

DER GRUNDWASSERWIEDERANSTIEG IN DEN BERGBAUBEEINFLUSSTEN GEBIETEN DES BRAUNKOHLENBERGBAUS UND KONZEPTE ZUR MINDERUNG DER AUSWIRKUNGEN

Friedrich-Carl Benthous, Oliver Totsche, Sven Radigk¹

Kurzfassung: Mit Einstellung der Sumpfung und Flutung der Braunkohlentagebaue in der Lausitz und Mitteldeutschland stieg das Grundwasser schnell an. Im Lockergestein des Absenkungstrichters bildeten sich wasserlösliche Sulfate und Eisenhydroxide. Diese werden nun in die Oberflächengewässer ausgetragen. Systematische Untersuchungen entlang der Spree und ihrer Zuflüsse zeigen deutliche Unterschiede hinsichtlich jahreszeitlicher Abflüsse und stofflicher Belastungen. Hohe Frachten werden nicht nur aus den nahe gelegenen Kippen Bereichen eingetragen, sondern auch aus hoch durchlässigen Grundwasserleitern der gewachsenen Bereiche. Eine bedeutende Sulfat- und Eisenquelle stellen auch die wiedervernässten Moore dar. Um die Eisenbelastung der Fließgewässer kurzfristig zu reduzieren, wird eine Vielzahl von Maßnahmen untersucht und miteinander kombiniert. Der Eisenhydroxid-Schlamm wird aus den Flussbetten durch Ausbaggern entfernt. Bedeutenden Eisenfrachten werden durch Betreiben von Absetzbecken im Nebenschluss zurückgehalten. Das Abfangen von eisenbelasteten Grundwasserströmen vor Übertritt in die Gewässer und die Reinigung in technischen Anlagen reduziert die Gesamtbelastung signifikant. Die Quellbehandlung mit eisenreduzierenden Bakterien liefert vielversprechende Ergebnisse. An der rohstofflichen Verwendung der abgeschiedenen Eisenhydroxide wird intensiv gearbeitet.

Abstract: While flooding former lignite open cast mines, groundwater level raises fast. In the drained soil strata of the depression cone pyrite oxidized and formed vast quantities of iron hydroxide and sulphate. These substances are now carried out from inner dumps, outer tips as well as from moorlands into nearby water courses. LMBV developed innovative concepts to reduce the ochre by combining different measures. These measures are cleaning up the river course as well as running settling ponds along the streams. At hot spot areas the iron rich groundwater will be collected by drains and filtering wells. In the medium term the iron load of the ground waters will be reduced before entering the streams. Iron reduction by enhancing bacteria activities is a challenging approach. The economic reuse of the iron hydroxide is to be investigated.

Einleitung

Um die Braunkohle aus ca. 30 – 50 m Tiefe gewinnen zu können, war es notwendig, die darüber liegenden Schichten zu entwässern. Dabei entstand in der Vergangenheit ein Absenkungstrichter von ca. 2.100 km², der weit über die Tagebaugrenzen hinwegreichte. Seit 1990 mussten durch Erschöpfung der Lagerstätten und durch Veränderung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen 32 Braunkohlentagebaue kurzfristig geschlossen werden. Die Pflicht der Wiedernutzbarmachung nach deutschem Bergrecht wird durch die LMBV wahrgenommen. Dazu gehören der Rückbau der Anlagen, die Stabilisierung der Böschungen, die Flutung der offenen Tagebaue, aber auch die Wiederherstellung eines sich weitgehend selbst regulierenden Wasserhaushaltes.

1 Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbauverwaltungsgesellschaft, Senftenberg

