



Abschlussbericht

## **Erarbeitung eines Verfahrens zur Behandlung von Gruben- und Haldensickerwässern**

**Bearbeitungszeitraum:** 2001 bis 2005

**Projektleiter:** Herr Prof. Dr. Werner Klemm

**Projektbearbeiter:** Frau Dipl.-Min. Annia Greif

**Berichtstermin:** 30.04.2006

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02WT0106 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
<b>1. Einleitung und Zielstellung</b>	<b>1</b>
<b>2. Stand von Wissenschaft und Technik</b>	<b>3</b>
<b>3. Experimente zur Behandlung von Gruben- und Haldensickerwässern verschiedener Standorte unter Laborbedingungen</b>	<b>8</b>
3.1. Methodik	8
3.2. Standversuche Modellfall „Ehrenfriedersdorf“	9
3.3. Standversuche Modellfall „Wismut GmbH“	14
3.3.1. Grubenwässer Aue	15
3.3.2. Grubenwässer Pöhla	16
3.3.3. Grubenwässer Ronneburg	17
3.4. Standversuche Modellfall „Oruro, Potosi/ Bolivien“	19
3.5. Diskussion und Schlussfolgerungen für passive Abreicherungsverfahren	20
<b>4. Verfahren zur Behandlung von Gruben- und Haldensickerwässern am Beispiel der Zinnerzgrube Ehrenfriedersdorf unter Realbedingungen</b>	<b>22</b>
4.1. Charakterisierung des Untersuchungsgebietes	22
4.1.1. Geographische Lage und Bergbaugeschichte	22
4.1.2. Geologie und Mineralisationen	23
4.2. Langzeitentwicklung des Haldensicker- und Grubenwassers	24
4.2.1. Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung der Haldensickerwässer	26
4.2.2. Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung der Grubenwässer	31
4.2.3. Schlussfolgerungen für die zeitliche Entwicklung der Wasserqualität	33
4.3. Pilotversuch Sickerwasserversturz Sauberg/Ostfeld	34
4.3.1. Versuchskonzept	34
4.3.2. Voruntersuchungen zum Absetzverhalten von Eisenhydroxid	36
4.4.3. Durchführung	38
4.4.4. Ergebnisse	39
4.4.5. Fortsetzung des Pilotversuchs während der Pumpversuche im Westfeld	48
4.4.6. Schlussfolgerungen	48
4.4. Pumpversuche Sauberg/Westfeld	50
4.4.1. Versuchskonzept	50
4.4.2. Durchführung	50
4.4.3. Ergebnisse	53
4.4.4. Bewertung und Schlussfolgerungen	62
4.5. Sedimentationsversuch Tiefer Sauberger Stolln	63
4.5.1. Versuchskonzept	63
4.5.2. Durchführung	63
4.5.3. Ergebnisse	64
4.5.4. Bewertung und Schlussfolgerungen	67
4.6. Tracerversuche	67
<b>5. Empfehlungen für die Anwendung des Verfahrens</b>	<b>69</b>
<b>6. Weiterer Forschungsbedarf</b>	<b>70</b>
<b>7. Zusammenfassung</b>	<b>71</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>73</b>
<b>Anlagenverzeichnis</b>	<b>75</b>
<b>Anlagen</b>	

## 1. Einleitung und Zielstellung

Erzbergbau und Erzaufbereitung verursachen bei der Gewinnung der gewünschten Wertkomponenten Umweltbelastungen durch die Inanspruchnahme erheblicher Flächen und die Kontamination von Boden, Wasser und Atmosphäre mit Bergehalde, Tailings und Schlammteichen. Besonders nachhaltig schädlich wirkt die Abgabe von mit Arsen und Schwermetallen belasteten Gruben- und Haldensickerwässern in die Oberflächen- und Grundwässer.

Insbesondere der Abbau von Lagerstätten, in denen die Erz- und / oder Begleitminerale Sulfide, Sulfosalze oder komplexe Metall-Schwefel-Verbindungen bilden, kommt es in Abhängigkeit von der jeweiligen Mineralisation und hydrologischen Situation zum Austrag von schwach bis stark sauren, z. T. anoxischen Wässern mit oft problematisch hohen Konzentrationen an Arsen, Aluminium und Schwermetallen wie Pb, Cd, Ni, Zn, Sb, Mn, Fe in die Umwelt. Die Abgabe belasteter Wässer wird mit der Einstellung des aktiven Bergbaus nicht beendet, sondern setzt sich oft noch über sehr lange Zeiten (z. T. viele Jahrzehnte) fort. Zwar klingen die anfänglich hohen Konzentrationen der Belastungselemente allmählich ab, jedoch bleibt ungewiss und nur unsicher prognostizierbar in welchen Konzentrationsbereichen sich diese langfristig „einpegeln“. Werden in der anfänglichen Flutungsphase der Gruben wegen der sehr hohen Konzentrationen an Belastungselementen häufig technische Wasserreinigungsanlagen benötigt, können sich im Verlauf der Zeit Konzentrationsbereiche einstellen, die zwar über den zugelassenen Einleitgrenzwerten variieren aber für technische Anlagen nur geringe Wirkungsfaktoren mit hohen Kosten für lange Zeiten bedingen.

Für diese Situation werden zur Rückhaltung und Fixierung von Problemelementen weltweit zunehmend passive Methoden auf der Basis von geochemischen Barrierereaktionen in Betracht gezogen, wobei fast ausschließlich auf geochemische Barrieren oder Wetlands außerhalb der Gruben orientiert wird.

Möglichkeiten für eine Rückhaltung von Schadelementen durch modifizierte oder künstliche Barriersysteme noch innerhalb des Grubenbereichs wurden für komplexe Bergbau- und Fließgewässersysteme am Beispiel des Muldensystems in dem BMBF-Projekt „Entwicklung geochemischer Methoden zur naturnahen Schadstoffdemobilisierung im Muldensystem“ (Beuge et al., 2001) untersucht. Die Ergebnisse des Projektes zeigten, dass die Gruben- und Haldensickerwässer häufig erhöhte Konzentrationen an Fe (II) und z. T. Al enthalten, die zur Rückhaltung von Belastungselementen genutzt werden können. Bei Einstellung oxidierender Bedingungen und geeigneter pH-Bereiche werden Fe nach Oxidation zu Fe(III) und Al als Hydroxide ausflocken und dabei zumindest einen Teil der Problemelemente fixieren.

**Hieraus ergab sich der Grundgedanke des Projektes, den Prozess der Ausfällung von hydroxydischen Eisenphasen sowie (falls möglich) von Aluminiumhydroxiden innerhalb der Grube zu initiieren und für die mit Schadelementen angereicherten Hydroxide eine Depositionsmöglichkeit noch im gefluteten Grubengebäude bereitzustellen. Auf diese Weise verbleiben die Schadelemente in veränderter Bindungsform im Bereich ihrer Herkunft. Selbst wenn dieser Vorgang nur zu einer Teilreduzierung der Elementkonzentrationen im ausfließenden Wasser führt, wird die Belastung der Umwelt, insbesondere der Vorflut, auf besonders kostengünstige Weise reduziert.**

Dieses Projekt bot erstmals die Möglichkeit, den unter Laborbedingungen für verschiedene Belastungselemente gut nachvollziehbaren Sorptions-/Fällungs- und Abreicherungsprozess der Hydroxidfällung unter realen Bedingungen einer gefluteten Zinnerzgrube zu untersuchen

und dessen Wirksamkeit zu erfassen. Allerdings erforderte der Versuch unter realen natürlichen Bedingungen auch die Akzeptanz folgender nicht beeinflussbarer Randbedingungen:

(1) Auf den Zusatz von Chemikalien zur Unterstützung der Oxidation und Ausfällung musste verzichtet werden, da es sich bei den Grubenwässern trotz hoher Belastung dem Gesetz nach um Grundwässer handelt.

(2) Die Dimension des Versuchsraums Grube von insgesamt ca. 1,5 Mio. m<sup>3</sup> geflutetem Hohlraum erforderte Versuchszeiten von ein bis mehreren Jahren, um die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen sicher erfassen zu können.

(3) Nachteilig wirkte sich aus, dass bei Schließung und Flutung der Gruben nach der politischen Wende keine Vorkehrungen für die Einrichtung eines gerichteten bzw. beeinflussbaren Strömungsverlaufs im gefluteten Grubengebäude getroffen wurden. Detaillierte Kenntnisse über die Strömungsverläufe sind in der Regel nicht vorhanden und nachträglich auch kaum zu beschaffen.

Der für das Projekt konzipierte, weitestgehend wartungsfrei ablaufende Rückhalteprozess gewinnt unter den zukünftig verbindlichen Bedingungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie zur Einhaltung eines guten ökologischen Zustandes der Gewässer zentrale Bedeutung für die Reduzierung der Konzentrationen von Belastungselementen in Gruben- und Haldensickerwässern vor deren Eintrag in die Oberflächengewässer vor allem in der langzeitigen Abklingphase der Belastungen.

#### Hauptzielstellungen dieses Projektes waren:

+ die aus Laborexperimenten bekannte und in der Wasserreinigungstechnik genutzte Adsorptionswirkung der Hydroxidfällung auf die Entwicklung eines Verfahrens zur Reduzierung des Austrages von umweltproblematischen Elementen in Gruben- bzw. Haldensickerwässer zu übertragen,

+ das Verfahren unter realen Bedingungen eines gefluteten Grubengebäudes zu untersuchen,

+ unter dem Aspekt einer praktischen Langzeitnutzung die Möglichkeiten einer gezielten Beeinflussung /Optimierung der Rückhaltung auszuloten,

+ die erforderlichen geochemischen und geotechnischen Bedingungen abzuleiten, die eine erfolgreiche Übertragung des Verfahrens auf weitere geeignete Problemfälle erlauben.

#### Die Arbeiten gliedern sich in drei Teiletappen:

(1) Laborversuche mit Grubenwässern unterschiedlicher Zusammensetzung und Herkunft

In Laborexperimenten war unter vergleichbaren Bedingungen der durch den jeweiligen Eisen- und Aluminiumgehalt in den Wässern mit unterschiedlicher Zusammensetzung erreichbare qualitative und quantitative Wirkungsfaktor/Abreicherungsseffekt zur Verringerung des Elementaustrags zu ermitteln. Die Ergebnisse sollten vergleichbare Daten für eine Abschätzung der „Selbstreinigungswirkung“ in Abhängigkeit vom jeweiligen Eisen- und Aluminiumgehalt der Wässer sowie der Übertragbarkeit auf neue Problemfälle liefern.

(2) Pilotversuch zur Verbesserung der Oxidations- und Fällungsbedingungen für Eisen durch Einleitung von luftgesättigtem, Fe-haltigem Haldensickerwasser in eine stillgelegte Grube

Mit diesem Langzeitexperiment war das Verfahrenskonzept – Reduzierung der Gehalte an umweltbelastenden Elementen im Gruben- und Haldensickerwasser durch in-situ-Eisenhydroxidausfällung im gefluteten Grubenbereich – zu prüfen und die Wirksamkeit des Verfahrens zu erfassen. Der erforderliche zusätzliche Sauerstoffeintrag in das Grubenwasser erfolgt durch luftgesättigtes Haldensickerwasser, das seinerseits dadurch eine Reinigung erfährt.

(3) Untertägige Belüftung und Sauerstoffzufuhr in geflutete Grubenbereiche

Dieser Teil des Langzeitexperimentes sollte Aufschluss erbringen, inwieweit durch untertägige Luftsättigung eines Teilstroms des Grubenwassers die Oxidationsbedingungen für Fe(II) weiter verbessert und die Eisenoxidfällung intensiviert werden kann.

Mit der Auswertung der drei Arbeitsabschnitte waren geochemische und geotechnische Parameter und ihre zulässigen Variationsbereiche abzuleiten, die bei Vorliegen ähnlicher Bedingungen die Abschätzung der Funktionalität des Verfahrens ermöglichen sollten.

## **2. Stand von Wissenschaft und Technik**

Die sehr umfangreiche Literatur zur Problematik der Rückhaltung von umweltbelastenden Elementen in austretenden Gruben- und Haldensickerwässern durch passive Behandlungsverfahren lässt folgende Basissysteme erkennen:

- Kalksteindrainagen (offen, geschlossen)
- Wetlands (aerob, anaerob)
- Wirbelreaktoren
- Reaktive Barrieren

Alle Konzepte verfolgen unter Nutzung natürlich ablaufender, z. T. modifizierter Prozesse das Ziel, die betreffenden Elemente mit einem Minimum an technischem Aufwand langzeitstabil so zu fixieren, dass die emittierten Konzentrationen deutlich unter den ökotoxikologischen Grenzwerten bleiben.

Für Gruben und Halden können die in diesen Bereichen stabilen Sekundärminerale Hinweise auf die als Barriere nutzbaren Prozesse geben. In Tab. 2.1 sind Ergebnisse der mineralogischen Untersuchungen an der Verwitterungsmatrix, an untertägigen Sintern und Grubenwassersedimenten in der Polymetalllagerstätte Freiberg zusammengestellt (Beuge et al., 2001). Für Reinigungsverfahren sind die Minerale in den Sintern und Sedimenten von besonderer Bedeutung.

Tab. 2.1: Im Freiburger Erzrevier beobachtete Phasen mit Bedeutung für die Schwermetallfrierung im Grubengebäude (Vorkommen in V = Verwitterungsmatrix; S = Sedimente und Sinter)

Me	Chemismus	Mineralname	V	S
Fe	$\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_6(\text{SO}_4) \times 10\text{H}_2\text{O}$ (Bigham et al. 1996)	Schwertmannit		X
	$\alpha$ -, $\beta$ -, $\delta$ - $\text{FeOOH}$ (u.a. Carlson & Schwertmann 1980)	Goethit, Akaganeit, Feroxyhite (?)	X	X
	$\text{Fe}_5\text{HO}_8 \times 4\text{H}_2\text{O}$ (Murad et al. 1994)	Ferrihydrit		X
	$(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ (ICPDS 36-427)	Jarosit	X	?
	$\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$	Hämatit	X	
Fe As	$\text{Fe}(\text{AsO}_4) \times 2\text{H}_2\text{O}$ (Dove & Rimstidt 1985)	Skorodit	X	
	$\text{Fe}(\text{AsO}_4) \times 3,5\text{H}_2\text{O}$	Kankit*	X	?
	$\text{Fe}_4(\text{AsO}_4)_3(\text{SO}_4)(\text{OH}) \times 15\text{H}_2\text{O}$	Zykait*	X	?
	$\text{Fe}_2(\text{AsO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH}) \times 7\text{H}_2\text{O}$	Bukovskyit*	X	
	$\text{Fe}(\text{III})-(\text{OH})-(\text{AsO}_4)-(\text{SO}_4)-(\text{PO}_4) \times n\text{H}_2\text{O}_{\text{amorph}}$	Pitticit		X
Al	$\text{Al}(\text{OH})_3_{\text{amorph}}$	„Alumogel“		X
	$\text{Al}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_{19} \times 5\text{H}_2\text{O}$ (12-36 $\text{H}_2\text{O}$ ) (Nordstrom 1981)	(Hydro-)Basaluminit		X
	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ (Nordstrom 1981)	Aluminit	X	
	$\text{Al-Si}-(\text{OH}) \times n\text{H}_2\text{O}_{\text{amorph}}$	Al-Silikat-Gel, Allophan (Imogolit ?)	?	X
	$(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2[[\text{(OH)}_2/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$	Illit	?	?
	$\text{Al}_4[(\text{OH})_8/\text{Si}_4\text{O}_{10}] \times (\text{H}_2\text{O})_4$ (Rösler 1979)	Halloysit (?)	X	
	$\text{Al}_4[(\text{OH})_8/\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	Kaolinit (?), Nakrit*	X	
Al Cu Zn	$[(\text{Cu}_{1-x}\text{Al}_x)(\text{OH})_2][(\text{SO}_4)_{x/2}(\text{H}_2\text{O})_n]$ ( $x < 0,67$ , $n < \text{ca. } 3x/2$ )*	Woodwardit (u.a. Raade 1985, Witzke 1999)		X
	$\text{CuAl}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_{12} \times 3\text{H}_2\text{O}$	Chalkoaluminit (?)		?
	$[(\text{Zn}_{1-x}\text{Al}_x)(\text{OH})_2][(\text{SO}_4)_{x/2}(\text{H}_2\text{O})_n]$ ( $x < 0,67$ , $n > \text{ca. } 3x/2$ )*	Glaukokerinit		X
Zn Cu	$\text{Zn}(\text{CO}_3)$	Smithsonit*		?
	$\text{Zn}_5[(\text{OH})_6/(\text{CO}_3)_2] / \text{Zn}_3[(\text{OH})_4(\text{CO}_3,\text{SO}_4)]$	Hydrozinkit / Brianyoungit*		X
	$(\text{Zn},\text{Cu})_5[(\text{OH})_6/(\text{CO}_3)_2]$	Aurichalzit		X
	$(\text{Cu},\text{Zn})_x(\text{SO}_4)_y(\text{OH})_z \times n\text{H}_2\text{O}$	Namuwit*, Schulenbergit*, Ktenasit*,		?
	$\text{Cu}_2[(\text{OH})_2/(\text{CO}_3)]$	Malachit		X
Cu	$\text{Cu}_4[(\text{OH})_6/(\text{SO}_4)]$	Brochantit		X
Pb	$\text{Pb}(\text{SO}_4)$	Anglesit	X	X
Mn	$(\text{H}_2\text{O},\text{Ca},\text{Mg},\text{Cu},\text{K})_{-2}(\text{Mn}^{(\text{IV})}\text{Mn}^{(\text{II})})(\text{O},\text{OH})_{16}$	Todorokit, Birnessit, (Asbolan)		X
	$(\text{Ca},\text{Mn}^{(\text{II})})\text{Mn}^{(\text{IV})}_4\text{O}_9 \times 3\text{H}_2\text{O}$	Rancieit (?)		?

Von den als geochemische Barrieren nutzbaren stabilen Sekundärmineralen sind mengenmäßig lediglich die hydroxidischen Eisenphasen sowie wegen der deutlich langsameren Ausflockung nur eingeschränkt, das Aluminiumhydroxid von Bedeutung.

Beide Elemente sind sehr häufig in Gruben- und Haldensickerwässer in Konzentration zwischen x und xx mg/l enthalten, wobei das Eisen vorwiegend aus den in Erzparagenesen enthaltenen Fe-Mineralen (Pyrit, Arsenoprit, Löllingit) stammt. Das Aluminium wird durch die Einwirkung von Säure, die sich bei der Oxidation der Sulfide bildet, aus Silikatmineralen (Feldspäte) freigesetzt. Oft sind Eisen zu Aluminium im Verhältnis 10:1 bis 100:1 in den Wässern enthalten, so dass vor allem dem Fe die Bedeutung als Barrierebildner zukommt. Die Bedeutung des Aluminiums als Barriereelement wird durch den Gehalt dieser Wässer an Fluorid, oft im mg/l – Bereich, und die damit verbundene Bildung stabiler Al – F – Komplexe weiter drastisch reduziert.

Die bisherige Anwendung von Barriersystemen erfolgt in der Regel nach Austritt der Wässer aus den Gruben und Halden. Die Möglichkeiten zur Rückhaltung von Schadelementen durch die gezielte Schaffung von optimalen Bildungs- und Sedimentationsbedingungen für Eisenhydroxid unter Nutzung der wassereigenen Fe-Gehalte im gefluteten Grubenraum wurde bisher unter realen Bedingungen kaum untersucht, so dass eine Abschätzung der Wirksamkeit dieser Barrierevariante nur auf der Basis von Modellbetrachtungen möglich war.

Thermodynamische Modellierungen und Adsorptionsexperimente in reinen Modelllösungen unter Laborbedingungen zeigen für eine Reihe von Elementen deren Fixierung an Eisenhydroxide über weite pH-Bereiche auf (z. B. Drever, 1997; Langmuir, 1997). Abb. 2.1 zeigt ein Publikationsbeispiel zur pH-Abhängigkeit der Adsorption für verschiedene Anionen und Kationen.

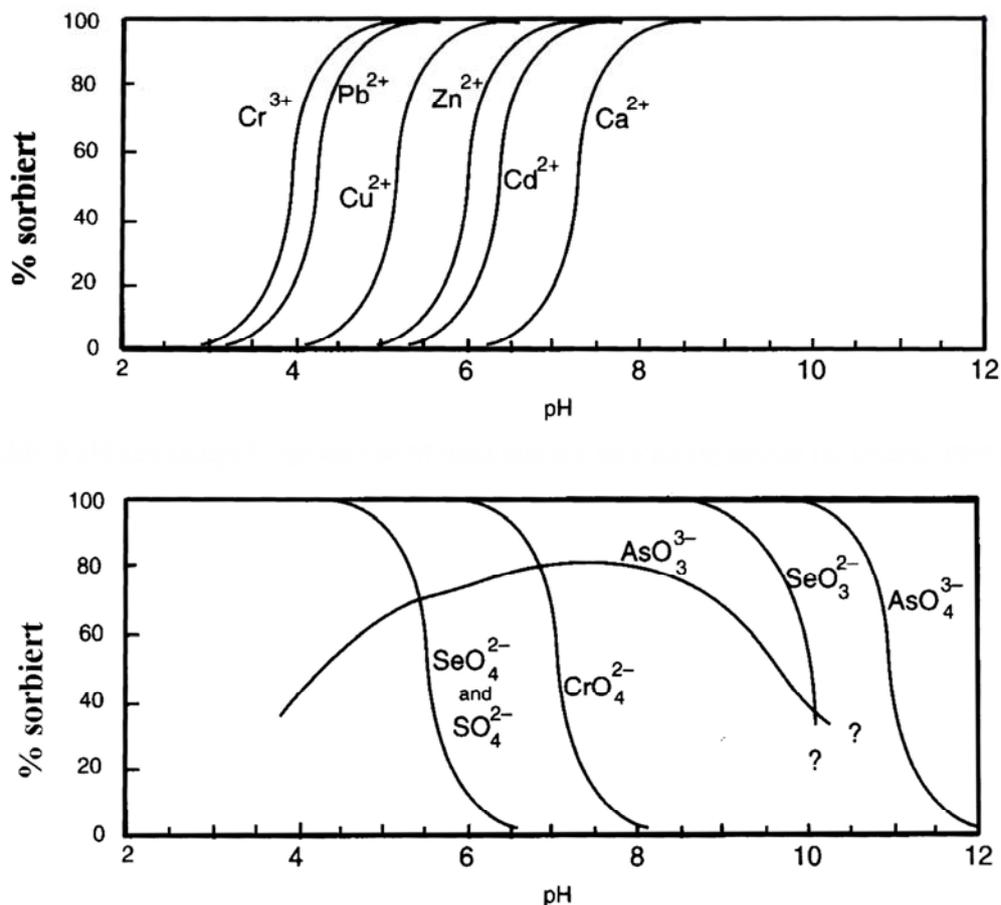


Abb. 2.1: pH-abhängige Sorption verschiedener Kationen und Anion an Eisenhydroxid (Merkel & Planer-Friedrich 2002)

In Tab. 2.2 sind Literaturangaben zur pH-Abhängigkeit der Sorption für erzlagerstättenrelevante Elemente an Eisenhydroxid zusammengestellt.

Tab. 2.2: Übersicht über die pH-Bereiche der maximalen Sorption (in %) ausgewählter Schwermetalle und Arsen unter Idealbedingungen nach Literaturangaben

Element	Maximale Adsorption in % bei pH								Quelle
	~3	~4	~5	~6	~7	~8	~9	~10	
<b>As (V)</b>	65	<b>82</b>	78	72	67	61	58	56	Jekel et al. 1994 S. 142
AsO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	<b>98</b>	<b>98</b>	<b>98</b>	<b>98</b>	<b>98</b>	97	60	<60	- « - 125
(Arsenat)	90	95	<b>98</b>	<b>98</b>	78	60	30	10	Dzombak et al. 1990, S.203
	<b>98</b>	<b>98</b>	<b>98</b>	<b>98</b>	<b>98</b>	<b>98</b>	<b>98</b>	90	Sigg et al. 1994, S.378
<b>As(III)</b>									
AsO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	-	-	50	51	53	56	<b>58</b>	-	Jekel et al. 1994 S. 125
(Arsenit)	-	56	62	68	<b>70</b>	<b>70</b>	62	30	Dzombak et al. 1990, S.214
<b>Co<sup>2+</sup></b>	-	-	10	15	40	<b>98</b>	<b>98</b>	-	Dzombak et al. 1990, S.168
<b>Ni<sup>2+</sup></b>	-	-	-	10	55	<b>90</b>	-	-	Dzombak et al. 1990, S.168
	-	-	-	5	64	<b>98</b>	-	-	Sigg et al. 1994, S.377
<b>Zn<sup>2+</sup></b>	-	-	2	8	80	<b>98</b>	-	-	Dzombak et al. 1990, S.117
	-	-	-	20	85	<b>98</b>	-	-	Sigg et al. 1994, S.377
<b>Pb<sup>2+</sup></b>	-	22	90	<b>98</b>	-	-	-	-	Sigg et al. 1994, S.377
	-	16	75	<b>98</b>	<b>98</b>	-	-	-	Dzombak et al. 1990, S.108
<b>Cu<sup>2+</sup></b>	-	-	30	90	<b>98</b>	-	-	-	Sigg et al. 1994, S.377
	-	-	25	90	<b>98</b>	-	-	-	Dzombak et al. 1990, S.151
<b>Cr<sup>3+</sup></b>	-	40	90	<b>98</b>	-	-	-	-	Sigg et al. 1994, S.377
	-	50	95	<b>98</b>	-	-	-	-	Dzombak et al. 1990, S. 171
<b>Cd<sup>2+</sup></b>	-	-	2	40	90	<b>98</b>	-	-	Sigg et al. 1994, S. 377
	-	-	-	10	80	<b>98</b>	-	-	Dzombak et al. 1990, S.128
<b>(Hg<sup>2+</sup>)</b>	-	3	5	10	30	<b>40</b>	<b>40</b>	38	Dzombak et al. 1990, S.146
<b>(Ag<sup>2+</sup>)</b>	-	-	5	15	40	80	<b>90</b>	<b>90</b>	Dzombak et al. 1990, S.156
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	-	-	-	-	-	40	<b>80</b>	-	Sigg et al. 1994, S.377
	-	-	2	7	40	80	<b>98</b>	<b>98</b>	Dzombak et al. 1990, S.174

Merkel und Planer-Friedrich (2002) zitieren Angaben aus Scheffer & Schachtschabel (1982) zur pH-Abhängigkeit der Sorption von Kationen an Fe-Oxide in Form der pH<sub>50%</sub> Werte, bei denen jeweils 50% des Ions sorbiert sind (pH<sub>50%</sub>: Pb 3,1, Cu 4,4, Zn 5,4, Ni 5,6, Cd 5,8, Co 6,0, Mn 7,8).

