

# Abschätzung der Sulfatgehalte Lausitzer Braunkohlenkippen mit Hilfe von Raum- und Stoffbilanzmodellen

Bastian Graupner<sup>1</sup>, Florian Werner<sup>1</sup>, Stephan Bürger<sup>1</sup>, Friedrich-Carl Benthaus<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V., Meraner Straße 10, 01217 Dresden, bgraupner@dgfz.de,

<sup>2</sup>LMBV mbH, Knappenstraße 1, 01968 Senftenberg

Die Beschaffenheitsentwicklung von Grund- und Oberflächenwasserkörpern wird in der Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaft zu einem erheblichen Teil durch Stoffausträge aus Tagebaukippen beeinflusst. Um diesen langfristigen Einfluss abschätzen zu können, muss die Stoffquelle quantifiziert werden. Dazu wurde aus Bohrungen der Vorfelderkundung ein geologisches Modell für verschiedene Zeitpunkte erstellt. Der geometrische Vergleich lieferte Informationen über die Anteile der Modellschichten an den Tagebaukippen. Kombiniert mit deren geochemischen Eigenschaften konnte daraus die Zusammensetzung der Tagebaukippen abgeleitet werden. Der Stoffgehalt wird hauptsächlich durch den Grundwasserleiter 400 und die Hangendschluffkomplexe bestimmt. Der Vergleich mit detaillierter bearbeiteten geologischen Modellen von Teilgebieten ergab Abweichungen von 5 bis 10 %, die unter Berücksichtigung der Größe des Untersuchungsgebietes als gut eingestuft werden können.

Ground- and surface water quality in the Lausitia mining area is often influenced by seepage from brown coal mining dumps. Estimating the long time influence must be based on quantifying the inventory. Pre-mining boreholes were used for creating a geological model for different times. Comparing the models leads to information about the portion of different model layers in the dumps. Combined with geochemical properties it becomes possible to calculate the composition of the dumps. The matter content is mainly influenced by the model layer just above the coal seam (aquifer 400 and silt complexes). Deviations of the results from more detailed geological models of example areas are within a range of 5 to 10 percent, which is good compared to the dimension of the research area.

## 1 Einleitung

Das Niederlausitzer Bergbaurevier wurde intensiv durch den seit über 100 Jahren andauernden Braunkohletagebau überprägt. Im Zeitraum der intensivsten Bergbautätigkeit (1950 bis 1989) wurden rund 5 Mrd. Tonnen Braunkohle gefördert (SKW 2005). Dies führte bei einem mittleren Abraum-Kohle-Verhältnis von 5:1 zur Entstehung einer Vielzahl großflächiger Tagebaukippen, die je nach gewählter Bezugsfläche etwa 15 Prozent des Niederlausitzer Bergbaureviers einnehmen (GRAUPNER *et al.* 2005). Mit der Wiedervereinigung mussten die meisten Tagebaue geschlossen werden und die LMBV mbH wurde mit deren Sanierung beauftragt.

Die Umlagerung der Deckschichten und der damit ermöglichte Kontakt mit Sauerstoff führte bergbautypisch zu intensiven Pyritoxidationsprozessen und der einhergehenden Freisetzung von Eisen und Sulfat. Durch das Ende der Wasserhaltung in den geschlossenen Tagebauen füllt sich der entstandene Grundwasserabsenkungstrichter wobei im ansteigenden Grundwasser die Produkte der Pyritoxidation gelöst und transportiert werden. Oberflächengewässer im Abstrom der

Tagebaukippen sind damit einem bergbaulich belasteten Grundwasserzustrom ausgesetzt, der ihre Entwicklung nachhaltig negativ beeinflussen kann.

Um die Auswirkungen der Tagebaukippen auf den umgebenden Grundwasserleiter und auf die betroffenen Oberflächengewässer abschätzen zu können, sind Kenntnisse über den verfügbaren Stoffpool in den Kippen erforderlich. Genaue Informationen über die Stoffgehalte sind nicht flächendeckend vorhanden. Erschwert wird die Untersuchung durch die Heterogenität der Tagebaukippen. Es müssten daher Bohrungen in hoher Dichte geteuft und beprobt werden um einen mittleren Stoffgehalt abschätzen zu können.

Alternativ dazu bietet sich eine Bilanzierung der Stoffgehalte entsprechend der Ausgangssituation und dem Ablauf der Kohleförderung an. Das verwendete Konzept basiert auf Arbeiten von HOTH (2002) und BERGER (2000) und wurde in seiner grundlegenden Struktur an einem Beispielgebiet entwickelt (GRAUPNER *et al.* 2005).

Im Folgenden soll das für das gesamte Untersuchungsgebiet verwendete Konzept und die dazu notwendigen Ausgangsdaten vorgestellt werden.

Außerdem erfolgt die Präsentation ausgewählter Ergebnisse.

## 2 Konzept der Bearbeitung

Das Konzept basiert auf der ausschließlichen Verwendung existierender Daten. Damit verbunden ist die Aufarbeitung und Nutzbarmachung von Altdatenbeständen, die somit auch für zukünftige Bearbeitungen zur Verfügung stehen.

