

U. WIEGAND¹ & G. KRÜGER²

Geochemische und mineralogische Charakterisierung von Kippensedimenten des Tagebaus Zwenkau – zeitabhängige Betrachtungen

¹ Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (UFZ), Theodor-Lieser-Straße 4, D – 06120 Halle

² GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ), Telegraphenberg, D – 14473 Potsdam

Einleitung

Im noch bis Herbst 1999 aktiven Braunkohlentagebau Zwenkau, im mitteldeutschen Raum südlich von Leipzig, wird das beim Kohleabbau anfallende Abraummateriale als Kippenfläche direkt auf das Liegende verkippt. Bis 1993 wurden die Abraumschichten bei ihrer Schüttung nicht selektiert, das heißt, die tertiären und quartären Deckschichten wurden während der Verkipfung vermischt. Erst seit 1994 fand eine Trennung der Schichten statt, so daß nur noch tertiäre Sedimente auf die Abraumförderbrückenkippe (AFB-Kippe) geschüttet wurden. Die AFB-Kippe ist demnach eine inhomogene Mischung einer großen Vielzahl von Mineralien. Grundsätzlich nimmt das Schüttungsalter von Nordosten nach Süden ab, da der Kohlenabbau fächerförmig in südlicher Richtung vorangeht.

Das tertiäre Kippenmaterial besteht hauptsächlich aus der Abfolge der Böhlener Schichten (Alter: 30 - 35 Mio. Jahre), welche aus marinen Feinsanden (Grauer Sand und Muschelsand) und Schluffen (Brauner Schluff, Bänderschlufl, Glaukonitschluff und Muschelschluff) aufgebaut sind. Die Sedimente der Böhlener Schichten sind besonders sulfidreich (1-5 %).

Im Sommer 1997 wurden auf dem Gelände des Tagebaus Zwenkau Meßpunkte in verschiedenen Förderbrückenschüttkörpern und damit in verschiedenen Schüttungsjahrgängen mittels des Global Positioning Systems (GPS) festgelegt (mittlere Abweichung ± 5 m). Diese Meßpunkte dienten gleichzeitig zur Entnahme von Bodenproben (Oktober 1997 bis Februar 1999) jeweils von der Oberfläche und aus 1 m Tiefe.

Es sollte versucht werden, eine Charakterisierung der Sedimente zu erstellen, um möglichst viele Informationen über das Kippenmaterial in Abhängigkeit vom Alter und der Lagerung zu sammeln. Zu diesem Zweck wurden die gewonnenen Kippensedimente durch klassische Verfahren der Bodenuntersuchung, wie beispielsweise die Bestimmung der pH-Werte, der Leitfähigkeiten und der Korngrößen untersucht. Weiterhin fanden geochemische Analysen der Proben mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA, Haupt-, Neben- und Spurenelemente), thermoanalytische (Kohlenstoff-, Schwefel- und Karbonatgehalt) sowie mineralogische Analysen durch Röntgendiffraktometrie (RDA) statt. Zur Bestimmung des Lösungsverhaltens der einzelnen Elemente wurden die Sedimentproben mit bidestilliertem Wasser eluiert (DIN 38414 - Teil 4) und anschließend die Kationen, Anionen und Spurenelemente analysiert.

Die extreme Heterogenität der geschütteten Sedimentkörper erschwerte die Untersuchungen wesentlich. Schon ohne weitere Analyse lassen sich die inhomogenen Schüttungsverhältnisse der Kippenlandschaft erkennen. Während sich, durch Erosion bedingt, die feineren Tone in den Schwemmlächen sammeln und dort als großflächige Ablagerungen zu Wasserstauungen führen können, verbleiben auf der Kippenoberfläche die gröberen Kiese.

Um eine repräsentative Probenahme im gesamten Tagebauggebiet durchführen zu können, wurde eine einzelne Rippe genauer untersucht. Der generelle Aufbau einer Schüttungsrippe – von Norden her flach ansteigend und nach Süden hin steil abfallend – ist in Abb. 1 dargestellt. Entsprechend den Punkten 1 bis 5 wurden Proben jeweils von der Oberfläche und aus 1 m Tiefe entnommen und untersucht. Dabei zeigte sich, daß schon innerhalb einer Rippe durch

die Heterogenität des Materials starke Schwankungen in den Meßergebnissen auftreten können.

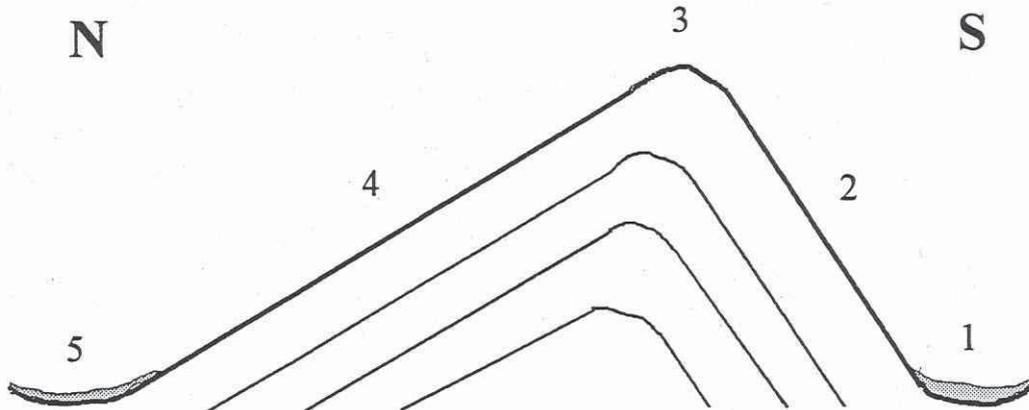


Abb. 1: Schematischer Aufbau einer Schüttungsrippe

Anhand der Voruntersuchungen ließ sich keine Position für eine optimale Beprobung finden. Um zumindest eine gute Vergleichbarkeit zu gewährleisten, erfolgte die Probenahme nur vom Top der zu untersuchenden Kippen (Position 3 in Abb. 1). Auf diese Weise konnten auch bei schlechten Witterungsbedingungen Proben gewonnen werden, was in den teilweise wassergefüllten Schwemmflächen nicht möglich war.