Ein Vergleich der Angaben aus verschiedenen Literaturstellen weist für die jeweiligen Ionen bei vergleichbarem pH verschiedentlich Unterschiede im adsorbierten Anteil ohne plausible Erklärung auf (z.B. Stumm 1992, Drever 1997). Trotzdem sollten die Angaben eine orientierende Abschätzung der für eine möglichst optimale Fixierung der betreffenden Elemente an Eisenhydroxid erforderlichen pH-Werte in Gruben- und Haldensickerwässern erlauben.

Bei diesen Überlegungen ist zu berücksichtigen, dass die Oxidationsgeschwindigkeit für Fe(II) → Fe(III) im sauren Bereich stark pH-abhängig ist und sich diese mit einer Erhöhung des pH um eine Einheit jeweils um den Faktor 100 vergrößert (Sigg & Stumm 1989). Für die Nutzung der Eisenhydroxidbildung und -fällung als Rückhaltesystem sollte deshalb der pH-Wert der Wässer mindestens ≥ 5 betragen. Wird zudem berücksichtigt, dass außer As(V) relevante Anteile anderer Elemente (z. B. Pb, Cr(III), Cu) erst ab pH ≥ 6 fixiert werden, sollte ein pH-Bereich zwischen 6 und 7 angestrebt werden. In diesem Bereich sollten As(V), Pb, Cr(III), Cu nahezu vollständig und Cd, Co, Ni, Zn zumindest in erheblichen Anteilen adsor-

biert werden. Ab  $\text{pH} \geq 8$  erfolgt die Oxidation des Fe(II) diffusionskontrolliert und somit zunehmend schneller. Die Ausflockung erfolgt dann ebenfalls schnell, was sich auf den Sorptionseffekt negativ auswirkt. Eigene Laboruntersuchungen haben gezeigt, dass dann der Abreicherungsfaktor für Arsen deutlich schlechter wird. In Experimenten konnte auch bei langer Standzeit die Konzentration von As(V) durch den schnellen Fällungsvorgang nicht unter  $300 \mu\text{g/l}$  verringert werden, während bei einem pH um 6 diese Konzentration deutlich unterschritten wurde.

Diese Erkenntnis, dass die langsame Bildung der Eisenhydroxidpartikel die Effektivität der Sorption verbessert, wird durch Ergebnisse aus Untersuchungen der Arsengehalte in oberirdischen Ablaufgräben für Haldensickerwässer untersetzt (Klemm 1993). In diesen Gräben wird bei sehr langsamer Fließbewegung der anfängliche Arsengehalt von 1 - 3 mg/l nach wenigen hundert Metern auf  $\leq 10 \mu\text{g/l}$  verringert.

**Es ist grundsätzlich darauf hinzuweisen, dass ein möglicher Einfluss der Lösungszusammensetzung realer Gruben- und Haldensickerwässer auf die qualitative und quantitative Fixierung der Elemente in den oben referierten Arbeiten nicht betrachtet wurde.**

In einem ersten Arbeitsabschnitt werden deshalb der Verlauf und die Ausbeute der adsorptiven Fixierung von Arsen und bergbaurelevanten Schwermetallen in Grubenwässern verschiedener Zusammensetzung und Herkunft unter vergleichbaren Bedingungen untersucht.

Die Bindung von Arsen und Schwermetallen an Eisen- und Aluminiumhydroxid erfolgt abhängig vom jeweiligen Element vorwiegend adsorptiv bzw. in Form einer Mitfällung, was für den Gesamtprozess nicht in ausreichender Differenzierung benannt werden kann. Untersuchungen liegen bisher nur für wenige Elemente, vorwiegend As, vor und bedürfen noch weitere spezieller Untersuchungen (Zoumis 2003). Im folgenden Text wird deshalb nicht zwischen beiden Vorgängen differenziert und generell von adsorptiver Bindung gesprochen.

### 3. Experimente zur Behandlung von Gruben- und Haldensickerwässern verschiedener Standorte unter Laborbedingungen

#### 3.1. Methodik

Die Ausführungen unter Punkt 2. zeigen, dass der Wirkungsgrad der Eisenhydroxidfällung für die Reinigung natürlicher Gruben- und Haldenwässer aus deren Analysen allein nicht abschätzbar ist. Es wurde deshalb versucht, ein einfaches Laborexperiment zu schaffen, mit dem die Wirksamkeit der Reinigung dieser Wässer durch Sorption und Fällung von Belastungselementen an Eisen- und Aluminiumhydroxid vergleichbar erfasst werden kann. Mit diesen Versuchen wurde gleichzeitig der Nachweis geprüft, ob die Wässer für den Abreicherungsprozess ausreichend konditioniert oder der pH-Wert und der Sauerstoffgehalt noch anzupassen sind.

Dazu wurden jeweils 900 ml der Wasserprobe in ein breites 1 l Becherglas gefüllt und offen stehengelassen. In vorgegebenen Zeitschritten (0, 12, 24, 48, 96, 144 h) wurde jeweils 2 x 50 ml Wasserprobe mit einer Spritze 1 cm unter der Wasseroberfläche abgesaugt. Für die Analyse des Gesamtgehaltes wurde jeweils eine der 50 ml Proben mit HNO<sub>3</sub> angesäuert. Die andere Probe wurde für die Analyse der gelösten Anteile filtriert (Membranfilter <0,45 µm) und anschließend angesäuert.

Analog wurde die Probenahme im Gelände durchgeführt:

Die Wasserproben wurden stets mit Plastikgeräten genommen. Vor Ort erfolgte die Messung der physikochemischen Parameter pH-Wert, Eh-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Wassertemperatur und Sauerstoffgehalt. Es schloss sich eine Vakuumfiltration mit Membranfilter (Porenweite 0,45 µm) zur Abtrennung der partikulären Anteile an. Eine filtrierte Teilprobe von 100 ml wurde für die Analyse der Spurenelementgehalte mit 1 ml konzentrierter Salpetersäure (suprapur) versetzt. Eine weitere filtrierte Teilprobe von 100 ml wurde für die Fe(II)-Bestimmung entnommen und mit 1 ml konzentrierter Schwefelsäure stabilisiert. Für die Analyse der Gesamtgehalte (gelöste + partikuläre Anteile) der Elemente wurden 100 ml der unfiltrierten Originalprobe mit 1 ml konzentrierter Salpetersäure (suprapur) versetzt. Für die Analyse der Hauptinhaltsstoffe wurden von der filtrierten Probe ca. 500 ml ohne weitere Behandlung abgefüllt.

Die Analyse der Proben erfolgte mit folgenden Methoden:

<b>Komponente</b>	<b>Methode</b>
Na, K:	FAAS
Ca, Mg:	FAAS, komplexometrische Titration
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> :	acidimetrische Titration
F <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> :	IC
Al, Fe, Mn, Zn:	ICP-AES
As, Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Si, U:	ICP-MS
As(III):	ETA-AAS nach Abtrennung aus filtrierter Teilprobe über Anionenaustauscher bei pH 9 vor Ort (Bombach et al. 2005)
Fe(II):	im Labor: Photometrie, 1, 10-Phenantrolin, 512 nm WTW PhotoLab S12 oder SPEKOL 20 (ZEISS Jena)

Für die vergleichenden Fällungsuntersuchungen wurden folgende Wasserproben eingesetzt:

Haldensicker- und Grubenwasser Ehrenfriedersdorf  
 Grubenwasser Wismut: Aue-Hartenstein  
 Grubenwasser Wismut: Pöhla  
 Grubenwasser Wismut: Ronneburg  
 Grubenwasser Potosi /Bolivien.

Die Ergebnisse sind in den Anlagen 1 - 3 zusammengestellt.

Neben Versuchen mit den Originalwässern wurden die Versuchsbedingungen in verschiedenen Fällen wie folgt variiert:

- Dotierung der Proben mit den Elementen  $\text{Cu}^{2+}$  ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ ),  $\text{Cr}^{3+}$  ( $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$ ),  $\text{Cd}^{2+}$  ( $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ),  $\text{Pb}^{2+}$  ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ).
- Veränderung des pH-Wertes (bis pH 6 bzw. pH 7,5) mittels HCl- bzw. NaOH- Zugabe
- Anhebung der Ca – Konzentration in den Wasserproben durch  $\text{CaCl}_2$ -Zugabe

Von den genannten Metallsalzen wurden Stammlösungen hergestellt, in denen das jeweilige Metall in einer Konzentration von 1g/l vorlag. Die Wasserproben wurden für die Versuche mit einer Konzentration von 1 mg/l für jedes Element dotiert.

### 3.2. Standversuche Modellfall „Ehrenfriedersdorf“

Zur Gewährleistung der Zielstellung des ersten Pilotversuches “Elementanreicherung in den Haldensickerwässern durch Verströmen in die wassergefüllten Grubenhohlräume im Bereich Sauberg/Ostfeld” waren der Sorptionseffekt und die minimale Verweilzeit für den Sedimentationsprozess in der Grube zu ermitteln, weshalb die Veränderung der Elementkonzentrationen in den Haldensicker- und Grubenwässern mit dem beschriebenen Laborversuch zeitabhängig für die Sickerwässer (Messstellen 28, 30, 33) und Grubenwässer (2. Sohle, 3. Sohle) sowie Mischungen beider Wassertypen verfolgt wurden. Tab. 3.1 zeigt die Analysen der Hauptinhaltsstoffe für die verschiedenen Wasserproben.

Tab. 3.1: Zusammensetzung der getesteten Wässer aus dem Bereich der Grube Ehrenfriedersdorf, Angabe der Konzentrationen in mg/l

Probe /Datum	T <sub>Wasser</sub> [°C]	pH	el. Leitf. [µS/cm]	Eh [mV]	O <sub>2</sub>	Schweb
<b>28</b> (24.09./19.11.01)	11,5/ 5,7	6,35/ 6,44	1340/ 1131	232/ 328	7,7/ 12	17,3/ 28,7
<b>30</b> (10.09./24.09.01)	9,2 / 11,6	6,03/ 6,08	1772/ 1795	255/ 237	6,1/ 5,5	17,5/ 1,0
<b>33</b> (19.11.01)	10	4,07	927	299	2,99	1,98
<b>SBÜ (2. Sohle)</b> (10.09./24.09.01)	11,5/ 11,8	6,29/ 6,35	700/ 701	304/ 323	2,9	0,7/ 2,9
<b>W ( 3. Sohle)</b> (19.11.01)	10	6,98	927	299	2,99	1,9

Probe/ Datum	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na	K	Ca	Mg
<b>28</b> (24.09.01)	20	5,23	33,8	749	20,9	20,7	15,1	178	46
<b>30</b> (10.09.01)	41,5	7,86	10,9	1100	6,76	18,8	22	252	24,6
<b>33</b> (19.11.01)	147	10,6	25,7	299	nn	20,8	9,25	123	23,1
<b>SBÜ</b> (10.09.01)	38	4,2	24,9	266	7,35	14,5	5,1	84,5	19,3
<b>W</b> (19.11.01)	147	10,6	25,7	299	nn	20,8	9,25	123	23

Die Detailergebnisse der Versuche sind in Anlage 1 zusammengefasst. Wird die Unterschreitung des für Abwässer gültigen Einleitwertes von 100 µg/l As für die gelösten As-Spezies (filtriert <0,45 µm) als Kriterium für die Bewertung der zur Sedimentation notwendigen Verweilzeit im Flutungsbereich der Grube angenommen, reichen für die Sickerwässer an den Messstellen 28 und 30 bereits 48 Stunden für die gewünschte Verringerung der As-Konzentration. Vereinzelt auftretende Abweichungen finden ihre Erklärung in erhöhten Arsengehalten durch extreme Schwankungen der Zusammensetzung des gefassten Sickerwassers am Einleitpunkt 28. In diesen Fällen wird innerhalb von 120 Stunden die genannte Zielstellung erreicht.

Die Ergebnisse der Standversuche für die in der Sickerwasserprobe 28 nach 144 h Standzeit erreichbare Elementsorptions an dem ausflockenden Eisenhydroxid zeigen Tab. 3.2 und Abb. 3.1.

Tab. 3.2: Maximale Elementsorptions nach 144 h-Standversuch mit dem Gesamtsickerwasser (original und dotiert) der Spülhalden (28) in Abhängigkeit vom pH-Wert, Angaben in %

	pH 6,2 orig	pH 6,2 dot	pH 6,4 orig	pH 6,4 dot	pH 6,6 orig	pH 6,6 dot	pH 7,5 orig	pH 7,5 dot
Al	0	0	3	0	28	38	<b>97</b>	<b>98</b>
As	<b>99</b>	<b>98</b>	<b>97</b>	<b>99</b>	<b>99</b>	<b>99</b>	<b>96</b>	<b>94</b>
Cd	6,7	-	0,0	16	16	5,8	4,0	32
Co	0,0	5,0	0,0	0,0	4,2	0,0	15	20
Cr	-	-	-	-	-	<b>&gt;99</b>	-	-
Cu	-	33	-	73	-	<b>76</b>	-	<b>99</b>
Fe	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>&gt;99,9</b>	<b>&gt;99,9</b>
Mn	9,3	13	7,5	6,5	3,5	4,4	4,7	5,4
Ni	0,0	0,0	8,0	8,0	7,7	1,9	21	25
Pb	-	<b>95</b>	-	<b>&gt;95</b>	-	<b>&gt;95</b>	-	<b>&gt;95</b>
Si	6,6	6,7	9,8	9,4	12	8,8	38	45
Zn	6,1	4,4	9,7	7,5	9,3	8,6	51	56

Neben der sehr guten As- und Fe-Abreicherung (>97 %) zeigen die Standversuche unter den natürlichen pH-Bedingungen (pH ca. 6,2 bis 6,6), dass bei den Problemelementen Al (z. T.), Ni, Cd und Zn sowie auch bei Co und Mn im Realfall im Widerspruch zu den Literaturdaten nur mit einer minimalen Abreicherung (<10 %) zu rechnen ist.

Das Fe/As Verhältnis für das Gesamtsickerwasser (28) variiert um 10.

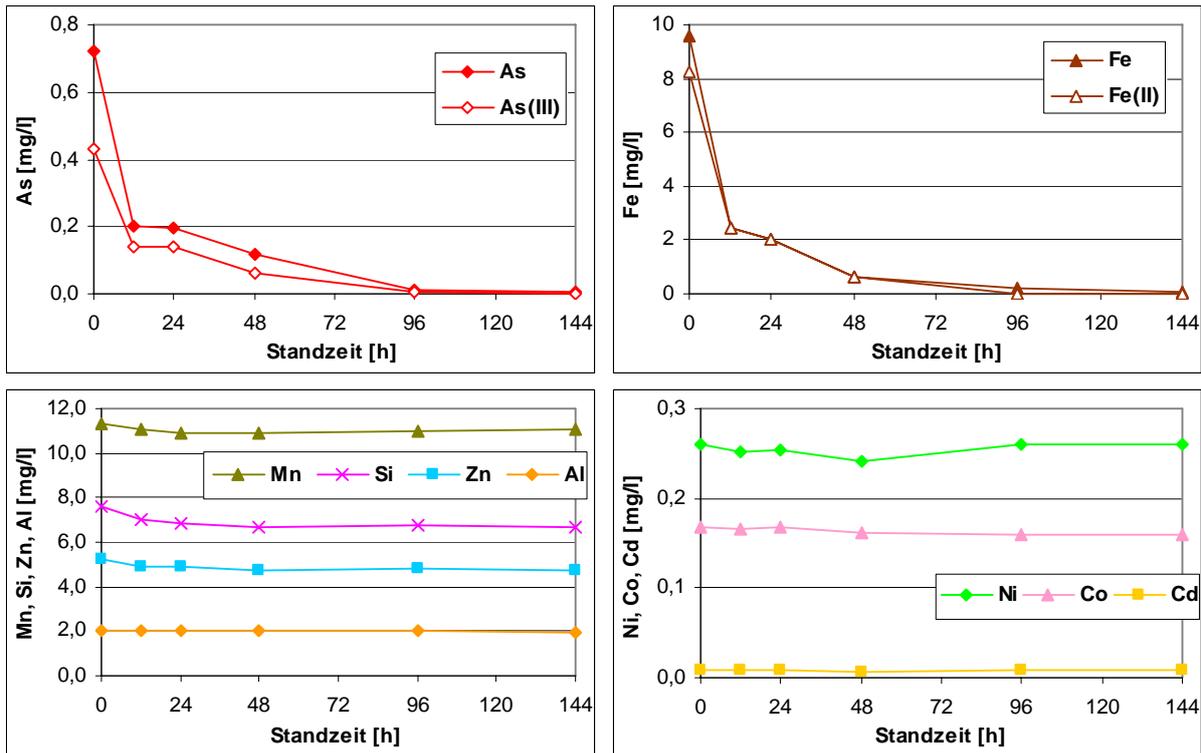


Abb. 3.1: Zeitliche Entwicklung der Elementkonzentrationen (<0,45 µm filtriert) für das Sickerwasser am Punkt 28 im 144-h-Labor-Standversuch, Ausgangs-pH-Wert 6,6

Die pH-Wert-Anhebung auf 7,5 wirkt sich positiv auf das Abreicherungsverhalten der Elemente Al (97 %), dessen Sorption bei pH 6,6 bereits deutlich ansteigt, und Zn aus. Letzteres erreicht erst bei pH 7,5 eine Sorption von 51 %. Für Cd (4 %), Co (15 %), Mn (7 %) und Ni (21 %) bleibt der Effekt in der undotierten Probe unzureichend.

Günstiger erweist sich die Simulation des Realfalls, bei dem ein kleiner Anteil Sickerwasser mit einem großen Teil Grubenwasser (Verhältnis 1 : 10) gemischt wird (Tab. 3.3). Neben einem Verdünnungseffekt kommt es zu einer erheblichen Verkürzung der erforderlichen Zeit bis zur Unterschreitung der Konzentration von 100 µg/l As (gelöst). Auch der im Standversuch mit dem Haldensickerwasser allein z. T. zu beobachtende leichte Abfall des pH-Wertes von ca. 6,5 auf minimal 5,5 im Extremfall als Folge der bereits beschriebenen Vorgänge der Oxidation des Fe(II) und nachfolgender Hydrolyse wird für die Versuche mit dem Grubenwasser nicht registriert.

Tab. 3.3: Maximale Elementsorption nach 144 h-Standversuch mit dem Gesamt-Sickerwasser der Spülhalden (28) bei Zumischung von Grubenwasser (SBÜ, 2. Sohle), Angaben in %

	28 pH 6,6 orig.	28 pH 6,6 dot	SBÜ pH 6,4 orig.	28:SBÜ=1:10 orig.	28:SBÜ=1:10 dot
Al	28	38	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>94</b>
As	<b>99</b>	<b>99</b>	<b>92</b>	<b>96</b>	<b>91</b>
Cd	16	5,8	2,6	2,0	24
Co	4,2	0,0	0,0	6,3	8,3
Cr	-	<b>&gt;99</b>	-	-	<b>&gt;99</b>
Cu	-	<b>76</b>	-	-	<b>97</b>
Fe	<b>99</b>	<b>100</b>	-	<b>98</b>	<b>98</b>
Mn	3,5	4,4	7,7	0,7	0,0
Ni	7,7	1,9	4,9	7,4	8,4
Pb	-	<b>&gt;95</b>	-	-	<b>&gt;95</b>
Si	12	8,8	18	13	12
Zn	9,3	8,6	32	28	26

Die Zumischung von Grubenwasser (SBÜ) zu Sickerwasser (28) im Verhältnis 10 : 1, was dem durchschnittlichen Realfall im Pilotversuch entspricht, zeigt ebenfalls das positive Abreicherungsverhalten von As und Fe (> 90 %) und das bevorzugte Verbleiben der umweltrelevanten Elemente Cd, Co, Ni und Zn in der gelösten Phase.

Mischungsversuche mit Haldensickerwasser (28) und Grubenwasser aus tieferen Grubenbereichen (3. Sohle) bestätigen den Effekt der As- und Fe-Eliminierung. Aufgrund des höheren pH-Wertes des Grubenwassers (7,0) und der besseren Pufferung durch einen höheren Gehalt an Hydrogencarbonat ist dann auch ein deutlicher Abreicherungs-effekt für Al (85 %), Cd (> 89 %) und Zn (93 %) zu beobachten (Tab. 3.4). Bei Erhöhung der Elementkonzentration durch Dotierung wird dieser Effekt für Al, Cd und Zn wieder etwas reduziert.

Tab. 3.4: Maximale Elementsorption nach 144 h-Standversuch mit dem Gesamt-Sickerwasser der Spülhalden (28) und Zumischung von Grubenwasser (3. Sohle) im Verhältnis 1 : 10, Angaben in %

	28 pH 6,4	28 pH 6,6 dot	3.S. pH 7,0	28+3.S.=1:10	28+3.S.=1:10dot
Al	28	38	>93	85	78
As	97	99	99	98	98
Cd	-	16	-	>89	69
Co	0,0	0,0	-	39	39
Cr	-	-	-	-	-
Cu	-	73	-	-	98
Fe	100	100	100	100	100
Mn	7,5	6,5	0,0	8,0	3,4
Ni	8,0	8,0	-	-	-
Pb	-	>95	-	-	>95
Si	9,8	9,4	23	23	27
Zn	9,7	7,5	>66	93	85

Das Grubenwasser am Sauberg Überlauf (SBÜ) verfügt mit seiner Hydrogencarbonatkonzentration (34 - 52 mg/l) über eine ausreichende Säurepufferkapazität, so dass selbst im simulierten ungünstigsten Fall bei Einleitung eines deutlich sauren Wassers keine Verlängerung der notwendigen Verweilzeiten zu befürchten ist. Für diesen Extremfall wurde das saure Sickerwasser der Spülhalde 1 (pH 4 am Messpunkt 33) allein mit dem überlaufenden Grubenwasser (SBÜ) im Verhältnis 1 : 20 gemischt. Der pH-Wert (6,2) des Grubenwassers wird auch in diesem Fall durch die Zumischung nicht verändert; gegen Versuchsende ist eine leichte Erhöhung des pH-Wertes zu registrieren. Bereits nach 18 Stunden ist der Zielwert für As (gelöst) unterschritten (Tab. 3.5).

Tab. 3.5: Verlauf des Arsen- und Eisengehaltes sowie des pH-Wertes im Standversuch mit der Mischung der Proben 33 und SBÜ im Verhältnis 1 : 20, Angaben in mg/l

Standzeit in h	As	Fe	pH
0	0,49	3,0	6,2
18	0,09	0,83	6,3
46	0,026	0,11	6,39
92	0,006	<0,005	6,6

Unter Bezugnahme auf die bereits zitierten Literaturangaben sollte auch Ca als potentieller Konkurrent für Sorptionsplätze in Betracht gezogen werden. Deshalb wurde eine Testserie mit der Originalprobe 28, mit der dotierten Probe 28, mit der mit Ca (500 mg/l) dotierten Probe 28 und mit der Element- und Ca-dotierten Probe 28 bei pH 6,2 untersucht. Die Ergebnisse zeigt Tab. 3.6. Die Zugabe von Ca zur Originalprobe verändert das Sorptionsvermögen praktisch kaum. Für As wird eine leichte Verringerung registriert. Im Fall der mit Problemelemen-

ten dotierten Probe führt die Ca-Zugabe zu einer deutlicheren Reduzierung der As-Sorption. Vermutlich wird mit der Erhöhung der As-Konzentration die Sorptionskapazität für dieses Element erreicht (Tab. 3.6). Die Sorption der anderen Elemente wird nicht signifikant beeinflusst.