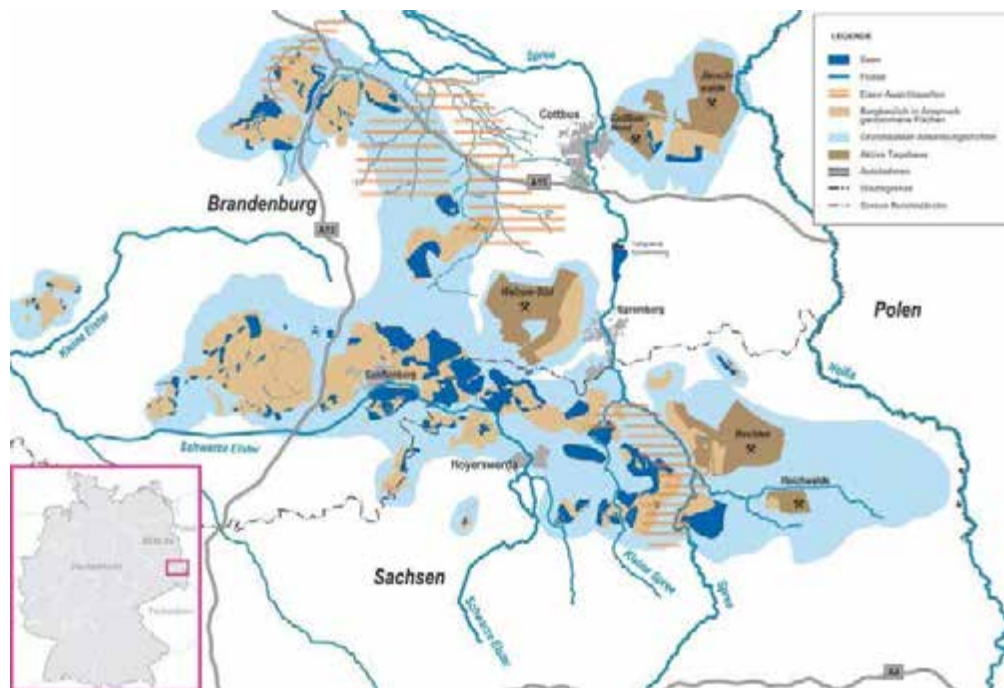


Abb. 1 Lausitzer Braunkohlenrevier: maximaler Grundwasserabsenkungstrichter

Aktuelle Situation

Durch die Belüftung der entwässerten Bodenschichten im Absenkungstrichter wurde Pyrit, welcher vorher unter Luftabschluss darin feinverteilt lagerte, zu Eisenhydroxid und Sulfat oxidiert. Mit dem ansteigenden Grundwasser werden diese wasserlöslichen Stoffe in die Fließgewässer eingetragen.

Während Sulfat im Fließgewässer in Lösungsphase bleibt, wird das gelöste zweiwertige Eisen oxidiert und fällt aus. Der dadurch entstehende Eisenerocker stellt eine starke Belastung der Fließgewässerökosysteme dar (s. Abb. 2). Wasserpflanzen werden durch die Trübung in ihrer Entwicklung wegen Lichtmangels gehemmt, Muscheln durch den feinen Schlamm erstickt und Fische verlieren ihr Laichhabitat durch Verschlammung.

Die Untersuchungen (IWB 2010b) und (IWB 2013) haben gezeigt, dass es je nach örtlicher Gegebenheit unterschiedliche Quellen für die Verockerung der Fließgewässer gibt. Der Bergbau auf Braunkohle hat massiv in den Wasserhaushalt eingegriffen. Aber auch zur landwirtschaftlichen Melioration, zum Torfabbau oder zur Raseneisenerzgewinnung wurden lokale Grundwasserabsenkungen vorgenommen. Diese vom Bergbau unabhängigen Ursachen werden in Abbildung 3 als Vorbelastung (1) dargestellt.

Die Belüftung gewachsener Grundwasserleiter durch die Grundwasserabsenkung im Umfeld der Tagebaue (2) ist eine wesentliche Quelle der Sulfat- und Eisenhydroxid-Bildung. Durch die Grundwasserabsenkung gelangte Luftsauerstoff an vorher unter Luftabschluss liegende Bodenschichten. Auch in den Innenkippen (3) und Außenhalden (4) wurden die

Eisensulfide oxidiert. Die Innenkippen werden nach Abschluss des Grundwasserwiederanstieges zwar wieder unter Wasser liegen. Damit wird die Oxidation im unteren Bereich in der Zukunft gestoppt werden. Die Stofffrachten der Halden jedoch, die über dem Grundwasserleiter liegen, werden durch den Niederschlag weiterhin in die Gewässer ausgetragen.