Ergebnisse und Diskussion

Die Kippen zeigen ein breites Korngrößenspektrum (siehe Abb. 2), was die Feldbeobachtungen weitgehend bestätigten. Während der Verkippung findet eine starke Vermischung der Sedimente des Vorfeldes statt, wodurch es primär zu einer heterogenen Zusammensetzung der einzelnen Kippen kommt, die wiederum großmaßstäblich als homogen anzusehen sind, da sie in ihrer mittleren Zusammensetzung den gesamten Abraum repräsentieren. Später kommt durch Abspülungs- und Verblasungseffekte des feinkörnigen Materials eine sekundäre Inhomogenisierung der Oberfläche der Kippenlandschaft hinzu, die zu Unterschieden in der Zusammensetzung des Kerns und der Oberfläche einer Rippe führt. Trotzdem zeigen die Kornsummenkurven der untersuchten Proben kaum signifikante Unterschiede zwischen den an der Oberfläche und den aus 1m Tiefe gewonnenen Proben. Im wesentlichen sind demnach die Effekte durch die unterschiedlichen Materialmischungen der einzelnen Kippen sehr viel größer, als daß zwischen Oberfläche und Kern einer Rippe durch die entsprechenden Korngrößenspektren unterschieden werden könnte.

Die untersuchten Proben weisen hohe Ungleichförmigkeiten auf. Berechnungen des Ungleichförmigkeitsfaktors (d_{60}/d_{10}) variieren zwischen 20 und 650. Dieser Grad an Ungleichförmigkeit ist typisch für das gesamte Kippengelände. Durch den starken Einfluß des d_{10} -Feinkornanteils bei der Berechnung ergibt sich, daß mit abnehmendem Feinkorngehalt die Ungleichförmigkeit zunimmt. Es handelt sich bei den stark ungleichförmigen Sedimentproben hauptsächlich um gemischt verkippete Sedimente (tertiäre und quartäre Schichten), in denen grobe Kiese neben feinen Tonen gleichermaßen vorliegen.

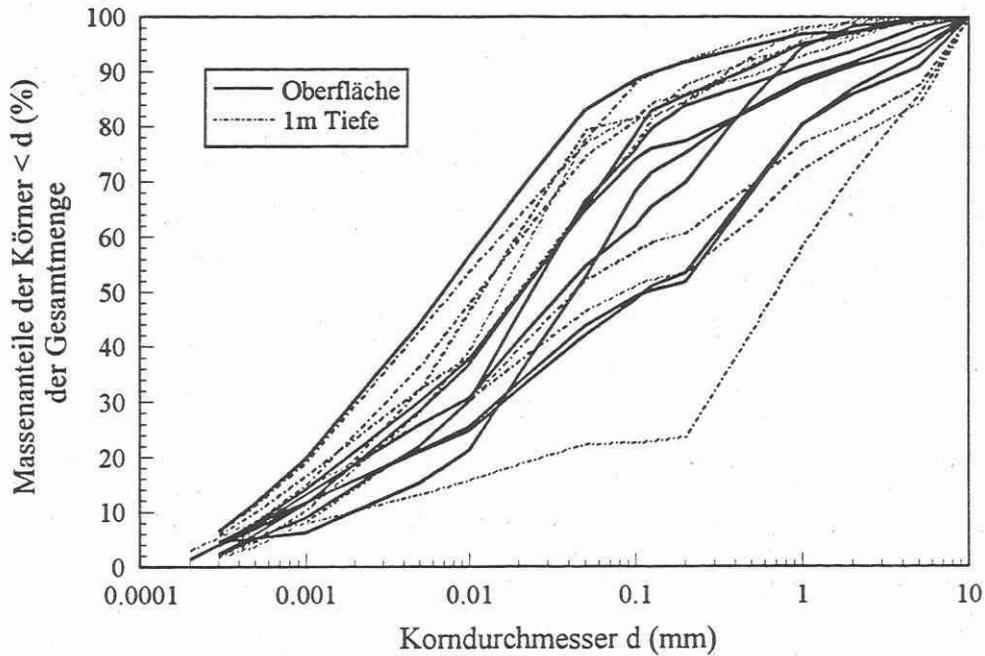


Abb. 2: Kornsummenkurven einiger Proben; durchgezogene Linien - Proben der Oberfläche; gestrichelte Linien - Proben aus 1m Tiefe

Die pH-Werte der Kippensedimente im Tagebau Zwenkau liegen im mäßig sauren bis extrem sauren Bereich. An der Oberfläche treten pH-Werte zwischen 1,6 und 5,7 und in 1m Tiefe zwischen 1,5 und 5,7 auf. Im wesentlichen gibt es keinen Unterschied zwischen dem pH-Wert an der Oberfläche und in 1m Tiefe. In Abb. 3 wird deutlich, daß es schon kurze Zeit nach der Verkippung der Sedimente zu einem starken Abfall des pH-Wertes kommt. Dabei sinkt der pH-Wert nach etwa einem Jahr bereits um mehr als 3 Einheiten.

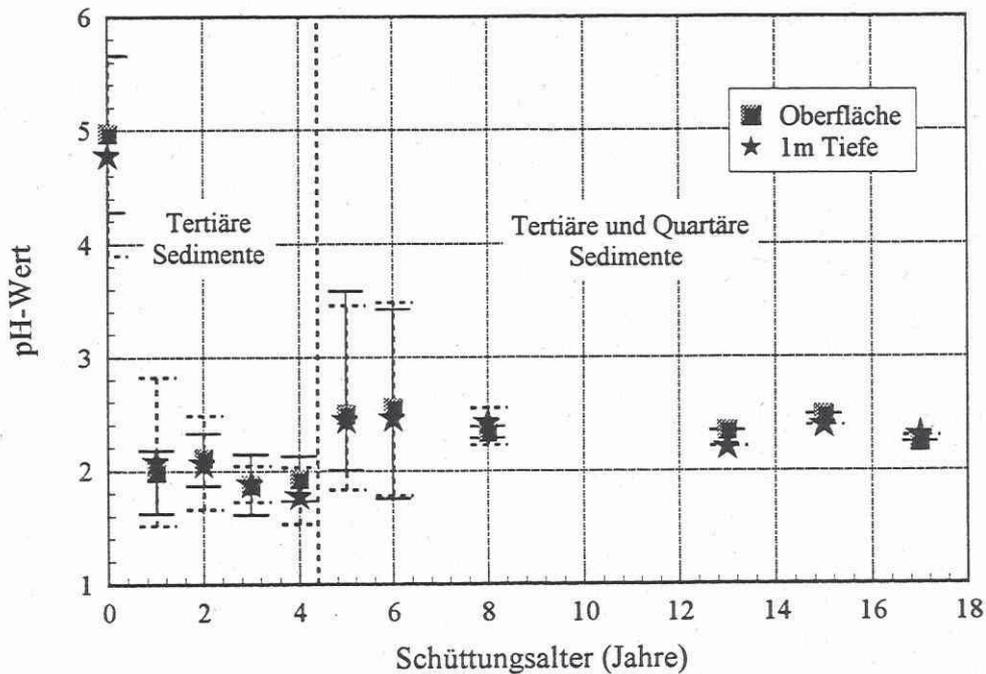


Abb. 3: pH-Werte der Kippensedimente in Abhängigkeit vom Schüttungsalter (in Jahren) im Tagebau Zwenkau

Die Verwitterung der Sedimente, hauptsächlich des Pyrits, scheint innerhalb des Kippenkörpers nicht gleichmäßig zu verlaufen, wie an den Schwankungen des pH-Wertes innerhalb eines Schüttungsjahrgangs zu sehen ist. Einen weiteren Aspekt stellen sicher auch die unterschiedlichen Ausgangskonzentrationen des Pyrits dar.

Es wurde festgestellt, daß die Sedimente mit einer helleren Färbung gegenüber den Sedimenten mit dunklerer Färbung einen höheren pH-Wert ($>2,5$) besitzen, was auf ihren größeren quartären Anteil zurückzuführen ist. Je höher der Anteil quartärer Sedimente im Kippenmaterial ist, um so mehr kann eine Pufferung des pH-Wertes durch Karbonate und andere Minerale wirken. In Abb. 3 ist dieser Sachverhalt gut zu erkennen. In den gemischt geschütteten Kippen pegelt sich der pH-Wert etwas höher ein als in den rein tertiär geschütteten Kippen. Dieser Übergang in der Schüttungsart läßt sich durch einen pH-Sprung von durchschnittlich 0,5 Einheiten zwischen den derzeit 4 und 5 Jahre alten Sedimenten nachvollziehen.

Um die starke pH-Wert-Absenkung in Kippensedimenten kurz nach ihrer Deponierung zu untersuchen, wurde eine frisch geschüttete Rippe ausgewählt, die in regelmäßigen Abständen beprobt wurde. Den Verlauf der pH-Wert-Absenkung zeigt Abb. 4. Deutlich ist eine starke Reduzierung innerhalb kürzester Zeit zu sehen. Die nach 1 Woche noch annähernd gleichen pH-Werte an der Oberfläche und in 1m Tiefe verändern sich sehr schnell. Bedingt durch den Einfluß des Luftsauerstoffs findet die pH-Wert-Absenkung an der Oberfläche schneller statt als in 1m Tiefe. 14 Wochen nach der Schüttung ist der pH-Wert an der Oberfläche und in 1m Tiefe bereits um etwa 3 Einheiten gesunken. Damit scheint der Hauptteil der Versauerung abgeschlossen, da in den darauffolgenden 13 Wochen die Abnahme des pH-Wertes weit weniger drastisch verläuft.

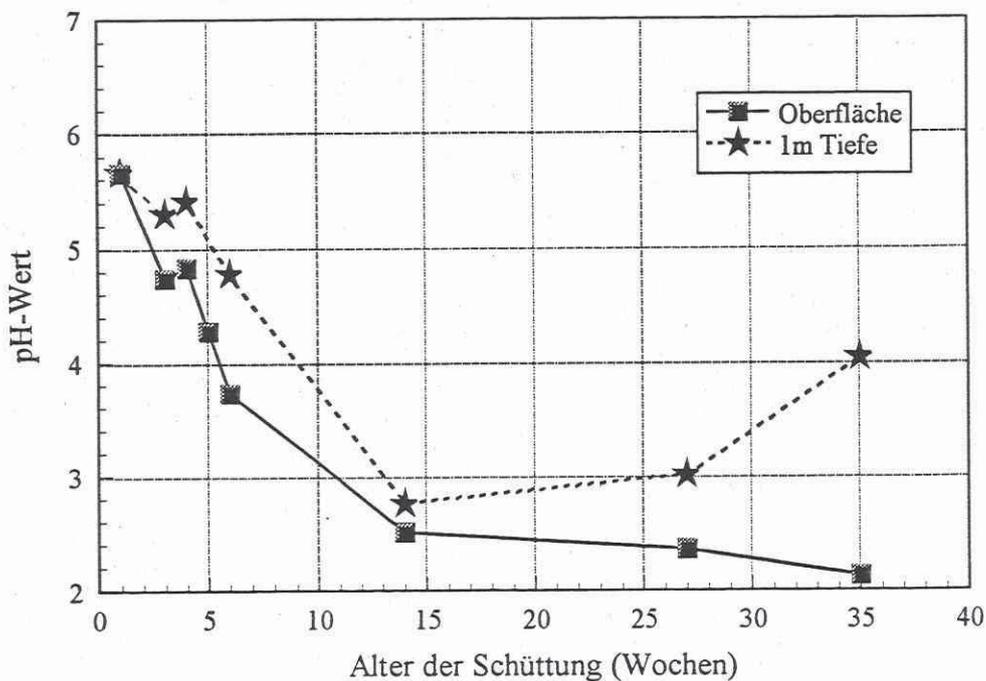


Abb. 4: pH-Wert-Absenkung mit zunehmendem Schüttungsalter einer Rippe

Bedingt durch den extrem niedrigen pH-Wert in den Kippensedimenten kann es leicht zu einer Mobilisierung verschiedener Elemente kommen. So werden bei niedrigeren pH-Werten deutlich höhere Leitfähigkeiten gemessen (siehe Abb. 5).

Mit Ausnahme weniger Proben ist die elektrische Leitfähigkeit in 1m Tiefe höher als an der Oberfläche. Dies läßt sich durch den Auswaschungs- und Transporteffekt mobiler Elemente

an der Oberfläche durch Niederschlagswasser erklären. Da kaum Wasser in 1m Tiefe gelangt, werden die Elemente zwar gelöst, aber nicht ausgewaschen.

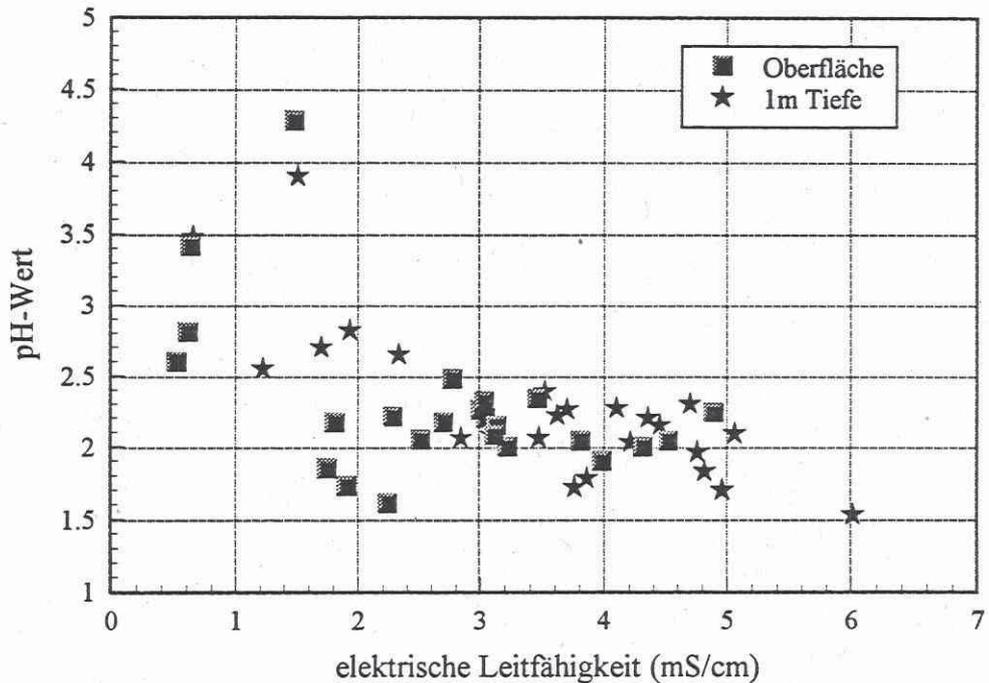


Abb. 5: Elektrische Leitfähigkeit (mS/cm) in Abhängigkeit des pH-Wertes

Durch die Untersuchung von Eluatproben konnte nachgewiesen werden, daß es aufgrund der stark sauren pH-Werte im Bodenwasser zu einer Mobilisierung verschiedener Elemente und Ionen (z.B. auch Schwermetalle) aus den Sedimenten kommt, welche sich dann im Kippenwasser zwischen den Schüttrippen sammeln. Die Mobilisierung der analysierten Elemente ist exponentiell vom pH-Wert abhängig (siehe Abb. 6).

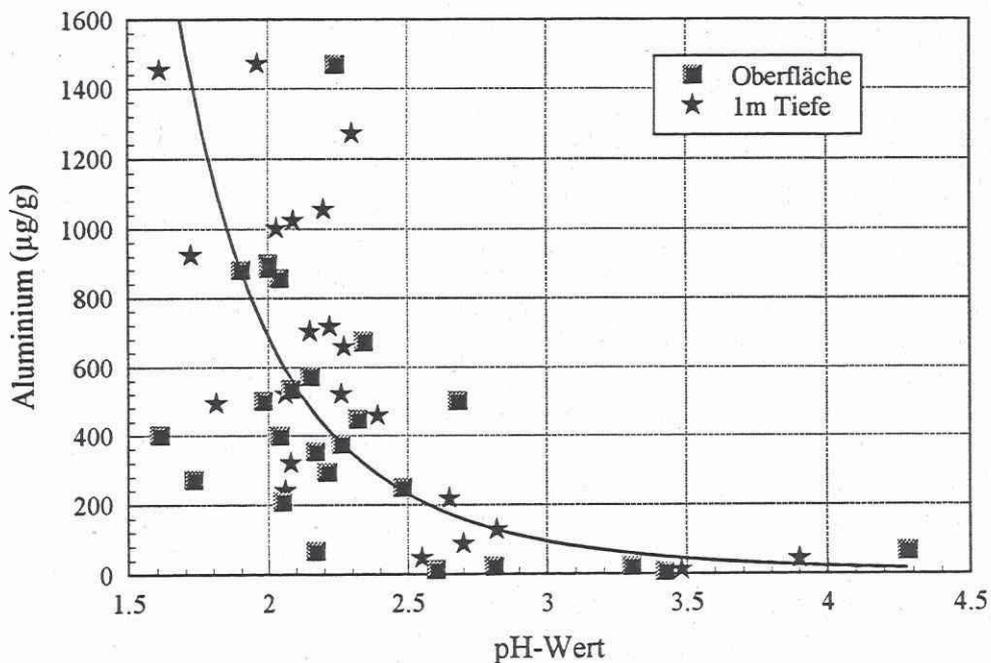


Abb. 6: Abhängigkeit der Elementkonzentration vom pH-Wert am Beispiel des Aluminium

Grund für die niedrigen pH-Werte ist die Freisetzung von Schwefelsäure während der Pyritverwitterung, die wiederum eine beschleunigte Verwitterungsreaktion anderer Minerale zur Folge hat. Eine sehr hohe Mobilisierbarkeit weist beispielsweise Sulfat auf. Beim Vergleich mit den RFA-Analysen der Sedimentproben stellt sich heraus, daß zwischen 7 % und 50 % Schwefel gelöst werden können. Noch stärker ist die Eluationsrate für Kalzium und Chlorid. Bei diesen beiden Elementen kommt es offensichtlich teilweise zur vollständigen Lösung. Sehr hoch ist auch die Konzentration einiger Schwermetallionen, die sich aus den Kippensedimenten, im wesentlichen den Tonmineralen, leicht mobilisieren lassen. Hauptsächlich handelt es sich um Kobalt, Nickel und Zink. Dabei werden bis zu 64 % gelöst. Sehr geringe Eluationsraten weisen die Elemente Silizium, Titan, Kalium, Phosphor, Vanadium und Barium im Verhältnis zu den Feststoffgehalten auf. Diese Elemente sind also noch fest in den Mineralen gebunden, wogegen die oben erwähnten Elemente schon sehr stark aus ihrem Verband gelöst wurden.

Die Ergebnisse der RFA - Untersuchungen zeigen, daß sich die Elementsignaturen der Proben aus 1 m Tiefe von denen der Oberfläche nicht wesentlich unterscheiden. Mit Ausnahme weniger Elemente und Verbindungen (SiO_2 , S, TiO_2 , Zn und Sn) ist auch keine Abhängigkeit der Konzentrationen vom Alter der Kippen beobachtbar. Für die Elemente Schwefel, Arsen, Molybdän und Vanadium ist ein Konzentrationsunterschied zwischen den gemischt verkippten Sedimenten (quartäre und tertiäre Schichten) und den verkippten tertiären Sedimenten festzustellen, der vermutlich schon in den unterschiedlichen Ausgangsmaterialien zu finden war.

Generell fällt auf, daß die Meßwerte sowohl innerhalb einer einzelnen Rippe als auch im gesamten Kippengelände hohe Schwankungsbreiten aufweisen, was im wesentlichen auf die stark heterogene Zusammensetzung der Kippenmaterialien zurückzuführen sein dürfte (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung der Kippensedimente an der Oberfläche u. in 1 m Tiefe

Hauptbestandteile	mittlere Konzentration [%] Oberfläche	Standard-abweichung [%] Oberfläche	mittlere Konzentration [%] 1m Tiefe	Standard-abweichung [%] 1m Tiefe
SiO_2	73,0	8,1	70,1	10,7
Al_2O_3	7,5	22,4	7,6	25,0
Fe_2O_3	3,4	20,4	3,8	23,1
TiO_2	0,7	23,5	0,7	24,9
MgO	0,7	24,8	0,7	30,1
CaO	0,6	42,7	0,7	28,3
Na_2O	0,2	36,9	0,2	35,4
K_2O	1,6	15,6	1,5	18,2
S	1,4	45,0	1,9	42,0

WÜNSCHE (1976) wies in Untersuchungen nach, daß in Schmelzwassersanden und Glaukonitsanden ein Calciumgehalt von 2,6 - 3,5 % auftreten kann. Da in den untersuchten Sedimentproben keine Karbonate nachgewiesen werden konnte, ist anzunehmen das die relativ niedrige CaO-Konzentration hauptsächlich von silikatisch oder sulfatisch gebundenem Calcium herrührt.

Deutlich niedrigere Schwefelkonzentrationen (bis 0,4 %) sind in Proben mit hohem quartären Anteil zu finden, da die quartären Sedimente im Gegensatz zu den tertiären Sedimenten des

Abraums nahezu frei von Schwefel sind. Die höhere Schwefelkonzentrationen (bis 4 %) in den tertiären Sedimenten sind im wesentlichen auf die Pyritgehalte zurückzuführen.

Bei der Auswertung der Meßdaten fiel auf, daß es eine Korrelation zwischen dem Schluff- und Tongehalt und einigen analysierten Elementen gibt. Je höher der Schluff- und Tongehalt ist, um so geringer ist der SiO_2 - und Na_2O -Gehalt (tritt hauptsächlich in Albit auf) und entsprechend größer ist die Konzentration an allen anderen Elementen. Grund dafür ist, daß in der gröberen Kornfraktion hauptsächlich Quarz zu finden ist, während in der Feinfraktion gegenüber dem Quarz deutlich mehr Nebenminerale auftreten.

Bei den Untersuchungen der Spurenelemente inklusive der Schwermetalle stellt sich heraus, daß mit Ausnahme weniger Elemente die Konzentrationen im Bereich tolerierbarer Richtwerte liegen (KLOKE, 1980). Es besteht also kein ungewöhnlich hohes Schwermetallreservoir. Ausnahmen bilden die Elemente Vanadium, Molybdän und Zirkon, deren Konzentrationen in einer Vielzahl der untersuchten Proben um bis zu 4-fach erhöhte Gehalte gegenüber den tolerierbaren Richtwerten aufweisen.

In den untersuchten Kippensedimenten herrscht ein qualitativ sehr ähnliches Mineralspektrum vor. Teilweise treten jedoch, abhängig von den Verkippungsbedingungen, starke Unterschiede in den Mineralgehalten auf. Dominierend in den untersuchten Proben ist das Mineral Quarz. Selbst bei einer Korngrößenfraktion $< 63\mu\text{m}$ verliert Quarz seine vorherrschende Stellung nicht.

In allen untersuchten Proben unterschiedlichen Alters treten weiterhin Gips, Kaolinit und Illit auf. Bis zu einem Lagerungsalter von ca. 1 Jahr konnte in den Kippen Pyrit sicher nachgewiesen werden. Für Kippen bis zu einem Alter von 3 Jahren gibt es nur noch Anzeichen für sein Vorhandensein. In noch älteren oberflächennahen Proben sind keine Hinweise auf Pyrit zu finden, da er hier vollständig oxidiert ist. Unter der Voraussetzung verdichteter und feiner Sedimente werden noch nach 3 Jahren in 2m Tiefe hohe Pyritgehalte (bis 3,9 %) analysiert. Dementsprechend kommt es in diesen Bereichen nur zu einer geringen Neubildung von Jarosit und Gips. Vermutlich verläuft die Pyritverwitterung nur bis in moderate Tiefen sehr schnell (abhängig von der Eindringtiefe des Luftsauerstoffs).

Schon nach relativ kurzer Zeit (< 1 Jahr) kann es zur Bildung von Jarosit – einem Verwitterungsprodukt von Pyrit – kommen, wie in den untersuchten Proben nachgewiesen wurde. Es gibt Anzeichen dafür, daß Jarosit und Pyrit in den jüngeren Proben (ca. 1 Jahr alt) gleichzeitig vertreten sind. Da es sich um Prozesse der Auflösung und Neubildung handelt, die nicht schlagartig erfolgen, können verschiedene Mineralassoziationen kurzzeitig nebeneinander erhalten sein.

Gips ist schon in frisch verkippten Sedimenten feststellbar. In einigen Proben treten starke Differenzen in der Gipskonzentration auf. In ca. 70 % der Proben ist der Gipsgehalt an der Oberfläche geringer als in 1m Tiefe, da er durch Zufuhr von Wasser (z.B. Regen) sehr schnell wieder gelöst werden kann. Auch bei den Mineralen Kaolinit und Illit ist der Gehalt an der Oberfläche geringer als in 1m Tiefe. Ganz anders verhält es sich bei Jarosit. Die Konzentrationen an der Oberfläche und in 1m Tiefe schwanken recht stark.

Während der Hauptteil der Minerale keine eindeutigen Altersabhängigkeiten zeigt, deutet sich für Kaolinit eine geringe Konzentrationsabnahme mit zunehmendem Schüttungsalter an, was vermutlich auf seine Verwitterung zurückzuführen ist.

Für Gips und Jarosit konnte an der Grenze zwischen den verkippten tertiären Sedimenten (ab 1994) und den gemischt verkippten Sedimenten (bis 1993) ein Sprung zu geringeren Konzentrationen festgestellt werden. Die Ursache ist vermutlich in der geringeren Säureführung der älteren Sedimente zu suchen, da in diesen die Acidität durch den quartären Anteil verringert ist. Es werden somit nicht genügend Ionen und Elemente für die Neubildung von Mineralen zur Verfügung gestellt.

Karbonat konnte in den untersuchten Proben nicht nachgewiesen werden. Es wurde offensichtlich aufgrund der hohen Schwefelsäurebelastung der Kippen, die bei der

Pyritoxidation entsteht, sehr schnell zersetzt. Im Südteil des Tagebaus Zwenkau, in dem die Kippen bereits 13 bis 17 Jahre alt sind, kann man auch heute noch „Kalkkonkretionen“ finden. Es handelt sich dabei um kugelförmige ca. 15 cm große Gebilde. Hauptbestandteile sind Dolomit und Calcit. Weiterhin treten Alunogen, Montmorillonit und Gips auf. Das Auftreten dieser „Kalkkonkretionen“ zeigt, daß es ursprünglich in den Kippen Karbonat gegeben hat. Diese kugelförmigen Gebilde konnten sich trotz Pyritverwitterung lange im Tagebau halten, da sie in größeren Formen auftraten und somit länger der Säurebelastung standhalten können. Feinere Karbonatbestandteile sind schneller verwittert.

Da auch bei der Untersuchung des derzeitigen Tagebauvorfeldes keinerlei Karbonate nachgewiesen wurden, ist davon auszugehen, daß die jetzt verkippten Sedimente des Tagebauvorfeldes aus der Randfazies stammen. BELLMANN (1976) wies darauf hin, daß es im Bereich der Randfazies zum Ausbleiben von Karbonaten kommen kann.

Neben der Jarosit- und Gipsneubildung in den Kippen kommt es im Tagebau Zwenkau zu weiteren Sekundärmineralbildungen. Diese Mineralneubildungen treten ausschließlich in den Naßbereichen des Tagebaus auf, in denen das Wasser mit wechselnder Menge über eine breite Fläche fließt. In Zeiten verminderten Durchflusses kommt es durch Verdunstungserscheinungen lokal zur Herabsetzung der Löslichkeit und damit zu Ausfällungen. Dabei entstehen Gips, Eisenhydroxid und Jarosit, Minerale, die bei der Oxidation von Pyrit gebildet werden. Das RDA-Spektrum zeigt, daß das gelöste Eisen in amorphen Fe-Oxiden/ Hydroxiden gebunden ist. In Laboruntersuchungen (GLÄSSER et al., 1997) konnte gezeigt werden, daß sich unter sauren Bedingungen durch die Oxidation von Pyrit neben den genannten Mineralneubildungen auch Copiapit, Halotrichit, Voltait und Rozenit nachweisen lassen.

Da kein Karbonat in den untersuchten Kippensedimenten nachgewiesen wurde, kann davon ausgegangen werden, daß der ermittelte Gesamtkohlenstoff gleich dem organischen Kohlenstoff ist.

Der organische Kohlenstoffgehalt in den untersuchten Proben schwankt stark. Die maximale Konzentration beträgt 7,02 %, das Minimum liegt bei 0,26 %. Die hohen Anteile an organischem Kohlenstoff sind Kohlenreste im Sediment. Bei der Verkipfung der Sedimente werden auch immer Reste der abgebauten Kohle mit abgelagert, die in unterschiedlicher Größe (bis in den cm-Bereich) zwischen den Sedimenten in den Kippen zu finden sind. Niedrige C_{org} -Gehalte treten in den Sedimentproben auf, in denen der quartäre Anteil besonders hoch ist.

Abb. 7 zeigt die Abhängigkeit des Gesamtkohlenstoffgehaltes vom Schüttungsalter der Kippen. Es läßt sich kein eindeutiger Trend feststellen. Die scheinbare Abnahme mit zunehmendem Schüttungsalter beruht offensichtlich auf dem Wechsel von gemischt verkippten Schichten zu rein tertiären Sedimenten.

Die relativ geringe Menge an organischem Kohlenstoff in den quartären Schichten ist vermutlich auf Kohlereste zurückzuführen, die während der Verkipfung in den Kippenkörper mit eingelagert wurden. Generell zeigt sich, daß in den Sedimenten mit einem höheren Sand- und Kiesgehalt der Kohlenstoffgehalt niedrig ist, in Sedimenten mit höherem Schluff- und Tonanteil dagegen zunimmt.

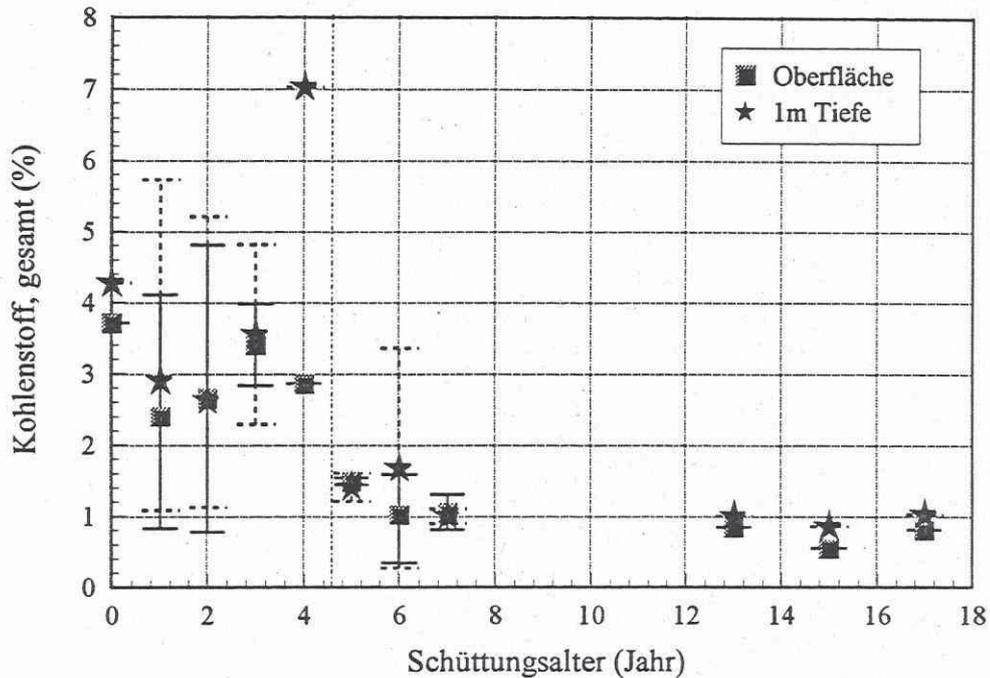


Abb. 7: Kohlenstoffgehalt in Abhängigkeit vom Schüttungsalter

Zusammenfassung

Nur ein kleiner Teil der durchgeführten Untersuchungen lieferten Ergebnisse, die zeitabhängige Betrachtungen zulassen. Der kleinräumig äußerst heterogene Kippenkörper bewirkt, daß eine große Anzahl von Vergleichen zu wenig sinnvollen Ergebnissen führt. Daher läßt sich nur für den pH-Wert, den Kohlenstoffgehalt und für einige Minerale eine Abhängigkeit vom Schüttungsalter zeigen. Die Veränderungen sind oft innerhalb kürzester Zeit (< 1 Jahr) abgeschlossen.

Offensichtlich lassen sich die quartären und tertiären Kippensedimente an ihrem Mineralbestand unterscheiden. Da die verkippten quartären Sedimenten nahezu keinen Schwefel enthalten, tritt in den Kippenregionen mit höherem quartären Anteil gegenüber den Regionen mit einem höherem tertiären Anteil eine geringere Versauerung auf. Der pH-Wert in tertiären Sedimenten sinkt demnach tiefer bis auf Werte um 1,5 ab. Eine Pufferung des pH-Wertes der Sedimente ist mangels entsprechender Minerale nicht ausreichend möglich, so daß auch die Aziditätsverhältnisse in Bereichen mit höherem tertiären Anteil deutlich schlechter sind als in quartär dominierten Kippenbereichen. Die Pyritverwitterung wird durch die hohe Azidität und die relativ gut durchlüfteten Kippenkörper stark begünstigt.

In den Schwemmflächen zwischen den Kippenkörpern ist die Durchlässigkeit auf Grund der hohen Ton- und Schluffgehalte stark herabgesetzt. Da jedoch der Feinkornanteil erst im Laufe der Zeit durch Erosion eingeschwemmt wird, ist bis zum Zeitpunkt der Abdichtung durch Ton und Schluff die Pyritoxidation meist schon abgeschlossen, so daß die Sedimente auch hier in oxidierter Form vorliegen.

Die Sedimente des Tagebaus Zwenkau sind extrem ungleichkörnig. Es handelt sich zumeist um stark tonige Sande bis schluffige Tone. Lokal sind jedoch auch gröbere Kiese neben der feinkörnigen Fraktion zu finden. Diese führen aber auf Grund des breiten Korngrößenspektrums zu keinen nennenswerten Unterschieden in den Kornsummenkurven.

Die Lagerungsdichte an der Oberfläche der Kippen ist nicht sehr hoch, daher ist der Porenanteil recht groß. Durch Auswaschungs- und Transporteffekte werden die feineren Kornfraktionen und die bei der Verwitterung gelösten Ionen abgeschwemmt und in den

Schwemmflächen zwischen den einzelnen Rippen abgelagert bzw. angereichert. Der Grad der Freisetzung von Ionen ist stark vom pH-Wert abhängig.

Auch in der chemischen Zusammensetzung treten, bedingt durch die heterogene Mischung der Sedimente, hohe Schwankungen auf, so daß kein signifikantes Unterscheidungsmerkmal zwischen den an der Oberfläche und den aus 1m Tiefe gewonnenen Sedimentproben auffällt. Jedoch läßt sich ebensowenig von einem lokalen Probenahmeort auf die Verhältnisse in seinem Umfeld schließen. Die stark streuenden Verteilungen der Elementkonzentrationen in den untersuchten Proben lassen somit nur in einem großflächigen Rahmen zu, von den Sedimenten der Oberfläche auf die in geringer Tiefe (bis zu etwa 1m) zu schließen.

Neben geringen Mengen von Albit, Illit, Kaolinit und Orthoklas enthalten die im Tagebau Zwenkau verkippten Sedimente hauptsächlich das Mineral Quarz. Bis etwa 1 Jahr nach der Verkipfung tritt auch das Mineral Pyrit in den Kippen auf. Jedoch setzt schon sehr schnell nach der Ablagerung die Verwitterung ein, die zur Oxidation des Pyrits führt, so daß es innerhalb kurzer Zeit zur Zerstörung des Minerals kommt. Dabei ist die Geschwindigkeit und Intensität der Verwitterung davon abhängig, welche Lagerungsverhältnisse der Sedimente vorliegen und inwieweit ein Vordringen des zur Oxidation nötigen Luftsauerstoffs in tiefere Schichten möglich ist. So sind selbst in älteren Kippen lokal höhere Pyritkonzentrationen in Tiefen > 1m zu verzeichnen.

Quartäre und tertiäre Kippensedimente unterscheiden sich deutlich in ihrem Mineralbestand. Da in den verkippten quartären Sedimenten nahezu kein Schwefel (Sulfidschwefel = potentieller Säurelieferant) enthalten ist, kommt es im Zuge der Verwitterung zu einer geringeren Neubildung von Gips, Jarosit, Eisenhydroxid sowie gelegentlich Alunogen.

Im Vergleich zu bergbaulichen Abraumsedimenten in anderen Regionen bilden die Kippensedimente des Tagebaus Zwenkau kein wesentlich erhöhtes Schwermetallreservoir. Durch den niedrigen pH-Wert bedingt, findet aber eine deutlich größere Mobilisierung der Spurenelemente und Schwermetalle statt. Die Schwermetalle werden dabei in verschiedene metastabile Speicherminerale eingebaut, aus denen sie bei der Verwitterung und Zerstörung des Mineralbestandes wieder freigesetzt werden können und somit eine Kontamination der Umgebung des Tagebaus möglich ist.

Danksagung

Das Vorhaben ist Bestandteil des BMBF - geförderten Verbundprojektes „Luft- und bodengestützte spektrometrische Untersuchungen zur Differenzierung reaktiv veränderter Braunkohlentagebauegebiete in Mitteldeutschland“ zwischen dem GFZ, der DLR, der GAF und dem UFZ.

Wir möchten uns auf diesem Weg bei der MIBRAG für Ihre Unterstützung während der Geländeuntersuchungen im Tagebau Zwenkau sowie für zahlreiche Informationen bedanken.

Literatur

- BELLMANN, H.-J. (1976): Zur Geologie und Mineralogie der Abraumschichten der Braunkohle in der Leipziger Bucht südlich von Leipzig.- Diss. Uni Freiberg, 188 S.
- GLÄSSER, W., LAZIK, D. & WITZKE, T. (1997): Versuche zur Simulation der Sekundärmineralbildung auf Kippenmaterial eines Braunkohlentagebaus im nördlichen Weißelsterbecken.- Europ. J. Mineral., H. 9, S. 121.
- KLOKE, A. (1980): Richtwerte '80: Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden.- Mitt. VDLUFA, H. 1-3, 9-11.
- WÜNSCHE, M. (1976): Die bodenphysikalischen, -chemischen und -mineralogischen Eigenschaften der Abraumschichten und ihre Eignung für die Wiederurbarmachung im Braunkohlenrevier südlich von Leipzig.- Uni. Diss. 196 S., Dresden.

Beiträge zum Workshop

**Prozesse und Stoffströme in
Kippensedimenten – Tagebaue
Zwenkau, Cospuden und Espenhain**

am 3. und 4. Juni 1999

Walter Gläßer, Gerhard Strauch, Peter Schreck und Elke Bozau
Sektion Hydrogeologie