

Senkung des Kalkverbrauches bei der Grubenwasserreinigung durch physikalische Entfernung der ungebundenen Kohlensäure

E. Janneck¹, A. Schröder², K. Schlee², F. Glombitza¹ & W. Rolland²

¹G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH, PF 1162, 09582 Freiberg/Sachsen, Email: e.janneck@geosfreiberg.de

²Vattenfall Europe Mining AG, Vom-Stein-Str. 39, 03050 Cottbus

Ein Teilstrom des in der Grubenwasserreinigungsanlage Schwarze Pumpe zu behandelnden Grubenwassers weist hohe Werte an gelöster Kohlensäure auf, die ca. 70 % des Verbrauches an Kalkhydrat bei der Behandlung des Wassers verursacht. In Laborversuchen wurde nachgewiesen, dass mehr als 80 % des im Wasser gelösten anorganischen Kohlenstoffes (DIC) durch Ausblasen mit Luft entfernbar sind. In einem Pilotversuch wurde die physikalische Entfernung der gelösten Kohlensäure mit Fuchs AEROSTAR-Belüftern getestet und danach im großtechnischen Maßstab eingeführt. Die Entfernung der Kohlensäure bewirkte eine Einsparung von etwa 40 % an Neutralisationsmittel und eine Senkung des m-Wertes im aufbereiteten Brauchwasser um 0,5 mmol/L. Die für die CO₂-Ausgasung erforderlichen Investitionen haben sich in weniger als einem halben Jahr amortisiert.

A part of the inflow stream to the mine water treatment plant of "Schwarze Pumpe" has high values of dissolved carbonic acid. In this water 70 % of the demand of lime is caused by the content of the physical dissolved carbonic acid. In laboratory tests was proved that more than 80 % of the dissolved inorganic carbon can be removed by a stripping process with air. In a pilot test the physical removal of dissolved carbonic acid was investigated and hereafter the stripping process was implemented in full scale. The results of the removal of the dissolved carbonic acid were: reducing of lime hydrate consumption of nearly 40 % and decreasing of the so called m-value around 0.5 mmol/L. The investments for CO₂-stripping were amortised in a time less than 6 months.

1 Einleitung

In der Grubenwasserreinigungsanlage Schwarze Pumpe werden täglich 250.000 bis 300.000 m³ Grubenwasser aus den Tagebauen Nochten und Welzow gereinigt. Ein Teil davon wird als Brauchwasser für das Kraftwerk Schwarze Pumpe aufbereitet. Das Wasser aus dem Tagebau Welzow weist hohe Gehalte an ungebundener Kohlensäure auf, weil es in geschlossenen Rohrleitungen bis zur GWRA Schwarze Pumpe geführt wird und die im Wasser gelöste Kohlensäure nicht entweichen kann. In der chemischen Aufbereitung verursacht diese Kohlensäure einen erheblichen Kalkverbrauch und erhöht den m-Wert des aufbereiteten Brauchwassers. Durch physikalische Entsäuerung sollte eine Verringerung des Kalkverbrauches und eine Senkung des m-Wertes im Brauchwasser erreicht werden.

2 Einfluss der ungebundenen Kohlensäure auf den Neutralisationsmittelbedarf

Der Neutralisationsmittelbedarf ist für Grubenwasserreinigungsanlagen ein wichtiger Planungsparameter, auf dessen Grundlage Dosiereinrichtungen und die Bevorratung an Neutralisationsmittel ausgelegt werden. Er resultiert aus der Summe der Alkalinität verbrauchenden Prozesse bei der pH-Wertanhebung und Ausfällung der im Grubenwasser enthaltenen Metalle. Der Neutralisationsmittelbedarf kann daher als Basenneutralisierungskapazität (BNC) des Grubenwassers in einem definierten pH-Intervall angesehen werden, wobei die Grenzwerte dieses Intervalls durch den pH-Wert des Grubenwassers selbst und dem Zielwert der Behandlung (z. B. pH=8,2) vorgegeben sind. Der in DIN 38409/7 definierte KB_{8,2}-Wert ist für die Bestimmung des Neutralisationsmittelsbedarfes nicht geeignet, weil die Metallionen nach der DIN-Vorschrift komplexiert und nicht ausgefällt werden. Im LMBV-Merkblatt „Montanhydrogeologisches Monitoring in der Phase des Abschlussbetriebs-

Tab. 1: Ausgewählte Parameter der Wasserqualität in den Sammelzubringern Ost und West (GWRA Schwarze Pumpe).

