

**ARGE**

**Gewässersanierung - LMBV**

## Studie

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>Vorhaben</b>      | <b>Bergrechtlich bestimmter Umgang mit den in den Folgegebieten des Braunkohlenbergbaus anfallenden Eisenhydroxidschlämmen in Süd-Brandenburg</b>  |
| <b>Auftraggeber</b>  | Lausitzer und Mitteldeutsche<br>Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH<br>Sanierungsbereich Lausitz<br>KE 2<br>Knappenstr. 1, 01968 Senftenberg   |
| <b>Grundlage</b>     | LMBV-Aufgabenstellung vom 14.02.2013<br>Rahmenvereinbarung zwischen der LMBV mbH und dem GW-Zentrum Dresden vom 02.11.2011<br>Auftrag Nr. 45048163 vom 24.06.2013                                    |
| <b>Auftragnehmer</b> | Grundwasser-Zentrum Dresden vertreten durch<br>ARGE des DGFZ e.V./ GFI GmbH Dresden / GIP GmbH Dresden<br>„Gewässersanierung LMBV“<br>Meraner Straße 10, 01217 Dresden<br>- Lieferantennr. 82011608, |
| <b>Bearbeiter</b>    | Dr. rer. nat. / Dr.-Ing. habil. F. Bilek<br>Dr.-Ing. Ch. Koch<br>Dipl.-Ing. J. Bücken<br>Prof. Dr.-Ing. habil. L. Luckner  |
| <b>Datum</b>         | 09.07.2013   |

Prof. Dr.-Ing. habil. L. Luckner

**DGFZ e.V.**  
Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V.  
Meraner Str. 10; 01217 Dresden  
Tel.: 0351 / 40506-70; Fax: -79  
VR210 Amtsgericht Dresden

**GFI GmbH Dresden**  
GFI Grundwasserforschungsinstitut GmbH Dresden  
Meraner Str. 10; 01217 Dresden  
Tel.: 0351 / 4050660; Fax: -69  
HRB 10748 Amtsgericht Dresden

**GIP GmbH Dresden**  
GIP Grundwasser-Ingenieurbau-Planung GmbH Dresden  
Meraner Str. 10, 01217 Dresden  
Tel.: 0351 / 40506-30; Fax: -39  
HRB 28040, Amtsgericht Dresden

ARGE Gewässersanierung LMBV:  
Steuernummer: 203/150/29490  
Bankverbindung: Deutsche Kreditbank AG; BLZ: 120 300 00; Kto.Nr.: 102 013 8413

## Inhalt

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>VERANLASSUNG .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>BEGRIFFSDEFINITIONEN.....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>3</b> | <b>RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE EHS-ABTRENNUNG AUS DEN FLIEßGEWÄSSERN UND DIE EHS- VERBRINGUNG.....</b>         | <b>5</b>  |
| 3.1      | WIRKUNGSPFAD DES EISENS .....  | 5         |
| 3.1.1    | Baustein 1: Mögliche Einrichtungen zur Fassung der Fe-Fracht.....  | 7         |
| 3.1.2    | Baustein 2: Einrichtungen zur Überführung des Eisens in EHS und Abscheidung aus der Wasserphase.....         | 7         |
| 3.1.3    | Baustein 3: Aufkonzentration und Behandlung des EHS .....  | 8         |
| 3.1.4    | Baustein 4: Transport des EHS.....   | 9         |
| 3.1.5    | Baustein 5: EHS-Ablagerung .....   | 9         |
| 3.2      | MAßGABEN FÜR DIE POSITIONIERUNG VON ANLAGEN ZUM EHS-RÜCKHALT UND ZUR EHS-ABTRENNUNG AUS FLIEßGEWÄSSERN ..... | 10        |
| 3.3      | MAßGABEN FÜR DIE KONSTRUKTION DER EHS-ABSCHIED-UND AUFKONZENTRATIONSEINRICHTUNGEN.....                       | 11        |
| 3.4      | MAßGABEN FÜR DIE EHS-VERBRINGUNG .....   | 11        |
| <b>4</b> | <b>EISEN-QUELLREGIONEN FÜR DEN SÜDLICHEN SPREEWALD- BETROFFENE FLIEßGEWÄSSER-ABSCHNITTE .....</b>            | <b>12</b> |
| 4.1      | EICHOWER FLIEß.....  | 12        |
| 4.2      | GREIFENHAINER FLIEß.....   | 12        |
| 4.3      | VETSCHAUER MÜHLENFLIEß.....  | 15        |
| 4.4      | EHEM. TGB. SCHLABENDORF – EINZUGSGEBIET WUDRITZ .....  | 16        |
| 4.5      | EHEM TGB. SCHLABENDORF – EINZUGSGEBIET BERSTE.....   | 17        |
| <b>5</b> | <b>EINRICHTUNGEN ZUR EHS-ABSCHIEDUNG UND KONZENTRATION .....</b>   | <b>17</b> |
| 5.1      | EXISTIERENDE BZW. ERTÜCHTIGBARE ANLAGEN.....   | 17        |
| 5.1.1    | GWRA Wüstenhain .....  | 17        |
| 5.1.2    | ehemalige WBA am Kraftwerk Vetschau.....   | 18        |
| 5.1.3    | GWRA Vetschau .....  | 19        |
| 5.1.4    | ehemalige GWRA Raddusch .....  | 19        |
| 5.1.5    | ehemalige WBA am ehem. Kraftwerk Lübbenau.....   | 20        |
| 5.1.6    | ehemalige GWRA Görlsdorf.....  | 21        |
| 5.1.7    | ehemalige GWRA Heideteich.....   | 21        |
| 5.2      | ZUKÜNFTIGE GGF. NEU ZU ETABLIERENDE ANLAGEN.....   | 22        |
| 5.2.1    | WBA an der Wudritz/ dem RL 14/15 .....   | 22        |
| 5.2.2    | In Flussläufen integrierte Absetzbecken .....  | 22        |
| 5.3      | SCHLAMM-BESCHAFFENHEITEN VERSCHIEDENER ABSCHIEDEEINRICHTUNGEN.....   | 23        |
| 5.3.1    | EHS-Schlämme aus Fließgewässern (Typ 1).....   | 23        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 5.3.2    | <i>EHS-Schlämme aus Absetzanlagen (Typ 2)</i> .....                                  | 24        |
| 5.3.3    | <i>EHS-Schlämme aus GWRA bei Aufbereitung von Flusswasser (Typ 3)</i> .....          | 25        |
| 5.3.4    | <i>EHS-Schlämme aus GWRA bei Aufbereitung von Grundwasser (Typ 4)</i> .....          | 25        |
| 5.3.5    | <i>Weitere Eigenschaften von EHS-Schlämmen</i> .....                                 | 26        |
| <b>6</b> | <b>EHS-VERBRINGUNG .....</b>   | <b>27</b> |
| 6.1      | RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN .....   | 27        |
| 6.1.1    | <i>Mögliche EHS-Verbringung unter Bergrecht</i> .....                                | 27        |
| 6.1.2    | <i>Mögliche EHS-Verwertung unter Bundesbodenschutzgesetz</i> .....                   | 27        |
| 6.1.3    | <i>Mögliche EHS-Verbringung unter Abfallrecht</i> .....                              | 27        |
| 6.1.4    | <i>Mögliche EHS-Verbringung unter Wasserrecht</i> .....                              | 28        |
| 6.1.5    | <i>Strategie</i> .....   | 28        |
| 6.2      | EINTRAG IN BERGBAULICHE WASSERGEFÜLLTE HOHLFORMEN.....                               | 28        |
| 6.3      | ABLAGERUNG AUF KIPPENAREALEN (UNTER BERGRECHT).....                                  | 30        |
| 6.3.1    | <i>EHS-Ablagerung auf Kippenarealen als Tailing</i> .....                            | 30        |
| 6.3.2    | <i>EHS-Ablagerung auf Kippenarealen als Halde</i> .....                              | 30        |
| 6.4      | EINTRAG IN KIPPENKÖRPER DES AKTIVBERGBAUS (UNTER BERGRECHT).....                     | 31        |
| 6.4.1    | <i>Eintrag in Kippenkörper in Form von auf Bermen verteilten Trockenbeeten</i> ..... | 31        |
| 6.4.2    | <i>Eintrag in Kippenkörper in Form eines kompakten Körpers</i> .....                 | 31        |
| 6.5      | DEPONIERUNG (UNTER ABFALLRECHT) .....  | 31        |
| 6.6      | NUTZUNG VON ZWISCHENLAGERN .....   | 32        |
| 6.7      | NACHNUTZUNG/VERWERTUNG VON EHS-SCHLÄMMEN .....                                       | 32        |
| <b>7</b> | <b>KONZEPTE.....</b>   | <b>33</b> |
| 7.1      | KONZEPT FÜR DAS EINZUGSGEBIET DES GREIFENHAINER FLIEßES .....                        | 33        |
| 7.1.1    | <i>Kurzfristige Maßnahmen</i> .....  | 33        |
| 7.1.2    | <i>Mittelfristige Maßnahmen</i> .....  | 34        |
| 7.1.3    | <i>Langfristige Maßnahmen</i> .....  | 37        |
| 7.2      | KONZEPT FÜR DAS VETSCHAUER MÜHLENFLIEß.....  | 37        |
| 7.2.1    | <i>Kurzfristige Maßnahmen</i> .....  | 38        |
| 7.2.2    | <i>Mittelfristige Maßnahmen</i> .....  | 38        |
| 7.3      | KONZEPT FÜR DEN EHS-TRANSPORT UND -ABLAGERUNG .....                                  | 39        |
| 7.4      | KONZEPT SCHLABENDORFER SEE .....   | 40        |
| 7.4.1    | <i>Kurzfristige Maßnahmen</i> .....  | 40        |
| 7.4.2    | <i>Mittel- und langfristige Maßnahmen</i> .....                                      | 40        |
| 7.5      | KONZEPT BERSTE .....   | 41        |
| 7.6      | KONZEPT EHS-VERBRINGUNG IN BERGBAULICHEN HOHLFORMEN .....                            | 41        |
| <b>8</b> | <b>ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN.....</b>   | <b>44</b> |

## 1 Veranlassung

Durch den Aufgang bergbaubeeinflusster Grundwässer in der Lausitz kommt es regional zu deren Exfiltration in die Fließgewässer und damit zum Eintrag großer Eisen- und Aziditätsfrachten. Brennpunkte des Fe-Eintrages in die Fließgewässer sind im Nordraum der Bereich des Vetschauer Fließes und des Greifenhainer Fließes, der Lorenzgraben im Oberlauf der Wudritz und das Vernässungsgebiet im Oberlauf der Berste [11].

Weiterhin kommt es in der Spreeaue nördlich des SB Lohsa II, im Bereich des Zusammenflusses von Kleiner Spree und Spree sowie insbesondere im Unterlauf der Kleinen Spree zum Austritt stark eisenreicher Grundwässer [9, 10].

In der Folge treten eine Rotfärbung der Fließgewässer durch suspendierte Fe-Kolloide und eine Verschlammung der Gewässersohlen durch die Eisenhydroxidschlämme (EHS) mit den entsprechenden nachteiligen ökologischen Folgen auf. Es ist zu besorgen, dass gelöstes Eisen und kolloidal transportierte Eisenhydroxide bis in die Region des südlichen Bereiches des Spreewaldes transportiert und dort abgelagert werden.

Vor diesem Hintergrund wird die LMBV verschiedene Maßnahmen zum Schutz der betroffenen Fließgewässer und insbesondere des im Abstom dieser Fließgewässer gelegenen, stark touristisch genutzten Biosphärenreservates Spreewald ergreifen [7, 8]. Diese Maßnahmen umfassen

1. die Quantifizierung und Lokalisierung der Eisenquellen und des Eiseneintrages in die Fließgewässer,
2. die Planung und Umsetzung von Maßnahmen zum Rückhalt und zur Entnahme der anfallenden EHS und
3. die Behandlung, den Transport und die sichere Verbringung der EHS.

In der vorliegenden Studie sollen, aufbauend auf ersten vorliegenden Ergebnissen zu Punkt 1 [11, 18], Aussagen zu Punkt 2 und insbesondere zu 3 erfolgen.

## 2 Begriffsdefinitionen

### Eisenhydroxid-Schlämme (EHS):

Die aus den Fließgewässern abzuscheidenden Schlämme enthalten neben Eisenhydroxiden auch unterschiedlich hohe Anteile von tonig-silikatischem Material und organischem Material. Diese werden zusammen mit den Eisenhydroxiden sedimentiert bzw. beim Ausbaggern der Fließgewässer von deren Sohle entnommen. Im Falle der Abscheidung in GWRA enthalten sie weiterhin Reste von Flockungshilfsmitteln, Neutralisationsmitteln und frisch gebildeten Calzit [13]. Im Folgenden werden alle eisenreichen, vornehmlich aufgrund bergbaubedingter Fe-Freisetzen entstandenen Schlämme als Eisenhydroxid-Schlämme (EHS) bezeichnet. Eine weitere Gliederung erfolgt in den nachfolgenden Ausführungen.

**EHS-Ablagerung:** Die EHS-Ablagerung umfasst alle Arten der finalen EHS-Ablagerung, also die Verspülung in bergbaulichen Hohlformen, die Aufhaltung, ihre Verbringung in Tailings und ihre Deponierung gem. Abfallrecht. Hierunter wird auch die Anlage von Sekundär-Rohstofflagern verstanden, die frühestens in einem unbestimmten Zeitraum > 10 Jahre wieder aufgesucht werden sollen. Nicht unter diesem Begriff wird die vorübergehende (< 1 Jahr) Lagerung der EHS-Schlämme auf Mieten mit dem Primärziel der Abtrocknung verstanden.

**Grubenwasserreinigungsanlage (GWRA):** Anlage, die einem durch Bergbautätigkeit geprägten Wasserstrom seine Eisenfracht mittels der technologisch kontrollierten Verfahrensschritte *Neutralisation, Oxidation, Fällung* und *Sedimentation* zumeist unter Zuhilfenahme von Neutralisationsmitteln und Flockungshilfsmitteln entzieht.

**Absetzanlage:** Anlage, die einem Wasserstrom seine Eisenfracht mittels der Verfahrensschritte *Oxidation, Fällung* und *Sedimentation*, jedoch ohne den zusätzlichen Eintrag von Oxidationsmitteln (Luftsauerstoff) und ohne weitere Zuhilfenahme von Neutralisationsmitteln und Flockungshilfsmitteln entzieht.

**Belastungsstrecke:** Fließgewässerabschnitt, für den gilt,

- dass dessen Gewässergüteklasse durch eisenreiche Grundwasserzuströme und den dadurch bedingten Folgereaktionen im Gewässer (erhöhte Trübe durch EHS-Bildung, O<sub>2</sub>-Zehrung, Alkalinitätsminderung, Verschlammung etc.) keinen guten Zustand aufweist und
- dass dieser Zustand mit dem Ziel bewusst in Kauf genommen wird, abstromige Fließgewässerabschnitte zu schützen.

### **3 Rahmenbedingungen für die EHS-Abtrennung aus den Fließgewässern und die EHS- Verbringung**

#### **3.1 Wirkungspfad des Eisens**

**Oberstes Ziel aller Maßnahmen ist der Schutz des Südumfluters und damit des südlichen Spreewaldes vor dem Eintrag von Eisenfrachten.**

**Zweite Priorität hat der Schutz der dem südlichen Spreewald zugehenden Fe-belasteten Fließgewässer vor dem Eiseneintrag [7].**

Der Rückhalt der Fe-Fracht soll durch die Positionierung der o.g. Rückhalteeinrichtungen entlang einer „Barriere“ im Süden des Schutzgutes Spreewald erfolgen (Abb. 1). Abb. 2 zeigt schematisch die Bausteine des EHS-Managements, die Teil dieser Barriere werden müssen:

1. Die Fassung der Fe-Frachten
2. Die EHS-Bildung und Abtrennung aus dem Fließgewässer
3. Die Behandlung und ggf. chem. Stabilisierung sowie die Aufkonzentration des EHS
4. Dessen Transport zu den Orten der Ablagerung
5. Und dessen Ablagerung

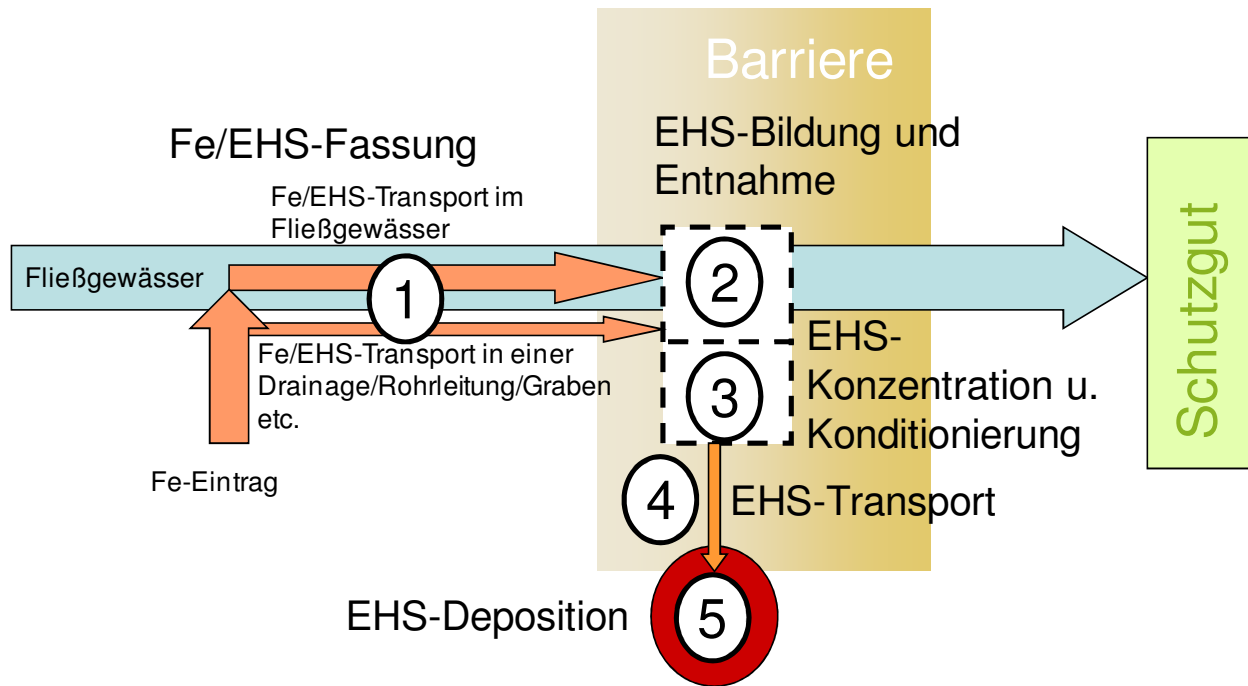


Abb. 1: Elemente des EHS-Managements

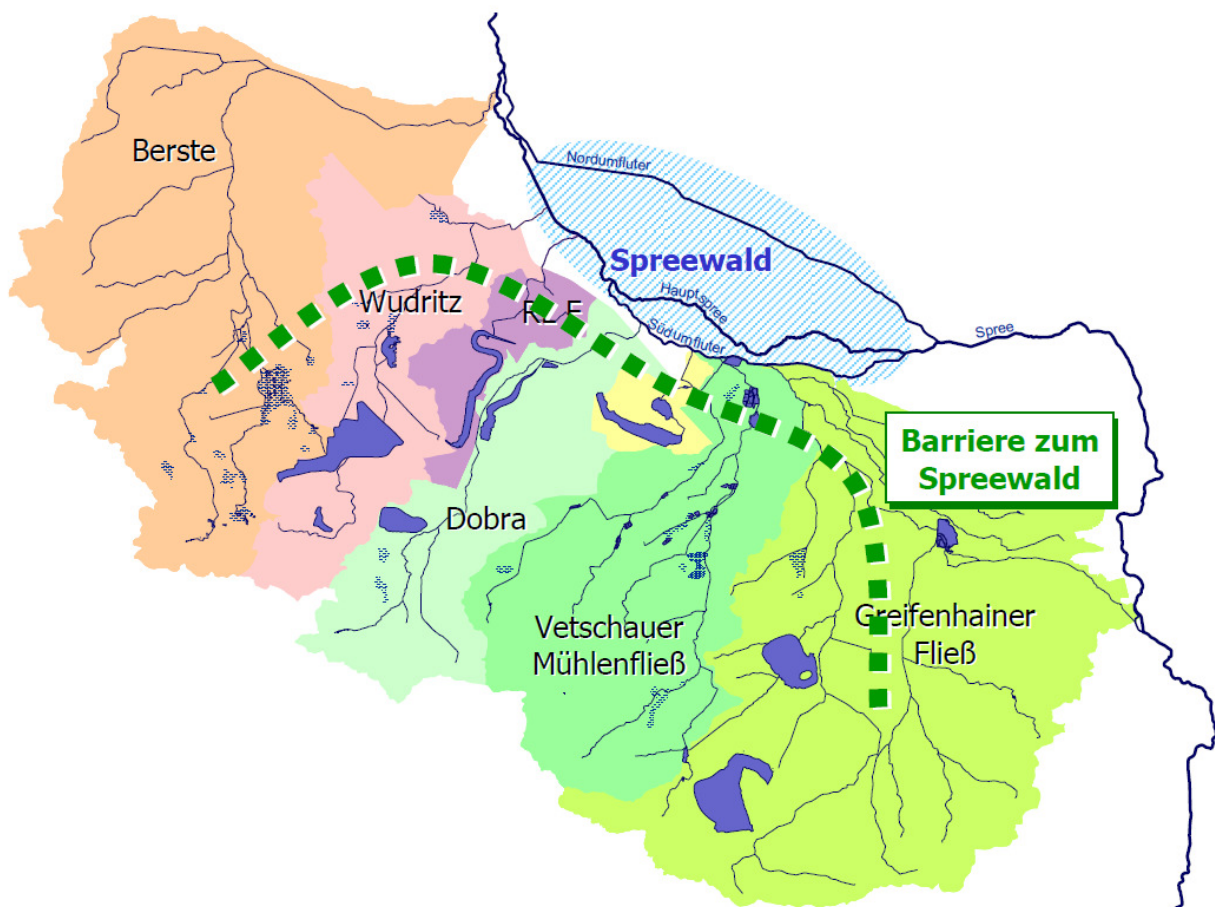


Abb. 2: Barriere im Süden des Spreewaldes. Quelle: [18]

### **3.1.1 Baustein 1: Mögliche Einrichtungen zur Fassung der Fe-Fracht**

Für die Fassung der Eisenfrachten mit dem Ziel, diese nachfolgend in Hydroxide zu überführen und abzuscheiden, existieren drei Möglichkeiten:

- 1) Fassung eisenreicher Grundwässer vor Austritt in die Fließgewässer mittels anoxisch betriebener Drainageelemente
- 2) Fassung eisenreicher Grundwässer vor Austritt in die Fließgewässer mittels offener oxidischer Gräben
- 3) Unkontrollierter Austritt von Eisenfrachten in die Fließgewässer und abstromige Fassung des Volumenstromes beispielsweise in Absetzanlagen

Bei jedem Vorgehen fallen Fe-reiche Wässer an, die nachfolgend aus der Wasserphase abgeschieden werden müssen. Die jeweils an einem Standort anfallenden Wässer unterscheiden sich hinsichtlich der Eisenkonzentrationen, der Eisenfrachten und der Gehalte an organischer und silikatischer Substanz. So entstehen bei Möglichkeit 1 und 2 Wässer mit höheren Fe-Frachten und höheren Fe-Konzentrationen verglichen mit Möglichkeit 3, die meist einem Verdünnungsprozess unterliegt. Umgekehrt ist bei Möglichkeit 2 und 3 mit erhöhten Organik-Gehalten gegenüber Fall 1 zu rechnen. Weitere Aspekte zu den verschiedenen Fassungs-Elementen siehe **Anhang 1**.