Wesentliche Kernelemente des Bearbeitungskonzeptes (Abb. 2) bilden geologische und geochemische Daten des Untersuchungsgebietes. Anhand der geologischen Informationen wurde ein historisches geologisches Modell erstellt, welches den vorbergbaulichen Zustand be-

			Stratigraphie (EMB 1985)	Modellschicht
Quartär	Holozän	Kippe		MS 1
		Geologische Bildungen	1010-1050	
	Pleistozän	Weichsel-Kaltzeit (Obere Talsande)	1910-1990	
		Lausitzer Interstadial	2000	
		Saale-III	2040-2090	
		Saale-II Nachschüttande	2140-2150	
		Saale-II Grundmoräne	2160-2180	Geschiebe- mergel → MS 3
		Saale-II Vorschüttande	2190	Feinsande → MS 4
		Saale-I Nachschüttande	2360	
		Saale-I Grundmoräne und Vorschüttande	2370-2430	Geschiebe- mergel → MS 5
	Eisler- Kaltzeit	Grundmoräne - gE2	2450-2510	
		gEln - gE2V	2520 - 2570	Grobsande → MS 6
		Grundmoräne - gEl	2580 - 2660	Geschiebe- mergel → MS 7
Tertiär	Rauoer Schichten	Flaschenton, GWL 200	3410 - 3620	
	1. Lausitzer Flözkomplex	Braunkohle	3650 - 3890	Kohle/Schluff → MS 8
	Obere Briesker Schichten	Liegendschluff	3910	
		GWL 300	3920 - 4020	Feinsande → MS 9
		Oberbegleiterkomplex	4030 - 4070	Schluff → MS 10
		GWL 400, Hangendschluffkomplex	4110 - 4270	Feinsande → MS 11
		Braunkohle	4300 - 4380	Kohle/Schluff → MS 12
	Untere Briesker Schichten	Liegendschluff	4390	
		GWL 500	4400	Mittelsande → MS 13

**Abb. 1:** Übersicht der berücksichtigten Modellschichten für das geologische Modell Lausitz.

schreibt. Das Modell definiert den Ausgangszustand und bildet damit die Basis der folgenden Berechnung. Um die unterschiedlichen geochemischen Eigenschaften quartärer und tertiärer Schichten im Modell berücksichtigen zu können, wurden 13 Modellschichten verwendet (Abb. 1). Die zeitliche Veränderung der Geologie in Folge des Bergbaues wird durch die Implementierung von Informationen zur Auskohlung und zur aktuellen Geländeoberkante berücksichtigt. Aus dem Vergleich der Raummodelle unterschiedlicher Zeitpunkte lassen sich die Volumenanteile der Modellschichten an den Tagebaukippen ableiten.

Geochemisch werden die Modellschichten mit Hilfe bodengeologischer Vorfeldgutachten charakterisiert. Diese Gutachten wurden vor Beginn des Bergbaues erstellt, um die Rekultivierbarkeit der Deckschichten abschätzen zu können. Aus der Kombination der geochemischen Eigenschaften der Modellschichten mit ihrer geometrischen Veränderung über die Zeit kann die Stoffzusammensetzung der Kippen mittels Massenbilanz ermittelt werden.

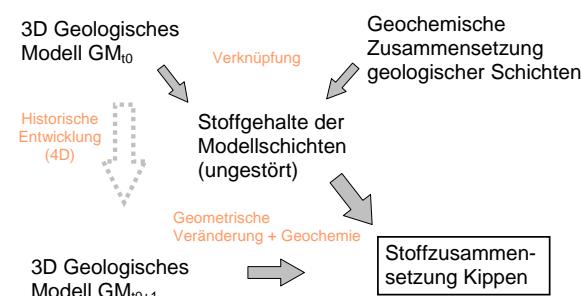
### 3 Datenaufbereitung und Modellerstellung

### 3.1 Geologische Daten

Für die Erstellung des geologischen Modells der Lausitz wurden 598 ausgewählte Bohrungen der Vorerkundung verwendet (Abb. 3). Über 75 Prozent der Bohrungen liegen innerhalb der Kohlenfelder, da diese für die Stoffbilanzierung der Tagebaukippen entscheidend sind. Die Bohrungen wurden in eine Datenbank übernommen und soweit noch notwendig anhand regionalgeologischer Informationen stratifiziert. Zur Stratifizierung fand das System der Erkundungsmethodik Braunkohle (EMB 1985) Verwendung.

### 3.2 Erstellung der geologischen Modelle

Auf Grund der Größe des Untersuchungsgebietes (2500 km<sup>2</sup>) ist eine vereinfachte Bearbeitung der geologischen Modelle erforderlich. Dies schließt die Verwendung eines begrenzten Satzes an ausgewählten Bohrungen ein. Dabei liegt die Annahme zu Grunde, dass die Lagerungsverhältnisse innerhalb der ehemaligen Tagebaue relativ homogen sind und durch wenige Bohrungen beschrieben werden können. In der Auswertung der Ergebnisse wurde diese Annahme bestätigt, worauf im Kapitel 4 eingegangen wird.