Abb.2 Eisenbelastung in der Kleinen Spree (Foto Theiss 2012)

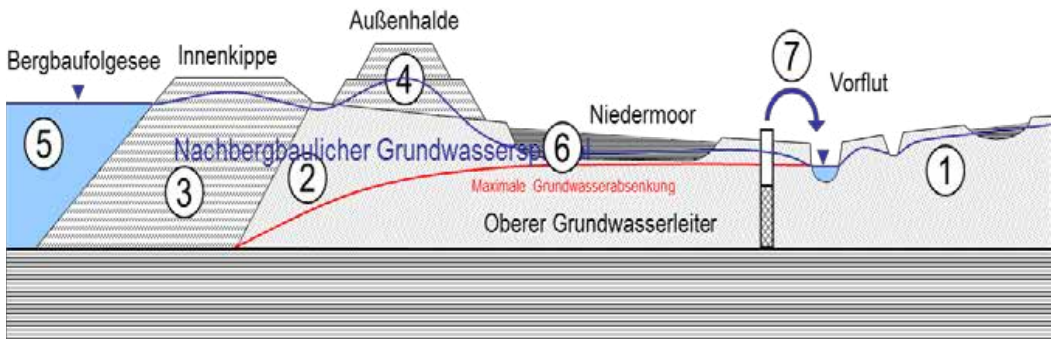


Abb. 3 Ursachen der Eisenbelastung in den Fließgewässern (IWB 2013)

Auch der Grundwasserabstrom aus sauren Bergbaufolgeseseen (5) kann eisenbelastet sein. Eine sehr bedeutsame Eisenquelle sind die Niedermoore (6) in der Lausitz, die bei Ihrer Genese große Mengen an Eisensulfidmineralen gebildet haben. Durch die Grundwasserabsenkung wurden diese Niedermoore belüftet und das darin enthaltene Eisensulfid oxidiert. Mit der Wiedervernässung im Zuge des Grundwasserwiederanstieges werden hieraus bedeutende Frachten ausgetragen.

Belastungen an Schwerpunktbereichen

Seit 2003 wurden erhöhte Eisenkonzentration von bis zu 5 mg/l in einem grundwasser- gespeisten Nebenarm der Spree festgestellt. In der Kleinen Spree stieg die mittlere Eisenkonzentration bei Niedrigwasser bis 2010 kontinuierlich auf etwa 10 mg/l an. Nach einer niederschlagsreichen Periode in den Jahren 2010 und 2011, die zu einem hohen Grundwasserstand führte, wurden schließlich auch in der Spree auf einer Strecke von etwa 20 Kilometer Länge sichtbar hohe Eisenkonzentrationen gemessen.

Das Eisen stammt aus dem unverritzten, pleistozänen Grundwasserleiter im Absenkungstrichter der ehemaligen Braunkohlentagebaue Lohsa und Burghammer. Die klastischen pleistozänen Sedimente der „Spreewitzer Rinne“ enthalten etwa 0,01 bis maximal 0,05 Masse-% Pyrit. In diesen Sedimenten fehlen jedoch puffernde Karbonatminerale völlig.

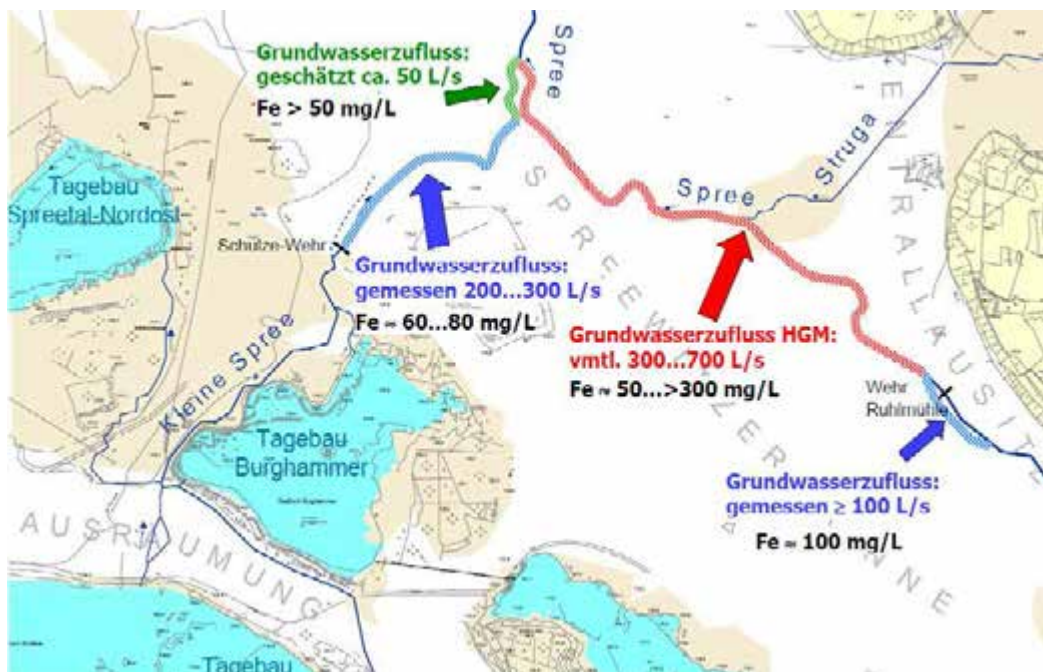


Abb. 4 : Eisenbelastete Grundwasserzuflüsse zur Spree und zur Kleinen Spree

Der Grundwasserspiegel im pleistozänen Grundwasserleiter war bis zu 50 m abgesenkt worden. Das wiederangestiegene Grundwasser enthält heute lokal bis 700 mg/l Eisen gesamt und bis 1.400 mg/l Sulfat. Infolge des Grundwasserwiederanstiegs exfiltriert dieses Grundwasser nunmehr in die Fließgewässer Spree und Kleine Spree (Abb. 4).

Die Hintergrundbelastung der Fließgewässer in der Lausitz liegt bei 1 mg/l Eisen gesamt. Das Eisen setzt sich zusammen aus gelöstem Eisen(II), aus huminstoffkomplexiertem Eisen(II) und Eisen(III) sowie aus suspendiertem Eisen(III)hydroxid. Ab einer Konzentration von etwa 3 mg/l tritt Eisen(III)hydroxid im Gewässer als Ockerfärbung und Trübung in Erscheinung.

Das Eisen wird aus dem Grundwasser als Eisen(II) ausgetragen. Die Oxidation des Eisens(II) in den Fließgewässern ist vor allem von der Temperatur und vom pH-Wert abhängig. Die Hydrolyse des Eisens(III) senkt den pH-Wert. In der Spree (MQ = 14 m³/s) werden aktuell zwischen 4 und 8 mg/l Eisen-gesamt gemessen. Das Eisen liegt hier überwiegend als Eisen(III)hydroxid vor. Im Uferbereich und in den Stillwasserzonen der betroffenen Fließgewässer lagert sich dieser Eisenhydroxidschlamm ab. In den Wintermonaten wird – bei höheren Durchflüssen – das gelöste Eisen(II) resuspendiert und über große Entfernungen transportiert. Die Eisen-gesamt-Konzentration in der Spree kann dadurch auf 10 bis 20 mg/l ansteigen.

Die Eisenbelastung der Spree ist derzeit bis zur Talsperre Spremberg nachweisbar (Abb. 5). In den Vorbecken der Talsperre wird das Eisen gegenwärtig weitgehend zurückgehalten. Die Talsperre Spremberg bewahrt zur Zeit die Gewässerunterlieger der Spree – dazu zählt das Biosphärenreservat Spreewald – zuverlässig vor den Folgen der Verockerung durch die Eisenbelastung.



Abb. 5 Eiseneintrag in die Talsperre Spremberg (Foto Rauhut 2013)

Die hohe Eisenbelastung der Spree beeinträchtigt nicht nur die optische Erscheinung des Gewässers, sondern schädigt auch den ökologischen Zustand. Nach deutschem Wasserrecht ist aber eine Verschlechterung eines Gewässers zu vermeiden (WHG §27). Es ist eine präzise Lokalisierung der Quellen notwendig, um Abwehrmaßnahmen gezielt planen und durchführen zu können.

Monitoring

Die Lokalisierung und Quantifizierung der diffusen Stoffeinträge entlang der Fließgewässer stellt eine besondere Herausforderung für die hydrogeologische Erkundung dar. Die eisenbelasteten, diffusen Zuflüsse lassen sich nur an wenigen Stellen direkt messen.