Tab. 3.6: Maximale Elementsorptions nach 144 h-Standversuch im Gesamtsickerwasser der Spülhalden (28), nach Erhöhung der Ca-Konzentration um 500 mg/l und nach Dotierung mit Analyseelementen, Angaben in %

	pH 6,2	pH 6,2 +Ca	pH 6,2 dot	pH 6,2 dot+Ca
Al	0,0	0,0	0,0	0,0
As	<b>99</b>	<b>94</b>	<b>98</b>	<b>86</b>
Cd	6,7	5,3	-	20
Co	0,0	5,0	5,0	10
Cr	-	-	-	-
Cu	-	-	33	30
Fe	<b>100</b>	<b>&gt;99</b>	<b>100</b>	<b>99</b>
Mn	9,3	9,3	13	10
Ni	0,0	7,1	0,0	7,1
Pb	-	-	<b>95</b>	<b>94</b>
Si	6,6	7,5	6,7	8,1
Zn	6,1	6,5	4,4	4,6

### 3.3. Standversuche Modellfall „Wismut GmbH“

An drei Standorten der Wismut GmbH (Aue, Pöhla, Ronneburg) wurden im Jahr 2002 Wasserproben von Flutungswässern der jeweiligen Grubenreviere entnommen und Standversuchen mit äquivalenten Bedingungen unterzogen.

Die drei Grubenwässer besitzen ein sehr unterschiedliches geochemisches Inventar (Tab. 3.7).

Tab. 3.7: Geochemisches Inventar der Wässer der Wismut GmbH: WA510 (Aue), WP1 (Pöhla), WR1 (Ronneburg), Konzentrationsangaben in mg/l

	T <sub>Wasser</sub> [°C]	pH	el. Leitf. [µS/cm]	Eh [mV]	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> [%]	Schweb
<b>WA510</b>	27,6	6,9	794	127	1,4	18	1,65
<b>WP1</b>	14,6	7,2	108	-37	1,3	14	8,26
<b>WR1</b>	19,4	5,5	390	81	0,8	9	12,6

	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na	K	Ca	Mg
<b>WA510</b>	606	<0,1	78,6	1920	1,6	268	21,1	326	287
<b>WP1</b>	240	3,1	5,3	7,1	0,4	35,5	6,4	48,5	17,9
<b>WR1</b>	254	<0,1	81,2	6210	<0,1	95,6	65,5	515	940

Unfiltriert	Al	As	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Si	U	Zn
<b>WA510</b>	<0,05	1,72	<0,01	<0,01	<0,01	9,81	5,24	<0,1	<0,05	8,74	5,14	<0,01
<b>WP1</b>	<0,05	2,09	<0,01	<0,01	<0,01	6,73	0,34	<0,1	<0,05	9,36	0,081	<0,01
<b>WR1</b>	7,29	0,137	0,013	1,23	0,057	560	20,0	4,35	0,05	8,07	1,35	2,0

Filtriert	Al	As	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Si	U	Zn
<b>WA510</b>	<0,05	1,68	<0,01	<0,01	<0,01	9,81	5,24	<0,1	<0,05	8,71	4,89	<0,01
<b>WP1</b>	<0,05	1,76	<0,01	<0,01	<0,01	3,17	0,34	<0,1	<0,05	9,23	0,050	<0,01
<b>WR1</b>	5,90	0,132	0,013	1,23	0,041	549	20,0	4,35	0,05	8,07	1,28	2,0

Bemerkenswert sind besonders die hohen Fe-Gehalte (gelöst) des Ronneburger Wassers von 549 mg/l, welches aufgrund der geringen As-Gehalte zu einem extremen Fe/As-Verhältnis von 4160 führt. Die Grubenwässer von Aue und Pöhla weisen für die gelösten Gehalte ein Fe/As-Verhältnis von 5,8 bzw. 1,8 auf.

Hinsichtlich der bevorzugten Transportform ergeben sich ebenfalls große Unterschiede. Ein deutlicher partikulärer Transport lässt sich nur für den Standort Pöhla für die Elemente As, Fe und U nachweisen (Tab. 3.8).

Tab. 3.8: Partikulärer Anteil am Gesamtgehalt der Spurenelemente in den Grubenwässern der Wismut GmbH, Angaben in %

Probe	Al	As	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Si	U	Zn
<b>WA510</b>	nb	2	nb	nb	nb	0	0	nb	nb	0	5	nb
<b>WP1</b>	nb	59	nb	nb	nb	53	0	nb	nb	1	38	nb
<b>WR1</b>	19	4	0	0	28	2	0	0	0	0	5	0

Es wurden folgende Versuchsserien getestet (jeweils Doppelbestimmung): undotierte Probe, dotierte Probe, undotierte Probe bei pH 6, dotierte Probe bei pH 6, undotierte Probe bei pH 7,5, dotierte Probe bei pH 7,5. Die Ergebnisse der Standversuche sind in der Anlage 2 zusammengefasst.

### 3.3.1. Grubenwässer Aue

Am Probenahmeort Hartenstein wurde die Probenahmestelle der Wasseraufbereitungsanlage kurz vor Schlema (Umweltmesspunkt m-510) am 27.05.2002 beprobt. Hier fallen unter Normalbedingungen ca. 800 m<sup>3</sup> Grubenwasser aus dem Aue-Schlemaer Revier an. Die Probenbezeichnung lautet **WA510**. Die Ergebnisse (Anlage 2, Tabellen 1 - 6) der Standversuche bei unterschiedlich eingestelltem pH-Wert und z. T. durch Dotierung veränderten Elementkonzentrationen fasst Tab.3.9 zusammen.

Tab. 3.9: Maximale Elementsorption nach 144h-Standversuchen mit dem Wasser WA510, Angaben in %

	pH 6	pH 6 dot	pH 6,9*)	pH 6,9 dot*)	pH 7,5	pH 7,5 dot
Al	-	-	-	-	-	-
As	68	71	66	68	<b>76</b>	68
Cd	-	62	-	<b>94</b>	-	<b>98</b>
Co	-	12	-	55	-	66
Cu	-	<b>92</b>	-	<b>95</b>	-	<b>98</b>
Fe	<b>&gt;99,9</b>	<b>&gt;99,9</b>	<b>&gt;99,9</b>	<b>&gt;99,9</b>	<b>&gt;99,9</b>	<b>&gt;99,9</b>
Mn	20	17	<b>75</b>	74	<b>88</b>	<b>84</b>
Ni	-	24	-	34	-	42
Pb	-	<b>&gt;95</b>	-	<b>&gt;95</b>	-	<b>&gt;95</b>
Si	9,4	14	11	15	14	17
U	5,3	6,7	5,5	3,5	5,1	3,9
Zn	-	-	-	-	-	-

\*) pH der Originalprobe

Der Anteil der As-Sorption liegt unabhängig vom pH-Wert (6 - 7,5) zwischen 66 und 76 %, obwohl die Fe- Ausfällung in allen Fällen nahezu vollständig erfolgt. Offensichtlich begrenzt der in Relation zum As-Gehalt geringe Fe-Gehalt (Fe/As – Verhältnis 5,8) die Sorptionskapazität des Eisenhydroxids.

Auffällig ist die mit steigendem pH-Wert zunehmende Fixierung von Mangan (bis zu 88 % bei pH 7,5) an die partikuläre Phase, was bei den Proben von Ehrenfriedersdorf nicht registriert wurde. Das Element U ist durch die Eisenhydroxidfällung nicht aus dem Grubenwasser zu eliminieren. Es wird hier nur ein Anteil von 4 - 6 % erreicht.

Die dotierten, in der Ausgangsprobe nur in sehr geringer Konzentration vorhandenen Elemente Cd, Co, Cu, Ni, Pb verhalten sich unterschiedlich. Während die Elemente Pb und Cu pH-unabhängig zu mehr als 90 % aus der überstehenden Lösung entfernt werden, trifft dies für Cd nur bei pH  $\geq$  6,9 zu. Die Elemente Co und Ni werden ebenfalls erst mit steigendem pH-Wert zunehmend sorbiert (66 bzw.42 % bei pH 7,5).

### 3.3.2. Grubenwässer Pöhla

Am Standort Pöhla wurde die Probenahmestelle kurz vor Einleitung des ausfließenden Grubenwassers in das Wetland am 11.06.2002 beprobt. Die Probenbezeichnung lautet **WP1**. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 7 bis 12 in Anlage 2 zusammengestellt. Die erreichbare Verringerung der Elementgehalte durch Hydroxidfällung zeigt Tab. 3.10.

Tab. 3.10: Maximale Elementoption nach 144h-Standversuchen mit dem Wasser WP1, Angaben in %

	pH 6	pH 6 dot	pH 7,2*)	pH 7,2*) dot	pH 7,5	pH 7,5 dot
Al	-	-	-	-	-	-
As	68	67	55	42	31	40
Cd	-	63	-	<b>88</b>	-	<b>95</b>
Co	-	28	-	46	-	54
Cu	-	<b>94</b>	-	<b>97</b>	-	<b>97</b>
Fe	<b>&gt;99,8</b>	<b>&gt;99,8</b>	<b>&gt;99,8</b>	<b>&gt;99,8</b>	<b>&gt;99,8</b>	<b>&gt;99,8</b>
Mn	<b>96</b>	12	<b>99</b>	55	<b>99</b>	64
Ni	-	36	-	43	-	38
Pb	-	<b>&gt;95</b>	-	<b>&gt;95</b>	-	<b>&gt;95</b>
Si	6,7	9,3	5,2	10	9,6	10
U	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-

\*) pH der Originalprobe

Auch im Standversuch mit dem Grubenwasser aus Pöhla ist die As-Abreicherung trotz nahezu vollständiger Fe-Fällung nicht befriedigend. Der Fe-Ausgangsgehalt ist mit 3,2 mg/l gering, das Fe/As-Verhältnis (1,8) sehr klein. Es werden maximal 68 % As (bei pH 6) aus der Lösung entfernt. Bei den Originalproben konnte für Mn bei allen pH-Werten eine sehr gute Abreicherung beobachtet werden. Für die dotierten Elemente Cd, Co, Cu, Ni, Pb ergeben sich ähnliche Abreicherungsfaktoren wie in Aue.

### 3.3.3. Grubenwässer Ronneburg

Die Wasserbehandlungsanlage Ronneburg wurde von der Wismut GmbH neu errichtet und im Dezember 2001 in Betrieb genommen, um die Flutung des Grubenreviers Ronneburg aktiv steuern zu können. Das geförderte Grubenwasser ist in den Konzentrationen der Hauptinhaltsstoffe Magnesium und Sulfat relativ konstant, weist jedoch einen Trend zu höheren Werten auf. Bei längeren Pausen der Wasserförderung ist bei vielen Metallen ein deutlicher Anstieg zu beobachten, der nach 1 bis 2 Wochen abklingt. Eine Abhängigkeit der Qualität des gehobenen Wassers von der Fördermenge, die zwischen 160 und 450 m<sup>3</sup>/h variiert wurde, konnte nicht festgestellt werden (Hüttl & Paul, 2004).

Die Beprobung des Zulaufes der Wasserbehandlungsanlage durch die TU Bergakademie Freiberg erfolgte am 23.07.2002 während des ersten Probebetriebes (Januar-Dezember 2002) in einer längeren kontinuierlichen Pumpphase. Die Probenbezeichnung lautet **WR1**. Die Ergebnisse der Standversuche sind in den Tabellen 13-18 der Anlage 2 zusammengefasst. Die während der Versuche erreichte Verringerung der Elementkonzentrationen in der Lösungsphase zeigt Tab. 3.11 .

Tab. 3.11: Maximale Elementsorption nach 144 h-Standversuch mit dem Wasser WR1, Angaben in %

	pH 5,5*)	pH 5,5*) dot	pH 6	pH 6 dot	pH 7,5	pH 7,5 dot
Al	64	42	<b>87</b>	<b>90</b>	<b>&gt;99</b>	<b>&gt;99</b>
As	<b>93</b>	<b>92</b>	<b>98</b>	<b>97</b>	<b>&gt;99</b>	<b>&gt;99</b>
Cd	0	6	0	0	<b>80</b>	<b>80</b>
Co	3	12	10	12	67	67
Cu	63	32	<b>&gt;76</b>	<b>88</b>	<b>&gt;76</b>	<b>&gt;99</b>
Fe	36	28	33	30	<b>95</b>	<b>95</b>
Mn	2	5	4	6	17	17
Ni	6	13	14	14	<b>76</b>	<b>76</b>
Pb	-	<b>&gt;95</b>	-	<b>&gt;95</b>	-	<b>&gt;95</b>
Si	12	7	21	19	<b>78</b>	<b>78</b>
U	47	38	<b>71</b>	<b>70</b>	<b>97</b>	<b>97</b>
Zn	7	13	24	19	<b>99</b>	<b>99</b>

\*) pH der Originalprobe

Die Standversuche mit dem Wasser WR1 führen zu guten Ergebnissen hinsichtlich der As-Abreicherung aus der Lösung mit zunehmenden pH-Wert ab 6 (> 90 %). Der pH-Wert der Originalprobe liegt bei 5,5. In diesem pH-Bereich ist der partikulär gebundene Anteil für alle untersuchten Elemente unzureichend. Die günstigsten Ergebnisse werden mit Ausnahme von Mn, das bei diesem Wasser ähnlich wie für Proben aus Ehrenfriedersdorf nur geringe Effekte (max. 17 % bei pH 7,5) aufweist, für den Versuch bei pH-Wert 7,5 erreicht. Neben den Elementen As, Cu, Pb werden unter diesen Bedingungen Al (99 %), Zn (99 %), Cd (80 %), Ni (78 %), Co (67 %) und Si (78 %) sowie U (97 %) partikulär abgetrennt.

Neben dem hohen Gehalt an Fe (560 mg/l), woraus ein großes Fe/As Verhältnis von 4300 resultiert, ist die Probe durch einen deutlichen Gehalt an Al (7,3 mg/l) gekennzeichnet. Ähnliche Al-Gehalte weisen die Wässer von Ehrenfriedersdorf auf, die jedoch erst ab pH-Wert 6,6 Al zunehmend partikulär abscheiden, was auf den unterschiedlichen Gehalt an F<sup>-</sup> zurückzuführen ist. Das Wasser der Anlage Ronneburg enthält nur <0,1 mg/l F<sup>-</sup>, während in den Wässern der Grube Ehrenfriedersdorf ca. 10 mg/l F<sup>-</sup> vorliegen. Dies führt zu deutlich unterschiedlichen Al / F – Verhältnissen (Ronneburg >73, Ehrenfriedersdorf 0,3 – 0,8), weshalb unterschiedliche Anteile Al stabile Al-Fluoridkomplexe bilden und so abhängig vom pH-Wert dem Ausfällungsprozess entzogen werden.

Nachstehend werden die Effekte der Standversuche mit denen der Wasserreinigungsanlage verglichen (Tab. 3.12).

Nach einer Absetzzeit von 144 h wird der für die Wismut GmbH gültige Überwachungswert im Experiment nur bei den Elementen As und Cu unterschritten. Bei optimierten pH-Bedingungen (pH 7,5), bei denen auch die Wasserreinigungsanlage arbeitet, erreichen auch die Elemente Al, Cd, Cu, Zn und U die Zielvorgaben.

Der hohe Gehalt an Fe(II) erfordert unter den Bedingungen des Standversuches eine sehr lange Oxidationszeit, die durch Luftereinleitung verringert werden kann. Nachteilig wirkt sich der hydrolysebedingte pH-Abfall während der Standzeit auf die Bindung der Elemente an das Fe- und Al-Hydroxid aus, was durch versuchsbegleitende pH-Einstellung vermieden werden kann. Die Elemente Fe, Mn, Co und Ni werden bedingt durch den pH-Abfall und die dann langsamere Oxidation des Fe(II) im Standversuch nur gering abgereichert und erreichen die Überwachungswerte nicht.

Tab. 3.12: Vergleich des Abreicherungseffektes der Wasserbehandlungsanlage und des Standversuches, Angaben in mg/l

	Wismut			TU Bergakademie Freiberg		
	Probetrieb 2003 Zulauf	Probetrieb 2003 Ablauf	Über- wachu- ngs- wert	Probe 2002 Zulauf (filtriert)	Probe 2002 nach 144 h (filtriert)	Probe 2002 nach 144 h (filtriert) pH 7,5
pH	5,9	7,3	6,5 – 8,5	5,5	3,1	6,4
Mg	1200	511	720	940	nb	nb
Ca	491	422	600	515	nb	nb
Fe	534	0,89	2	549	353	122
Mn	19,2	0,281	1,8	20,0	19,7	17,7
Al	6,02	<0,05	2	5,90	2,14	<0,05
Cl <sup>-</sup>	109	189	270	81,2	nb	nb
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6296	3023	4300	6210	nb	nb
As	0,153	<0,001	0,02	0,132	0,009	<0,001
Cd	0,011	<0,001	0,003	0,013	0,013	0,003
Co	0,949	<0,02	0,1	1,23	1,20	0,58
Cu	0,229	<0,02	0,05	0,041	0,015	<0,01
Ni	2,78	<0,02	0,1	4,35	4,11	1,45
Zn	1,50	<0,014	0,2	2,00	1,86	0,05
U	1,04	<0,1	0,5	1,28	0,68	0,075

### 3.4. Standversuche Modellfall „Oruro, Potosi/Bolivien“

Die Zinn-Silber-Lagerstätten Oruro und Potosi befinden sich in der südlichen Provinz des Zinnürtels der Zentralanden in Bolivien. Im Gebiet von Oruro wurde Wasser aus den Betrieben San Jose und Huanini für die Fällungsversuche ausgewählt. Aus dem Gebiet von Potosi wurde eine Probe aus dem Bereich des Serro Rico entnommen.

San José ist eine der bedeutendsten Lagerstätten mit einer Ausdehnung von 1700 m x 1000 m an der Oberfläche. Die polymetallische hydrothermale Ganglagerstätte wird von Sn (Kassiterit, Stannit u. a.) und Ag dominiert, weiterhin kommen Cu, Pb, Zn (Sulfide) sowie W vor.

Das im Nordosten der Stadt Oruro gelegene Tal des San José mit zahlreichen Stolleneingängen und der ehemaligen Bergarbeitersiedlung beinhaltet große Mengen an Abraum mit einem großen Säurebildungspotential. Vor allem während der Regenzeit bilden sich große Mengen an sauren Haldensickerwässern, die zum Teil im Boden versickern oder ungehindert in die Straßen und Häuser der Anwohner fließen, deren Siedlungen bis an den Haldenfuß gebaut wurden. Neben den Haldensickerwässern stellt vor allem das zu Tage geförderte Grubenwasser ein großes Problem dar. Es ist stark sauer (pH 1,0 bis 2,5) und extrem mit Schwermetallen kontaminiert (Tab. 3.13, Oblasser, 2001).

Tab. 3.13: Ausgangskonzentrationen der in den Standversuchen verwendeten Wässer, Angaben in mg/l

Gebiet/ Grube	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	pH	Eh [mV]
<b>Oruro</b>													
San José	1080	203	1,8	1,31	0,735	30,2	15600	17,3	1,72	2,59	23,5	1,00	467
Huanuni	227	4,12	52,4	6,39	0,165	52,5	1410	23,2	4,08	0,091	341	2,48	417
<b>Potosi</b>													
Potosi /Sero Rico	13,6	91,3	8,98	3,49	0,468	90,3	8640	164	3,93	0,081	1400	2,03	441

Die Einzelergebnisse der Standversuche befinden sich in Anlage 3. Die Einstellung der gewünschten pH-Werte musste für diese Wasserproben mit NaOH erfolgen (Tab. 3.14). Unter Berücksichtigung des niedrigen Ausgangs-pH-Wertes der Wässer wurde der pH der Testproben nur bis auf pH = 6 angehoben. Da während der Standversuche, die in Bolivien ausgeführt wurden, der pH-Wert nicht durch weitere NaOH-Zugabe konstant auf 6 gehalten wurde, kam es im Verlauf der Standversuche zu einer deutlichen Absenkung des pH-Wertes auf 4,4 bis 4,2. Tab. 3.14 zeigt die nach 96 h Standzeit maximal erreichten partikulär gebundenen Anteile der getesteten Elemente.

Tab. 3.14: Maximale Elementsorption nach 96h-Standversuchen mit bolivianischen Wässern, Angaben in %

	San José pH 6	Huanuni pH 6	Potosi pH 6
Al	>99,5	>97,8	>63
As	>99,9	>95	>99,8
Cd	0,0	35	80,2
Co	47	42	80
Cr	>97,3	75	>95,7
Cu	80	97	100
Fe	93	47	91
Mn	16	6,0	65
Ni	69	61	87
Pb	81	-	-
Zn	31	63	84

Die As-Sorption ist trotz der niedrigen pH-Werte und der hohen As-Gehalte sehr gut (>95 %). Das Fe/As-Verhältnis variiert zwischen 77 und 343. Für die weiteren Elemente zeigt sich ein differenziertes, nicht eindeutig erklärbares Sorptionsverhalten, insbesondere wenn der Abfall des pH berücksichtigt wird. Bemerkenswert ist unter diesen Bedingungen, dass neben den typischen bindungsfähigen Elementen As, Cr, Cu, Pb die Elemente Cd, Co, Mn, Ni und Zn z. T. erhebliche, aber sehr unterschiedliche Abreicherungen aus der Lösungsphase erfahren.

### **3.5. Diskussion und Schlussfolgerungen für passive Abreicherungsverfahren**

Die Testversuche mit verschiedenen Gruben- und Haldensickerwässern haben sich als Schlüssel für die Bewertung der geochemischen Barrieremöglichkeiten erwiesen. Sie belegen die grundsätzliche Möglichkeit und die Spezifika für die passive Abreicherung von Elementen aus der Lösungsphase durch die Ausflockung von Eisen- und Aluminiumhydroxid. Allerdings ist der Effekt dieses Prozesses stark abhängig von der konkreten Zusammensetzung der Wässer, so dass sich für die verschiedenen Belastungselemente ein differenziertes Bild ergibt, das bisher durch Modellierungen nicht bearbeitet wurde.

Als wesentliche Einflussgrößen zeigen sich der pH-Wert der Proben sowie die Konzentrationen von Fe, Al und F und der zu entfernenden Elemente.

Voraussetzung für die effektive Abreicherung von Elementen aus der Lösungsphase ist die Einstellung eines pH-Bereiches zwischen mindestens 6 und 7. Der Aufwand für eine weitere Erhöhung und den dauerhaften Erhalt des erhöhten pH-Wertes dürften für passive Verfahren zu groß werden.

Ein ausreichender Gehalt an Sauerstoff im Wasser und dessen evtl. zusätzliche Belüftung sind neben dem geeigneten pH-Wert Voraussetzung für die notwendige, aber nicht zu schnelle Oxidation des Fe(II) zu Fe(III).

Die Elemente As, Cr, Cu und Pb werden im pH-Bereich größer als 6 mit sehr hohen Anteilen (>90 %) vom ausflockenden Eisenhydroxid gebunden. Voraussetzung hierfür ist ein bestimmtes Fe /Elementverhältnis, das für As(V) bei etwa 10 liegt. Vermutlich kann dieser Wert als Orientierungswert für die anderen Elemente genutzt werden.

Die Abreicherung von Cd, Co, Ni, Zn und U in unterschiedlichen Anteilen ist in dem genannten pH-Bereich an den Gehalt von Al im mg/l Bereich und an die Bildung von Al-Hydroxid gebunden.

Die Ausfällung von Al-Hydroxid (ca. 90 %) erfolgt bereits bei pH 6, wenn in der Lösung praktisch kein F<sup>-</sup> enthalten ist. Bei F<sup>-</sup>-Gehalten um 10 mg/l beginnt die Bildung von partikulärem Al-Hydroxid erst bei pH 6,6 (ca. 30 %) und erreicht bei pH 7,5 dann 98 %. Als Orientierung für die Abschätzung der Möglichkeiten kann das Al/F Verhältnis dienen. Als Beispiel seien die Ergebnisse für die Proben Ehrenfriedersdorf 28 (Al/F 0,3...0,8: praktische keine Ausfällung) und Ronneburg WR1 (Al/F >73: 90 % Ausfällung bei pH 6) genannt.

Die Ergebnisse der Testversuche mit Gruben- und Haldensickerwässern verschiedener Herkunft und Zusammensetzung belegen, dass Wässer mit deutlichen Eisen- und Aluminiumgehalten ein hohes „Selbstreinigungspotential“ enthalten. Die Ausflockung einer Mischung von Eisen- und Aluminiumhydroxid erweist sich unter Beachtung der obigen Schlussfolge-

rungen hinsichtlich der Lösungszusammensetzung als der optimale Kollektor für die wesentlichen, aus dem Erzbergbau emittierten umweltbelastenden Elemente (As, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn, (U, Mn).