**Abb. 2:** Konzept zur Abschätzung der Stoffgehalte von Tagebaukippen.

Im Gegensatz zu den Lagerungsverhältnissen der Kohlenfelder ist die Anzahl der Bohrungen unzureichend für die Abbildung der Übergänge Kohlenfelder – quartäre Rinnen. Zur Überwindung dieser Limitierung und der geeigneten Abbildung quartärer Rinnen im Modell wurde ein Modul entwickelt, welches die existierenden Verbreitungsgrenzen der Kohlenfelder (2. Lausitzer Flöz) als zusätzliche Information nutzt. Dazu werden parallel zu der Verbreitungsgrenze 2 Punktreihe erzeugt, zwischen denen der Übergang erzwungen wird. An den regionalgeologischen Schnitten von NOWEL (1992) wird deutlich, dass die Rinnen meist sehr steil einfallen. Das 2. Lausitzer Flöz wird häufig bereits nach 300 m horizontaler Distanz durchbrochen. An diesen Werten wurde der Abstand der 2 Punktreihe orientiert. Schematisch ist die Nutzung der Verbreitungsgrenzen in Abb. 4 dargestellt. Das historische geologische Modell wurde mit GMS und der Eigenentwicklung GMScconvert aus den Bohrungen und Stützstellen aufgebaut. Als Diskretisierung wurde 200 m gewählt. Durch

Einfügen der Auskohlungstiefen und der aktuellen Geländeoberkante kann das aktuelle geologische Modell mit Tagebaukippen erstellt werden (Abb. 5).

Der rasterpunktbezogene Vergleich der zeitlich gestaffelten Modelle ermöglicht die Berechnung von Volumenanteilen der Modellschichten an der Kippe als Mittelwert für eine Kippe und als ortsspezifischer Anteil.

### 3.3 Geochemische Daten

Die geochemischen Daten der bogengeologischen Vorfeldgutachten lagen teufenorientiert als Papierdaten vor. Durch Aufnahme und Stratifizierung der zugehörigen geologischen Bohrung konnte der Zusammenhang zu den Modellschichten hergestellt werden. Der Vergleich dieser historischen Daten mit neueren Angaben (VULPIUS 2004; BERGER 2000) ergab für Sulfat und Gesamtschwefel größtenteils eine gute Übereinstimmung. Da in den Vorfeldgutachten nur Angaben zum Gesamt- und Sulfatschwefel enthal-