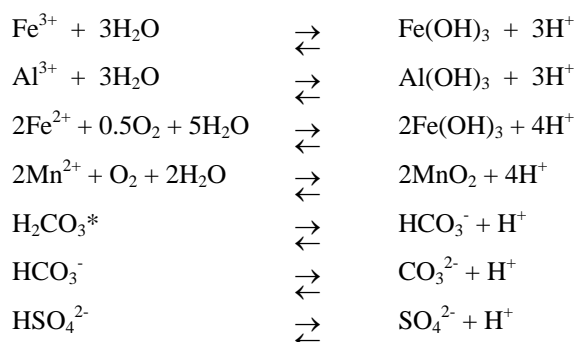
Parameter	Einheit	Sammelzubringer Ost (Tgb. Nochten)	Sammelzubringer West (Tgb. Welzow)
pH-Wert		3,44	5,9
LF	µS/cm	1550	940
Sauerstoff	mg/L	6,6	2,8
DIC	mg/L	2,1	54,2
Eisen(II), gelöst	mg/L	118	37
Eisen(III), gelöst	mg/L	10	1
Eisen(gesamt)	mg/L	130	39
Mangan	mg/L	2,2	1,2
Aluminium	mg/L	1,5	1,2
Sulfat	mg/L	760	480

planes“ (LMBV 1999) wurde deshalb der Parameter „*totale Acidität*“ eingeführt. Bei diesem Analysenverfahren erfolgt die titrimetrische Bestimmung ohne Komplexbildner und durch zusätzliches Erhitzen auf 90°C mit einem anschließenden zweiten Titrationsschritt. In anerkannten Regelwerken aus dem englischen Sprachraum sind ähnliche Verfahrensvorschriften unter den Bezeichnungen „*Total Acidity*“, „*Immediate Acidity*“, „*Potential Free Acidity*“ und „*Hot Acidity*“ bekannt (ROSE & CRAVOTTA 1998).

Der experimentellen Bestimmung des Neutralisationsmittelbedarfes ist gegenüber Rechenmethoden grundsätzlich der Vorrang einzuräumen. Da die *totale Acidität* ein Summenparameter ist, lassen sich daraus keine Aussagen ableiten, in welchem Umfang die vorhandenen Wasserinhaltsstoffe zur Acidität beitragen. Dazu muss die Wasserzusammensetzung bekannt sein. In Tabelle 1 sind ausgewählte Parameter der Wässer dargestellt, die in der GWRA Schwarze Pumpe behandelt werden. Die wichtigsten, Acidität hervorrufoende Inhaltsstoffe in diesen Wässern sind: Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Al^{3+} und H_2CO_3^* . Die durch diese Inhaltsstoffe generierbare Acidität kann an Hand der in Abbildung 1 dargestellten Gleichun-

gen abgeschätzt werden. Beim dreiwertigen Eisen führt dies allerdings zu ungenauen Werten, weil Fe^{3+} bei $\text{pH} > 2,5$ schon zu deutlichen Anteilen als hydrolysierte Species $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ und $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ vorliegt. Bei den in Tabelle 1 aufgeführten Wässern, die zum überwiegenden Anteil gelöstes zweiwertiges Eisen enthalten, ist der damit verbundene Fehler allerdings gering, allenfalls wird der durch Fe^{3+} hervorgerufene Neutralisationsmittelbedarf geringfügig überschätzt. Für praktische Belange hat sich diese Methode bewährt, um auf einfache Weise den Neutralisationsmittelbedarf abzuschätzen.

Aus der Ermittlung der anteiligen Mengen der aus den verschiedenen Species gebildeten Acidität (Tabelle 2) ergibt sich indes ein interessantes Ergebnis: Obwohl die beiden Wässer aus dem Sammelzubringer Ost (SZO) und dem Sammelzubringer West (SZW) etwa den gleichen Neutralisationsmittelbedarf aufweisen, zeigt sich im SZW, dass knapp 70 % des Verbrauches an Kalkmilch durch die Neutralisation der enthaltenen freien Kohlensäure in der ersten Dissoziationsstufe unter Bildung von Hydrogencarbonat verursacht werden. Der sehr unterschiedliche Anteil an gelöstem anorganischem Kohlenstoff (DIC) in beiden Wässern ergibt sich daraus, dass das Wasser im SZO über mehrere Kilometer im offenen System fließt (Breiter Graben) und im Anlandebecken West zwischengespeichert wird. Während dieser Zeit kann die überschüssige Kohlensäure ausgasen und sich der Gleichgewichtspartialdruck einstellen.

**Abb. 1: Acidität hervorrufoende Inhaltsstoffe von Grubenwässern.**

Tab. 2: Abschätzung der anteiligen Mengen Kalkhydrat zum Neutralisieren und Ausfällen der genannten Wasserinhaltsstoffe.

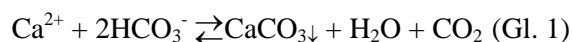
Wasser SZW (Tagebau Welzow)						Analysierte Werte			
Species	Konzentration		Neutralisations- äquivalente	Menge Ca(OH) ₂	anteilige Mengen Kalkhydrat	DIC			
	g/m ³	mol/m ³				pH-Wert			
Fe ²⁺	37	0,662	1,324	0,049	27,1%	54,9 mg/L			
Fe ³⁺	1,0	0,018	0,054	0,002	1,1%	5,92			
Al ³⁺	1,2	0,044	0,133	0,005	2,7%	Berechnete Werte			
Mn ²⁺	1,2	0,022	0,044	0,002	0,9%	DIC	4,5708E-03 mol/L		
H ₂ CO ₃ *	206,7	3,333	3,333	0,123	68,2%	H ⁺	1,2023E-06 mol/L		
	Summe reines Ca(OH) ₂ :			0,18	100,0%		mol/L	mmol/L	mg/L
	Kalkhydrat, techn. (85%):			0,21		H ₂ CO ₃ *	3,3325E-03	3,3325E+00	206,7
						HCO ₃ ⁻	1,2382E-03	1,2382E+00	75,5
						CO ₃ ²⁻	1,7782E-07	1,7782E-04	0,0

Wasser SZO (Tagebau Nochten)						Analysierte Werte			
Species	Konzentration		Neutralisations- äquivalente	Menge Ca(OH) ₂	anteilige Mengen Kalkhydrat	DIC			
	g/m ³	mol/m ³				pH-Wert			
Fe ²⁺	118	2,113	4,226	0,157	81,5%	2,1 mg/L			
Fe ³⁺	10	0,179	0,537	0,020	10,4%	3,44			
Al ³⁺	1,5	0,056	0,167	0,006	3,2%	Berechnete Werte			
Mn ²⁺	2,2	0,040	0,080	0,003	1,5%	DIC	1,7484E-04 mol/L		
H ₂ CO ₃ *	10,8	0,175	0,175	0,006	3,4%	H ⁺	3,6308E-04 mol/L		
	Summe reines Ca(OH) ₂ :			0,19	100,0%		mol/L	mmol/L	mg/L
	Kalkhydrat, techn. (85%):			0,23		H ₂ CO ₃ *	1,7462E-04	1,7462E-01	10,8
						HCO ₃ ⁻	2,1483E-07	2,1483E-04	0,0
						CO ₃ ²⁻	2,2523E-11	2,2523E-08	0,0

Das Wasser des SZW wird demgegenüber in Druckleitungen bis zur GWRA gepumpt, so dass hier die freie Kohlensäure nicht entweichen kann. Die kurze Fließstrecke im offenen Gerinne vor dem Zusammenführungsbauwerk (siehe Abbildung 2) in der GWRA reicht nicht aus, um eine merkbare Reduzierung im Kohlensäuregehalt zu bewirken. Wenn es durch technische Hilfsmaßnahmen gelingt, zumindest einen Teil der freien Kohlensäure aus dem Wasser zu entfernen, können erhebliche Einsparungen an Neutralisationsmittel erwartet werden. Aus dieser Situation leitet sich die Aufgabenstellung ab, zu prüfen, unter welchen Bedingungen eine Desorption der ungebundenen Kohlensäure möglich ist und wie diese Desorption technisch in der GWRA umgesetzt werden kann, ohne große Umbaumaßnahmen an der Anlage vornehmen zu müssen.

Die Desorption der ungebundenen Kohlensäure kann durch Gasaustausch mit Luft erfolgen. In diesem Fall spricht man auch von physikalischer Entsäuerung, weil durch das Austreiben der Kohlensäure der pH-Wert des Wassers ansteigt. Gleichzeitig kann es durch den Austrag von CO₂ mit der Luft zu einer Überschreitung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes nach Gleichung 1

kommen. In diesem Fall findet eine Fällung von Calciumcarbonat statt. Dieser Vorgang ist auch unter dem Begriff Entcarbonisierung bekannt.



Physikalische Entsäuerung und Entcarbonisierung sind in der Trinkwasseraufbereitung bekannte Prozesse. Die physikalische Entsäuerung hat gegenüber chemischen Verfahren den Vorteil, dass keine Reagenzien eingesetzt werden müssen. Dieser Vorteil sollte auch im vorliegenden Fall genutzt werden, um Neutralisationsmittel einzusparen.

3 Laborversuche

3.1 Neutralisationsmittelbedarf des unbelüfteten und des belüfteten Wassers

Zur Ermittlung des Neutralisationsmittelbedarfes wurden Titrationskurven mit Natronlauge aufgenommen (Abbildung 3). Zunächst wurde eine unbelüftete Wasserprobe aus dem SZW mit Natronlauge titriert. Die entsprechende Titrationskurve verläuft relativ flach und zeigt die typischen Titrationsstufen für die Bildung von

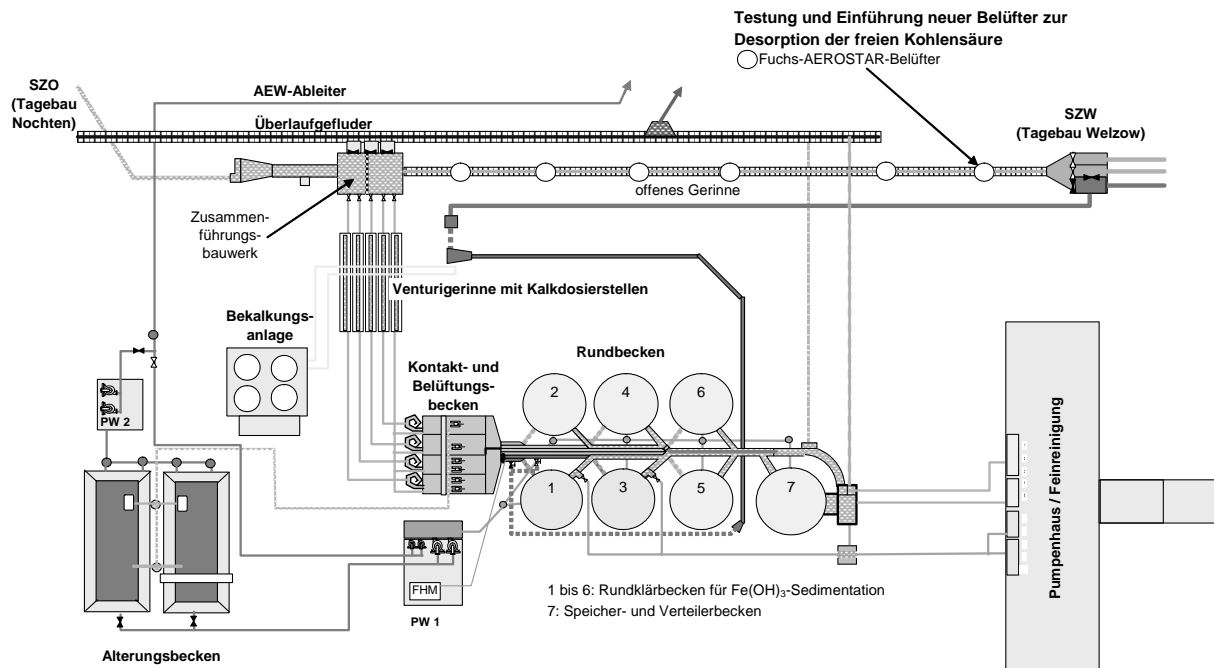


Abb. 2: Technologisches Schema der Grubenwasserreinigungsanlage.

Hydrogencarbonat- und Carbonat-Ionen. Der so ermittelte Neutralisationsmittelbedarf bis zum pH-Wert von 8,2 liegt bei 4,3 mmol/L. Das entspricht einem Verbrauch von 0,19 kg technischem Kalkhydrat je m³ und stimmt mit dem in Tabelle 2 abgeschätzten Kalkbedarf annähernd überein.

Eine zweite Wasserprobe wurde vor der Titration mit NaOH eine halbe Stunde intensiv belüftet, um die ungebundene Kohlensäure zu entfernen. Dabei steigt der pH-Wert des Wassers leicht an, so dass die Titrationskurve bei einem höheren pH-Wert beginnt. Die Kurve verläuft dann wesentlich steiler als bei der ersten Probe, weil das

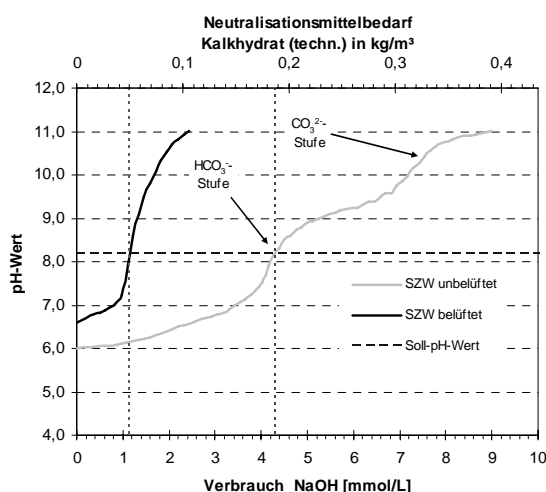


Abb. 3: Titrationskurven von unbelüftetem und belüftetem Wasser des SZW.

Wasser nach Entfernung der Kohlensäure eine viel geringere Pufferkapazität aufweist. Der pH-Sprung in der Titrationskurve wird jetzt durch die Fällung des zweiwertigen Eisens hervorgerufen. Der bis zum pH-Wert von 8,2 ermittelte Neutralisationsmittelbedarf von 1,15 mmol/L entspricht einem Verbrauch an technischem Kalkhydrat (85 % Wirksubstanz) von 0,05 kg/m³, was annähernd mit dem in Tabelle 2 gezeigten Verbrauch für Fe²⁺ übereinstimmt.

Durch diese Versuche bestätigt sich damit die Aussage, dass ca. 70 % des Neutralisationsmittelbedarfes für den Sammelzubringer West durch die darin enthaltene ungebundene Kohlensäure verursacht wird.

3.2 Ausblasen (Strippen) des gelösten CO₂

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse eines Versuches zum Ausblasen des gelösten CO₂ dargestellt. Der Versuch wurde mit 2 Liter Grubenwasser und einem Luftvolumenstrom von 120 mL/min durchgeführt. Die Luft wurde durch eine Glasfritte sehr feinblasig eingetragen.

Im rechten Diagramm von Abbildung 4 ist die Abnahme des gelösten anorganischen Kohlenstoffes (DIC) während der Belüftung dargestellt. Die Abnahme ist zu Beginn des Versuches schnell, wird dann langsamer und nähert sich zu Versuchsende einem Grenzwert. Dies ist ein typischer Kurvenverlauf für die Desorption von

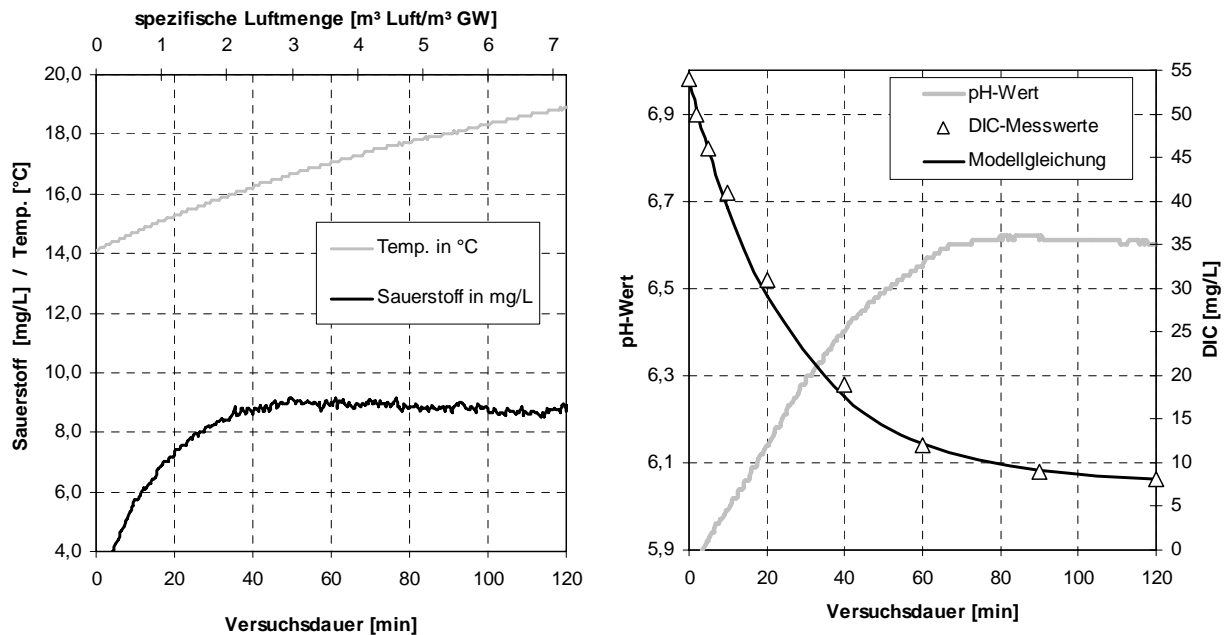


Abb. 4: Versuch zum Ausstrippen von gelöstem CO₂ aus Wasser des SZO (links: Temperatur und gelöster Sauerstoff, rechts: pH-Wert und DIC in Abhängigkeit von der Belüftungszeit).

gelösten Gasen (ATV 1996). Die Versuchswerte können mit Gleichung 1, die die Kinetik des Gasaustausches beschreibt, modelliert werden.

$$\frac{C_t - C_s}{C_0 - C_s} = e^{-(k_L a_T) \cdot t} \quad (\text{Gl. 2})$$

C_t Konzentration zum Zeitpunkt t

C_0 Anfangskonzentration

C_s Gleichgewichts- bzw. Sättigungskonzentration

$k_L a_T$ volumetrischer Stoffübergangskoeffizient („Belüfterkonstante“)

Aus den Laborversuchen wird deutlich, dass sich bei ausreichend langer Belüftungsdauer bis zu 85 % des gelösten anorganischen Kohlenstoffes aus dem Wasser entfernen lassen. Im nächsten Schritt sollen deshalb Belüftungsaggregate ausgewählt werden, mit denen ein Strippen der Kohlensäure möglich ist.

4 Technische Möglichkeiten zur Entfernung der ungebundenen Kohlensäure

Zum Gasaustausch oder zur Desorption gelöster Gase werden in der Wassertechnik verschiedene Apparate eingesetzt wie Rieseltürme mit Gegenstrombelüftung, Wellbahnkolonnen, offene Kaskaden, Kreiselbelüfter und so genannte Inka-Belüfter, bei denen das Wasser über eine feine

Siebplatte geleitet und von unten Luft durch die Siebplatte gedrückt wird. Bei so stark eisenhaltigen Wässern, wie dies bei dem Grubenwasser des SZW der Fall ist, scheiden Belüfter mit festen Einbauten (z.B. Rieseltürme oder Wellbahnkolonnen) von vornherein aus, weil es auf Grund der nach der Belüftung einsetzenden Verockerung schnell zu Verstopfungen und damit zu Betriebsstörungen kommen würde.

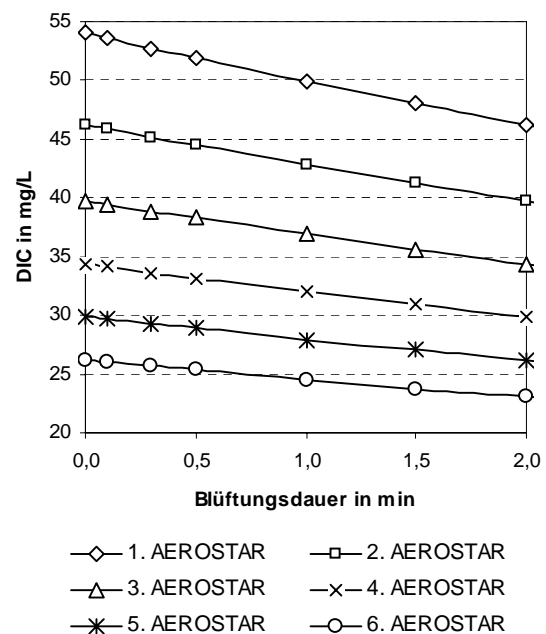
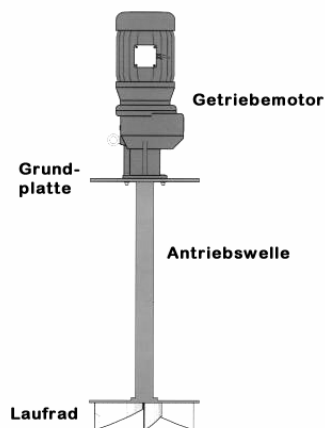


Abb. 5: Abschätzung zur Wirksamkeit von 1 bis 6 AEROSTAR-Belüftern (Typ AS 7,5) mit Hilfe Gleichung 2.

FUCHS AEROSTAR-Belüfter (schematisch)



FUCHS AEROSTAR - Belüfter AS 7.5

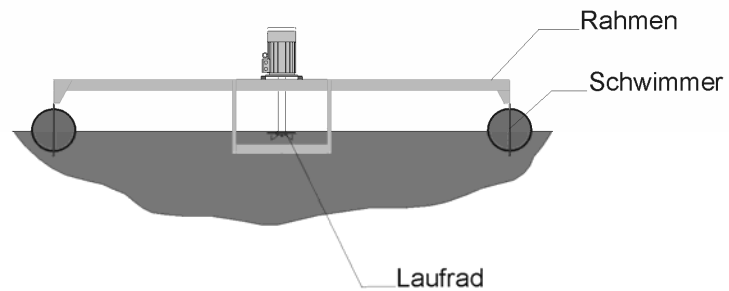


Abb. 6: Schematischer Aufbau eines AEROSTAR-Belüfters und maschinentechnische Anpassung des Belüfters an die Verhältnisse im Sammelzubringer West (mit Schwimmer und Rahmen).

Günstig für den vorgesehenen Zweck sind Oberflächenbelüfter, die mit einem schnell laufenden Rührer einen raschen Gasaustausch des gelösten CO_2 mit der eingetragenen Luft bewirken. Derartige Belüfter werden z. B. von der Fa. Fuchs Gas- und Wassertechnik angeboten. Als Einsatzort in der GWRA kommt nur das offene Gerinne des SZW zwischen Einlaufbauwerk und Zusammenführungsbauwerk (Abbildung 2) in Frage, weil die Desorption der Kohlensäure unbedingt vor der Kalkdosierung erfolgen muss. Die Schwierigkeiten zum Einsatz von Belüftern in diesem Bereich bestehen in der geringen Wassertiefe (ca. 1 m) und in der hohen Fließgeschwindigkeit, so dass sich das vorbeiströmende Wasser nur kurze Zeit im Turbulenzbereich des Belüfters befindet.