Analoge Ergebnisse wurde bei Analysen von Grubensintern und bei Laborversuchen mit Rotschlamm aus der Aluminiumindustrie im Projekt „Entwicklung geochemischer Methoden naturnaher Schadstoffdemobilisierung im Muldesystem“ erhalten (Beuge et al. 2001). Der von Calmano und Mitarbeitern eingesetzte industrielle Rotschlamm (Aluminium Oxid Stede GmbH) hatte folgende Makrozusammensetzung: 33,5 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 19,2 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 12,9 % SiO<sub>2</sub>, 12 % TiO<sub>2</sub>, 8,5 % Na<sub>2</sub>O, 4,5 % CaO, wies eine Dichte von 3,46 g/cm<sup>3</sup> und eine spezifische Oberfläche von 27,8 m<sup>2</sup>/g auf. Die Teilchengrößen waren <20 µm und variierten vorwiegend im Größenbereich <5 µm. Das Material verfügte über eine gute Säureneutralisationskapazität (3,25 mmol/g), so dass der pH-Wert in den Versuchen zwischen 6 und 7 gehalten werden konnte. Als Beispiel wird Abb. 3.2 aus dem zitierten Bericht eingefügt. Sie belegt für die Elemente Cd, Ni, Mn und Zn die signifikante Entfernung aus der Lösungsphase innerhalb von wenigen Stunden. Die Pufferwirkung wird durch den Verlauf des pH-Wertes in der Lösung verdeutlicht.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Laborversuch eine gute Möglichkeit bietet, unter Berücksichtigung der chemischen Wasseranalyse die Möglichkeiten einer passiven Wasserreinigung durch Ausfällung von Eisen- und Aluminiumhydroxid abzuschätzen sowie evtl. nötige Konditionierungsmaßnahmen ohne größeren Aufwand zu planen.

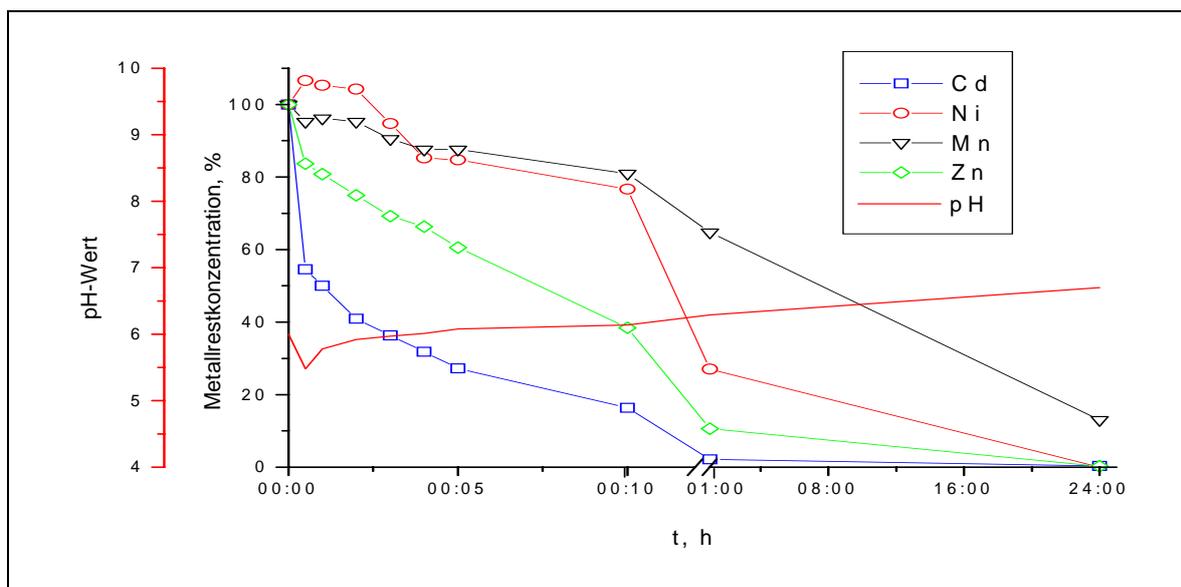


Abb. 3.2: Sorptionskinetik und pH-Verlauf bei einem Rotschlammgehalt von 8 g/l (Calmano u.a. in Beuge et al. 2001)

## **4. Verfahren zur Behandlung von Gruben- und Haldensickerwässern am Beispiel der Zinnerzgrube Ehrenfriedersdorf unter Realbedingungen**

### **4.1. Charakterisierung des Untersuchungsgebietes**

#### **4.1.1. Geographische Lage und Bergbaugeschichte**

Die Ehrenfriedersdorfer Lagerstätte gehört zu den bekanntesten erzgebirgischen Zinnerzlagerstätten. Ehrenfriedersdorf liegt im Wilischtal, einem Seitental der Zschopau in der Landschaftseinheit „Mittleres Erzgebirge“.

Der Bergbau am Sauberg, eine markante Erhebung von 660 m, lässt sich bis in das 13. Jahrhundert zurückverfolgen. Bereits 1396-1404 wurde der Röhrgaben zur Versorgung der Gruben und Pochwerke mit Aufschlagswasser angelegt, 1536-1570 der Tiefe Sauberger Stolln zur Wasserlösung aufgefahren. Nach dem Rückgang des Bergbaus im 30-jährigen Krieg kam es ab Mitte des 18. bis Mitte des 19. Jahrhunderts zu einer neuen Blütezeit. Nach einer kurzen Abbauphase während des ersten Weltkrieges entstand 1940 eine Aufbereitungsanlage mit der Spülhalde 1. Nach dem 2. Weltkrieg wurde 1948 die Förderung wieder aufgenommen. Während 1979 auf der „Vierung“ der Abbau eingestellt werden musste, kam es in den 70er Jahren zum bergmännischen Aufschluss des Nordwest- und Westfeldes. Mit der Auffahrung des Greifensteinstollens 1979 wurde das Röhrenbohrerfeld 1984 über die 5. Sohle an den Sauberg angeschlossen. Im Oktober 1990 erfolgte die endgültige Einstellung des Bergbaus (Hösel, 1994). Nach Verwahrungsarbeiten wurde die Grube vom September 1994 bis August 1996 bis zum Niveau unterhalb der 2. Sohle geflutet.

Über den Sauberger Haupt- und Richtschacht sowie über den Schacht 2 bestanden Verbindungen zu allen Sohlen und somit auch zu den anderen Grubenfeldern. Die Verbindungen zum Nordwestfeld auf der 2. und 5. Sohle wurden ebenso wie auf der 3. Sohle zur Vierung mit Wasserdämmen verschlossen, so dass heute Sauberg und Westfeld ein eigenständiges wassergefülltes Grubenfeld bilden. In diesem Grubenfeld existieren sechs Sohlen mit unterschiedlichen Sohlenabständen. Die 2. Sohle wird auch als Stollnsohle bezeichnet, da sich ca. 4 m unter der 2. Sohle der wasserabtragende Tiefe Sauberger Stolln befindet. Er leitet die am Gesenk (auch als Sauberg Überlauf bzw. SBÜ bezeichnete Stelle) aufsteigenden Wasser des unterhalb der 2. Sohle gefluteten Grubenreviers in die Wilisch ab. Abb. 4.1 zeigt einen schematischen Schnitt durch das Revier Sauberg/ Westfeld, in dem die Überlaufstelle (SBÜ) am alten Gesenk unterhalb der 2. Sohle gekennzeichnet ist.

Die Aufbereitungsrückstände der letzten Bergbauperiode seit 1942 wurden auf zwei großen industriellen Absetzanlagen aufgehaldet. Die Spülhalde 1 war von 1942 bis 1969 in Betrieb und besitzt ein Volumen von ca. 442.000 m<sup>3</sup> auf einer Fläche von ca. 8,2 ha. Im Zeitraum von 1969 bis 1990 wurden auf der Spülhalde 2 ca. 1.591.000 m<sup>3</sup> Berge der Zinnerzaufbereitung auf einer Fläche von ca. 23,8 ha abgelagert (Hösel, 1994). Während die Spülhalde 1 bis jetzt nahezu in ihrem Endstadium unabgedeckt verblieben ist, schreiten die Arbeiten zur Verwahrung der Spülhalde 2 durch Abdeckung kontinuierlich fort.

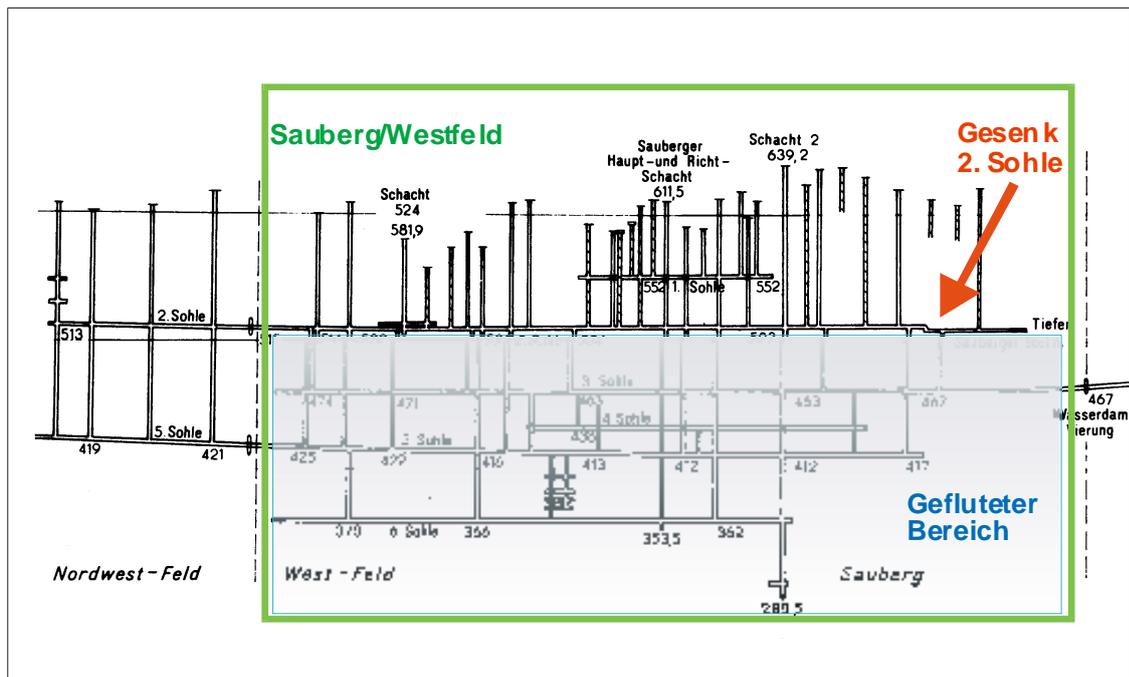


Abb. 4.1: Schematische Darstellung der Sohlen und Schächte im Grubenfeld Ehrenfriedersdorf (nach Hösel 1994)

#### 4.1.2. Geologie und Mineralisation

Das an der NW-Flanke der Annaberger Antiklinale gelegene Lagerstättengebiet von Ehrenfriedersdorf-Geyer umfasst eine im allgemeinen SW-NO-streichende, flach bis mittelsteil NW-fallende metamorphe Schichtenfolge, die von Gneisen und Glimmerschiefern der Amphibolitfazies im SO bis zu Phylliten der Grünschieferfazies im NW reicht. Bei den im Revier Ehrenfriedersdorf aufgeschlossenen Graniten handelt es sich um Vertreter des jüngeren variszisch-postkinematischen Intrusionskomplexes. Die ältesten Ganggesteine sind die Lamprophyre, die untertägig aus den Revieren Sauberg und Vierung in Mächtigkeiten von bis zu 8 m bekannt sind. Porphyrische Mikrogranitgänge treten NO-SW gerichtet in den Richtstrecken zum NW-, zum Röhrenbohrer-Feld, im Tiefen Sauberger Stolln und im Greifensteinstolln auf. Aplitische Mikrogranite (Aplite) sind weit verbreitet und wurden häufig metasomatisch überprägt (Hösel, 1994).

Im Endokontaktbereich lassen sich zwei Etappen der Vergreisung (1. Bildung Lithiumglimmer-Topasgreisen, 2. Muskovit-Topasgreisen) aushalten, die durch die Intrusion jüngerer Granitphasen getrennt werden. Im Exokontaktbereich lassen sich ebenfalls die beiden o. g. Greisenbildungsphasen aushalten. In der ersten Vergreisungsetappe bilden sich nach Kalkskarnen Amphibol-Lithiumglimmer-Fluorit-Metasomatite, in der zweiten gleichzeitig Muskovit-Fluorit-Metasomatite.

Zu den variszischen Mineralisationen zählen:

- Zinnerzführende Strukturtypen in vier Strukturtypen (I Ausfüllungsstrukturen, II gangförmige metasomatische, III stockwerkartige metasomatische, IV lagerförmige metasomatische Zinnstrukturen)
- Zinn-Wolfram-Assoziation in mehreren Abfolgen (Vergreisungen I und II).

Prävariszische (z.B. Pyrit-, Sphalerit- und Antimonitmineralisationen) sowie jüngere variszische und postvariszische Mineralisationen (z.B. Quarz-Polymetall-Assoziation, karbonatisch-

polymetallische Ag-Sb-Assoziation, Fluorit-Baryt-Assoziation, Bi-Co-Ni-Assoziation, quarzige Fe-Mn-Assoziation) sind im Lagerstättengebiet ebenfalls vorhanden, erlangen allerdings keine wesentliche Bedeutung (Hösel, 1994).

#### **4.2. Langzeitentwicklung der Qualität der Haldensicker- und Grubenwässer**

Einleitend wurde bereits darauf hingewiesen, dass stillgelegte Erzgruben und Aufbereitungshalden über einen sehr langen Zeitraum u. a. Arsen und Schwermetalle über den Wasserpfad in die Umwelt abgeben können. Eine sichere Abschätzung über das “Abklingverhalten” dieser Kontaminationsquellen ist bis heute nicht möglich, weshalb Untersuchungen über die Langzeitentwicklung der jeweiligen Quellen von besonderer Wichtigkeit sind.

Gesicherte Erkenntnisse über die langfristige Entwicklung der Schadstoffbelastungen in den in die Vorflut abgegebenen Wässern sind erforderlich, wenn über langfristig wirkende aktive technische oder passive Maßnahmen zur Verminderung der Belastungen zu entscheiden ist.

Nachstehend werden die von der TU Bergakademie seit 1992 in unregelmäßigen Abständen erfassten Daten zusammengestellt und bewertet. Bei dieser Verfahrensweise ist nicht auszuschließen, dass durch technische Maßnahmen an den Halden, den Wasserfassungen und den Ablaufgräben Veränderungen eintraten, deren Auswirkungen auf die Chemie der Wässer nicht separat erfasst werden konnten. Die entsprechenden Abbildungen berücksichtigen die unterschiedlichen Zeitabstände zwischen den Probenahmen nicht maßstabsgerecht. Für die verschiedenen Messstellen liegen leider nur wenige Messungen des Wasserdurchflusses vor, so dass weder die zeitliche Entwicklung der Wasserschüttung noch die Beziehung zwischen Stoffbestand im Wasser und dessen Durchflussmenge betrachtet werden können. Dieser Mangel behindert auch die sichere Bewertung der umfangreichen geotechnischen Maßnahmen, insbesondere an der Spülhalde 2, im Hinblick auf die weitere Entwicklung der Belastung des Sickerwassers. Abb. 4.2 gibt eine Übersicht über die Übertagesituation im Gruben und Haldenbereich sowie der Probenahmepositionen.

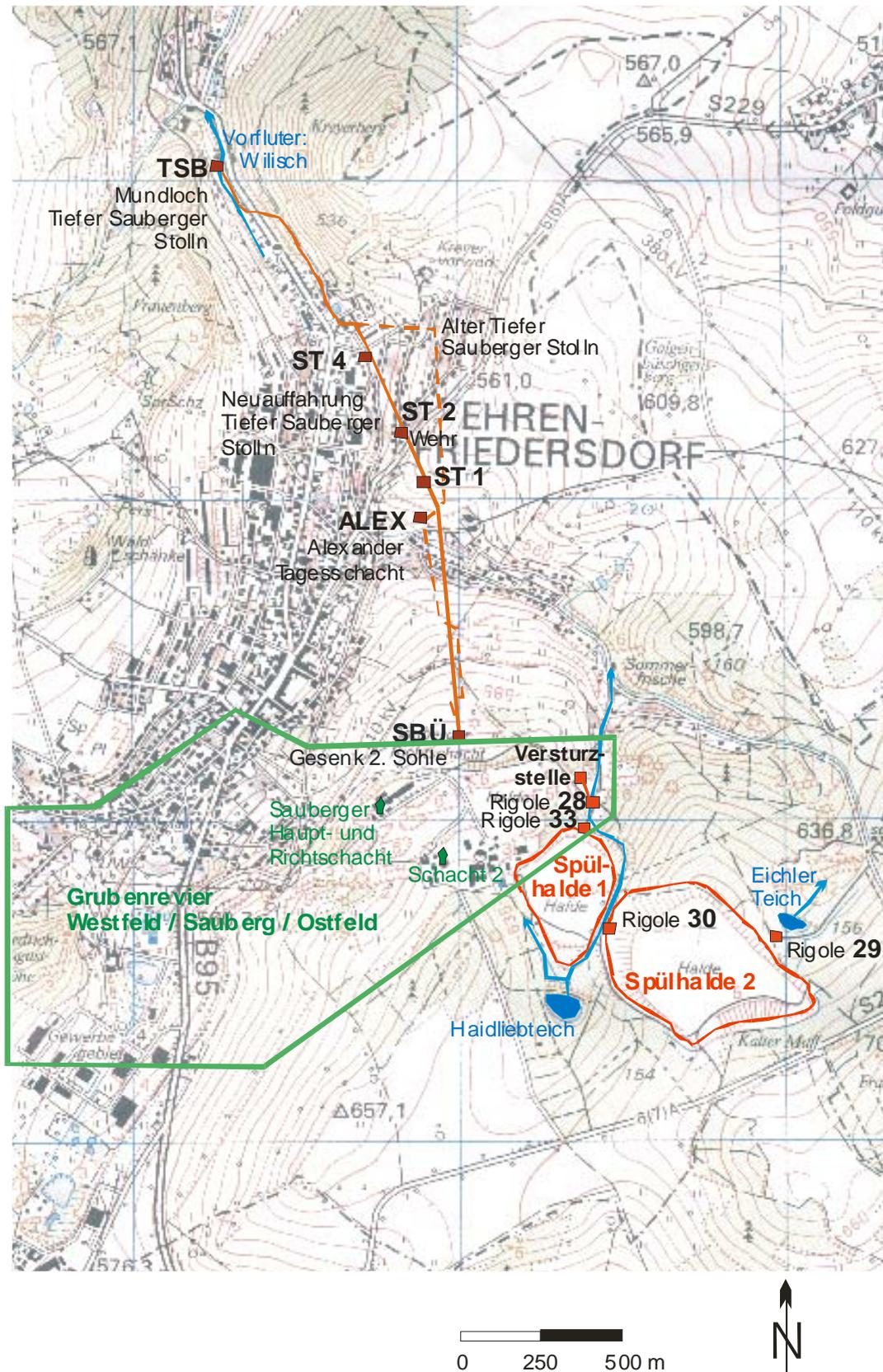


Abb. 4.2: Lageskizze der Gruben- und Haldenbereiche sowie der Probenahmepunkte im Gebiet von Ehrenfriedersdorf

#### 4.2.1. Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung der Haldensickerwässer

Die Zusammensetzung der in beiden Spülhalden abgelagerten Aufbereitungsrückstände wird von folgenden Mineralen gebildet:

Quarz 12,4 – 54,6 %, Muskovit 21,3 – 32,2 %, Biotit 8,7 – 22,1 %, Albit 4,8 – 17,6 %, Chlorit 2,3 – 4,6 %, Turmalin 0 – 2,9 %, Topas 0 – 3 %, Fluorit 0 – 1,2 %, Kaolinit 0 – 1 %, Akaganait 0 – 27,5 %. Die Restgehalte an Arsenopyrit, Löllingit und Pyrit lagen unter der phasenanalytischen Nachweisgrenze (Krellmann 2001).

Die Gehalte an Fe und ausgewählten Spurenelementen variieren in Abhängigkeit von der Position in der Halde (Tab. 4.1).

Tab. 4.1: Gehaltsbereiche ausgewählter Elemente im Spülhaldenmaterial, Angaben in mg/kg

Element	Fe	As	Mn	Ni	Co	Zn
Konzentration	26800–63000	773-13700	368 - 988	13 - 51	4,5 – 15,7	107 - 1809

Die jeweilige Lagerungsposition der Spülhalden wird auch bei guter oberflächiger Abdichtung den Austritt von belastetem Sickerwasser nicht völlig ausschließen können. Die Spülhalde 1 befindet sich in einer Tallage, so dass der natürliche Abfluss des Oberflächenwassers behindert wird. Ein Teil des oberhalb der Halde anfallenden Wassers wird zwar durch einen Hanggraben um die Halde geleitet, jedoch drückt Grundwasser in die Halde, wie Untersuchungen an Pegeln in der Halde zeigen (Klemm & Krellmann 2002).

Die Spülhalde 2 wurde auf eine Hanglage ohne Untergrundabdichtung gespült. In diesem Bereich zuzitende Quellen werden die Halde ständig durchdringen, wodurch eine Mindestmenge an Sickerwasser auch in Zukunft anfallen wird.

Die langzeitige Entwicklung der Sickerwasserqualität lässt sich nicht sicher abschätzen, weshalb die seit 1990 vorliegenden Daten (Anlagen 4 - 7) nachstehend zusammengefasst werden.

##### Spülhalde 1, Rigole 33

Das am Fuß der Spülhalde 1 austretende Sickerwasser wird in der Rigole 33 gefasst (Anlage 5). Abb. 4.3 zeigt die Entwicklung der Konzentration (gelöst) von Al, As, Co, Fe, Mn, Ni, Zn, des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit am Messpunkt 33 im Zeitraum 05/93 bis 10/05. Eine auffällige Änderung des Verlaufs ist zwischen 08/93 und 04/96 zu registrieren. Mit dem Abfall des pH-Wertes von ca. 6,7 auf ca. 4 ist eine Erhöhung der Konzentration aller Elemente verbunden, die sich im weiteren Verlauf bis 07/00 deutlich (Fe, As) bzw. moderat (Al, Co, Mn, Ni) verringerte. Als Ursache für die drastische Änderung wurden geotechnische Maßnahmen am Haldenfuß ermittelt, die zu Veränderungen im Abflussverhalten des Sickerwassers mit Auswirkungen auf die Hydrolysereaktion des Fe(III) in der Halde führten (Klemm & Krellmann, 2002).

Die Ergebnisse für den Untersuchungszeitraum 02/04 bis 10/05 schließen sich mit einer weiteren leicht sinkenden Tendenz für die Elemente As, Al, Fe, Mn, Ni, Zn Co, Zn an und erreichen in diesem Zeitraum ein annähernd konstantes Konzentrationsniveau. Eine weitere Absenkung ist nächster Zeit wenig wahrscheinlich. Die starke Variation von Fe und As im Zeitraum 06/04 bis 01/05 ist nicht eindeutig zu erklären.

Das Element As wird am Haldenfuß der Spülhalde 1 durchschnittlich zu 80 % in gelöster Form transportiert. Der Anteil von As(III) am gelösten As beträgt ca. 72 % (Angabe für den

Untersuchungszeitraum 2004-2005). Der Transport des Elements Eisen, das vorwiegend als Fe(II) vorliegt, erfolgt bis zu 95 % in gelöster Form.

Die Sickerwässer aus der Spülhalde 1 werden am Haldenfuß mit Oberflächenwasser vom Haidliebteich (Hanggräben) und Sickerwässern der Spülhalde 2 vermischt und über eine Kaskade der Messstelle 28 zugeleitet. Hier erfolgten im Zeitraum 2003 – 2005 Durchflussmessungen, die für Wassermengen bis 15 m<sup>3</sup>/h eine gute Korrelation mit der Fracht aufweisen. Bei höheren Durchflussmengen, die durch Zufluss von Niederschlagswässern in die Ablaufgräben verursacht wurden, erfolgte wegen der einsetzenden Verdünnung keine weitere Frachterhöhung.

Die zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung des Sickerwassers der Spülhalde 1 lässt sich am Messpunkt 33 in drei Etappen einteilen (Tab. 4.2).

Tab. 4.2: Etappen der zeitlichen Entwicklung des Wasserchemismus des Haldensickerwassers der Spülhalde 1 an der Rigole 33 (Mittelwerte), Konzentrationsangaben in mg/l

Parameter	1993	1995-2000	2004-2005
n <sub>max</sub>	4	13	11
pH-Wert	6,8	4,3	4,3
Elektr. Leitf. [µS/cm]	1100	1700	1200
Durchfluss [m <sup>3</sup> /h]	0,3	2,6	4,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		1,4	1,8
Fluorid		28	17
Chlorid		9,2	9,7
Sulfat		930	690
Na		9,8	11,5
K		18,1	13,6
Ca		188	146
Mg		68	39
Al gesamt/gelöst	1,8 / 1,8	21,9 / 16,4	12,4 / 12,1
As gesamt/gelöst	4,3 / 2,6	4,7 / 4,2	2,6 / 1,9
Cd gesamt/gelöst			<= 0,004
Co gesamt/gelöst		0,76 / 0,72	0,34 / 0,34
Cu gesamt/gelöst			0,07 / 0,07
Fe gesamt/gelöst	11,0 / 9,3	63,4 / 60,9	24,4 / 22,6
Mn gesamt/gelöst	7,5 / 7,5	31,6 / 31,3	17,5 / 17,3
Ni gesamt/gelöst		1,1 / 1,1	0,5 / 0,5
Pb gesamt/gelöst		<0,05	<0,05
Si gesamt/gelöst		13,6 / 13,5	13,3 / 13,0
U gesamt/gelöst		<0,02	<0,02
Zn gesamt/gelöst	4,7 / 4,7	19,4 / 19,3	10,4 / 10,2

Zusammengefasst sind folgende Tendenzen über den gesamten Zeitraum ab 08/93 zu beobachten:

- Abfall des pH-Wertes, Anstieg der Lf, Al-, As-, Fe-, Mn- und Zn-Konzentrationen nach geotechnischer Veränderung 1995
- Abfall der Lf, der F<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-, K-, Ca-, Mg-, Al-, As-, Co-, Fe-, Mn-, Ni-, Zn-Gehalte seit 04/96, annähernde Konstanz von pH-Wert, Hydrogenkarbonat-, Na- und Si-Gehalten.

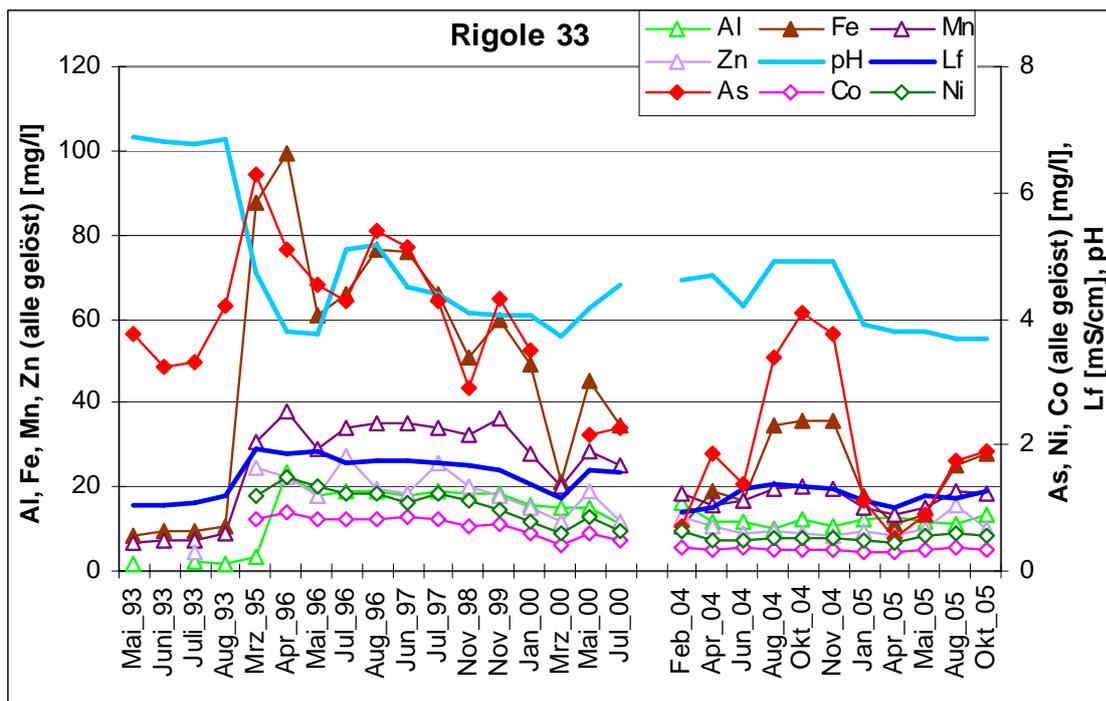


Abb. 4.3: Zeitliche Entwicklung der Al-, Fe-, As-, Mn-, Zn-, Ni- und Co-Konzentrationen (gelöst) sowie der elektrischen Leitfähigkeit und des pH-Wertes im Sickerwasser der Rigole 33 aus der Spülhalde 1

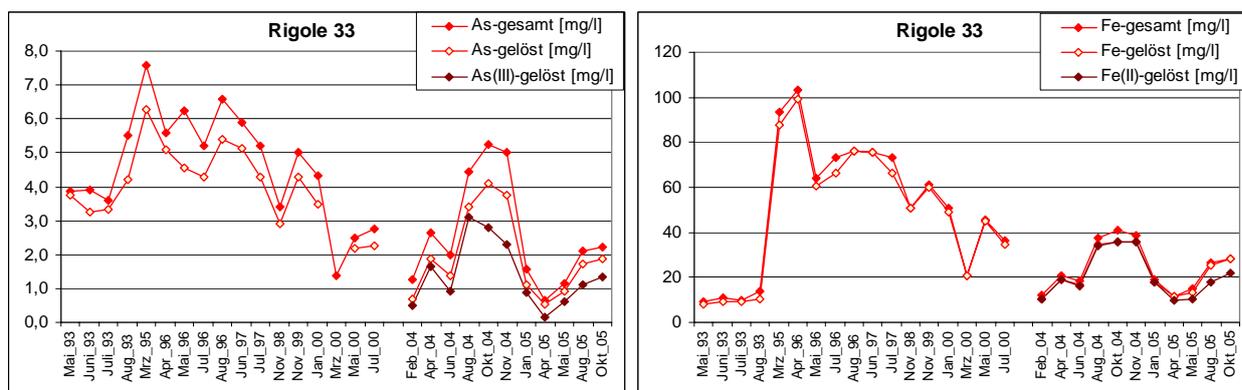


Abb. 4.4: Zeitliche Entwicklung der As- und Fe-Spezies-Konzentrationen im Sickerwasser der Rigole 33 aus der Spülhalde 1

## Spülhalde 2

Die Sickerwässer der Spülhalde 2 werden mit der Hauptrigole 30 (Anlage 4) und am Ostdamm mit der Rigole 29 gefasst. Für den Pilotversuch wurde das Sickerwasser der Rigole 30 im Ablaufgraben mit dem Sickerwasser der Spülhalde 1 und einem Teil Oberflächenwasser aus dem Haidliebteich sowie bei Niederschlägen auch abfließendem Wasser aus dem Gelände dem Einleitpunkt zugeführt. Die zeitliche Entwicklung des pH-Wertes, der elektrische Leitfähigkeit und der Konzentration von Al, As, Co, Fe, Mn, Ni, Zn (gelöst) an der Rigole 30 im Zeitraum 11/92 – 10/05 zeigt Abb. 4.5. Ab 04/96 wird der leichte Anstieg der Leitfähigkeit von einer Erhöhung der Al, Fe, Mn, Si, Zn- Konzentration begleitet. Kobalt und Nickel wurden erst seit dieser Zeit analysiert. Beide Elemente weisen keine wesentliche zeitliche Variation auf. In Abb. 4.6 ist die Entwicklung der As- und Fe-Spezies dargestellt. Bei leichter Variation des pH-Wertes zwischen 6 und 6,5 ist anfänglich (bis 04/96) lediglich für Arsen eine

größere Variation festzustellen. Zwischen 08/93 und 04/96 tritt eine deutliche Verringerung der Arsenkonzentration ein, die dann auf diesem Niveau verbleibt.

Zwischen 02/04 und 01/05 ist bei den Elementen Co, Ni, Al, Mn und Zn eine leichte Variation auf höherem Niveau bzw. ab 04/05 ein erneutes Ansteigen der Gehalte zu beobachten. Zeitgleich fallen die Konzentrationen von Fe und As auf ein Minimum. Dieses Phänomen hängt mit Baggerarbeiten am Haldenfuß der Spülhalde 2 und dem Freilegen des Abflussgrabens im Bereich der Haupttrigole zusammen. Dadurch wurde das über mehrere Jahre durchdichte, zum Teil organische Ablagerungen im Ablaufgraben gestaute System plötzlich hydraulisch entlastet. Der Ausfluss erfolgt schneller und die Milieubedingungen (Sauerstoffzutritt) veränderten sich.

Für die Wasserqualität der Rigole 30 lassen sich wiederum drei Entwicklungsetappen aushalten (Tab. 4.3).

Tab. 4.3: Etappen der zeitlichen Entwicklung des Wasserchemismus des Haldensickerwassers der Spülhalde 2 an der Rigole 30 (Mittelwerte), Konzentrationsangaben in mg/l

Parameter	1992-1993	1996-2000	2004-2005
$n_{\max}$	9	9	11
pH-Wert	6,5	6,0	5,9
Elektr. Leitf. [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	990	1500	1700
Durchfluss [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	3,4	1,2	1,8
$\text{HCO}_3^-$		70	42
Fluorid		10,4	11,4
Chlorid		12,3	16,0
Sulfat		830	1100
Na		19,7	18,9
K		18,7	20,5
Ca		226	262
Mg		62	68
Al gesamt/gelöst	[2,7] / 0,4	3,8 / 3,6	6,9 / 6,6
As gesamt/gelöst	3,3 / 2,4	1,3 / 1,0	1,2 / 0,95
Cd gesamt/gelöst			0,024 / 0,024
Co gesamt/gelöst		0,09 / 0,09	0,13 / 0,13
Cu gesamt/gelöst			0,013 / 0,011
Fe gesamt/gelöst	8,0 / 6,0	18,6 / 17,6	18,0 / 17,5
Mn gesamt/gelöst	1,5 / 1,4	6,3 / 6,2	14,2 / 14,0
Ni gesamt/gelöst		0,42 / 0,41	0,73 / 0,73
Pb gesamt/gelöst		<0,05	<0,05
Si gesamt/gelöst		7,2 / 7,2	10,3 / 9,8
U gesamt/gelöst		<0,02	<0,02
Zn gesamt/gelöst	2,2 / 2,1	9,7 / 9,5	17,2 / 17,0

Ähnlich wie an der Rigole 33 beträgt der gelöst transportierte As-Anteil am Gesamt-As-Gehalt ca. 80 %, der gelöste Fe-Anteil ca. 95 %. Arsen verlässt bevorzugt als As(III) die Spülhalde 2 (zu 65 %), Eisen als Fe(II) (zu 96 %).

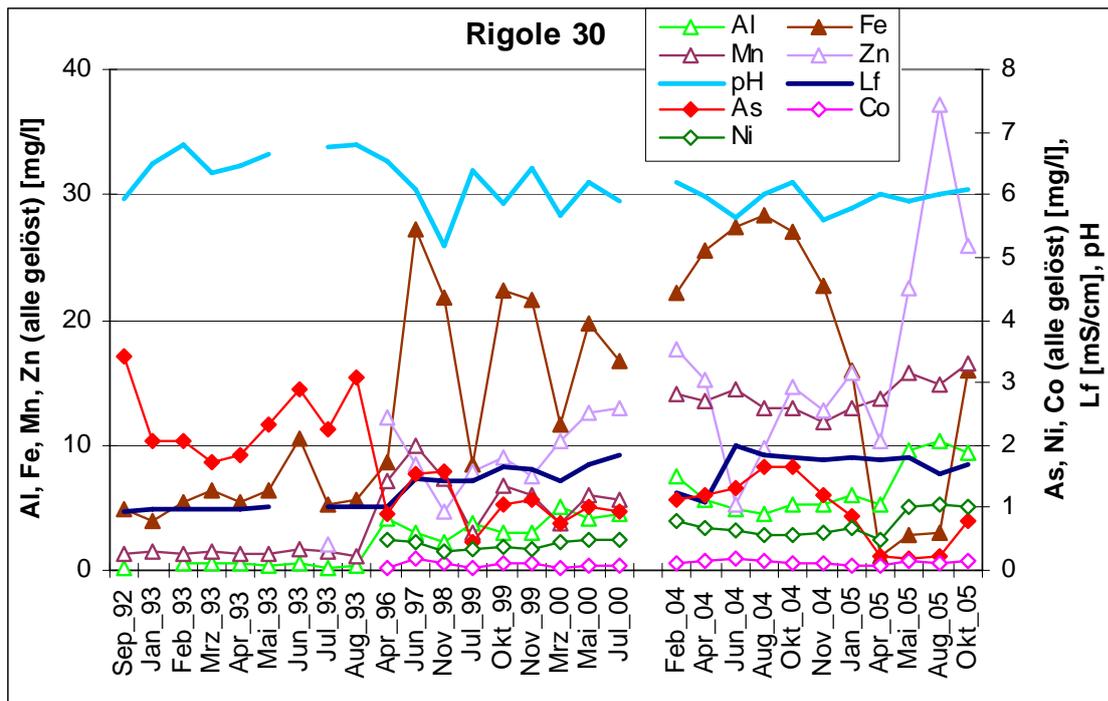


Abb. 4.5: Zeitliche Entwicklung der Al-, Fe-, As-, Mn-, Zn-, Ni- und Co-Konzentrationen (gelöst) sowie der elektrischen Leitfähigkeit und des pH-Wertes im Sickerwasser der Rigole 30 aus der Spülhalde 2

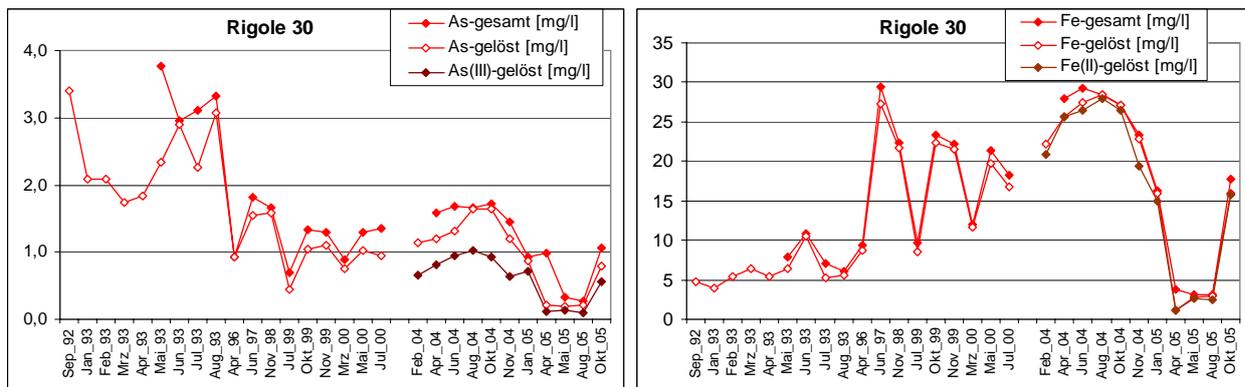


Abb. 4.6: Zeitliche Entwicklung der As- und Fe-Spezies-Konzentrationen im Sickerwasser der Rigole 30 aus der Spülhalde 2

Die zeitliche Entwicklung der beiden Haldensickerwässer 33 (Spülhalde 1) und 30 (Spülhalde 2) verläuft nicht analog. Bei ähnlicher Ausgangssituation (1993) mit As-Gehalten von 3-4 mg/l, findet bei den Sickerwässern der Rigole 30 bis zum Jahr 2000 eine Absenkung auf ca. 1 mg/l statt – bei der Rigole 33 nach einem steilen Anstieg bis auf 6 mg/l (für Fe bis auf 100 mg/l) fällt die As-Konzentration nur bis auf ca. 2,5 mg/l. Die Sickerwasserqualität hinsichtlich As schwankt auch in der Beprobungsetappe 2004/05 sehr stark.

Das Langzeitmonitoring zeigt, dass Arbeiten am Haldenfuß die Sickerwasserzusammensetzung erheblich beeinflussen können. Sowohl 1996 (Rigole 33) als auch 2005 (Rigole 30) führten sie zu einer Zunahme der Elementkonzentration von Al, Mn, Ni, Co, (Zn). Bei Fe und As wurde wegen der damit verbundenen Änderungen der Milieubedingungen ein gegenläufiger Trend festgestellt. Während bei Rigole 33 eine starke Versauerung ( $\text{pH} < 4$ ) eintrat und die As- und Fe-Gehalte zunahm, ist bei Rigole 30 keine pH-Änderung festzustellen. Die Fe- und As-Gehalte nehmen ab.

## Gefasste Sickerwässer am Messpunkt 28

Für die im Ablaufgraben gefassten Sickerwässer der Spülhalden 1 und 2 am Mess- und Einleitpunkt 28 (Anlagen 6 und 7) liegen Analysen für den Zeitraum 11/92 bis 10/05 vor (Abb. 4.7). Während im Zeitraum 11/92 bis 08/93 nur geringe Schwankungen auf niedrigem Niveau auftraten, sind danach, im nur sporadisch in größeren Abständen beprobten Abschnitt, stärkere Variationen mit insgesamt leicht steigender Tendenz zu beobachten. Unter Berücksichtigung der linearen Beziehung zwischen Wasserschüttung und Fracht im Ablaufgraben könnten unterschiedliche Wasserführung und allmähliche Verringerung der Wasserabgabe der Halden eine Erklärung für diese Erscheinung geben. Die analytische Differenzierung zwischen Gesamtgehalt und gelöstem Anteil für Fe und As belegt die bereits im Ablaufgrabensystem beginnende Ausfällung von Eisenhydroxid und Abreicherung von As.

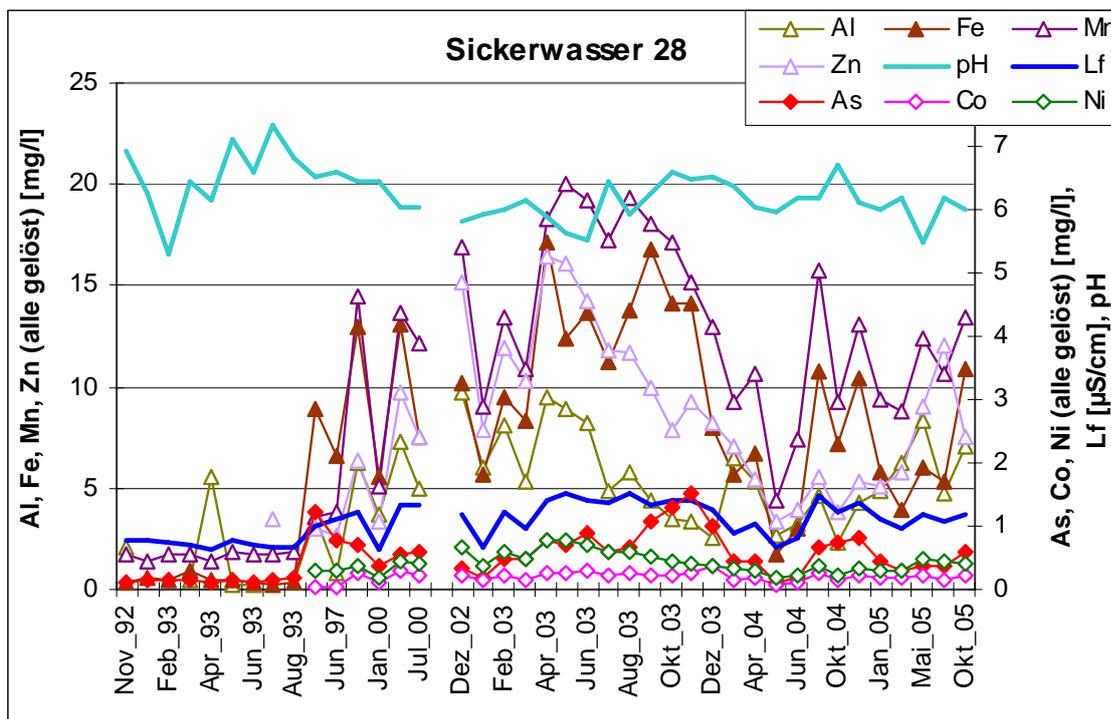


Abb. 4.7: Zeitliche Entwicklung der Al-, Fe-, As-, Mn-, Zn-, Ni- und Co-Konzentrationen (gelöst) sowie der elektrischen Leitfähigkeit und des pH-Wertes am Punkt 28

### 4.2.2. Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung der Grubenwässer

Für die Entwicklung des Grubenwasserchemismus sind die Abschnitte während und nach Füllung der Grube zu unterscheiden. Im Verlauf des Wasseranstiegs in der Grube wurden nur während der Flutung der 5. und 3. Sohle erhöhte Konzentrationen an Haupt- und Spurenelementen (As, Cd, Fe, Ni, Zn) nachgewiesen (Klemm 1995, Klemm & Tägl 1996). Offensichtlich wurde der Wasseranstieg durch das aufschlagende Sickerwasser ohne weitere Durchmischung mit dem bereits anstehenden Wasser bewirkt. Nur während der Flutung der Sohlen erfolgte eine starke Wechselwirkung mit den Vererzungen, die zu erhöhten Spurenelementkonzentrationen führte.

Unmittelbar nach Abschluss der Flutung kam es zu einer extremen Änderung der Wasserzusammensetzung (Klemm 1998), die durch die natürlich erzwungene Umstellung des Strömungssystems in der Grube zu Beginn des Überlaufs verursacht wird. Das Niveau des Über-

laufs liegt etwa 4 m tiefer als die 2. Sohle, so dass nach Erreichen des Überlaufniveaus das weiterhin aufschlagende Sickerwasser nur über die 3. Sohle und den Aufstieg über das Gesenk ausfließen kann. Dabei kommt es zur Mischung des wenig belasteten Sickerwassers mit stark belastetem Wasser (zumindest) der 3. Sohle (und evtl. tieferer). Abb. 4.8 und 4.9 zeigen den Verlauf der Elementkonzentrationen im ausfließenden Grubenwasser im Zeitraum von 08/96 bis 12/05 (vgl. Anlagen 8 und 9).

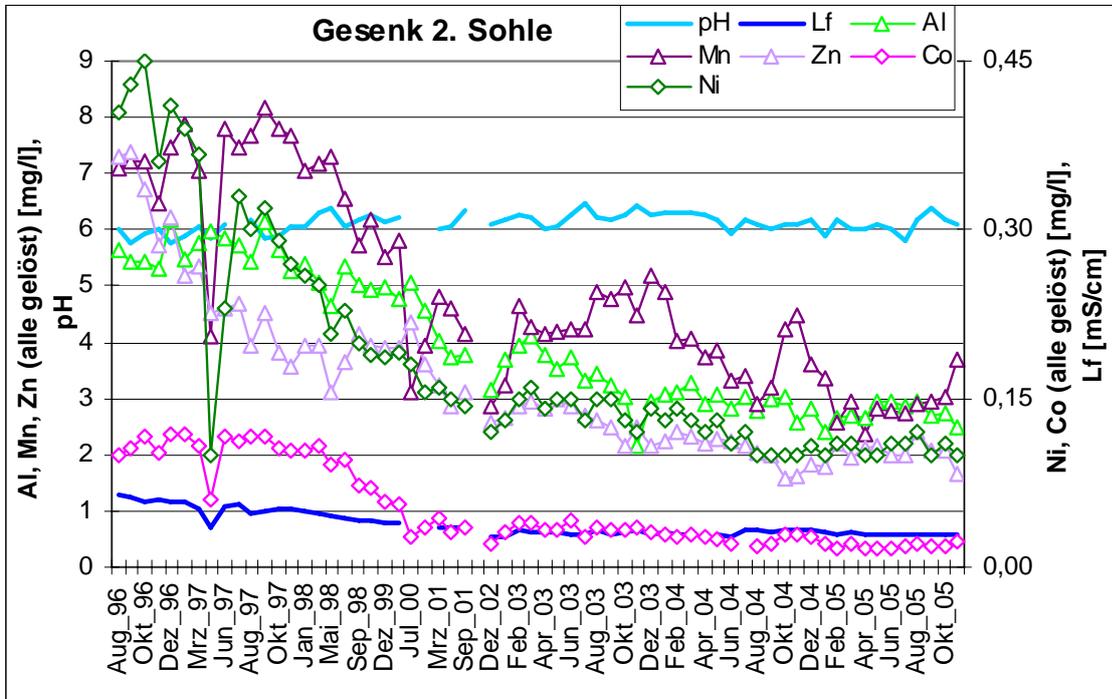


Abb. 4.8: Zeitlicher Verlauf der Al-, Mn-, Zn-, Ni- und Co-Konzentrationen (gelöst) sowie der elektrischen Leitfähigkeit und des pH-Wertes im Grubenwasser am Gesenk 2. Sohle

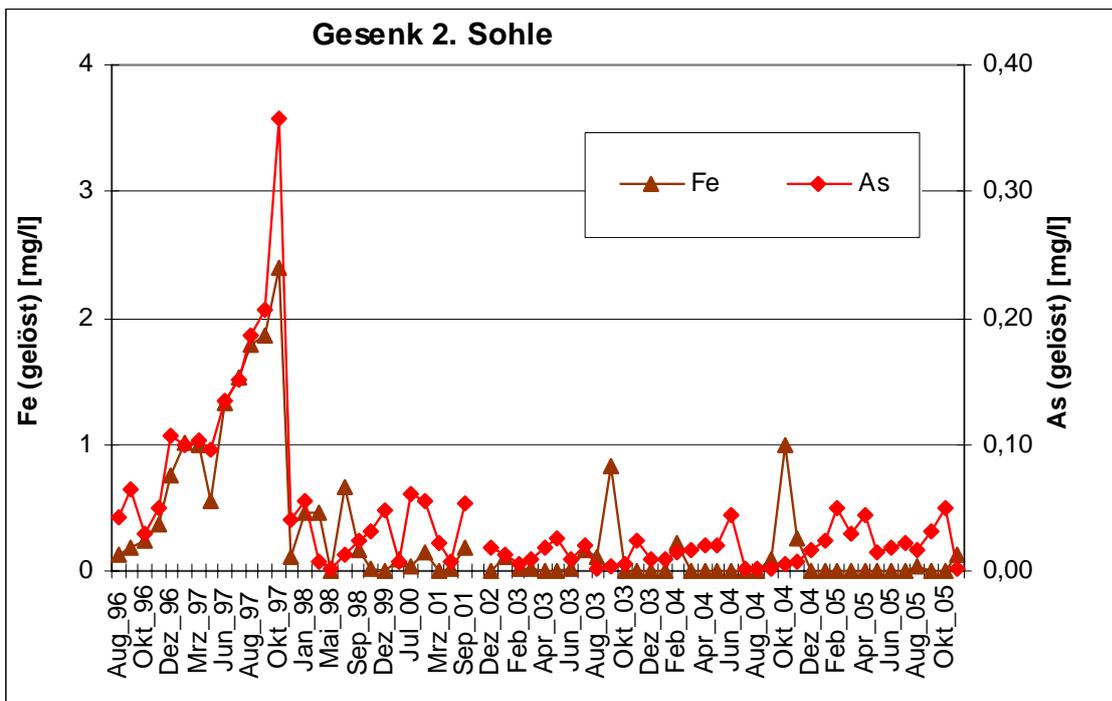


Abb. 4.9 Zeitlicher Verlauf der As- und Fe-Konzentrationen (gelöst) im Grubenwasser am Gesenk 2. Sohle

Bei konstantem pH-Wert stieg die Konzentration von Haupt- und Spurenkomponenten mit Beginn des Überlaufs (08/96) zunächst drastisch an. Die anschließende Entwicklung ist in drei Gruppen zu differenzieren:

- (1) Keine tendenzielle Änderung werden für den pH-Wert, das Redoxpotential, die Konzentrationen an Hydrogenkarbonat, Natrium, Kalium, Chlorid und Nitrat registriert.
- (2) Eine kontinuierliche Konzentrationsabnahme erfolgt für die Elemente Al, Cd, Co, Mn, Ni und Zn sowie für Ca, Mg und Sulfat nach einem Maximum im August/ September 1996, die mit stetiger Verringerung bis jetzt fortsetzt (Abb. 4.8).
- (3) Ein Anstieg der Konzentration von Eisen und Arsen mit nur geringen partikulären Anteilen bis Oktober 1997; im November 1997 verringert sich der Anteil der gelösten Komponenten von Fe und As drastisch (Abb. 4.9). Der Fe und As-Gehalt wird nun fast vollständig von partikulären Bestandteilen gebildet. Der Anteil der gelösten Komponenten an As und Fe hat für die Bewertung der Wasserqualität praktisch keine Bedeutung mehr. Der Fe(II)-Gehalt variierte nur noch im Bereich  $\leq 50 \mu\text{g/l}$ . Der Gehalt an gelöstem Arsen schwankte im Bereich  $\leq 10 \mu\text{g/l}$ , was ca. 10 % des Gesamtgehaltes entspricht.

#### **4.2.3 Schlussfolgerungen für die zeitliche Entwicklung der Wasserqualität**

Erst die langzeitige analytische Erfassung des Chemismus und der Arsen- und Schwermetallkonzentration über 12 Jahre lässt neben speziellen Variationen an einzelnen Probenahmestellen generelle Tendenzen für die Entwicklung Haldensicker- und Grubenwässer erkennen.

Für beide Spülhalden ist davon auszugehen, dass auch bei aufwendiger Sicherung dauerhaft Sickerwasseraustritte erfolgen werden. Die Austrittsmenge kann durch geeignete Maßnahmen noch reduziert werden und wird dann  $< 5 \text{ m}^3/\text{h}$  (geschätzt) betragen.

Die Konzentrationen der Elemente As, Al, Cd, Co, Mn, Ni, Zn weisen in den letzten Jahren keine bzw. nur noch eine sehr geringe Abnahme auf, so dass die bestehenden Verhältnisse nur über sehr lange Zeiträume (Jahrzehnte) noch eine Verbesserung erfahren werden. Mit hoher Wahrscheinlichkeit werden die behördlich festgesetzten Einleitgrenzwerte für ein einige Elemente nicht erreicht werden.

Geotechnische Maßnahmen an den Halden, wie sie an den Rigolen 33 und 30 ausgeführt wurden, können das Ausströmverhalten der Haldensickerwässer und damit verbunden auch die Milieuparameter deutlich beeinflussen. Im ungünstigen Fall verschlechtert sich die Belastungssituation.

Das ausfließende Grubenwasser zeigt die typische Entwicklung nach Beendigung der Flutung einer Grube. Mit Abschluss der Flutung setzt bei annähernd konstantem pH-Wert ein deutlicher Anstieg der Elementkonzentrationen ein. Nach Erreichen eines Maximum beginnt eine leichte, kontinuierliche Verringerung der Konzentration einer größeren Zahl von Elementen (Ca, Mg, Al, Cd, Co, Mn, Ni, Zn), die sich mit fortschreitender Zeit aber zunehmend verlangsamt. Die Konzentrationszunahme der redoxsensiblen Elemente Fe und As erfährt mit Absenkung der Oxidationsfront innerhalb der Grube eine deutliche Veränderung. Innerhalb kurzer Zeit (Monate) geht die ursprünglich dominierende Form Fe(II) in Fe(III) über, hydrolysiert und sedimentiert noch innerhalb der Grube. Die Fe-Konzentration im ausfließenden Wasser nimmt drastisch ab. As wird zu As(V) oxidiert und an das Eisenhydroxid gebunden. Nur noch geringe Anteile werden mit dem ausfließenden Wasser partikulär gebunden ausgetragen.

Dieser Vorgang verläuft bis auf die nicht ganz vollständige Sedimentation der kleinsten Eisenhydroxidpartikel ( $<5 \mu\text{m}$ ) bereits „von selbst“ ab und bildet die Grundlage für den „Selbstreinigungsprozess“, durch den hohe Anteile von Fe und As in der Grube zurückgehalten werden. Die bisher vorliegenden Ergebnisse über 10 Jahre lassen noch keine eindeutigen Änderungen für den bisher stabilen Prozess erkennen. Dies lässt eine langzeitige Rückhaltung von As und Fe in der Grube erwarten, so dass auch die angestrebte Dauerlösung für die Reinigung von Haldensickerwässern auf diesem Vorgang aufbauen kann.

### **4.3. Pilotversuch Sickerwasserversturz Sauberg/Ostfeld**

#### **4.3.1. Versuchskonzept**

Der Pilotversuch „Verbringung von Haldensickerwässern in das Revier Sauberg/Ostfeld der Zinnerz Ehrenfriedersdorf GmbH“ hatte die zentrale Aufgabe, die im Labormaßstab in zahlreichen Arbeiten nachgewiesene Abreicherung von Arsen und verschiedenen Schwermetallen aus Lösungen durch Fällung von Eisen- und Aluminiumhydroxid zur Reinigung von Haldensickerwässern unter realen Bedingungen einer gefluteten Grube zu testen. Gleichzeitig war zu prüfen, inwieweit durch diese Maßnahme noch eine weitere Verbesserung der Grubenwasserqualität erreicht werden kann. Besonderer Wert wurde dabei auf den möglichst wartungsfreien Ablauf dieser Vorgänge unter Nutzung der am Objekt gegebenen Möglichkeiten einer gezielten Einflussnahme ohne Chemikalienzusätze gelegt.

Das für den Pilotversuch gewählte Objekt, die Zinnerzgrube Ehrenfriedersdorf, bot für das Vorhaben besonders günstige Bedingungen. Abb.4.2 informiert über die übertägige Situation und die Lage der Messstellen. Nach Einstellung des Bergbaubetriebes 1990 wurde das Grubengebäude durch den Bau von drei Wasserdämmen in die Revierbereiche Sauberg/ Westfeld, Nordwest-Feld und Röhrenbohrer getrennt. Das Revier Vierung wurde bereits 1977 durch einen Wasserdamm abgetrennt und geflutet. Die Wasserführung in den drei Feldern wird durch den Zufluss von Sickerwässern in Abhängigkeit vom Niederschlagsgeschehen bestimmt. Unterirdische Zuflüsse sind ohne Bedeutung. Eine ausgeprägte Zirkulation des Wassers wurde nicht festgestellt. Die nach Abschluss der Flutung ausgeprägte Schichtung des Grubenwassers in, wenig belastetes Wasser und erhöht mineralisiertes, As- und schwermetallbelastetes Wasser im Niveau der 3. Sohle und tiefer verringerte sich im Verlauf weniger Jahre und ist heute nicht mehr nachweisbar.

Für den Pilotversuch wurde der zentrale Teil Sauberg /Westfeld mit einem wassergefüllten Hohlraum von ca. 1,5 Mio.  $\text{m}^3$ , der durch den Tiefen Sauberger Stolln entwässert wird, genutzt. Eine Übersicht über die konzipierten Fließwege zeigen Abb. 4.10 und 4.11 sowie Bild 4.1.

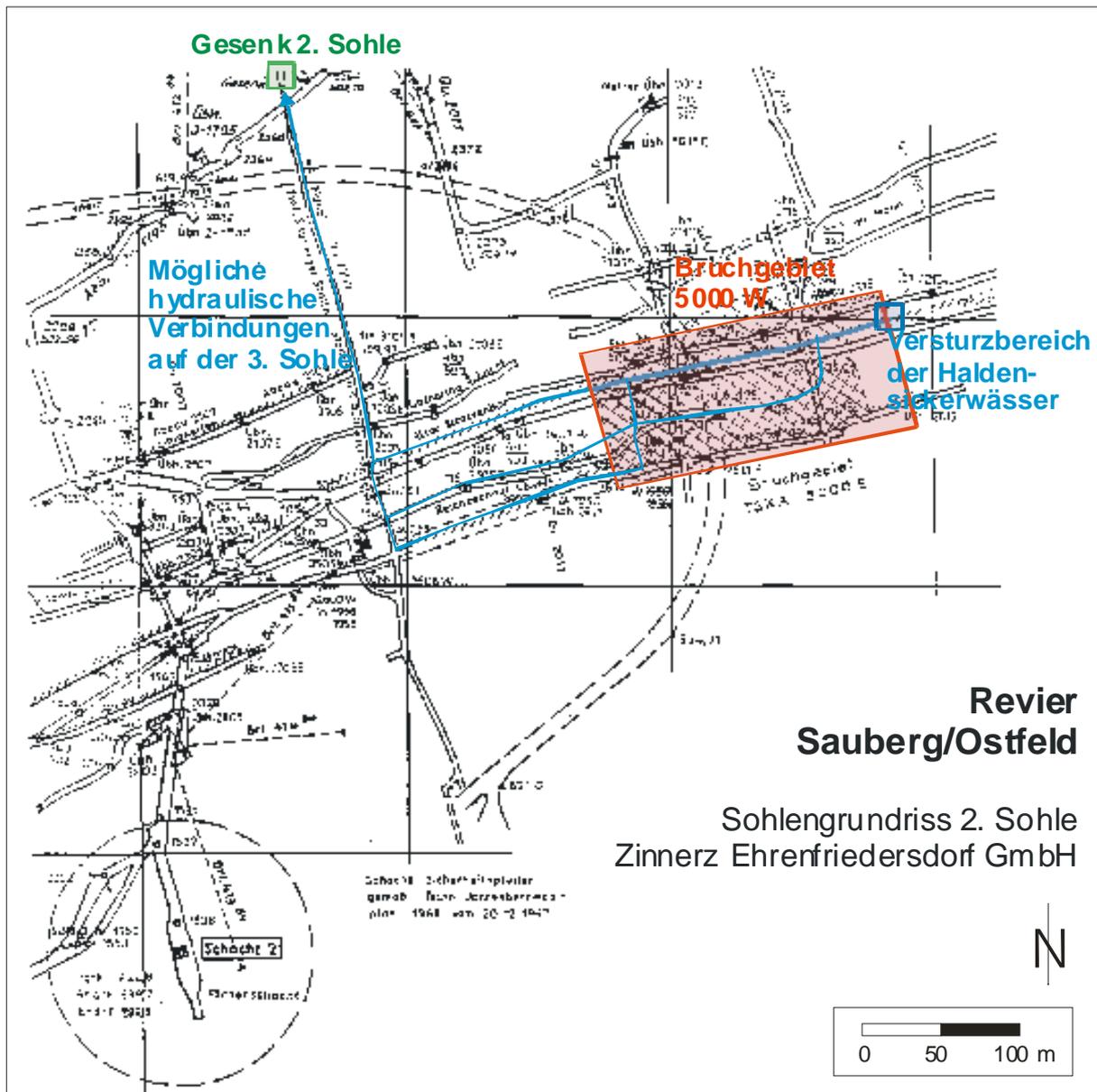


Abb. 4.10: Übersicht über das Grubenrevier Sauberg/Ostfeld, die Lage des Versturzbereichs der Haldensickerwässer und die prognostizierten Fließwege für die Versuchsanordnung Sickerwasserversturz

Wie aus Abb. 4.11 zu ersehen ist, war ursprünglich die Einleitung der konditionierten Sickerwässer direkt über eine Bohrung in einen großen Abbauhohlraum auf der 3. Sohle vorgesehen (Variante 1). Aus Kostengründen war diese Bohrung nicht zu realisieren, weshalb Variante 2 genutzt wurde. Das Haldensickerwasser wurde am Einleitpunkt über eine Bruchzone verstürzt und sollte sich dabei über die vier auf der 2. und 3. Sohle verlaufenden Stollen (Reichzechner, Prinzler, Leimgrübner, Einigkeitler) verteilen. Das Wasser wird auf der 2. Sohle spätestens nach ca. 20 – 40 m in dem in Fließrichtung gelegenen Bruchgebiet (ca. 100 m breit) auf das anstehende Grubenwasser aufschlagen. Der annähernd zentral in Süd-Nord-Richtung verlaufende Tiefe Sauberger Stolln nimmt das von Osten zuströmende, mit dem verstürzten Haldensickerwasser vermischte Wasser aus dem Revierteil Sauberg und das von Westen aus dem Revierteil Westfeld zuströmende Wasser auf. Die Entlastung des Systems kann nur durch den Aufstieg des Wassers von der 3. zum Überlauf über das alte Gesenk erfolgen.

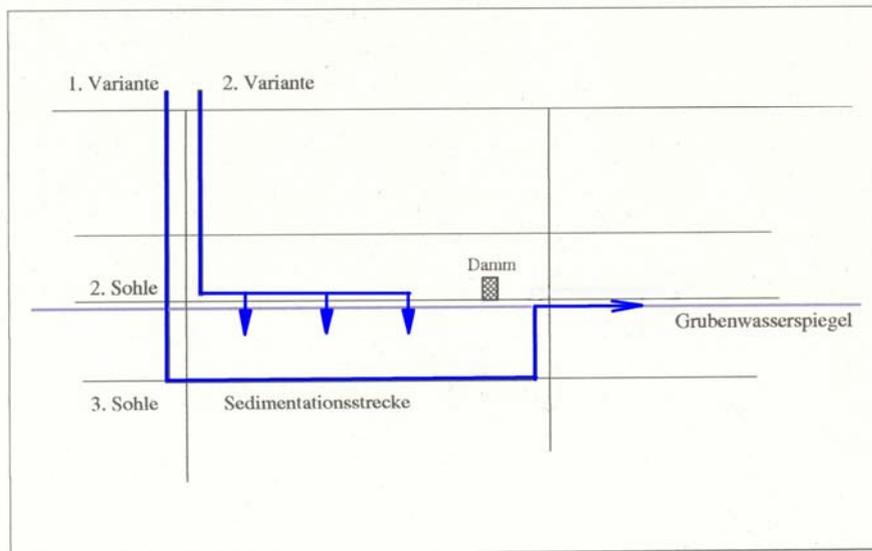


Abb. 4.11: Versuchskonzept für den Versturz von Haldensickerwässern in den gefluteten Grubenraum

Bei ausreichender Größe für den Realfall ist das Gesamtsystem mit nur einem Zufluss und einem Abfluss messtechnisch und analytisch gut zu überwachen. Im Havariefall kann der Zufluss sofort unterbrochen werden.

Die chemische Beschaffenheit der beteiligten Wässer bietet, wie die Voruntersuchungen (Punkt 3) zeigten, günstige Voraussetzungen für den freiwilligen Ablauf der Eisenhydroxidfällung. Sickerwasser und Grubenwasser enthalten eine ausreichende Konzentration an Fe. Der Gehalt an Hydrogenkarbonat, Erdalkali- und Alkalielementen gewährleistet eine gute Säureneutralisationskapazität. Durch eine ausreichende Pufferung der während der Hydrolyse von Fe(III) entstehenden Säure wird ein stabiler pH-Wert um 6,5 gesichert.

#### 4.3.2 Voruntersuchungen zum Absetzverhalten von Eisenhydroxid

Neben den bereits unter Punkt 3 mitgeteilten Laboruntersuchungen zur Sorption und Fällung der Problemelemente an das sich bildende Eisenhydroxid für die verschiedenen, im Bereich des Pilotprojektes auftretenden Wässer, die das vorgesehene Verfahrensprinzip grundsätzlich bestätigen, wurden in weiteren Voruntersuchungen insbesondere die Ableitung der zu erwartenden Strömungsgeschwindigkeit und der dafür erforderlichen Sedimentationsstrecke verfolgt. Die Kenntnis der Dichte, der Partikeldurchmesser und der Strömungsgeschwindigkeit sind Voraussetzungen für die Ableitung der Länge der erforderlichen Sedimentationsstrecke und für die nötige Verweilzeit des Wassers in der Grube.

Die Dichte der sich bildenden, wasserhaltigen Eisenhydroxidpartikel wurde an resuspendiertem Material mit  $3,4 \text{ g/cm}^3$  bestimmt (Köckritz et al. 1995). Sie entspricht auffällig gut der für den erwähnten industriellen Rotschlamm mit anderer Methode ermittelten Dichte von  $3,46 \text{ g/cm}^3$ .

Die Ermittlung der Partikeldurchmesser erwies sich als besonders problematisch. Auf dem Gerätemarkt stand kein Gerät zur Verfügung, das sowohl unter Vor-Ort-Bedingungen in der Grube als auch bei den geringen Partikelkonzentrationen (ca. 2- 4 mg/l) Partikeldurchmesser  $<10 \mu\text{m}$  differenziert erfassen konnte. Die Eigenschaft der Eisenhydroxidpartikel, bei länge-

ren Standzeiten zu größeren Partikeln zu agglomerieren bzw. bei Verwirbelung kleinere Partikel zu bilden, behinderte die detaillierte Erfassung insbesondere der Anteile  $<10\ \mu\text{m}$  an den Proben. Versuche mit resuspendiertem Material weisen in Abhängigkeit von der Art und Intensität der Behandlung variierende Anteile  $<10\ \mu\text{m}$  im Bereich von  $<1$  bis  $<75\ \%$  auf (Köckritz et al. 1995, 1996).

Die maximal zu verstürzende Sickerwassermenge wurde mit  $10\ \text{m}^3/\text{h}$  angesetzt ( $8\ \text{m}^3/\text{h}$  betrug die erste behördliche Genehmigung), so dass bei gleichmäßiger Verteilung auf die 4 Stollen mit einem Querschnitt von jeweils  $2,5 \times 2,5\ \text{m}$  die abströmende Wassermenge um jeweils  $2,5\ \text{m}^3/\text{h}$  erhöht wird. Unter Berücksichtigung der im Mittel insgesamt anfallenden Grubenwässer von  $100\ \text{m}^3/\text{h}$  ergibt sich für die ableitenden Stollen eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von  $v = 1,22\ \text{mm}/\text{sec}$  (Köckritz et al. 1995).

Unter Annahme dieser Strömungsgeschwindigkeit zeigten Berechnungen der Partikelbahnen, dass Teilchen  $>5\ \mu\text{m}$  nach  $<100\ \text{m}$  über die gesamte Stollenhöhe von  $2,5\ \text{m}$  abgesunken sind (Abb. 4.12). Bei einem realen Sedimentationsweg von mindestens  $300 - 400\ \text{m}$  sind die Voraussetzungen für die Sedimentation gegeben. Bei annähernd konstanten Strömungsverhältnissen kann erwartet werden, dass die Teilchen nach Erreichen der Stollensohle dort verbleiben, die Teilchen weiter vergrößert und nicht wieder aufgewirbelt werden. Für Teilchen  $<5\ \mu\text{m}$  wird die Wahrscheinlichkeit einer Sedimentation mit abnehmendem Durchmesser zunehmend geringer. Sie werden kaum sedimentieren.

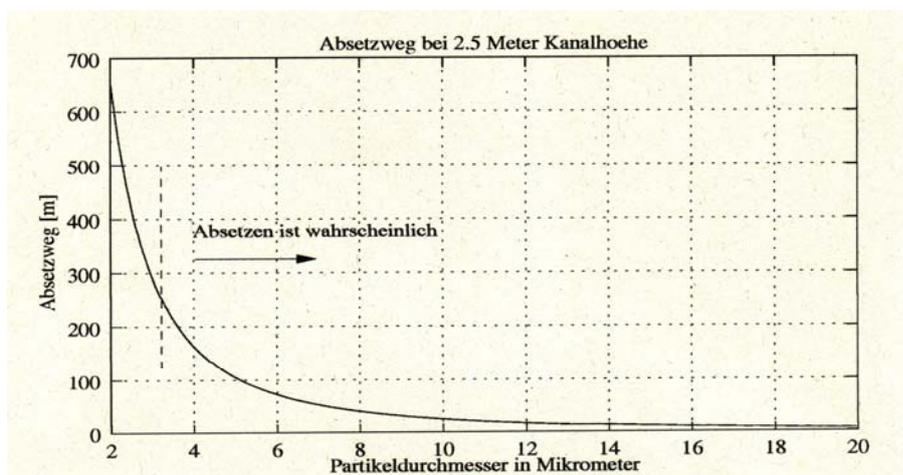


Abb. 4.12: Berechneter Absetzweg für Eisenhydroxidpartikel in Abhängigkeit vom Partikeldurchmesser (Köckritz et al. 2000)

Modellberechnungen unter den genannten Voraussetzungen sagten für die benötigte Durchlaufzeit im horizontalen Fließweg von  $250 - 400\ \text{m}$  auf der 3. Sohle eine Zeit von  $58$  bis  $93$  Stunden voraus. Hinzuzurechnen sind die Zeiten für das Absenken des Wassers auf die 3. Sohle ( $50\ \text{m}$ ) und für den Wiederaufstieg über das Gesenk zum Überlauf unterhalb der 2. Sohle ( $46\ \text{m}$ ). Die Passage der Bruchzone wird die Fließzeit noch verlangsamen. Als Realzeit wurde zu Beginn des Pilotversuchs eine Fließzeit von  $11$  Tagen ermittelt, wobei die verstürzte Wassermenge nicht  $10\ \text{m}^3/\text{h}$ , wie in den Berechnungen angenommen, sondern  $21\ \text{m}^3/\text{h}$  betrug (s.P.4.3.3).

Diese Vorversuche belegen, dass die zu erwartende Bildung und Sedimentation von Eisenhydroxid und die damit verbundene Elementanreicherung im Revier Sauberg/Ostfeld deutlich unter der für den ungünstigsten Fall ermittelten Verweilzeit des verstürzten Haldensickerwassers im Grubenbereich liegt (Köckritz & Klemm 1995, 1996, 2000) und damit die Grundvor-

aussetzung für das Konzept gewährleistet wird. Die Sedimentationsbedingungen in der gefluteten Grube sichern die Langzeitstabilität des mit Arsen und eventuell weiteren Elementen abgelagerten Eisenoxidhydrates.

Mit dem Verbringen von Haldensickerwässern in das Grubengebäude werden die betreffenden Elemente in veränderter Bindungsform an ihren Herkunftsort zurückgebracht!

### 4.3.3 Durchführung

Die Sickerwässer der Haupttrigole 30 der Spülhalde 2 und der Haupttrigole 33 der Spülhalde 1 werden mit diffus zusitzendem Oberflächenwasser (aus dem Einzugsgebiet des Haidliebteiches) im Ablaufgraben gefasst. Zusammen bilden sie das am Messpunkt 28 für den Versuch eingesetzte Sickerwasser, das am Einleitpunkt im Bereich des Prinzler/Leimgrübner Gangzuges in die Bruchzone verstürzt wird (Abb. 4.2, Anlage 7, Bild 4.1).



Bild 4.1: Versturzpunkt 28 im Bereich der Bruchzone, 04.12.2003

Die hohe Konzentration an Fe(II) in den austretenden Haldensickerwässern der Spülhalde 2 und insbesondere der Spülhalde 1 erforderte für die Ausflockung von Eisenhydroxid zunächst geeignete Bedingungen für dessen Oxidation zu Fe(III). Die Wässer weisen dafür bereits bei Austritt aus dem Haldenfuß einen deutlichen Gehalt an Sauerstoff auf, der sich in dem Ablaufgraben begünstigt durch den Einbau von drei Wehren recht schnell dem Sättigungswert nähert. Eine weitere Voraussetzung für eine ausreichende Oxidationsgeschwindigkeit bildet der pH-Wert. Wie Untersuchungen in den Ablaufgräben (Klemm 1993), eigene Modellversuche sowie Literaturangaben zeigen, wird eine optimale As-Abreicherung im pH-Bereich zwischen ca. 6 bis 8 erreicht. Die Schwankungen des pH-Wertes im Ablauf des Sickerwassers (Messstelle 28) variieren vorwiegend zwischen 6,8 und 6,0 mit vereinzelt Absenkungen, wobei nur innerhalb eines kurzen Zeitraumes (05/99 - 08/99) kritische Werte um 4,5 auftraten. Grundsätzlich erfüllt das gefasste Sickerwasser am Messpunkt 28 die notwendigen Bedingungen hinsichtlich des Sauerstoffgehaltes und pH-Wertes, was auch aus den Standversuchen abgeleitet werden kann.

Der Pilotversuch wurde am 6. Dezember 2002 mit der Umleitung des gefassten Haldensickerwassers am Messpunkt 28 in den Bereich des Versturzpunktes (Bruchzone Prinzler /Leimgrübner Gangzug) gestartet. Der Versuch wurde sowohl am Versturzpunkt 28 (Bild 4.1) als auch am Überlaufpunkt Gesenk 2. Sohle (Bild 4.2) messtechnisch (Wassermengen) und analytisch nach folgendem Beprobungsrhythmus verfolgt:

6.12.02 erste Probenahme; 1. – 5. Woche täglich (ohne 25.12.02 u.1.1.03); 6. – 7. Woche 3x wöchentlich; 8. Woche 2x wöchentlich; 9. –17. Woche 1x wöchentlich; ab April 2x monatlich; ab Juli im Abstand von 3 Wochen; 4.12.03 letzte Probenahme.



Bild 4.2: Grubenwasseraustritt am Gesenk 2. Sohle (Probenahmestelle SBÜ), Foto: Zinnerz GmbH

Am Überlauf 2. Sohle wurden die Wasserdurchflusswerte von der automatischen Messstation registriert. Am Einleitpunkt (28) erfolgte ihre Ermittlung durch manuelles Ablesen der Wasserstandsanzeige am Messwehr während der jeweiligen Probenahme. Weiterhin wurden versuchsbegleitend die meteorologischen Daten in der Wetterstation auf dem Grubengelände aufgezeichnet.

Der Pilotversuch konnte mit Genehmigung der Behörden bis zum Abschluss des Projektes (November 2005) fortgesetzt werden, wobei durch die zusätzlichen Versuche im Westfeld die Messwerte am Auslauf eine Beeinflussung erfuhren.

#### 4.3.4 Ergebnisse

Die analytischen Ergebnisse für das eingeleitete Sickerwasser (28) und das aus der Grube am Gesenk 2. Sohle ausfließende Wasser (SBÜ) sind für den Versuchszeitraum 06.12.2002 bis 04.12.2003 in den Anlagen 7 und 9 zusammengestellt. Die Ergebnisse des bis November 2005 fortgeführten Pilotversuchs sind ebenfalls in den Anlagen 7 und 9 aufgeführt. Eine Übersicht über die Variationsbreite der wichtigsten Parameter am Einlauf (28) und Auslauf (SBÜ) geben Tab. 4.4 und 4.5.

Tab. 4.4: Übersicht über den mittleren Chemismus der Haldensickerwässer an der Rigole 28 (Versturzpunkt) im Zeitraum 06.12.2002 bis 04.12.2003 (Konzentrationsangaben in mg/l)

	<b>T<sub>Wasser</sub></b> [°C]	<b>pH</b>	<b>el. Leitf.</b> [µS/cm]	<b>Eh</b> [mV]	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>O<sub>2</sub></b> [%]	<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>F<sup>-</sup></b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>Schweb</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>5,5</b>	<b>6,0</b>	<b>1210</b>	<b>150</b>	<b>12,4</b>	<b>100</b>	<b>4,5</b>	<b>9,5</b>	<b>16,1</b>	<b>808</b>	<b>14,0</b>
<i>Anzahl</i>	42	42	42	42	41	41	41	42	42	42	42
Min	1,9	5,5	540	70	9,2	80	0,8	2,2	11,7	300	6,0
Max	15,4	6,5	1550	211	15,3	115	35,6	17,5	25,9	1030	54,2

	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>As</b>	<b>Co</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Si</b>	<b>Zn</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>14,9</b>	<b>15,3</b>	<b>192</b>	<b>52,0</b>	<b>9,1</b>	<b>1,1</b>	<b>0,24</b>	<b>0,06</b>	<b>15,3</b>	<b>16,0</b>	<b>0,62</b>	<b>10,1</b>	<b>13,3</b>
<i>Anzahl</i>	42	42	42	42	58	58	58	58	58	58	58	56	58
Min	9,9	6,5	76,4	21,4	4,1	0,39	0,03	0,01	5,5	1,8	0,17	6,7	1,7
Max	20,0	19,9	230	64,0	15,7	3,4	0,38	0,16	35,3	23,3	0,84	22,4	19,4

Tab. 4.5: Übersicht über den mittleren Chemismus der Grubenwässer am Gesenk 2. Sohle im Zeitraum 06.12.2002 bis 04.12.2003 (Konzentrationsangaben in mg/l)

	<b>T<sub>Wasser</sub></b> [°C]	<b>pH</b>	<b>el. Leitf.</b> [µS/cm]	<b>Eh</b> [mV]	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>O<sub>2</sub></b> [%]	<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>F<sup>-</sup></b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>Schweb</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>9,0</b>	<b>6,3</b>	<b>593</b>	<b>440</b>	<b>2,2</b>	<b>21</b>	<b>42,6</b>	<b>9,5</b>	<b>22,9</b>	<b>256</b>	<b>3,2</b>
<i>Anzahl</i>	50	49	49	49	42	42	50	50	50	50	49
Min	8,6	6,0	517	360	0,3	3	33,0	4,7	20,9	217	1,5
Max	10,1	6,5	670	530	3,8	36	53,7	12,0	31,9	303	5,9

	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>As</b>	<b>Co</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Si</b>	<b>Zn</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>13,5</b>	<b>5,3</b>	<b>83,7</b>	<b>19,1</b>	<b>3,6</b>	<b>0,36</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>1,4</b>	<b>4,0</b>	<b>0,14</b>	<b>9,6</b>	<b>2,6</b>
<i>Anzahl</i>	50	50	50	50	65	65	65	62	65	65	65	60	65
Min	12,9	4,8	75,6	17,2	2,3	0,25	0,02	<0,01	0,82	2,8	0,11	8,2	2,1
Max	14,6	6,5	91,2	21,3	5,5	0,45	0,04	0,08	2,1	5,3	0,18	10,4	3,6

Die zu Beginn des Pilotversuches in zeitlich dichtem Abstand erfolgte Messung und Beprobung am Überlauf Gesenk 2. Sohle (SBÜ) ermöglichte die Erfassung der "hydraulischen und stoffliche Reaktion" des gefluteten Grubensystems Sauberg/Westfeld bei Einleitung der Haldensickerwässer.

Abb. 4.13 zeigt den zeitlichen Verlauf der Abflussmenge am Gesenk 2. Sohle während des Versuchsbeginns. Vier Stunden nach Beginn der Einleitung von 21 m<sup>3</sup>/h erhöhte sich die Abflussmenge stetig und pegelte sich nach 8 Stunden auf leicht erhöhtem Niveau wieder ein.

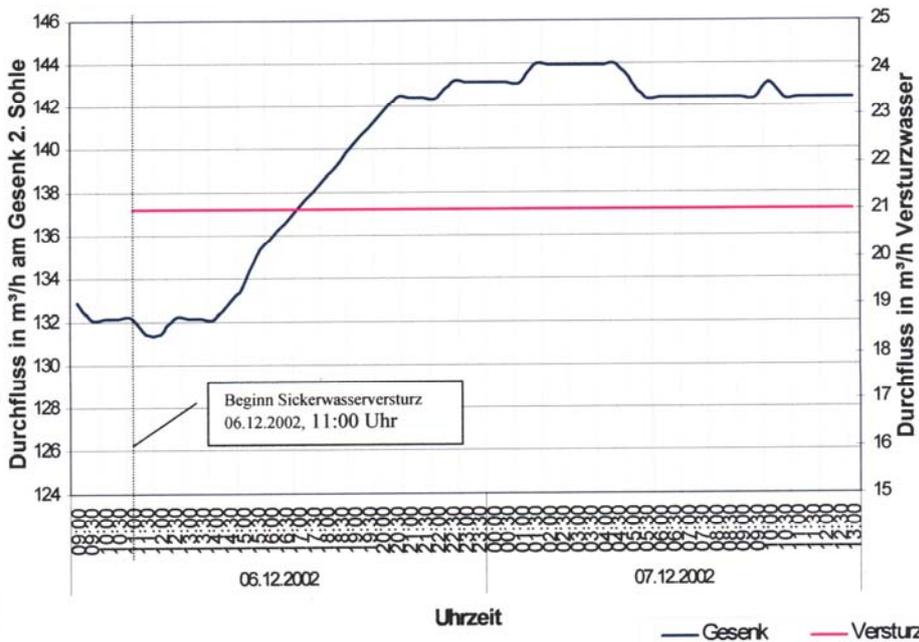


Abb. 4.13: Zeitlicher Verlauf der Abflussmenge am Gesenk 2. Sohle (EcoConcept 2004)

Bei dem Pilotversuch wurde in das mineralisierte Grubenwasser (Leitfähigkeit ca. 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) Sickerwasser mit einer höheren Leitfähigkeit von ca. 1000 – 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  eingebracht. Am Überlauf Gesenk 2. Sohle wurde im ausfließenden Wasser nach 8 Tagen ein Anstieg der Leitfähigkeit registriert, der sich 12 Tage fortsetzte, bevor er ein leicht erhöhtes Leitfähigkeitsplateau erreichte (Abb. 4.14). Der anschließende Abfall wurde durch den Verschluss der Sickerwasserzuleitung mit eingespültem Tailingmaterial während hohen Oberflächenwasseranfalls verursacht. Nach Beseitigung der Störung stellte sich die leicht erhöhte Leitfähigkeit wieder ein. Abb. 4.14 zeigt weiterhin den konstanten Verlauf des pH-Wertes im überlaufenden Grubenwasser, der durch das versturzte Wasser nicht beeinflusst wird.

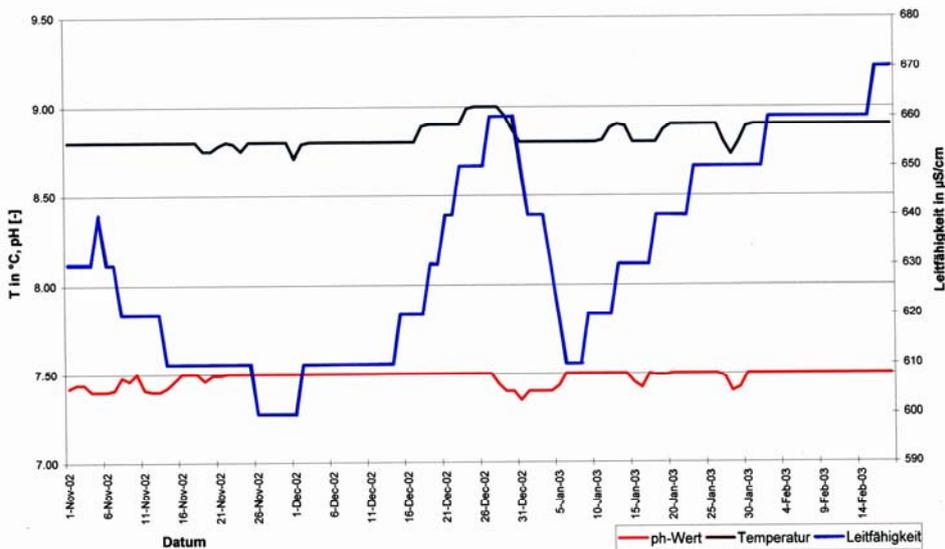


Abb. 4.14: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit und des pH-Wertes am Gesenk 2. Sohle (SBÜ) (EcoConcept 2004)

Die Abb. 4.14 wurde aus dem Bericht der EcoConcept GmbH übernommen. Leider wurde die systematische Messwertverschiebung der automatischen Messstation für den pH-Wert nicht korrigiert. Der pH-Wert ist um den Betrag von ca. 1,5 Einheiten zu erniedrigen.

Die Änderungen der Durchflussmenge und der elektrischen Leitfähigkeit lassen, da die weiteren Bedingungen (keine Niederschläge, ganztägiger Bodenfrost) für eine mögliche Beeinflussung des Grubenwassersystems in dieser Zeit konstant blieben, die Auswirkung des Eintrags von Sickerwasser deutlich erkennen. Die hydraulische Änderung nach dem Prinzip kommunizierender Röhren ist am Überlauf nach vier Stunden zu bemerken, wobei das geflutete Grubensystem (geschätzte 1,5 Mio m<sup>3</sup>) in Relation zu der eingebrachten Wassermenge von 21 m<sup>3</sup>/h ein gewaltiges Puffersystem bildet. Die exakte Erfassung der aktuellen Gesamteinleitmenge am Überlauf kann somit nicht erwartet werden.

Aus diesen Ergebnissen folgt, dass der Stofftransport im gefluteten Grubenwasser vom Aufschlagbereich des verstärzten Sickerwassers bis zum Überlauf am Gesenk 2. Sohle minimal 190 Stunden benötigt. Diese Verweilzeit liegt deutlich über den aus Modellversuchen und Berechnungen abgeleiteten minimal erforderlichen Zeiten für die Abscheidung des mit As beladenen Eisenhydroxids.

Der Reinigungseffekt für das eingeleitete Haldensickerwasser wird durch die analytischen Daten ebenfalls deutlich (Abb. 4.15 bis 4.20). Die Oxidation des Fe(II) und die Ausflockung des Eisenhydroxids, verbunden mit einer Reduzierung des Arsen- und Kupfergehaltes erfolgen erwartungsgemäß (Tab. 4.6). Anderenfalls hätte sich die Konzentration beider Elemente am Überlauf (SBÜ) messbar erhöhen müssen. Die Ausflockung von Aluminiumhydroxid vollzieht sich aus dem unter Punkt 3 genannten Grund der erhöhten Fluoridkonzentration nur unzureichend, so dass für die Elemente Al, Co, Mn, Ni, Si und Zn der gelöste Anteil praktisch unverändert hoch bleibt.

Tab. 4.6: Änderung der Verteilung zwischen gelösten Anteilen und partikulärer Phase für die Elemente As, Cu und Fe an den Verstärzpunkt 28 und am Überlauf der Grube SBÜ im Zeitraum vom 06.12.2002 bis 04.12.2003

(Grundlage bilden die Mittelwerte für Analysen der unfiltrierten und filtrierten Probe)

Probe	As		Cu		Fe	
	28	SBÜ	28	SBÜ	28	SBÜ
Gesamtprobe [mg/l]	1,1	0,36	0,054	0,026	15,4	1,34
filtrierte Probe [mg/l]	0,63	0,014	0,040	0,020	12,3	< 0,06
partikulärer Anteil [%]	43	96	26	23	20	> 96

Die Pufferwirkung des Flutungsraumes spiegelt sich auch in der Beziehung zwischen Niederschlag und Wasserführung am Einleitpunkt sowie am Überlauf Gesenk 2. Sohle wider (Abb. 4.15). Die stark schwankenden Niederschlagsmengen und die erhebliche Variation der verstärzten Sickerwassermengen sind im Abfluss am Gesenk 2. Sohle nur noch gedämpft wahrzunehmen.

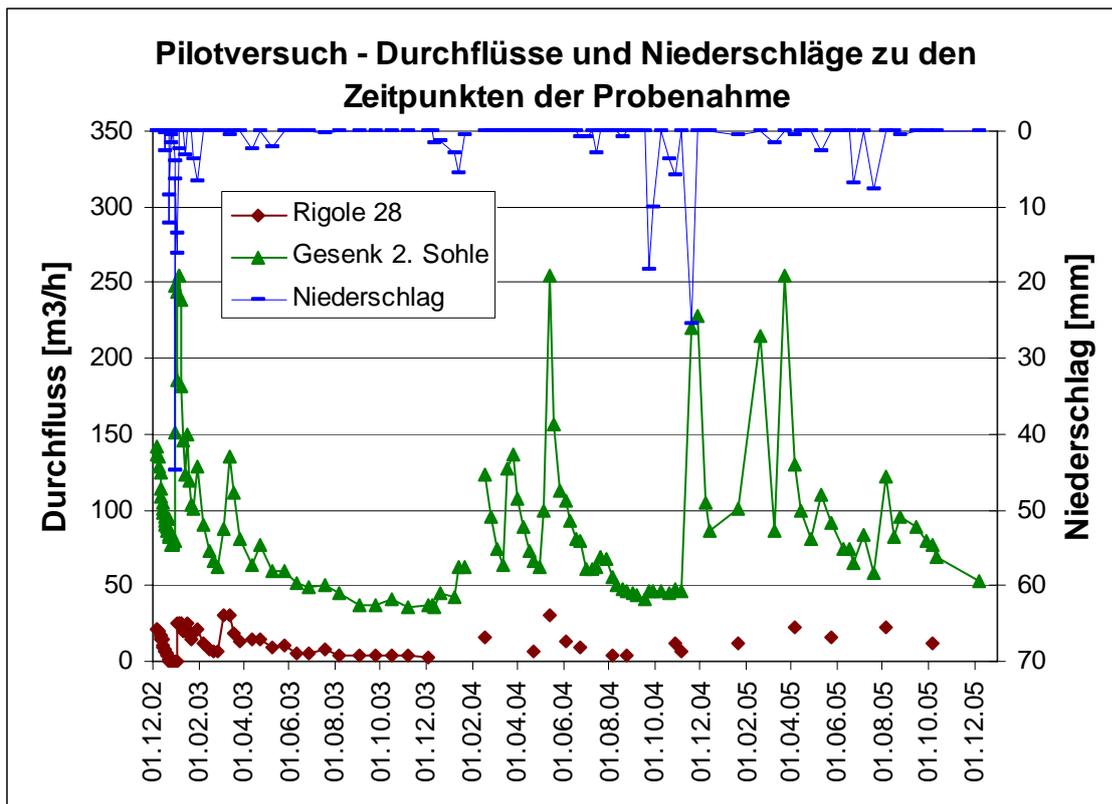


Abb. 4.15: Zeitliche Variation von Niederschlag und Durchflussmenge an der Rigole 28 und am Überlauf 2. Sohle im Zeitraum 12/02 – 12/05

Zu Beginn des Versuches erwies sich die konzipierte Lösung für die Begrenzung der am Versturzpunkt einzuleitenden Wassermenge ( $8 \text{ m}^3/\text{h}$ ) als störanfällig. So startete der Versuch bereits mit einer erhöhten Wassermenge von  $21 \text{ m}^3/\text{h}$ . Infolge der großen Wassermengen kam es durch Einspülung von Tailingmaterial zum Zusetzen der Zuleitung und damit zu einer Reduzierung der eingeleiteten Wassermenge. Am 23.12.02 trat ein völliger Verschluss der Zuleitung ein. Nach Beseitigung des Schadens begann am 3.01.03 die erneute Einleitung von  $25 \text{ m}^3/\text{h}$ , die sich bis zum 29.01.03 auf  $18 \text{ m}^3/\text{h}$  reduzierte. Nach erneuten Reparaturen am 29.01.03 sank der Zufluss im Verlauf des Februars auf  $7 \text{ m}^3/\text{h}$ . Mit Einsetzen der Schneeschmelze Anfang März führte der erhöhte Wasseranfall zu einer Erhöhung der eingeleiteten Wassermenge bis auf maximal  $55 \text{ m}^3/\text{h}$  (am 12.03.03), die ab Mitte März kontinuierlich fiel und Ende Mai die vorgegebene Menge von  $8 \text{ m}^3/\text{h}$  erreichte. Aufgrund der trockenen Witterung sanken die Zuflussmengen im Juni und Juli unter  $8 \text{ m}^3/\text{h}$ . Abgesehen von einzelnen Starkregenereignissen verringerten sich die eingeleiteten Wassermengen im Zeitraum August bis Anfang Dezember z. T. auf unter  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ . Die Maxima der Wassereinträge über Niederschlag und Ablaufgraben 28 sind am Überlauf nur stark gedämpft und zeitlich verschoben zu erkennen.

Ein analoges Bild ergibt sich für die stofflichen Bilanzen. Abhängig vom Wasseranfall im Ablaufgrabensystem variierten die Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Schwebstoffgehalt und die Elementkonzentrationen am Einleitpunkt z. T. sehr stark. Am Überlauf Gesenk 2. Sohle traten im Vergleich dazu nur geringfügige Schwankungen auf. Trotz der zusätzlichen Einleitung des Sickerwassers ergaben sich für die hier interessierenden Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Schwebstoffgehalt, Hydrogenkarbonatgehalt (Abb. 4.16) sowie die Elementkonzentrationen As (Abb. 4.17), Cd, Ni, Fe (Abb. 4.18), Al (4.19), Zn (Abb. 4.20) im Vergleich zum Vorzustand keine signifikanten Änderungen während des Ver-

suchzeitraumes, was mit den Abb. 4.16 bis 4.20 für  $\text{HCO}_3^-$ , As, Fe, Al und Zn demonstriert wird.