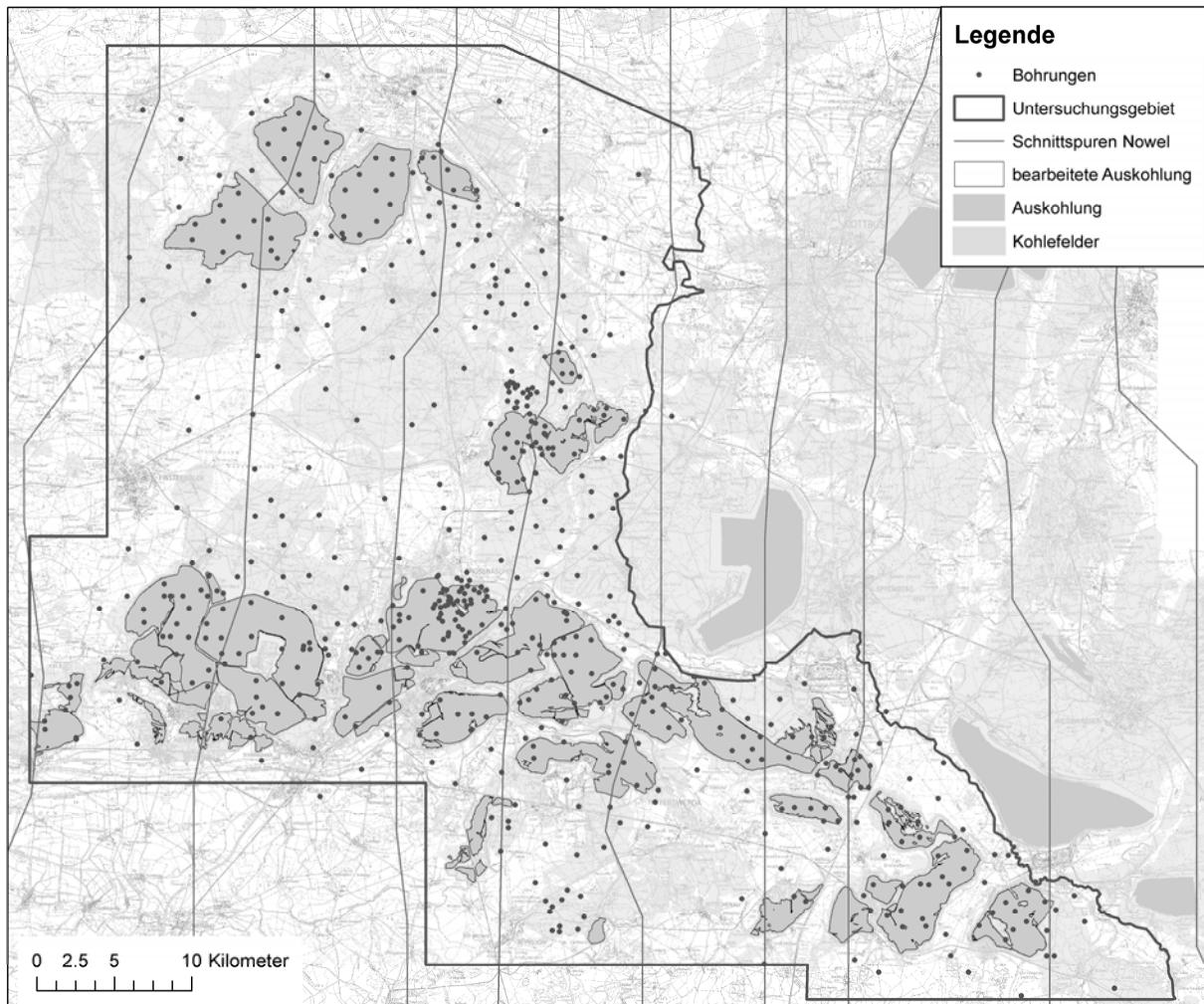
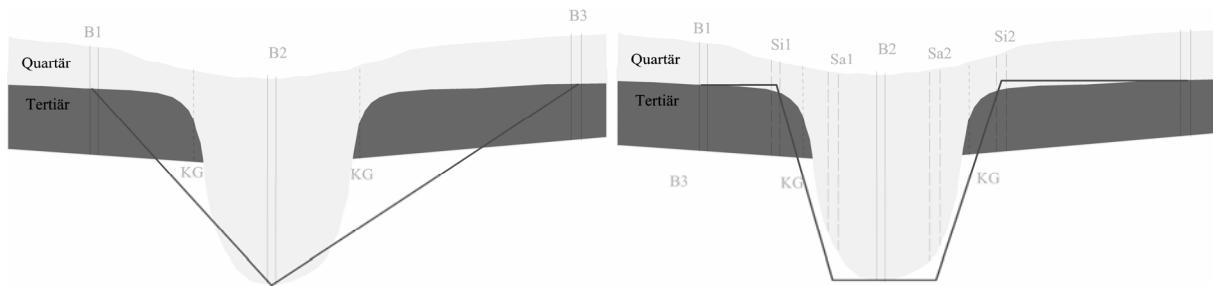
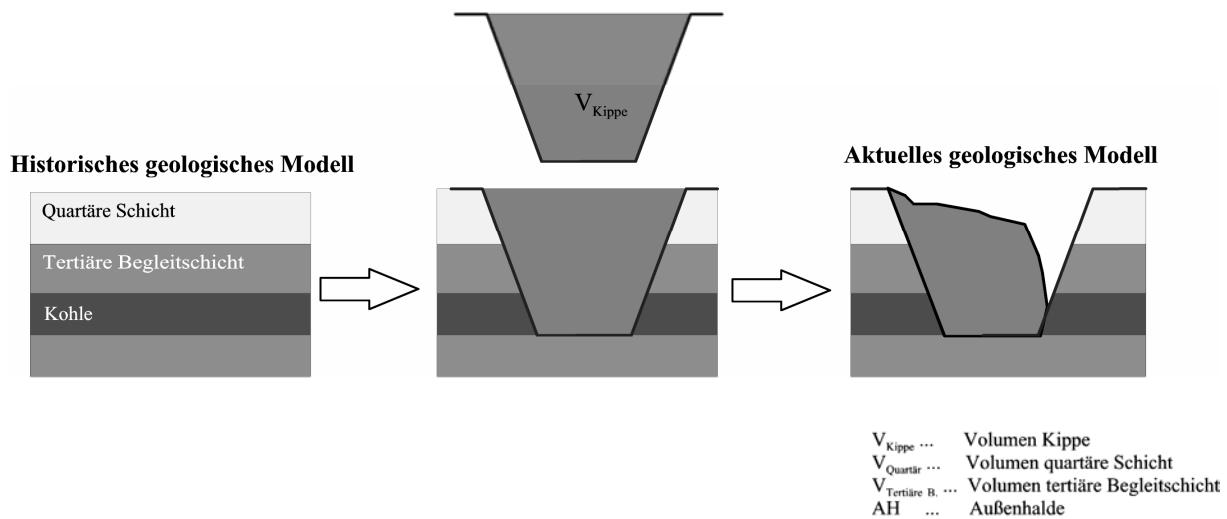


Abb. 3: Ausgewählte Bohrungen für das geologische Modell der Lausitz.



**Abb. 4:** Schematische Darstellung der Nutzung der Verbreitungsgrenzen der Kohlenfelder (KG) zur realitätsnahen Implementierung quartärer Rinnen im geologischen Modell (B...Bohrungen, Si & Sa...Stützstellen innen und außen).

