

Darstellung und Evaluierung der Minderungsmaßnahmen zur Kippenwasserversauerung im Tagebau Garzweiler der RWE Power AG (Rheinisches Braunkohlenrevier, Germany)

Frank Wisotzky, Stephan Lenk

Lehrstuhl Angewandte Geologie; Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Fakultät Geowissenschaften der Ruhr-Universität Bochum, Germany, wisotzky@geol3.rub.de

Ausgelöst durch Grundwasserabsenkung und Freilegung des Abraumes im Tagebau kommt es zu einer Teilpyritoxidation bei Braunkohlengewinnung. Die dabei freigesetzte Acidität in Form von H^+ -, Eisen- und Aluminiumionen führt neben dem freigesetzten Sulfat zu einer späteren Grundwasserbelastung nach Wiederanstieg des Grundwassers in den Abraumkippen. Zur vorbeugenden Problemminderung werden dem Abraum im Tagebau Garzweiler seit 1998 kleine prozentuale Mengen gemahlenem Kalksteins zugegeben. Um diese Kalkzugabe ökologisch und ökonomisch optimiert zu betreiben, ist die Kenntnis des Umfangs der Pyritoxidation unerlässlich. Der mittlere oxidierten Pyritschwefelgehalt in der Abraumkippe wurde durch aufwändige Untersuchungen über einen Zeitraum von 5 Jahren zu ca. 0,039 Gew.% bestimmt. Insgesamt kann eine ausreichende mittlere Kalkzugabe in den Jahren 1999 bis 2004 in der gekalkten Abraumkippe mit verschiedenen Methoden und damit eine erfolgreiche Minderungsmaßnahme belegt werden.

Due to groundwater extraction and aeration in the mine, a partly oxidation of pyrite minerals is observed by lignite mining. After rebound of the groundwater level an acidification and pollution of the water with pyrite oxidation products will be the result. To mitigate the later groundwater pollution, low amount of crushed limestone is added to the overburden before dumping since 1998. To optimise this limestone addition, the knowledge of the real content of oxidised pyrite is necessary. In the lignite mine Garzweiler an average oxidised pyrite content of 0.039 weight % was determined by elaborated investigations. Altogether, a sufficient limestone addition to neutralise the released acidity was determined with different methods between 1999 and 2004. A successful realisation of the mitigation is proved.

1 Einleitung

1.1 Untersuchungsstandort, Problembeschreibung und Zielsetzung

Der Untersuchungsstandort ist der Tagebau Garzweiler der RWE Power AG. Dieser Tagebau ist der nördlichste Braunkohlentagebau im Rheinischen Braunkohlenrevier, das sich westlich von Köln erstreckt (Abb. 1). Neben dem Tagebau Garzweiler produzieren die Tagebaue Hambach und Inden ca. 100 Mio. Tonnen Braunkohle zur Energieversorgung des Landes. Im Tagebau Garzweiler wurden 2005 davon ca. 38 Mio. Tonnen Braunkohle gefördert und überwiegend zur Stromerzeugung in den Kraftwerken genutzt. Im Laufe des Jahres 2006 wird der Tagebau Garzweiler I in den Tagebau Garzweiler II übergehen (Abb. 1).

Zur Gewinnung der Braunkohle mussten dazu im Tagebau Garzweiler ca. 136 Mio. Kubikmeter Abraum, der oberhalb oder zwischen den Flözen lagert, entwässert und abgebaggert werden (RWE POWER AG 2005). Dieser Abraum enthält z.T. Pyritminerale geogenen Ursprungs. Ausgelöst durch Grundwasserabsenkung und vor allem Freilegung des Abraumes im Tagebau Garzweiler kommt es zu einer Belüftung und damit zur primären Teilpyritoxidation. Die dabei freigesetzte Acidität in Form von vor allem H^+ -, Eisen- und Aluminiumionen führt neben dem freigesetzten Sulfat zu einer späteren Versauerung und erhöhten Mineralisation nach Wiederanstieg des Grundwassers in den Abraumkippen. So wurde ohne Gegenmaßnahmen ein pH-Wert des späteren Grundwassers in der Abraumkippe von ca. 4,6, bei ca. 5000 mg/l Sulfat- und einer Eisenkonzentrationen von ca. 2500 mg/l prognostiziert (OBERMANN *et al.* 1993).

