicht genau prognostiziert werden, wie lange die mit Travertinsand gefüllten Raumfilter ohne Rückspülung betrieben werden können bzw. wie groß die Verkrustungs-/Verblockungsgefahr der Filter ist.

In der theoretischen Betrachtung kann von Erfahrungen herkömmlicher Raumfilter ohne zusätzliche chemische Wirkung ausgegangen werden. Dabei kann ein Raumfilter 2,5 kg/m³ Feststoff aufnehmen.

Die Filterdimensionierung erfolgt auf Basis der nötigen Verweilzeit (1 h) zur Cd-Entfernung. Da auch im Klarwasser eines Eindickers noch ein gewisser Anteil an abfiltrierbaren Stoffen vorhanden ist (Größenordnung 10 mg/l), wäre unter Vollast die Rück-

spülung der Filter ca. alle neun Tage erforderlich. Im realen Betrieb ist die Belastung geringer, so dass sich die Zyklen entsprechend verlängern und die Rückspülung wechselseitig ohne Anlagenstillstand vorgenommen werden kann.

Die bei der Fällung anfallende Schlammmenge bei einer durch die Belüftung erzielten Carbonatreduzierung um 2/3 und einem über den Messzeitraum von 8 Jahren gemittelten Durchfluss von 0,49 m³/s beträgt 2,1 Tonnen pro Stunde mit einem angenommenen TS-Gehalt von 5% nach dem Schlammabzug aus den Sedimentationsbecken. Dieser Schlamm muss weitergehend entwässert werden, wofür Zentrifugen als kontinuierlich arbeitende Entwässerungsaggregate vorgesehen sind. Der mittels Zentrifugen bis auf einen TS-Gehalt von 35% entwässerte Schlamm muss anschließend mittels Zement immobilisiert werden, bevor er in einem deponierfähigen Zustand ist. Hierfür ist eine Mischung von Schlamm und Zement im Verhältnis 1:1, bezogen auf den TS-Gehalt des Schlammes, vorgesehen. Als Endresultat müssen am Ende ca. 3.500 Tonnen Immobilisat pro Jahr einer Entsorgung zugeführt werden.

4.2.2 Nanofiltration und Fällung

Die Idee einer Kombination von Nanofiltration und Fällung wurde im Jahr 2012 von G.E.O.S. ausgiebig untersucht [18]. Im Unterschied zu dem dort behandelten Bergbauwasser sind die beim Rothschnöberger Stollen im Wesentlichen aufzukonzentrierenden Komponenten (Zn, Cd) in wesentlich geringeren Konzentrationen vorhanden.

Zudem werden in der Literatur ([19], [20], [21]) stark unterschiedliche Rückhalte insbesondere für Cadmium bei Nanofiltrationsmembranen angegeben. Der Rückhalt schwankt hier zwischen 60 und 95%.

In einer konservativen Annahme wurde für die Anlagendimensionierung ein Rückhalt von 75% gewählt. Aufgrund des hohen Carbonatgehaltes wurde, wie schon in 4.2.1 beschrieben, eine Vorbelüftung der eigentlichen Membranstufe vorgeschaltet.

Das aus den Vorüberlegungen resultierende Anlagenfließbild ist in Abbildung 8 dargestellt.

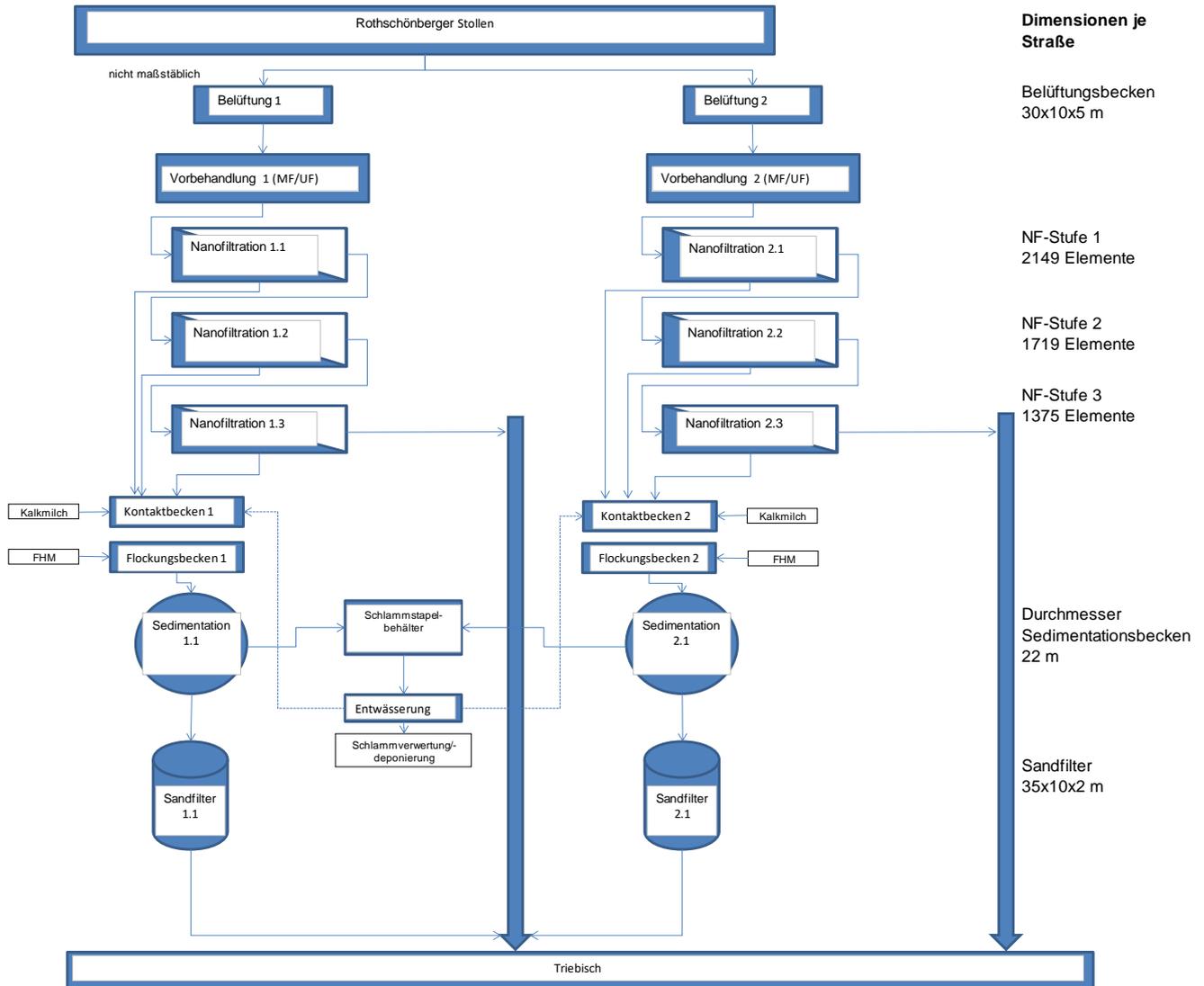


Abbildung 8: Nanofiltration mit Konzentratbehandlung

Nach der Belüftung gelangt das vorbehandelte Wasser über einen Filter zur Partikelabtrennung auf die Nanofiltrationsstufe. Aufgrund des oben diskutierten Rückhaltes von Nanofiltrationsmembranen für Cd-Ionen muss das Wasser über drei NF-Stufen geführt werden, bevor der Zielwert von $1\mu\text{g/l}$ Cd im Permeat erreicht wird.

In jeder NF-Stufe wird ein Verhältnis Permeat/Konzentrat von 80/20 angenommen. Dies führt dazu, dass am Ende nur gut die Hälfte des behandelten Volumenstroms (51,2%) als gereinigtes Permeat zur Verfügung steht bzw. direkt abgeleitet werden kann. Die andere Hälfte, der vereinigte Konzentratvolumenstrom, muss identisch zu 4.2.1 über eine Fällungs- und eine Filtrationsstufe geführt werden.

Der Schlammfall wird dabei als nahezu identisch zu 4.2.1 abgeschätzt, da insgesamt die gleiche Menge an Schwermetallen aus dem Konzentrat entfernt werden muss. Daher wird auch keine wesentliche Reduzierung im Verbrauch an Kalk und FHM erwartet.

Der Kostenvorteil aufgrund der Volumenreduzierung der benötigten Fällungsbecken und Travertinfilter wird dabei durch die Anzahl der benötigten Nanofiltrationsmodule (> 5.000) sowie die zusätzlich benötigten Chemikalien zur Membranreinigung und die höheren Energiekosten mehr als eliminiert.

Zudem muss gesagt werden, dass bei einer konservativen Schätzung die Lebensdauer eines NF-Modules auch bei sorgfältiger Vorbehandlung und Reinigung zwei Betriebsjahre beträgt.