#### Berechnung der Konzentration der Kippe

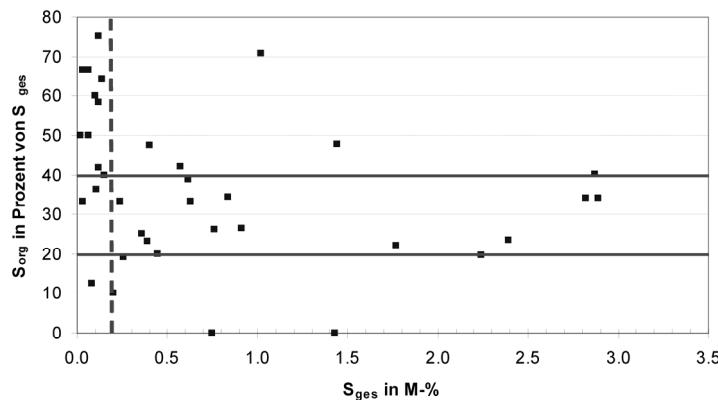


**Abb. 5:** Schema zur Implementierung der Tagebaukippe in das Historische Geologische Modell.

ten sind, müssen geeignete Annahmen zur Abschätzung des Pyritgehaltes getroffen werden. Aus den Daten von VULPIUS (2004) und BERGER (2000) geht hervor, dass sich der organische Schwefelanteil in den flözbegleitenden Schichten in einem engen Bereich von 20 bis 40 Prozent unabhängig vom Gesamtschwefelgehalt bewegt.

Der Pyritschwefel wurde als Differenz aus dem Gesamtschwefel, dem Sulfatschwefel und dem als konstant mit 30 Prozent angenommenen organischen Schwefel ermittelt.

Nach Überarbeitung der Punktdaten erfolgte modellschichtweise die Interpolation auf das verwendete Modellraster.



**Abb. 6:** Anteil des organischen Schwefels am Gesamtschwefel.  
(aus VULPIUS 2004 und BERGER 2000).

## 4 Ergebnisse der Bearbeitung

Das aktuelle geologische Modell ist beispielhaft als Schnittkreuz in Abb. 7 dargestellt.

Analysiert man die Anteile einzelner Modellschichten an den Tagebaukippen (Abb. 8), so ist eine deutliche Nord-Süd Trennung im Bereich des Grenzwalls erkennbar. Nach Nordwesten nimmt der Anteil tertiärer Schichten (Schichten 8 bis 13) an der Kippe deutlich zu. Der Südosten ist dagegen durch geringmächtige tertiäre Deckschichten gekennzeichnet. Sie machen dort meist weniger als 50 Prozent der Tagebaukippen aus, während im Nordwesten tertiäre Anteile bis 75 Prozent erreicht werden. Bereits die geometrischen Anteile der Modellschichten am Kuppenkörper unterstreichen damit die auf der jeweiligen Geologie beruhenden individuellen geochemischen Verhältnisse, die für Sanierungsbetrachtungen und Beschaffenheitsprognosen berücksichtigt werden müssen. Da Elementkonzentrationen der Modellschichten sehr unterschiedlich ausgeprägt sind, bleiben Aussagen anhand der geometrischen Anteile auf allgemeine Zusammenhänge begrenzt. Bezieht man die Stoffgehalte für die Berechnung des Einflusses der Modellschichten mit ein, so werden die Aussagen un-

gleich konkreter. Für die Schwefelgehalte zum Beispiel wird die Dominanz des Grundwasserleiters 400 und des Hangendschluffkomplexes (Schicht 11) für die Zusammensetzung der Tagebaukippen deutlich.

Auf Grund der hohen Schwefelanteile in tertiären Schichten steigt deren Einfluss auf die Kippenzusammensetzung meist auf Werte deutlich über 50 Prozent und häufig sogar über 75 Prozent. Selbst die Tagebaue Schlabendorf und Seese, deren Schicht 11 sich überwiegend aus dem GWL 400 zusammensetzt und damit bezogen auf Schwefel relativ gering belastet ist, bestimmt die Schicht 11 mit einem Anteil über 75 Prozent das Bild. Ursache dafür ist die große Mächtigkeit der tertiären Grundwasserleiter und die geringe Relevanz quartärer Deckschichten. Die ermittelten Sulfatgehalte der Tagebaukippen sind in Abb. 9 dargestellt. Dabei handelt es sich um Mittelwerte für den gesamten Kuppenkörper ohne Berücksichtigung der Pyritoxidation. Der Einfluss der Pyritoxidation wurde basierend auf BERGER (2000), UHLMANN *et al.* (1999), WISOTZKY (1994) und HOTH (2002) als mittlere Umsatzrate von 7 Prozent für den gesamten Kuppenkörper berücksichtigt (siehe auch GRAUPNER 2005).

