

# **Vor-Ort-Monitoring und Prozessuntersuchungen zur Prognose der Schlammeigenschaften in einer vietnamesischen Grubenwasserreinigungsanlage bei stark kohlehaltigen Fe- und Mn-reichen Rohwässern**

Stefan Kurtz<sup>1</sup>, Peter Denke<sup>2</sup>, Felix Bilek<sup>1</sup>, Hans-Jürgen Kochan<sup>3</sup>

GFI Grundwasserforschungsinstitut GmbH Dresden, Meraner Str. 10, 01217 Dresden<sup>1</sup>, LMBV-International, Knappenstr. 1, 01968 Senftenberg<sup>2</sup>, eta-AG, Dissenchener Str. 50, 03042 Cottbus<sup>3</sup>

Im Umfeld von Vang Danh in Vietnam fallen Fe- und Mn-reiche sowie durch hohe Kohlestaub-Frachten gekennzeichnete saure Grubenwässer an, die in einer Grubenwasserreinigungsanlage (GWRA) aufbereitet werden sollen. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde eine Datengrundlage zur Planung und Errichtung der sich in Vietnam bereits im Bau befindenden GWRA erarbeitet. Hierzu wurde ein auf dem Montanhydrologischen Monitoring der LMBV basierendes und an die nordvietnamesischen Klima- und Standortgegebenheiten angepasstes Monitoringprogramm etabliert. Am GFI wurden unter Bezugnahme auf die Monitoringdaten planungsrelevante Sedimentationsversuche durchgeführt, bei denen der Einfluss der Fe(II)-Konzentration, des pH-Wertes und der Flockungshilfsmittel-Zugabe auf das Sedimentationsverhalten und die Beschaffenheiten der sich im Prozessverlauf bildenden Eisenhydroxid-Kohle-Schlämme untersucht wurden. Es zeigte sich, dass das Absetz- und Flockungsverhalten sowie der Feststoffgehalt der Schlämme vornehmlich von der Fe(II)-Konzentration im Zulaufwasser abhängen.

In the area of Vang Danh in Vietnam acid mine drainage (AMD) water, which is characterized by high Fe- and Mn-concentrations and high coal dust loads shall be treated in a mine water treatment plant. As part of a research project, a data-base for the planning and construction of the mine water treatment plant, which is already under construction, was compiled. For this purpose a monitoring program, which is based on the Montane Hydrological Monitoring of the LMBV and is suitable for the North Vietnamese climate and site conditions, was established. Based on the monitoring results, planning relevant sedimentation tests were conducted at the Groundwater Research Institute (GFI) to determine the influence of Fe(II)-concentration, the pH-value and the dosage of flocculation aid on the settling behaviour and the characteristics of the forming Fe-hydroxide-coaldust-sludges. It was found, that the settling behaviour, the flocculation performance and the solids content of the sludges mainly depend on the Fe(II)-concentration of the inflowing water.

---

## **1 Einleitung**

Im Umfeld der Ortschaft Vang Danh im Nord-Osten Vietnams (Abb. 1) wird in einem Kohlebergbau-revier Anthrazitkohle Untertage abgebaut. Die durch Sumpfung in mehreren Stollen über das gesamte Bergbaugebiet verteilt anfallenden Grubenwässer gelangen oberirdisch und weitgehend ungereinigt in die Vorfluter und von dort aus in die von der UNESCO als Weltnaturerbe eingestufte Halong-Bucht. Die sauren Grubenwässer sind eisen- und manganreich sowie durch hohe Feststoff-Frachten, die überwiegend aus suspendiertem Kohlestaub bestehen, gekennzeichnet (Abb. 2).

Das in Vang Danh Bergbau betreibende staatliche Unternehmen VINACOMIN ist bestrebt, die Grubenwässer in einer Grubenwasserreinigungsanlage (GWRA) aufzubereiten. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojektes „Bergbau und Umwelt in Vietnam“ (engl. "Research Association Mining and Environment in Vietnam", RAME) soll von den drei im Themenverbund „Wassermanagement und Wasserbehandlung“ beteiligten deutschen Projektpartnern LMBV International GmbH (Koordination und Monitoring), GFI GmbH (wissenschaftliche Begleitung und Versuchsbetrieb) und eta AG (Anlagenplanung) in Zusammenarbeit mit den vietnamesischen Projektpartnern eine Datengrundlage zur Planung und Errichtung dieser GWRA in Vang Danh erarbeitet werden.