Aufgrund der fünffachen Aufkonzentrierung des Konzentrates in der ersten Nanofiltrationsstufe besteht ein erhebliches Scalingrisiko, insbesondere an Sulfat- und Carbonatscaling. Es muss in Labor-/Pilotversuchen geprüft werden, ob dieses Risiko

durch eine Ansäuerung des Membranfeeds reduziert werden kann und ob diese Risikoreduzierung die zusätzlichen Kosten rechtfertigen würden.

4.2.3 Umkehrosiose und Fällung

Auf Basis der in 4.2.2 getroffenen Aussagen zur Nanofiltration wurde zusätzlich die Variante einer Verfahrenskombination von Umkehrosiose und Fällung näher betrachtet.

Umkehrosiosemembranen besitzen generell für Ionen einen Rückhalt von mehr als 96%. Daher ist im Gegensatz zur Nanofiltration eine einstufige Behandlung in der Membranstufe ausreichend.

Aufgrund des hohen Carbonatgehaltes wurde, wie schon in 4.2.1 beschrieben, eine Vorbelüftung der eigentlichen Membranstufe vorgeschaltet. In Abbildung 9 ist das Fließbild zur betrachteten Verfahrenskombination zu finden.

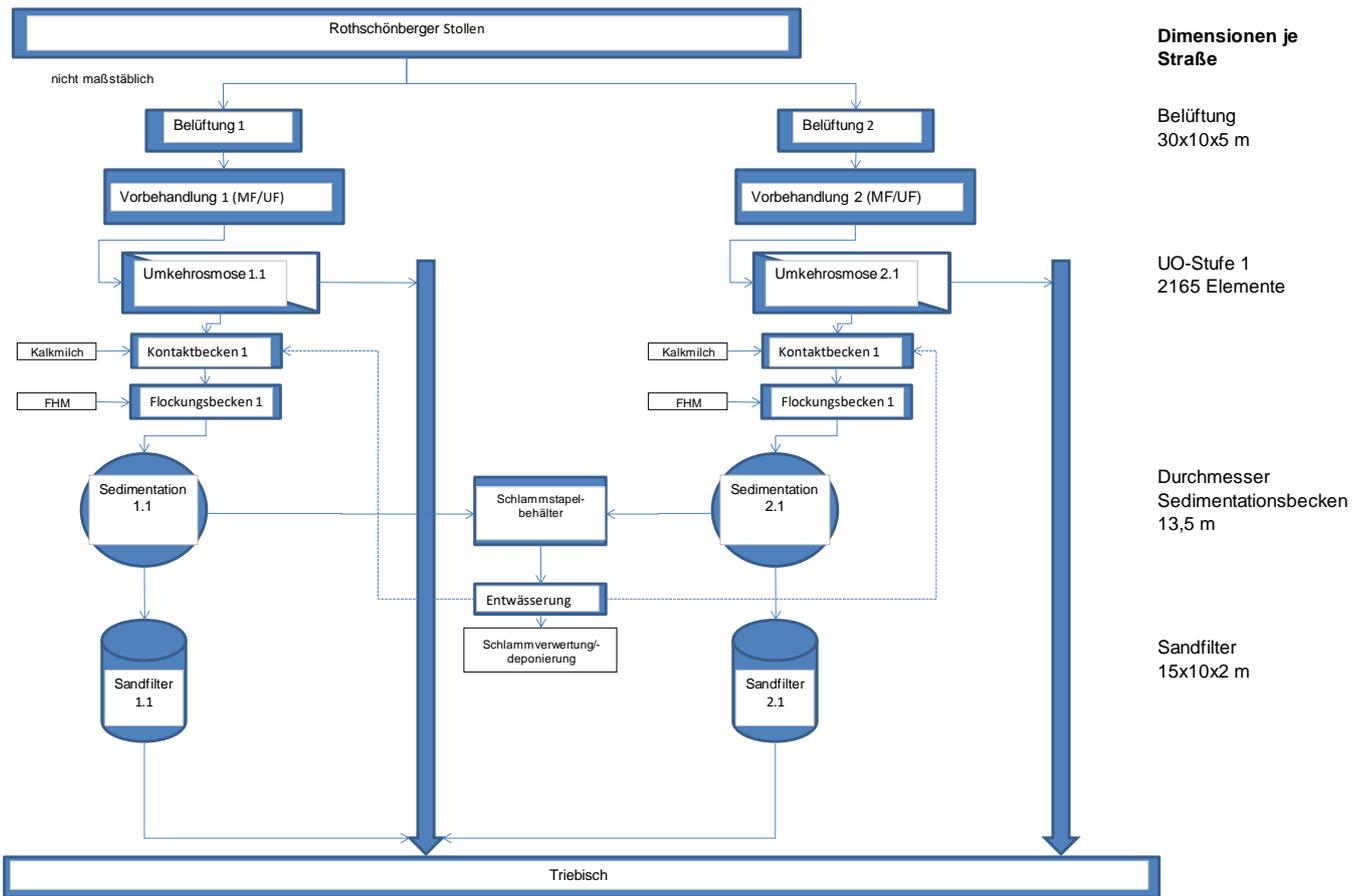


Abbildung 9: Umkehrosiose mit Konzentratbehandlung

Nach der Belüftung gelangt das Wasser über einen Filter zur Partikelabtrennung auf die Umkehrosiosestufe. Dabei wird ein Verhältnis Permeat/Konzentrat von 80/20 angenommen, was dazu führt, dass 80% des Gesamtvolumenstroms direkt als sauberes Wasser zur Einleitung in die Triebisch bzw. zur weiteren Verwendung zur Verfügung stehen.

Die Konzentratbehandlung mit Fällung und Travertinfilter (vgl. 4.2.1) kann dementsprechend 80% kleiner dimensioniert werden. Der Schlammfall wird auch in dieser Verfahrensvariante als nahezu identisch zu 4.2.1 abgeschätzt, da insgesamt die gleiche Menge an Schwermetallen aus dem Konzentrat entfernt werden muss. Daher wird auch keine wesentliche Reduzierung im Verbrauch an Kalk und FHM erwartet.

Der wesentlichen Volumenreduzierung der Anlagenteile in der Konzentratbehandlung stehen die Kosten für die Umkehrosiosemodule (> 2.000), zusätzliche Pumpen und Reinigungschemikalien gegenüber. Wie bei der Nanofiltration kann bei einer konservativen Prognose nur eine Lebensdauer der einzelnen Membranmodule von zwei Jahren angenommen werden.

Aufgrund der fünffachen Aufkonzentrierung des Konzentrates besteht ein erhebliches Scalingrisiko, insbesondere an Sulfat- und Carbonatscaling. Es muss in Labor-/Pilotversuchen geprüft werden, ob dieses Risiko durch eine Ansäuerung des Membranfeeds oder von Antiscalant-Reagenzien reduziert werden kann und ob diese Risikoreduzierung die zusätzlichen Kosten rechtfertigen würden.

4.2.4 Ionenaustauscher

Das Wasser aus dem Roths Schönberger Stollen besitzt im Vergleich zu anderen Bergbauwässern relativ geringe Ionenkonzentrationen. Daher kann eine Behandlungsvariante mittels Selektiv-Kationenaustauscher mit einer Vorbehandlung zur Partikelentfernung in die nähere Betrachtung mit einbezogen werden. Dabei geht aus den Selektivitätsreihen von Iminodiacetat-Austauschern hervor, dass zunächst das Zn, aber direkt anschließend das Cd entfernt wird. Dementsprechend wurden in die Kapazitätsberechnungen sämtliche Ionenfrachten, mit Ausnahme des Urans, welches als anionischer Uranyltricarbonatkomplex vorliegt, mit einbezogen. Je nach Erscheinungsform des verwendeten Austauscherharzes (H-Form oder Na-Form) geht im Austausch Na^+ oder H^+ in Lösung.

Aufgrund der notwendigen Regenerationszyklen wurde jeder Behandlungsstrang nochmals in mehrere Einzelsäulen unterteilt, so dass mit Ausnahme des seltenen Volllastbetriebes immer genügend Puffer zur Regeneration einzelner Säulen vorhanden ist.

Das Grobschema ist in Abbildung 10 dargestellt.