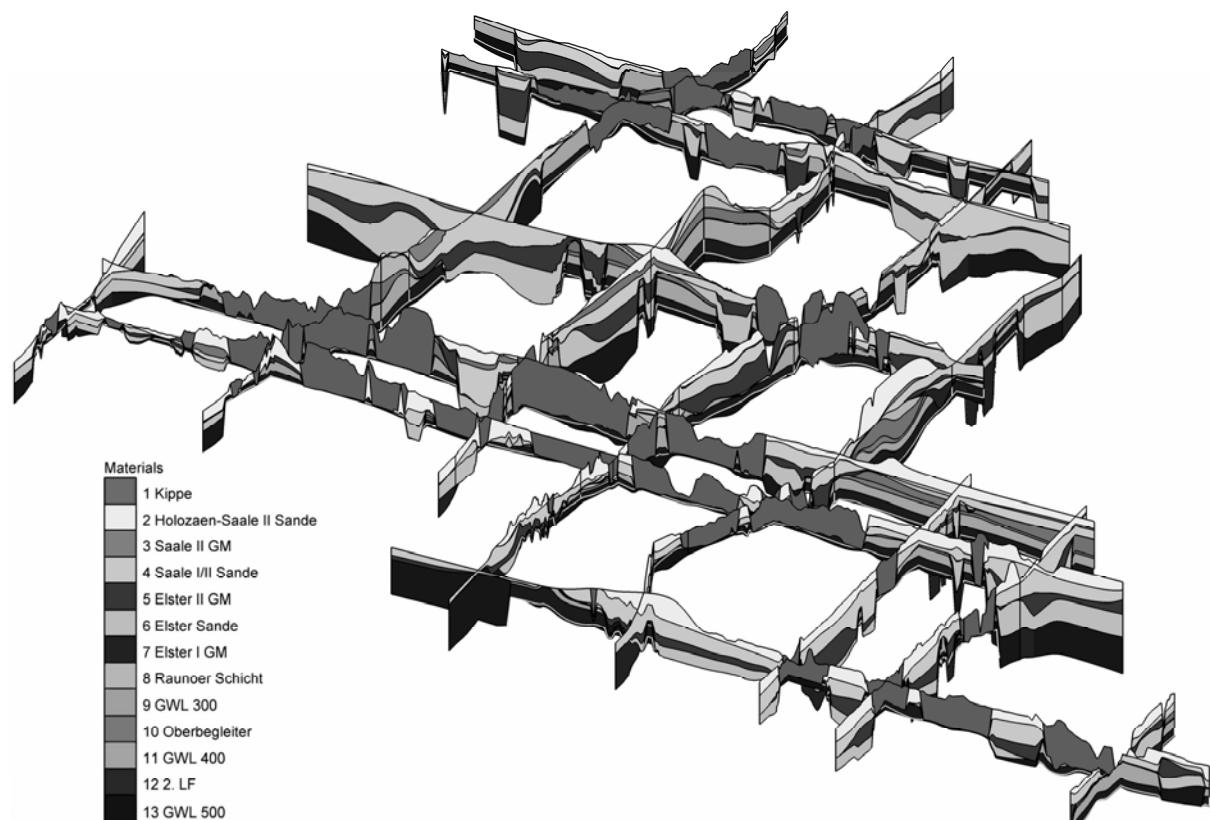
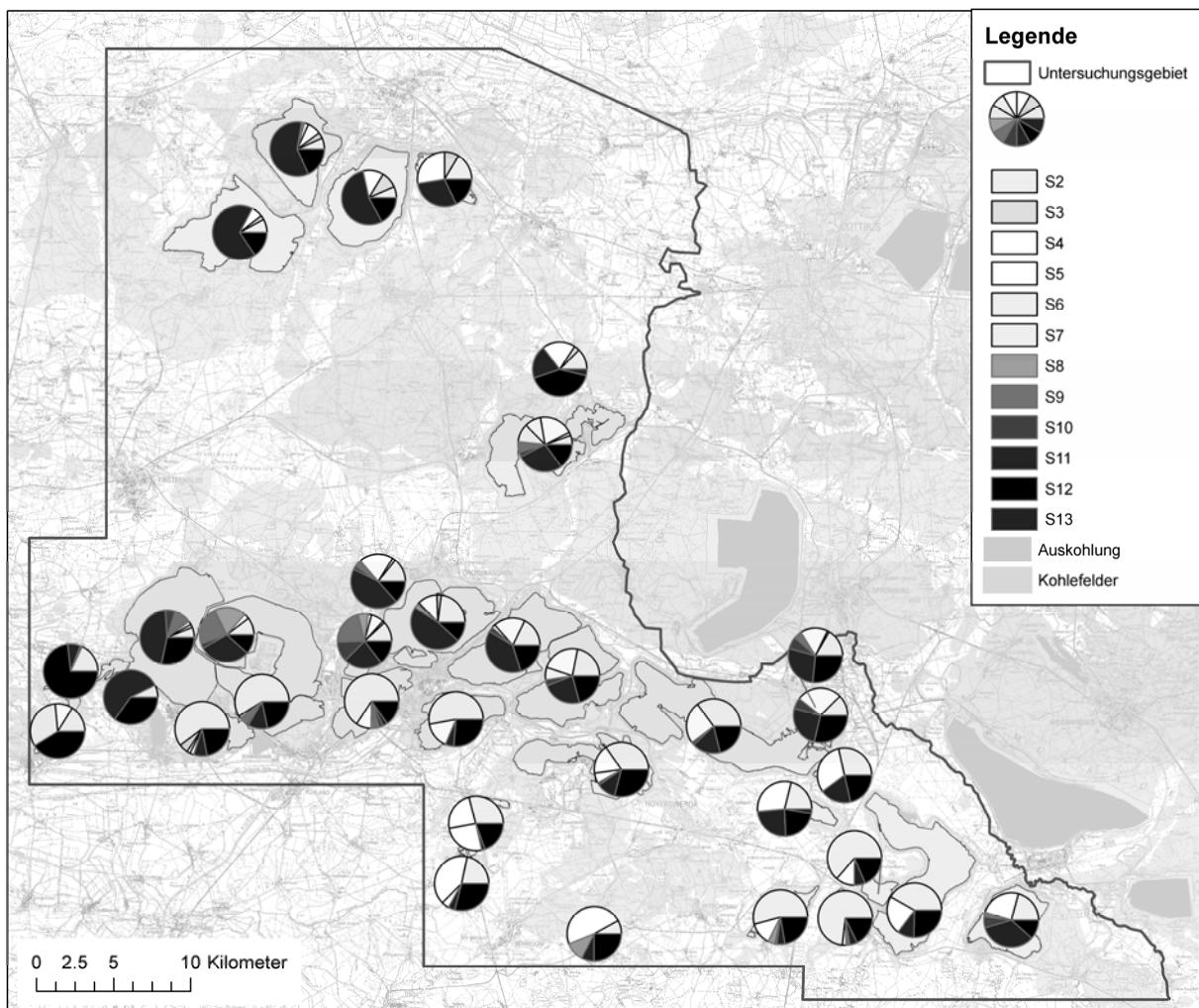