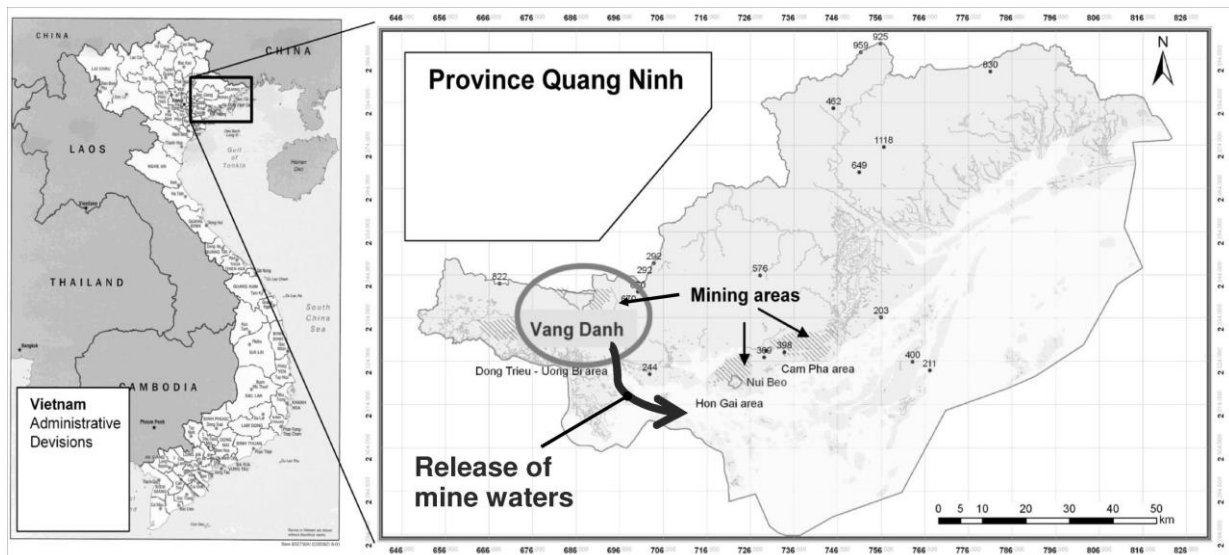


Abb. 1: Vietnam, die Provinz Quang Ninh und die Ortschaft Vang Danh (KURTZ et al. 2009)



Abb. 2: Ableitung von trübem Grubenwasser des Stollens +122 tay in ein Gerinne (links) und die Einleitung des Stollens +122 dong in den Vorfluter (rechts; SCHLENSTEDT & DENKE, 2009)

## 2 Untersuchungsmethodiken

### 2.1 Monitoring

In Vang Danh wurde ein auf dem Montanhydrologischen Monitoring der LMBV basierendes und an die nordvietnamesischen Klima- und Standortgegebenheiten angepasstes umfangreiches Monitoringprogramm etabliert. Das Monitoring wurde unter Beteiligung lokaler Bearbeiter regelmäßig vor Ort durchgeführt und beinhaltete die Ermittlung von physikochemischen Parametern, Wasserprobenahmen, hydrochemische Analytik der Wasserproben in Zusammenarbeit mit einem Labor in Hanoi, Untersuchungen zu den von den Grubenwässern mitgeführten Feststoff-Frachten sowie Volumenstrombestimmungen der Grubenwasserteilströme. Hierzu wurden Flügelradmessungen und Tracertests mit Hilfe von Salz und speziellen Färbemitteln eingesetzt.

#### 2.1.1 Hydrochemische Messparameter

Auf Grundlage der in Deutschland verwendeten DIN-Normen und in Anlehnung an das Merkblatt des Montanhydrologischen Monitorings der LMBV mbH (Stand 31.07.2007) wurden die physikochemi-

sche Parameter pH-Wert, Temperatur, Leitfähigkeit, Sauerstoffsättigung und Sauerstoffgehalt regelmäßig vor Ort bestimmt. Zur groben Einordnung der Gehalte an Phosphat, Nitrat, Sulfat, Eisen gesamt und Mangan(II) wurden Schnelltests (Merckoquant von MERCK) eingesetzt. Die Messungen erfolgten an den Grubenwasserabschlägen der Stollen +120, +122 dong, +122 tay, +130, +135 und den Standorten der Abwasserleitungen der Waschkauen und des Zentralküchentraktes. Die Wasserprobenahmen für die Analytik im Labor in Hanoi erfolgte entsprechend der DIN genormten Vorgaben für Probenahme, Wahl der Probenbehälter und deren Vorbereitung, sowie für Proben transport und -aufbewahrung.

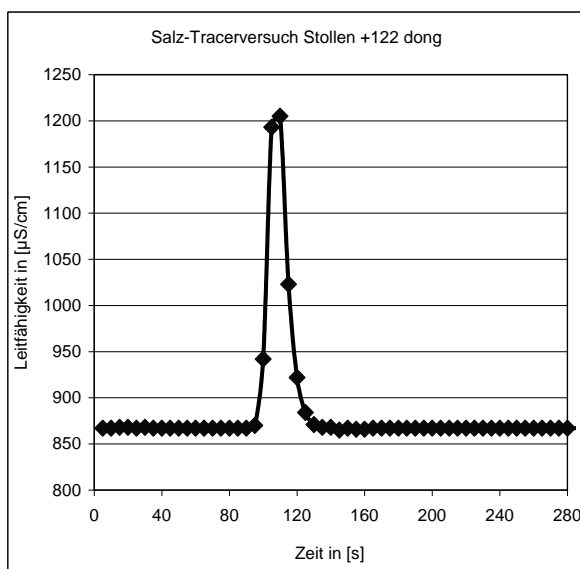
Für die Planung der benötigten Abreinigungs-komponenten der zu errichtenden Grubenwasserreinigungsanlage und gegebenenfalls einer zusätzlichen Reinigung von Sanitärabwässern wurden folgende Parameter untersucht: Fe(II), die Kationen Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, S, Si und weitere Schwermetalle (Bestimmung mittels ICP), die Anionen Sulfat, Chlorit, Nitrat und Nitrit (Bestimmung mittels IC), die Summenparameter DOC, TOC, TIC, COD, BOD<sub>5</sub>, Total N und Total P sowie die Gesamt-Feststofffracht TS.

Für die Probennahmen wurde ein englischsprachiges und speziell auf die vietnamesischen Probenehmer zugeschnittenes Protokollformular entwickelt, in dem alle Messparameter, Volumenstromabschätzungen und Wetterbeschreibungen für jeden Standardmesspunkt mit zeitlicher Einordnung eingetragen werden können. Darauf befinden sich zur Unterstützung der fachgerechten Probenahme außerdem die bei den meisten Messparametern unterschiedlichen Probenahmemethoden und -behälterarten.

### 2.1.2 Volumenstrombestimmungen

Da im Vorfeld des Projektes nur in unzureichendem Umfang Durchflussmesswerte der zu fassenden Einzelstollen vorlagen, wurden parallel zu den Beprobungen Durchflussmessungen durchgeführt. Hierfür wurden Messungen mit Messflügel und Salztracer (handelsübliches Kochsalz) durchgeführt. An Standorten mit geringem Abfluss, unwegsamen Zugang oder sporadischen Abflüssen wurden die Abschlagsmengen ausgelitert. Für die Klärung der Wegsamkeiten und der vollständigen Durchmischung wurde der Fluoreszenztracer URANIN, der das Wasser grell-grün färbt, eingesetzt. Auf diese Weise konnte beispielsweise die in Abb. 2 (links) dargestellte Grubenwasserableitung verfolgt und volumetrisch bestimmt werden.

Für die Berechnung des Durchflusses mittels Flügelmessung wurden die notwendigen Eingangswerte des Fließquerschnittes und die gemessenen Umdrehungen in die entsprechende Flügelgleichung eingesetzt. Bei der Umsetzung der Tracermethode mit Momentanimpulseingabe wurde der Durchgang der Salztracerfahne durch Messung der Leitfähigkeit mit dem portablen Multimessgerät HQ 40d der Firma HACH Lange bestimmt (Abb. 3).



**Abb. 3:** Durchgangskurve eines Salztracerversuches (links) und zugehörige Messwertaufnahme (rechts)

## 2.2 Untersuchungen zur Zusammensetzung und zum Absetzverhalten von Eisenhydroxid-Kohle-Schlamm

Am GFI wurden basierend auf den Monitoringdaten planungsrelevante Labor- und Technikumsversuche zur Entwicklung einer mehrstufigen Reinigungstechnologie, die das ermittelte Schadstoffspektrum abdeckt, durchgeführt. Ein wesentlicher Teil dabei waren Sedimentationsversuche, bei denen der Einfluss der Fe(II)-Konzentration, des pH-Wertes, der Kohlestaub-Fracht und der Flockungshilfsmittel-Zugabe auf das Sedimentationsverhalten und die Beschaffenheiten der sich im Prozessverlauf bildenden Eisenhydroxid-Kohle-Schlämme untersucht wurden. Als Planungsgrundlage für den Räumler im Sedimentationsbecken und die dort angeordneten Schlammumpfen sowie den nachgeschalteten Eindicker und das dort eingebaute Krälwerk war die Schlammhöhe sowie der anfallende Schlammvolumenstrom zu ermitteln. Diese Parameter wurden unterstützend zu den Sedimentationsversuchen auch durch Feststoffaufschlüsse von Schlammproben aus Vang Dang ermittelt.

Zur Untersuchung des Einflusses der Fe(II)-Konzentration im Grubenwasser auf die Bildung und Eigenschaften (Sedimentationsverhalten, Dichte, Feststoffgehalt) der Schlämme wurden mehrere Sedimentations-Versuchsreihen mit Imhoff-Trichtern und Sedimentationszeiten von ein bis zwei Stunden durchgeführt. In allen Versuchsvarianten wurden dem entsprechend der Monitoringergebnisse im Labor nachgebildeten Grubenwasser 1 g/l künstlich hergestellter Kohlestaub hinzu gegeben. Die Korngrößenzusammensetzung und das Sedimentationsverhalten des verwendeten Kohlestaubes (Steinkohle aus Deutschland) wurden in Vorversuchen an die aus Vang Dang stammenden Kohleschlammproben angepasst. Es wurden die Eisen(II)-Konzentrationen von 5, 10, 25, 40 und 50 mg/l untersucht sowie durch pH-Wert-Anhebung mittels einer Kalkmilchsuspension (50 g CaO/L H<sub>2</sub>O<sub>dest.</sub>) die in der GWRA möglichen pH-Werte von 7, 8 und 9 eingestellt. Als FHM wurde bei einigen Versuchsvarianten Superfloc A-110 der Firma Kemira (ein anionisches Polyacrylamid) mit einer Zugabekonzentration von 0,05 mg/l verwendet.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Monitoringergebnisse

Die Tab. 1 zeigt die mittlere hydrochemische Beschaffenheit der Grubenwasserteilströme für das Jahr 2008 und das für diesen Zeitraum abgeleitete Bemessungswasser zur Auslegung der GWRA (nähere Erläuterung in Kap. 4) im Vergleich mit den einzuhaltenden vietnamesischen Grenzwerten für Industrieabwässer (TCVN 5945-B; rechte Spalte in Tab. 1). Die zusammengestellten Messwerte verdeutlichen die hohen täglichen und jahreszeitlichen Schwankungsbereiche bei den meisten Messparametern.

**Tab. 1: Die mittlere hydrochemische Beschaffenheit der Grubenwasserteilströme des Jahres 2008, das abgeleitete Bemessungswasser und die einzuhaltenden vietnamesischen Grenzwerte für Industrieabwässer (KURTZ et al. 2009)**

Main parameters (concentrations in mg/l)	Compositions of the mine waters from the adits					Design values for averaged inflow of the mine water treatment plant	Vietnamese standards for industrial wastewaters (TCVN 5945-B)
	+120	+122 dong	+122 tay	+130	+135		
pH	6.86 ± 0.72	6.26 ± 1.03	6.69 ± 0.41	7.86 ± 0.23	5.94 ± 0.74	5.8	5.5 - 9
Fe <sub>total</sub>	2.16 ± 3.21	15.6 ± 13.9	6.09 ± 4.43	0.68 ± 0.88	49.4 ± 49.2	50.0	5
Mn	1.25 ± 1.47	6.23 ± 1.97	3.58 ± 2.51	0.29 ± 0.19	15.5 ± 9.5	11.4	1
Al	0.34 ± 0.42	6.44 ± 11.12	0.99 ± 2.56	0.17 ± 0.30	2.07 ± 3.46	13.9	-
Ca	64.6 ± 15.8	93.2 ± 29.7	109 ± 37	65.9 ± 12.9	154 ± 31	108.5	-
Mg	25.2 ± 9.9	80.5 ± 28.7	96.9 ± 39.7	21.8 ± 5.4	123 ± 50	91.2	-
Sulfate	189 ± 125	528 ± 153	322 ± 241	113 ± 76	674 ± 383	723.8	-
TS <sup>*1</sup>	539 ± 374	612 ± 345	1616 ± 326	838 ± 813	1391 ± 1082	1000	-
TSS <sup>*2 *3</sup>	13.7 ± 8.2	121 ± 207	53.3 ± 35.1	80.8 ± 59.6	141 ± 181	180.3	100
COD <sup>*3</sup>	19.2 ± 17.5	78.1 ± 86.0	69.7 ± 83.4	50.3 ± 18.5	103 ± 145	110.0	80
BOD <sub>5</sub> <sup>*3</sup>	7.50 ± 7.61	27.5 ± 30.1	24.3 ± 34.6	18.5 ± 7.4	38.8 ± 62.5	42.9	50
DOC	1.39 ± 0.62	2.19 ± 1.29	1.61 ± 1.21	1.8 ± 1.3	2.92 ± 1.61	1.8	-
Hg	< 0.0002	0.0003 ± 0.0001	0.0002 ± 0.0001	< 0.0002	0.0004 ± 0.0002	0.00032	0.005
other heavy metals	traces	traces	traces	traces	traces	-	-

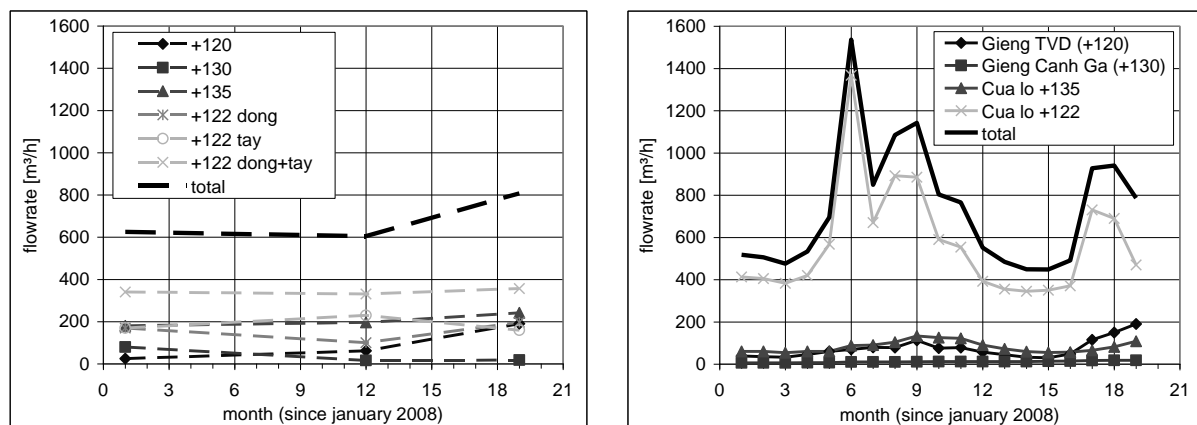
<sup>\*1</sup> total solids <sup>\*2</sup> total suspended solids

<sup>\*3</sup> measured after a defined period of settlement of the solids according to a Vietnamese method for analysing surface waters

Gemäß Tab. 1 schwankten die pH-Werte 2008 bei allen Stollen etwa um eine pH-Einheit, liegen aber noch innerhalb des vorgegeben Grenzwertintervalls von pH 5,5 bis 9. Die Eisen- und Mangangehalte schwanken sehr stark und erreichen im Mittel das jeweils 10-fache des Grenzwertes. Auch die weiteren Hauptkomponenten, für die in Vietnam keine gesetzlichen Grenz- oder Richtwerte vorliegen, weisen eine erhebliche Streuung auf. Charakteristisch für die Grubenwasserteilströme ist außerdem die hohe Feststofffracht, die hauptsächlich aus suspendiertem Kohlestaub besteht und sich in dem hohen mittleren TS-Gehalt von 1 g/l ausdrückt.

Mit Hilfe von Laborversuchen, die an Grubenwasser-Proben mit hohen Feststofffrachten durchgeführt wurden, konnte nachgewiesen werden, dass die zum Teil die Grenzwerte überschreitenden BOD<sub>5</sub>- und COD-Messwerte, in den Grubenwässern, auf die hohen mitgeführten Kohlestaubfrachten zurückzuführen sind. Durch eine ohnehin notwendige weitgehende Entfernung der Feststofffracht können so auch die vietnamesischen BOD<sub>5</sub>- und COD-Grenzwerte sicher eingehalten werden (BILEK & KURTZ, 2008). Weitere, in Tab. 1 nicht aufgeführte Inhaltstoffe, wie beispielsweise für Organismen toxisch wirkende Schwermetalle, liegen in allen Teilströmen nur in Spuren vor.

Die im Jahr 2008 und 2009 im Rahmen des Monitorings ermittelten Volumenstrom-Messdaten sind in Abb. 4 (links) im Vergleich mit den in diesem Zeitraum von der Vang Danh Coal Company gemessenen Daten (rechts) dargestellt. Bei einigen Messungen zeigten sich signifikante Unterschiede. Da durch die deutschen Projektpartner in diesem Zeitraum nur drei Messungen durchgeführt werden konnten, sind die jahreszeitlichen Schwankungen durch Starkregenereignisse nicht erfasst worden. Bei den monatlich durchgeführten Messungen der vietnamesischen Projektpartner (Abb. 4, rechts) bildeten sich hingegen die niederschlagsreichen Monate Mai bis August in den Durchflussmengen der Stollen und vor allem beim Stollen +122 deutlich ab.



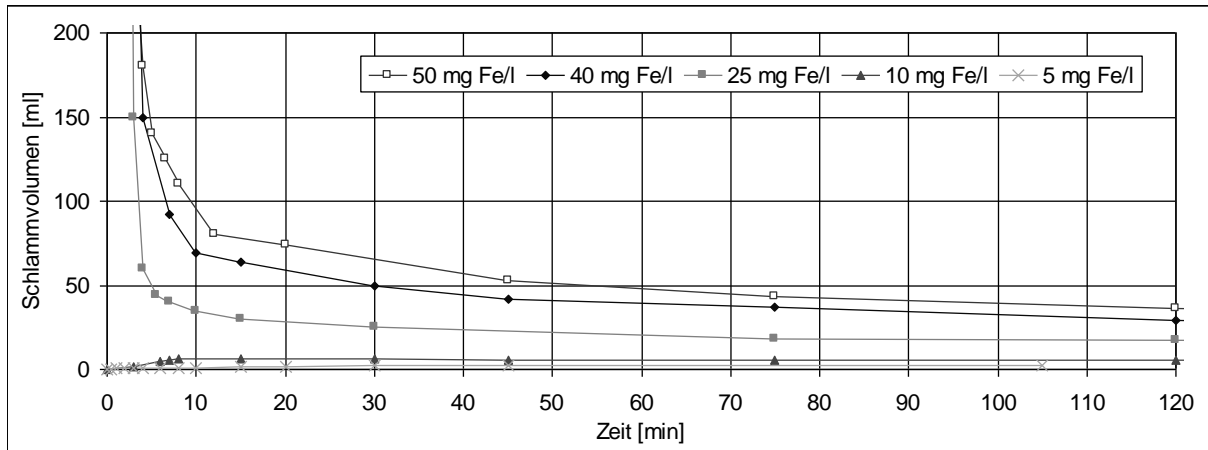
**Abb. 4:** Ermittelte Durchflussraten für die Jahre 2008 und 2009 (links) und die von der Vang Danh Coal Company zur Verfügung gestellten Monatsmesswerte im gleichen Zeitraum (rechts)

### 3.2 Schlammabsetzverhalten

Entsprechend der Feststoffaufschlüsse der im Rahmen des Vor-Ort-Monitorings aus den Grubenwasserströmen gewonnenen Schlammproben besteht die Feststoff-Fracht überwiegend aus Kohlestaub mit deutlichen Anteilen von Silikaten (chemisch nicht aufschließbarer Anteil) und einem variablen Anteil von Eisenhydroxiden (7 bis 46 Massen-%).

Die Sedimentationsverläufe einiger Versuchsvarianten bei pH 8 sind in Abb. 5 sortiert entsprechend der vor der Neutralisation enthaltenen Eisen(II)-Konzentrationen des Grubenwassers dargestellt. Es zeigte sich, ebenso wie bei den Versuchen bei pH 7 und 9, dass das Sedimentationsverhalten der Versuchsreihen mit 5 und 10 mg Fe(II)/l sich grundsätzlich von dem der Versuchsreihen mit 25, 40 und 50 mg Fe(II)/l unterschied. Bei Fe(II)-Konzentrationen im Grubenwasser von mehr als 10 mg/l führten die im Zuge der pH-Wert-Anhebung ausgefällten Eisenhydroxide im Verbund mit dem Kohlestaub zur Bildung von Schlammflocken mit den typischen Flocken-Sedimentationseigenschaften (Absinken einer Schlammfront über die Zeit) und förderten so auch die Sedimentation des sich ansonsten nur sehr langsam absetzenden Kohlestaubes. Bei Fe(II)-Konzentrationen im Grubenwasser von weniger als 10 mg/l wurde das Sedimentationsverhalten hingegen vom enthaltenen Kohlestaub dominiert. Die

Proben mit 5 und 10 mg Fe(II)/l verhielten sich wie eine Suspension von einzelnen Partikeln, die sich im Zeitverlauf der Korngrößenverteilung entsprechend individuell absetzten und am Boden einen Sedimentkörper mit vergleichbar geringem Volumen und hoher Dichte bilden. Damit sind die Beschaffenheiten der entstehenden Eisenhydroxid-Kohle-Schlämme/Sedimente sowie deren Sedimentationsverhalten, Dichte und Feststoffgehalt, die zwar im Stoffbestand vom Kohlestaubanteil im Wasser (1 g/l) dominiert werden, entscheidend durch den relativ geringen Anteil von Fe-Hydroxiden beeinflusst.



**Abb. 5: Sedimentationsverhalten von Eisenhydroxid-Kohle-Schlämmen bei pH 8 und variablen Fe(II)-Konzentrationen ohne Flockungshilfsmittel-Zugabe**

In der Tab. 2 sind die zum Zeitpunkt des Versuchsendes ermittelten Dichten und Schlammvolumina der abgesetzten Schlämme bzw. Sedimentkörper aller Versuchsvarianten zusammengestellt. In die Berechnung der Dichten und Feststoffgehalte gehen zum einen die am Versuchsende bestimmten Schlamm- bzw. Sedimentvolumina und zum anderen die ursprünglich im Rohwasser befindlichen Feststoffmengen ein. In den Feststoffmengen ist bei allen Versuchsvarianten 1 g/l Kohlestaub enthalten. Hinzu kommt bei jeder Versuchsvariante entsprechend der Anfangs-Fe(II)-Konzentration ein vergleichbar kleiner Massenanteil, der vorwiegend aus gefällten Eisenhydroxiden besteht. Für eine Fe(II)-Konzentration von 50 mg/l wurde die entstehende Eisenhydroxid-Schlamm-Masse im Rahmen anderer Laborversuche mit 150 mg/l bestimmt. Bei den geringeren Fe(II)-Konzentrationen wurde dieser Massenanteil prozentual verringert (vgl. 5. Spalte in Tab. 2).

Die dargestellten Versuchsergebnisse verdeutlichen, dass der Einfluss des pH-Wertes auf das Sedimentationsverhalten und die Eigenschaften des entstehenden Schlamms/Sedimentkörpers im Bereich von pH 7 bis 9 verglichen mit den anderen untersuchten Einflussfaktoren gering ist. Einen vergleichbar größeren Einfluss hatte die Zugabe des Flockungshilfsmittels: Es beschleunigte bei allen Versuchsvarianten die Sedimentation und führte außerdem zu einer signifikanten Veränderung der Feststoffeigenschaften. Bei Fe(II)-Konzentrationen von 5 und 10 mg/l führte die FHM-Zugabe am Versuchsende zu einer deutlichen Erhöhung, bei den Versuchen mit höheren Fe(II)-Konzentrationen jedoch zu einer Verringerung des Schlamm-/Sedimentvolumens.

## 4 Umsetzung der Monitoring- und Versuchsergebnisse

Als Datengrundlage für den Entwurf und die Bemessung der in Vang Danh zu errichtenden GWRA wurde eine Messdatenbank erstellt, mit deren Hilfe die mittleren hydrochemischen Zusammensetzungen und Volumenströme der Grubenwasserteilströme abgeleitet wurden. Hierfür wurden alle zur Verfügung stehenden Messdaten der vergangenen Jahre, die von der Vang Danh Coal Company und vom im Rahmen des Forschungsprojektes etablierten Vor-Ort-Monitorings verwendet. Mit Hilfe des Programmes PHREEQC wurde eine Mischungsrechnung zur Ableitung eines so genannten Bemessungswassers als Planungsgrundlage für die GWRA durchgeführt. Die im Zuge der Fortführung des Monitorings regelmäßig hinzu gekommenen Messergebnisse bestätigten die abgeleiteten hydrochemischen Zusammensetzungen des Bemessungswassers im Wesentlichen (vgl. Tab. 1, 2. Spalte von rechts: Bemessungswasser für das Jahr 2008). Entsprechend der Volumenstrombestimmungen des

Monitorings (Abb. 4) wurde die GWRA in der ersten Ausbaustufe für eine Kapazität von 800 m<sup>3</sup>/h ausgelegt.

Basierend auf den Erfahrungen des Vor-Ort-Monitorings wurden außerdem folgende Gesichtspunkte in die Anlagenplanung mit aufgenommen: Nach Fertigstellung und Einfahrbetrieb der GWRA soll es neben der Erfassung der Onlineparameter, die zur Prozesssteuerung benötigt werden, auch Routine-messungen des Grubenmischwassers im MID-Schacht und des Abschlagswassers der Anlage in den Vorfluter sowie weiterhin regelmäßige Beprobungen der Grubenwasserteilströme an den Stollen-mundlöchern geben. Wichtig dabei wird nicht nur die Ermittlung der hydrochemischen Inhaltsstoffe sein, sondern auch die der Volumenströme, um die Frachten der Teilströme voneinander unterscheiden zu können. Dies spielt eine Rolle bei extremen Starkregenereignissen während der sommerlichen Re-genzeit, die zur Überschreitung der Anlagenkapazität (800 m<sup>3</sup>/h, 1. Ausbaustufe) führen können. Not-abschläge an den Stollen in die bestehenden Gerinne könnten dann hohe Volumina mit geringen Frachtmengen an der GWRA vorbei leiten und so trotzdem die stärker belasteten Teilströme abreinigen. Außerdem wurde im Rahmen des Monitorings festgestellt, dass sich der momentan relativ gering belastete und noch im Ausbau befindende Schacht +130 (vgl. Tab. 1) wahrscheinlich zukünftig im Chemismus hin zu höheren Schadstofffrachten verändern wird. Die Prozessführung der GWRA kann daran nur angepasst werden, wenn auch weiterhin die Grubenwasserteilströme getrennt über-wacht werden. Durch die Verlegung der Zulauf-Rohrleitungen zur GWRA ist weiterhin mit einer Er-leichterung für das Monitoring zu rechnen, da dann eine genauere Durchflussmessung mit definierten Fließquerschnitten und einfachere Wasserbeprobungen möglich werden.

Wichtig für die Qualität und Aussagekraft der zu erzeugenden Messwerte ist die Einhaltung der Vor-gaben bei der Probenahme, der Wahl der Probenbehältnisse, dem Transport, der Lagerung und der Analytik der Proben im Labor durch die angelernten vietnamesischen Probenehmer. Die Messkam-pagnen sollten in regelmäßigen Abständen mindestens quartalsweise durchgeführt werden.

**Tab. 2: Ermittelte Dichten und Feststoffgehalte der im Rahmen der Sedimentationsversuche untersuch-ten Versuchsvarianten**

Eisen-Konzentration im Wasser [mg/l]	Mit oder ohne FHM?	pH	Kohlestaub-Konzentration [g/l]	Eisenhydroxid-Schlamm durch pH-Wert-Einstellung ausgefällt [g/l]	Gesamt-Feststoff-Konzentration [g/l]	Versuchs-zeitraum [std:min]	Am Versuchsende bestimmtes Schlamm- bzw. Sediment-volumen [ml bzw. cm <sup>3</sup> ]	Dichte des abgesetzten Schlammes bzw. Sedimentes [g/cm <sup>3</sup> ]	Feststoff-gehalt des Schlammes bzw. Sedimentes [g/cm <sup>3</sup> ]	Feststoff-gehalt des Schlammes bzw. Sedimentes [Ma-%]
5	mit	7	1.0	0.015	1.015	1:45	4.5	1.226	0.226	18.4
5	mit	8	1.0	0.015	1.015	1:45	4.5	1.226	0.226	18.4
5	mit	9	1.0	0.015	1.015	1:45	4.3	1.236	0.236	19.1
5	ohne	8	1.0	0.015	1.015	1:45	2.2	1.461	0.461	31.6
10	mit	7	1.0	0.030	1.030	2:00	7.0	1.147	0.147	12.8
10	mit	8	1.0	0.030	1.030	2:00	7.5	1.137	0.137	12.1
10	mit	9	1.0	0.030	1.030	1:00	7.0	1.147	0.147	12.8
10	ohne	7	1.0	0.030	1.030	1:30	5.0	1.206	0.206	17.1
10	ohne	8	1.0	0.030	1.030	2:00	5.8	1.179	0.179	15.2
10	ohne	9	1.0	0.030	1.030	2:00	6.0	1.172	0.172	14.7
25	mit	7	1.0	0.075	1.075	2:00	15.5	1.069	0.069	6.5
25	mit	8	1.0	0.075	1.075	2:00	16.5	1.065	0.065	6.1
25	mit	9	1.0	0.075	1.075	1:00	19.0	1.057	0.057	5.4
25	ohne	7	1.0	0.075	1.075	1:30	17.0	1.063	0.063	5.9
25	ohne	8	1.0	0.075	1.075	2:00	17.0	1.063	0.063	5.9
25	ohne	9	1.0	0.075	1.075	2:00	20.0	1.054	0.054	5.1
40	mit	7	1.0	0.120	1.120	2:00	22.5	1.050	0.050	4.7
40	mit	8	1.0	0.120	1.120	2:00	25.0	1.045	0.045	4.3
40	mit	9	1.0	0.120	1.120	1:00	33.0	1.034	0.034	3.3
40	ohne	7	1.0	0.120	1.120	1:30	31.0	1.036	0.036	3.5
40	ohne	8	1.0	0.120	1.120	2:00	29.0	1.039	0.039	3.7
40	ohne	9	1.0	0.120	1.120	2:00	35.0	1.032	0.032	3.1
50	mit	7	1.0	0.150	1.150	2:00	29.0	1.040	0.040	3.8
50	mit	8	1.0	0.150	1.150	2:00	30.0	1.038	0.038	3.7
50	mit	9	1.0	0.150	1.150	1:00	46.0	1.025	0.025	2.4
50	ohne	7	1.0	0.150	1.150	1:30	40.0	1.029	0.029	2.8
50	ohne	8	1.0	0.150	1.150	2:00	36.0	1.032	0.032	3.1
50	ohne	9	1.0	0.150	1.150	2:00	55.0	1.021	0.021	2.0

Aus den Ergebnissen der Sedimentationsversuche wurden außerdem folgende Schlussfolgerungen für die GWRA in Vang Danh abgeleitet: Für das festgelegte Bemessungswasser mit 50 mg Fe(II)/l und ca. 1 g/l Kohlestaub ist bei pH-Werten im Bereich von 7 bis 9 mit einem Feststoffgehalt im Schlamm von rund 2-4 Ma.-% zu rechnen. Wäre kein Kohlestaub im Wasser enthalten, so hätte der entstehende Fe-Hydroxidschlamm gemäß hier nicht dargestellter Laborversuche nur einen Feststoffgehalt von rund 0,3-0,5 Ma.-%. Sollte die Fe(II)-Konzentration im Grubenwasserzustrom in einen Bereich von 10 mg/l oder niedriger sinken, so käme es in den Absetzbecken der GWRA innerhalb der vorgesehenen Absetzzeit von zwei Stunden zur Entstehung von Schlamm-/Sedimentkörpern mit hohen Dichten und hohen Feststoffgehalten bei geringem Volumen und damit vermutlich auch einer hohen Viskosität. Bei einer kritischen Fe(II)-Konzentration von nur 5 mg/l wurde ein Feststoffgehalt von 18-32 Ma.-% ermittelt. Dementsprechend erfolgte die Planung und Auslegung des Absetzbeckens, des zugehörigen Schlammräumers, der Schlammumpfen, des nachgeschalteten Schlammindickers und des zugehörigen Krälwerkes für die GWRA.

Im Ergebnis der Arbeiten kann festgestellt werden, dass nur durch ein ausführliches geochemisches und hydraulisches Monitoringprogramm sowie durch projekt- und planungsbegleitende Labor- und Technikumsversuche eine Vor-, Entwurfs- und Ausführungsplanung der sich in Vietnam bereits im Bau befindlichen Full-Scale-GWRA (Abb. 6) möglich war.



Abb. 6: Lageplan der für Vang Danh geplanten Grubenwasserreinigungsanlage

## 5 Danksagung

Die Projektpartner sind dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), das die Forschungsarbeiten zur Errichtung der Grubenwasserreinigungsanlage in Vang Danh teilfinanziert hat, zu Dank verpflichtet.

## 6 Literatur

BILEK, F. & KURTZ, S. (2008): Planungs- und Baubegleitende Bemessungsversuche im Labor- und Technikumsmaßstab für eine Grubenwassereinigungsanlage für einen vietnamesischen Anthrazitbergbau. Tagungsband des XIX. Sächsischen Altlastenkolloquiums vom 29.-30.10.2008 in Dresden.

KURTZ, S., BILEK, F., SCHLENSTEDT, J. & KOCHAN, H.-J. (2009): Treating Mine Water contaminated with Iron, Manganese and high solid Carbon Loads under Tropical Conditions. Paper presented at Securing the Future and 8th ICARD, June 23-26, 2009, Skellefteå, Sweden.



SCHLENSTEDT, J. & DENKE, P. (2009): Water Management and Water Treatment in Vietnamese anthracite coal mine. Resource and Environmental Technologies: Chances of German Vietnamese Cooperation. Freiburger Forschungsforum, 60. Berg- und Hüttenmännischer Tag, Freiburger Forschungshefte C529 Geowissenschaften, TU Bergakademie Freiberg.