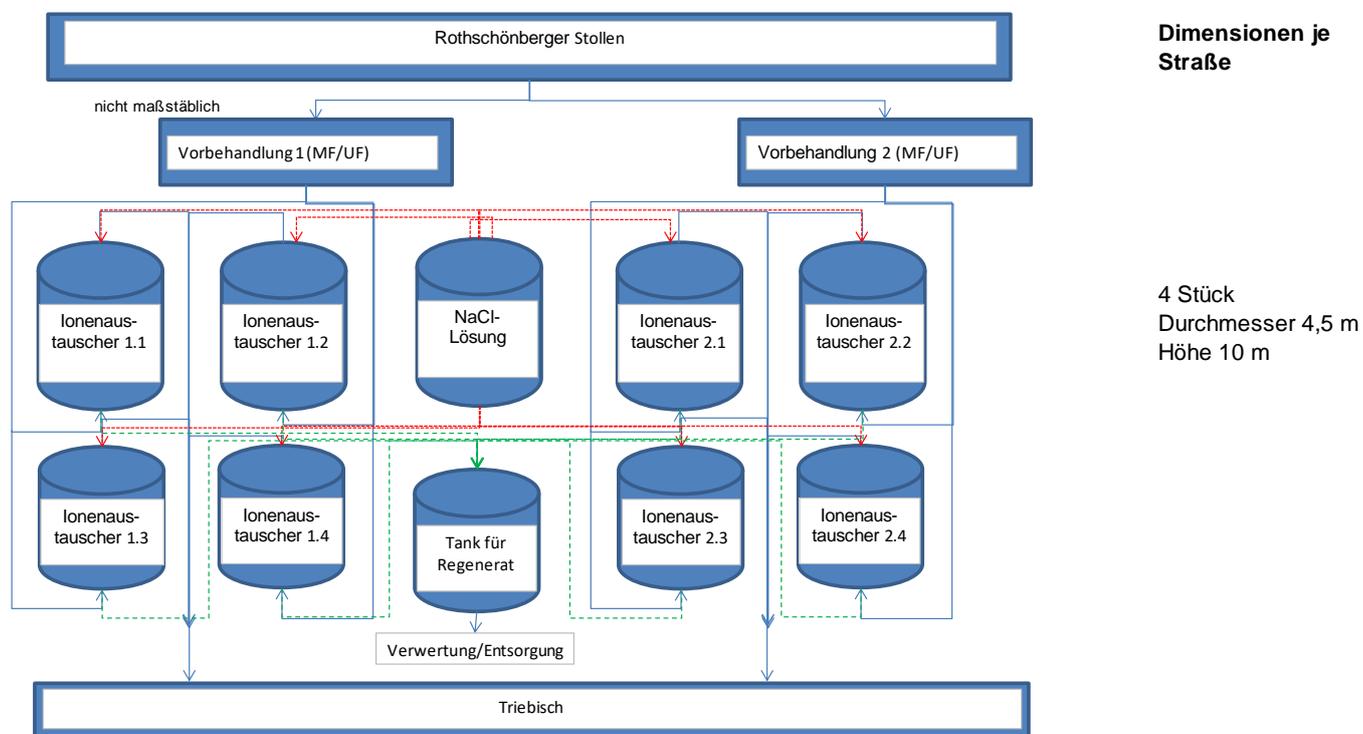


Abbildung 10: Ionenaustauscherverfahren

Im Gegensatz zu den anderen betrachteten Behandlungsvarianten wird beim Ionenaustauscher keine zusätzliche Belüftung vorgesehen. Dies ist nicht notwendig, da das Carbonat sich nicht am Kationenaustauscher bindet und somit keine unnötige Belastung der Austauschersäulen verursacht. Ausgehend von einer von Herstellern für Austauscherharze vorgegebenen Filtergeschwindigkeit von 50 m/h und dem entsprechenden maximalen Volumenstrom müssen die Säulen dimensioniert werden.

Bei einer Vorgabe von vier Säulen pro Behandlungsstrang und dem daraus resultierenden Harzvolumen der einzelnen Säulen müsste jede Säule im Volllastbetrieb alle 8-9 Monate regeneriert werden. Da der tatsächliche Volumenstrom geringer ist, verlängern sich auch die Betriebszyklen der einzelnen Säulen entsprechend, so dass jede Säule ca. einmal pro Jahr regeneriert werden muss.

Zur Regeneration wird ein Tank mit einer NaCl-Lösung vorgesehen, um den Ionenaustauscher wieder in seine Na-Form zu regenerieren. Für eine Detailplanung dieser Verfahrensvariante muss in Laborversuchen das bestgeeignetste Ionenaustauscherharz ermittelt werden. Erst nach dieser Wahl kann die notwendige Regenerationslösung endgültig bestimmt werden (NaCl, HCl oder H₂SO₄).

Zur Regeneration ist ungefähr die dreifache Menge Regenerationslösung im Vergleich zum Harzvolumen der Säule notwendig. Dies bedeutet, dass bei jeder Regenerierung ca. 500 m³ Regenerat anfallen, die entweder behandelt oder entsorgt werden müssen. Aufgrund der langen Laufzeit der einzelnen Säulen wird selbst bei ständigem Volllastbetrieb pro Monat nur eine Säule regeneriert werden müssen. Das heißt pro Monat fallen nur maximal 500 m³ Regenerat an, was in etwa dem stündlichen Mittelwert des Zulaufs aus dem Rothschönberger Stollen entspricht.

Daher erscheint das Vorhalten einer kompletten Behandlungsstufe zur Regeneratbehandlung, bestehend aus Fällung und Filtration sowie Schlammwässerung, unverhältnismäßig und es wird die externe Entsorgung des Regenerates über einen Dienstleister vorgesehen. Mit der Installation einer zusätzlichen Umkehrosmostufe könnte das Volumen der zu entsorgenden Lösung um bis zu 80% reduziert werden. In weitergehenden Planungen muss dies als zusätzliche Variante mit überprüft werden.

4.2.5 Naturnahe Reinigungsmethoden (Wetlands)

Aus eigenen Untersuchungen [16] und entsprechenden Fachmonographien [30] kann für ein anaerobes Wetland eine kombinierte Reinigungsleistung für Cd/Zn von 750 mg/m²*d angenommen werden. Ausgehend von einer Auslegung für 1.440 m³/h Wasser zur Behandlung pro Behandlungsstrang wird damit eine Fläche von zweimal ca. 187.000 m² für die beiden Wetlands benötigt. Zusätzlich wird noch Platz für die begleitende Infrastruktur benötigt. Dieser Platz steht am Standort (siehe auch Anlage 3) aber keinesfalls zur Verfügung, womit diese Variante schon ohne nähere Betrachtung von Kosten und Aufwand ausscheiden muss.

4.3 Kostenschätzung

Für die Schätzung der Investitionskosten erfolgt die Auslegung der Anlagen für die maximale Anlagenkapazität von 2.880 m³/h. Die durchsatzunabhängigen Betriebskosten, wie z. B. Personalkosten, Abschreibungen und Wartungskosten werden auf ein Kalenderjahr bezogen. Die maximale Anlagenkapazität wird im Jahresmittel nicht ausgeschöpft. Für die durchsatzabhängigen Betriebskosten (z.B. Chemikalien, Elektroenergie) wird eine Auslastung von 70% angenommen.

4.3.1 Investitionskosten

Die ausführliche Berechnung der Investitionskosten ist in Anlage 4 zusammengestellt. Die Kosten für die externe Medienserschließung (Elektroenergie, Wasser, etc.) wurden dabei nicht berücksichtigt.

In der folgenden Tabelle 6 sind die Kosten der einzelnen Verfahren miteinander verglichen.

Tabelle 6: 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 |
| Umkehrosmostufe | 6.417.620 | 7.729.040 | 14.146.660 |
| Ionenaustauscher | 7.232.500 | 13.350.700 | 20.583.200 |

Während die reinen Baukosten für Betonbauwerke und Gebäude in allen Varianten relativ ähnlich sind, differieren die Ausrüstungskosten sehr stark. Dies wird im Wesentlichen durch die hohe Zahl der benötigten Membranmodule bzw. das große Volumen an benötigtem Ionenaustauscherharz bedingt.

4.3.2 Personalkosten

Für alle Verfahrensvarianten wird angenommen, dass während des Betriebes die Anlage einschichtig mit zwei Personen besetzt wird. In der übrigen Zeit wird ein Bereitschaftsdienst eingerichtet, der über das Prozessleitsystem automatisch bei entsprechenden Alarmmeldungen benachrichtigt wird. Über einen Fernzugriff kann er in die Steuerung der Anlage eingreifen. Es wird ein Stundensatz von 40 € und für den Bereitschaftsdienst von 1,50 € angesetzt (Tabelle 7).

Tabelle 7: Personalkosten

| Tätigkeit | Personen | Zeit | | Kostensatz €/h | Kosten | |
|--------------|----------|------|-----|-------------------|---------|-----------|
| | | h/d | h/d | | Pro Tag | Pro Jahr |
| Betreiben | 2 | 8 | 16 | 40 | 640 € | 233.600 € |
| Bereitschaft | 1 | 16 | 16 | 1,50 | 24 € | 8.760 € |
| Summe | | | | | 664 € | 242.360 € |

Pro Tag fallen also Personalkosten von 664 € an.

4.3.3 Betriebskosten

Für die Betriebskosten werden Abschreibungszeiträume von 25 Jahren (Bauwerke) bzw. 10 Jahren (Ausrüstung) angenommen. Weiterhin wird angenommen, dass in den beiden Varianten mit Membranstufe pro Jahr 50 % der eingesetzten Module ausgetauscht werden müssen.

Für die Verbräuche an Strom und Chemikalien wird ein mittlerer Durchsatz von 2.000 m³/h angesetzt. Die nachfolgende Tabelle 8 stellt die jährlichen Betriebskosten der einzelnen Verfahrensvarianten dar. Die ausführliche Schätzung der Betriebskosten ist in Anlage 5 enthalten.