Je nach den örtlichen und den hydrologischen Bedingungen sind unterschiedliche Methoden zur Erfassung der diffusen Stoffeinträge durchgeführt worden:

- hydrochemische Erkundung des Grundwassers
- Stichtagsmessungen der Durchflüsse im Fließgewässer

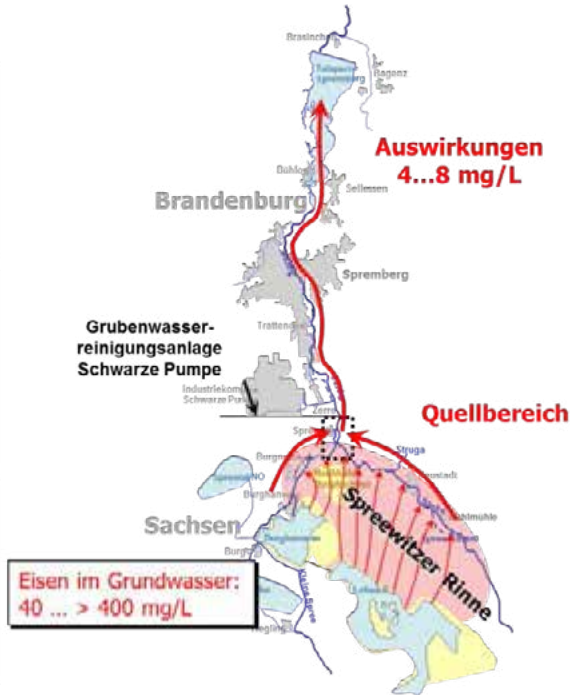
In den Fließgewässern der Spree und Kleinen Spree wurden hier Stichtagsmessungen zu den Durchflüssen und zur Wasserbeschaffenheit durchgeführt. Bei einer dichten Auflösung des Gewässerabschnittes mit Durchfluss- und Probennahmestellen konnten die Eintragsbereiche räumlich aufgelöst ermittelt werden. Stichtagsmessungen zur Ermittlung von Stofffrachten wurden bei niedrigen Abflüssen und bei stationären hydraulischen und geohydraulischen Verhältnissen durchgeführt. Der Wasserstand in den Fließgewässern und der flussnahe Grundwasserstand wurden durch Druckmessdosen erfasst und kontinuierlich aufgezeichnet.

In der Kleinen Spree wurde durch Messungen auf einem Abschnitt von etwa 4 Kilometer Länge ein diffuser Grundwasserzutritt zwischen 50 und 300 L/s ermittelt (Abb. 4). Das zutretende Grundwasser hat eine mittlere Eisen-Konzentration von 70 bis 80 mg/L. Im umgebenden Grundwasser der Kleinen Spree wurde an etwa 20 Messstellen Eisenkonzentration zwischen 3 und 450 mg/l gemessen. Der Medianwert der Eisenkonzentration lag im Grundwasser bei 50 bis 60 mg/L.

In der Spree, einem Fließgewässer mit vergleichsweise hohen Durchflüssen (5-10 m³/s), ist ein zeitlich dichtes Monitoring der Wasserbeschaffenheit durchgeführt worden. Über einen längeren Messzeitraum wurden damit Stofffrachten des Eisens ermittelt. Die Bilanzierung der Stofffrachten ist jedoch mit spezifischen Problemen behaftet. Bei niedrigen Durchflüssen, wenn die diffusen Stoffeinträge aus dem Grundwasser anteilig hoch sind, bleibt ein Teil des Eisens im Flussbett als Eisenschlamm liegen. Dieses Eisen wird durch die diskreten Messungen nicht erfasst. Der sedimentierte Eisenschlamm wird in der Regel bei einem Hochwasser remobilisiert, andererseits der diffuse Grundwasserzutritt zurückgedrängt. Bei Hochwasser werden deshalb trotz der kurzen Fließzeiten überwiegend Eisen(III)hydroxid und kaum gelöstes Eisen(II) gemessen. An der Talsperre Spremberg wurden drei Messstellen eingerichtet, die täglich stichprobenartig beprobt werden: vor der Vorsperre, nach der Vorsperre und nach der Hauptsperre. Da an diesen Stellen auch die Durchflüsse bekannt sind, können die Transformation und der Rückhalt des Eisens in der Vorsperre und in der Hauptsperre bewertet werden. Anhand der Befunde zur Messstelle vor der Talsperre Spremberg können die jahreszeitlichen und hydrologischen Einflüsse auf den Eisentransport gekennzeichnet werden.

