

„Beitrag zur Prognose der
Grundwasserbeschaffenheit im Lausitzer
Bergbaurevier auf der Grundlage eines
großräumigen prozessorientierten
Geoinformationssystems“

Zusammenfassung der Dissertation
von Dr. Graupner

„Beitrag zur Prognose der Grundwasserbeschaffenheit im Lausitzer Bergbaurevier auf der Grundlage eines großräumigen prozessorientierten Geoinformationssystems“

Einleitung

Meine Dissertation beschäftigte sich mit der Veränderung der Wasserbeschaffenheit in Bergbaugebieten und ist damit thematisch und ursächlich eng verbunden mit der durch die Europäische Union angestoßenen Weiterentwicklung der rechtlichen Grundlagen des Wasserhaushaltes. Mit dem Erlass der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) im Jahr 2000 und der darauf folgenden Umsetzung in die deutsche Gesetzgebung veränderten sich sukzessive der verwaltungsrechtliche als auch der nutzungs- und schutzorientierte fachliche Umgang mit Grund- und Oberflächenwasser. Dazu tragen die quantitativen und qualitativen Anforderungen an den zu erreichenden Zustand und die auf Flusseinzugsgebiete erweiterte Betrachtung der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Wasserkörpern bei. Die gegenseitige Beeinflussung von Grundwasser und Oberflächengewässern wurde stärker in den Vordergrund gerückt, indem eine gegenseitige Verschlechterung des ökologischen und chemischen Zustandes zu vermeiden bzw. zu vermindern ist. Die daraus resultierende einheitliche Betrachtung von Oberflächen- und Grundwasser muss in der wissenschaftlich-fachlichen Bearbeitung und Bewertung eine entsprechende Berücksichtigung finden.

Ein Paradebeispiel für die in den Fokus der Fachöffentlichkeit tretenden Konfliktpotenziale im Zuge der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie stellen die deutschen Bergbaureviere und hier auf Grund ihrer Größe insbesondere die Braunkohlentagebaureviere im Osten des Landes dar. So wird zum Beispiel im Lausitzer Bergbaurevier seit mehr als 100 Jahren Braunkohle gefördert. Dabei kam es in Folge der Grundwasserabsenkung und der Materialumlagerung zu einer Belüftung der quartären und tertiären Deckschichten. Enthaltene Eisensulfidminerale oxidieren und setzen vor allem in den entstehenden Tagebaukippen Eisen, Sulfat und Protonen frei. In Folge dessen besitzen die Tagebaukippen ein erhebliches Schadstoffpotenzial.

Der als Folge der Tagebauentwässerung im Bergbaurevier noch über die nächsten 20 Jahre ansteigende Grundwasserspiegel überführt diese Schadstoffspeicher zunehmend in Schadstoffquellen. Die in den Tagebaukippen gespeicherten Stoffe werden mit der Grundwasserströmung ausgetragen. Dies führt zu verringerten pH-Werten und hohen Konzentrationen an z.B. Sulfat, Eisen, Aluminium und Mangan in abstromigen Grundwasserleitern als auch in den im Anschluss an die Kippen gelegenen Tagebauseen. So sind im Grundwasser in der Umgebung der Tagebaukippen bei überwiegend leicht sauren pH-Werten Sulfatkonzentrationen bis zu 3000 mg/L und Eisenkonzentrationen bis zu 800 mg/L zu finden. Tagebauseen zeigen häufig eine geringere stoffliche Belastung durch die Verdünnung mit Flutungswasser. Dafür liegen die pH-Werte auf Grund der Eisenoxidation in der Regel im stark sauren Bereich. Vergleicht man diese Zahlen mit den Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie, so wird

deutlich, dass für Bergbauggebiete eine erhebliche Hürde entsteht, die eine Zielerreichung innerhalb der gegebenen Fristen fraglich erscheinen lässt.

Im weiteren Verlauf des Stoffaustrages aus den Tagebaukippen und der Ausbreitung der Schadstofffahnen erfahren verstärkt auch Fließgewässer eine bergbauliche Beeinflussung. Sichtbarstes Zeichen ist die Braunfärbung der Sohl- und Uferbereiche in Folge der Ausfällung von Eisenoxiden sowie das häufig auftretende Fischsterben. Weitere Kennzeichen sind ein niedriger pH-Wert und hohe Sulfatkonzentrationen. Ein markantes Beispiel dafür ist die Entwicklung der Wasserbeschaffenheit der Kleinen Spree im Lausitzer Bergbaurevier. Gerade bei Niedrigwasser erhöht sich durch den diffusen Eintritt bergbaulich belasteten Grundwassers die Sulfatkonzentration um bis zu 200 mg/L. Die auch für die lokale Bevölkerung erkennbaren Folgen führten zu erheblichen Protesten und der Forderung nach umfassenden Sanierungs- und Schutzmaßnahmen.