### **3.1.2 Baustein 2: Einrichtungen zur Überführung des Eisens in EHS und Abscheidung aus der Wasserphase**

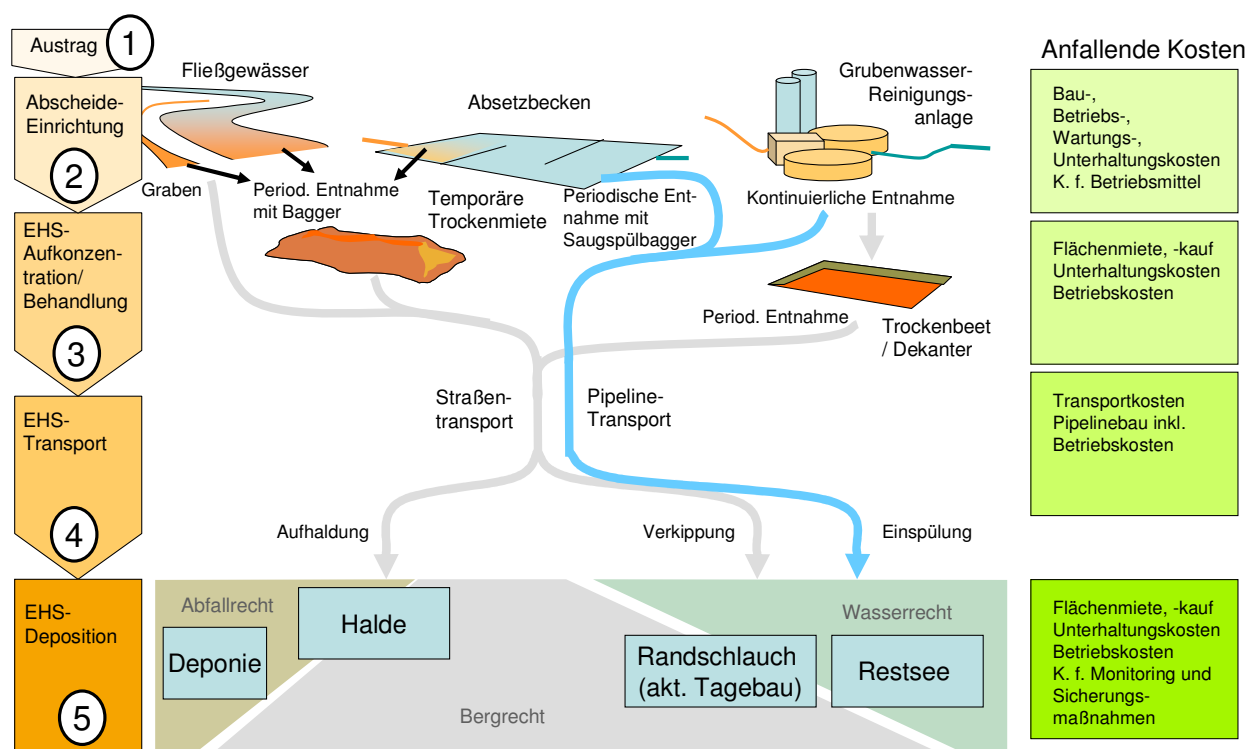
Treten Eisen-reiche Grundwässer direkt in Fließgewässern oder in eigens dazu angelegten Drainagegräben aus, so werden diese abstromig der Austrittsstelle partiell durch Oxidation in Hydroxide, nachfolgend in Hydroxidflocken überführt und dann anteilig sedimentiert. Dies kann entlang bestimmter **Fließgewässer-Abschnitte** direkt auf natürliche Weise geschehen, wobei es aufgrund der Oxidationskinetik des Eisens und der Strömung in den Fließgewässern zu einer Verteilung der Fällungsprodukte über längere Bereiche des Fließes hinweg kommt.

Eine Fokussierung der Absetzprozesse ist durch die Einrichtung gefälleärmer Fließgewässerabschnitte durch wasserbauliche Maßnahmen möglich (Übergang zu „Absetzbecken“). Es ist zu erwarten, dass die aus solchen Bereichen entnommenen Sedimente reich an organischem (Pflanzenreste) und silikatischem Material (Gewässersohle) sind und einen Trockenmassenanteil von 10 bis 25% (Abschnitt 5.3.5) aufweisen. Sie müssen ausgebaggert werden und sind nur per LKW abtransportierbar (Abb. 3). Eine partielle Abtrocknung durch temporäre Aufhaltung in unmittelbarer Gewässernähe ist zur Minderung der Transportkosten anzustreben.

Eine fokussiertere EHS-Fällung- und damit auch Entnahme ist in **Absetzbecken** möglich, durch die entsprechende Fließe geleitet werden bzw. auf die auch Drainage- bzw. Sumpfungssysteme aufgebunden werden können (Abb. 3). Absetzbecken sind durch große Aufenthaltszeiten (1 bis 4 Wochen), geringe Strömungsgeschwindigkeiten und Einrichtungen zur Minderung der Windlast gekennzeichnet. Die anfallenden Schlämme werden diskontinuierlich entnommen. Der anfallende, durch Anteile an organischem und silikatischem Material gekennzeichnete Schlamm erreicht einen Trockenmassenanteil von 15 bis 20% (Abschnitt 5.3). Durch

Schlammmentnahme mittels Saugspülbagger ist jedoch eine deutliche Minderung des ursprünglichen Feststoffanteiles zu erwarten. Durch die lokal konzentrierte Sedimentation ist der Beräumung dieser Anlagen deutlich effektiver als die eines gesamten Fließgewässer-Abschnittes.

Eisen kann aus den Fließgewässern auch über **GWRA**, die in das Gewässernetz integriert sind, mit den möglichen Verfahrenskomponenten *Neutralisation, Oxidation, Fällung, FHM- (Flockungshilfsmittel) Einsatz* und Turbulenzkontrolle zur *Flockulation* und *Sedimentation* abgeschieden werden. Diese Technologie ist hinsichtlich der Aufenthaltszeiten und Wirkungsgrade die effektivste aber auch kostenintensivste Methode. Die bei dieser Variante anfallenden Schlämme bleiben mit maximal 1,5 M% Feststoff dünnflüssig (Abschnitt 5.3). Die Entwässerbarkeit dieser Schlämme im wässrigen Milieu ist mit maximal 4 bis 8 M% auch langfristig schlecht [2, 17], wobei der Einsatz von Neutralisationsmitteln –insbesondere die Bekalkung - zu höheren Schlammdichten führt. Diese EHS können jedoch durch technische Mittel wie Bandfilterpressen oder Dekanter aufkonzentriert werden.



**Abb. 3:** Schema der EHS-Entnahme, seines Transportes und Ablagerung

### 3.1.3 Baustein 3: Aufkonzentration und Behandlung des EHS

Der abgeschiedene EHS enthält je nach Abscheideverfahren unterschiedliche Wasseranteile bzw. Anteile an Fremdstoffen wie Silikaten, Tonen, organischem Material und Neutralisationsmittel. Abgesehen vom Pipeline-Transport, der für EHS aus GWRA möglich ist, ist vor dem Transport zur Minimierung der zu transportierenden Masse (und Volumens) eine bestmögliche Wasserabtrennung zu gewährleisten. Hierzu stehen folgende Techniken zur Verfügung:



- a) die temporäre Ablage von Schlämmen mit stichfester (baggerbarer) Konsistenz in der Nähe der Entnahmeeinrichtungen in Form von Mieten. Entstehende Sickerwässer werden kontrolliert in die Entnahmeeinrichtung zurückgeführt.
- b) Die Nutzung von Dekantern, Bandfilterpressen o.ä. zur weiteren Wasserabscheidung für fließfähige Schlämme zur Aufkonzentration. Entstehende Wässer werden kontrolliert in die Entnahme- und Behandlungseinrichtung zurückgeführt

### **3.1.4 Baustein 4: Transport des EHS**

Für den Transport der EHS kommen in Betracht:

**LKW-Transport** (offen oder im Tankwagen): Vorteile des LKW-Transportes sind der flexible am Bedarf orientierte Einsatzmöglichkeit und die Möglichkeit zur Beschickung verschiedener mit der Zeit wechselnder Ablagerungsräume. Ein Nachteil ist die Notwendigkeit zur Vorhaltung einer entsprechenden Infrastruktur an der Aufnahme- und der Ablagerungsstelle (Zufahrt, Be-Entladeeinrichtung, Weitertransport durch Förderbänder, Schnecken etc.).

**Pipeline-Transport:** Dieser ist über längere Strecken nur für niederviskose EHS möglich. Ein Vorteil des Pipeline-Transportes ist die einfach mögliche Einleitung (Einspülung) in Hohlformen. Nachteilig sind die erwartbaren aufwändigen Planungs- und Genehmigungsverfahren sowie der aufwändige Bau. Nachteilig ist auch die nicht vorhandene Flexibilität hinsichtlich der Aufgabestelle, der Abschlagstelle und der zu fördernden Mengen. Vorhandene ehemalige Flutungs-Leitungen können in den meisten Fällen nicht genutzt werden, da deren Durchmesser für die zu erwartenden Schlammengen zu groß bzw. die resultierende Transportgeschwindigkeit zu gering ist, um Sedimentationserscheinungen zu vermeiden.

**Das Belassen des EHS am Ort der Sedimentation.** Diese Verfahrensweise ist bei Nutzung großflächiger Geländesenken (Feuchtgebiete) als EHS-Senke und bei insgesamt geringen Frachten denkbar.

### **3.1.5 Baustein 5: EHS-Ablagerung**

Entscheidend für die Eignung als EHS-Depot ist

1. die zu erwartende langfristige chemische Stabilität der EHS-Schlämme als Voraussetzung für die Genehmigungsfähigkeit der Ablagerung,
2. die Möglichkeit, die beanspruchten Flächen und Hohlräume eigentumsrechtlich zu erwerben bzw. die langfristigen Nutzungsrechte zu erlangen,
3. die möglichst geringe Entfernung der Ablagerungsräume zu den EHS-Quellen,
4. die Genehmigungsfähigkeit der EHS-Ablagerung,
5. die Finanzierbarkeit der Ablagerung und
6. die Vereinbarkeit der EHS-Ablagerung mit weiteren Nutzungszielen.

Für die Ablagerung der Schlämme in Betracht kommende Standorte werden in Abschnitt 6 diskutiert.

### 3.2 Maßgaben für die Positionierung von Anlagen zum EHS-Rückhalt und zur EHS-Abtrennung aus Fließgewässern

Anlagen zum EHS-Rückhalt und zur EHS-Abtrennung können nach verschiedenen Kriterien entlang des Fe-Wirkungspfades positioniert werden:

1. Die Abfang-Einrichtungen sind in den Fließgewässern so weit abstromig zu positionieren, dass in deren Abstrom langfristig keine bedeutenden weiteren Fe-Zutritte über das Grundwasser mehr in die Fließgewässer eingetragen werden (Abb. 4 b und c).
2. Die Abfang-Einrichtungen sind dort zu positionieren, wo im Fließgewässer die höchsten Konzentrationen auftreten, da dann die Fe-Abscheidung am effektivsten erfolgen kann (Abb. 4 b und c).
3. Die Abfang-Einrichtungen sind möglichst dort zu positionieren, wo sich bereits entsprechende wasserbauliche Einrichtungen wie Becken und Zuleiter wie Flutungsleitungen etc. befinden und die zu behandelnden Wässer der Anlage einfach zugeführt werden können.
4. Abfang-Einrichtungen sind in möglichst großer Nähe zu einer Ablagerungsmöglichkeit für die EHS und einer günstigen Verkehrsanbindung zu positionieren (Abb. 4a).

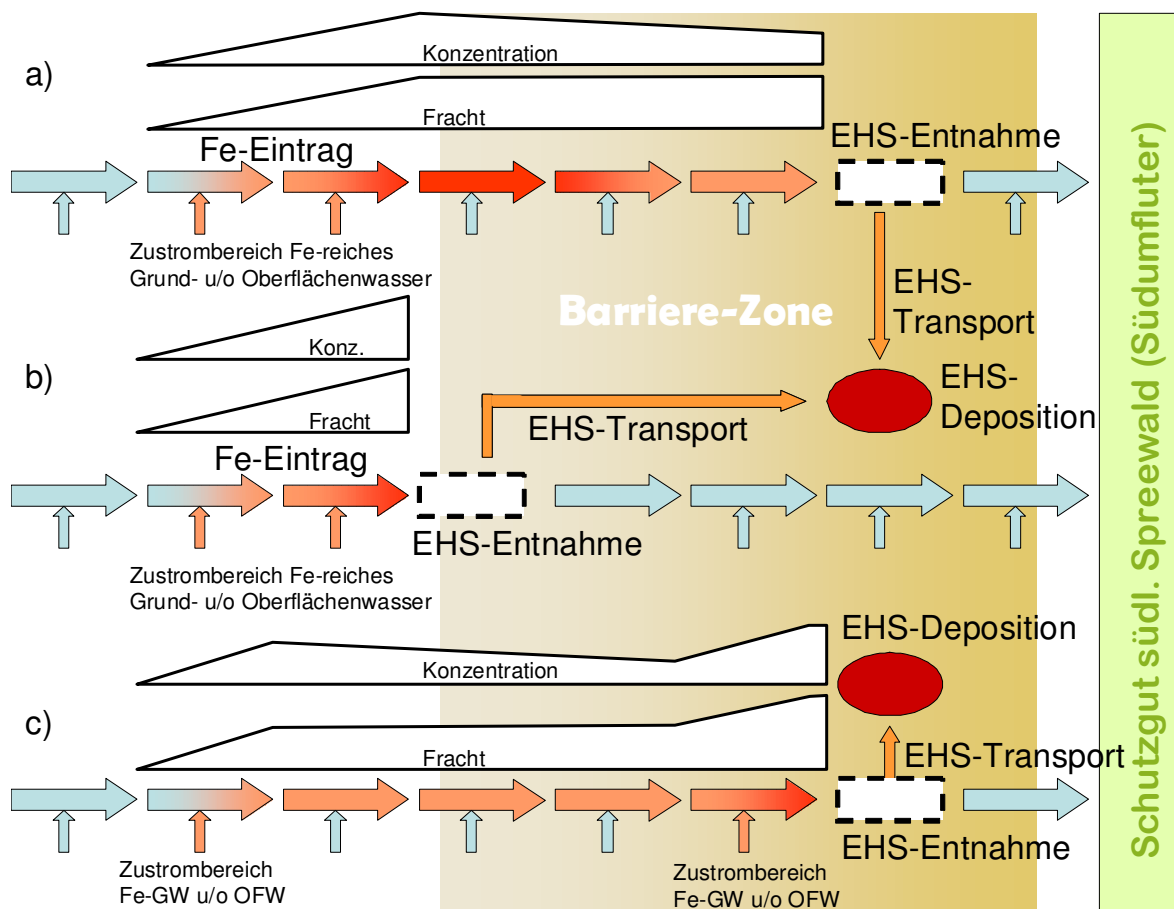


Abb. 4: Positionierung der EHS-Entnahme

Diese Kriterien können nicht in allen Fällen vollständig erfüllt werden. So erfordert die Position einer bereits vorhandenen Entnahmeeinrichtung und die ggf. in der Nähe befindliche Möglichkeit zur Schlammablagerung eine abstromigere Positionierung beider Elemente. Damit verbunden ist die Belastung eines größeren Fließgewässerabschnittes (Abb. 4 vergl. Fall a mit Fall b). Je weiter abstromig eine Rückhalte-Einrichtung angeordnet wird, desto größer ist die Verdünnung (=Konzentrationsminderung durch eine Volumenstrom-Zunahme), die durch unbelastete weitere Zuflüsse zu erwarten ist.

### **3.3 Maßgaben für die Konstruktion der EHS-Abscheide-und Aufkonzentrations-einrichtungen**

Folgende Vorgehensweise ist bei der Konzeptbildung, der Planung und der Ertüchtigung von nötig werdenden Einrichtungen zur Abscheidung des Eisens aus den Fließgewässern anzustreben:

- a) Nutzung bereits vorhandener Flächen und Anlagen (z.B. Rohrleitungen, Einlaufbauwerke, Kanäle) im Eigentum der LMBV oder mit Zugriff der LMBV
- b) Nutzung weiterer geeigneter bereits vorhandener Strukturen wie Senken, Feuchtgebiete und Restseen und andere Hohlformen sowie bereits befestigter Trassen für die Verlegung von Pipelines etc.
- c) Stufenweise Entwicklung und Ausbau entsprechender Anlagen zur Quantifizierung der mit einfachen Mitteln erreichbaren Effekte in Form aufeinander aufbauender Maßnahmestufen
- d) Berücksichtigung möglicher technischer oder flächenmäßiger Erweiterungen zur Intensivierung des Eisenrückhaltes durch weitere Maßnahmestufen bereits bei der Planung auch der ersten Maßnahmestufe.
- e) Weitgehende Integration der Einrichtungen in die bestehende Kulturlandschaft zur Sicherstellung der Akzeptanz.

### **3.4 Maßgaben für die EHS-Verbringung**

Ein Konzept für die EHS-Verbringung muss **folgende Ziele** umfassen:

- a) Genehmigungsfähigkeit
- b) Langfristige Finanzierbarkeit
- c) Gesellschaftliche Akzeptanz
- d) EHS wird im Untersuchungsgebiet nach heutigem Kenntnisstand über mehrere Jahrzehnte anfallen. Die auszuweisenden Senken sollten deshalb bezüglich Ihrer Aufnahmekapazität eine langfristige Ablagerung ermöglichen.
- e) Aufgrund der voraussichtlich langen Betriebszeit der EHS-Entnahmeeinrichtungen müssen die Transportkosten minimiert werden. Der Zugang zu den Ablagerungsräumen sollte daher möglichst einfach und kostengünstig sein, die Entfernung zu den EHS-Entnahmepunkten sollte daher möglichst gering sein.

- f) Problemstoffe sollten von den Ablagerungsräumen nicht oder nur in untergeordnetem Maß in den Abstrom gelangen
- g) Durch den ggf. hohen Eisengehalt könnte es von Vorteil sein, wenn EHS-Deponien einer späteren Nachnutzung zugänglich sind. Ob dies jemals eine wirtschaftliche Alternative zu anderen Eisenquellen sein kann, wird entscheidend von der Qualität der Schlämme (und damit der Technologie der Entnahme und der Rohwässer) und den Umwandlungsprozessen in der zu bildenden „EHS-Sekundärlagerstätte oder Rohstoff-Deponie“ sein. Hierzu liegen noch zu wenige Untersuchungen vor. Trotzdem erscheint es vorteilhaft, eine spätere Zugänglichkeit des Schlamm-Körpers mit vertretbaren Mitteln sicherzustellen.

Aus den Punkten d bis g ergibt sich, dass bei Bewertung eines EHS-Ablagerungsortes die Frage der Schlamm-Vorbehandlung (und damit des Wassergehaltes) bzw. der Entnahmetechnologie zu berücksichtigen ist.

## 4 Eisen-Quellregionen für den südlichen Spreewald-Betroffene Fließgewässer-Abschnitte

### 4.1 Eichower Fließ

Im Oberlauf des Eichower Fließes an der MST 20.290 liegen die Fe-Konzentrationen im Bereich von 50 bis 100 mg/L (Abb. 6). [1](siehe auch Anhang 2) weist am Probenahmepunkt EiF 10 im Unterlauf des Eichower Fließes kurz vor Einmündung in das Greifenhainer Fließ einen Mittelwert von 48,1 mg<sub>Fe-ges</sub>/L aus. Dies entspricht einer Eisenhydroxid-Masse von ca. 91 mg/L (1 g Fe bildet 1,91 g Eisenhydroxid). Bei Annahme von ca 15 mg/L weiterer silikatischer und organischer abfiltrierbarer Stoffe kann ein mittlerer Hydroxidanteil an den absetzbaren Stoffen von 86% geschätzt werden (Tab. 1 und Tab. 2). Mit einer in [1] angegebenen Fracht von 309 kg<sub>Fe</sub>/d entspr 112 t<sub>Fe</sub>/a entspr. 216 t<sub>Hydr</sub>/a kann eine Sedimenttrockenmasse von **251 t<sub>Fest</sub>/a** abgeschätzt werden, der über das Eichower Fließ in das Greifenhainer Fließ transportiert wird.

### 4.2 Greifenhainer Fließ

Das Greifenhainer Fließ erhält seine seit 2012 deutlich ansteigende Fe-Fracht (Abb. 7 und Abb. 8) im Wesentlichen über Grundwasserströme östlich des Tgb. Gräbendorf bis südlich der Ortslage Krieschow sowie über kleine Gräben wie insbesondere das Laasower Fließ (50 bis 200 mg<sub>Fe</sub>/L). Nördlich von Krieschow kommt es gem. Abb. 5 zu einer anteiligen Sedimentation. Uhlmann [1] weist für den Probenahmepunkt GhF 50 abstromig des Laasower Fließes (**Anlage 2**) einen Mittelwert von 29,8 mg<sub>Fe-ges</sub>/L aus. Dies entspricht einer Eisenhydroxid-Masse von ca 57 mg<sub>Hydr</sub>/L und bei 15 mg/L weiterer abfiltrierbarer Stoffe einem Hydroxidanteil von 79%. Mit einer in [1] angegebenen Fracht von 348 kg<sub>Fe</sub>/d entspr 127 t<sub>Fe</sub>/a oder 243 t<sub>Hydr</sub>/Fe kann eine Sedimenttrockenmasse von **308 t<sub>Fest</sub>/a** für diesen Punkt abgeschätzt werden (Tab. 1 und Tab. 2).

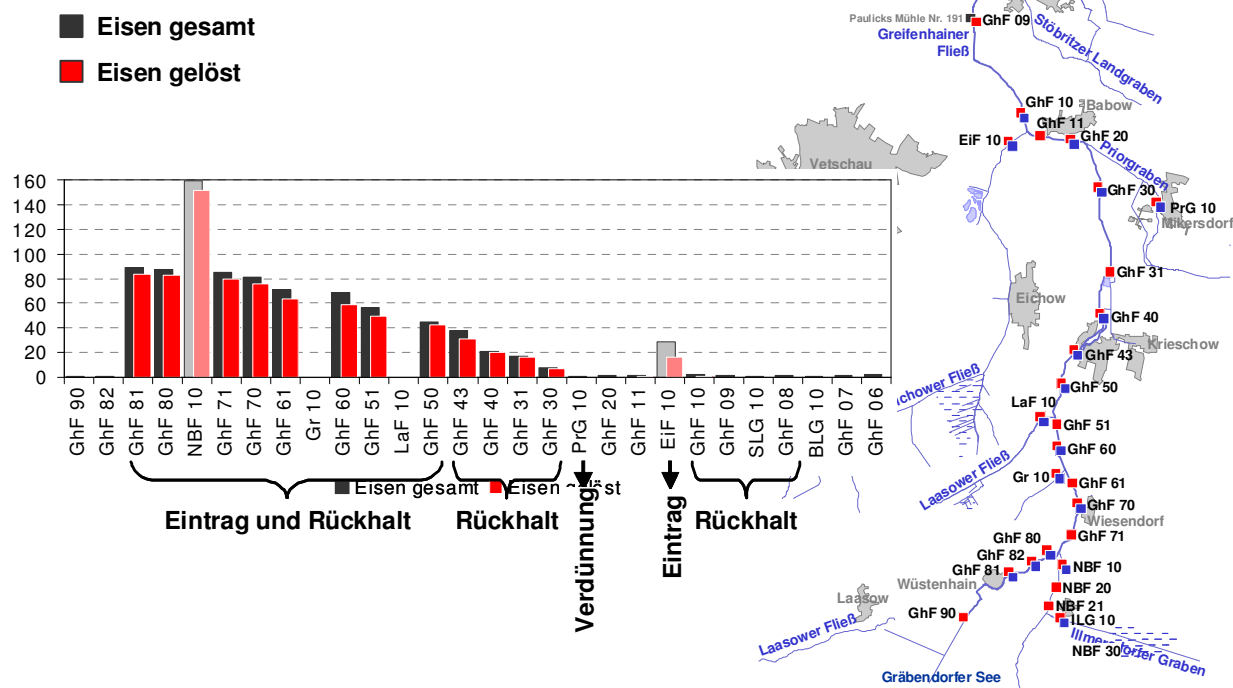
**Tab. 1: Quelle der mittleren Eisenkonzentration [1]**

|   | Vetschauer Mühlenfließ            | Eichower Fließ                              | Greifenhainer Fließ               |           |
|---|-----------------------------------|---|-----------------------------------|-----------|
|   | südlich Wiesen-<br>teich          | kurz vor Einm. in<br>Greifenhainer<br>Fließ | nach Einmündung<br>Laasower Fließ |           |
| 1 | mittlere Eisenkonzentration       | 5.0   | 48.2                              | 29.8 mg/L |
| 2 | Eisenhydroxid                     | 9.6   | 92.3                              | 57.0 mg/L |
| 3 | silikat. u. org. Bestandteile     | 15.0  | 15.0                              | 15.0 mg/L |
| 4 | angenommene ges. abfiltr. Stoffe  | 24.6  | 107.3                             | 72.0 mg/L |
| 5 | geschätzter Anteil Eisenhydroxide | 39.1  | 86.0                              | 79.2 %    |

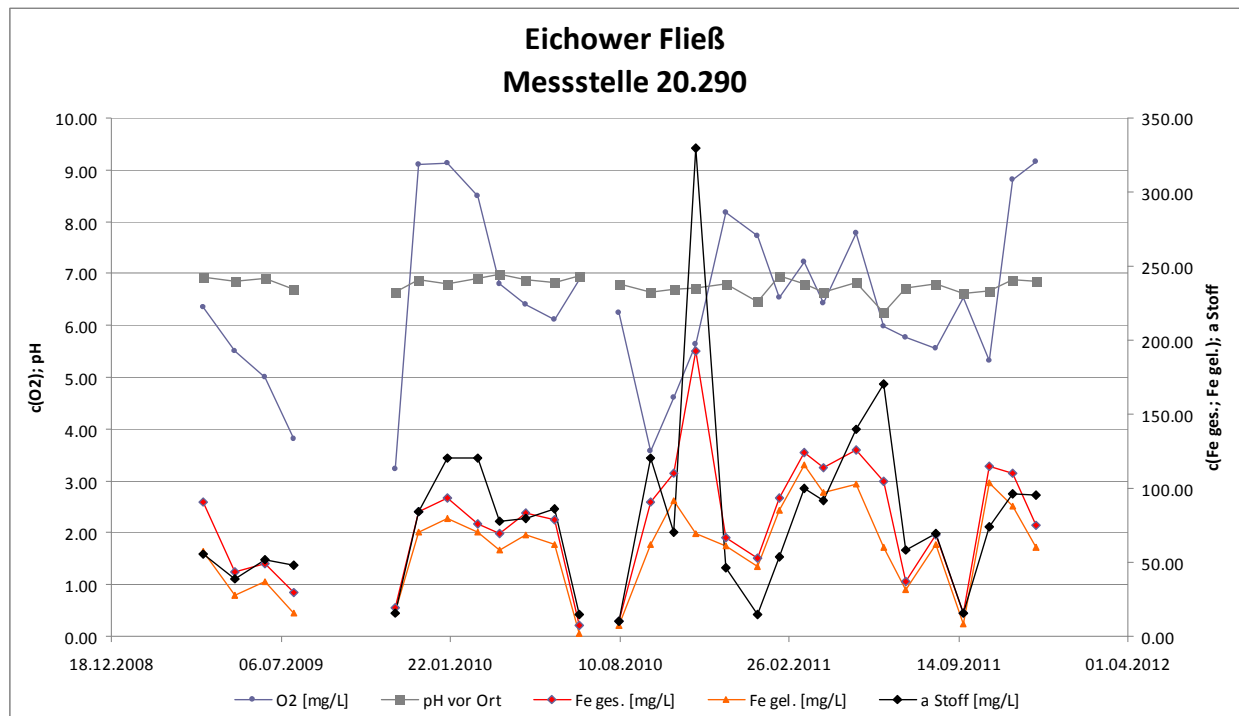
**Tab. 2: Quelle der mittleren Eisenfracht [1]**

|   | Vetschauer Mühlenfließ               | Eichower Fließ | Greifenhainer Fließ |            |
|---|--------------------------------------|----------------|---------------------|------------|
| 1 | Eisenfracht                          | 398.0          | 309.1               | 348.4 kg/d |
| 2 | Eisenhydroxid-Fracht                 | 761.8          | 591.6               | 666.8 kg/d |
| 3 | Feststoff-Fracht                     | 1953.3         | 687.9               | 844.1 kg/d |
| 4 | Eisenhydroxid-Fracht                 | 278.1          | 215.9               | 243.4 t/a  |
| 5 | Gesamte Feststoff-Fracht             | 713.0          | 251.1               | 308.1 t/a  |
| 6 | Fe-Hydroxid-Anteil a. d. Feststoffen | 39.0           | 86.0                | 79.0 %     |

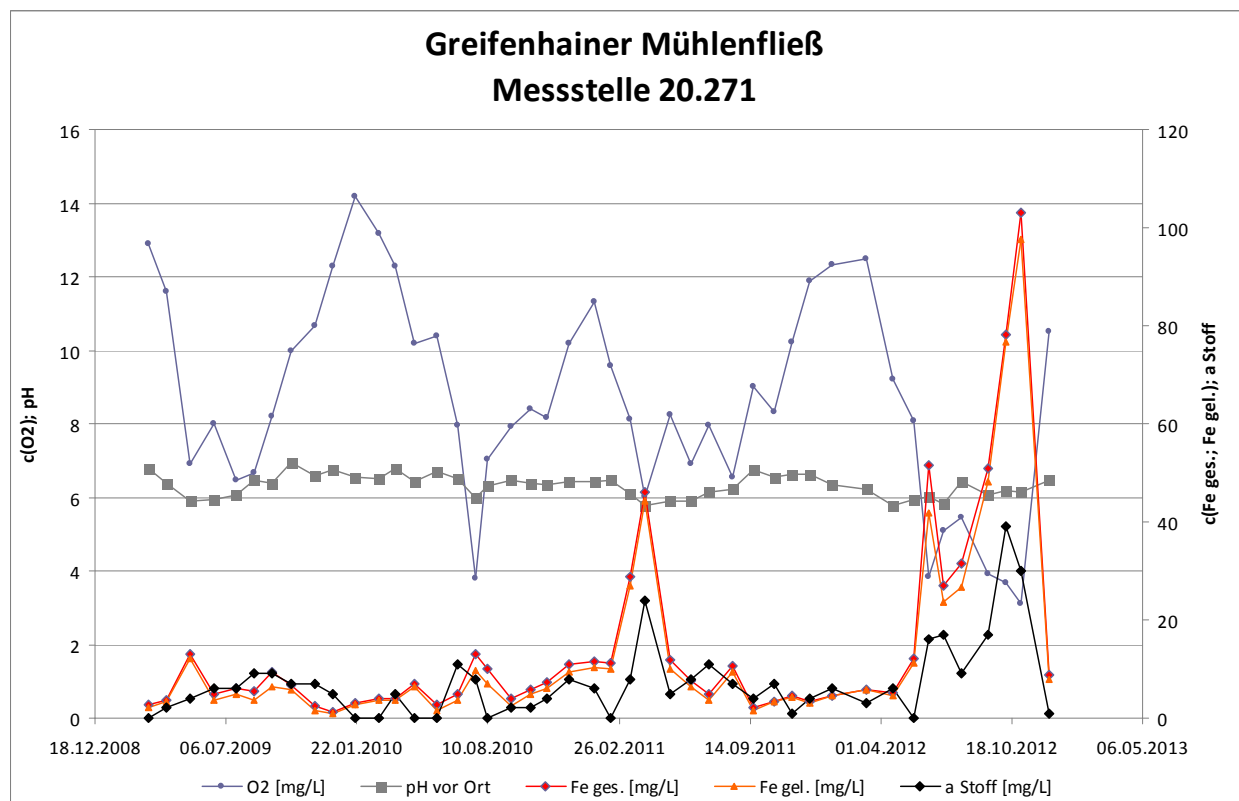
## Ergebnisse Stichtagsmessung – Juni 2012 Eisen [mg/L]



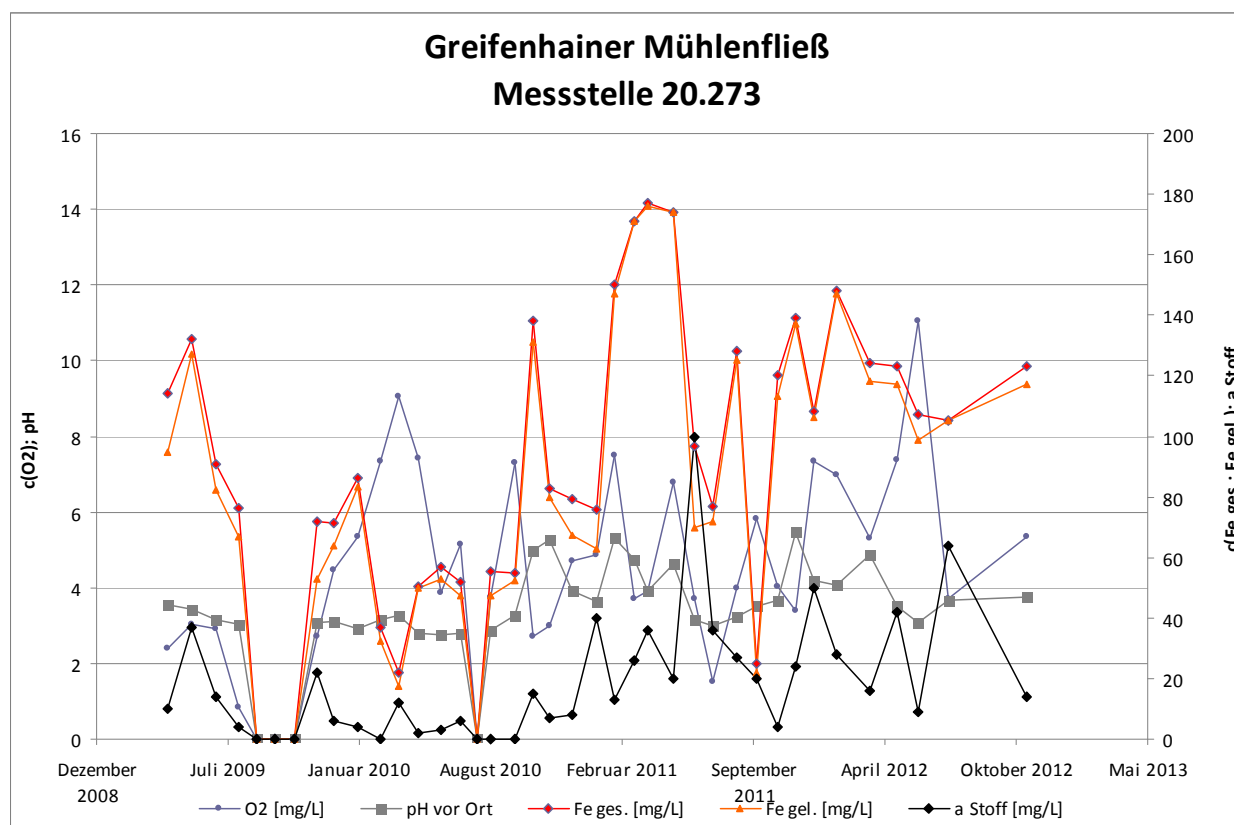
**Abb. 5: Eisenkonzentrationen im Greifenhainer Fließ. Quelle: [8]**



**Abb. 6:** Beschaffenheitsentwicklung im Eichower Fließ an der MST 20.290 im Zulauf einer möglichen WBA am Standort der ehem. WBA am KW Vetschau.



**Abb. 7:** Beschaffenheitsentwicklung im Greifenhainer Fließ an der MST 20.271 vor Einmündung des Laaslower Fließes.



**Abb. 8:** Beschaffenheitsentwicklung im Greifenhainer Fließ an der MST 20.273 vor Einmündung des Laaslower Fließes.

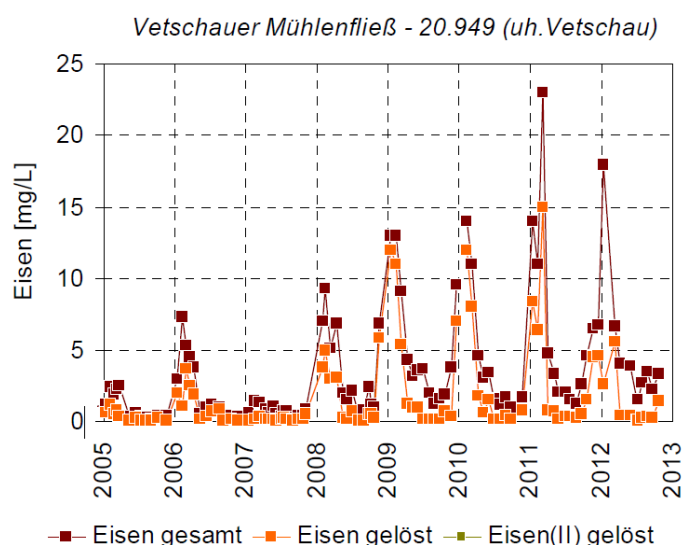
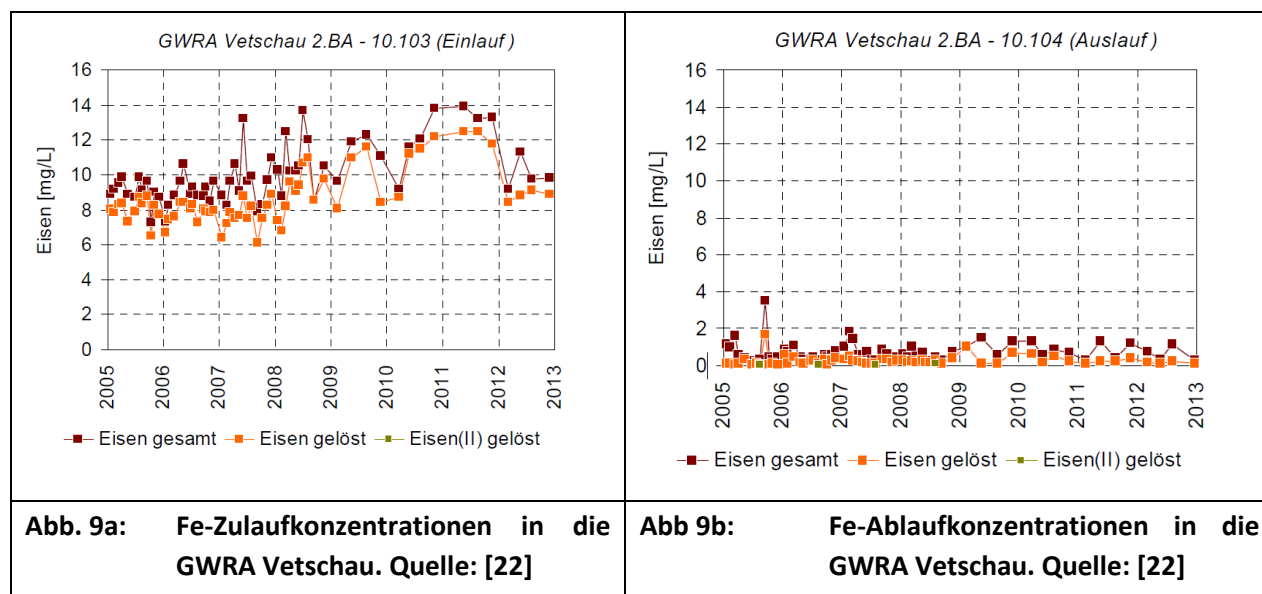
### 4.3 Vetschauer Mühlenfließ

Das Vetschauer Mühlenfließ zeigt an der MST 20.948 im Bereich der Ortslage Vetschau und im unmittelbaren Abstrom der GWRA einen Durchfluss von 0,1 bis 0,2 m<sup>3</sup>/s [11, Sommer 2010]. In [1; 2012] wird ein mittlerer Durchfluss von 0,57 m<sup>3</sup>/s angegeben.

Das Vetschauer Mühlenfließ erhält seine Eisenfracht vornehmlich über Gräben im Bereich zwischen den Ortstagen Reuden, Bolschwitz und Jehschen [11; Stand 2010], die über den Reudener Hauptgraben in das Vetschauer Mühlenfließ münden. Weiterhin gehen dem Vetschauer Mühlenfließ eisenreiche Wässer über ein Grabensystem zwischen den Ortstagen Buchwäldchen und Muckwar zu. Die eingetragenen Fe-Frachten kamen jedoch zumindest in den Sommermonaten 2010 [11] und 2012 (Abb. 5) auf der Fließstrecke bis Repten zur Ablagerung.

An der Messstelle 20.949 abstromig der GWRA Vetschau werden im Jahresgang stark schwankende Konzentrationen zwischen 0 und 10 mg/L ausgewiesen (Abb. 10). In [1] werden für die Probenahmestelle VMF 09 kurz vor dem Wiesenteich mittlere Konzentrationen von 5,0 mg<sub>Fe ges.</sub>/L angegeben. Dies entspricht einer Eisenhydroxid-Masse von ca. 9,6 mg<sub>Hydr.</sub>/L und bei 15 mg/L weiterer abfiltrierbarer Stoffe einem Hydroxidanteil von 39%. Mit einer in [1] angegebenen Fracht von 398 kg<sub>Fe</sub>/d entspr. 145 t<sub>Fe</sub>/a oder 278 t<sub>Hydr.</sub>/Fe kann eine Sedimenttrockenmasse von **713 t<sub>Fest</sub>/a** für diesen Punkt abgeschätzt werden. Die zusätzlichen im Süden des Einzugsgebietes des Vetschauer Fließes zugehenden Fe-Frachten sind in dieser Bilanz nicht berücksichtigt, da diese auf dem Weg zur GWRA sedimentieren.

Die GWRA Vetschau bereitete bis 2010 (?) ca. 3000 - 7000 m<sup>3</sup>/d Grundwasser (Abb. 9a; MSt 10.103) aus einem Inselbetrieb auf [11]. Mit einer mittleren Aufenthaltszeit von 21d [11] konnte ein Großteil der Eisenfracht abgeschieden werden (Abb. 9b; MSt 10.104).



**Abb. 10: Fe-Konzentrationen an der MSt 20.949 im Vetschauer Mühlenfließ abstromig der GWRA Vetschau. Quelle: [22]**

#### 4.4 Ehem. Tgb. Schlabendorf – Einzugsgebiet Wudritz

Der Wudritz gehen aktuell aus dem Bereich nördlich des Schlabendorfer Sees Eisenfrachten vornehmlich aus dem Lorenzgraben zu [12]. Der ebenfalls oberstromig liegende Ottergraben führt aktuell kaum Wasser und trägt damit kaum zur Fe-Befrachtung bei. Der Lorenzgraben wird über Fe-reiches Grundwasser gespeist. Gemäß [12] wird für den Lorenzgraben gegenwärtig von einem Volumenstrom von ca. 7,8 m<sup>3</sup>/min ausgegangen, der sich auf ca 4 m<sup>3</sup>/min reduzieren dürfte, wenn die Seespiegelabsenkung in RS Schlabendorf von gegenwärtig 60,7 auf 59,5 mNN vorgenommen worden ist. Mit einer Fracht von 1400 kg<sub>Fe</sub>/d [12] und einem



heutigen Volumenstrom von  $7,8 \text{ m}^3/\text{min}$  bzw.  $11232 \text{ m}^3/\text{d}$  kann für den Lorenzgraben bei Einmündung in die Wudritz eine Konzentration von  $124 \text{ mg}_{\text{Fe}}/\text{L}$  abgeschätzt werden. Die sich damit ergebende Feststofffracht entspricht bei einem Volumenstrom von  $4 \text{ m}^3/\text{min}$   $261 \text{ t}_{\text{Fe}}/\text{a}$  bzw.  $498 \text{ t}_{\text{Hydr}}/\text{a}$  zuzüglich ca.  $32 \text{ t}$  silikatischer und organischer Feststoffe entspr.  $530 \text{ t}_{\text{Fest}}/\text{a}$ .

#### **4.5 Ehem Tgb. Schlabendorf – Einzugsgebiet Berste**

Die Eisenkonzentrationen im Einzugsgebiet der Berste sind lediglich im Grabensystem in deren Oberlauf im Bereich des Alten- des Neuen- und des Horstteiches erhöht (11; Stand 2010). Ab der Ortslage Görlsdorf sind bis Kreblitz keine relevanten Eisenkonzentrationen mehr nachweisbar.

## **5 Einrichtungen zur EHS-Abscheidung und Konzentration**

### **5.1 Existierende bzw. ertüchtigbare Anlagen**

#### **5.1.1 GWRA Wüstenhain**

Die ehem. GWRA Wüstenhain liegt im Ablauf des Gräbendorfer Sees und stellt den Beginn des Greifenhainer Fließes dar (Abb. 11). Der Ablauf des Gräbendorfer Sees ist heute neutral und eisenfrei. Dieser Zustand wird aus heutiger Sicht nach Inbetriebnahme der Wasserüberleitung aus dem Altdöberner See (RL Greifenhain) aufrecht erhalten und bezüglich der alkalischen Pufferung signifikant verstärkt, so dass von der GWRA Wüstenhain in Zukunft keine technische Reinigungsleistung mehr erbracht werden muss.

Die GWRA Wüstenhain liegt oberstromig des durch Fe-Einträge belasteten Abschnittes des Greifenhainer Fließes. Die Fe-Fracht wird im Abstrom der GWRA eingetragen und über das Buchholzer Fließ östl. von Wüstenhain und insbesondere über das Laaslower Fließ zugeführt.

Sollten die Austritte eisenreicher Grundwässer im Oberlauf des Eichower Fließes und im Anstrom des Laaslower Fließes durch Sümpfungsmaßnahmen gefasst werden müssen, so bestünde langfristig die Möglichkeit, diese in der ertüchtigten GWRA Wüstenhain aufzubereiten. Die anfallenden Schlämme könnten dann im Tgb-RL Gräbendorf verbracht werden.

Aufgrund der Weitläufigkeit des Quellgebietes im Anstrom des Eichower Fließes und des Laaslower Grabens ist jedoch mittelfristig eine Behandlung der austretenden Wässer in der WBA am KW Vetschau ins Auge zu fassen. Auch aus hydraulischen Gründen ist die Ableitung der Fe-haltigen Drainagewässer in die abstromig liegende WBA sinnvoller. Der GWRA Wüstenhain kommt damit mittelfristig im vorliegenden Konzept keine weitere Rolle zu.



Abb. 11: Luftbild der GWRA Wüstenhain.

### 5.1.2 ehemalige WBA am Kraftwerk Vetschau

Von der **ehemaligen WBA am Kraftwerk Vetschau** existieren noch Absatzbecken. Die WBA liegt in unmittelbarer Nähe zum Eichower Fließ und in einer Entfernung von ca. 1,5 km zum Greifenhainer Fließ. Bei Klärung der Eigentumsverhältnisse und Nutzungsbedingungen kann diese Anlage ertüchtigt werden, um die Eisenabscheidung sowohl für den Volumenstrom des Eichower Fließes als auch das Greifenhainer Fließes durchzuführen. Alternativ oder zusätzlich können nach Aussage der LMBV auch die unmittelbar angrenzenden Grundstücke für eine entsprechende Reinigungsanlage genutzt werden (Abb. 12).

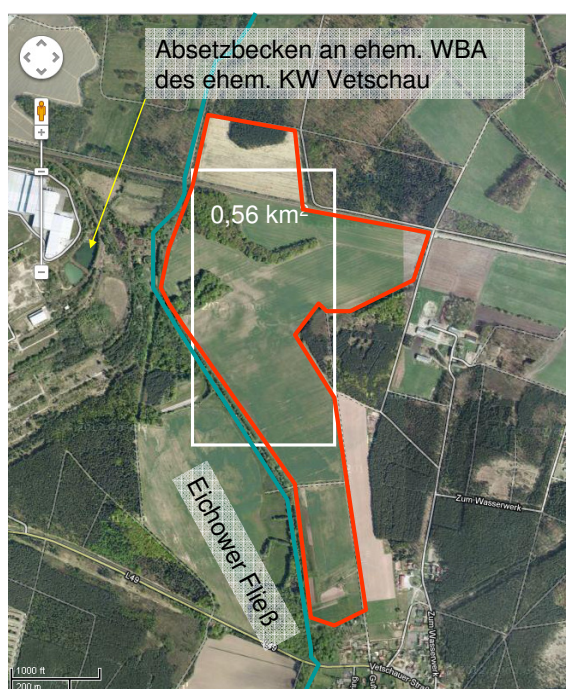


Abb. 12: Lage der Absatzbecken der WBA am ehem. KW Vetschau und Eichower Fließ. Rot eingezeichnet: Von der LMBV zur Verfügung gestellte Kontour möglicher Erweiterungsflächen für die ehemalige WBA am ehem. KW Vetschau (rot). Weiß: zukünftig benötigte Beckengröße.



### 5.1.3 GWRA Vetschau

Die **GWRA Vetschau** liegt in unmittelbarer räumlicher Nähe zum Vetschauer Mühlenfließ (Abb. 13). Der Anlage kann eisenreiches Wasser über den Reudener Hauptgraben aus dem Bereich Reuden Bolschwitz zugeführt werden. Im Raum Belten existieren Filterbrunnen, über die die GWRA Vetschau über eine Rohrleitung bei Bedarf mit etwa 300 l/s (entspr. 26000 m<sup>3</sup>/d) Stützungswasser bespeist werden kann. (weitere 500 l/s werden aus dieser Brunnengruppe bei Bedarf an das Göritzer Fließ abgeschlagen; mündl. Info Herr Löhnert). Gem. [11] erfolgte tatsächlich nur eine Zuleitung von 34-81 l/s bzw. 3000 bis 7000 m<sup>3</sup>/d.

Die Anlage besteht in ihrer heutigen Ausprägung aus einem dreiteiligen Absetzbecken mit einer Gesamtfläche von ca. 300 x 300 m und 1,5 bis 2 m Tiefe und damit einem geschätzten Volumen von 150000 m<sup>3</sup>. Eine entsprechende Lotung zur genaueren Volumenermittlung liegt der LMBV nach Auskunft von Herrn Löhnert vor. Bei Durchflüssen zwischen 3000 bis 7000 m<sup>3</sup>/d [11] und einer dort angegebenen mittleren Aufenthaltszeit von 21 Tagen erreichte die Anlage eine ausreichende Fe-Abtrennung von ca. 10 auf 0,5 mg<sub>Fe</sub>/L [11] (Abb. 9).

Die Anlage wäre nach entsprechender Ertüchtigung und Ankoppelung an das Vetschauer Mühlenfließ nutzbar, um die Eisenabscheidung aus dessen Gesamtvolumenstrom durchzuführen.

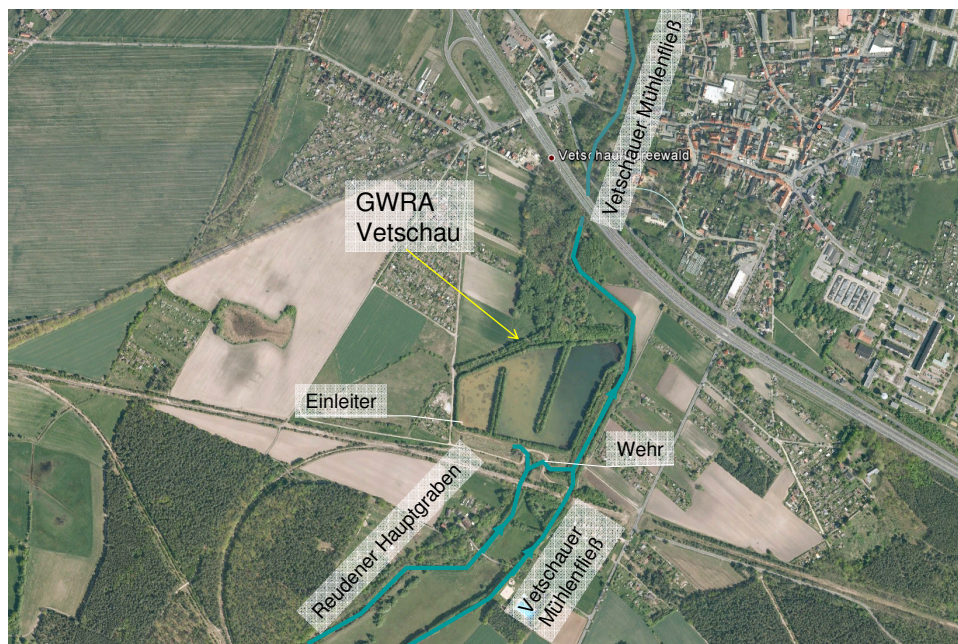


Abb. 13: Luftbild der GWRA Vetschau.

### 5.1.4 ehemalige GWRA Raddusch

Die **ehemalige GWRA Raddusch** östlich der OL Raddusch besteht heute noch in Form eines Beckens. Sie liegt nicht unmittelbar im Abstrom eines stark mit Fe belasteten Fließgewässers. Das Becken wird über das Grundwasser aus Süden mit geringen Eisengehalt gespeist. Es entwässert über eine Kahnfahrt in den Südumfluter (Abb. 14). Damit spielt die ehemalige GWRA Raddusch für das EHS-Konzept zunächst keine Rolle.

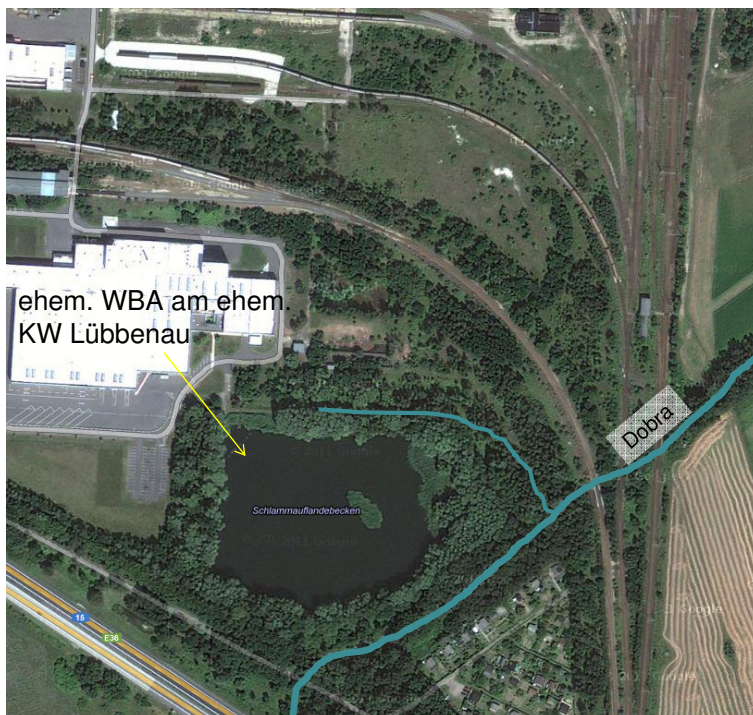




**Abb. 14:** Luftbild der ehem. GWRA Raddusch

#### **5.1.5 ehemalige WBA am ehem. Kraftwerk Lübbenau**

Die ehemalige WBA am ehem. Kraftwerk Lübbenau (Abb. 15) liegt nicht in unmittelbarer Nähe zu eisenbelasteten Fließgewässern, weshalb eine erneute Nutzung als EHS-Abscheideeinrichtung zunächst nicht ins Auge gefasst wird. Die nahegelegene Dobra ist aktuell und auch in Zukunft nicht durch große Eisenfrachten gefährdet, da sie hauptsächlich durch die neutralen und alkalisch gepufferten Überschusswässer der RL F und RL 4 gespeist wird.



**Abb. 15:** Luftbild der ehem. WBA am KW Lübbenau



#### **5.1.6 ehemalige GWRA Görldorf**

Die **ehemalige GWRA Görldorf** (Abb. 16) besteht aus einem Absetzbecken, welches im Falle der Behandlung von Fe-haltigem saurem Wasser aus dem Schlabendorfer See genutzt werden könnte. Das aufbereitete Wasser würde in diesem Fall über das Borcheltfließ an die Berste abgegeben werden können. Der anfallende EHS könnte in den Schlabendorfer See verbracht werden. Dieses Szenario kann in den weiteren Planungen zur Bewirtschaftung des Schlabendorfer Sees Bedeutung erlangen [12].



**Abb. 16:** Luftbild der ehem. GWRA Görldorf

#### **5.1.7 ehemalige GWRA Heideteich**

Die **ehemalige GWRA Heideteich** bei Reddern liegt im Oberlauf des Vetschauer Mühlenfließes (Abb. 17). Sie besteht aus einem ca. 1m tiefen Absetzbecken. Sollte zukünftig die Behandlung von Fe-haltigem Flusswasser ins Auge gefasst werden, das dem Vetschauer Mühlenfließ in dessen Oberlauf aus dem Grabensystem zwischen Buchwäldchen und Muckwar zugeht, so könnte dieses der GWRA Heideteich zugeführt werden. Auch für die Aufbereitung von Sumpfungswässern, die im Umfeld des Grabensystems zwischen Buchwäldchen und Muckwar gehoben werden, könnte diese ehem. GWRA genutzt werden. Das aufbereitete Wasser würde dem Vetschauer Mühlenfließ oder dem Oberlauf des Greifenhainer Fließes zugeschlagen werden können. Die anfallenden Schlämme könnten in die Tgb. Greifenhain oder Gräbendorf verbracht werden.



Abb. 17: Luftbild des als Absetzbecken genutzten Heideteiches bei Reddern

## 5.2 Zukünftige ggf. neu zu etablierende Anlagen

### 5.2.1 WBA an der Wudritz/ dem RL 14/15

Die Wudritz wird in ihrem Oberlauf aktuell aus dem Ottergraben und vor allem aus dem Lorenzgraben gespeist. Vor allem letzterer wird von eisenreichen Grundwässern angeströmt, wodurch aktuell ca. 1400 kg<sub>Fe</sub>/d in die Wudritz eingetragen werden [12]. Die notwendige Ausleitung des stark versauerten Wassers des RL 14/15 über diese beiden Fließe in die Wudritz würde weitere große Eisenfrachten in diese eintragen und steht deshalb nicht zur Debatte. Deshalb ist geplant, eine Inlake-Neutralisation des RL 14/15 mit Ablagerung des EHS im See selbst durchzuführen.

Das unabhängig davon in den Lorenzgraben austretende eisenreiche Grundwasser soll auf Höhe der Ortslage Egisdorf gefasst und in den Seekörper zurückgepumpt werden. Der Lorenzgraben würde in jedem Fall bis zu diesem Fassungsbauwerk zu einer wasserwirtschaftlichen Einrichtung mit der Funktion einer Drainage.

Zur geplanten Absenkung des Seespiegels im RL 14/15 ist für eine begrenzte Periode die Überleitung des stark versauerten Wassers des RL 14/15 über die vorhandene Rohrleitung nach RL F notwendig. Das zunächst noch aziditätsreiche Seewasser soll mit einer dem RL F vorgeschalteten **WBA** behandelt werden, die in Form eines Rohrreaktors ausgeführt wird. Die EHS-Schlammablagerung erfolgt hier in RL F, dem auch das Klarwasser zugeht.

### 5.2.2 In Flussläufen integrierte Absetzbecken

Abstromig von Fließgewässerabschnitten, die in den Sommermonaten durch moderate Volumenströme gekennzeichnet sind und durch diffuse Fe-Zutritte belastet sind, bietet sich die Einrichtung von Absetzbecken an, die direkt in den Flusslauf integriert sind und vornehmlich dem EHS-Schlammfang und dem Schutz der abstromigen Fließgewässerabschnitte dienen. Diese Becken könnten naturnah in Form eines verbreiterten Fließgewässerabschnittes mit

geringer Strömungsgeschwindigkeit gestaltet werden. Diese Absetzbecken könnten mit einem Fahrweg und einem Schlamm-trockenplatz versehen werden und diskontinuierlich ausgebaggert werden. folgende Standorte kämen hierfür zunächst in Frage:

1. Absetzbecken im Oberlauf der Berste kurz vor Görlsdorf mit einem Durchfluss von ca. 50 l/s ([22]; Abb 112)
2. Absetzbecken im Oberlauf des Greifenhainer Fließes kurz vor Krieschow mit einem Durchfluss von ca. 50 bis 150 l/s in den Sommermonaten und bis zu 300 l/s in den Wintermonaten ([22]; Abb 112).
3. Absetzbecken im Oberlauf der Vetschauer Mühlenfließes bei Ranzow mit einem Durchfluss von ca. 50 bis 100 l/s ([22]; Abb 51).

Generell sind für eine weitgehende EHS-Sedimentation ein alkalines Flusswasser (das den Eisenoxidations- und Fällungsprozess bei neutralen pH-Werten zu puffern vermag) und eine ausreichende Aufenthaltszeit notwendig. Eine entsprechende Besiedelung durch Makrophyten ist vorteilhaft.

Alle Standorte zeichnen sich durch oberstromige diffuse Fe-Einträge und abstromige längere saubere Fließgewässerabschnitte aus. Mit einem für einen typischen Fließ angenommenen Durchfluss von 50 L/s (300 L/s) in den Sommermonaten (Wintermonaten) und einer Aufenthaltszeit von 10 Tagen ergäbe sich ein benötigtes Volumen für das naturnahe Absetzbecken von 43.200 m<sup>3</sup> (260000 m<sup>3</sup>). Dies entspräche einem Becken mit der durchaus realisierbaren mittleren Breite von 50 m, 300 m Länge und 3 m Tiefe (100 m, 850 m Länge und 3 m Tiefe).

### **5.3 Schlamm-Beschaffenheiten verschiedener Abscheideeinrichtungen**

Die für eine Verbringung relevanten Eigenschaften von EHS-Schlamm hängen stark von deren Entstehungsort, deren Bildungsbedingungen und den für ihre Bildung eingesetzten technischen und hydrochemischen Verfahren ab. Die Betrachtung dieser Eigenschaften ist zentral für die rechtlich und technisch mögliche Art der Schlammverbringung. Es werden daher im Folgenden vier Grundtypen von Schlämmen unterschieden (siehe auch Tab. 3).

#### **5.3.1 EHS-Schlämme aus Fließgewässern (Typ 1)**

Eisenhydroxid-Flocken setzen sich im Laufe von Stunden, Tagen und Wochen kontinuierlich zusammen mit organischen und silikatischen Schwebstoffen auf der Sohle eines Fließgewässers ab. Dies erfolgt bevorzugt in denjenigen Bereichen des Gewässers, in denen die Turbulenz nachlässt. Erhöhte Fließgeschwindigkeiten führen dagegen zur Resuspension. Werden so gebildete EHS-reiche Sedimente z.B. durch periodisches Ausbaggern direkt aus natürlichen Fließgewässern wie z.B. Gräben entnommen, so ist mit der zusätzlichen Entnahme eines nicht unerheblichen Anteils an silikatischem und organischem (inkl. Pflanzenreste der fließgewässertypischen Flora) Sediment zu rechnen (Abb. 18). Der Schlamm ist dann gegenüber denjenigen, der in einer chemisch-technischen Fällung anfällt, deutlich inhomogener und wasserärmer. Orientierende Untersuchungen an Typ 1 Schlämmen (Abb. 18) ergaben Feststoffgehalte von 22,9 bzw. 23,7 M%.



Gemäß [6] weisen die in den Fließgewässern des Nordraumes angetroffenen EHS-Schlämme TOC-Gehalte von 10 bis 16% auf (wobei in dieser Analyse die Grobstoffe noch nicht enthalten sind). Sie überschreiten die für eine Schlammdeponierung erforderlichen Gehalte von <1% (Deponieklasse 1) und <3% (Deponieklasse 2) damit deutlich.



**Abb. 18:** Aus einem naturnahen Gerinne ausgebaggerter EHS mit organischen Grobstoffen und silikatischen Anteilen (stichfest)

### **5.3.2 EHS-Schlämme aus Absetzanlagen (Typ 2)**

Fe-belastete Fließgewässer können mittels Absetzanlagen von einem Großteil ihrer Eisenfracht befreit werden, wenn das Fließgewässer eine der Eisenfracht zumindest äquivalente Alkalinität aufweist. Die Aufenthaltszeiten in diesen Anlagen betragen mehrere Tage bis Wochen und ermöglichen dadurch die Sedimentation von Eisenhydroxiden auch ohne den Einsatz von Flockungshilfsmitteln. Die hierbei entstehenden Schlämme sind deutlich dichter als diejenigen, die in GWRA anfallen, sind jedoch noch durch Saugspülbagger entnehmbar. Ihr Wassergehalt hängt stark von der Entnahmetechnologie ab (periodisches Ausbaggern nach Entwässerung des Beckens oder Einsatz eines Saugspülbaggers im eingestauten Zustand).

Der Feststoffgehalt dieser Schlämme ist kaum bekannt. Untersuchungen zur Fällung von Eisenhydroxid-Schlämmen ohne Einsatz von FHM und ohne Neutralisationsmittelzugabe am DGFZ im Jahr 2011 ergaben mittlere Feststoffgehalte um 17,5 M% [14].



Da dieser Wert durch ausstehende weitere Feststoff-Untersuchungen noch wenig gesichert ist und um eine sichere Bemessungsgröße anzusetzen, wird für die weitere Abschätzung im folgenden Text für Typ-2-Schlämme ein Feststoffgehalt von 8 M% angesetzt.

### **5.3.3 EHS-Schlämme aus GWRA bei Aufbereitung von Flusswasser (Typ 3)**

Ist die Alkalinität Fe-belasteter Fließgewässer zu gering für ihre Eisenfracht, so kommt es zu ihrer Versauerung und eine Behandlung in einer GWRA muss die Zugabe von Neutralisationsmitteln einschließen. Steht kein ausreichender Raum für die Sedimentation zur Verfügung, müssen zusätzlich FHM eingesetzt werden. Der Sedimentationsprozess kann dann stark beschleunigt erfolgen, da die Koagulation der einzelnen Kolloide, welche die Bildung von deutlich größeren Flocken ermöglicht, stark beschleunigt wird. Die weitgehende Eisenhydroxid-Sedimentation ist dann innerhalb von wenigen Stunden erreichbar.

Allerdings ist bei diesem Vorgehen mit einem gegenüber der EHS-Bildung ohne FHM-Zugabe deutlich erhöhten Schlammvolumen zu rechnen. Während ohne FHM Schlammdecken zwischen 15 und 20% TM möglich sind, zeichnen sich mit FHM gefällte EHS durch deutlich geringere Feststoff-Gehalte aus. In diesem Fall enthalten die entstehenden Schlämme neben den fließgewässertypischen Silikat- und Organik-Frachten Rückstände von Neutralisationsmitteln. Durch die geringen Feststoffgehalte sind die in den GWRA erzeugten Schlämme absaugbar und über längere Strecken pumpbar.

### **5.3.4 EHS-Schlämme aus GWRA bei Aufbereitung von Grundwasser (Typ 4)**

Werden aziditätsreiche Fe-belastete Grundwässer aufbereitet, die beispielsweise in Randriegeln oder vergleichbaren Fassungsanlagen anfallen, so entstehen relativ reine Eisenhydroxid-Schlämme, die jedoch Rückstände von Neutralisationsmitteln enthalten. Nach [13] zeigen die in GWRA anfallenden Eisenhydroxidschlämme (Typ 4) Feststoffgehalte um 1 Ma.-%, und gem. [2] von 0,5 bis 1,5 M%. Die nachfolgende gravitative Entwässerung der Schlämme in den Absetzbecken der GWRA ist nach [13] mit Restwassergehalten von 80 bis über 99 % limitiert. Die Altschlämme in den Stapelbecken sind durch Wassergehalte gekennzeichnet, die in der gleichen Größenordnung bzw. geringfügig unter denen der entsprechenden Frischschlämme liegen. Eine signifikante Reduzierung des Wasseranteils ausschließlich durch gravitative Entwässerung in den Stapelbecken erfolgt nicht [13]. Gem. [2] zeigen auch in Restseen abgelagerte Altschlämme aus GWRA lediglich Feststoffgehalte zwischen 4 und 8 M%.

Klassische EHS aus GWRA weisen gem. [13] eine **Dichte** von 1,00 bis 1,07 g/cm<sup>3</sup> auf. Eine im Auszug vorliegende Studie des IWB Dr. Uhlmann bestimmte die Dichten von Schlämmen aus GWRA von VEM mit Werten zwischen 1,00 und 1,08 g/cm<sup>3</sup> und berechnete die langfristigen Schlammdecken mit 1,02 bis 1,05 g/cm<sup>3</sup> (Jänschwalde 1,36 g/cm<sup>3</sup>). Die zugehörigen langfristigen berechneten Feststoffgehalte liegen bei 3,85 bis 6,23 M%. Diese Schlämme sind absaugbar und über Pipelines transportierbar.

Lediglich durch eine veränderte Verfahrensführung (High Density Sludge Verfahren) in den GWRA könnten bereits bei der Schlammabscheidung höhere Schlammdecken bis 20 M% erreicht werden [16].

In [13, S. 57] werden **Kohlenstoffgehalte** verschiedener GWRA-Schlämme (Typ 4) mit 2,8 bis 13,7 Ma.-% C angegeben, die auf Calcit, detritische Kohlepartikel und Organik zurückgeführt werden. Dabei werden in [13, S. 160] bis zu 5 Ma.-% organisch gebundenem Kohlenstoff zugeordnet. TIC-Werte der in [13] untersuchten Eisenhydroxidschlämme zeigten bis 3 Ma.-%. In dominant carbonathaltigen Misch-Schlämmen und Carbonatschlämmen wurden bis 7 Ma.-% TIC gemessen. In [2] werden für den EHS der GWRA Schwarze Pumpe von VEM (TIC-reiches Grubenwasser) bis 13 M% Calcit ausgewiesen, der sich durch Reaktion des Neutralisationsmittels mit dem TIC des Wassers bildet.

Bei hohen Calcit-Anteilen wirken die EHS-Schlämme alkalinisierend und können beispielsweise zum Alkalinitätseintrag in Seewasserkörper genutzt werden. Das Wirksam-Werden des alkalischen Potenzials dieser Schlämme ist jedoch stark von der Eintragstechnologie abhängig. So erfolgt die Einspülung normalerweise in die Tiefenzonen der Seen über eine getauchte Spülleitung mit dem Ziel, eine übermäßige (sichtbare) Verteilung der EHS-Schlämme in den Seekörpern zu vermeiden. Dabei ist jedoch mit einer anteiligen Sedimentation und Inertisierung des EHS-Karbonatanteils zu rechnen.

**Tab. 3: Charakterisierung verschiedener Eisenhydroxid-Schlämme**

|                  | Typ 1: Schlamm aus Fließgewässern   | Typ 2: Schlamm aus Absetzbecken                                       | Typ 3 und 4: Schlamm aus GWRA (Nutzung von FHM)              |
|------------------|---|---|--|
| Reinheit         | Gering; hohe Anteile an silikatischem und organischem Material (z.T auch große Pflanzenreste) | mittel; Anteile an silikatischem und tonigem und organischem Material | hoch; ggf. Anteile von FHM, Neutralisationsmittel und Calcit |
| Feststoffgehalt  | rel. hoch; mit geringer Höhe aufhaltbar   | 10-20 M%; bei Entnahme durch Saugspülbagger deutlich geringer         | Sehr gering: 0,5-1,5 M%                                      |
| Entwässerbarkeit | Bei geringen Lagerdichten gut   | schlecht; nur in dünnen Lagen entwässerbar                            | Sehr schlecht  |

### 5.3.5 Weitere Eigenschaften von EHS-Schlämmen

Generell sind EHS-Schlämme durch eine überproportionale Anreicherung von Phosphor und Arsen charakterisiert [2]. Beschaffenheiten verschiedener EHS-Schlämme aus Fließgewässern im Nordraum werden in [6] dargestellt. Wesentliche Parameter sind (alle Angaben in mg/kg TM):

Arsen: 20 bis 141; MW 60  
Cadmium 0,7 bis 1,8; MW 1,1  
Zink 23 bis 242; MW 108  
Nickel 6 bis 58; MW 22  
TOC 10 bis 16 M% TM; MW 13 M% TM  
Kohlenwasserstoffe  $C_{10}-C_{40}$  <100 bis 2100 mg/kg TM; MW 370 mg/kg TM

Aufgrund dieser Werte wären die Schlämme gem. LAGA der Klasse Z2 zuzuordnen.

Schlämme aus verschiedenen GWRA werden in [13] genannt und weisen folgende vergleichbare Konzentrationsspektren auf (alle Angaben in mg/kg TM).

|         |                   |
|---------|-------------------|
| Arsen:  | 7,7 bis 33        |
| Cadmium | 1,7 bis 3,4       |
| Zink    | 169 bis 1010      |
| Nickel  | 4 bis 401         |
| TOC     | 0,9 bis 5,2 M% TM |

## 6 EHS-Verbringung

### 6.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

#### 6.1.1 Mögliche EHS-Verbringung unter Bergrecht

Für die Verbringung von EHS unter Bergrecht existiert ein Musterbeispiel in Form des Wasserüberleitungsvertrages „Haselbacher See“ WÜV von 2011 zwischen der MIBRAG und der LMBV. Hier wurde argumentiert, dass es lediglich zu einer Umlagerung des bergbaubürtigen Stoffes Eisen im Ortsbereich des Abschlussbetriebsplanes gekommen ist. Eine stoffliche Verwertung des EHS zur Kippenkörpervergütung (Neutralisationspotenzial) könnte mit angeführt werden.

Diese Betrachtungsweise wäre z.B. auf jeden Fall für das Objekt Tgb. Schlabendorf-Süd und die dort anfallenden EHS möglich: Die betrachteten Stoffe verlassen den Abschlussbetriebsplan-Ortsbereich nicht.

Prinzipiell könnten auch weitere im Nordraum zukünftig relevante Aktivitäten wie z.B. die Erstellung von Tailings oder die Reststoff-Aufbereitung unter Bergrecht erfolgen.

#### 6.1.2 Mögliche EHS-Verwertung unter Bundesbodenschutzgesetz

Gem. [7] überschreiten die in [6] charakterisierten Schlämme die im §12 BBodSchV geforderten Werte regelmäßig. Die hohen Gehalte an Arsen, Schwermetallen und Sulfat lassen demnach eine direkte Verwertung in Böden außerhalb von Gebieten mit geogen oder siedlungsbedingt erhöhten Gehalten mit diesen Stoffen (§12, Abs 10) nicht zu. Auch die Nutzung der Schlämme (insbes. die erhöhten Gehalte an organischer Substanz (ca. 10 M% TOC) lassen eine Verwertung in Form einer Verfüllung nicht zu.

#### 6.1.3 Mögliche EHS-Verbringung unter Abfallrecht

Aufgrund seiner Zusammensetzung ist EHS nach Prof. Dr. R. Schultz-Sternberg (Email vom 13.03.2013 an Herrn Dr. Ostin (MUGV) als „Abfall“ jedoch nicht als „gefährlicher Abfall“ zu klassifizieren.

#### **6.1.4 Mögliche EHS-Verbringung unter Wasserrecht**

Notwendig hierfür wäre eine entsprechende Wasserrechtliche Erlaubnis zur Einbringung von Stoffen in ein herzustellendes oder bereits hergestelltes künstliches Gewässer in Tagebaurestlöchern. Voraussichtlich wäre die Abtrennung organischer ggf. aufschwimmender Grobstoffe als mögliche zusätzliche Behandlungsstufe notwendig. Ebenso wären Rücklöseerscheinungen aber auch die Wiederausfällung des diffusiv in die freie Wasserphase zurücktransportierten Eisens zu quantifizieren. So löst sich EHS bei pH-Werten unter 3,0 gem. [2] und voraussichtlich auch im stark anoxischen Milieu (bewirkt durch organische Bestandteile) zurück, fällt bei Sauerstoffzutritt im Seekörper aber wieder aus (sog. Kleiner Eisenkreislauf [23]).

#### **6.1.5 Strategie**

Für die Verbringung relativ reiner EHS-Schlämme in bergbauliche Hohlformen existieren Präzedenzfälle wie die GWRA Rainitza und die GWRA Tzschelln von VEM. An diese Genehmigungspraxis sollte versucht werden anzuknüpfen. Dagegen ist zu erwarten, dass bei durch organische Substanz und Sedimente versetzten EHS-Schlämmen, diese Verbringungsmöglichkeit nicht ohne Weiteres genehmigbar ist, bzw. diese Genehmigung nur mit erhöhtem Aufwand erreicht wird.

Hieraus ergibt sich, dass die Möglichkeit der EHS-Verbringung stark an die Technologie der EHS-Entnahme aus den Fließgewässern gekoppelt sein wird. Abhängig von den angestrebten bzw. erreichbaren Genehmigungen müssten dann die Entnahmetechnologien gewählt werden.

Weiterhin ist zu erwarten, dass die Verbringung von EHS-Schlämmen in ein RL dann einfacher genehmigbar ist, wenn die Quelle des rückgehalten Eisens in der Hauptsache räumlich dem betreffenden Bergbau, d.h. dem örtlichen Geltungsbereich des zugelassenen Betriebsplanes zuzuordnen ist.

Daneben wird bergbaubürtiger EHS auch in Restlöchern verspült, die nicht unmittelbar als Herkunftsraum des Eisens gelten können. Ein Beispiel ist die aus dem Tgb. Nochten stammende Eisenfracht, die in der GWRA Schwarze Pumpe aus dem Grubenwasser abgetrennt und dann als EHS in die Hohlform des Tgb. Spreetal NO verbracht wird.

### **6.2 Eintrag in bergbauliche wassergefüllte Hohlformen**

**Bergbaufolgteseen:** Der bisherigen genehmigungsfähigen Sanierungspraxis folgend können EHS (Typ 4) in bergbaulichen Hohlformen verspült werden (Abb. 19). Zukünftig sollte so auch für Typ 3 und Typ 2-Schlämme vorgegangen werden. Die Bewertung des vermutlich erhöhten feinstpartikulären  $C_{org}$ -Gehaltes dieser Schlämme ist noch vorzunehmen. Die fachliche Argumentation sollte hier die Analogie zu natürlichen Standgewässern sein, in welche ebenfalls Eisenhydroxid-Einträge zusammen mit großen Mengen an organischen Materialien über die natürlichen Zuflüsse, die seeinterne Bioproduktion und die Einwehung von organischen Feststoffen erfolgen. Mit dem Eintrag von EHS erfolgt lediglich der Eintrag natürlicher (aus natürlichen Vorflutern stammender) organischer Feststoffe. Zudem stellt die mit der Bioproduktion in neutralen Seekörpern verbundene Sedimentation organischer Substanz einen Prozess der seeinternen Alkalinitätsgenerierung dar und sollte in diesem Zusammenhang positiv bewertet werden.

Ungeachtet dessen sollten Untersuchungen der Fe-Remobilisierung und -Wiederfestlegung [23] aufgrund der organischen Gehalte der eingetragenen Schlämme eine Basis für die Planung der weiteren Schritte sein.

Hierbei ist zu unterscheiden:

Fall a: die geplante vollständige Verfüllung der Hohlform zur Schaffung einer EHS-Lagerstätte. Vorteil ist hier, dass die EHS-Lagerstätte auch zukünftig zugänglich bleibt und in Zukunft u.U. als Fe-Sekundärlagerstätte nutzbar wird.

Fall b: Die EHS-Ablagerung in einem Bergbaufolgesee, der als Wasserkörper langfristig für eine weitergehende Nutzung (Tourismus, Fischerei, Wasserspeicher) vorgesehen ist.

Vorteil beider Fälle ist, dass die Hohlformen bereits vorhanden sind, in vielen Fällen noch unter Bergrecht stehen und damit zumindest für Typ 4 Schlämme geringe genehmigungsrechtliche Hürden zu erwarten sind.

Folgende Standgewässer kommen für eine mittel- und langfristige EHS-Ablagerung in Betracht:

Der südwestlich von Raddusch gelegene abflusslose **Kahnsdorfer See** mit einer Fläche von 70 ha und einem Volumen von 2,1 Mio m<sup>3</sup> [3] und einer maximalen Tiefe von 7,7m [5] zeigt eine neutrale, gut gepufferte Wasserbeschaffenheit. Sein Grundwasser-Eigenaufgang wird voraussichtlich 2015 abgeschlossen. Im RL 24 entsteht so ein abflussloses Gewässer mit einer Anbindung an das Kanalsystem in Raddusch nur für den Hochwasserfall. Dieser künftige See liegt in einer moderaten Entfernung von ca. 7 km zur GWRA Vetschau. Durch vollständige Verfüllung mit EHS könnte der herzustellende See in ein Tailing überführt werden. Eine mögliche Trasse für eine EHS-Pipeline könnten entlang der Autobahn geführt werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Schlammablagerung in einer bergbaulichen Hohlform bietet der **Redlitzer See** mit einem Seevolumen von ca. 320.000 m<sup>3</sup>, einer Fläche von 10 ha und einer maximalen Tiefe von 5,8 m. [61 BHT S 178]. Dieser ist von der GWRA Vetschau (ca. 10 km Entfernung) entlang der Autobahntrasse oder über die Kippe des Tgb. Seese-Ost per Pipeline erreichbar.

Im Falle der Behandlung der aus dem RL 14/15 und/oder aus den Vernässungsgebieten nördlich des Schlabendorfer Sees über die Wudritz und den Lorenzgraben ablaufenden Fe-reichen Wässer [12] wäre der **Stoßdorfer See (Restloch C)** geeignet für die EHS-Aufnahme. Er liegt in unmittelbarer Nähe zur Wudritz auf Höhe der Einmündung des Lorenzgrabens. Der Stoßdorfer See ist heute in Privatbesitz und als Naturschutzgebiet eingestuft.

Der **Schlabendorfer See (RL 14/15)** mit einem Gesamtvolumen von 45,8 Mio m<sup>3</sup> (bei einem Wasserstand von 60,3 mNHN) zeichnet sich durch tiefe Bereiche am Nordostufer und entlang seines Nordwestufers (Randschlauch) aus. Er ist heute noch versauert, eine Neutralisation des Seekörpers ist jedoch in Planung. RL 14/15 liegt nicht unmittelbar in der Nähe großer Quellen von dünnflüssigem (pumpbarem) EHS. Die Nutzung des RL 14/15 als EHS-Ablagerungsraum auch für dünnflüssige Schlämme erfordert daher die Errichtung einer EHS-Schlammleitung bis an den See (siehe Anlage 1).

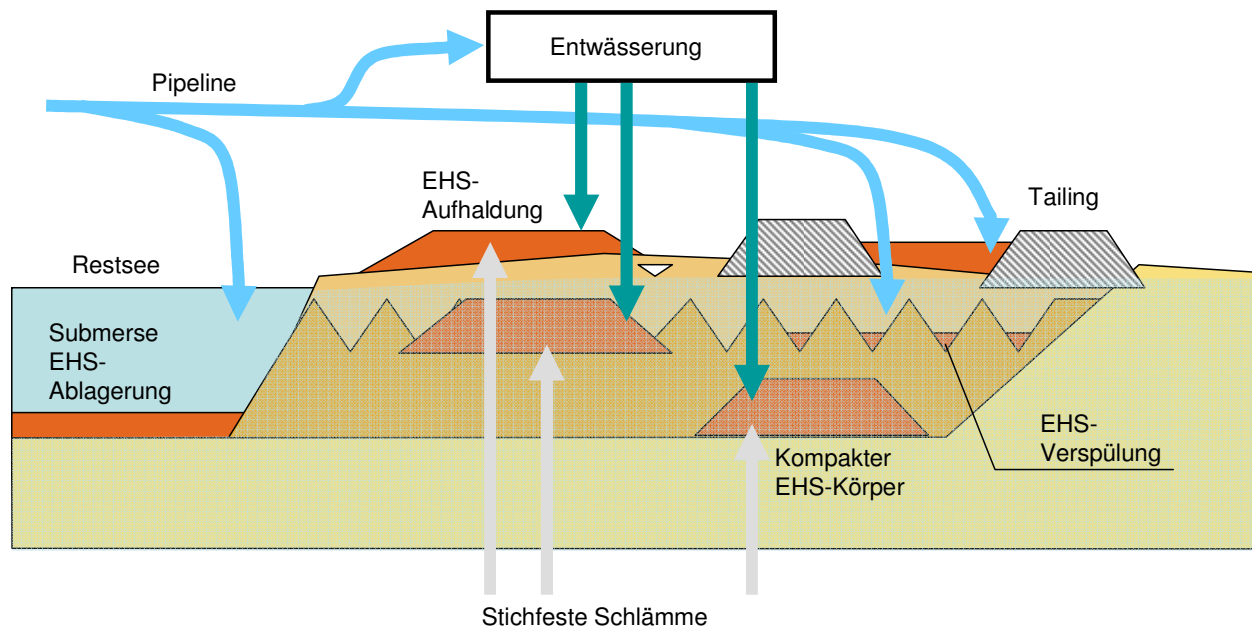


Abb. 19: Schema möglicher EHS-Verbringungsorte

### 6.3 Ablagerung auf Kippenarealen (unter Bergrecht)

Kippenoberflächen des Sanierungs- und des Aktivbergbaus können als Standorte für Aufhaldungen oder Tailings genutzt werden (Abb. 19).

#### 6.3.1 EHS-Ablagerung auf Kippenarealen als Tailing

Bau und Betrieb eines Tailing-Systems unterliegen dem Bergrecht. Tailings haben gegenüber der Aufhaldung den Vorteil, dass alle Schlammtypen verbracht werden können, für die Schlammtypen 2, 3 und 4 kein EHS-Entwässerungs-Schritt notwendig ist und der EHS per Rohrleitung eingespült werden kann. Die entstehenden Schlammkörper bleiben langfristig schwer entwässerbar.

Kippenareale des Aktivbergbaus stünden für die Errichtung von Tailings durch den VEM-Tagebau Welzow zur Verfügung. Vorteil der Nutzung dieser Areale wäre die Einrichtung der Tailings im laufenden Betrieb und die Nutzung für die im laufenden Betrieb anfallenden EHS.

Generell steht die benötigte Fläche für die ursprüngliche Eigener langfristig nicht mehr zur Verfügung.

#### 6.3.2 EHS-Ablagerung auf Kippenarealen als Halde

Die Bildung einer Halde (Abb. 19) bietet sich für Typ-1 EHS-Schlämme an. Typ-2 bis 4 Schlämme wären zunächst technisch zu entwässern. Eine EHS-Halde bedürfte Einrichtungen für die Sickerwasserbehandlung. Der Austrag von Eisen und Schwermetallen aus dem Haldenkörper ist bei Minimierung des Sickerwasserdurchzuges gut kontrollierbar. Die Auswirkungen der ggf. hohen Organik-Gehalte auf die geotechnische Stabilität der Haldenkörper ist zu quantifizieren.

## **6.4 Eintrag in Kippenkörper des Aktivbergbaus (unter Bergrecht)**

### **6.4.1 Eintrag in Kippenkörper in Form von auf Bermen verteilten Trockenbeeten**

Dünnflüssiger oder suspensierter EHS (Typ 2 bis 4-Schlämme) kann, wie bereits heute praktiziert, als großflächiger Auftrag mittels Spüleleitung auf Bermen in Kippenkörpern eingetragen werden (Abb. 19). Nach deren natürlicher Abtrocknung sowie der Ausbildung einer dünnen EHS-Schicht, kann diese nachfolgend überkippt werden.

Dieses bei der MIBRAG bereits praktizierte und damit zugelassene Vorgehen ist gegenüber der Einspülung in Tailings deutlich kostengünstiger. Ein abhängig von der Schlammbeschaffenheit gleichzeitiger Eintrag von Neutralisationsmitteln kann zur Alkalinitätsbilanz der Kippenkörper beitragen. In wieweit die verspülten Eisenhydroxide (Typ-2 und Typ 3) durch den möglichen Eintrag von organischem Material das Potenzial zur reduktiven Fe-Rücklösung erhalten, sollte quantifiziert werden. Ein Vorteil dieses Vorgehens ist der vollständige Erhalt der wiedernutzbaren Landoberfläche.

### **6.4.2 Eintrag in Kippenkörper in Form eines kompakten Körpers**

Alternativ kann EHS als kompakter Körper in Kippenkörper über oder unter dem späteren GW-Spiegel eingebaut werden. Ein noch zu quantifizierender Vorteil ist die damit voraussichtlich starke Minderung der sich potenziell rücklösenden Fe-Fracht. Jedoch ist geotechnisch zu klären, dass die Stabilität eines solchen Körpers gewährleistet wird. Der EHS müsste bei dieser Variante entwässert werden, um eine entsprechende Stabilität zu erreichen. Die Synchronisation des Einbaus des EHS-Körpers mit dem Tagebaubetrieb ist dabei geboten.

## **6.5 Deponierung (unter Abfallrecht)**

EHS werden aufgrund ihrer schlechten Entwässerbarkeit in Deponien nur lagenweise eingebaut, um die Deponie-Stabilität nicht zu gefährden. Aufgrund der Qualitäten des EHS ist mit der Einordnung in die Deponieklasse 2 zu rechnen [6].

Nach [15] können größere Mengen an langjährig anfallenden EHS-Schlämmen nur die nähergelegenen Deponien Schöneiche und Deetz aufnehmen. Weiterhin könnten nach [15] werkseigene Deponien, wie die Aschedeponie der VEM AG in Jänschwalde oder die Deponie der EKO-Stahl in Eisenhüttenstadt EHS-Schlämme annehmen. Nach [15] wären hierfür genehmigungsrechtliche und technische Möglichkeiten zu prüfen. Zu berücksichtigen sind nach [7] weiterhin die jeweiligen EHS-Beschaffenheiten, insbesondere der hohe TOC und die Konsistenz (nach §7 DepV dürfen flüssige (fließfähige) nicht, sondern nur „stichfeste“ Abfälle eingelagert werden. Aktuell erwartbare Kosten für eine EHS-Deponierung (d.h. ohne Transportkosten) belaufen sich auf 60 bis 70 €/t.

Alternativ zur Verbringung des EHS auf einer existierenden Deponie wäre die Errichtung einer eigenen EHS-Deponie in der Nähe des EHS-Anfalles. Diese hätte alle vom Abfallrecht geforderten Elemente zu umfassen (so z.B. eine geologische Barriere, eine Basisabdichtung und die Fassung und Aufbereitung des Sickerwassers). Eine solche Deponie wäre eine Monodeponie, die in dieser Form noch nicht existiert. Hierfür notwendige Grundlagenunter-

suchungen beispielsweise um die langfristige Standsicherheit eines und die Entwässerbarkeit sicherzustellen, sind in den „Empfehlungen“ genannt und wären vorbereitend durchzuführen.

Mit der Ausweisung der Genehmigung, der Finanzierung, der Planung und dem Bau einer solchen Deponie ist jedoch nicht innerhalb von 5 Jahren zu rechnen. Damit kann diese Variante nur als mittelfristige Lösung betrachtet werden.

## **6.6 Nutzung von Zwischenlagern**

Die Nutzung fließgewässernaher Aufhaltungen, Mieten oder Stapelbecken in der Nähe von Reinigungsanlagen kann zur Minderung des EHS-Wassergehaltes förderlich sein. Die Lagerung in diesen Zwischenlagern über die Zeitspanne von einem Jahr hinaus bedarf gem. Herr Neumann (LBGR) jedoch einer Genehmigung nach BImSchG.

## **6.7 Nachnutzung/Verwertung von EHS-Schlamm**

Zur Untersuchung der Nachnutzung von EHS-Schlamm wurde durch die LMBV eine Reihe von Studien angefertigt (Auskunft Herr Ludewig, LMBV). In diesem Rahmen wurden laut Herr Ludewig jedoch nur EHS aus GWRA, also ein verhältnismäßig reines Produkt, untersucht, mit der Zielsetzung ein Entsorgungskonzept zu erarbeiten. Aufgrund der anfallenden EHS-Mengen und deren voraussichtlicher Zusammensetzung kann eine Verwertung jedoch allenfalls langfristig und nur für einen kleinen Teil als Entsorgungsweg erschlossen werden.

Eisenhydroxide finden sowohl in der Farb- und Pigment-Industrie als auch zur Herstellung von Sorbenzien, so z.B. für die Sulfidbindung in Biogasanlagen und anderen Anaerob-Prozessen aber auch für Phosphat und Arsen, Anwendung. Auch als Eisenquelle und Sulfidsorbent in der Bergbauwasser-Entschwefelung kann Eisenhydroxid eingesetzt werden [21].

Für eine solche Verwertung kommen nur EHS in Frage, die aufgrund ihrer Herkunft relativ rein sind (so z.B. aus der Sümpfungswasser-Aufbereitung) bzw. die mit bestimmten angepassten Technologien (z.B. Schwertmannit-Fällung) abgeschieden werden. Die mikrobiell- und oberflächen-katalysierte Eisenhydroxi-Sulfatfällung bei niedrigen pH-Werten zur gleichzeitigen Sulfat- und Metallabscheidung aus Grubenwässern wurde im Pilotmaßstab beispielsweise von Janneck et al., (2008) [19] getestet.

Entwässerungs- und Rekristallisationsprozesse sind typisch für Haldenkörper oder zumindest deren Oberfläche [20]. Da EHS-Haldenkörper noch nicht im großen Umfang errichtet wurden, liegen hierzu noch keine Untersuchungen vor. Perspektivisch sollte jedoch untersucht werden, ob diese Prozesse zu einer Eisenanreicherung und daher zu einer Inwertsetzung der Eisenhydroxide hinsichtlich einer Nachnutzung führen könnten.



## 7 Konzepte

### 7.1 Konzept für das Einzugsgebiet des Greifenhainer Fließes

#### 7.1.1 Kurzfristige Maßnahmen

Zur kurzfristigen Umsetzung des primären Ziels des Spreewald-Schutzes kann das Greifenhainer Fließ (evtl. auch anteilig) in den Wiesenteich nördlich von Vetschau bei Suschow zur Fe-Oxidation und EHS-Sedimentation überführt werden (Abb. 20). Mit einer Fläche von ca. 50 ha und einer geschätzten mittleren Tiefe von 3 m (unbekannt!) hat er ein Volumen von 1,5 Mio m<sup>3</sup> (geschätzt).

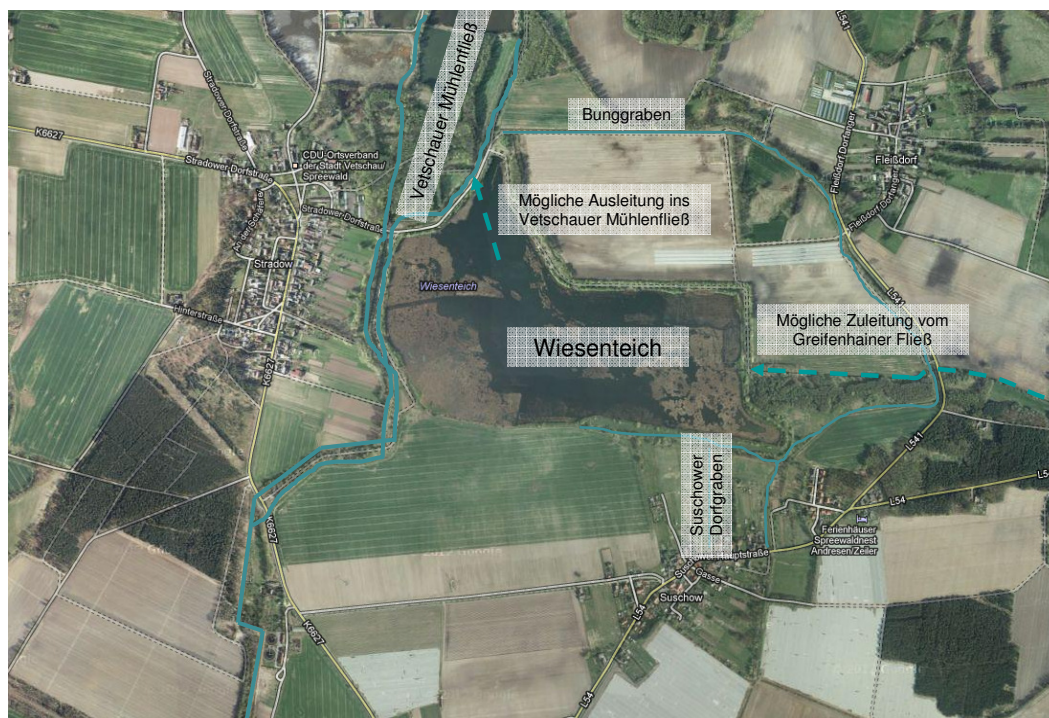
Mit einem Durchfluss 0,75 m<sup>3</sup>/s ([11]; Sommer) und geschätzten 3 m<sup>3</sup>/s im Winter und einem geschätzten Wasservolumen von 1,5 Mio m<sup>3</sup>, einer sich hieraus ergebenden Aufenthaltszeit von 6 bis 23 Tagen sowie einem neutralen pH-Wert [11; S. 44] im Greifenhainer Fließ nach Einlauf des Eichower Fließes, ist eine weitgehende Eisenabscheidung erwartbar. Eine Ausleitung des Wassers aus dem Wiesenteich kann über das Vetschauer Mühlenfließ erfolgen (Abb. 20).

Voraussetzungen für diese kurzfristige Lösung sind:

- der Bau eines Überleiters vom Greifenhainer Fließ in den Wiesenteich

- die Entschädigung/Abfindung der Nutzer des Greifenhainer Fließes zwischen Suschow und der Einmündung in den Südumfluter und

- evtl. der Ausbau des Vetschauer Mühlenfließes ab Suschow bis zum Südumfluter.



**Abb. 20:** Mögliche Zu- und Ableitung in den Wiesenteich zur Ablagerung von EHS aus der Fe-Fracht des Greifenhainer Fließes.

Bei einer Betriebsdauer dieser Kurzfrist-Variante von 3 Jahren ist mit einer Feststofffracht von 308 t<sub>Fest</sub>/a aus dem Greifenhainer Fließ und von ca. 250 t<sub>Fest</sub>/a (jew. Tab. 2) aus dem Eichower Fließ zu rechnen. Damit ergibt sich mit einem Feststoff-Massenanteil am Schlamm von 8 M% eine Schlammmasse von  $3 \cdot 7000 \text{ t} = 21.000 \text{ t}$ . Bei einer Schlammichte von 1,1 g/cm<sup>3</sup> (Schlammichten verschiedener GWRA-EHS nach [13] zeigen Dichten zwischen 1,00 und 1,07 g/cm<sup>3</sup>) entspricht dies einem Schlammvolumen von 19000 m<sup>3</sup>. Damit steht ausreichend Ablagerungsraum für zumindest drei Jahre zur Verfügung.

Zu ergänzen ist dieses Vorgehen durch ein periodisches Ausbaggern der Schlämme in stark durch Fe-Fällung betroffenen Fließgewässer-Abschnitten z.B. südlich von Krieschow und kurzfristiges (< 1 Jahr) Aufhalten der Schlämme in Fließgewässernähe mit dem Ziel der EHS-Abtrocknung. Kurzfristig können diese wasserarmen stichfesten Schlämme nur per LKW auf einer bestehenden Deponie (Dep. Schöneiche oder Deetz) verbracht werden, bis entsprechende rechtliche und technische Grundlagen für eine angepasste EHS-Verbringung geschaffen worden sind.

### **7.1.2 Mittelfristige Maßnahmen**

Der abstromigste größere Eiseneintrag in das Greifenhainer Fließ erfolgt momentan über das Laaslower Fließ. Weiter abstromig erfolgt eine Minderung der Eisenkonzentration durch Sedimentation (Abb. 5) und Verdünnung (z.B. Einmündung Priorgraben). Eine Fassung des Laaslower Fließes und des Greifenhainer Mühlenfließes vor Krieschow und dessen Aufbindung auf das Eichower Fließ würde dagegen einen Großteil der Fe-Fracht bei gleichzeitiger starker Minderung des Volumenstromes der WBA zuleiten. Diese Maßnahme entspricht der in [18; S. 181] vorgeschlagenen Maßnahme GhF-5 „Überleitung des Laaslower Fließes in das Eichower Fließ“ und Mitbehandlung in der Altanlage des ehem. KW Vetschau.

Es wird vorgeschlagen, die Fassung des Greifenhainer Fließes in Form eines in den Flusslauf integrierten Sedimentationsbeckens auszuführen. Dieses dient drei Zielen:

1. Es dient als Einlaufbauwerk für die Überleitung des Wassers in das Eichower Fließ.
2. Es dient als Sedimentfalle für Fe-haltige und andere Schwebstoffe, die mit dem Greifenhainer Fließ antransportiert werden. Die so konzentriert sedimentierten Schwebstoffe können dann periodisch beräumt werden.
3. Es dient als Reinigungsbecken für einen kleinen Volumenstrom, der genutzt wird, um den weiteren Verlauf des Greifenhainer Fließes mit einem Mindestwasserabfluss zu stützen.

Das Eichower Fließ ist durch hohe Eisengehalte bis 100 mg/L aber noch neutrale pH-Werte gekennzeichnet (Abb. 6). Die Eisenfracht ist bereits weitgehend oxidiert und liegt in der Höhe der WBA überwiegend kolloidal vor.

Ob bei Mischung des seit 2 Jahren azidischen Wassers im Greifenhainer Fließ ( $K_{B4,3}$  0,3 bis 1,1 mmol/L [17]) bei Krieschow mit dem derzeit gepufferten Wasser des Eichower Fließes ( $K_{S4,3}$  ca. 1,4 bis 1,6 mmol/L [17]) ein neutrales Wasser mit pH-Werten > 6 zu erwarten ist, hängt von den Volumenverhältnissen beider Fließgewässer ab und kann derzeit im Jahresgang schwanken. Eine zusätzliche Bekalkung könnte deshalb an der WBA am KW Vetschau benötigt werden. Der

gesamte gereinigte Volumenstrom wird über das (auszubauende) Bett des Vetschauer Fließes in das Greifenhainer Fließ zurückgeführt.

Da die eigentlichen Eintragspunkte des Eisens nördlich und östlich des Gräbendorfer Sees liegen, ist von einer umfänglichen EHS-Sedimentation in den Fließgewässern im Anstrom der WBA auszugehen. Ein periodisches Ausbaggern der Fließgewässer wird wahrscheinlich notwendig.

Mit dem wahrscheinlich zur Verfügung stehenden Betriebsgeländegröße von ca. 700000 m<sup>2</sup> (Abb. 12) sind zwei Strategien zur Eisenabscheidung denkbar.

### **Semi-passive Strategie: Behandlung in einem Absetzbecken**

Mit dem Zustrom über das Eichower Fließ von ca. 60 l/s [1] und über das Greifenhainer Fließ von 350 l/s [11; Durchfluss bei Krieschow; Stand Sommer 2010] lässt sich ein für die Wintermonate anzunehmender zu behandelnder Gesamtvolumenstrom von ca. 2 m<sup>3</sup>/s abschätzen. Bei einer anzustrebenden Aufenthaltszeit von 10 Tagen (Diese Zeitspanne ist durch Absetzversuche im Rahmen der Vorplanung für verschiedene Wasserbeschaffenheiten zu verifizieren) wäre ein Volumen von 1,7 Mio m<sup>3</sup> vorzuhalten. Dies entspricht bei einer Beckentiefe von 3 m (empfohlen um windlastinduzierte Strömungen zu mindern) einer Fläche von 560.000 m<sup>2</sup> (Abb. 12).

Empfohlen wird die Strukturierung der Absetzanlage in mehrere Teilbecken, so dass bei geringerem Wasseranfall in den Sommermonaten nur Teile der Becken genutzt werden und der Schlammanfall und die Betriebskosten minimiert werden können. Weiterhin könnten mit EHS weitgehend gefüllte Becken kurzzeitig außer Betrieb genommen und diskontinuierlich ausgebaggert werden. Dies hätte gegenüber der Entleerung per Saugspülbagger den Vorteil, dass weniger Wasser mitgefördert würde und dadurch LKW-Transportkosten signifikant gemindert bzw. Kosten für die EHS-Entwässerung würden.

Mit den in **Tab 1** gegebenen Daten ergibt sich eine mittlere abzuscheidende Eisenfracht von  $688 + 844 = 1532 \text{ kg}_{\text{Fest}}/\text{d}$ . Mit einem Feststoff-Massenanteil von 8 M% ergäbe sich bei diskontinuierlicher Ausbaggerung des Schlammes eine Schlammmasse von 19,2 t<sub>EHS</sub>/d oder 6995 t<sub>EHS</sub>/a. Dies entspricht einem LKW/d. Mit einer mittleren Transportentfernung von 10 km (z.B. zu einer Hochhalde auf der Kippe des Tgb. Seese-Ost beim Kahnsdorfer See) und einem Preis von 20€/t EHS ergäben sich tägliche Kosten von  $19,2 \text{ t}_{\text{EHS}}/\text{d} * 20 \text{ €/t} = \mathbf{384 \text{ €/d}}$ .

Das Abfördern des Schlammes über Saugspülbagger bei gleichzeitigem LKW-Transport ist nicht sinnvoll. Mit einem hierfür anzusetzenden Feststoffgehalt von 2 M%, entsprechend einer Schlammmasse von 77 t<sub>EHS</sub>/d, was 4 LKW/d entspricht, ergäben sich für den LKW-Transport (ohne weitere Schlammvolumen-Reduktion) tägliche Kosten von  $77 \text{ t/d} * 20 \text{ €/t} = \mathbf{1532 \text{ €/d}}$ .

Alternativ kann der mit einem Saugspülbagger abgeförderte dünne EHS über eine Pipeline in den Redlitzer- oder den Kahnsdorfer See verbracht werden. Mögliche Ablagerungsräume für den Schlamm sind in Tab. 5 mit den jeweiligen ungefähren Entfernungen dargestellt. Die Baukosten für eine entsprechende Rohrleitungstrasse wurden mit 200 €/m veranschlagt. Die Kostenabschätzung für den Betrieb einer Druckrohrleitung geht von folgenden Eckzahlen aus:

Transportgeschwindigkeit zur Vermeidung von Sedimentationserscheinungen 0,5 bis 1,0 m. Dies erfordert bei den in Tab. 2 abgeschätzten Schlamm-mengen eine DN 40 Leitung. Bei dieser Leitung ist mit einem Druckverlust von 2 bar/km zu rechnen. Damit müssen (ggf. über mehrere Druckerhöhungsstationen) die in Tab. 5 ausgewiesenen Druckdifferenzen überwunden werden. Mit dem in Tab. 4 ausgewiesenen Energiebedarf von 4,2 W pro gefördertem Kubikmeter und einer zu erzeugenden Druckdifferenz von 20 bar für die Förderung von beispielsweise 77 m<sup>3</sup>/d über eine Strecke von 10 km muss mit Energiekosten für den Pipeline-Transport von **310 €/d** gerechnet werden (siehe Tab. 5). Damit liegen bereits die Betriebskosten der Pipeline in Höhe der Transportkosten mit dem LKW. Mit der Kostendifferenz von 384 -310= 74 €/d amortisiert sich eine 10 km-Pipeline erst in 74 Jahren und damit voraussichtlich erst nach deren Lebensdauer.

Bei Installation eines Dekanters (250 T€) zur Schlamm-Entwässerung (Feststoffanteil 30%) würde eine Schlammfracht von 1532 kg<sub>Fest</sub>/d bzw. 5100 kg<sub>EHS</sub>/d anfallen. Dies entspräche 0,5 LKW/d oder LKW-Transportkosten von 5,1 t/d \* 20€/t = 102 €/d. Mit den eingesparten 384 – 102 €/d = 282 €/d würde sich der Dekanter in 3 Jahren amortisieren. Das abgetrennte Wasser kann der Anlage wieder zugeführt werden.

**Tab. 4: Beispielhafte Abschätzung der Energiekosten für das Pumpen von EHS für eine Förderstrecke von 10 km bei DN 40**

| Abschätzung Energiekosten Schlamm-pumpen |        |                       |
|--|--------|-----------------------|
| Volumenstrom                             | 77     | m <sup>3</sup> /d     |
| Energiebedarf                            | 0.0042 | kW/(m <sup>3</sup> m) |
| Energiekosten                            | 0.2    | €/kWh                 |
| Arbeit pro Tag                           | 64.7   | kW                    |
| Energiebedarf pro Tag                    | 1552.3 | kWh                   |
| Energiekosten pro Tag                    | 310    | €                     |

**Tab. 5: Kosten für Pipelines und Pumpkosten für verschiedene Strecken**

| Nordraum           |                             |            |    | Druck-Differenz | Energiekosten pro Tag | Trassen-Kosten |
|--------------------|-----------------------------|------------|----|-----------------|-----------------------|----------------|
| von                | nach                        | Entfernung |    | bar             | €/d                   | T€             |
| GWRA Vetschau      | Wiesenteich Vetschau        | 4          | km | 8               | 124                   | 800            |
| GWRA Vetschau      | Kahnsdorfer/Bischdorfer See | 7          | km | 14              | 217                   | 1400           |
| GWRA Vetschau      | Redlitzer See bei Lübbenau  | 10         | km | 20              | 310                   | 2000           |
| GWRA Vetschau      | RL 4 Schönfelder See        | 16         | km | 32              | 497                   | 3200           |
| GWRA Vetschau      | RL F Lichtenauer See        | 17         | km | 34              | 528                   | 3400           |
| GWRA Vetschau      | Schlabendorfer See          | 25         | km | 50              | 776                   | 5000           |
| WBA am KW Vetschau | Kahnsdorfer See             | 10         | km | 20              | 310                   | 2000           |
| WBA am KW Vetschau | Redlitzer See bei Lübbenau  | 13         | km | 26              | 404                   | 2600           |
| WBA am KW Vetschau | Wiesenteich Vetschau        | 4          | km | 8               | 124                   | 800            |

### Aktive Strategie: Behandlung in geiner GWRA

Steht der oben ausgewiesene Platzbedarf nicht zur Verfügung, so muss auf dem zur Verfügung stehenden Gelände eine GWRA mit den Elementen *Neutralisation*, *FHM-Zugabe* und *Sedimentation* etabliert werden. Mit einer Aufenthaltszeit von 3 Stunden im Sedimentations-becken würde bei einem winterlichen Volumenstrom von 2 m<sup>3</sup>/s ein Sedimentationsbecken mit einem Volumen von ca. 21.600 m<sup>3</sup> benötigt. Dies entspricht bei einer Tiefe von 4 m einer

benötigten Fläche von 50 x 110 m. Der anfallende EHS wäre in diesem Fall durch den FHM-Einsatz deutlich dünner. Mit einem Feststoff-Massenanteil von 2% ergäbe sich eine Schlammmasse von 77 t/d. Diese Schlammmasse würde durch 4 Tankwagen/Tag abtransportiert werden können.

In beiden Fällen muss der Standort der ehemaligen WBA am KW Vetschau ertüchtigt werden.

### **7.1.3 Langfristige Maßnahmen**

Langfristig kann es gefordert werden, dass der Eisenrückhalt durch die WBA bei Vetschau durch eine Minderung des Fe-reichen Zustromes in die Fließgewässer ergänzt wird.

Dies kann nach bisherigem Stand der Erkenntnis nur dadurch geschehen, dass die betroffenen Fließgewässer und Gräben im Einzugsgebiet des Greifenhainer- und des Vetschauer Fließes hydraulisch wieder vom Grundwasser entkoppelt werden. Dies kann durch anoxische Drainagen, Vertikal- und Horizontalfilterbrunnen erfolgen oder durch die Installation von Abfanggräben [10].

Zur Langlebigkeit entsprechender Fassungseinrichtungen, die komplett anoxisch zu betreiben sind, liegen momentan noch keine belastbaren Ergebnisse vor. (Im Bergbau eingesetzte Vertikal-Sümfungsbrunnen zeichnen sich durch lange Filterstrecken aus, deren Verockerung am Grundwasserspiegel deshalb akzeptiert werden kann. Diese fassen hierdurch große Wassermengen, was im vorliegenden Fall nicht das Ziel sein kann). Auch die ökologischen Auswirkungen einer langfristigen GW-Absenkung und Entkoppelung der Fließgewässer vom Grundwasserspiegel sind noch zu bewerten (Trockenfallen, mächtigere ungesättigte Zone mit Oxidationsfolgen).

Ungeachtet dieser zu klärenden Punkte könnten gefasste Sümpfungswässer aus dem Oberlauf des Eichower Fließes und dem Laaslower Fließ der GWRA Wüstenhain zugeführt werden.

## **7.2 Konzept für das Vetschauer Mühlenfließ**

Für die Abscheidung der mit 5 bis 10 mg<sub>Fe</sub>/L relativ gering belasteten Vetschauer Mühlenfließes und des weiteren an der GWRA mündenden Reudener Hauptgrabens mit seiner großen Eisenfracht bietet sich die ehemalige GWRA Vetschau an (Abb. 13). Diese liegt im direkten Nebenschluss zum Vetschauer Mühlenfließ bzw. kann an dieses angekoppelt werden, wobei das Flusswasser jedoch gehoben ca. 1 m werden müsste.

Der in [1] angegebene mittlere/maximale Durchfluss des Vetschauer Mühlenfließes bei Suschow beträgt 575 l/s bzw. 1221 l/s. Bei einem abgeschätzten Volumen von 150000 m<sup>3</sup> kann damit eine Aufenthaltszeit von lediglich 1,4 Tagen sichergestellt werden. Diese ist voraussichtlich trotz neutraler Zulaufwasserbeschaffenheiten nicht ausreichend, um eine ausreichende EHS-Abscheidung ohne FHM- und Kalkhydrat-Einsatz sicherzustellen. (zum Vergleich: Für die Abreinigung des Filterbrunnenwassers bedurfte es einer mittleren Aufenthaltszeit von 21 Tagen)

Es wird deshalb vorgeschlagen, die Ertüchtigung der Anlage bedarfs- und ergebnisangepasst folgendermaßen vorzunehmen:

### **7.2.1 Kurzfristige Maßnahmen**

Schritt 1: Aufbindung des stark Fe-belasteten Reudener Hauptgrabens auf die GWRA (vorauss. keine Wasserhebung notwendig) und Test des Rückhaltes ohne weitere Maßnahmen.

Gem. Tab. 2 ist aus dem Vetschauer Mühlenfließ mit einer Feststofffracht von 398 kg<sub>Fe</sub>/d bzw. 713 t<sub>Fest</sub>/a zu rechnen. Mit einem Feststoffanteil von 8% und einer Schlammichte von 1,0 g/cm<sup>3</sup> ergibt sich ein Schlammvolumen von ca. 9000 m<sup>3</sup>/a. Damit sind die anfallenden Schlämme über einige Jahre in den Becken deponierbar, bevor eine Ausbaggerung/Absaugung und nachfolgende Verbringung erfolgen muss.

### **7.2.2 Mittelfristige Maßnahmen**

Schritt 2: Ausrüstung der Anlage mit einer Neutralisationsmittelzugabe

Schritt 3: Ausrüstung der Anlage mit einer FHM-Zugabe und einer Einrichtung zur Schlamm-Entwässerung.

Schritt 4: Aufbindung des Vetschauer Mühlenfließes (vorauss. Wasserhebung notwendig)

Im Falle des Einsatzes von FHM ist mit einem deutlich voluminöseren Schlamm zu rechnen, der dann zeitnah entnommen werden muss. Mit einem Feststoff-Massenanteil am Schlamm von 2,0 M% (Schlammentnahme mittels Saugspülbagger) entspricht dies einer täglichen/jährlichen Schlammmasse von 97 t<sub>EHS</sub>/d bzw. 35650 t<sub>EHS</sub>/a. Bei einer Schlammichte von 1,0 g/cm<sup>3</sup> entspricht dies einem Schlammvolumen von 35650 m<sup>3</sup>/a.

Bei Abtransport des Schlammes per LKW (5 Stück/d) über 7 km entstünden Kosten von 97 t<sub>EHS</sub>/d \* 20€/t = **1952 €/d**. Würde der Schlamm vor Ort (Wassergehalt 70%) eingedickt, so entstünde eine EHS-Menge von 2377 t/a bzw. 6,5 t/d entspr. 1 LKW. Die Transportkosten beliefen sich damit auf 6,5 t/d \* 20€/t = **130 €/d**.

Die Fe-Frachten aus dem Muckwaer Dorfgraben in das Vetschauer Mühlenfließ sollten integriertes Absetzbecken mit dem Charakter eines Feuchtgebietes zurückgehalten werden. Durch geringe Fließgeschwindigkeiten und ausreichende Aufenthaltszeiten sollen die eingetragenen kolloidale Eisenfracht zur Sedimentation und das noch nicht oxidierte Eisen zur Oxidation gebracht werden. Die geringen Volumenstrom [11; Sommer] von 10 l/s und die geringen Eisenfrachten von ca. 20 mg/L [11] führen zu einer Ablagerung von 6,3 t<sub>Fe</sub>/a oder 17 t<sub>Fest</sub>/a.

### 7.3 Konzept für den EHS-Transport und -Ablagerung

Tab. 6 zeigt den Anfall den EHS im Nordraum.

**Tab. 6: Abschätzung insgesamt aus definierten Quellen fassbarer Feststoff-Mengen**

|  | Feststoff-Masse |
|--|-----------------|
| EHS-Quelle                               | t/a             |
| GWRA Vetschau                            | 713             |
| WBA am ehem KW Vetschau                  | 559             |
| im Oberlauf der Berste                   | 114             |
| im Oberlauf des Vetschauer Mühlenfließes | 17              |
| Schlabendorfer See                       | in RL F         |
| Lorenzgraben                             | in RL 14/15     |
| Summe                                    | 1403            |

Aus definierten Quellen fallen demnach ca. 1500 t<sub>Fest</sub>/a EHS TM an. Aus diffusen Quellen (Ausbaggern betroffener Fließgewässerabschnitte) ist mit weiteren 1500 t<sub>Fest</sub>/a zu rechnen. Mit einem Feststoffanteil von 30% nach Entwässerung fallen damit ca. 10000 t<sub>EHS</sub>/a an, die bei einer Dichte von 1,3 g/cm<sup>3</sup> einem Volumen von 7700 m<sup>3</sup><sub>EHS</sub>/a entsprechen. Bei Verbringung dieser Schlämme auf einer bestehenden Deponie bei einem Preis von 65 €/t ergäben sich jährliche Kosten für die EHS-Annahme von 500.000 €. Weitere Kosten fallen für die Entnahme, die Entwässerung und den Transport an

Die Hauptmenge des EHS wird mittelfristig durch Abscheidung von EHS aus dem Vetschauer- und Greifenhainer Fließ im Umfeld der Ortslage Vetschau anfallen. Die Kostenabschätzung hat gezeigt, dass der Bau einer Pipeline zu möglichen EHS-Ablagerungsorten teurer ist als der EHS-Transport per LKW nach Eindickung des Schlammes. Eine dezentrale EHS-Entwässerung hat jedoch den Nachteil, dass die Schlämme aufgrund ihres dann geringen Wassergehaltes in EHS-Halden deponiert werden müssen. Eine Einspülung in bergbauliche Hohlformen ist prinzipiell auch möglich, setzt aber die lokale Resuspension (Wiederaufschlämmung) der Schlämme in entsprechenden am Verspülort errichteten Anlagen mit See- oder Flusswasser voraus. Eine solche „Schlammaufbereitungs- und Verspülanlage“ könnte gleichzeitig zur Grobstoff-Abscheidung (organische Feststoffe, grobklastische Sedimente aus der Fließgewässer-Ausbaggerung) genutzt werden. Eine entsprechende Methodik wäre zu entwickeln.

Fazit: Die Technologie der Schlammaufbereitung und die Art der Schlammverbringung bedingen sich gegenseitig. Deshalb wird vorgeschlagen:

**A)** Es ist genehmigungsrechtlich und geotechnisch prüfen, ob der Einbau der entwässerten EHS als kompakte Körper in den Tagebau Welzow genehmigbar ist. In eine solche Deponie könnten alle in der Region anfallenden Schlämme unabhängig von ihrer Herkunft per LKW verbracht werden. Sie hätten dann einen vergleichbaren (technisch kontrollierbaren) Feststoff-Gehalt.

**B)** Es ist parallel zu genehmigungsrechtlich prüfen, ob EHS mit geringen Feststoffgehalten (0,5 bis 2 M%; Typ 2 bis 4) in bergbauliche Hohlformen verbracht werden können. Die Kosten hierfür sind durch Bau und Betrieb der Pipeline voraussichtlich höher als beim LKW-Transport (Differenz = Baukosten), jedoch stellt diese Alternative eine Rückfallposition für den Fall dar,



dass eine EHS-Halde in einem aktiven Bergbau nicht genehmigbar ist. In diesem Fall würden mittelfristig über eine Pipeline entlang der Autobahntrasse in Richtung der vorgeschlagenen Ablagerungsorte Kahnsdorfer See, Bischdorfer See oder Redlitzer See transportiert und dort verspült werden. Auch eine Weiterführung der Pipeline vorbei am Schönfelder See, dem Lichtenauer See bis zum Schlabendorfer See, jeweils mit EHS-Abschlagsmöglichkeiten, wäre möglich (siehe Anlage 1).

Zusätzlich würde bei dieser Variante jedoch Ablagerungsraum für die aus Fließgewässern auszubaggernden Typ-1-Schlämme benötigt, jedoch in geringerer Menge.

**C)** Die Deponiekosten für die Schlämme können signifikant durch deren Entwässerung gemindert werden. So spart die Entwässerung der oben ausgewiesenen 3000 t<sub>EHS-TM</sub>/a auf 30% Feststoff-Anteil mit Deponiekosten von 500 T€/a gegenüber einer Entwässerung auf lediglich 15% (3000 t<sub>EHS-TM</sub>/a \* 100/15 /1,3 t/m<sup>3</sup> \* 65 €/a = 1 Mio. €) 500 T€/a. Dies entspricht der Investition von 2 Dekantern, die bevorzugt an den Standorten der GWRA Vetschau und der WBA am KW Vetschau stationiert würden.

## 7.4 Konzept Schlabendorfer See

Das Konzept für den Umgang mit der Eisenfracht, die dem Schlabendorfer See über das Grundwasser zugeht, sowie die Eisenfracht, die dem Lorenzgraben nördlich des Schlabendorfer Sees zugeht, wird ausführlich in [12] dargestellt. Folgende Maßnahmen sind geplant:

### 7.4.1 Kurzfristige Maßnahmen

- 1) Periodische Beräumung der Wudritz im Oberlauf.
- 2) Fertigstellung der Überleitung nach RL F inkl. des Rohrreaktors; Fertigstellung der Ausleitbauwerkes des RL F in die Dobra. Überleitung des stark versauerten Wassers des RL 14/15 nach RL F mit einer dem RL F vorgeschalteten **WBA**. Die EHS-Schlammablagerung erfolgt hier in RL F.
- 3) Planung und Konstruktion einer land- oder schiffsgestützten Bekalkung am RL 14/15
- 4) Ertüchtigung des Ottergrabens für die Ausleitung des neutralisierten Wassers in die Wudritz
- 5) Errichtung des Pumpwerkes und ggf. einer **WBA** um das Sickerwasser aus dem Lorenzgraben ins RL 14/15 zurückzupumpen

### 7.4.2 Mittel- und langfristige Maßnahmen

- 1) Fortgesetzte Inlake-Neutralisation des RL 14/15. Die Ablagerung des EHS erfolgt dabei im See selbst. Der EHS-Eintrag in das RL F entfällt dadurch.
- 2) Ggf. Verspülung von EHS, die an anderen Stellen im Nordraum anfallen und die per LKW oder per Pipeline antransportiert werden.



## 7.5 Konzept Berste

Der Oberlauf der Berste bis Borcheltsbusch ist durch teilweise niedrige pH-Werte aber nur geringe Aziditäten bis  $K_{B4,3}$  ca. 1 mmol/L und geringe Durchflüsse bis 50 l/s (Sommer 2010) gekennzeichnet. Eine Versauerung und ein Eisentransport in der Berste, der über das Feuchtgebiet westlich von Görlsdorf hinausreicht, konnte bis 2010 nicht nachgewiesen werden. Es wird deshalb empfohlen, die in das Gebiet südlich Borcheltsbusch über viele Gräben verteilt ausgetragenen (und verteilt sedimentierenden) Eisenfrachten von ca. 30 mg/L ([11], Tab 35)\* 0,05 m<sup>3</sup>/s ([11], Abb. 189)= 130 kg<sub>Fe</sub>/d oder 47 t<sub>Fe</sub>/a oder einer gesamten Feststofffracht von **114 t<sub>Fest</sub>/a** durch die Einrichtung eines oder mehrerer in den Flusslauf integrierter Absetzbecken mit dem Charakter eines Feuchtgebietes abzuscheiden. Durch geringe Fließgeschwindigkeiten und ausreichende Aufenthaltszeiten soll die eingetragene kolloidale Eisenfracht zur Sedimentation und das noch nicht oxidierte Eisen zur Oxidation gebracht werden. Durch bedarfsangepasste Beräumungen des Feuchtgebietes bleibt der Retentionsraum erhalten. Die Typ-1-Schlämme werden gemäß Abschnitt 7.3 abgelagert.

## 7.6 Konzept EHS-Verbringung in bergbaulichen Hohlformen

Aktuell werden der Verbringung des EHS in wassererfüllte Hohlformen unter Berg- und Wasserrecht hinsichtlich der Genehmigungsfähigkeit und der mittelfristigen Realisierbarkeit die größten Chancen eingeräumt.

Für diese Verbringung ist vornehmlich dünnflüssiger EHS geeignet, der mittels Pipelines zu transportieren ist. Voraussetzung hierfür ist die Bereitstellung einer EHS-Ringleitung von den zunächst bedeutenden Quellen (Anlage 1).

Tabelle 6 zeigt aus größeren Quellen anfallende Feststoffmengen gemäß Tabelle 5 und deren Volumina. Für die transportrelevante Volumenbestimmung wurde ein Feststoffanteil von 2 M% angesetzt, der für den Fall abgeschätzt werden kann, dass die entsprechenden Suspensionen mittels Saugspülbaggern als pumpbare Suspension aus den Absetz- bzw. Sedimentationsbecken entnommen werden. Das depositionsrelevante Volumen wurde mit 4% angesetzt. Tab. 8 zeigt die Zeiträume, innerhalb derer bei kontinuierlicher Einleitung der gesamten in Tab. 7 abgeschätzten Feststoffmenge eine Einspülung bis zu vollständigen Verfüllung der bergbaulichen Hohlformen möglich ist. Im Falle des RL 14/15 kämen zusätzlich zur EHS-Einleitung über die Pipeline auch noch die zurückgeleiteten EHS-Mengen hinzu, die im Lorenzgraben anfallen sowie das EHS-Eigenaufkommen im Falle einer Inlake-Neutralisation. Die Abschätzung zeigt, dass mit den genannten Hohlformen langfristig genügend EHS-Retentionsraum zur Verfügung steht.

Für eine Verbringung von dünnflüssigem EHS in die bergbaulichen Hohlformen Kahnsdorfer See, Bischdorfer See, Redlitzer See, Schönfelder See, Lichtenauer See und Schlabendorfer See ist eine entsprechende Pipeline in Form einer Ringleitung von den primären Quellen dieser Schlämme bei Vetschau zu errichten (siehe Anlage 1 und Tab. 4 und Tab. 5). Hierfür müsste eine EHS-Pipeline bis an den jeweiligen Zielort verlegt werden.

Wird der Schlabendorfer See neutralisiert und durch fortgesetzte Inlake-Neutralisation neutral gehalten, so findet in diesem Seekörper ohnehin eine kontinuierliche EHS-Sedimentation statt.

Die bisherige Flutungsleitung von der Pumpstation Boblitz bis Schlabendorf ist aufgrund ihres Durchmessers aber auch aufgrund ihrer möglichen Weiternutzung zur Wasserableitung aus der Region Schlabendorf nicht für den EHS-Transport geeignet. Jedoch ist zu prüfen, ob die Trasse für die Verlegung einer wesentlich dünneren EHS-Leitung mit ihren entsprechenden Zwischenpumpstationen nutzbar ist.

**Tab. 7** Anfallende Schlammengen bei entsprechenden Feststoffanteilen

|  | Feststoff-Menge | EHS-Volumen bei 2 M% (transport-relevant) | EHS-Volumen bei 4 M% (depositions-relevant) |
|--|-----------------|---|---|
| Beispiele größerer Quellen                               | [t/a]           | [t/a]                                     | [t/a]                                       |
| -WBA am Eichower Fließ am Standort des ehem. KW Vetschau | 559             | 27959                                     | 13980                                       |
| -GWRA Vetschau   | 713             | 35648                                     | 17824                                       |
| Summe (inkl. kleinere Quellen)                           | 1500            | 75000                                     | 37500                                       |

**Tab. 8** Abschätzung der Dauer bis zur Verfüllung einer entsprechenden Hohlform abhängig von ihrem Volumen bei Annahme einer jährlichen Feststoffmenge von 1500 t und einem Feststoffgehalt von 4 M%

|                       | Kahnsd. S. | Redlitzer S. | RL14/15 |                    |
|-----------------------|------------|--------------|---------|--------------------|
| Volumen               | 2.1        | 0.32         | 45.8    | Mio m <sup>3</sup> |
| vollst. Verfüllung n. | 56         | 8.5          | >200    | Jahre              |

Die EHS-Pipeline wäre in diesem Fall wahlweise in die tiefen Bereiche am Nordostufer oder an das Südwestende des Schlabendorfer Sees über die (hierzu noch nicht stabilisierte Kippe) zu verlegen (siehe Anlage 1). Der EHS könnte von dort aus in die Tieflagen des Sees verspült werden.

Wird vom Bau einer Pipeline abgesehen und der LKW-Transport eines entsprechend eingedickten EHS favorisiert, so müsste der für die Schlammverbringung vorgesehene See mit einer Anlage zur EHS-Resuspension und Grobstoff-Abtrennung versehen werden. Es sollte geprüft werden, ob eine derartige Einrichtung auch als mobile Anlage ausgeführt werden kann.

Der Kahnsdorfer See und der Redlitzer See sind pH-neutral und lassen eine Rücklösung des EHS aufgrund der Seewasserbeschaffenheit nicht erwarten. Auch wirkt eine neutrale Wasserbeschaffenheit der Desorption von Schwermetallen und Eisen entgegen. Im Falle des Schlabendorfer Sees wird deshalb eine Neutralisation als Voraussetzung für eine EHS-Verbringung angesehen.

Von einem zusätzlichen Eintrag von Alkalinität in die jeweiligen Seekörper durch das Einleiten von EHS sollte in der weiteren Planung jedoch nicht ausgegangen werden, da

- a) nicht zu erwarten ist, dass die EHS aus allen genannten Quellen jeweils immer unter Zuhilfenahme von größeren Mengen an Neutralisationsmitteln abgeschieden wurden, die dann anteilig noch im EHS vorliegen
- b) eine EHS-Einspülung aus optischen Gründen voraussichtlich grundnah erfolgen wird, so dass die EHS-Einmischung in den Seekörper minimiert wird und keine umfängliche Rücklösung eventuell noch vorhandener Neutralisationsmittel-Reste möglich ist.

Als Voraussetzung für die Genehmigungsfähigkeit der EHS-Verbringung in bergbauliche Hohlformen sollte die hierbei erwartbare Stofffreisetzung bestimmt werden. Für den Fall dass zukünftig auch wasserärmere und heterogenere Schlämme (die z.B. durch Fließgewässerberäumung entstanden sind) in wassererfüllte bergbauliche Hohlformen eingespült werden sollen, muss eine Methodik zur Abtrennung von organischen Grobstoffen aus EHS entwickelt werden.

## 8 Zusammenfassung und Empfehlungen

Die direkt in Fließgewässern anfallenden EHS unterscheiden sich von den in GWRA abgeschiedenen Schlämmen in der Beimengung von weiteren Bestandteilen. Dies sind insbesondere erhöhte organische Gehalte (sowohl Grobstoffe als auch feindisperses organisches Material) und silikatische Schwebstoffe. Werden die EHS in technischen Anlagen abgeschieden, so enthalten, sie voraussichtlich wie bisherige EHS auch, zusätzlich Reste von Flockungshilfsmitteln, Neutralisationsmitteln und ggf. frisch gebildeten Calzit. Weiterhin sind (genehmigungsrechtlich relevant) erhöhte Schwermetall- und insbesondere Phosphat- sowie Arsengehalte zu erwarten.

Die Dichte der EHS hängt stark von der Methodik der Sedimentation und der Extraktion aus dem Sedimentationsraum ab. So sind reine EHS, die unter Verwendung von FHM abgeschieden wurden, mit 0,5 bis 1,5 M% deutlich feststoffärmer als andere EHS, die langsam ohne FHM sedimentiert wurden. Aus Fließgewässern ausgebagerte (sehr heterogene) Schlämme erreichen bereits ohne technische Entwässerung bis über 20 M%.

Sowohl der Ort des Schlammanfalles, die gewählte Schlammabscheidetechnik als auch die Schlammmentnahmetechnik haben damit Einfluss auf die Konsistenz der EHS. Durch eine entsprechende Gestaltung der Entnahme kann die Konsistenz der EHS damit beeinflusst werden. Dies ist von entscheidender Bedeutung, da a) nicht alle EHS auf die gleiche Weise transportiert werden können und b) nicht allen EHS alle Ablagerungsmöglichkeiten offen stehen.

### **Folgende rechtliche Rahmenbedingungen können für die EHS-Verbringung in Betracht kommen:**

EHS-Verbringung unter Bergrecht gemäß dem Musterbeispiel in Form des Wasserüberleitungsvertrages „Haselbacher See“ von 2011 zwischen der MIBRAG und der LMBV. Es erfolgt lediglich eine Umlagerung des bergbaubürtigen Stoffes Eisen im Ortsbereich des Abschlussbetriebsplanes.

Einer EHS-Verwertung unter Bundesbodenschutzgesetz stehen voraussichtlich die hohen Gehalte des EHS an Arsen, Schwermetallen und Sulfat entgegen. Auch eine Verwertung und Nutzung der Schlämme in Form einer Verfüllung erscheint v.a. aufgrund der erhöhten Gehalte an organischer Substanz nicht möglich.

Die EHS-Verbringung unter Wasserrecht, also die Einleitung der Schlämme in wassergefüllte Hohlformen, könnte eine mögliche Verfahrensweise darstellen. Mit dieser würde man an die für EHS aus GWRA gefundene Regelung anknüpfen. Aus heutiger Sicht zu erbringende Voraussetzungen für eine WRE wären jedoch voraussichtlich die Abscheidung organischer Grobstoffe und der Nachweis, dass eine signifikante Stofffreisetzung in den Seekörper unterbleibt.

Der EHS-Eintrag in **Bergbaufolgeseeen** erfolgte bisher für Schlämme, die in GWRA bei der Aufbereitung von Sumpfungs- und Wässern aus Restseen anfallen. Eine zukünftige Einbeziehung pumpfähiger Schlämme aus der Aufbereitung von Wässern aus naturnahen Fließgewässern in diese Ablagerungsstrategie sollte angestrebt werden.

Die Bewertung des vermutlich erhöhten feinpartikulären  $C_{org}$ -Gehaltes dieser Schlämme ist noch vorzunehmen. Mögliche fachliche Argumentationen hierzu wurden im Text in Abschnitt 6.2 dargestellt. Untersuchungen zur möglichen Stoff-Remobilisierung aufgrund der organischen Gehalte der eingetragenen Schlämme sollten als Basis für die Planung der weiteren Schritte durchgeführt werden.

Ein Vorteil der EHS-Verbringung in bergbauliche Hohlformen wäre, dass diese bereits vorhanden sind und in vielen Fällen noch unter Bergrecht stehen.

Folgende bergbauliche Hohlformen im Nordraum kommen für eine EHS-Aufnahme in Frage:

- Kahnsdorfer See (2,1 Mio m<sup>3</sup>)
- Redlitzer See (0,32 Mio m<sup>3</sup>)
- Stoßdorfer See (Restloch C): bevorzugt für die Aufnahme von EHS aus Schlabendorf
- RL 14/15 (45,8 Mio m<sup>3</sup>)

Geht man von einem technisch fassbaren und hinsichtlich seiner Konsistenz in Seekörper einspülbarem Schlammanfall von 1500 t<sub>Fest</sub>/a TS aus (also ohne Sediment aus beräumten Fließgewässern), so kann mit einer Feststoffanteil von langfristig 4 M% eine Schlammmasse von 37500 t/a entsprechend einem Volumen von 37500 m<sup>3</sup>/a (bei einer Dichte von 1) abgeschätzt werden. Damit wären die ersten beiden o.g. Seen in der Lage, die Schlammmenge 56, bzw. 8 Jahre lang aufzunehmen.

Die **EHS-Ablagerung auf Kippenarealen unter Bergrecht** kann in Form von Tailing-Systemen (Bergrecht) oder in Form einer Aufhaltung erfolgen. Tailings können alle Schlammtypen aufnehmen, EHS-Entwässerungs-Schritte sind nicht notwendig und die EHS wären über Rohrleitungen einspülbar. Die entstehenden Schlammkörper wären langfristig schwer entwässerbar. Als Standorte kämen die Kippenareale des Tgb. Welzow in Frage. Generell stünde die benötigte Fläche für die ursprünglichen Eigner langfristig nicht mehr zur Verfügung.

Geht man von einer gesamten EHS-Feststoffmasse (Nordraum) von 3000 t<sub>Fest</sub>/a aus, die einen Feststoff-Gehalt von 25% bei einer Dichte von 1,3 g/cm<sup>3</sup> aufweist, so sind pro Jahr ca. 9300 m<sup>3</sup> aufzuhalten. Dies entspräche in 50 Jahren einem 10m hohen Körper mit einer Seitenlänge von je 220 m. Der zusätzliche Einbau ggf. notwendiger Drainage- oder Stabilisierungsschichten ist nicht mit eingerechnet.

Der flächig verteilte **Eintrag mit dem Abraumverstoß** bzw. der Eintrag in Form von geringmächtigen Trockenbeeten auf temporären Bermen im Aktivbergbau ist eine bei der MIBRAG bereits praktizierte Methode der EHS-Verbringung. Der **Einbau in gesättigte Kippenkörper als kompakter Körper** wird noch nicht praktiziert und ist hinsichtlich der geotechnischen Sicherheit und des Stoffaustrages aus einem solchen Körper noch zu bewerten.

Die **Deponierung des EHS** unter Abfallrecht könnte z.B. auf einer der nähergelegenen Deponien Schöneiche oder Deetz erfolgen. EHS werden wegen ihrer schlechten Entwässerbarkeit und zur Wahrung der geotechnischen Stabilität in Deponien nur lagenweise eingebaut. Aktuell erwartbare Kosten (ohne Transport) betragen 60 bis 70 €/t. Weitere Aufnahmemöglichkeiten z.B. auf der Aschedeponie der VEM AG in Jänschwalde oder der Deponie der EKO-Stahl in Eisenhüttenstadt sind zu prüfen.

Die **Nachnutzung von EHS-Schlammern** kann aufgrund der großen anfallenden EHS-Mengen und deren voraussichtlicher Zusammensetzung allenfalls langfristig und nur für einen kleinen Teil als Entsorgungsweg erschlossen werden.

Ein **Kostenvergleich** zwischen LKW-Transport und Pipeline-**Transport** zeigt für die im Nordraum zu erwartenden Transport-Entfernungen nur geringe Unterschiede, so dass sich die zu erwartenden Investitionskosten für eine Pipeline kaum amortisieren. Optimierungspotenzial wird dagegen in der Etablierung effektiver EHS-Entwässerungstechniken gesehen, da die zu transportierenden und abzulagernden (zu deponierenden) Massen hiermit effektiv gemindert werden können. Dies sind:

1. die Nutzung von effektiven Feststoff-Abscheidetechniken aus der Wasserphase ohne FHM
2. die Schlammberäumung ohne Saugspültechnik, sondern durch periodisches Ausräumen von Becken
3. der Einsatz von Dekantern, Schlammpressen o.ä. direkt am Ort des Schlammanfalles. Mit einer Amortisation der hierfür notwendigen Technik ist in wenigen Jahren zu rechnen.
4. das Abtrocknen-lassen ausgebagelter Schlämme vor Ort.

**Kurzfristige Maßnahmen** zum Fe-Rückhalt im **Greifenhainer Fließ und im Eichower Fließ** werden in der Teilstrombehandlung im Wiesenteich gesehen. Es ist jedoch zu prüfen, für welchen Teilvolumenstrom das heutige Volumen des Wiesenteiches bei einer anzustrebenden Aufenthaltszeit von 10 bis 20 Tagen tatsächlich ausreicht und ob sich hierfür die Baumaßnahmen lohnen.

**Mittelfristige Maßnahmen** zum Fe-Rückhalt im **Greifenhainer Fließ und im Eichower Fließ** werden in der Überführung der größten Eisenquellen (Laaslower Fließ; Oberlauf Greifenhainer Fließ) in das Eichower Fließ und deren gemeinsame Behandlung in einer Absetz-Anlage am ehemaligen KW Vetschau gesehen. Eine Neutralisationseinrichtung ist voraussichtlich notwendig.

Für die EHS-Abscheidung ohne Einsatz von FHM ist eine Aufenthaltszeit von mindestens 10 bis zu 20 Tagen (genaue Bemessung steht aus) erforderlich. Dies erfordert bei einem Volumenstrom von  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  ein Absetzteichvolumen von mindestens  $1,7 \text{ Mio m}^3$  und damit bei einer mittleren Beckentiefe von 3 m eine Land-Inanspruchnahme von mind.  $560000 \text{ m}^2$ . Mit Flockungshilfsmittel kann die Absetzzeit deutlich verringert werden, jedoch entsteht sehr verdünnter EHS.

Als **kurzfristige Maßnahme** zum Fe-Rückhalt im **Vetschauer Mühlenfließ** wird empfohlen, den stark Fe-belasteten Reudener Hauptgraben auf die GWRA Vetschau aufzubinden und den erreichbaren Fe-Rückhalt ohne weitere Maßnahmen zu testen. Die anfallenden Schlämme sind über einige Jahre in den Becken deponierbar.

Als **mittelfristige Maßnahme** zum Fe-Rückhalt im **Vetschauer Mühlenfließ** wird voraussichtlich die Ausrüstung der Anlage mit einer Neutralisationsmittelzugabe, ggf. einer FHM-Zugabe und die Einrichtung einer Schlammmentnahme und -entwässerung notwendig. Im Falle zunehmender Eisenfrachten im Vetschauer Mühlenfließ muss dessen Aufbindung erfolgen.

Als **Maßnahme** zum Fe-Rückhalt der Frachten im **Oberlauf der Berste** wird aufgrund der insgesamt geringen Frachten die forcierte Sedimentation durch Einrichtung eines oder mehrerer in den Flusslauf integrierter Absetzbecken mit dem Charakter eines Feuchtgebietes vorgeschlagen, die nach Bedarf beräumt werden.

Folgende **nächste Schritte** werden empfohlen:

Es wird empfohlen, die im vorliegenden Text aufgezeigten **Optionen zügig mit den Genehmigungsbehörden und den Stakeholdern zu diskutieren**, um genehmigungsfähige Lösungen einzugrenzen. Die technisch kontrollierbare Konsistenz der anfallenden EHS ist dann an diese Vorzugs-Lösungen anzupassen. Die EHS-Entnahmetechnologien sind so zu gestalten, dass die dabei entstehenden EHS möglichst optimal für kostengünstige Transportmöglichkeiten und genehmigungsfähige Ablagerungsmöglichkeiten aufbereitet werden. **Aktuell werden der Verbringung des EHS in wassererfüllte Hohlformen unter Berg- und Wasserrecht hinsichtlich der Genehmigungsfähigkeit und der mittelfristigen Realisierbarkeit die größten Chancen eingeräumt.**

Parallel dazu sollten **Planungen** für

- a. die Evaluierung der im Wiesenteich erreichbaren Reinigungsleistung
- b. die schrittweise Ertüchtigung der GWRA Vetschau
- c. den Ausbau der WBA am ehem. KW Vetschau
- d. die Überführung der anfallenden EHS in eines der vorgeschlagenen RL

begonnen werden.

**Folgende Basis-Untersuchungen sind hierzu erforderlich:**

1. Genaue Volumenbestimmungen vorhandener für die EHS-Abscheidung und EHS-Deposition geeigneter Absetzanlagen und Hohlformen. Dies wären u.a. die GWRA Vetschau, der Wiesenteich, der Redlitzer See, der Kahnsdorfer See und der Stoßdorfer See.
2. Bestimmung der spezifischen Dichten der in Fließgewässern und in Absetzanlagen entstehenden Schlämme unter verschiedenen Sedimentationsbedingungen sowie deren Entwässerbarkeit als genaue Bemessungsgrundlage für die Planung von technischen Anlagen, des EHS-Transportes, der EHS-Ablagerungs-Volumina sowie der hierfür jeweils anfallenden Kosten.

3. Quantifizierung der Veränderung der EHS-Schlamm-dichten bei Einsatz verschiedener Entnahme- und Abtrocknungstechniken.
4. Bestimmung erreichbarer Leistungen von Schneckenpressen, Dekantern o.ä. insbesondere für die Entwässerung von EHS.
5. Bewertung der geotechnischen Eigenschaften von EHS-Körpern im Hinblick auf deren mögliche Aufhaldung und erwartbare weitere EHS-interne Reaktionen wie die fortgesetzte Entwässerung.
6. Kontrolle bzw. Steigerung der geotechnischen Stabilität kompakter EHS-Körper im Hinblick auf deren möglichen Einbau in gesättigte Kippenkörper oder deren Aufhaldung auf Kippenflächen.
7. Bestimmung der erwartbaren Stofffreisetzung beim EHS- Eintrag in Standgewässer (in den Seekörper / in einen gesättigten Kippenkörper) als Datenbasis für die Genehmigung entsprechender Verbringungen.
8. Bestimmung des Einflusses der EHS-Ablagerungen in den Restseen auf die Wasserqualität des Sees und des abstromigen Grundwassers als Datenbasis für die Genehmigung entsprechender Verbringungen.
9. Entwicklung einer Methodik zur Abtrennung von organischen Grobstoffen aus EHS, der durch Fließgewässerberäumung entstanden ist. Dies wird als Voraussetzung dafür eingeschätzt, dass die entsprechenden Schlämme in wassererfüllte bergbauliche Hohlformen eingespült werden können.
10. Entwicklung und Test von Sumpfungsverfahren zur Minderung des Fe-reichen GW-Anstromes an Fließgewässer. Diese Verfahren müssen a) mittelfristig verockerungsarm arbeiten, b) oberflächennah angeordnet sein, um die zu hebenden Wassermengen zu reduzieren und c) dabei aber möglichst wenig Sauerstoff in die Fassungsanlagen ziehen.
11. Entwicklung und Test von Verfahren zur Eisenabscheidung aus mit relativ geringen Fe-Konzentrationen belasteten, aber großen Volumenströmen (Fließgewässer-Behandlung).
12. Untersuchung von Möglichkeiten zur Steuerung der EHS-Sedimentation in Fließgewässern durch Modifikation des Gefälles (abwechselnde Anordnung von beruhigten EHS-Sedimentationszonen und Bereichen größerer Fließgeschwindigkeit, in der die EHS-Sedimentation gering bleibt). Ziel wäre es, die technische Beräumung der Fließgewässer auf einige Abschnitte zu beschränken.
13. Ökologische Bewertung der aktuell diskutierten dauerhaften Sumpfung ganzer Einzugsgebiete (Entkoppelung von Fließgewässern vom Grundwasserzustrom). Dem unbestreitbaren Vorteil des unterbundenen Eisenzutrittes stehen folgende Aspekte gegenüber:
  - a. Dauerhaft geminderte Wasserführung bzw. Trockenlegung von Fließgewässern
  - b. Dauerhaft erhöhte Belüftung von ggf. sulfidreichen, ehemals anmoorigen Bereichen mit fortgesetzt erhöhter Fe-Mobilisierung



## Literatur

- [1] Vorab-Daten aus der Studie zum Eiseneintrag in die Vorfluter des Nordraumes (Fortschreibung von [5]. Bericht des IWB Dr. Uhlmann vom März 2013
- [2] Uhlmann, U., Gröschke, A., Arnold, I., Rolland, W. (2007): Wirkung von Eisenhydroxidschlammern aus der Grubenwasseraufbereitung auf die Gewässerchemie von Tagebauseen in der Lausitz. Präsentiert auf dem Workshop Management bergbaubedingten Säurepotentials am 22/23 Feb. 2007 an der TU Bergakademie Freiberg.
- [3] Wasserwirtschaftlicher Jahresbericht der LMBV 2011
- [4] See-Steckbrief EG-WRRRL
- [5] Studie zu den Auswirkungen des Grundwasseranstiegs auf die Beschaffenheit der Oberflächengewässer in den Sanierungsgebieten B1 (Seese/Schlabendorf) und B2 (Greifenhain/Gräbendorf). Bericht des IWB Dr. Uhlmann vom November 2010
- [6] Kontrolle und Auswertung der Wassergüte der Tagebauseen und der Vorfluter im Sanierungsgebiet Lausitz/Brandenburg 2013 – Sondermonitoring Schlammanalysen. Bericht des IWB Dr. Uhlmann vom 28.02.2013 im Auftrag der LMBV
- [7] Handlungsbedarf und Lösungsansätze zur „Eisenbelastung der Spree“ Vortrag zur 18. Wissenschaftlich-technischen Beiratssitzung der LMBV am 21.03.2013
- [8] Eisenhydroxid im Fließgewässernetz des Spreewaldes. Vortrag der LMBV auf einer Informationsveranstaltung Tourismusverband Spreewald e.V. am 16.10.2012
- [9] Untersuchung der hydrochemischen und ökologischen Auswirkungen der Exfiltration von eisenhaltigem, saurem Grundwasser in die Kleine Spree (nördlich Speicher Burghammer) und in die Spree (Ruhlmühle); Teil 1: Erkundung und Teil 2: Maßnahmen; Bericht des Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann vom Mai 2010.
- [10] Weiterführende Untersuchungen zu den hydrochemischen und ökologischen Auswirkungen der Exfiltration von eisenhaltigem, saurem Grundwasser in die Kleine Spree und in die Spree; Projektphase 2: Präzisierung der Ursachen und Quellstärken für die hohe Eisenbelastung des Grundwassers; Teil 1: Erkundung und Teil 2: Maßnahmen; Bericht des Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann vom September 2012.
- [11] Studie zu den Auswirkungen des Grundwasseranstiegs auf die Beschaffenheit der Oberflächengewässer in den Sanierungsgebieten B1 (Seese/Schlabendorf) und B2 (Greifenhain/Gräbendorf); Bericht des Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann vom November 2010
- [12] Variantenvergleich zur Minderung des Fe-Eintrags in die abstromige Vorflut des RL 14/15 des Institut für Wasser und Boden Dr. W. Uhlmann und des Grundwasser-Zentrum Dresden im Auftrag der Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH im April 2013
- [13] Gröschke, A. (2007): Eisenhaltige Schlämme aus Grubenwasserreinigungsanlagen des Lausitzer Braunkohlereviere. Dissertation an der Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus

- [14] Konzentrationsminderung von Arsen im Drainagewasser der IAA Bielatal. Bericht des GFI Dresden für die GVV; 2011.
- [15] Vermerk zur Entsorgung von Eisenhydroxidschlammern von Prof. Schultz-Sternberg an die LUGV T5 vom 14.03.2013.
- [16] Bilek, F. (2013): Grubenwassergenese und –behandlung – Beiträge zur Modell- und Technologieentwicklung. Proceedings des DGFZ e.V. Heft 48.
- [17] Auszug aus einer Studie zum Setzungs- und Alterungsverhalten von Eisenhydroxidschlammern des IWB Dr. Uhlmann im Auftrag der VEM
- [18] Studie zu den Auswirkungen des Grundwasserwiederanstiegs auf die Beschaffenheit der Oberflächengewässer in den Sanierungsgebieten B1 (Seese/Schlabendorf) und B2 (Greifenhain/Gräbendorf); Projektphase 2: Vertiefung der Untersuchungen zur Präzisierung der Modellgrundlagen und der Bemessungsansätze für Wasserbehandlungsanlagen. Bericht des Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann vom März 2013.
- [19] Janneck, E., Terno, D., Heinzl, E., Rolland, W., Schlee, K., Glombitza, F., Nowak, O. (2008): Untersuchung und Optimierung des Prozesses der mikrobiologischen Eisenoxidation für die Behandlung von eisen- und sulfatreichen Bergbauwässern. Wissenschaftliche Mitteilungen des Institutes für Geologie der Bergakademie Freiberg. Band 37: 105-114.
- [20] Graupner, T., Kassahun, A., Rammlmair, D., Meima, J.A., Kock, D., Furche, M., Fiege, A., Schippers, A., Melcher, F. (2007): Formation of sequences of cemented layers and hardpans within sulfide-bearing mine tailings (mine district Freiberg, Germany). *Applied Geochemistry*. 22: 2486-2508.
- [21] Salzbrenner, V., Preuß, V. (2007): Herstellung und Verwendung von Eisenhydroxidpellets aus Schlammern von Grubenwasserreinigungsanlagen. Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft und Umwelt, BTU Cottbus, Heft 16.
- [22] Studie zu den Auswirkungen des Grundwasserwiederanstiegs auf die Beschaffenheit der Oberflächengewässer in den Sanierungsgebieten B1 (Seese/Schlabendorf) und B2 (Greifenhain/Gräbendorf); Projektphase 2: Vertiefung der Untersuchungen zur Präzisierung der Modellgrundlagen und der Bemessungsansätze für Wasserbehandlungsanlagen. ); Bericht des Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann vom März 2013
- [23] Peine, A., Tritschler, A., Kiisel, K., Peiffer, S. (2000): Electron flow in an iron-rich acidic sediment - evidence for an acidity-driven iron cycle. *Limnol. Oceanogr.* 45(5): 1077-1087.

## **Anhang 1: Verschiedene Möglichkeiten der Fassung eisenreicher Wässer**

**Möglichkeit 1:** Der Austritt der Fe-reichen Grundwässer in die Fließgewässer wird unterbunden, indem deren hydraulische Ankoppelung an die Fließgewässer durch lokale GW-Absenkung verhindert wird. Dies erfordert die Installation von Drainagen oder anderer Sumpfungselemente entlang der Fließgewässer. Diese sind so zu konstruieren, dass Sauerstoffeintrag in die Dränelemente langfristig verhindert wird. Dies bedingt eine entsprechend tiefe Verlegung, die bei gleicher Absenkung mit zunehmender Tiefe größere Grundwasserzuströme bewirkt. Weiterhin bewirkt die Installation von Dränelementen den ungewollten Abstrom von Oberflächenwasser aus den Fließgewässern in das Grundwasser.

**Möglichkeit 2:** Durch Anlage von Gräben parallel zu Fließgewässern können die dem Fließgewässer zugehenden Fe-reichen Grundwässer gefasst werden. Die Sohlen solcher Gräben sind hydraulisch unter der Sohle des zu schützenden Gewässers anzuordnen. Dies hat wie bei Möglichkeit 1 zur Folge, dass erhöhte Grundwassermengen abgeleitet und die Fließgewässer gleichzeitig infiltrierend werden. Im Gegensatz zu Drainagen stellt die Kolmation der Gräben keine Gefahr für die langfristige Funktionstüchtigkeit der Gräben dar. Die Gräben könnten anstatt der Fließgewässer selbst beräumt werden. Ihr Ablauf wäre in Sammelbauwerken/Pumpwerken zu konzentrieren und in Absetzanlagen /GWRA zu überführen. Ein Nachteil dieses Vorgehens ist der große Flächenverbrauch und die nachteilige Beeinflussung der fließgewässernahen Landschaft.

**Möglichkeit 3:** Die Eisenfracht des die Fließgewässer anströmenden Grundwassers tritt ungehindert in das Fließgewässer aus. Eine Behandlung erfolgt nach Zuleitung des gesamten Fließgewässers in Absetzanlagen /GWRA. Vorteil dieses Verfahrens ist die Minimierung der zu behandelnden Fe-Fracht (mit entsprechenden Auswirkungen auf die Ablagerungskosten). Gleichzeitig werden die Kosten für Sammelbauwerke minimiert. Ein Nachteil dieses Vorgehens ist die Kontamination der Fließgewässer über längere Fließstrecken mit Eisen und die stärkere Verdünnung der Eisenfrachten, was höheren Aufwand für die Fe-Abscheidung bedeutet. Die notwendige Reinigung der Fließgewässer z.B. durch Ausbaggern des EHS beschädigt Flora und Fauna (Belastungsstrecke).

|  |
|--|
| <p><b>Fazit:</b> Der Anstieg des abzufördernden und zu behandelnden Grundwassers und damit der Eisenfracht beim Einsatz von Dränelementen und Gräben im Vergleich zum freien Austritt des Fe direkt in die Fließgewässer ist hydraulisch zu bewerten und auf seine Sinnhaftigkeit sowie die benötigten Finanzmittel hin zu prüfen.</p> |
|--|

## Anhang 2: Daten zu verschiedenen Messpunkten. Quelle: [2]

| Messstellen                             | Kennwert            | Einheit | Mittelwert | Maximum | 90-Perzentil |
|---|---------------------|---------|------------|---------|--------------|
| <b>Berste</b><br>B 60                   | Druchfluss          | L/s     | 62         | 151     | 144          |
|   | Eisen gesamt        | mg/L    | 18.20      | 35.00   | 33.28        |
|   | Eisen gelöst        | mg/L    | 14.41      | 19.20   | 19.16        |
|   | Fracht Eisen-gesamt | kg/d    | 116.9      | 456.6   | 416.6        |
| <b>Vetschauer Mühlenfließ</b><br>VMF 09 | Druchfluss          | L/s     | 575        | 1221    | 1221         |
|   | Eisen gesamt        | mg/L    | 5.02       | 13.10   | 12.82        |
|   | Eisen gelöst        | mg/L    | 1.78       | 7.80    | 6.63         |
|   | Fracht Eisen-gesamt | kg/d    | 398.0      | 1282.5  | 1282.5       |
| <b>Greifenhainer Fließ</b><br>EiF 10    | Druchfluss          | L/s     | 60         | 157     | 155          |
|   | Eisen gesamt        | mg/L    | 48.20      | 112.00  | 98.72        |
|   | Eisen gelöst        | mg/L    | 29.71      | 83.90   | 70.30        |
|   | Fracht Eisen-gesamt | kg/d    | 309.1      | 851.3   | 838.5        |
| <b>Greifenhainer Fließ</b><br>GhF 50    | Druchfluss          | L/s     |            |         |              |
|   | Eisen gesamt        | mg/L    | 29.78      | 63.40   | 56.04        |
|   | Eisen gelöst        | mg/L    | 26.33      | 56.00   | 50.92        |
|   | Fracht Eisen-gesamt | kg/d    | 348.4      | 412.9   | 412.9        |
| <b>Greifenhainer Fließ</b><br>GhF 60    | Druchfluss          | L/s     | 150        | 294     | 292          |
|   |                     |         |            |         |              |
|   |                     |         |            |         |              |
|   |                     |         |            |         |              |

| Messstellen                             | Hochwert | Rechtswert |
|---|----------|------------|
| <b>Berste</b><br>B 60                   | 5741538  | 5412557    |
| <b>Vetschauer Mühlenfließ</b><br>VMF 09 | 5741084  | 5436093    |
| <b>Greifenhainer Fließ</b><br>EiF 10    | 5739825  | 5439777    |
| <b>Greifenhainer Fließ</b><br>GhF 50    | 5735365  | 5440694    |
| <b>Greifenhainer Fließ</b><br>GhF 60    | 5734292  | 5440659    |

## **Anlage 1: Darstellung von Stoffströmen innerhalb des Konzeptes zum EHS-Management**