Da das Umfeld der Tagebaue wasserwirtschaftlich intensiv genutzt wird, werden zur vorbeugenden Problemminderung dem Abraum des nördlichen Kippenteiles im Tagebau Garzweiler seit 1998 kleine prozentuale Mengen gemahlenem Kalksteins zugegeben (Tab. 1). Um diese Kalkzugabe ökologisch und ökonomisch optimiert zu betreiben, ist die genaue Kenntnis des Umfangs der Pyritoxidation unerlässlich. Dazu wurde zur Ermittlung des Ausmaßes der Pyritoxidation der Tagebau-Abbauseite inklusive der Vorfeldentwässerung die Sulfatelutionsmethode entwickelt (WISOTZKY 2003) und seit 1999 im Tagebau Garzweiler eingesetzt. Das eluierte Sulfat ist ein Maß für die bis zur Probenahme eingetretene Pyritschwefeloxidation und ermöglicht damit deren Quantifizierung (Abb. 3).

Die Kalkzugabe zielt auf eine Verminderung der Acidität durch eine Reduzierung der freien Protonen sowie eine dauerhafte Bindung von Eisen- und Aluminiumionen an die Festphasen (Gl. 3 und 4). Eine ebenfalls dabei eintretende Fällung der Mineralphase Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) vermindert zusätzlich die Sulfatkonzentration ohne jedoch die Sulfatfracht zu beeinflussen (Gl. 5).

Neben der Zugabe von alkalisch wirkenden Zuschlagstoffen wie gemahlenem Kalkstein (A6-Maßnahme) wird versucht den obersten Bereich/Stosse der Abraumkippe aus Pyrit freiem

Abraummaterial aufzubauen. Dies zielt auf eine Verminderung der „sekundären Pyritoxidation“ (WISOTZKY 2003), also der Pyritoxidation, die nach der Überkipfung der pyrithaltigen Sedimente in der Abraumkippe wirksam werden kann (A1-Maßnahme). Durch die Überkipfung mit Pyrit freiem Material in einer Mächtigkeit von ca. 20 m wird die Transportstrecke des Luftsauerstoffes zu den Pyritmineralen erheblich verlängert und damit eine weitere Pyritoxidation wirksam vermindert (ZIMMER *et al.* 2005). Zudem wird dadurch ein Abstrom von belastetem Kippengrundwasser in die oberen Grundwasserleiter wirksam verhindert. Da ein zusammenhängender Grundwasserkörper im gekalkten Abraum erst in einigen Jahrzehnten auftritt und damit beprobar sein wird, wird die Wirksamkeit der Kalkzugabe heute durch die Registrierung der Kalkzugabemenge und der Bestimmung des Ausmaßes der Pyritoxidation untersucht und belegt, sowie eine Bilanzierung von Säurefreisetzung und Säurepufferung durchgeführt (Evaluierung).

Ziel dieses Beitrages ist die Darstellung der Minderungsmaßnahmen zur Kippenwasserversauerung durch Kalkzugabe im Tagebau Garzweiler der RWE Power AG und der Untersuchungsergebnisse zur Evaluierung der Wirkung dieser Kalkzugabe.