Abb. 7: Schnittkreuz durch das aktuelle geologische Modell der Lausitz.

Um die Unsicherheiten der Bearbeitung bewerten zu können, wurden Vergleiche mit den detaillierter bearbeiteten Beispielsgebieten Bärwalde (GRAUPNER 2005) und Schlabendorf/Seese (nicht veröffentlicht) durchgeführt. Dabei liegen die Unterschiede hauptsächlich in der Erstellung des geologischen Modells. In den Beispielsgebieten wurden deutlich mehr Bohrungen und ein kleineres Raster verwendet. Die Abbildung der realen Geologie im Modell war daher genauer und detailreicher möglich. Wenn die gleichen geochemischen Eigenschaften der Modellschichten zur Berechnung der Kippenzusammensetzung für die Modellvarianten verwendet werden,

können aus auftretenden Differenzen Rückschlüsse auf den Einfluss der Geologie in dem verwendeten Konzept gezogen werden. Der Vergleich der ermittelten mittleren Schwefelkonzentrationen ergab Unterschiede von 5 bis 10 Prozent, je nach Tagebau. Aus diesen geringen Differenzen folgt, dass die Methodik zur Erstellung des geologischen Modells aus einer begrenzten Zahl ausgewählter Bohrungen geeignet für die Bearbeitung war. Die zugrunde liegende Annahme der relativ homogenen Lagerungsverhältnisse hat sich damit bestätigt.