Tabelle 8: Vergleich Betriebskosten

| Verfahrensvariante | Abschreibungen Bau/Ausrüstung | Wartung/ Instandhaltung | Personal- kosten | Chemika- lien/Modul- tausch | 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 |

Daraus resultieren folgende spezifische Kosten (Tabelle 9) für den angenommenen mittleren Durchsatz von 2.000 m³/h.

Tabelle 9: Spezifische Kosten

| Verfahrensvariante | Spezifische Kosten Abschreibung und Wartung | Spezifische Kosten Wasserbehandlung | | Spezifische Gesamtkosten |
|--------------------|---|-------------------------------------|--------|--------------------------|
| | | [€/m³] | [€/m³] | |
| Fällung | 0,08 | 0,17 | 0,11 | 0,25 |
| Nanofiltration | 0,23 | 0,58 | 0,14 | 0,81 |
| Umkehrosmose | 0,11 | 0,32 | 0,14 | 0,43 |
| Ionenaustauscher | 0,17 | 0,12 | 0,06 | 0,29 |

Bei einer später erfolgenden Auswahl einer Verfahrensvariante zur Realisierung müssen sorgfältige Überlegungen zur zukünftigen Energiekostenentwicklung vorgenommen werden. Eine weitere Steigerung des Strompreises (Annahme hier 0,30 €/kWh) führt sehr schnell dazu, dass die spezifischen Betriebskosten einer Ionenaustauscheranlage unter denen einer kombinierten Fällung/Filtration liegen könnten.

5 Diskussion der Verhältnismäßigkeit und Priorisierung von Behandlungsvorschlägen

Im vorhergehenden Kapitel 4.2 wurde beschrieben, dass die Reinigung des Wassers aus dem Rothschönberger Stollen bis zum Erreichen des festgelegten Behandlungszieles mit allen vorgestellten Verfahren im Grundsatz technisch realisierbar ist. In der Kostenschätzung (Kapitel 4.3) wurden die Verfahren ermittelt, die die festgelegten Behandlungsziele mit dem geringsten finanziellen Aufwand erreichen.

Ausgehend von dieser technischen Basis muss eingeschätzt werden, ob die Behandlung des Wassers aus dem Rothschönberger Stollen eine verhältnismäßige Maßnahme darstellt. Dabei muss zunächst berücksichtigt werden, dass die Verhältnismäßigkeit keine naturwissenschaftliche oder verfahrenstechnische, sondern eine rein juristische Frage ist.

Die Verhältnismäßigkeit wird aus dem Rechtsstaatsprinzip und den Grundrechten abgeleitet und besitzt Verfassungsrang, bindet also alle Staatsgewalten. Dabei kann die Verhältnismäßigkeit nicht verallgemeinert angewendet werden, sondern muss bei Altlastensanierungen bzw. Behandlung von Bergbaufolgeschäden immer in einer hochspezifischen Einzelfallentscheidung geprüft werden. Dies wurde bereits in einem Grundsatzurteil des Bundesverwaltungsgerichts 1973 festgestellt und besitzt weiterhin Gültigkeit (BVerwG, Grundsatzurteil v. 16.11.1973, Az. BVerwG IV C 44.69).

Die Prüfung der Verhältnismäßigkeit einer Maßnahme ist dabei Aufgabe der zuständigen Behörde [22].

Hierbei müssen folgende Kriterien geprüft werden:

- Geeignetheit
- Erforderlichkeit
- Angemessenheit.

Die ersten beiden Kriterien wurden in den vorhergehenden Kapiteln der Studie bereits ausgiebig diskutiert und haben gezeigt, dass sowohl die Geeignetheit der möglichen Maßnahmen als auch die Erforderlichkeit gegeben sind.

Die Prüfung der Verhältnismäßigkeit ist nach übereinstimmender Aussage der Fachliteratur die Aufgabe der Behörden ([22], [23] & [24]).

Dies kann nur in einem iterativen Prozess geschehen und muss folgende Prüfungskriterien beinhalten:

- Kosten-Nutzen-Vergleich
- Abwägung von Vor- und Nachteilen
- Ökobilanz.

Dabei können die prioritären Risikofaktoren Betroffenheit und Sensibilität/Vulnerabilität in einer Prüfungs- und Entscheidungsmatrix erfasst werden und auf dieser Basis eine Verhältnismäßigkeit abgeleitet werden.

Für die Prüfung der Behandlung von Bergbauwässern existieren aufgrund der diskutierten Einzelfallprüfung keine derartigen allgemeinen Entscheidungsvorgaben. In der Literatur werden verschiedene Bewertungsverfahren diskutiert. Beispielhaft sei das Hamburger Bewertungsverfahren zur Gefährdungsbeurteilung von Grundwasserschäden [25] genannt. In Analogie hierzu und unter Beachtung der Ergebnisse der in der IKSE diskutierten Möglichkeiten des Sedimentmanagements könnte solch eine Matrix aufgebaut werden. Als Kriterien / Risikofaktoren könnten beispielhaft abgewogen werden: Dauer des Stoffeintrags (Ewigkeitslast oder kurzzeitig lösbar), Wasserbehandlung notwendig (Schutzgutbetrachtung), Stofffrachten (hoch bis gering) usw..

Daher kann in diesem Bericht nur die Verhältnismäßigkeit der vorgestellten Behandlungsmöglichkeiten in einer ersten vorläufigen Bewertung verbal-argumentativ eingeschätzt werden.

Im Hamburger Hafen fallen im Verlauf eines Jahres je nach Stärke der Oberwasserführung unterschiedliche Massen an kontaminierten Sedimenten an, die entnommen und umgelagert werden müssen, um ausreichende Wassertiefen zu sichern und

damit die Funktionsfähigkeit des Hafens zu gewährleisten. Aus den Berichten der Hamburger Hafenbehörde der letzten Jahre ist erkennbar, dass hierfür Ausbaggerungen zwischen 3 und 8 Millionen Kubikmeter notwendig waren. Durch die Behörde werden zudem detailliert die Schadstoffmengen, die sich im Baggergut befinden, ermittelt. Dabei wurde festgestellt, dass sich das Belastungsmuster der Schwermetalle und von Arsen im frischen, schwebstoffbürtigen Sediment der Elbe in den vergangenen Jahren nur noch wenig verändert hat. Anreicherungen von Cadmium, Zink, Kupfer und Quecksilber dominieren neben organischen Zinnverbindungen.

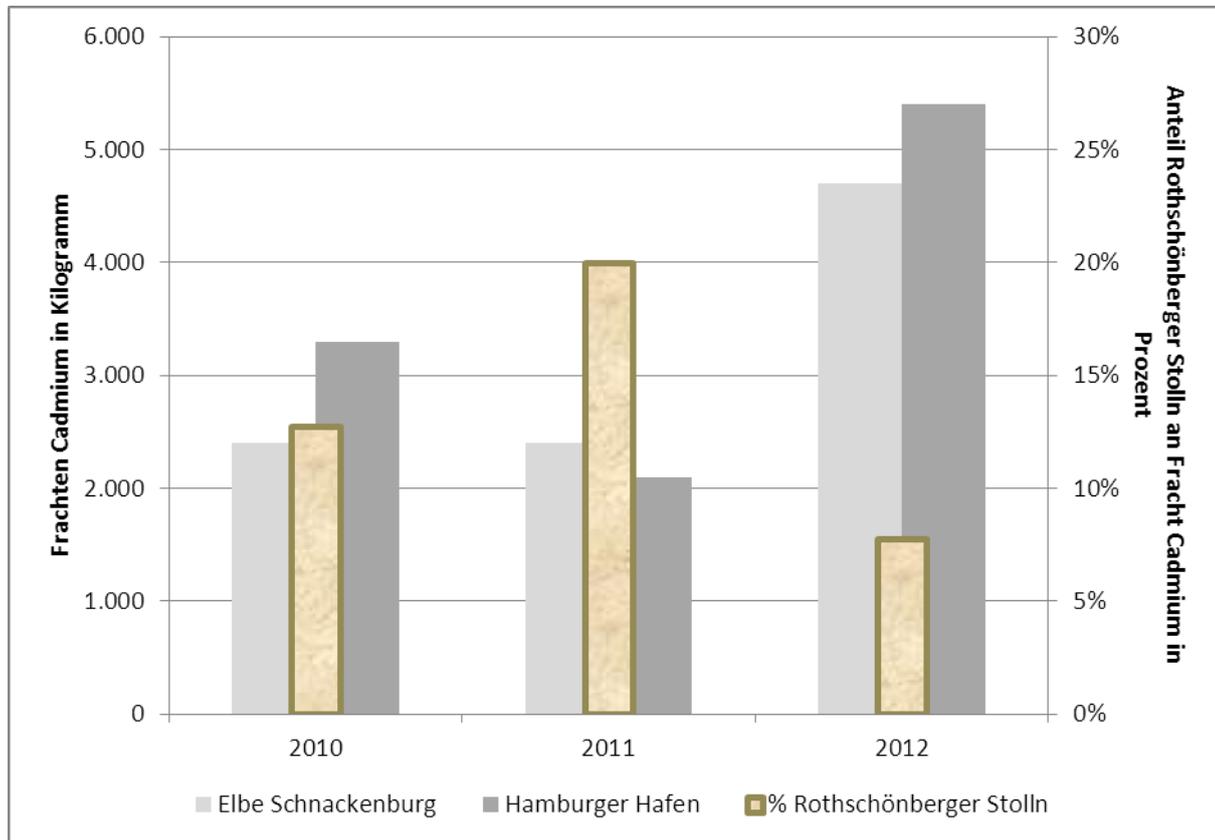
Im letzten verfügbaren Bericht von 2012 [27] wird nachgewiesen, dass die 4,99 Millionen Kubikmeter Baggergut, die einer Trockenmasse von 0,997 Mio. Tonnen Sand und 1,481 Millionen Tonnen Schlick entsprechen, insgesamt 5,4 Tonnen Cadmium enthielten (Tabelle 10).

Tabelle 10: Schadstofffrachten des Baggerguts 2012 (aus [27])

| Schadstoff | Einheit | Land- verbringung | Umlagerung Neßsand | Elbe 2011 Schnackenburg |
|-----------------|----------|----------------------|-----------------------|----------------------------|
| Arsen | t/a | 15,1 | 33,1 | 51 |
| Blei | t/a | 37,7 | 72,4 | 62 |
| Cadmium | t/a | 1,8 | 3,6 | 4,7 |
| Kupfer | t/a | 58,4 | 72,4 | 97 |
| Nickel | t/a | 13,3 | 36,2 | 87 |
| Quecksilber | t/a | 1,3 | 1,6 | 0,62 |
| Zink | t/a | 267,6 | 640,9 | 830 |
| Mono-Butylzinn | kg Sn /a | 25,7 | 46,7 | k.A. |
| Di-Butylzinn | kg Sn /a | 25,9 | 16,2 | k.A. |
| Tri-Butylzinn | kg Sn /a | 93,7 | 55,7 | <40 |
| Tetra-Butylzinn | kg Sn /a | 21,2 | 8,6 | k.A. |

Die in der Tabelle enthaltenen Daten an der Dauermessstelle Schnackenburg dienen als Referenz zur Abschätzung der Elbefrachten. Schadstofffrachten zwischen der langen Elbefließstrecke bis zum Hamburger Hafen werden nicht berücksichtigt, so dass die mit 4,7 Tonnen abgeschätzte Fracht an der Referenzstelle relativ gut mit der tatsächlichen Baggergutmasse übereinstimmt.

Aus den im Rahmen dieser Studie angestellten Untersuchungen geht hervor, dass durch den Rothschönberger Stolln eine Cadmium-Fracht von ca. 420 kg/a in die Triebisch und anschließend die Elbe eingetragen wird. Obwohl die Gesamttonnage an Baggergut in Hamburg und damit auch die Masse an Cadmium wie oben beschrieben jährlich schwankt, bleibt der Anteil, den die Rothschönberger-Stolln-Kontamination darstellt, bei nur 10% bis 20%.



Anteil Masse Cadmium der Kontaminationsquelle „Rothschönberger Stolln“ am Baggergut des Hamburger Hafens

Im Umkehrschluss bedeutet diese Aussage, dass weitere größere Cadmium-Kontaminationsquellen die Sedimentzusammensetzung im Hamburger Hafen beeinflussen. Aus [28] ist bekannt, dass zum Beispiel noch höhere Cadmium-Frachten aus dem Einzugsgebiet der Freiberger Mulde über die Vereinigte Mulde in die Elbe eingetragen werden. Auch hier sind Austräge aus dem Altbergbau ursächlich.

An dieser Stelle sei auch nochmals darauf hingewiesen, dass bereits ein nicht unerheblicher Eintrag von Cadmium an der Gütemessstelle Schmilka registriert wird, sodass das Elbsediment vorbelastet nach Sachsen eingetragen wird.

Daher wäre sicher eine nochmalige detailliertere Abschätzung der Frachtenanteile von der Quelle der Elbe bis zur Mündung unter Einbeziehung der Einträge der Nebenflüsse sinnvoll. Mit hoher Sicherheit kommen sächsische Quellen allerdings für einen Teil dieser Fracht in Betracht, quantifizierbar ist er derzeit allerdings nicht. Nähere Aussagen hierzu werden aus dem Bericht „Sedimentmanagement“ erwartet, welcher aber für die Bearbeitung dieses Gutachtens noch nicht zur Verfügung stand.

Die Verhältnismäßigkeit einer alleinigen Abtrennung des Schadstoffs Cadmium am Standort Rothschönberger Stolln erscheint mit Blick auf den Schadstoffmix der Hamburger Hafen-Sedimente auf den ersten Blick nicht gegeben. Es kann zum Beispiel nicht ausgeschlossen werden, dass andere die Sanierungskosten beeinflussende Kontaminanten wie Zink auch aus dieser Quelle entstammen und verfrachtet werden.

Ausgehend von den abgeschätzten Betriebskosten einer Wasserbehandlung und der zurückgehaltenen Fracht an Cadmium pro Jahr betragen die spezifischen Kosten pro Kilogramm entferntes Cadmium ca. 10.000 €.

Geht man davon aus, dass, wie oben aufgeführt, schätzungsweise maximal 20% des Cadmiums im Hafensediment aus dem Rothschönberger Stolln stammen, wird vereinfacht abgeschätzt, dass hiermit auch maximal 20% der Cadmiumkonzentration im Baggergut abgesenkt werden können. Nach ([27], Anlage 6) beträgt der Cadmium-Gehalt des Baggergutes zur Landverbringung 4,6 mg/kg. Schätzungsweise würden also Abreinigungsmaßnahmen am Mundloch zu einer Verringerung der Cadmi-umsedimentkonzentration im Baggergut maximal 1 mg/kg betragen. Das zu verbringende Material würde hiermit immer noch

der LAGA Z2 zugeordnet werden müssen. Daher können hier keine Einsparungen von Kosten des Baggergutes erwartet werden.

Aus gutachterlicher Sicht bleibt festzustellen, dass eine Abtrennung von Cadmium technisch möglich ist, aber dieser Schadstoff nicht allein die Schadstoffzusammensetzung des Baggerguts bestimmt und eine Eliminierung / Reduzierung von Cadmium nicht zur Schadstofffreiheit führt. Daher erscheint die Beteiligung Sachsens an den Unkosten der Abbaggerung und Umlagerung, allein aus der Sicht des Rothschönberger Stollns, als zielführender als die Investition in eine technische Wasserbehandlungsanlage.

6 Alternativen und Forschungsbedarf

Aufgrund der hohen Kosten der Wasserbehandlung sollten auch Alternativen und komplementäre Verfahren in die Betrachtung einbezogen werden. In [28] sind unterschiedliche Herangehensweisen für die Verminderung des Schadstoffeintrages aus diffusen und punktförmigen Quellen dargestellt.

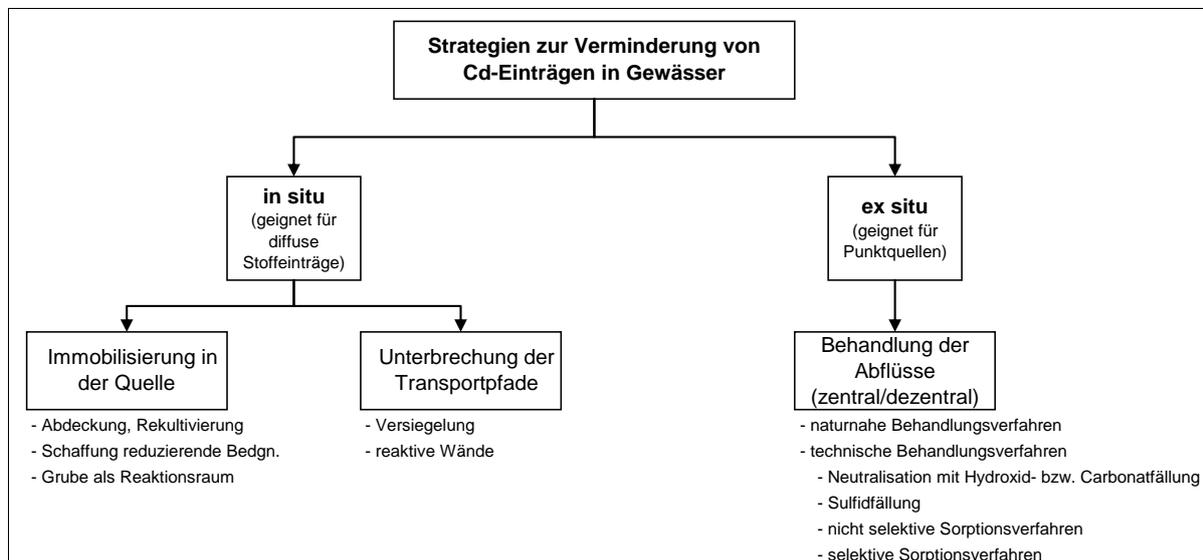


Abbildung 11: Strategien zur Verminderung von Cadmiueinträgen ins Oberflächenwasser

Das Schema gilt allgemein für bergbautypische Schadstoffe und schließt deshalb das toxische Schwermetall Cadmium mit ein. Bei diffusen Einträgen bestehen die prinzipiellen Möglichkeiten der Immobilisierung der Schadstoffe in der Quelle oder die Unterbrechung der Transportpfade. Dazu sind in situ Sanierungsmaßnahmen erforderlich. Im Gegensatz dazu können Punktquellen ex situ durch verschiedene Behandlungsverfahren naturnah oder in technischen Anlagen behandelt werden.