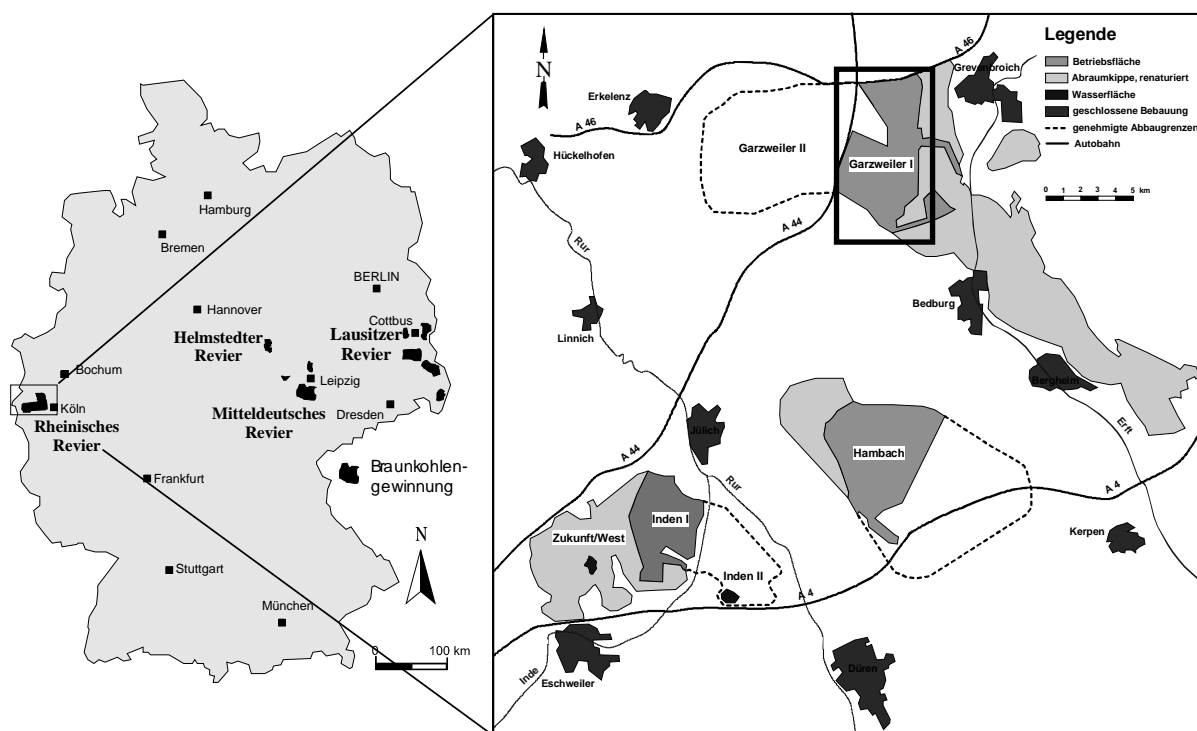


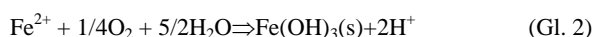
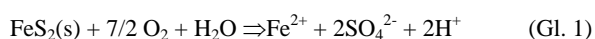
Abb. 1: Lage des Tagebaues Garzweiler (mit Rahmen im rechten Bild) im Rheinischen Braunkohlenrevier westlich von Köln.

Tab. 1: Abraum- und Kalkzugabemengen sowie mittlere Eigenschaften des gekalkten Abraumes im Nordflügel des Tagebaues Garzweiler zwischen 1999 und 2004.

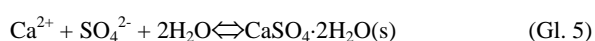
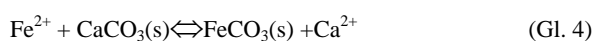
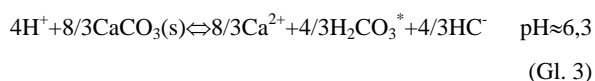
	Abraum- Volumen	Abraum- menge	Kalkzugabe	Kalk- Zugabe	C _{anorg} - Zugabe	Pyrit-S
	[m ³]	[t]	[t]	[Gew.%]	[Gew.%]	[Gew.%]
Absetzerproben 1999 bis 2004			Mittel	0,065	0,0079	0,225
	64.012.356	112.021.624	73.293	Max	0,247	0,664
			Min	0,000	0,0000	0,000

2 Ausmaß der Pyritoxidation, Kalkzugabe und Säureneutralisation (Evaluierung)

Die Pyritoxidation erfolgt durch den Zutritt von Luftsauerstoff zu den im Gestein enthaltenen Sulfidmineralen (Gl. 1 und 2). Dies führt bei einem Überschuss der Pyritgehalte gegenüber dem Sauerstoff überwiegend zu einer Freisetzung von Sulfat-, Eisen(II)-Ionen und Protonen (Gl. 1). Bei kleinen Pyritgehalten, oder großem und lang anhaltendem Sauerstoffangebot kann zusätzlich eine vollständige Oxidation des zweiwertigen Eisens und bei pH-Werten oberhalb von ca. 3 eine Fällung als Eisen(III)-Hydroxid eintreten, die die freigesetzte Eisenacidität in freie Protonen umwandelt (Gl. 2) und damit zu einem zweiten Säureschub neben der freigesetzten Sulfidacidität (Gl. 1) führt.



Da der Abraum zur vollständigen pH-Wertpufferung zu geringe eigene, geogene Kalzitgehalte enthält, wird dem Abraum vor der Verkipfung gemahlener Kalkstein in geringen Mengen zugegeben. Dies zielt auf eine Bindung der freien Protonen (Gl. 3) sowie des Eisens (Gl. 4) und eine Fällung von Gipsmineralen zur Verminderung der Sulfatkonzentration (Gl. 5) im späteren Kippengrundwasser. Diese Kalkung des Abraums erfolgt derzeit nur in einem Teil des Nordflügels des Tagebaues Garzweiler I. Nach dem Übergang der Gewinnung in den Tagebau Garzweiler II im Laufe des Jahres 2006 wird der pyrithaltige Abraum nach erfolgreichen 7-jährigen Betrieb vollständig gekalkt werden.



Die Tabelle 1 lässt erkennen, dass zwischen 1999 und 2004 ca. 73.000 Tonnen gemahlener Kalkstein einer Abraummenge von 112 Mio. Tonnen im Nordflügel des Tagebaues Garzweiler I zugegeben wurden. Dies entspricht einer mittleren Kalkzugabe von 0,065 Gew.%. Der Abraum hatte dabei einen mittleren Pyritschwefelgehalt von 0,225 Gew.%. Für das gesamte Tagebaufeld Garzweiler I/II wurde ein mittlerer Pyritschwefelgehalt von 0,258 Gew.% für den Abraum bestimmt (WISOTZKY 1994). Der gekalkte Abraum kann damit als typisch für den Tagebau angesehen werden.

Die Zugabe des gemahlenden Kalksteins soll einer Auflage der Aufsichtsbehörden entsprechend in Abhängigkeit vom Pyritschwefelgehalt des Abraumes erfolgen (Abb. 2). Dies dient dem engen räumlichen Kontakt von freigesetzter Säure/Acidität aus der Pyritoxidation und Säureneutralisationsvermögen durch Kalkzugabe. Den Wochenberichten der Bekalkungsanlage von RWE Power AG wurden die entsprechenden Daten entnommen und in der Abbildung 2 grafisch dargestellt. Die von den Aufsichtsbehörden geforderte enge Verknüpfung der Kalkzugabe mit den Pyritschwefelgehalten des Abraumes kann wie die Abbildung 2 zeigt, für den Zeitraum 1999 bis 2004 aufgezeigt werden. Von einer technisch erfolgreichen Realisierung der Kalkzugabe kann somit grundsätzlich gesprochen werden.

Die Kalkzugabe erfolgt mit Hilfe einer Kalkzugabeformel, die z.B. bei einem Pyritschwefelgehalt von 0,258 Gew.% eine Zugabe von 0,074 Gew.% vorsieht (Abb. 2). Wie die empirische Geradengleichung an Hand der gemessenen Daten in der Abbildung 2 erkennen lässt, erfolgte eine reale Zugabe von 0,077 Gew.% bei diesem mittleren Pyritschwefelgehalt des Abraumes. Damit kann eine ausreichende mittlere Kalkzugabe in den Jahren 1999 bis 2004 in der gekalk-

ten Abraumkippe belegt werden. Eine geringfügige Überkalkung ist damit sogar erkennbar.

Betrachtet man die an den jeweiligen Abraumproben über die Zeit gemessenen eluierten Sulfatkonzentrationen (Abb. 3) so wird die starke Variation der Messwerte erkennbar. Die Konzentrationen schwanken zwischen Werten unterhalb der Nachweisgrenze ($<0,1 \text{ mg/l}$) bis zu Konzentrationen von maximal 2.110 mg/l .

Dies zeigt, dass die Pyritoxidationsprodukte mit starker zeitlicher und räumlicher Variabilität in die Abraumkippe eingetragen werden und ist ein Grund, warum die Bestimmung des mittleren Ausmaßes der Pyritoxidation in einem Tagebau eine komplexe Aufgabe darstellt. Gleichzeitig wird in der Abbildung 3 erkennbar, dass sich ein Mittelwert von $76,5 \text{ mg/l}$ eluierter Sulfatkonzentration zunehmend in den Jahren stabilisiert. Dieser Mittelwert, der inzwischen aus ca. 1.200 Einzelwerten berechnet wurde, kann damit als statistisch gut abgesicherter angesehen werden. Dies entspricht einem mittleren oxidierten Pyritschwefelgehalt der Abbauseite von $0,0183 \text{ Gew.}\%$. Der Wert beschreibt das Ausmaß der mittleren Pyritoxidation aus der Wirkung der Vorfelddentwässerung und der Exposition der Sulfidhaltigen Gesteine auf der Tagebauabbauseite. Da der Ab-

raum auf der Kippenseite eines Tagebaues einer weiteren Pyritoxidation unterliegt, muss die eluierte Sulfatkonzentration der Abbauseite in die eluierte Sulfatkonzentration des gesamten Tagebaues umgerechnet werden. Für den Tagebau Garzweiler wurde dazu in einer aufwendigen Prozedur das Verhältnis von kippenseitiger zur abbauseitigen Pyritoxidation bestimmt. Der Umrechnungsfaktor beinhaltet tagebauflächengeometrische und Expositionszeit-Faktoren, die jeweils getrennt für die Abbau- und Kippenseite des Tagebaus bestimmt werden. Exakt gehen in den Umrechnungsfaktor das Verhältnis der exponierten Nebengesteinsflächen von Kippen- zur Abbauseite, das entsprechende Verhältnis der Expositionszeiten sowie der Anteil der potentiellen Pyritoxidationszonen zum Gesamtvolumen eines durchschnittlichen Abraumrhomboeders ein (ZIMMER *et al.* 2005). Für den Tagebau Garzweiler wurde mit dieser Methodik ein Umrechnungsfaktor zwischen Gesamtpyritoxidation und abbauseitiger Pyritoxidation von 2,12 bestimmt. Von den Aufsichtsbehörden wurde ein mittlerer Umrechnungsfaktor von 2,17 festgelegt, der somit eine Sicherheitsreserve beinhaltet.

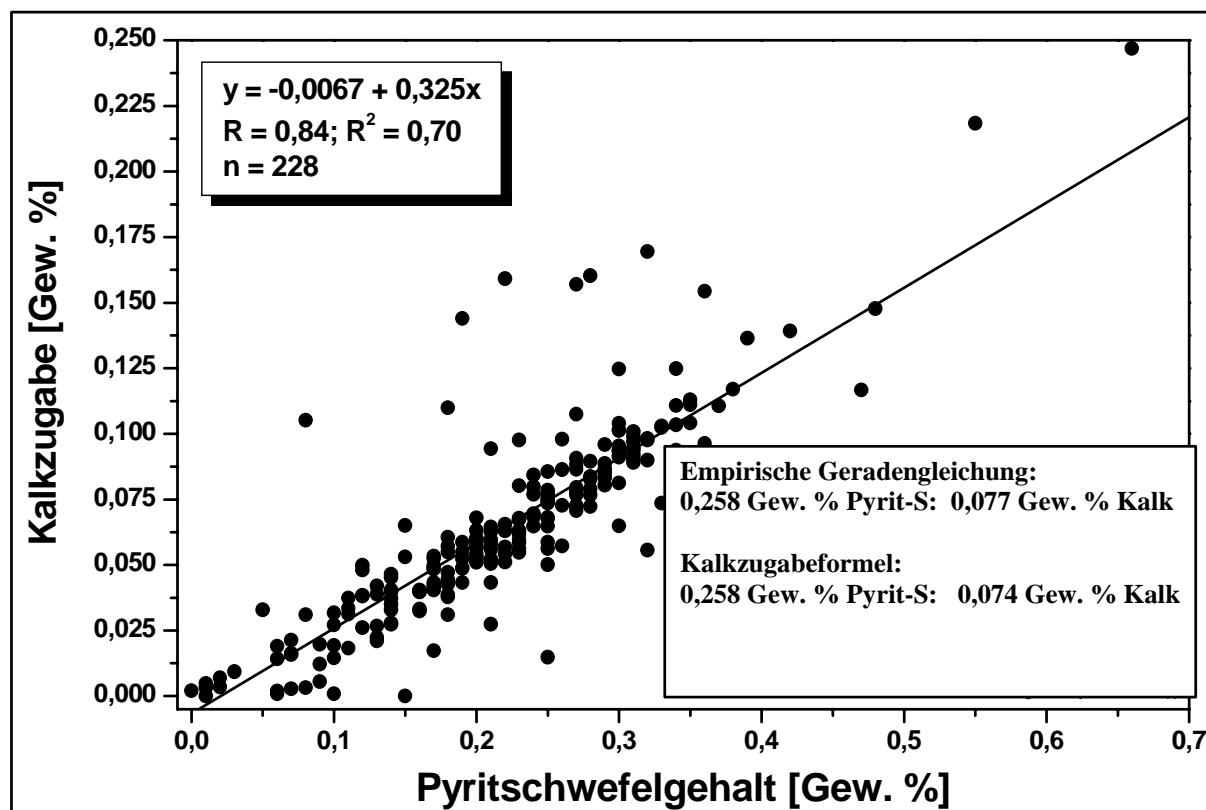


Abb. 2: Darstellung der erfolgten wöchentlichen Kalkzugabe in Abhängigkeit vom Pyritschwefelgehalt der gekalkten Abraumblöcke im Nordteil des Tagebaues Garzweiler I für den Zeitraum 1999 bis 2004.

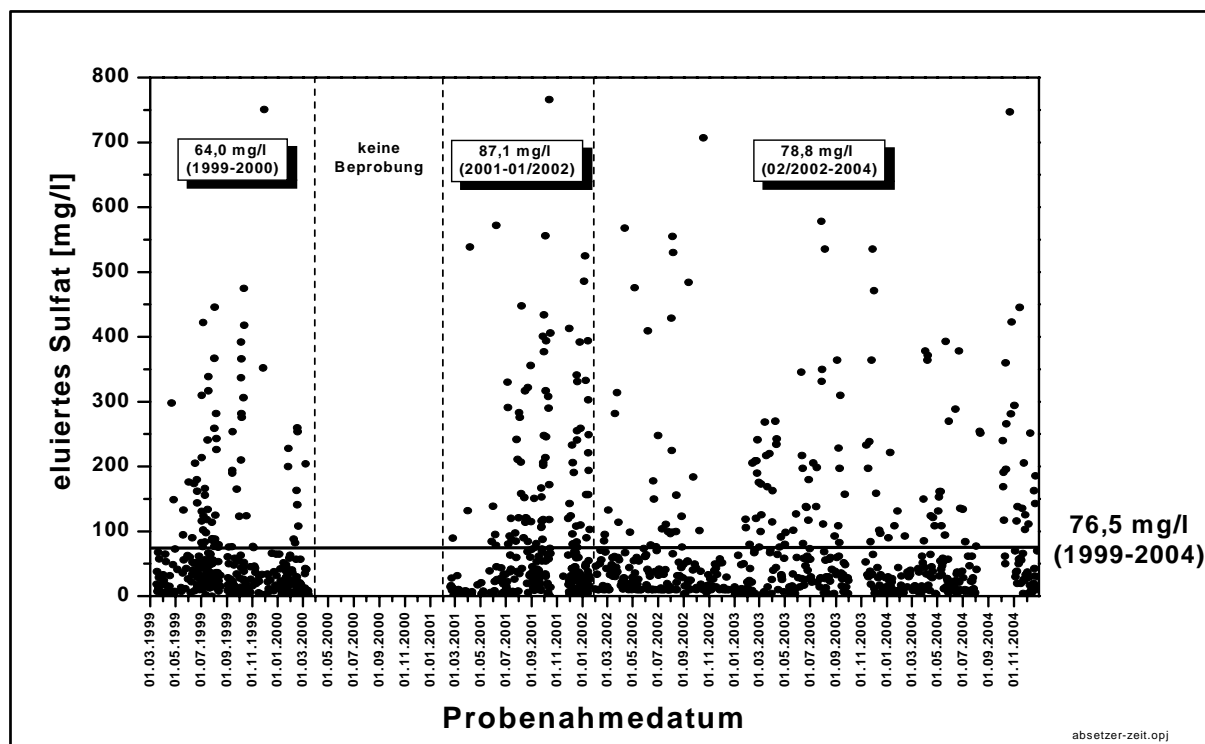


Abb. 3: Darstellung der gemessenen eluierten Sulfatkonzentration der gekalkten Abraumpuben im Zeitraum 1999 bis 2004 (n=1212 Proben).

Multipliziert man die eluierte Sulfatkonzentration der Absetzerproben von 76,5 mg/l mit den genannten Umrechnungsfaktoren, so ergibt sich eine berechnete eluierbare Gesamtsulfatkonzentration in der gekalkten Abraumpippe von maximal 166 mg/l. Der bestimmte Umrechnungsfaktor von 2,12 der Gesamtpyritoxidation zur abbauseitigen Pyritoxidation führt zu einem mittleren oxidierten Pyritschwefelgehalt in der Abraumpippe von ca. 0,039 Gew.% und ermöglicht damit die notwendige Dimensionierung der Kalkzugabe, um eine Versauerung des Kippengrundwassers zu verhindern.

In einer vorausgehenden Untersuchung wurden insgesamt 1067 Abraumpuben auf ihre eluierbare Sulfatkonzentration und ihre Bilanzsäureneutralisationskapazität (Bilanz-ANC) untersucht (Abb. 4). Die Bilanzsäureneutralisationskapazität wird als neue Methode dabei durch zwei Titrationschritte ermittelt und ist ein Maß für die Fähigkeit einer Probe Säure zu neutralisieren. Im ersten Titrationschritt wird die Abraumprobe mit Schwefelsäure und Nutzung einer automatischen Titrierstation 24 Stunden auf pH 2 titriert. Anschließend erfolgt mit Natronlauge eine Rücktitration auf den Ziel-pH-Wert von 7 innerhalb von 2 Stunden. Die ermittelten Teilergebnisse werden anschließend zur Bilanzsäureneutralisationskapazität verrechnet (WISOTZKY 2003).

Abraumpuben, die in der Lage sind Säuren zu neutralisieren, weisen positive Bilanz-ANC-Werte auf. Hingegen lassen negative Bilanz-ANC-Werte erkennen, dass die Probe nicht mehr in der Lage ist Säuren zu neutralisieren sondern Säuren in Kontakt mit Wasser freisetzt. Die Darstellung aller Messwerte (Abb. 4) ermöglicht die Erstellung einer Ausgleichsgeraden. Der Schnittpunkt dieser Ausgleichsgeraden mit der Nulllinie der Bilanz-ANC-Werte entspricht der Grenzsulfatkonzentration, ab welcher die Abraumpippe nicht mehr in der Lage ist Säure zu neutralisieren. Für die untersuchten Bodenproben liegt diese bei 190 mg/l eluierbaren Sulfats. Im Mittel kann damit von einer vollständigen Neutralisation der durch die Pyritoxidation freigesetzten Acidität ausgegangen werden, da die eluierbare Sulfatkonzentration der Abraumgesteine unterhalb von 190 mg/l liegt. Eine ausreichende Kalkung des Abraumes wird damit ebenfalls erkennbar.

Insgesamt wird deutlich, dass eine Neutralisation bzw. vollständige pH-Pufferung der gekalkten Abraumpippe und damit eine weitestgehende Bindung des Eisens an den Festphasen erwartet werden kann. Die Kalkzugabe führt damit zu einer erheblichen Situationsverbesserung in der Abraumpippe und dessen späteren Abstrom.