**Abb. 8:** Volumenanteile der Modellschichten an den Tagebaukippen.

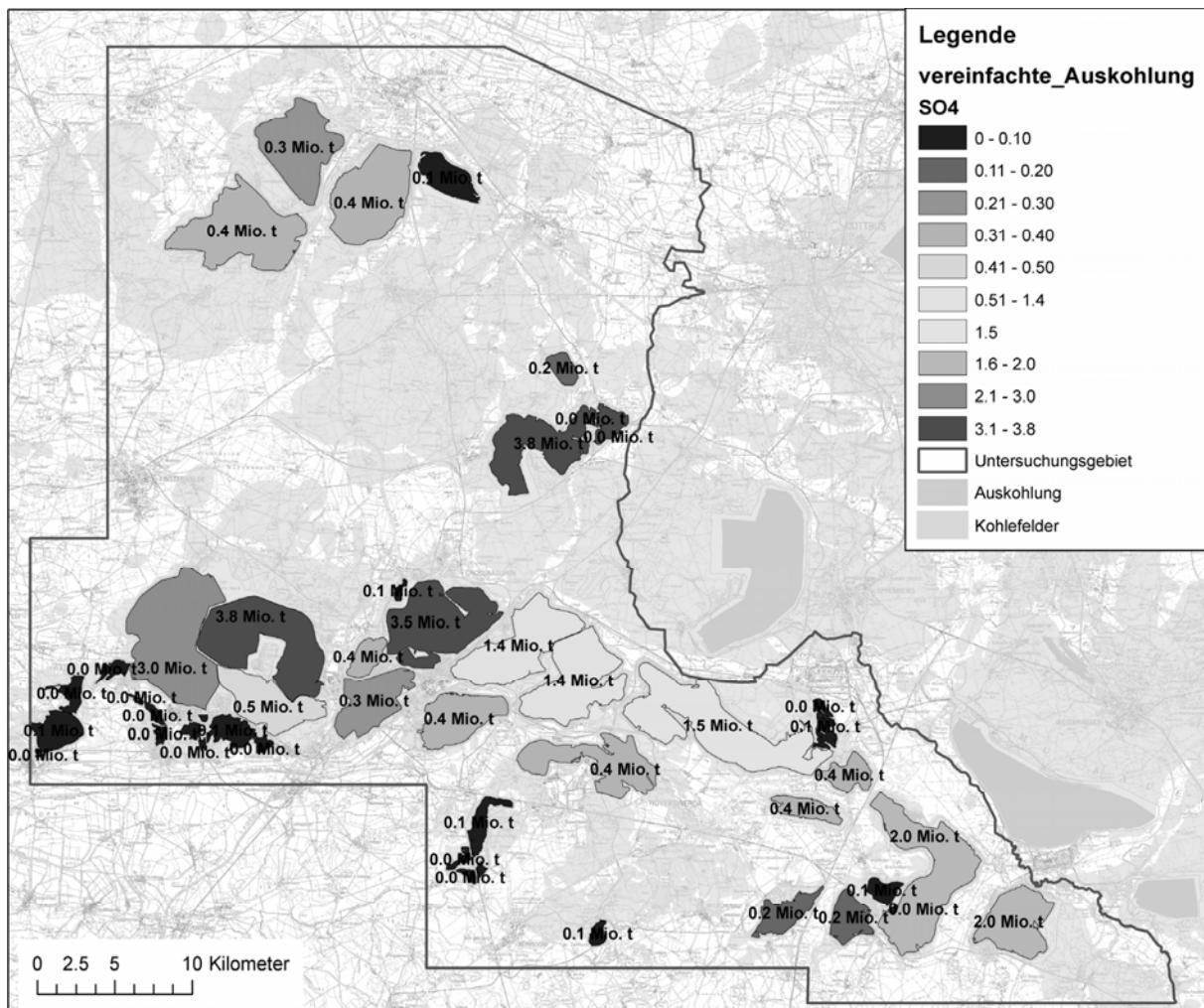


Abb. 9: Berechnete mittlere Sulfatgehalte der Tagebaukippen als Ergebnis der Massenbilanzierung inklusive der als mittlerer Umsatz berücksichtigten Pyritoxidation für den Zeitpunkt der Kipperstellung.

## 5 Schlussfolgerungen

Mit dem dargestellten Konzept ist es möglich, den Stoffbestand von Tagebaukippen aus existierenden geologischen und geochemischen Daten abzuleiten. Dies ist praktisch am Beispiel der Lausitzer Bergaufgelandshaft umgesetzt worden. Als Ergebnis steht eine Abschätzung über die Größenordnung der zu berücksichtigenden Stoffquellen zur Verfügung, die für die Beschaffenheitsprognose von Grund- und Oberflächenwässern genutzt werden könnte. Damit wurde sichergestellt, dass die aus dem Bergbau stammende Informationsbasis auch für die Sanierung genutzt werden kann. Das Vorgehen basiert auf Grund der Größe des Bearbeitungsgebietes auf Vereinfachungen. Dazu gehört die Zahl an berücksichtigten Bohrungen wie auch die angewendete Technologie im Tagebaubetrieb. Letzteres kann nur in der Detailbetrachtung einzelner Tagebaue berücksichtigt werden. Die ermittelten

Stoffgehalte der Kippen können die Basis für detaillierte Arbeiten zum Stoffaustrag aus den Tagebaukippen bilden. Ergänzend müssen dann jedoch die während der Standzeit der Kippen und beim Grundwasserwiederanstieg stattfindenden Prozesse Berücksichtigung finden.

## 6 Danksagung

Wir danken der LMBV mbH für die Finanzierung des Forschungsprojektes sowie für die vielfältige praktische Unterstützung.

## 7 Literatur

- BERGER, W. (2000). Untersuchung zu Stoffinventar und Stoffänderung durch Redoxreaktionen in Sedimenten des Niederlausitzer Braunkohlereviers – Quantifizierung von Immissionen ins abstromige Grundwasser. Dissertation Brandenburg Techn. University Cottbus, veröffentlicht in Proceedings des

- Dresdner Grundwasserforschungszentrums e. V., Dresden, Nr. 18.
- GRAUPNER, B. J., BENTHAUS, F.-C., BÜRGER, S. & WERNER, F. (2005): Implications of EU-Water Framework Directive for the East German Postmining Landscape Lausitz: Coping with a sparse knowledge of the underground. – Limnologica, 35: 199-205
- HOTH, N. (2002): Modellgestützte Untersuchungen zur Grundwassergüteentwicklung in Braunkohleabraumkippen und deren Abstrom unter Berücksichtigung natürlicher Rückhalt- und Abbauprozesse. TU Bergakademie Freiberg: Dissertation.
- NOWEL (1992): „Niederlausitzer Braunkohlenrevier – Regionalgeologische Schnitte 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 und 18“, Vattenfall Europe Mining AG, Cottbus, unveröffentlicht
- SKW (2005): Statistik der Kohlewirtschaft e.V., <http://www.kohlenstatistik.de> (05.09.2005)
- UHLMANN, W.; ARNOLD, I. & MIETZSCH, M. (1999): Abschlussbericht zur Kippenwassergüteentwicklung im Tagebau Jänschwalde, unveröffentlicht, Auftraggeber: Vattenfall Europe Mining AG, Senftenberg
- VULPIUS, R. (2004): Untersuchungen zum Stoffbestand von Deckgebirgs-Substraten für die Sanierungsobjekte Greifenhain und Meuro, Erarbeitet im Nachauftrag des Dresdner Grundwasserforschungszentrums e.V., Dresden
- WISOTZKY, F. (1994): Untersuchungen zur Pyritoxidation in Sedimenten des Rheinischen Braunkohlenrevieres und deren Auswirkungen auf die Chemie des Grundwassers – in: Besondere Mitteilung zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch, 58, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen.