

Der Einsatz von CO₂ und Alkalien zur Behandlung schwefelsaurer Tagebaufolgeseen

Christian Koch, Bastian Graupner & Florian Werner

Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V. (DGFZ), Meraner Str. 10, 01217 Dresden,
Email: ckoch@dgfz.de

In the course of the R&D project CDEAL alkaline deposits in the mining region Lausitz (e.g. brown coal fly ash deposits within the acidic mining lake Burghammer) are investigated. The aim of the investigation is an assessment of the alkaline potential the sediments have as well as the feasibility to use them in industrial scale processes. In this respect it is investigated if a possible field scale application can improve water quality within the lake and simultaneously mineralise carbon dioxide using lake sediments and CO₂.

Based on the research a process scheme is ought to be develop to increase pH-values and alkalinity of acidic mining lakes. Processes aiming to improve water quality of acidic mining lakes focus mainly on direct application of alkaline substances like lime, dolomite or fly ashes. Problems occur in waters with high sulphate and calcium concentrations, when grain armouring occurs and efficiency of chemical usage is reduced. Further all these processes are limited in the achievable alkalinity of the resulting water.

Within CDEAL a process is developed which circumvent grain armouring of particles and helps to work more efficient regarding chemical degree of effectiveness, using less process water and therefore saving operational costs. The presented experiments are in line with the work of WATTEN & SCHWARTZ 1996, WATTEN et al. 2005 and WERNER 2006 and focus on the use of carbon dioxide within acidic mine water remediation projects.

Within the batch experiments distilled water, lake water, tap water and river water was used. Based on the results of the batch experiments a set up for a bench scale experiment is developed. Up to 20 L/min of process water can be treated using this plant. The plant works as plug flow reactor. Therefore, problems of solid transport within a flow reactor are discussed.

Based on the conducted experiments a field scale application is proposed, which uses alkaline deposits and carbon dioxide to improve water quality within an acidic mining lake.

1 Einleitung

Im Rahmen des F&E Vorhabens CDEAL wird untersucht, ob sich alkalische Feststoffspeicher in der Lausitz, wie die Ascheablagerungen im Tagebausee Burghammer, zur Speicherung von CO₂ durch dessen Mineralisierung eignen. In diesem Zusammenhang wird das Potential zur Wasserbehandlung betrachtet, welches sich beim Einsatz von alkalischen Materialien und Kohlendioxid in der Sanierung schwefelsaurer Tagebausseen ergibt. Aus den Erfahrungen in der Bearbeitung von CDEAL wird ein Verfahren entwickelt, dass sich eignet den pH-Wert von schwefelsauren Tagebausseen und dessen Pufferkapazität zu erhöhen.

Der Tagebausee Burghammer, der als Anwendungsbeispiel für CDEAL dient, ist Teil der

Specherkette Dreiweibern, Lohsa II und Burghammer. In den Jahren 1970 bis 1990 wurden ca. 26 Mio. m³ Aschesuspensionen in diesen See verbracht, die sich als reaktiver Aschekörper abgelagert haben und zur Sanierung des Sees genutzt werden sollen. Ein erster Versuch zur Aufnahme und Resuspendierung dieser Aschensedimente wurde im Jahr 2001 durchgeführt. Die pH-Werte im See konnten kurzzeitig angehoben werden. Eine nachhaltige Sanierung war hingegen nicht möglich, da die Pufferkapazität des behandelten Wassers gering war.

Gesamtheitlich versucht CDEAL die Umweltrisiken durch den CO₂ Ausstoß in die Atmosphäre zu reduzieren und mit der Sanierung saurer Tagebausseen zu einer Sanierungsstrategie zu verknüpfen. Die CO₂ Reduzierung kann durch die

Bildung von Carbonaten und deren Ablagerung im See erreicht werden.

Die Zugabe von alkalischen Materialien zu schwefelsaurem Wasser und die Fällung von Carbonaten und deren Festlegung in einem See stellen zwei gegenläufige chemische Prozesse dar. Innerhalb des Projektes CDEAL soll deshalb geprüft werden, welche Strategie unter Ausnutzung des alkalischen Potentials des Seesedimentes sinnvoll und für die Lausitz gewinnbringend anwendbar ist. Ausgehend von der Beschreibung des Forschungsobjektes sollen im Folgenden Batch- und Technikumsversuche vorgestellt und erläutert werden auf deren Basis eine erste Abschätzung eines industriell anwendbaren Prozesses zur Sanierung der Wasserqualität eines schwefelsauren Tagebausees steht.

2 Standortbeschreibung

2.1 Standort–Tagebausee Burghammer

Erkundungsdaten wurden genutzt, um die Ausdehnung des, nach den vorliegenden Untersuchungen, 26 Mio. m³ großen Aschesedimentkörpers darzustellen. Im nördlichen Teil des Seebekens (Abb. 1) ist der Aschekörper zu sehen.

Die Ascheablagerungen wurden in den Jahren 2003 und 2004 überflutet und befinden sich in den heutigen Flachwasserbereichen des Tagebausees.

2.2 Sediment des Tagebausees Burghammer

Seit 1976 wurde Braunkohlenfilteraschen (BFA) in den jetzigen Uferbereichen des Tagebausees Burghammer verbracht und abgelagert. Sie bilden einen Teil des innerhalb der Voruntersuchungen zu den Batchexperimenten beprobenen Sedimentes.

Bereits im November 2005 wurden vom DGFZ e.V. Sedimentproben (1 m Tiefe) mit einem Sedimentstecher durchgeführt. Im Dezember 2005 erfolgten durch die TU Bergakademie Freiberg, welche als Verbundpartner im Projekt CDEAL agiert, Sedimentprobenahmen bis in 9 m Tiefe. Die mit dem Sedimentstecher gewonnenen sowie aus den nachfolgenden Linerbohrungen stammenden Proben, wurden physikalisch und chemisch untersucht, aufbereitet und in Batchversuchen auf ihre Eignung zur Kohlendioxid-Mineralisierung, Kohlendioxid-Immobilisierung und Wasserqualitätsverbesserung geprüft.

Die bei den durchgeführten Probenahmen gewonnenen Sedimentkerne wurden hinsichtlich ihrer

- physikalischen Eigenschaften (Korngrößenverteilung, Dichte, Wassergehalt),
- ihrer mineralogischen Eigenschaften sowie
- ihrer geochemischen Eigenschaften (Elutionsverhalten, Bestimmung des anorganisch gebundenen Kohlenstoffgehaltes) untersucht.

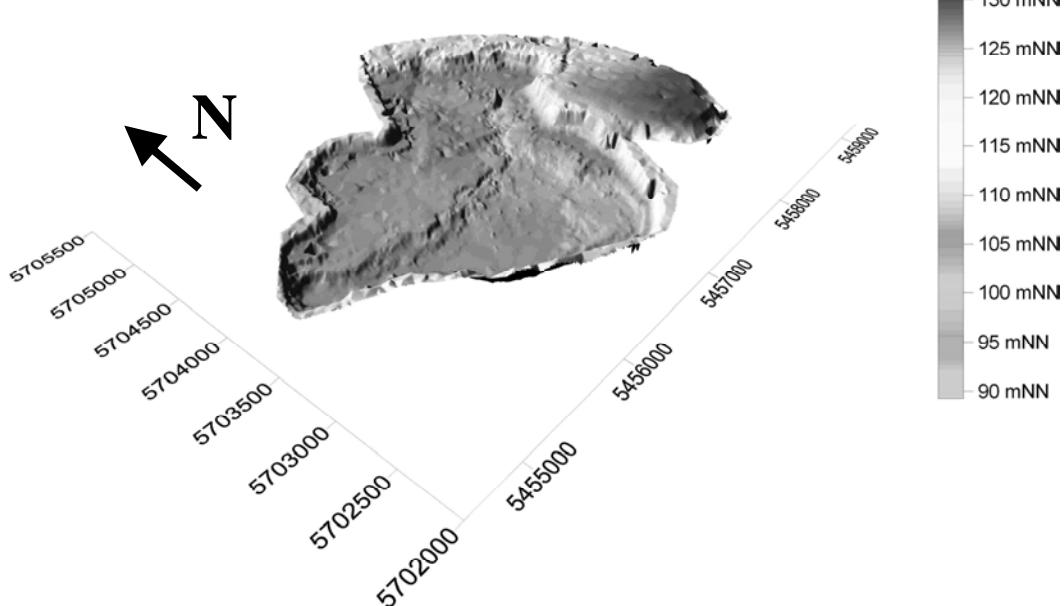


Abb. 1: Morphologie Tagebausee Burghammer (Gauß-Krüger-Koordinatensystem, RD 83).

Auf der Grundlage der Experimente und Untersuchungen kann folgendes abgeleitet werden:

- Alle nachgewiesenen Elemente sind im Sedimentkörper vertikal verteilt.
- Das Sediment ist teilweise carbonatisiert.
- Die leicht verfügbaren Ca-Verbindungen (sequentielle Extraktionen) übersteigen die TIC-Konzentration und lassen damit den Schluss zu, dass der größte Teil des Aschensedimentes reaktiv ist.

Abb. 2 zeigt die vertikale Verteilung der gemessenen TIC-Gehalte im Sedimentkörper an einem ausgewählten Probenahmepunkt, die in sequentiellen Extraktionen nachgewiesene leicht verfügbaren Ca-Konzentrationen sowie die Differenz beider. Ist diese Differenz positiv, kann von verfügbarem reaktivem Material ausgegangen werden.

3 Batchversuche

3.1 Ziel der Batchversuche

Ziel der durchgeführten Batchversuche ist der Nachweis, dass eine CO₂-Immobilisierung als Carbonat und die gleichzeitige Verbesserung der Wasserqualität von sauren Tagebauseen generell stattfindet. CO₂ soll unter Zuhilfenahme von Frischaschen, direkt aus dem Kraftwerk, oder von schon im Tagebausee abgelagerten Aschensedimenten mineralisiert werden. Die als Reaktionsprodukte entstehenden Carbonate werden langfristig am Boden der Tagebauseen abgelagert.

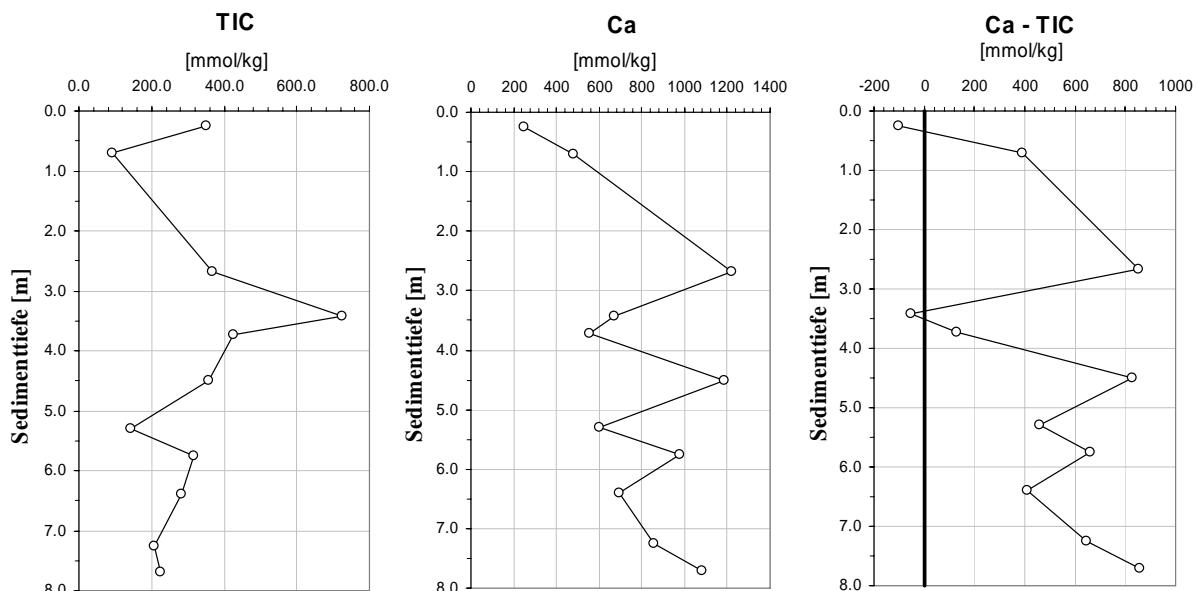


Abb. 2: Vertikale Verteilung TIC und Ca am Probenahmepunkt P3.

Um das Ziel in ein verfahrenstechnisches Konzept zu bringen, war es notwendig in den Batchversuchen Erkenntnisse über das Zusammenwirken von wässriger Phase (destilliertes Wasser oder Seewasser), fester Phase (Frischashen und Aschesediment) und Gasphase (technisches CO₂) zu gewinnen. In einem Großteil der Versuche wurde destilliertes Wasser eingesetzt, um grundlegende Erkenntnisse zur CO₂-Begasung unter definierten Versuchsbedingungen, d. h. ohne den Einfluss von Seewasser, zu gewinnen. Im Folgenden sollen der Versuchsaufbau und die Durchführung der Versuche dargestellt und aus den Versuchsergebnissen verfahrenstechnisch bestimmende Parameter abgeleitet werden.

3.2 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

3.2.1 Versuchsaufbau

Die Batchversuchsanlage besteht aus einem zylindrischen Acrylbehälter. In den Deckel ist eine Gummidichtung eingelassen, um den Behälter gasdicht verschließen zu können. Verschlossen beträgt das Volumen im Reaktor 1284 mL (siehe Abb. 3).

Durch eine Fixierung des Deckels an der Bodenplatte der Anlage über sechs Schraubverbindungen, kann das System auch bei Überdrücken bis 2 bar arbeiten. Alle notwendigen Messelektroden und Sicherungseinrichtungen sind in den Deckel eingelassen. Zur sicheren Versuchsdurchführung wurde ein Membran-Druckbegrenzungsventil angebracht.

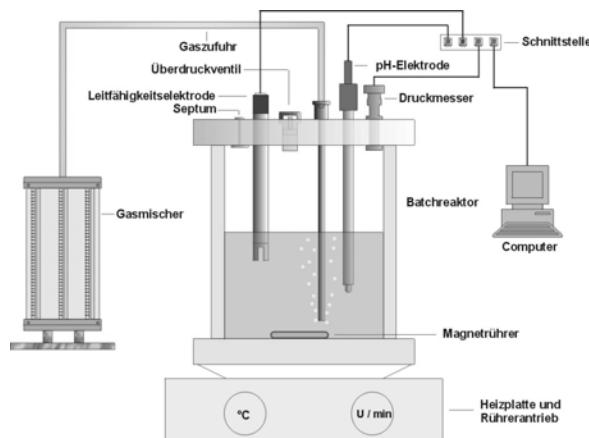


Abb. 3: Schematische Darstellung der Batchversuchsanlage.

Die Begasung mit einem Gemisch aus technischem Stickstoff und Kohlendioxid erfolgt über einen Gasmischer. Der Ausgang des Gasmischers wird zur Begasung mit einem Ventil im Deckel des Batchreaktors verbunden. Zwei Varianten der Begasung sind mit dieser Anordnung realisierbar. Zum Ersten kann nur der Head-Space begast werden. Zum Zweiten kann das Gasgemisch am Boden des Reaktors eingepertzt werden.

Der pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit, die Temperatur und der Druck im System werden kontinuierlich aufgezeichnet. Die Wasser- und Gasprobenahme erfolgt über ein gasdichtes Septum.

3.2.2 Versuchsdurchführung

Der Ablauf jedes Versuches gestaltet sich zur besseren Reproduzierbarkeit der Ergebnisse gleich. Die Versuche wurden in drei Phasen unterteilt:

- Lösung von Feststoff (Phase A),
- Begasung der hergestellten Suspension (Phase B),
- Nachlaufphase (Phase C).

Der reaktive Anteil des in dem jeweiligen Versuch eingesetzten Feststoffes (Asche oder Sediment) wird in der ausgewählten wässrigen Phase (destilliertes Wasser oder Seewasser) bis zur Konstanz der elektrischen Leitfähigkeit gelöst.

Ist die elektrische Leitfähigkeit konstant, wird die Begasung mit dem über den Gasmischer vor dem Versuch eingestellten prozentualen CO_2 -Anteil und Durchfluss gestartet. Je nach Versuchsziel wurden die Häufigkeit der Begasung sowie die Begasungszeit je Begasungsintervall festgelegt. Während der Begasung ist der CO_2 -Partialdruck im Head-Space konstant.

3.3 Ergebnisse Batchversuche

Für die Darstellung der Ergebnisse wird ein Versuch betrachtet, der einen typischen Verlauf zeigt und als repräsentativ gilt. Insgesamt wurden 45 Versuche durchgeführt, sowohl mit destilliertem Wasser, als auch mit Seewasser. Destilliertes

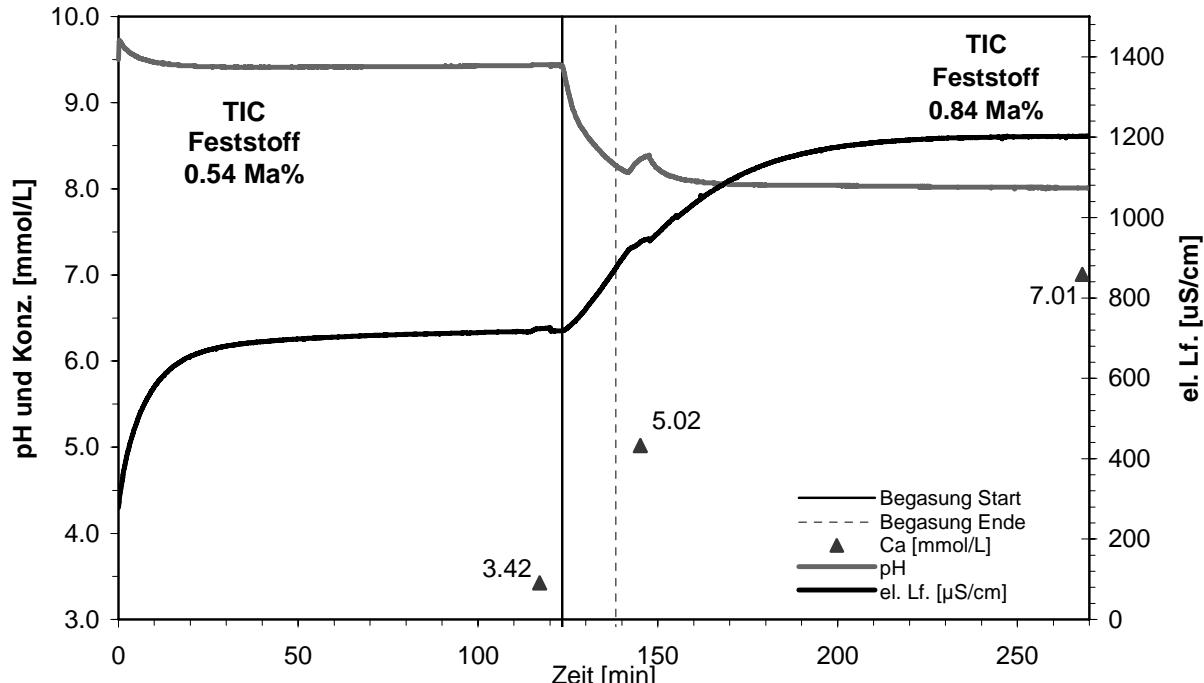


Abb. 4: Batchversuch mit Seesediment (Versuch BV 22, 30% CO_2 , Aqua Dest.).

Wasser wurde verwendet, um die Fällung getrennt vom Aufwand zur Neutralisation des derzeit sauren Seewassers zu untersuchen. Die über den Gasmischer eingestellte Gaszusammensetzung im Head-Space des Batchreaktors kann für jedes Begasungsintervall als konstant angenommen werden, was durch Gasanalysen bestätigt wurde.

Abb. 4 zeigt den pH-Wert- und Leitfähigkeitsverlauf des Versuches BV22. Das System reagiert nach Start der Begasung mit Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit und mit abfallendem pH-Wert. Die Begasung wurde abgebrochen, als der pH den Wert 8,2 erreicht hat. In Phase C bleibt der pH-Wert konstant auf 8 (Wasserbeschaffenheit siehe Tab. 1).

In den anschließenden Feststoffuntersuchungen wurde eine Erhöhung des TIC Gehaltes von 0,3 Masse-% nachgewiesen. Versuche mit allen Sedimenten zeigen, unabhängig von eingestellten Versuchsparametern und -bedingungen, einen ähnlichen Verlauf.

Beim Suspendieren der Feststoffe spielen neben der Temperatur des Lösungsmittels, die Rührzeit und die Art der Mischung (Turbulenz) eine wesentliche Rolle.

Trotz der nachgewiesenen Carbonatfällung, die auf Grund der Calcium-Dominanz überwiegend als Calcit erfolgt, sinken die Calcium-Konzentrationen in den Versuchen mit Sedimenten nicht. Grund hierfür sind Prozesse mit denen Calcium aus den Feststoffen nachgeliefert wird wie Kationenaustausch und Lösung calciumhaltiger Feststoffe.

In allen Versuchen kann eine Erhöhung des TIC in der wässrigen Phase beim Vergleich der Phasen A und C erreicht werden. Die Pufferkapazität des hergestellten Wassers steigt und leistet einen Beitrag zur Wasserbehandlung. Aluminium wird in Lösung gebracht, im Versuchsverlauf aber wieder gefällt. Es findet, weder beim Einsatz der Sedimente noch beim Einsatz der vergleichenden Untersuchungen mit Frischaschen eine Lösung der Spurenstoffe Arsen, Cadmium, Cobalt, Chrom, Kupfer oder Blei statt. Die Analyseergebnisse liegen unterhalb der Nachweigrenze. Eisen, Zink, Bor, Barium und Phosphat spielen eine untergeordnete Rolle: die jeweiligen Konzentrationen bewegen sich unterhalb oder geringfügig über der Nachweigrenze. Sulfat geht sowohl beim Suspendieren der Aschesedimente als auch der Aschen in Lösung.

Tab. 1: Wasserbeschaffenheit BV 22 in den Versuchphasen A, B, C.

	Sediment - BV 22 [mmol/L]		
	Seesediment mit Aqua Dest.		
	A	C1**	C2
TIC	0,19	3,03	1,91
K ⁺	0,43	0,42	0,46
Na ⁺	0,32	0,35	0,38
Ca ²⁺	3,42	5,02	7,01
Mg ²⁺	0,10	0,13	0,17
Al ³⁺	0,28	0,05	0,03
Cl ⁻	0,13	0,15	NWG*
SO ₄ ²⁻	3,26	3,82	5,38

*NWG – Konzentration unterschreitet Nachweigrenze,

**Probenahme kurz nach der Begasung (Phase B)

3.4 Carbonatfällung

Aus der Differenz der TIC-Gehalte der Feststoffe vor und nach dem Versuch wird das mineralisierte CO₂ berechnet. Die Ergebnisse zeigt Tab. 2.

Eine zeitliche Abhängigkeit zwischen der Zeit nach der Begasung (Dauer Phase C) und der Menge gefällter Carbonat konnte nicht nachgewiesen werden. Die Carbonatfällung ist innerhalb von Minuten abgeschlossen und wirkt sich damit nicht limitierend auf eine technologische Umsetzung aus.

3.5 Behandlung Seewasser Burghammer mit alkalischem Sediment und CO₂

Wird der Fokus der in CDEAL angestrebten Strategie auf die Behandlung von schwefelsaurer Tagebauseewasser gelegt, kann eine deutliche Verbesserung der Wasserqualität bezüglich pH-Wert und Pufferkapazität erreicht werden. Die durchgeführten Versuchsreihen zeigen deutlich das Potential beim Einsatz von CO₂ in der Behandlung saurer Tagebauseen. BV103 stellt einen repräsentativen Versuch dar. Der Versuchsverlauf ist in Abb. 4 dargestellt. In dem Versuch wurde der CO₂-Partialdruck des Wassers in einem ersten Verfahrensschritt (Begasung) erhöht. In einem zweiten Schritt erfolgte die Zugabe des Sedimentes. Um BV103 mit einer herkömmlichen und schon praktizierten Variante der Sanierung von saueren Tagebauseen vergleichen zu können, sind die Versuche BV36 und BV37 in Abb. 5 enthalten. In beiden Versuchen wurde Seesediment zur Neutralisierung des Seewassers verwendet. Bei dem direkten Vergleich wird deutlich, dass der erreichte pH-Wert

Tab. 2: Ergebnisse der Carbonatfällung.

Versuch	ΔC Feststoff [g C / kg]	Gebundenes CO ₂ [mol C / kg]	[g CO ₂ / kg]	Kommentar
BV19	-0,50	-0,042	-1,83	Sediment P2-6,5 (6,95-7,10)
BV22	3,00	0,250	10,99	Sediment P3-9,5 (9,75-10,0)
BV24	1,90	0,158	6,96	Sediment P3-9,5 (9,75-10,0)
BV25	3,40	0,283	12,46	Sediment P3-9,5 (9,75-10,0)
		Min.	-1,83	[g CO ₂ / kg]
		Max.	12,46	[g CO ₂ / kg]

am Ende des Versuches keine ausreichende Begründung des Sanierungserfolges darstellt. Erst im Vergleich mit der erreichten Alkalinität des resultierenden Wassers, wird das Potential der in CDEAL vorgeschlagenen Behandlungsstrategie deutlich.

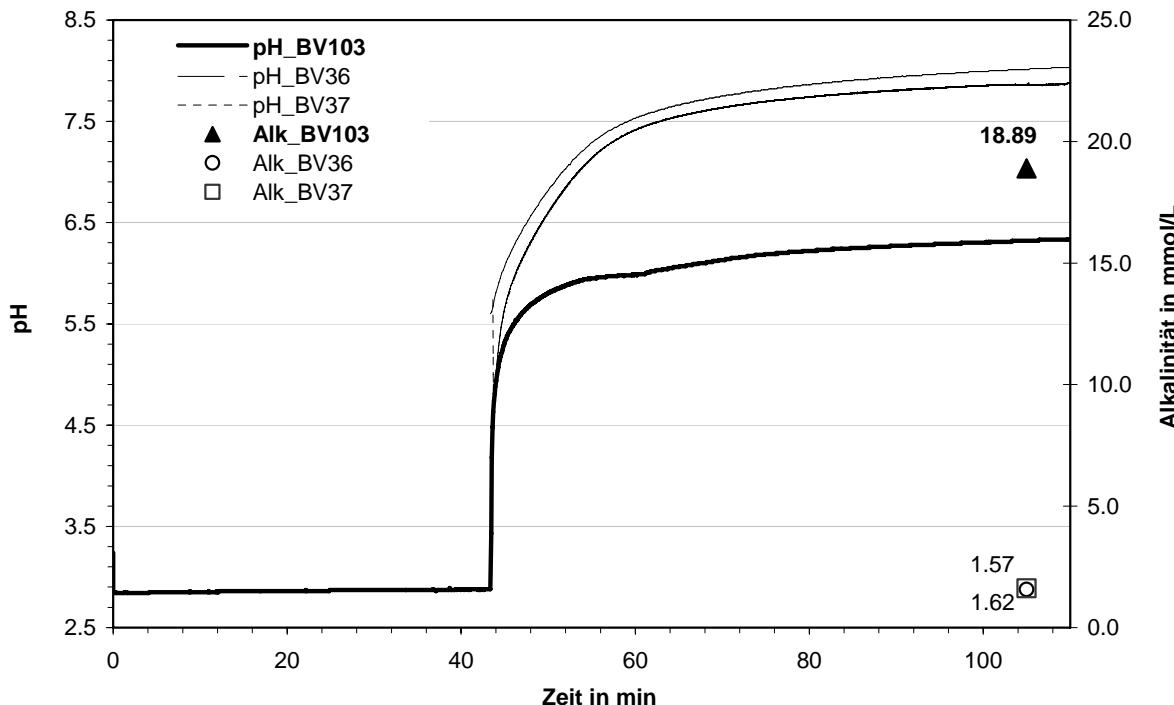
Bei der Verwendung des Sedimentes zur Neutralisierung wird die erreichbare Alkalinität durch den pH-Wert der Calcitsättigung limitiert. Aus diesem Grund ist die Alkalinität in BV36 und BV37 in der Größenordnung der natürlicher Gewässer, die im Gleichgewicht mit der Atmosphäre stehen ($\text{Alk}_{\text{BV36}}=1.57 \text{ mmol/L}$, $\text{Alk}_{\text{BV37}}=1.62 \text{ mmol/L}$). Wird CO₂ in der Sanierung verwendet, wie in BV103 experimentell dargestellt, kann dem Wasser eine wesentlich höhere Alkalinität ($\text{Alk}_{\text{BV103}}=18.89 \text{ mmol/L}$) aufgeprägt werden. Diese Wässer sind zur Mischung mit sauren Wässern einsetzbar, wobei der Vorteil der stark erhöhten Alkalinität genutzt wird.

4 Technikumsversuche

Die Technikumsversuche stellen eine Erweiterung der Batchversuche dar. Die aus den Batchversuchen abgeleiteten Reaktionsgeschwindigkeiten und verfahrenstechnischen Randbedingungen werden in einem technischen Konzept umgesetzt und in kleinem Maßstab untersucht. Der Technikumsversuch fokussiert auf einer möglichen Maßstabsübertragung. Das Konzept der in Abb. 6 dargestellten Anlage basiert auf der Vorstellung die reaktiven Sedimente des Tagebaus Burghammer mit einem Saugspülbagger aufzunehmen und entsprechend des in den Batchversuchen entwickelten Verfahrenskonzeptes zu behandeln.

Dabei sind folgende technologische Überlegungen in das Konzept eingeflossen:

- Die Lösung der Sedimente ist eine transportkontrollierte Reaktion und damit abhängig von der erzeugten Turbulenz in der Trans-

**Abb. 5: Zeitlicher Verlauf Versuch BV103 (Sediment+Seewasser+CO₂).**

portleitung, die an den Saugspülbagger angegeschlossen ist.

- Die mittlere Aufenthaltszeit in der Rohrleitung, abhängig vom Durchfluss, dem Durchmesser und der Länge der Rohrleitung ist in Abhängigkeit von der Lösungskinetik des Feststoffes zu bestimmen.
- Der Feststoff sollte trocken dosiert werden, um die Kontakt- bzw. Reaktionszeit der Feststoffe definieren zu können und damit realitätsnahe Bedingungen nachzubilden.
- Die für den Feststofftransport kritische Geschwindigkeit in der Rohrleitung muss überschritten werden, um Ablagerungen in der Rohrleitung zu verhindern.
- Der Gaseintrag muss an die Feststoffkonzentration angepasst werden können, da der CO₂-Partialdruck die Lösungskinetik des Feststoffes beeinflusst.

Zur Einstellung eines definierten Feststoff-Wasser-Verhältnisses wurde eine Vibrationsrinne gewählt, mit der ein konstanter Feststoffmassenstrom dosieren werden kann. Mit der angeschlossenen Membranpumpe wird ein konstanter Volumenstrom durch die Anlage garantiert. Die CO₂-Dosierung erfolgt über eine Zweiphasendüse. Wie auch beim Saugspülbagger wird im

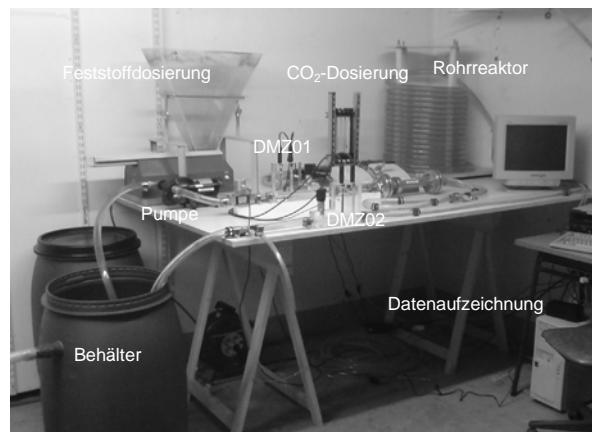


Abb. 6: Aufbau Technikumsversuch Saugspülbagger.

Technikumsversuch der Reaktionsverlauf in einem Rohreaktor stattfinden. Der Durchfluss der Anlage, die Länge sowie der Durchmesser des Rohreaktors sind von den wahrscheinlichen Aufenthaltszeiten in einer Rohrleitung eines in der Lausitz eingesetzten Saugspülbaggers abgeleitet.

Die Messung der Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit und Druck werden durch in Durchflussmesszellen eingebaute Elektroden realisiert. Die Datenerfassung erfolgt im Sekundentakt.

Erste Orientierungsversuche wurden mit Leitungswasser und Braunkohlenfilterasche (BFA)

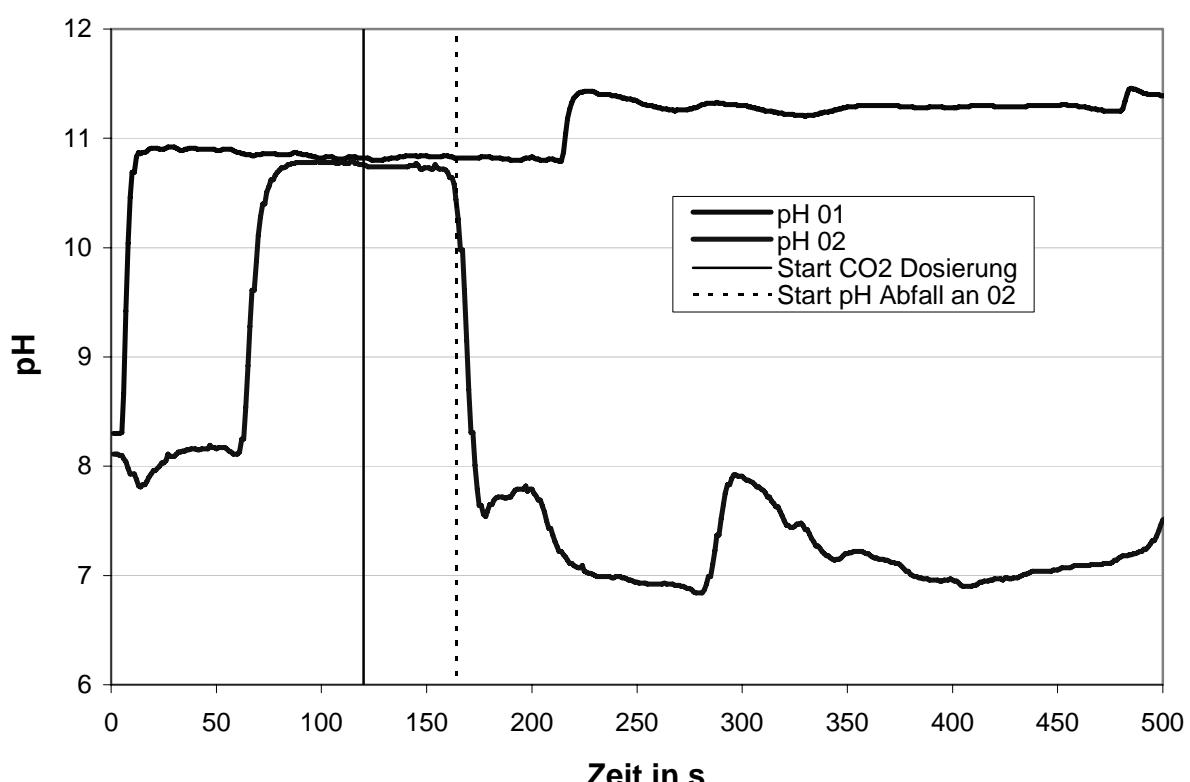


Abb. 7: pH-Wert Verlauf des Versuches Q10-AW5.

Tab. 3: Übersicht möglicher Parametervariationen – Technikumsversuch CDEAL.

Parameter	Einheit
Durchfluss Wasser $Q =$	L/min
$Q_m \text{ CO}_2 =$	mmol/min
Feststoff =	-
Feststoffanteil =	%
Vordruck Gas =	bar
Temperatur Gas =	°C
$d_i =$	mm
Länge Schlauch $L =$	m
$v =$	cm/s
kinematische Viskosität $v =$	m^2/s
$Re =$	-
mittlere Aufenthaltszeit $t_A =$	s

des Kraftwerkes Jänschwalde durchgeführt. Einen typischen Versuchsverlauf zeigt Abb. 7. In Tab. 3 sind relevanten Versuchs- und Anlagenparameter aufgelistet. In dem Versuch Q10-AW5 mit der Dosierung von 25 mmol/min Kohlendioxid konnte eine mittlere pH-Wert Absenkung von pH 11,3 auf pH 7,2 erreicht werden.

In der geplanten Versuchsreihe sollen die Abhängigkeiten von den in den konzeptionellen Vorstellungen genannten Parametern erfolgen. Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser Versuch wird eine Optimierung der Anlage vorgenommen und auf den Pilotmaßstab übertragen.

5 Technologische Beschreibung der Umsetzung des Technikumsversuches

5.1 Einsatz Saugspülbagger zur Aufnahme von Sediment

Mit einem Saugspülbagger kleiner Bauart können 50 bis 250 m³/h Suspension aufgenommen und in einer schwimmenden Rohrleitung transportiert werden. In der Lausitz werden Saugspülbagger mit mittleren Leistungen eingesetzt. Diese Geräte arbeiten mit Volumenströmen von 750-1000 m³/h. Eine schematische Darstellung der

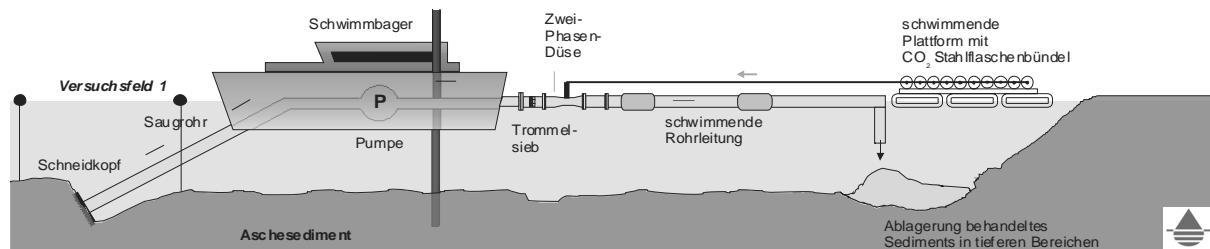
vorgeschlagenen Technologie zur Aufnahme und Verwendung des Sedimentes im Tagebausee Burghammer ist in Abb. 8 zu sehen.

Der Saugspülbagger ist mit einem Schneidkopf ausgerüstet der das Sediment mechanisch lockert. Die hinter dem Schneidkopf gelagerte Feststoffpumpe nimmt das Sediment über eine Saugleitung auf. Die anschließende Druckseite der Leitung ist an eine schwimmende Rohrleitung angeschlossen, die als Reaktionsraum genutzt wird.

5.2 Technische Einschränkungen des Saugspülbaggers

Der Einsatz des Saugspülbaggers wird grundsätzlich durch zwei Randbedingungen eingeschränkt. Zum einen durch den begrenzten Feststoffanteil, der nach praktischen Erfahrungen bei ca. 10% liegt. Damit ist die aufnehmbare Menge an reaktivem Material je Zeiteinheit limitiert.

Zum anderen durch die begrenzte Arbeitstiefe (Länge des Saugrohres) des Saugspülbaggers. Ab Gewässeroberkante kann maximal bis aus 6 m Tiefe Sediment aufgenommen werden. Weiterhin beschränkt die Pumpenleistung die Länge der angeschlossenen Rohrleitung.

**Abb. 8: Schematischer Aufbau des Pilotversuches mittels Schwimmbagger.**

6 Fazit

Die intensive Untersuchung des Seesedimentes im Tagebausee Burghammer bestätigte die Vermutung eines großen alkalischen Speichers innerhalb der vorgefundenen Ablagerungen. In Batchversuchen konnte nachgewiesen werden, dass trotz teilweiser Carbonatisierung des Sedimentes dieses nach mehr als 10 Jahren Lagerung in einem sauren Tagebausee noch alkalisch reagiert. Damit kann das Sediment genutzt werden. Eine mögliche Nutzung wird in der Mineralisierung und Speicherung von Kohlenstoffdioxid gesehen. Aber auch als reaktive Substanz zur Sanierung von schwefelsauren Tagebauseen kann das Sediment eingesetzt werden. Es konnte nachgewiesen werden, dass eine Verwendung der Ablagerungen zur Sanierung von Tagebauseen besonders in der Kombination mit CO₂ sinnvoll ist, da dem sauren Wasser eine sehr hohe Pufferkapazität aufgeprägt werden kann. Weiterhin lassen die durchgeführten Untersuchungen den Schluss zu, dass CO₂ das Potential der Sedimente zur Alkalisierung deutlich erhöht. Die Erhöhung der Alkalinität ist notwendig, um die potentiell sauren Grundwasserzustände zu neutralisieren, die dem See in den kommenden Jahrzehnten zufließen werden. Mit den geplanten und durchgeführten Technikumsversuchen wird an der Optimierung eines industriell anwendbaren Verfahrens gearbeitet, dass das Treibhausgas CO₂ in die Sanierung des Wasserhaushaltes in der Lausitz einbindet.

7 Danksagung

CDEAL ist Teil des Forschungsprogramms GEOTECHNOLOGIEN im Themenschwerpunkt *Erkundung, Nutzung und Schutz des unterirdischen Raumes*, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird. Die LMBV unterstützt das Vorhaben durch die Bereitstellung der Möglichkeit für die Durchführung von Untersuchungen am Tagebausee Burghammer.

Die Autoren möchten sich bei Herrn I. Rehwald (AirLiquide Deutschland) und Herrn U. Butz (Altech GmbH) für die sachkundige Beratung und die aufgeschlossene Auseinandersetzung mit dem Projekt CDEAL sowie für die Bereitstellung der AirLiquid Zweiphasendüse recht herzlich bedanken. Ebenso gilt unser Dank Herrn M. Rudlof für sein Mitwirken an der Planung und dem Aufbau der Anlage des Technikumversuches.

8 Referenzen

- WATTEN B. J., SCHWARTZ M. F. (1996). Carbon Dioxide Pretreatment of AMD for Limestone Diversion Wells, Proceedings, West Virginia Surface Mine Drainage Task Force Symposium, Morgantown.
- WATTEN B. J., SIBRELLA P. L., SCHWARTZ M. F. (2005): Acid neutralization within limestone sand reactors receiving coal mine drainage. A new treatment method for acid mine drainage is described, Environmental Pollution, 137, p. 295-304
- 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, ICARD 2006. St. Louis (Proceedings, International Conference of Acid Rock Drainage).