Ziel und Methodik

Der optimierte Einsatz der begrenzten Finanzmittel für die Entwicklung geeigneter Schutz- und Sanierungsmaßnahmen für Grund- und Oberflächenwasserkörper wird jedoch durch die mangelnde Kenntnis der erwarteten räumlichen und zeitlichen Ausdehnung des bergbaulichen Einflusses gehemmt. Daher wurden die Stoffquellen und die erwartete Stoffausbreitung eines Bergbaureviers am Beispiel der Lausitz untersucht, um die Dimension der zukünftigen Entwicklung fassbar zu machen. Basierend auf den aktuellen wissenschaftlichen Arbeiten zu dem Gebiet wurde eine praxisorientierte Methodik entwickelt, mit der erstmals eine Revierumfassende Prognose der bergbaulichen Beeinflussung von Grundwasser und Oberflächengewässern über die nächsten Jahrzehnte möglich war. Dabei muss berücksichtigt werden, dass gerade Bergbauggebiete mit ihren großen räumlich verteilten Stoffquellen, dem dynamischen Grundwasserregime und der Vielzahl Oberflächengewässern komplexe Gebilde sind, die eine intensive gegenseitige Beeinflussung von Oberflächen- und Grundwasser charakterisiert. Um die daraus resultierende Beeinträchtigung der Wasserqualität großflächig qualitativ und quantitativ beschreiben zu können müssen die dominierenden Prozesse adäquat abgebildet werden. Dazu gehört, dass die Auswirkungen auf Oberflächengewässer erst beschreibbar sind, wenn die Beschaffenheitsentwicklung des Grundwassers in Abhängigkeit von den Stoffquellen und dem Stofftransport bekannt sind.

Bisherigen Arbeiten zu der Thematik haben sich entweder mit Grundlagen und dem Prozessverständnis beschäftigt oder es wurden kleinräumige Detailuntersuchungen zu den bergbaulichen Auswirkungen im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Großräumige Bearbeitungen liegen derzeit nicht vor und sind auch von vergleichbaren Bergbaurevieren nicht bekannt. Damit liegt derzeit keine umfassende, methodisch einheitliche und zusammenhängende Vorstellung über die Auswirkungen des Braunkohlenbergbaus im Revier Lausitz auf die Wasserbeschaffenheit vor. Ziel dieser Arbeit war es, mittels eines zu erarbeitenden Verfahrens zur Bergbaufolgenabschätzung für Gewässer die bestehenden Informationslücken anhand der Alt- und Sanierungstagebaue zu schließen. Das Verfahren liefert basierend auf verfügbaren Daten der Erkundungs- und Nachsorgephase eine Vorstellung über die räumlich differenzierte Beeinträchtigung der Wasserqualität im Revier über die nächsten Jahrzehnte. Damit können Bereiche mit kritischen Auswirkungen auf die natürlichen Ressourcen identifiziert und gezielte Schutzmaß-

nahmen aktiviert werden. Durch den damit möglichen optimierten Einsatz der verfügbaren ökonomischen Ressourcen kann eine nachhaltige Sanierung und Renaturierung des Bergbaureviers gesichert.

Das Bearbeitungskonzept setzt sich aus den Teilschritten Inventarisierung der Tagebaukippen, Berücksichtigung deren stofflicher Veränderung durch Oxidations- und Reduktionsprozesse über die Liegezeit, Modellierung des Stoffaustrages aus den Tagebaukippen unter Berücksichtigung des Einflusses der Tagebauseen und der Ermittlung des erwarteten Stoffeintrages in die Fließgewässer zusammen. Dabei wirkt die Schwefelspezifizierung in der Fest- bzw. Wasserphase als verbindendes Element aller Bearbeitungsschritte und wird als Indikator für den bergbaulichen Einfluss genutzt.