Auf Grund dieser Einsatzbedingungen wurde als Belüftertyp ein AEROSTAR-Belüfter ausgewählt. Diese Belüfter können auch bei geringen

Wassertiefen arbeiten und zeichnen sich durch einen hohen Wirkungsgrad aus. Trotzdem musste eine maschinentechnische Anpassung vorgenommen werden, um eine optimale Anordnung des Belüfters im Gerinne zu erreichen.

Nach der Auswahl des Belüftertyps musste noch eine Abschätzung der Wirksamkeit erfolgen, um die Anzahl der benötigten Belüfter zu ermitteln. Dazu wurde die mögliche Desorption der Kohlensäure nach Gleichung 2 für eine mittlere Verweilzeit des Wassers in der Turbulenzzone des Belüftungsrührers von 2 min und einer Belüfterkonstante von $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ für eine Anzahl von 1 bis 6 Belüftern berechnet (Abbildung 5). Erwartungsgemäß sinkt die Wirksamkeit der Belüfter mit zunehmender Anzahl. Beim Einsatz von 2 Belüftern ist nach dieser Abschätzung eine DIC-Verminderung um 15 mg/L zu erwarten, was zu einer voraussichtlichen Kalkeinsparung von knapp 24 % führen würde.



Abb. 7: AEROSTAR-Belüfter im Sammelzubringer West der GWRA Schwarze Pumpe.

Tab. 3: Ermittlung der Amortisation der neu eingesetzten Belüfter.

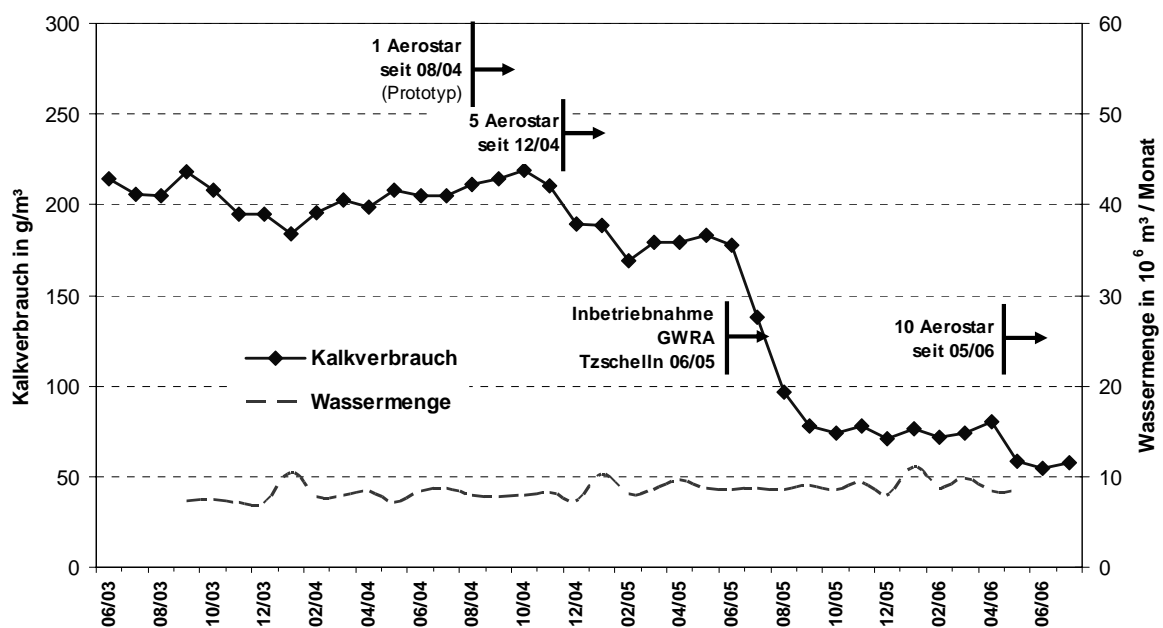
Kenngröße	Einheit	Wert
Wassermenge SZW	m ³ /h	3.500
Kalkbedarf ohne CO ₂ -Entfernung	kg/m ³	0,21
Kalkbedarf mit CO ₂ -Entfernung	kg/m ³	0,13
mögliche Einsparung Kalkhydrat	t/a	2.524
spezifische Kosten Kalkhydrat	EUR/t	80
Kostenreduzierung durch geringeren Kalkverbrauch	EUR/a	201.952
Anschaffungskosten + Nebenkosten für 5 AEROSTAR-Belüfter	EUR	53.125
jährliche Betriebskosten für 5 Belüfter (Stromkosten + Wartung)	EUR/a	30.530
Amortisation	Jahre	0,31
	Monate	3,7