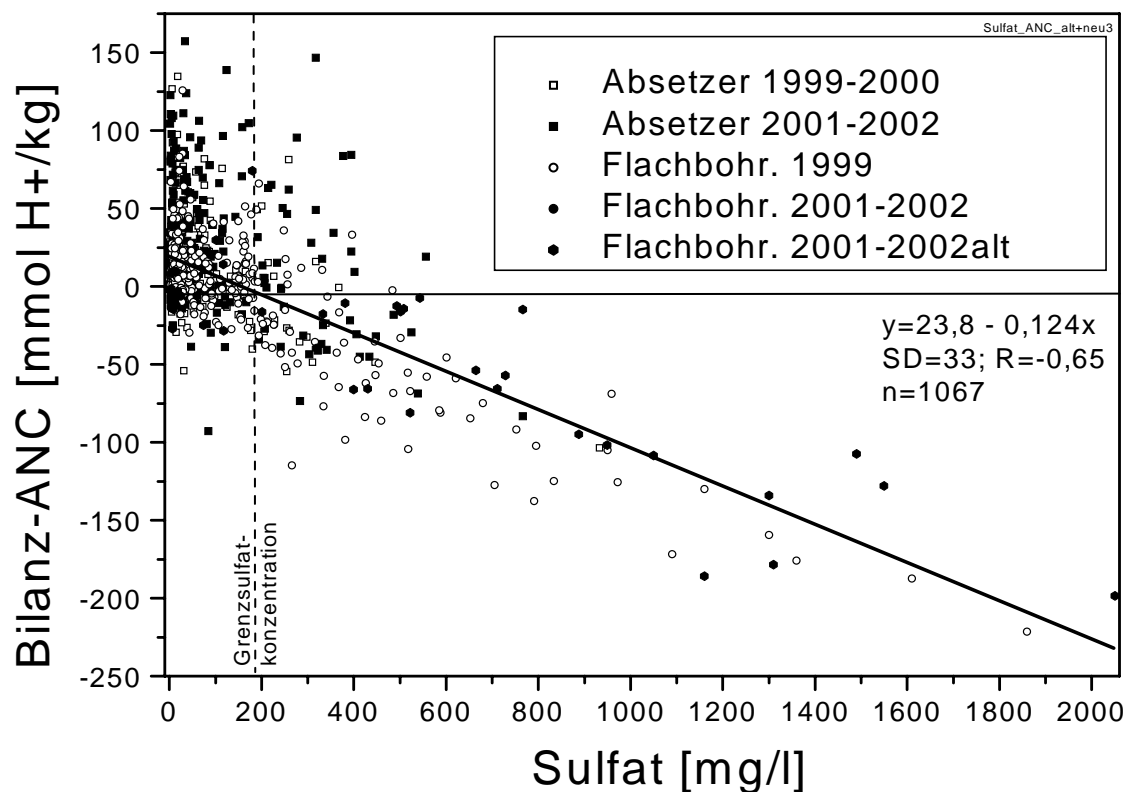


Abb. 4: Darstellung der Bilanzsäureneutralisationskapazität (Bilanz-ANC) gegen die eluierte Sulfatkonzentration mit der Grenzsulfatkonzentration von 190 mg/l

3 Literatur

OBERMANN, P., VAN BERK, W., WISOTZKY, F. (1993): Endbericht über die Untersuchungen zu den Auswirkungen der Abraumkippen im Rheinischen Braunkohlenrevier auf die Grundwasserbeschaffenheit. Unveröffentlichter Bericht der Ruhr-Universität Bochum, 179 S., Bochum.

RWE POWER AG (2005): RWE Power im rheinischen Braunkohlenrevier. Essen.

WISOTZKY, F. (2003): Saure Bergbauwässer (Acid Mine Drainage) und deren Qualitätsverbesserung durch Zugabe von alkalisch wirkenden Zuschlagstoffen zum Abraum - Untersuchungen im Rheinischen Braunkohlenrevier. - Besondere Mitteilungen zum Dtsch. Gewässerkl. Jb., 61: 167 S.

ZIMMER, U., WISOTZKY, F., OBERMANN, P. (2005): Abschätzung der Pyritoxidation in einem Braunkohletagebau mit Hilfe numerischer Modellrechnungen - Grundwasser, 2/05, 74-82.