Ergebnisse und Diskussion

Um die Wirkung der Tagebaukippen auf ihre Umgebung beschreiben zu können, ist die Quantifizierung der ursprünglich in den Tagebaukippen enthaltenen Sulfide als Hauptquelle der Stoff- und Säurefreisetzung (Kippeninventar) notwendige Voraussetzung. Dazu wird für jede Kippe räumlich differenziert und methodisch einheitlich der Gehalt an Calcit und Schwefel sowie dessen Aufteilung auf Sulfat, organischen Schwefel und Sulfid ermittelt. Die Massenbilanzierung erfolgt mittels eines Mischungsansatzes, in dem durch Verschneidung bereits existierender geologischer und geochemischer Informationen die vertikal integrale Zusammensetzung der Tagebaukippen zum Zeitpunkt ihrer Entstehung ermittelt wird. Die Erschließung und Nutzung der Altdatenbestände erwies sich dabei als Chance, detaillierte und flächendeckende Eingangsdaten nutzen zu können, die sonst nur durch umfangreiche und sehr kostenintensive Erkundungsmaßnahmen bereitgestellt werden könnten. Für die betrachteten Tagebaukippen, die 19 Prozent des etwa 2400 km² großen Niederlausitzer Bergbaureviers einnehmen, wurde das säuregenerierende und -puffernde Stoffinventar aus dem erstellten regionalen geologischen Modell und den geochemischen Eigenschaften der Modellschichten über eine Massenbilanz ermittelt. Die während des aktiven Tagebaues stattfindende primäre Sulfidoxidation wurde als integraler Kippenumsatz berücksichtigt. Insgesamt lagerten in allen betrachteten Tagebaukippen zum Zeitpunkt ihrer Entstehung 100 Millionen Tonnen Schwefel, wovon etwa 66 Prozent sulfidisch gebunden waren. Dem gegenüber stand ein säurepuffernder Stoffbestand von etwa 43 Millionen Tonnen Calcit. Als Hauptquelle des Sulfidschwefels in den Tagebaukippen wurde der Komplex aus dem Grundwasserleiter 400 und den Hangendschluffen identifiziert. Calcit wird überwiegend aus den sandigen Ablagerungen der Weichsel- und Saale-Kaltzeit bereitgestellt. Durch primäre Sulfidoxidation wurden etwa 4,6 Millionen Tonnen Sulfidschwefel umgesetzt. Die 5 größten Tagebauen Greifenhain, Kleinleipisch, Klettwitz, Meuro und Sedlitz umfassen etwa 57 Prozent des dadurch entstandenen Sulfatschwefelinventars, während in den 12 größten Tagebaukomplexen etwa 85 Prozent enthalten sind. Die ursprünglichen Calcitkonzentrationen in den Tagebaukippen sind besonders im zentralen und nördlichen Bereich hoch. Setzt man die Calcitkonzentration ins Verhältnis zu den durch Sulfidoxidation freigesetzten Protonen, so ergibt sich ein nach Norden zunehmendes Säurepufferpotenzial. Der Vergleich berechneter Konzentrationen mit Messwerten zeigte eine gute Übereinstimmung über das gesamte Untersuchungsgebiet und bestätigt damit das gewählte Bearbeitungs-

konzept. Alle Berechnungen fanden auf einem Gitter mit einer Rasterweite von 200 x 200 m statt und wurden weitgehend über Softwaremodule automatisiert.

Während des aktiven Tagebaues führt Sauerstoffzutritt zu eisensulfidhaltigen Deckschichten der Kohleflöze infolge der Grundwasserabsenkung und der Ablagerung in der Tagebaukippe zur Oxidation dieser sulfidischen Minerale. Neben dieser zum aktiven Bergbau in Beziehung stehenden Sulfidoxidation (primäre Sulfidoxidation), treten auch in der nachbergbaulichen Phase Oxidationsprozesse auf. Da die Liegezeit der betrachteten Tagebaukippen zwischen 15 und 60 Jahren variiert, ist mit einer Signifikanz dieser Umsätze bezüglich der Beschreibung der Tagebaukippen als Stoffquellen zu rechnen. Diese überwiegend durch diffusive Sauerstoffnachlieferung über die Kippenoberfläche gesteuerte sekundäre Pyritoxidation hängt von dem Sulfidgehalt und der Liegezeit aber auch von anderen Faktoren ab und kann über Jahrzehnte andauern. In gesättigten Kippenbereichen kann es wiederum zur Reduktion und Immobilisierung von Sulfat kommen. Die durch Sulfidoxidations- und Sulfatreduktionsreaktionen hervorgerufene Veränderung des Stoffbestandes wurde mittels des entwickelten Programms HistoGIS für das gesamte Untersuchungsgebiet in einem Bearbeitungsschritt ermittelt. Dabei wird die Sulfidoxidation durch Einbindung des Programmes PYROX und die Sulfatreduktion als kinetische Reaktion berücksichtigt. Für die Sulfidoxidation werden die Standzeit der Kippen, die Lage des Grundwasserspiegels und die Sulfidkonzentration als die Prozessbestimmenden Größen betrachtet. Bis zum Jahr 2000 wurden im gesamten Untersuchungsgebiet 5,8 Millionen Tonnen Sulfidschwefel durch sekundäre Sulfidoxidation umgesetzt. Dies entspricht etwa 9,5 Prozent des laut Kippeninventar verfügbaren Sulfidschwefels. Bild 1 zeigt die gesamte aus der Pyritoxidation resultierende verfügbare Sulfatmenge je Tagebaukippe.