Zusammenfassung von Cd-belasteten Strömen

Bereits in vorangegangenen Studien ([16], [17], [28]) wurde die Möglichkeit angesprochen, andere Punktquellen von Cadmium im Freiburger Revier mit in den Rothschönberger Stolln einzubinden. Tabelle 11 gibt einen Überblick über die wesentlichen Punktquellen. Daneben erfolgt ein signifikanter Eintrag über nicht auflösbare diffuse Quellen.

Dies zeigt, dass von der Gesamtfracht ca. 45 % des Cadmiums durch den Rothschönberger Stolln ausgetragen werden. Von den 55 %, die in die Freiburger Mulde ausgetragen werden, sind ca. 64 % durch den Verträgliche Gesellschaft Stolln bedingt. Von diesen Punktquellen könnten nach derzeitigem Kenntnisstand Stangenbergbach, Hüttenrösche Morgenstern, Verträgliche Gesellschaft Stolln und Hauptstolln Umbruch dem Rothschönberger Stolln zugeführt werden. Dies entspricht einem Prozentsatz von 91 % der Punktquellen-Frachten.

Zur Einschätzung der Machbarkeit solcher Maßnahmen sind jedoch weitere Untersuchungen, insbesondere zur hydraulischen Sicherheit der Wasserwege notwendig.

Tabelle 11: Cd-Frachten wesentlicher Punktquellen im Freiburger Raum

| Punktquelle | Cadmium | mittlerer Durchfluss (geschätzt) | Cd-Fracht | Anteil an Summe |
|--|-----------|----------------------------------|---------------|-----------------|
| | µg/l | l/s | g/d | % |
| Schieferleithe Stolln | 26,3 | 2,2 | 5,0 | 0,4 |
| Stangenbergbach | 215,0 | 8 | 148,6 | 13,5 |
| MRU-Kanal | 9,0 | 0,3 | 0,2 | 0,02 |
| RWE-Kanal | 183,1 | 1 | 15,8 | 1,4 |
| Glücks Silbersternstolln | 514,0 | 1 | 44,4 | 4 |
| Hüttenrösche Morgenstern | 183,3 | 5 | 79,2 | 7,2 |
| Ablauf Spülhalde Hammerberg | 358,2 | 1 | 30,9 | 2,8 |
| Königl. Verträgl. Gesellschaft Stolln | 162,5 | 50 | 702,0 | 63,6 |
| Hauptstollnumbruch | 43,3 | 20 | 74,8 | 6,8 |
| Tiefer Lorenz Gegentrum Stolln | 5,8 | 1 | 0,5 | 0,04 |
| Tiefer Hilfe Gottes Stolln | 2,0 | 10 | 1,7 | 0,16 |
| Summe der Punktquellen Freiburger Mulde | | | 1103,5 | 100 |
| Rothschönberger Stolln | 25 | 500 | 990 | - |

Haldenabdeckung

In mehreren Studien [16], [17] wurde der signifikante Eintrag von Cadmium aus Bergbau- und Hüttenhalden in Oberflächen- und Stollnwasser nachgewiesen. Daher kann im Sinne einer in situ-Sanierung solcher Standorte durch Abdeckung/Abdichtung eine Unterbrechung von Transportpfaden und die Immobilisierung in der Quelle (siehe Abbildung 11) erreicht werden. Solche Sanierungsstrategien sind nachhaltig, weil der Schadstoffaustrag langfristig signifikant zurückgeht. Standortbezogene Einzelfallprüfungen über die erreichbaren Ergebnisse sind jedoch in jedem Fall erforderlich.

In situ-Grubenwassersanierung

Zur Verminderung der Cd-Austräge mit den Stollwässern kann auch eine in situ-Grubenwasserbehandlung in Betracht gezogen werden. Dazu kommt der große, geflutete Grubenteil unterhalb der Sohle des Rothschönberger Stollns in Betracht. In diesem von Grubenwasser durströmten Bereich könnte durch Einbringen basischer, Sulfidionen bildender und/oder reduzierender Materialien (z.B. Ca(OH)_2 , Na_2CO_3 , Na_2S , Fe(0)) mit nachfolgender Sedimentation der Reaktionsprodukte (z.B. Cd(OH)_2 , CdCO_3 , CdS) eine deutliche Entfrachtung an Cd erfolgen. Solche Prozesse wurden bisher nur beschränkt in Betracht gezogen und bedürfen weiterer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Ableitung nachhaltiger Verfahren.

Weitere Maßnahmen

In der Zeit seit dem Hochwasserereignis 2002 wurden unter Federführung des Sächsischen Oberbergamtes eine Reihe von Entwässerungsstollen-Sanierungen (z.B. Geyer, Annaberg-Buchholz, Zinnwald, Rothschönberger Stolln) durchgeführt. Diese

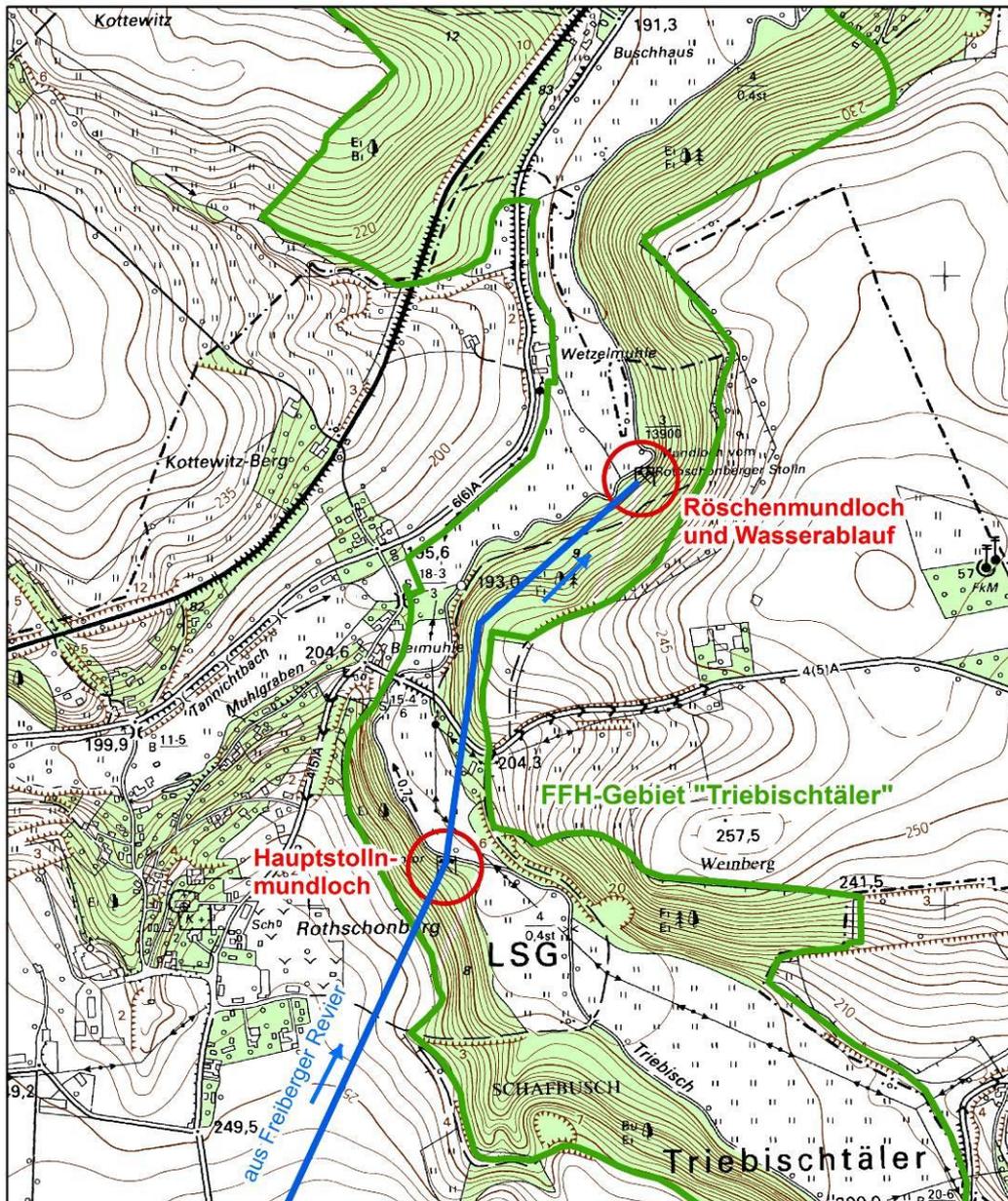
Arbeiten beschränkten sich jedoch auf die dauerhafte Herstellung der Wasserableitungsfunktuion. Stoffliche Aspekte wurden dabei nicht berücksichtigt. Es ist daher zu empfehlen, dass zu jeder Sanierungsmaßnahme an Entwässerungsstollen auch Möglichkeiten zur Reduzierung von Schadstoffausträgen erwogen werden.

Durch ein Stollensediment-Management für Arbeiten im Rothschönberger Stolln könnte der Austrag solcher Sedimente , insbesondere bei Baumaßnahmen, verringert werden.

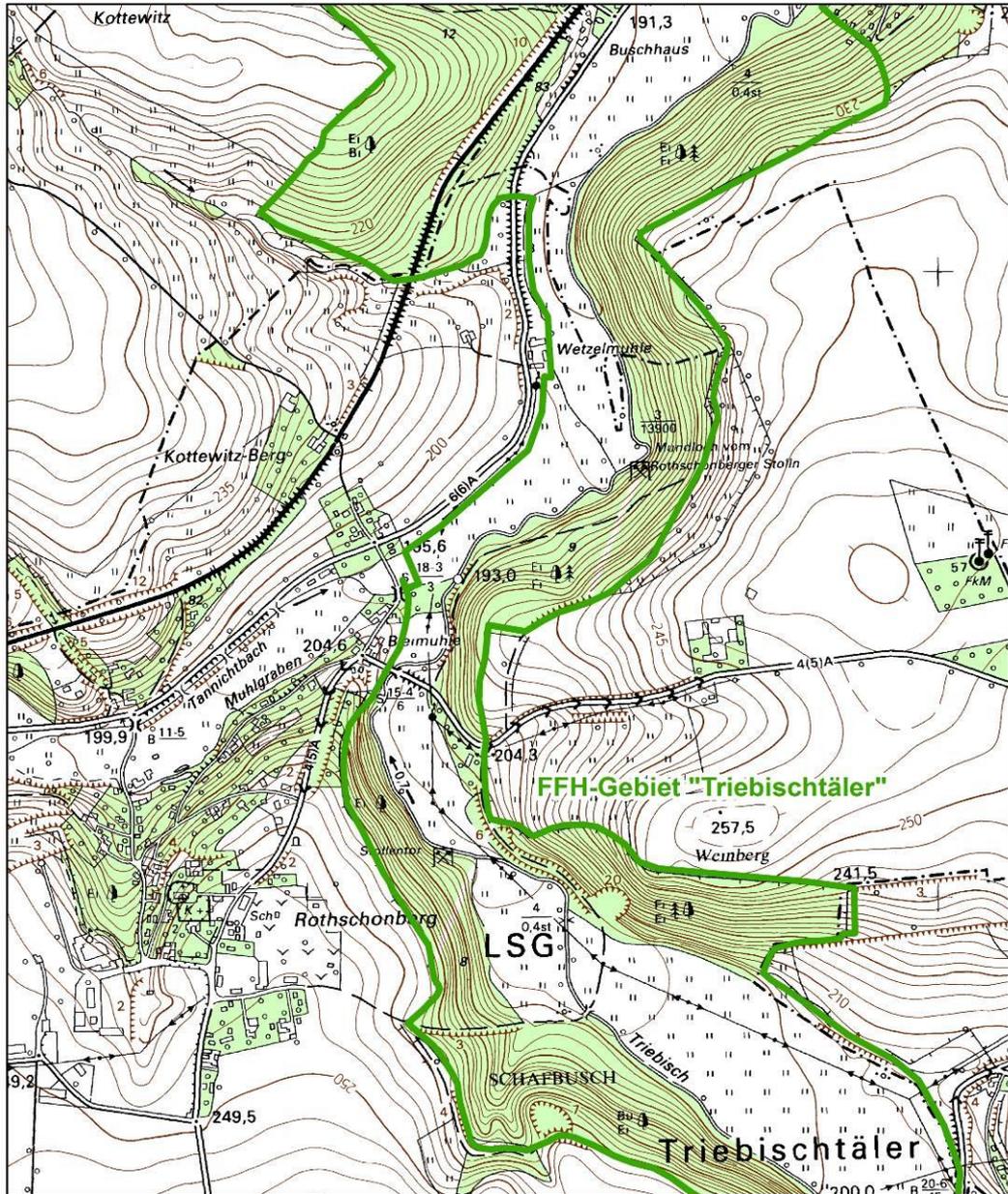
Literaturverzeichnis

- [1] WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 327 vom 22.12.2000
- [2] WRRL (2006): Richtlinie 2006/11/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 betreffend die Verschmutzung infolge der Ableitung bestimmter gefährlicher Stoffe in die Gewässer der Gemeinschaft, Amtsblatt der Europäischen Union L 64 vom 04.03.2006
- [3] WRRL (2008): Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG, Amtsblatt der Europäischen Union L 348 vom 24.12.2008
- [4] 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
- [5] GrwV (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung - GrwV), 9. November 2010, BGBl. I S. 1513
- [6] Rohde, S. (2013): E-Mail vom 25.09.2013
- [7] Östreich, W. (1956): Hydrogeochemische Untersuchungen an Stollen- und Grubenwässern des Freiburger Erzbezirks, Diplomarbeit Bergakademie Freiberg, unveröff.
- [8] Rösler, H.J.; Meier, U. (1981): Zur Geochemie Freiburger Grubenwässer. Forschungsbericht Institut für Mineralogie, Geochemie und Lagerstättenlehre, unveröff.
- [9] Haubrich, F. (1992): Schwefelisotopengeochemie und Schwermetallführung von Grubenwässern des Raumes Freiberg. Studienarbeit Bergakademie Freiberg, unveröff.
- [10] 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
- [11] Degner, T. (2003): Prognose von geochemischen Auswirkungen der Nachnutzung stillgelegter Bergbau-Stollen-Systeme am Beispiel des Freiburger Grubenreviers. Diss. TU Bergakademie Freiberg
- [12] Baacke, D. (2000): Geochemisches Verhalten umweltrelevanter Elemente in stillgelegten Polysulfidgruben am Beispiel der Grube Himmelfahrt in Freiberg/Sachsen. Diss. TU Bergakademie Freiberg
- [13] Greif, A. (2013): pers. Mitt.
- [14] Benthin, A. (2010): Der Rothschönberger Stolln und die Arbeit des Vereins VII. Lichtloch e.V. in Halsbrücke. in: Tagungsband 10. Internationaler Montanhistorik-Workshop Dittichshütte/Thüringen. S. 91-102
- [15] G.E.O.S. (2013): Entwicklung einer kostengünstigen Maßnahmekombination für die Minimierung von Schwermetalleinträgen aus dem Raum Freiberg, Vergabe Nr. B656, Angebot für LfULG
- [16] G.E.O.S. (2008): Erarbeitung einer Vorplanung mit Kostenabschätzung zur Sanierung und Unterhaltung des künstlichen Gewässers Roter Graben, Bericht für Landesdirektion Chemnitz
- [17] 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
- [18] Aubel, T; Janneck, E.; et. al. (2013): Sulfat- und Schwermetallentfernung aus Bergbauwässern – Verfahrensvergleich Ettringitfällung vs. Nanofiltration im Pilotversuch, Mine Water Symposium, Freiberg
- [19] Chaudhari, L; Murthy, Z. (2008): Removal of Nickel and Cadmium ions from aqueous waste water by nano filtration, Journal of Environmental Research and Development, Vol. 3 No. 2