5 Einführung großtechnischer Belüfter zur CO₂-Desorption in der GWRA „Schwarze Pumpe“

Auf Grund der zu erwartenden positiven Effekte entschied sich der Betreiber der GWRA, die Entfernung der ungebundenen Kohlensäure großtechnisch einzuführen. Zunächst wurde deshalb ein Pilotversuch mit einem Prototyp des vorgesehenen Belüfters durchgeführt. Dieser Belüfter brachte zwar die erwartete Verminderung im DIC-Gehalt des Wassers von 5 bis 8 mg/L, jedoch gab es Schwierigkeiten mit der Stabilisierung des Lüfters im strömenden Gerinne und mit der Erfassung des gesamten Strömungsquerschnittes durch den Belüfter. Deshalb erfolgte

durch den Hersteller des Belüfters eine maschinentechnische Anpassung, die vor allem in einer veränderten Konstruktion des Halterahmens und der Schwimmer bestand.

Ab Dezember 2004 erfolgte dann der Einsatz von insgesamt 5 AEROSTAR-Belüftern im Sammelzubringer West. Die Lüfter arbeiten seit 2,5 Jahren störungsfrei. Die erreichte Verminderung im DIC-Gehalt des SZW beträgt durchschnittlich 25 mg/L. Daraus ergibt sich eine jährliche Einsparung von etwa 2.500 t Kalkhydrat. Auf Grund dieser Einsparungen haben sich die Belüfter in einer Zeit von etwa 4 Monaten amortisiert (Tabelle 3). Neben diesem sehr guten ökonomischen Ergebnis hat der Einsatz der Belüfter noch weitere positive Wirkungen: Die neuen Belüftungseinrichtungen verhindern die Sedimentation von Eisenschlämmen im Sammelzu-

**Abb. 8: Entwicklung des Verbrauches an Kalkhydrat in der GWRA Schwarze Pumpe nach Einsatz der AEROSTAR-Belüfter zur Desorption der ungebundenen Kohlensäure.**

bringer West, so dass Wartungsaufwendungen für die Entfernung der Schlämme zukünftig entfallen. Noch wichtiger ist aber die Verringerung des m-Wertes um 0,5 mmol/L im Brauchwasser, welches zum Kraftwerk Schwarze Pumpe geliefert wird. Durch diese m-Wertverringerung ist eine höhere Eindickung im Kühlwasser möglich und die Aufwendungen für die Wasserenthärtung konnten gesenkt werden.

Abbildung 8 zeigt die Entwicklung des spezifischen Kalkverbrauches in der GWRA Schwarze Pumpe. Dieser Kalkverbrauch bezieht sich aber auf beide Teilströme (SZO und SZW). Eine getrennte Erfassung des Kalkverbrauches der beiden Teilströme ist in der Anlage nicht vorgesehen. Deshalb wird die durch die Belüfter erreichte Kalkeinsparung auch durch andere Effekte, wie z.B. die Inbetriebnahme der GWRA Tzschelln überlagert. Vor Einsatz der Belüfter betrug der Kalkverbrauch wie in Tabelle 2 berechnet 200 bis 230 g/m³. Durch den Einsatz von 5 AEROSTAR-Belüftern konnte der Kalkverbrauch auf 175 g/m³ (Durchschnitt SZW +

SZO) verringert werden. Auf Grund der positiven Ergebnisse wurden im Jahre 2006 nochmals 5 AEROSTAR-Belüfter angeschafft und im SZW eingesetzt. Dadurch konnte wie in Abbildung 8 zu erkennen eine weitere Senkung des Kalkverbrauches erreicht werden.

6 Literatur

- DIN 38409/7: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, H7: Bestimmung der Säure- und Basenkapazität.
- LMBV (1999): Merkblatt „Montanhydrogeologisches Monitoring in der Phase des Abschlussbetriebsplanes“, erstellt vom Dresdner Grundwasserforschungszentrum im Auftrage der LMBV, 1999.
- ROSE, A.W. & CRAVOTTA III, CH.A. (1998): Geochemistry of coal mine drainage, In: Coal Mine Drainage Prediction and Pollution Prevention in Pennsylvania, Harrisburg, 1998.
- ATV-Merkblatt M 209: Messung der Sauerstoffzufuhr von Belüftungseinrichtungen in Belebungsanlagen in Reinwasser und in belebtem Schlamm, Abwassertechnische Vereinigung e.V., Juni 1996