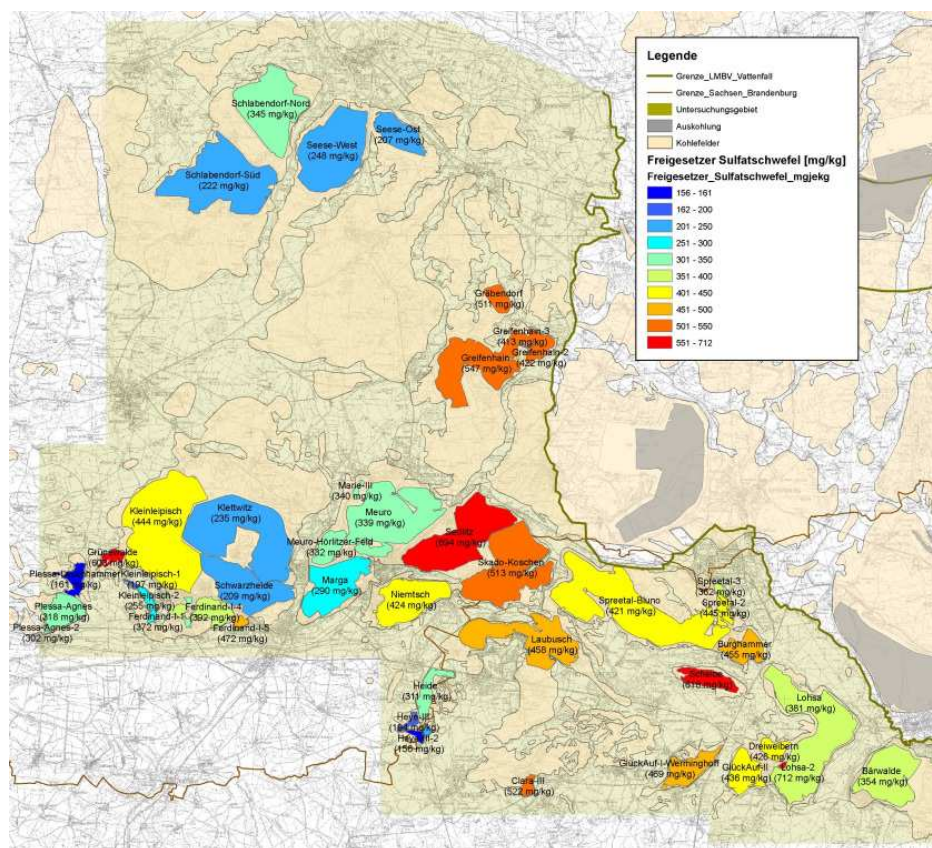


Bild 1: Mittlerer durch primäre und sekundäre Sulfidoxidation freigesetzter Sulfatschwefel je Tagebaukippe in mg/kg Feststoff

Der prozentuale Umsatz je Tagebaukippe schwankt im Wesentlichen zwischen 3 und 20 Prozent. Insgesamt muss für die Lausitz mit einem sekundären Sulfidumsatz in der Größe des ein- bis zweifachen der primären Sulfidoxidation ausgegangen werden. Die Tiefenwirkung der sekundären Sulfidoxidation reicht überwiegend bis in eine Tiefe von 4-14 m. Der tiefenorientierte Vergleich des verbliebenen Sulfids mit dem Grundwasserstand im Jahr 2000 deutet auf ein immer noch hohes Potenzial zur weiteren Oxidation hin. Dies bedeutet, dass in Abhängigkeit von der Entwicklung des Grundwasserstandes auch langfristig mit einer Erhöhung des verfügbaren Sulfates in den Kippen gerechnet werden muss. Die in den gesättigten Kippenbereichen vermutete Sulfatreduktion weist unter den getroffenen Annahmen einen geringen Umfang im Vergleich zur Sulfidoxidation in der ungesättigten Zone auf. Sie erreicht deutlich weniger als 1 Prozent des Stoffumsatzes der Sulfidoxidation.

Die Lösung der in der Kippe gespeicherten Stoffe im Grundwasser und deren Transport mit der Grundwasserströmung wird durch eine reaktive Stofftransportmodellierung basierend auf dem Programm PHT3D beschrieben. Eingangsgrößen sind die für das Untersuchungsgebiet flächendeckend existierenden Grundwasserströmungsmodelle, das Inventar der Kippen und die prognostizierten Beschaffenheiten der Tagebauseen als Randbedingung. Da das Transportmodul im Gegensatz zu PCGEOFIM keine lokalen Netzverfeinerungen berücksichtigen kann, erfolgte eine Transformation der Strömungsergebnisse auf ein Transportgitter. Der gesamte Prozess zur Erstellung der Eingangsdaten für den Transport wurde mit HistoGIS automatisiert. Das betrachtete geochemische System wurde auf die Berücksichtigung von Quellen und Senken für den bergbautypischen Stoff Sulfat fokussiert. Die ermittelte Sulfatmenge in den Tagebaukippen wird über einen Doppelporositätsansatz in das Kippengrundwasser freigesetzt. Sulfatreduktion findet mit einer konstanten Rate Berücksichtigung. In Szenarien wurden veränderte Sulfatreduktionsraten und Unsicherheiten in der Stoffquelle betrachtet. Die Ergebnisse zeigen, dass der Austrag des ermittelten Sulfatpools mit dem Grundwasser aus den Tagebaukippen über mehr als 100 Jahre andauern wird. Daraus resultiert ein erheblicher und das Lausitzer Revier über lange Zeit prägender bergbaulicher Einfluss. Bis 2050 ist eine Verringerung der Stoffquelle auf 20 Prozent des ursprünglichen Stoffbestandes von etwa 10,4 Millionen Tonnen Sulfatschwefel zu erwarten. Im Grundwasser wird etwa im Jahr 2020 eine maximale Menge von 4 Millionen Tonnen Sulfatschwefel gelöst vorliegen, die anschließend langsam bis 2100 sinkt. Die durch Sulfatkonzentrationen über 3 mmol/L gekennzeichnete bergbaulich beeinflusste Fläche der Grundwasserkörper umfasst bis zu 750 km², was etwa 30 Prozent des Untersuchungsgebietes ausmacht. Etwa im Jahr 2030 wird eine Trendumkehr erwartet. Anschließend sinkt die Belastung sehr langsam ab. Sulfatreduktion im Abstrom als auch in den Tagebaukippen an sich kann einen erheblichen Einfluss auf die Austragsdauer als auch auf die Größe der Sulfatfahne haben. Allerdings fehlen insbesondere für die Tagebaukippen belastbare Informationen zu repräsentativen Umsatzraten.

Schlussfolgerungen

Mit der vorliegenden Bearbeitung war es erstmalig möglich, Aussagen zur erwarteten Beschaffenheitsentwicklung im Grundwasser in Folge des bergbaulichen Einflusses flächendeckend für das gesamte Umfeld der nicht mehr aktiven Tagebaue des Niederlausitzer Reviers zu treffen. Als Bewertungsgrundlage wurde die geogene gelöste Sulfatmenge im Grundwasser abge-

schätzt und mit der Bergbaubedingten Entwicklung verglichen. Die Erwartung einer sich aus den Ergebnissen ergebenden Trendumkehr im Jahr 2030 und die anhaltend hohe Belastung bis zum Jahr 2100 zeigen, dass eine schnelle zum Zeitplan der EG-WRRL passende Verbesserung nicht zu erwarten ist. Die Erreichung eines guten chemischen Zustandes des Grundwassers ist innerhalb der durch die EG-WRRL definierten Frist von 15 Jahren nicht wahrscheinlich. Die Verlängerung um weitere 12 Jahre würde vermutlich auch keine grundlegende Verbesserung der Situation bringen. Denn eine Verlängerung ist nur möglich, „sofern sich der Zustand des beeinträchtigten Wasserkörpers nicht weiter verschlechtert“. Die Ergebnisse der Transportmodellierung deuten aber auf eine deutlich spätere Trendumkehr hin. Außerdem wird laut den Prognosen auch innerhalb der verlängerten Frist bis 2027 kein guter chemischer Zustand im Grundwasser erreicht werden.

Auf Grund der Dimension der bergbaulichen Belastung bezüglich betroffener Fläche und gelöster Stoffmenge können technische Maßnahmen nur lokal Verbesserungen erzielen. Eine großräumige Behandlung der betroffenen Grundwasserkörper oder der Quelle erscheint unverhältnismäßig und kaum realisierbar. Auf Grund der hydrologischen und hydraulischen Bedingungen wäre dafür ein Behandlungszeitraum von vermutlich mehreren Jahrzehnte erforderlich. Ein möglicher Ausweg wäre die Definition weniger strenger Umweltziele im Sinne der EG-WRRL. Diese ließen sich mit der durch den Bergbau entstandenen „erheblichen Beeinträchtigung der Grundwasserkörper durch menschliche Tätigkeit“ begründen. Dem folgend könnte eine bergbaulich verursachte erhöhte zulässige Sulfatkonzentration für die Bergbauregion Lausitz definiert werden. Damit könnte der Konflikt zwischen der sich entwickelnden Grundwasserbeschaffenheit und den Anforderungen an die Wassergüte der Grundwasserkörper als Schutzgut für einen großen Teil des Gebietes vermieden werden. Negative Auswirkungen des bergbaulich belasteten Grundwassers auf andere Schutzgüter, wie zum Beispiel Oberflächengewässer, blieben davon unberührt und müssten weiterhin vermieden oder gemindert werden.

Die Folgen der sich entwickelnden bergbaulichen Belastung des Grundwassers auf die Fließgewässer des Bergbaureviers sind teilweise erheblich. So muss mit einem zusätzlichen bergbaulich verursachten diffusen Stoffeintrag von 7.900 Tonnen Sulfatschwefel pro Jahr gerechnet werden. Eine Trendumkehr ist laut den Berechnungen vorerst nicht zu erwarten. Dabei ist ein Teil der Einträge der aus dem Grundwasserwideranstieg resultierenden wiederkehrenden Bedeutung der Fließgewässer als Vorfluter geschuldet. Damit werden die Fließgewässer zusätzlich zu den direkten Einleitungen aus der Grubenentwässerung der aktiven Tagebaue und den Tagebauseen besonders in Trockenzeiten mit Niedrigwasserabfluss spürbar durch das Grundwasser belastet. Die tatsächliche Ausprägung der resultierenden Sulfatkonzentration hängt stark von der zukünftigen klimatischen Entwicklung in der Region ab. Je geringer die Niederschläge in der Region und in den Einzugsgebieten der betroffenen Fließgewässer ausfallen, desto größer wird der Anteil des Grundwasserzustroms an deren Abfluss. Damit können aus der eingetragenen Fracht hohe Konzentrationen an bergbautypischen Stoffen resultieren, die einerseits die Fauna und Flora der Fließgewässer belasten und andererseits die Gewässernutzung einschränken können. Prägnantes Beispiel für letzteres ist die Trinkwassergewinnung aus dem Uferfiltrat der Spree für Berlin. Steigende Sulfatkonzentrationen in der Spree verteuern die Trinkwasseraufbereitung und könnten letztendlich eine Einstellung aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfordern. Damit wird deutlich, welche Rolle die Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächengewässer

Grund- und Oberflächengewässer spielen und welches Ausmaß die bergbauliche Belastung annehmen kann.

Die dargestellte und in Softwaremodulen umgesetzte Methodik ermöglichte die umfassende Betrachtung der Folgen des Braunkohlentagebaues für die Beschaffenheit von Grundwasser und Oberflächengewässern. Dies beginnt mit der Inventarisierung des ursprünglichen Stoffbestandes in den Tagebaukippen, geht über die stoffbestandsverändernden Prozesse wie Sulfidoxidation und Sulfatreduktion und dem Austrag der Stoffe mit dem Grundwasser aus den Tagebaukippen bis zum Eintrag in die Fließgewässer. Damit wird der gesamte Zeitraum vom Beginn des Tagebaues, über dessen Schließung bis hin zu den Spätfolgen geschlossen betrachtet. Der Ansatz wurde für die Betrachtungsebene eines Bergbaureviers entwickelt, um eine tagebauübergreifende Betrachtung der grundwasserbezogenen Bergbaufolgen für eine ganze Region ermitteln zu können. Dadurch erst wird ein Verständnis für die Gesamtbelastung des betrachteten Raumes und die Identifizierung besonders problematischer Bereiche mit hohen Gefahren für Schutzgüter möglich. Dies ist unter anderem eine Voraussetzung für einen regional optimierten Mitteleinsatz zur Sanierung und Gefahrenabwehr.

Die dargestellte Methodik zeichnet sich durch einen hohen Automatisierungsgrad, eine einfach und überschaubar gehaltene Datenstruktur und eine die erforderlichen Prozesse berücksichtigende praxisorientierte Methodik aus. Auf Grund der Größe des Untersuchungsgebietes und angepasst an die häufig verfügbare Datenlage erfolgte die Begrenzung der betrachteten Prozesse auf die wesentlichen Einflussfaktoren. Die Bearbeitung basiert auf bereits existierenden Daten, die im Zuge der Erkundung gesammelt wurden. Die Aufbereitung und Nutzung dieser Informationen macht eine Ressourcenschonende Bergbaufolgenabschätzung möglich. Gleichzeitig wird die Übertragbarkeit der Methodik auf andere Untersuchungsgebiete gewährleistet, da die zu Grunde liegenden Informationen im Rahmen der üblichen Explorationskampagnen gesammelt werden. Der Vergleich von Berechnungsergebnissen und Messwerten zeigte unter Berücksichtigung der räumlichen Auflösung eine gute Übereinstimmung.

Über die Anwendung auf andere Alttagebauegebiete hinausgehend wäre eine Nutzung der Methodik für aktive Tagebaue sinnvoll. Denn mit dem Verfahren wäre es möglich, frühzeitig die erwarteten Folgen für den Wasserhaushalt zu quantifizieren. Dies würde eine Optimierung der Abbau- und Verkipfungstechnologie ermöglichen, mit der die Auswirkungen auf die Wasserkörper so gering wie möglich gehalten werden. Außerdem könnten der Umfang notwendiger Rückstellungen des Unternehmens besser geplant und behördliche Vorgaben für den Bergbautreibenden stärker an vor Ort gegebene Möglichkeiten angepasst werden. Weiterhin wäre die Nutzung des Verfahrens bereits in der Erkundungsphase möglicher Abbauegebiete sinnvoll. Im Vorhinein können Folgen für die Umwelt an verschiedenen Standorten abgeschätzt und miteinander verglichen werden. Basierend auf den Ergebnissen wäre die Auswahl des optimalen Standortes auch nach den erwarteten Sanierungs- und Sicherungskosten möglich. Zumal eine Bergbaubegleitende Anwendung der vorgestellten Methode in der Lage wäre, viele der diskutierten und häufig aus Datenmangel resultierenden Unsicherheiten zu minimieren. Der Einsatz des Verfahrens im aktiven Tagebau könnte somit zu einer umweltverträglicheren Rohstoffförderung beitragen.

Liste der Veröffentlichungen

- GRAUPNER, BASTIAN; KOCH, CHRISTIAN; PROMMER, HENNING & WERNER, FLORIAN (2009): Meso-scale quantification of the pollutant inventory of a former lignite mining district, *Science of the Total Environment* (submitted)
- GRAUPNER, BASTIAN; KOCH, CHRISTIAN & WERNER, FLORIAN (2009): Prognose des räumlich verteilten AMD Gefährdungspotenzials eines Bergbaureviers basierend auf großräumigen Transportsimulationen, *Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Heft 63, 121
- GRAUPNER, BASTIAN; KOCH, CHRISTIAN & WERNER, FLORIAN (2009): Evaluation of superimposed discharge into groundwater in a former lignite mining district by regional scale modeling, Paper presented at *Securing the Future and 8th ICARD*, June 23-26, 2009, Skellefteå, Sweden
- GRAUPNER, BASTIAN; KOCH, CHRISTIAN, BENTHAUS, FRIEDRICH-CARL & WERNER, FLORIAN (2008): Das Lausitzer Revier im Spannungsfeld bergbaulicher Beeinflussung des Grundwassers und rechtlicher Rahmenbedingungen, *Wissenschaftliche Mitteilungen der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie*, 37, 11-18
- Koch, Christian; Graupner, Bastian & Werner, Florian (2008): Pilotversuch zur Wasserbehandlung im Tagebausee Burghammer unter Verwendung von CO₂ und Braunkohlenfilterasche, *Wissenschaftliche Mitteilungen der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie*, 37, 31-37
- Reichel, Michaela; Bergmann, Christian; Graupner, Bastian; Koch, Christian & Werner, Florian (2008): Beschaffenheitsprognose für Sumpfungswässer am Beispiel des Tagebaues Vereinigtes Schleenhain, *Wissenschaftliche Mitteilungen der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie*, 37, 81-88
- GRAUPNER, BASTIAN; KOCH, CHRISTIAN, WERNER, FLORIAN (2008): Can EU-WFD be applied to former lignite mining districts? A case study for the Lausitz mining district (Germany), Nada Rapantova & Zbynek Hrkal (Eds.), *Mine Water and the Environment, Proceedings of the 10th IMWA Congress 2008*, 521-524
- KOCH, CHRISTIAN; GRAUPNER, BASTIAN & WERNER, FLORIAN (2008): Pit lake treatment using fly ash deposits and carbon dioxide, Nada Rapantova & Zbynek Hrkal (Eds.), *Mine Water and the Environment, Proceedings of the 10th IMWA Congress 2008*, 579-582
- WERNER, FLORIAN; EULITZ, KATJA; GRAUPNER, BASTIAN & MÜLLER, MIKE (2008): Pit lake Baerwalde revisited: Comparing predictions to reality, Nada Rapantova & Zbynek Hrkal (Eds.), *Mine Water and the Environment, Proceedings of the 10th IMWA Congress 2008*, 623-626
- GRAUPNER, BASTIAN; KOCH, CHRISTIAN, WERNER, FLORIAN & BENTHAUS, FRIEDRICH-CARL (2007): Großräumige Sulfatfreisetzung durch sekundäre Pyritoxidation im Lausitzer Bergbaurevier, *Wissenschaftliche Mitteilungen der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie*, 35, 143-150
- GRAUPNER, BASTIAN; WERNER, FLORIAN & LUCKNER, LUDWIG (2007): Prognose der bergbaubedingten Versauerung und Mineralisation des Grundwassers und Berücksichtigung des geogenen Stoffinventars und geochemischer Reaktionen, in: Drebenstedt & Struzina (Editors)

Management bergbaubedingten Säurepotenzials, TU Bergakademie Freiberg, 1. Auflage, Freiberg, ISBN:978-3-86012-327-0, 52-55

- KOCH, CHRISTIAN; GRAUPNER, BASTIAN & WERNER, FLORIAN (2007): Der Einsatz von CO₂ und Alkalien zur Behandlung schwefelsaurer Tagebaufolgeseen, Wissenschaftliche Mitteilungen der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie, 35, 133-141
- GRAUPNER, BASTIAN (2006): Large Scale Transport Simulation to Evaluate the Migration of Solutes from Mining Wastes, Book of Abstracts, 6. Workshop Porous Media, 30
- GRAUPNER, BASTIAN & EULITZ, KATJA (2006): Geologische Strukturmodellierung als Grundlage für die Grundwassermodellierung, Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 50, 50
- GRAUPNER, BASTIAN; WERNER, FLORIAN; BÜRGER, STEPHAN & BENTHAUS, FRIEDRICH-CARL (2006): „Abschätzung der Sulfatgehalte Lausitzer Braunkohlenkippen mit Hilfe von Raum- und Stoffbilanzmodellen“, Wissenschaftliche Mitteilungen der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie, 31, 263-270
- SCHIPEK, MANDY; GRAUPNER, BASTIAN; MERKEL, BRODER; WOLKERSDORFER, CHRISTIAN & WERNER, FLORIAN (2006): „Neutralisationspotential von Flugaschen – Restseesanie rung Burghammer“, Wissenschaftliche Mitteilungen der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie, 31, 125-132
- WERNER, F., GRAUPNER, B., MERKEL, B., WOLKERSDORFER, C. (2006): Assessment of a Treatment Scheme for Acidic Mining Lakes using CO₂ and Calcium Oxides to Precipitate Carbonates, Proceedings of the 7th ICARD (International Conference on Acid Rock Drainage), 2344-2353
- WERNER, F., MÜLLER, M., GRAUPNER, B. (2006): Predicted and Observed Water Quality Data from the Coal Mine Pit Lake Bärwalde, Lausitz, Germany. Proceedings of the 7th ICARD (International Conference on Acid Rock Drainage), 2333-2343
- GRAUPNER, BASTIAN; BENTHAUS, FRIEDRICH-CARL; BÜRGER, STEPHAN & WERNER, FLORIAN (2005): „Implications of EU-WFD for the East German Post Mining Landscape Lausitz: coping with a sparse knowledge of the underground“, *Limnologia*, 35, 199-205
- GRAUPNER, BASTIAN; BENTHAUS, CARL-FRIEDRICH; BÜRGER, STEPHAN & WERNER, FLORIAN (2004): „Implications of EU-WFD for the East German Post Mining Landscape Lausitz: coping with a sparse knowledge of the underground“, Proceedings of the 11th Magdeburg Seminar on Waters in Central und Eastern Europe
- GRAUPNER, BASTIAN; BÜRGER, STEPHAN & WERNER, FLORIAN (2004): „Geochemische Prognose des Stoffbestandes Lausitzer Braunkohlekippen unter Nutzung von 3D-Strukturmodellen“, Tagungsband zur GeoLeipzig 2004, Tagung der DGG und GGW, in Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 34, S. 207
- WERNER, F.; MUELLER, M. & GRAUPNER, B. (2004): „Groundwater surface water interaction of a post lignite mining lake in Germany and its relevance for the local water management“, IMWA-Symposium Mine Water 2004, Newcastle Upon Tyne, 19-23. September 2004
- WERNER, F.; MUELLER, M.; BILEK, F. & GRAUPNER, B. (2004): „Modeling of pollutant fluxes in an East German lignite mining area to predict water quality of pit lakes“, Pit Lakes 2004, EPA Conference, Reno, 16-18. November 2004

GRAUPNER, BASTIAN & GLÖCKNER, MICHAEL (2003): „Reaktive Stofftransportmodellierung mit MODCHEM“, Freiburger Forschungsforum, 54. Berg- und Hüttenmännischer Tag, Tagungsband Kolloquium 3, 18.-20.06.2003

WERNER, F.; BILEK, F., BÜRGER, S., GRAUPNER, B. & LUCKNER, L. (2003): „Die Trennung des geologischen Strukturmodells vom Simulationsmodell bei der Grundwassermodellierung – ein Weg zur effektiven Nutzung der Kenntnisse zur regionalen Geologie“, Freiburger Forschungsforum, 54. Berg- und Hüttenmännischer Tag, Tagungsband Kolloquium 3, 18.-20.06.2003

Momentan in Bearbeitung

GRAUPNER, BASTIAN, KOCH, CHRISTIAN; PROMMER, HENNING AND WERNER, FLORIAN: The consequences of rising groundwater table in a former mining district on diffuse sulphate input into a river system. In Preparation for Environmental Science & Technology