Der Volumenstrom der diffusen Grundwasserzuflüsse zur Spree ist nicht direkt messbar. Er wurde aus der Gebietswasserbilanz unter Verwendung von Messwerten und von Modellwerten eines geohydraulischen Großraummodells mit 300 bis 700 l/s geschätzt (Abb. 4). Die Eisenkonzentration lässt sich hier punktuell in Grundwassermessstellen erfassen.

Der Grundwasserzutritt zu einem Altarm der Spree liegt bei Niedrig- und Mittelwasser vergleichsweise stabil zwischen 100 und 130 l/s. Die Eisenkonzentration beträgt hier derzeit etwa 150 mg/l. Ein Graben zur lokalen Grundwasserabsenkung erfasst auf einer Länge von 600 Meter etwa 20 l/s Grundwasser mit einer hohen Fracht von 350 mg/l Eisen.



Wichtig für die Planung von Abwehrmaßnahmen ist die Kenntnis des zeitlichen Verlaufs der diffusen Grundwasserzutritte zu den Fließgewässern. Die maximale Fracht im Grundwasserzustrom zu den Fließgewässern ist mit dem Abschluss des Grundwasserwiederanstiegs zu erwarten. Grundwasserganglinien zeigen, dass der Grundwasserwiederanstieg zwar weit fortgeschritten, jedoch noch nicht in allen Teilbereichen des Untersuchungsgebietes abgeschlossen ist.

Konzepte zur Eisenhydroxid-Minderung

- Wasserbehandlung am Fließgewässer
- Wasserfassung, -ableitung und -behandlung
- Wasserbehandlung im Grundwasser

Zur Wasserbehandlung unmittelbar an der Spree wird die Errichtung einer Flussklär-anlage im Nebenstrom geprüft. Diese ist für einen Volumenstrom von $12 \text{ m}^3/\text{s}$ bei Eingangswerten von 4 bis 8 mg/l Eisen auszulegen. Diese technische Flusskläranlage erfordert jedoch einen hohen Aufwand bei Errichtung und Betrieb. Für eine naturräumliche Flusskläranlage (Wetlands) gleicher Leistung sind die Kosten geringer, jedoch sind etwa 30 bis 60 Hektar Fläche zur Behandlung erforderlich.

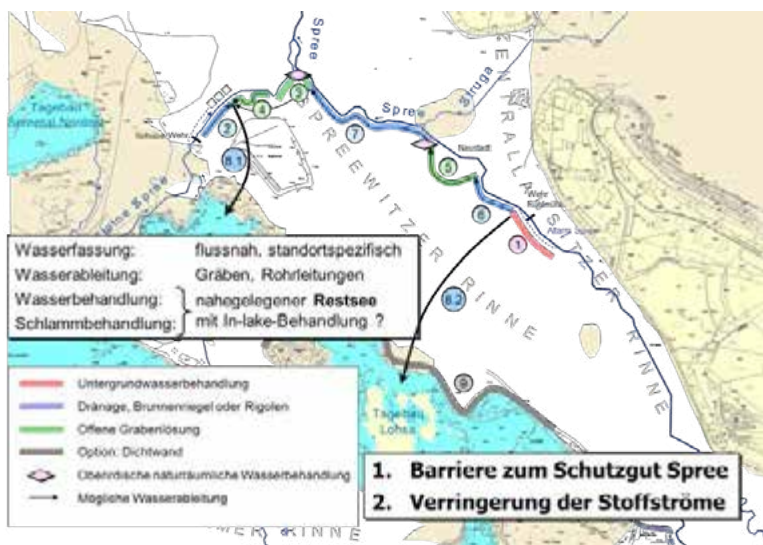


Abb. 7 Maßnahmen zur Minderung der Eisenbelastung an der Spree

Zur Abwehr der diffusen Stoffeinträge aus dem Grundwasser in die Fließgewässer wird deshalb ein sogenanntes Barrieren-Konzept favorisiert. Das eisenbelastete Grundwasser wird kurz vor dem Austritt in die Fließgewässer abgefangen. Hierfür werden vor allem hydraulische Abfangmaßnahmen mit Drainagen oder Brunnen geprüft. Das dort gefasste Wasser soll dann in einen nahegelegenen Bergbaufolgesee eingeleitet und dort bei der Inlake-Wasserbehandlung mitbehandelt werden. Dadurch werden keine zusätzlichen Wasserbehandlungsanlagen benötigt und der entstehende Eisenschlamm am Seeboden abgelagert.

Konkret soll das Wasser aus dem Spree-Altarm Ruhlmühle (6), dem Neustädter Entwässerungsgraben (5) sowie dem Brunnenriegel (7) gefangen und in das Speicherbecken Lohsa II eingeleitet werden. Das Wasser aus den Brunnenriegeln und den Entwässerungsgräben an der Kleine Spree soll dagegen in den Spreetaler See geleitet werden.

Dennoch ist der technische Aufwand hoch. Die Technologie umfasst vier Schritte: die Fassung und Hebung des Grundwassers, seine Ableitung und die Reinigung des eisenbelasteten Grundwassers.

Die Reinigung des eisenreichen Grundwassers erfolgt vorzugsweise durch Verwendung von alkalischen Flockungsmitteln und polymeren Flockungshilfsmitteln. Alternativ wird geprüft, wie das eisenreiche, anoxische Grundwasser in den tiefen, anoxischen Bereich eines benachbarten Bergbaufolgesee gespült werden kann.

Eine flächenhafte Sanierung des eisenbelasteten pleistozänen Grundwasserleiters ist wegen der enormen Frachten, die im Grundwasser gelöst sind, technisch nur bedingt durchführbar und mit unverhältnismäßig hohem Aufwand verbunden. Daher wird hier eine Ausnahme von den Bewirtschaftungszielen nach §31 der Wasserhaushaltsgesetz (WHG) angestrebt.

Im Rahmen des Barrieren-Konzeptes werden auch innovative Verfahren der Untergrundwasserbehandlung durch mikrobielle Eisenreduktion und Bildung von sulfidischem Eisen getestet. Das gehobene Grundwasser wird mit Nährstoffen angereichert und durch Lanzen auf 100 m Länge dem Grundwasser wieder zugeführt. Während der 100 Tage Fließweg setzen die Bakterien die Eisenhydroxide zu Eisenmonosulfid um. Der verfahrensspezifisch etwas höhere Aufwand der Infiltration und Überwachung wird durch den Verzicht auf die Wasserbehandlung und die Schlammbehandlung kompensiert. Hierzu laufen derzeit großmaßstäbliche Feldversuche.

Als hydraulische Alternative wird der Bau einer Dichtwand an der Nordtangente des Bergbaufolgesees Lohsa (Maßnahme 9 in Abb. 7) geprüft. Damit soll eine substantielle Verringerung des Grundwasser Abstroms und damit einer Reduzierung der Eisenfrachten zur Spree erreicht werden. Mit der Dichtwand können die flussnahen Maßnahmen mittelfristig entlastet werden. Der Bau von Grundwasserdichtwänden ist Stand der Technik im Lausitzer Braunkohlenbergbau.

Konzept der Eisenhydroxid-Verwertung

Im Rahmen des Konzeptes wurden auch mögliche technisch und wirtschaftlich umsetzbarer Maßnahmen zur Vermeidung, Verwertung und sicheren Verbringung des anfallenden Eisenhydroxids geprüft. Grundsätzlich wird die Strategie verfolgt: Vermeidung vor Verwertung vor Verspülung vor Deponierung.

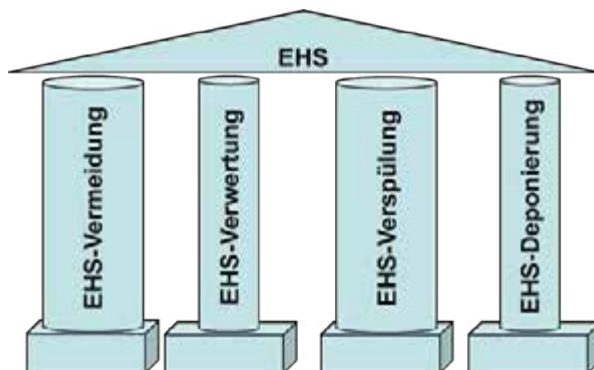


Abb. 8 Konzept zum Umgang mit EHS

Die LMBV ist daran interessiert, den Anteil der Eisenhydroxidschlämme (EHS), die einer Verwertung zugeführt werden, zu steigern. Dazu werden zurzeit mit Partnern der Industrie und Wissenschaft weitere Vertriebswege untersucht.

EHS aus Fließgewässern stellt aufgrund seiner heterogenen Zusammensetzung und der Verbreitung über das weitverzweigte Gewässernetz die größte Herausforderung dar. Dieser Herausforderung soll durch eine Kombination aus Vermeidung und Verspülung in Bergbaufolgeseen begegnet werden.

Fazit

Die tertiären und pleistozänen Lockergesteinsschichten der Lausitz enthalten erhebliche Anteile von Pyrit. Durch die Grundwasserabsenkung wurde dieser Pyrit in den vergangenen Jahrzehnten oxidiert. Dadurch ist ein Grundwasser entstanden, das lokal bis 400 mg/l Eisen gesamt und bis 1.400 mg/l Sulfat enthält. Dieses Grundwasser strömt nun diffus den Fließgewässern zu. Zur Ermittlung der Belastungen wurde ein spezielles Erkundungsprogramm durchgeführt. Mit zahlreichen Durchfluss- und Beschaffenheitsmessungen konnten die Bereiche mit hohen Einträgen entlang der Fließgewässer Spree und Kleine Spree ermittelt werden. Durch mehrfache Stichtagsmessungen sind unterschiedlich hohe Einträge im Sommer und Winter festgestellt worden.

Entsprechend der unterschiedlichen Belastung entlang der Fließstrecke werden zielgerichtet Maßnahmen zur Minderung der diffusen Stoffeinträge geplant und umgesetzt werden. Dazu zählen Flusswasserreinigungsanlagen sowie naturräumliche Absetzbecken. Das entlang der Fließstrecke gehobene Grundwasser wird vor Übertritt in den Fließgewässern abgefangen und in das Tiefste eines Bergbaufolgegewässers eingeleitet. Die mikrobielle Eisenreduktion ist eine aussichtsreiche Alternative.

Eine substantielle Minderung der Stoffeinträge wird mittelfristig erwartet.

Literatur

- IWB 2010a – Uhlmann, W.; S. Theiss; W. Nestler und Chr. Franke: Untersuchungen der hydrochemischen und ökologischen Auswirkungen der Exfiltration von eisenhaltigem, saurem Grundwasser in die Kleine Spree und in die Spree, Teil 1 Erkundung, Teil 2 Maßnahmen, Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, Dresden, 2010, veröffentlicht: www.lmbv.de
- IWB 2010b – Uhlmann, W.; D. Seiler; K. Zimmermann; S. Theiss, Chr. Engelmann und P. Lommatzsch: Studie zu den Auswirkungen des Grundwasseranstiegs auf die Beschaffenheit der Oberflächengewässer in den Sanierungsgebieten B1 (Seese/ Schlabendorf) und B2 (Greifenhain/Gräbendorf). Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, Dresden, 23.12.2010.
- IWB 2012 – Uhlmann, W.; S. Theiss; W. Nestler; K. Zimmermann und Th. Claus: 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, Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, Dresden, 2012 veröffentlicht: www.lmbv.de
- IWB 2013 – Uhlmann, W.; S. Theiss; W. Nestler und Th. Claus: 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, Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann, Dresden, 2013, veröffentlicht: www.lmbv.de
- FIB 2012 – Hildmann, Chr.; Haubold Rosar, M.; Gast, M.; Preuß, V.; Mikrobiell induzierte Eisenretention im Grundwasseranstrom zu Bergbaufolgeseen und Fließgewässern, Projektskizze, Finsterwalde, 2012, unveröffentlicht