- [20] Soares, M., Bertrand, M, et.al. (2005): Removal of lead, cadmium and zinc from industrial effluents using nanofiltration and reverse osmosis membranes, XIII. International conference on heavy metals in the environment.
- [21] Chaudhari, L; Murthy, Z. (2008): Separation of cadmium ions and estimation of membrane transport parameters of a nanofiltration membrane, Indian Journal of Chemical Technology, Vol. 15
- [22] Schroers, Stefan: Handlungsempfehlungen für die Grundwassersanierung, LANUV NRW, Vortrag AAV-Fachtagung, 2012
- [23] Große, Sven: Was ist als Sanierungsziel rechtlich zulässig, SMUL Sachsen, Vortrag Workshop Sanierungsentscheidung, 10.05.2011
- [24] Steiner, Nikolaus: Verhältnismäßigkeit von Sanierungszielen und –maßnahmen bei altlastenbedingten Grundwasserschäden, Anwaltskanzlei Steiner, Vortrag AAV-Fachtagung, 24.06.2009
- [25] Gefährdungsbeurteilung und Sanierung von Grundwasserschäden – Managementkonzept zur Ermittlung der Sanierungsnotwendigkeit und Ableitung von Sanierungszielwerten, Freie und Hansestadt Hamburg – Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, März 2012
- [26] „Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen“, Unterausschuss „Gefahrenabwehr bei Grundwasserverunreinigungen und Grundwassergefährdungen“ der Ständigen Ausschüsse „Grundwasser und Wasserversorgung“ der LAWA und „Altlasten“ der LABO
- [27] Hamburg Port Authority, Hafeninfrastruktur Wasser (2013): Umgang mit Baggergut aus dem Hamburger Hafen Teilbericht Umlagerung von Baggergut nach Neßsand Bericht über den Zeitraum 1.1. bis 31.12.2012, Hamburg, Mai 2013
- [28] 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: LfULG)
- [29] Stupp, H.D.; Bakenhus, A.; et. al.: Kosten zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen durch CKW und Ansätze zur Definition der Verhältnismäßigkeit von Sanierungsmaßnahmen, Altlasten Spektrum, 1/2006, S. 84 – 92
- [30] Engineering Guidelines for Passive In-situ Remediation of Acidic Mine / Industrial Drainage (PYRAMID Guidelines); http://www.imwa.info/piramid/files/PIRAMIDFinRept_publicedn.pdf
- [31] G.E.O.S. (2012): Detailuntersuchung des Wasserpfades am Objekt „Spülhalde Davidschacht“ Teil II; Auftraggeber: FSB Freiburger Silicium Bearbeitungsgesellschaft mbH; 02.07.2012



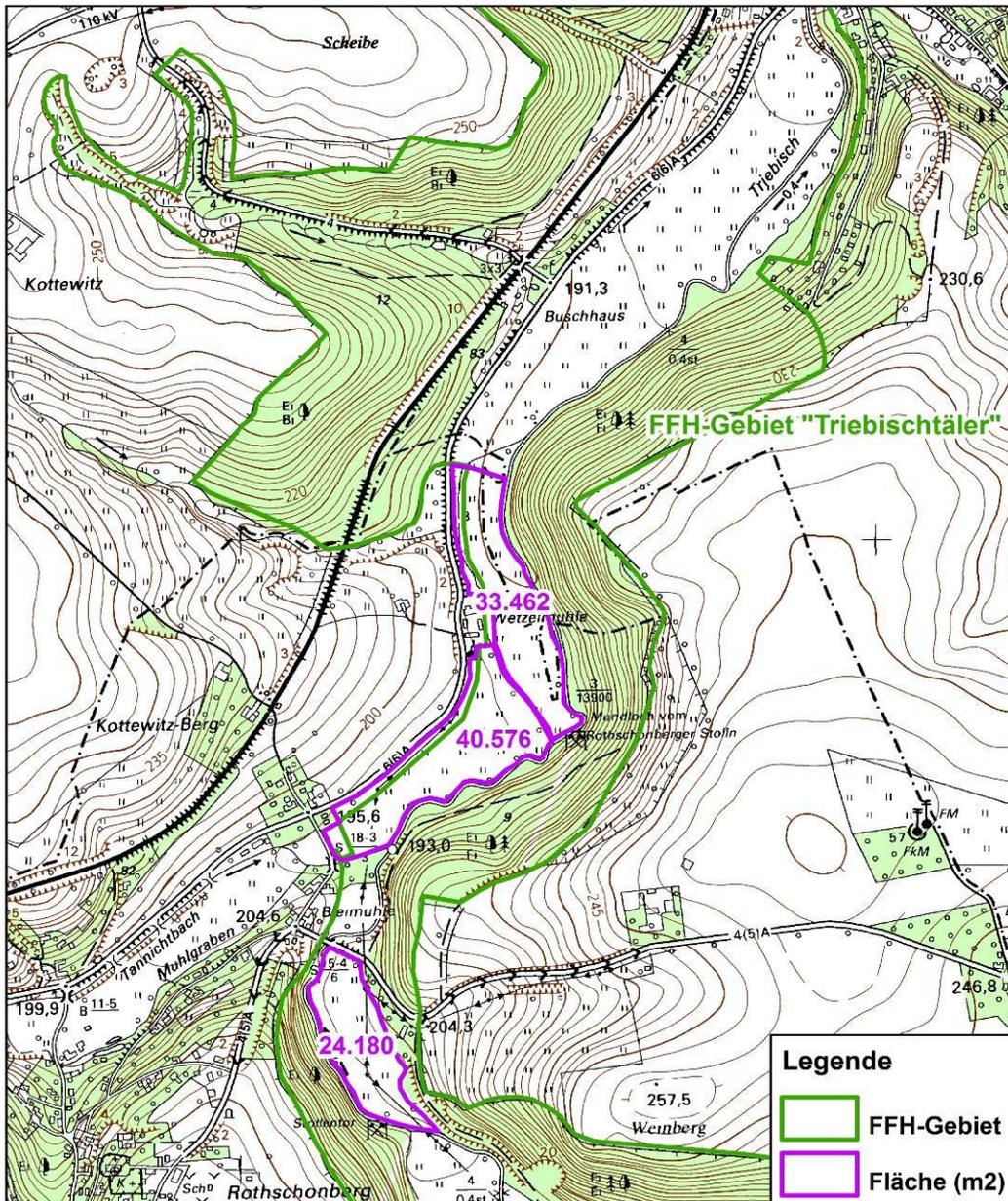
| | | | |
|---|-------------------------|---|----------|
|  G.E.O.S. INGENIEUR-GESELLSCHAFT MBH <small>Gewerbehark "Schwarze Kiefern", 09633 Halsbrücke Tel.: 03731/369-0 Fax: 03731/369-200 E-Mail: info@geostreiberg.de</small> | | Auftraggeber Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden | |
| Projekt: Entwicklung einer kostengünstigen Maßnahmekombination für die Minimierung von Schwermetalleinträgen aus dem Raum Freiberg | | | |
| Bezeichnung: Lageplan Maßstab 1 : 10.000 | | Planungsphase: Studie | |
| Maßstab: 1 : 10.000 | bearbeitet: 30.11. 2010 | Martin | Anlage 1 |
| Projekt-Nr.: 30130170 | gezeichnet: 30.11. 2010 | Martin | |
| Datei/Plan-Nr.: | geprüft: 30.11. 2010 | Aubel | |



| | | | |
|---|--|--|--|
|  G.E.O.S. INGENIEUR-GESELLSCHAFT MBH Gewerbepark "Schwarze Kiefern", 09633 Halsbrücke Tel.: 03731/369-0 Fax.: 03731/369-200 E-Mail: info@geosfreiberg.de | Auftraggeber Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden | | |
| | Projekt: Entwicklung einer kostengünstigen Maßnahmekombination für die Minimierung von Schwermetalleinträgen aus dem Raum Freiberg | | |

| | |
|---|--------------------------|
| Bezeichnung: Lageplan mit Eintragung des FFH-Gebietes | Planungsphase: Studie |
|---|--------------------------|

| | | | |
|-----------------------|------------------------|--------|----------|
| Maßstab: 1 : 10.000 | bearbeitet: 30.11.2010 | Martin | Anlage 2 |
| Projekt-Nr.: 30130170 | gezeichnet: 30.11.2010 | Martin | |
| Datei/Plan-Nr.: | geprüft: 30.11.2010 | Aubel | |



| | | | | |
|--|------------|--|-------------|-----------------|
|  <p>Gewerbetank "Schwarze Kiefern", 09633 Halsbrücke Tel.: 03731/369-0 Fax.: 03731/369-200 E-Mail: info@geosfreiberg.de</p> | | <p>Auftraggeber</p> <p>Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden</p> | | |
| <p>Projekt:</p> <p>Entwicklung einer kostengünstigen Maßnahmekombination für die Minimierung von Schwermetalleinträgen aus dem Raum Freiberg</p> | | | | |
| <p>Bezeichnung:</p> <p>Freiflächen am Mundloch des Rothschönberger Stollns</p> | | <p>Planungsphase:</p> <p>Studie</p> | | |
| Maßstab: | 1 : 10.000 | bearbeitet: | 30.11. 2010 | Martin |
| Projekt-Nr.: | 30130170 | gezeichnet: | 30.11. 2010 | Martin |
| Datei/Plan-Nr.: | | geprüft: | 30.11. 2010 | Aubel |
| | | | | Anlage 3 |

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

Autoren:

Mirko Martin
G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke
Telefon: + 49 3731 369-296
Telefax: + 49 3731 369-200
E-Mail: m.martin@geosfreiberg.de

Redaktion:

Sylvia Rohde
Abteilung4 / Oberflächen- und Grundwasser
Adresse der Dienststelle
Telefon: + 49 351 8928-4401
Telefax: + 49 351 8928-4099
E-Mail: Sylvia.Rohde@smul.sachsen.de

Fotos:

Mirko Martin

Redaktionsschluss:

15.11.2013

Hinweis:

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

Verteilerhinweis

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

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

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