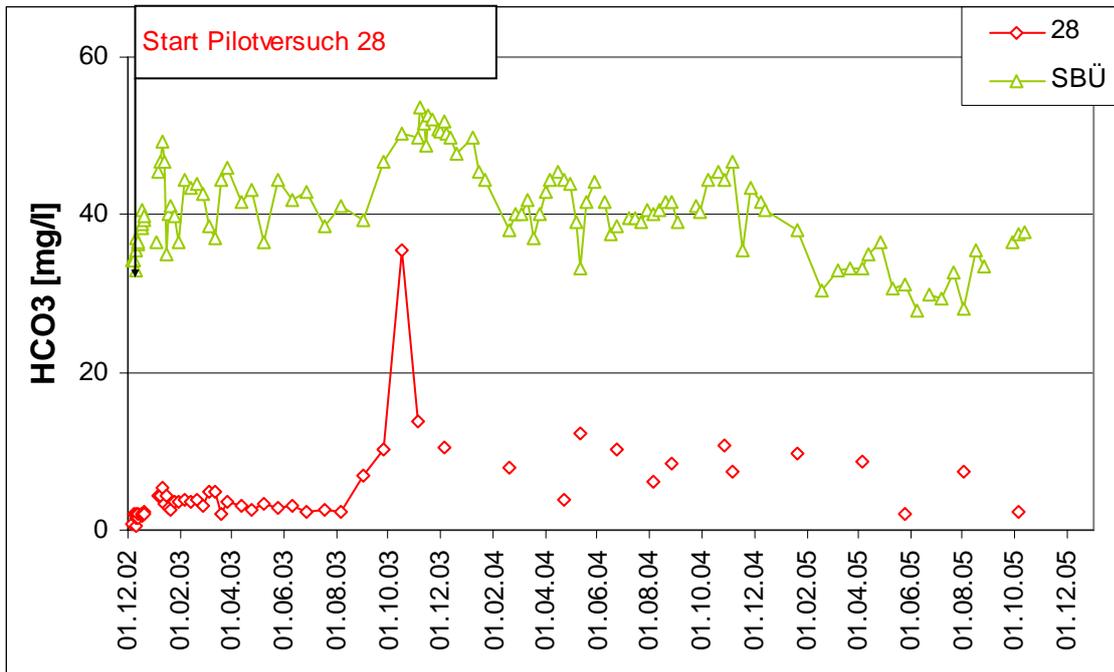


Abb. 4.16: Verlauf der  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentration im Haldensickerwasser am Versturzpunkt 28 und im Grubenwasser am Überlauf Gesenk 2. Sohle im Zeitraum von 12/02 bis 12/05

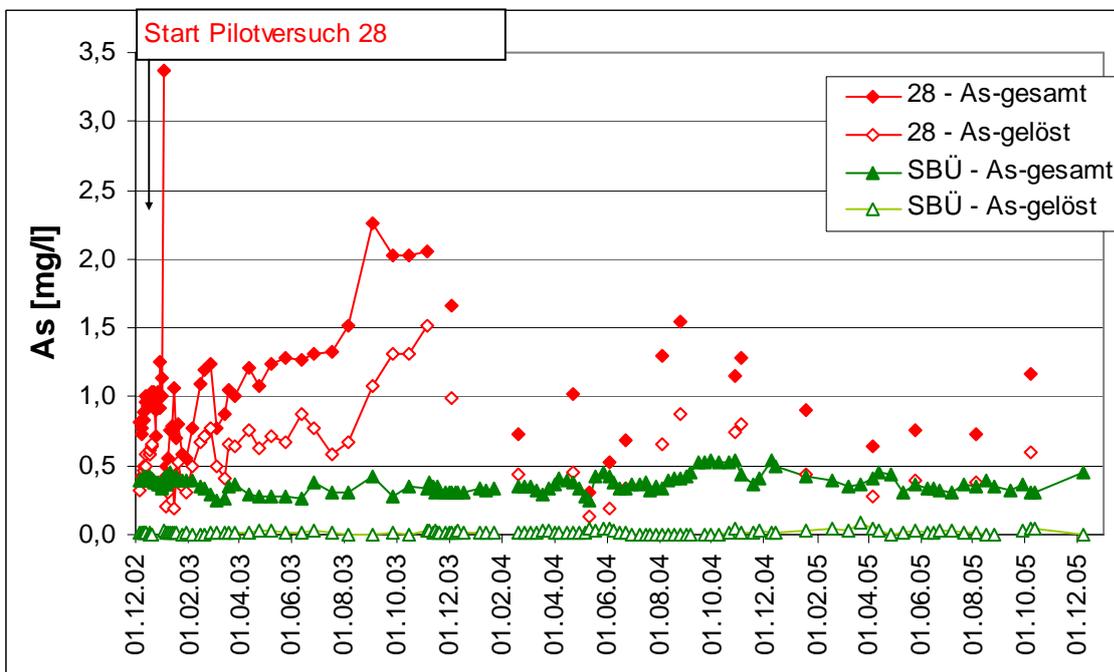


Abb. 4.17: Verlauf der As-Konzentration im Haldensickerwasser am Versturzpunkt 28 und im Grubenwasser am Überlauf Gesenk 2. Sohle im Zeitraum von 12/02 bis 12/05

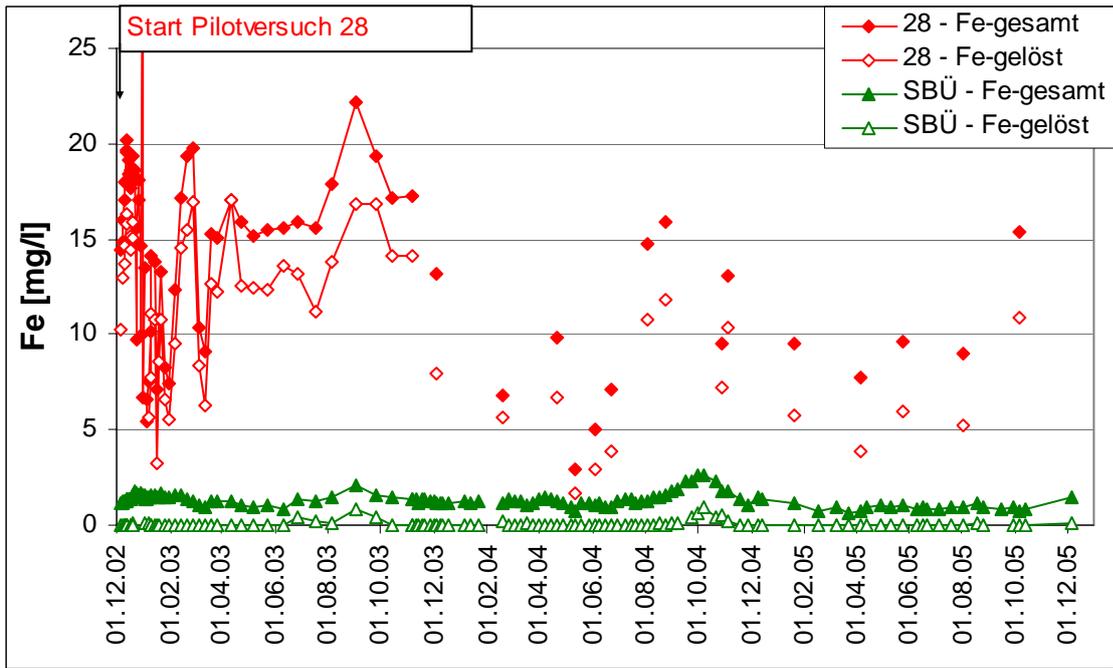


Abb. 4.18: Verlauf der Fe-Konzentration im Haldensickerwasser am Versturzpunkt 28 und im Grubenwasser am Überlauf Gesenk 2. Sohle im Zeitraum von 12/02 bis 12/05

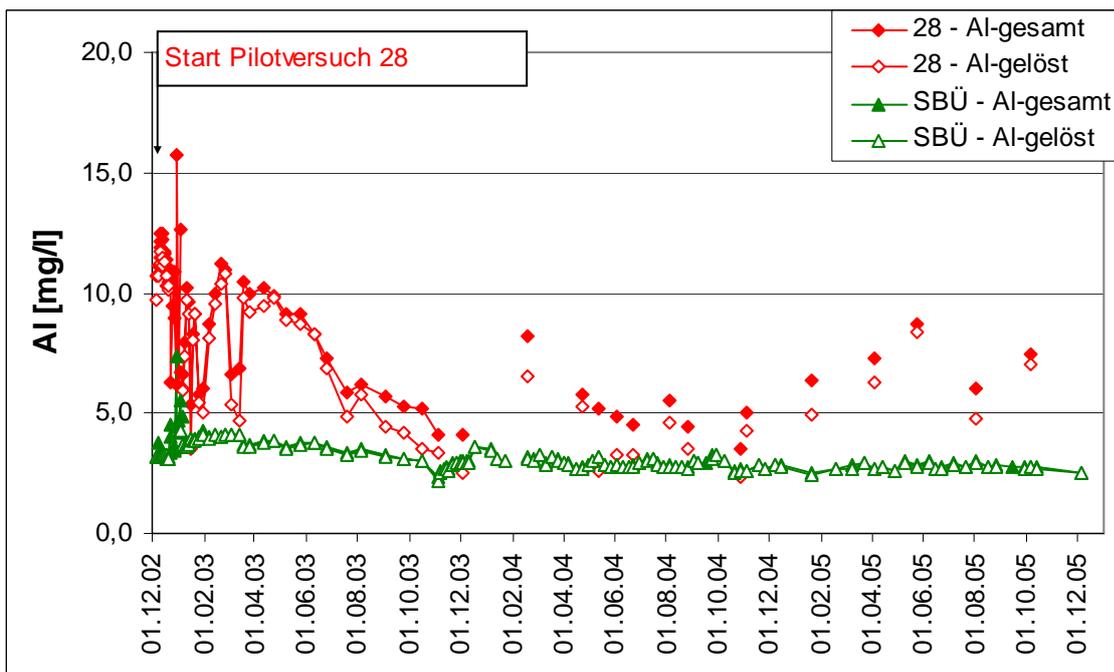


Abb. 4.19: Verlauf der Al-Konzentration im Haldensickerwasser am Versturzpunkt 28 und im Grubenwasser am Überlauf Gesenk 2. Sohle im Zeitraum von 12/02 bis 12/05

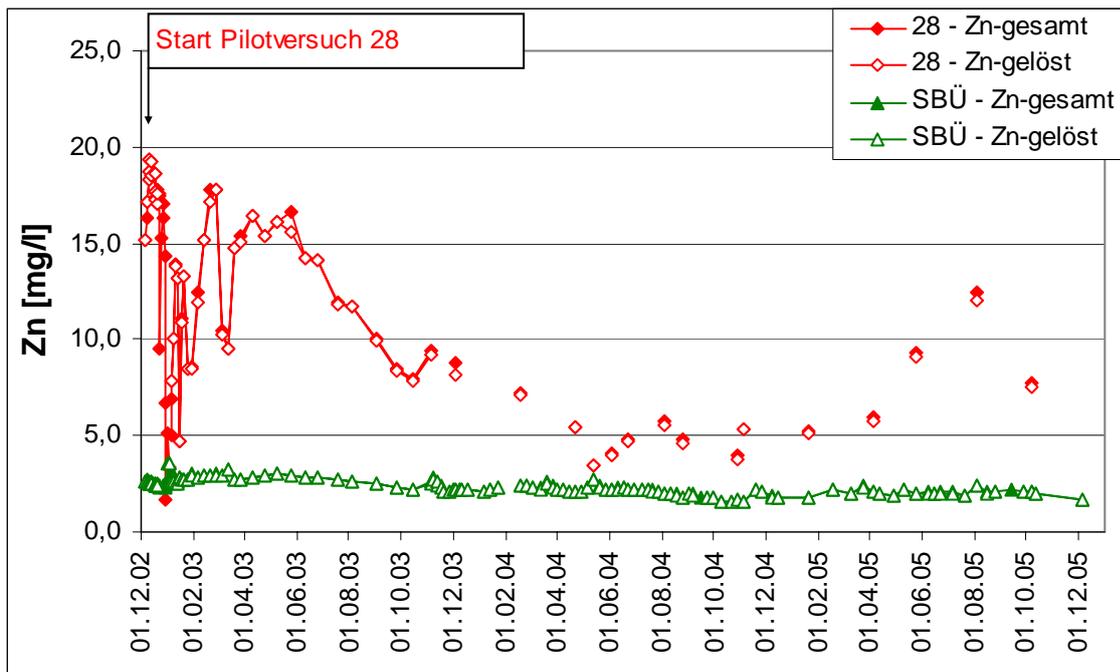


Abb. 4.20: Verlauf der Zn-Konzentration im Haldensickerwasser am Versturzpunkt 28 und im Grubenwasser am Überlauf Gesenk 2. Sohle im Zeitraum von 12/02 bis 12/05

Unabhängig von der Menge des eingeleiteten Sickerwassers und vom Anfall an Grubenwasser blieben bis zu der maximal gemessenen Durchflussmenge von ca. 250 m<sup>3</sup>/h der Gehalt an Schwebstoff, die elektrische Leitfähigkeit und die Konzentrationen der Elemente Al, As, Cd, Co, Mn, Ni, Zn am Überlauf (Gesenk 2. Sohle) nahezu konstant.

Die Schwebstoff- und Elementfrachten wiesen sowohl im Haldensickerwasser als auch im Grubenwasser eine proportionale Beziehung zum Durchfluss auf, wobei im Grubenwasser ein deutlich geringerer Anstieg der Fracht mit Erhöhung des Wasserdurchflusses zu verzeichnen war (Abb. 4.21). Bis zur gemessenen höchsten Durchflussmenge von ca. 250 m<sup>3</sup>/h kam es zu keinem Ausspüleffekt von bereits sedimentiertem Material.

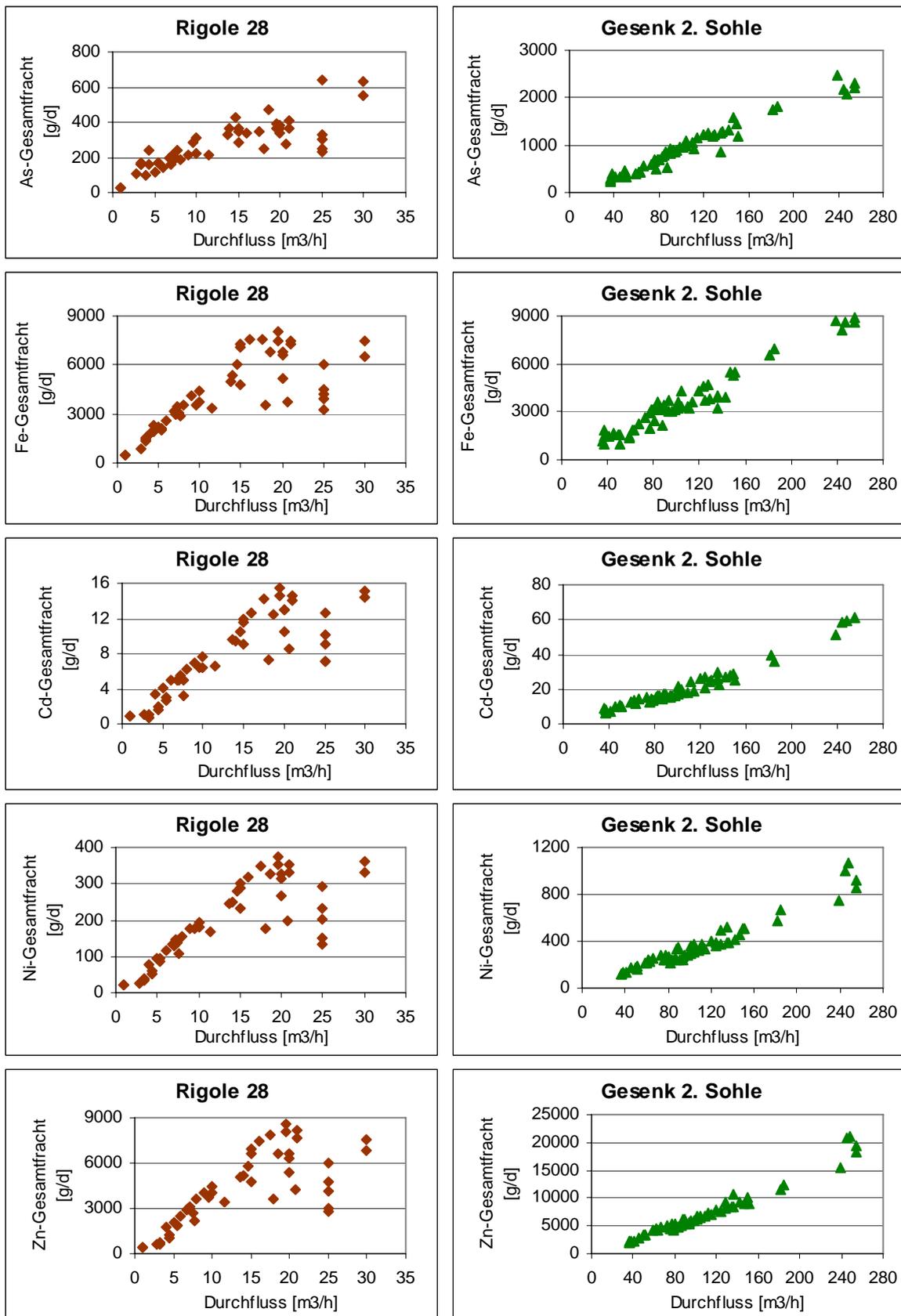


Abb. 4.21: Beziehung zwischen Durchfluss und Fracht für die Elemente As, Fe, Cd, Ni und Zn am Versturzpunkt 28 und am Gesenk 2. Sohle, Versuchszeitraum 12/02 bis 12/03

Im Ablauf der Haldensickerwässer traten ab 15 (– 20) m<sup>3</sup>/h Abweichungen von dieser proportionalen Beziehung zwischen Durchfluss und Fracht auf. Offensichtlich wird hier der Sicker-

wasseraustrag aus den Spülhalden von weiteren Oberflächenzuflüssen infolge Niederschlägen überlagert, so dass es zu "Verdünnungen" kommt.

#### **4.3.5 Fortsetzung des Pilotversuchs während der Pumpversuche im Westfeld**

Die günstigen Ergebnisse des einjährigen Pilotversuchs wurden seitens der verantwortlichen Behörden mit einer Verlängerung der Einleitgenehmigung anerkannt, so dass die analytische Überwachung des Langzeitversuchs bis zur Beendigung des Projektes fortgesetzt werden konnte.

Der Verlauf der Elementkonzentrationen am Überlauf wurde durch zusätzliche Versuche im Westfeld nicht grundlegend verändert. Die physikochemischen Parameter verblieben im Variationsbereich, ebenso die Konzentrationen der Hauptkomponenten. Für die Elemente Al, Mn, Co, Ni, Zn, deren Konzentration im Wasser aus dem Überhauen deutlich geringer als am Überlauf SBÜ sind, scheint durch die Pumpversuche eine leichte Verringerung am Überlauf bewirkt zu werden. Eine detaillierte Auswertung erfolgt im Kapitel 4.4.

Die Fe- und As-Gesamtkonzentration am Überlauf zeigte allerdings im Zeitraum 08/04 bis 12/04 deutlich erhöhte Werte, die durch Vergrößerung des partikulären Anteils verursacht wurde. Gleichzeitig verringerte sich der Gehalt von gelöstem As von etwa 10 – 20 µg/l bis auf ca. 3 µg/l. Ursache für diese Veränderung war ein Verschluss der ursprünglichen Versturzsstelle im Querschlag 2002 durch den sich bildenden Eisenhydroxidschlamm. Der Wiedereintrag des Wassers aus dem Pumpversuch verlagerte sich zunehmend zu der zum Überlauf näher gelegenen Strecke 2705. Offensichtlich ist der dann noch verbleibende Sedimentationsweg so kurz, dass keine ausreichende Sedimentation der Eisenhydroxidpartikel mehr erfolgen kann, was den Anstieg des partikulären Anteils und damit die weitere Bindung des noch gelösten As zur Folge hat.

#### **4.3.6. Schlussfolgerungen**

Die Ergebnisse belegen, dass der dem Konzept dieses Pilotversuches zugrunde liegende Prozess

“Oxidation des Fe(II) und Ausfällung des Eisenhydroxids verbunden mit der Abreicherung von Arsen”

im Flutungswasser der Grube auch bei Einleitung von Haldensickerwasser abläuft.

Das Haldensickerwasser enthielt am Versturzpunkt vorwiegend Fe(II) (5 – 15 mg/l) und As(III) (0,1 – 1 mg/l) sowie geringe Mengen an partikulärem Eisenhydroxid. Das aus der Grube ausfließende Wasser enthielt am Überlauf Gesenk 2. Sohle (SBÜ) in gelöster Form nur noch Konzentrationen von Fe(II) <50 µg/l und von As(III) 0,001 – 0,007 mg/l. Die im Mittel gemessene Gesamt-Fe-Konzentration von 1,5 mg/l trat ebenso wie das Arsen fast ausschließlich in partikulärer Form auf. Lediglich ca. 10 µg/l beträgt die Konzentration des noch gelösten Arsens im ausfließenden Wasser. Die Partikelgrößen der noch suspendierten Eisenhydroxidpartikel dürften vorwiegend im Bereich <5 µm variieren. Die Konstanz der Verhältnisse am Überlauf lässt vermuten, dass eine Abscheidung der partikulären Reste ohne Hilfsmittel (z.B. Flockungsmittel) in der Grube nicht möglich ist. Weitere Möglichkeiten dazu werden unter Punkt 4.5 diskutiert.

Mit dem getesteten Verfahren wird das im Haldensickerwasser enthaltene Arsen praktisch vollständig zurückgehalten. Eine weitere Intensivierung der Abscheidung von Eisenhydroxid im Grubenwasser selbst wird durch die zusätzliche Einleitung von Haldensickerwasser nicht erreicht. Eine Ausflockung von Aluminiumhydroxid bei Einleitung von Haldensickerwasser in dem Ausmaß, wie sie für Eisenhydroxid nachgewiesen wurde, kann nicht festgestellt werden. Die Aluminiumkonzentration am Überlauf (2 – 6 mg/l) ist zwar etwas geringer als im verstärzten Sickerwasser (4 - 16 mg/l) lässt sich jedoch wegen des hohen Fluoridgehaltes (2 – 17 mg/l) und der damit verbundenen zumindest teilweisen Komplexbildung nicht als intensiver Ausfällungs- sondern als Verdünnungsvorgang erklären. Folgerichtig tritt auch keine Verringerung der Konzentrationen von Cd, Co, Ni, Zn, Mn ein, was den Erkenntnissen aus den Laborversuchen voll entspricht.

Die Laborversuche und die Experimente mit Rotschlamm, einem Abprodukt aus der Aluminiumproduktion, weisen eine kombinierte Ausfällung von Eisen- und Aluminiumhydroxid als die optimale Variante für den Rückhalt der Elemente As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Mn, Pb, Zn (U) auf. Die Ausfällung von Aluminiumhydroxid setzt die Abwesenheit von  $F^-$  voraus. Wesentliche Anteile von gelöstem Uran werden nur bei geringer Hydrogencarbonatkonzentration mit gefällt.

Die Einleitung von sauerstoffgesättigtem Haldensickerwasser in die geflutete Grube im mittleren Verhältnis zum ausfließenden Grubenwasser von 1 : 10 bewirkt auch über lange Zeiträume (3 Jahre) keine Erhöhung des Sauerstoffgehaltes im abfließenden Grubenwasser, was auf das hohe Sauerstoffzehrungspotential der Grube hinweist. Wie die sehr geringen Fe(II) und As(III)-Gehalte im ausfließenden Wasser zeigen, werden Eisen und Arsen trotzdem fast vollständig oxidiert und in die „barrierebildende Form“ überführt.

Die notwendige weitere Verringerung des Austrages von umweltproblematischen Elementen in die Vorflut „Wilisch“ erfordert wegen der nachgewiesenen Beziehung zwischen Fracht und Wassermenge die Minimierung des Wassereintrags in die Grube. Bezüglich des Sickerwasseranteils sollte die zu verstärkende Menge auf wenige Kubikmeter pro Stunde ( $<5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) verringert werden, wodurch zusätzlich die Ausflockung verbessert würde. Die Verringerung kann durch die Fassung der Haldensickerwässer und deren gegen den Einlauf von zusätzlichem Niederschlagswasser geschützte Ableitung sowie durch Drainagemaßnahmen im Anstrom zur Spülhalde 1 erreicht werden.

## **4.4. Pumpversuche Sauberg/Westfeld**

### **4.4.1. Versuchskonzept**

Das Ziel des zweiten Pilotversuches war eine grubeninterne Verbesserung der Bedingungen für die Oxidation von Fe(II) in Fe(III) durch Eintrag von Luft in einem weit vom Überlauf entferntem Grubenfeld, um dem sich bildenden Eisenhydroxid längere Zeit für die Flockenbildung und Sedimentation zu geben. Eine derartige aktive Beeinflussung kann z.B. erreicht werden, wenn Wasser für eine Wärmepumpe entnommen wird und der Rücklauf offen im Luftkontakt erfolgt. Eine Wärmepumpenanlage mit diesem Aufbau wird in der Grube bereits betrieben.

Der intensive Eintrag von Luftsauerstoff wurde im Pilotversuch durch Verspritzen des aus dem Überhauen ÜH 3-1314 auf das Niveau der 2. Sohle gepumptem Grubenwassers an die Firste/den Stoß erreicht. Mit dem Abfluss des versprühten Wassers im offenen Gerinne auf der 2. Sohle wird eine weitere leichte Erhöhung des Sauerstoffgehaltes erreicht. Gleichzeitig erfolgt die Oxidation des Fe(II), die Hydrolyse des Fe(III) und die Flockenbildung, so dass es bereits in diesem Fließabschnitt zur beginnenden Ausfällung von Eisenhydroxid verbunden mit einer Arsenabreicherung kommt. Auf der nach Verstürzen im Querschlag 2002 sich anschließenden ca. 600 - 700 m langen Zwangsflißstrecke über die 3. Sohle ist ausreichend Zeit für das weitere Absetzen des Eisenhydroxids gegeben.

Die chemische Beschaffenheit der beteiligten Wässer bietet auch für diesen Versuch günstige Voraussetzungen für den freiwilligen Ablauf der Eisenhydroxidbildung und -fällung. Der Eisengehalt der Wässer aus dem Überhauen ist etwas geringer als am Gesenk. Das Wasser weist gute Säureneutralisationskapazität aufgrund der hohen Konzentration an Hydrogenkarbonat und seiner hohen Alkalinität auf, so dass mit einem stabilen pH-Wert um 6,5 gerechnet werden konnte.

### **4.4.2. Durchführung**

Im Westfeld der Zinnerzgrube wurde eine konstante Wassermenge von 50 m<sup>3</sup>/h über ca. 8-10 Stunden/Tag aus dem Überhauen ÜH 3-1314 gepumpt. Nach Überwindung einer Höhendifferenz von ca. 6 m wurde das gepumpte Wasser in einem ca. 40 m langen Gewebe-, später Druckschlauch abgeleitet und anschließend durch ein Feuerwehrstrahlrohr mit hohem Druck an die Firste bzw. den Stoß der Strecke versprüht (Bild 4.3). Die Weiterleitung des Wassers erfolgte im offenen Gerinne auf der Richtstrecke 2000 W in Richtung Schacht 2. Danach wurde das Wasser in den Querschlag QS 2002 eingeleitet und auf dem Bruch auf dem Zypressenbaumer Zwitterzug verstürzt. Die Fließstrecke im offenen Gerinne beträgt ca. 390 m, der Weg von der Versturztstelle (QS 2002, Abb. 4.22), vermutlich über die 3. Sohle, bis zum Gesenk 2. Sohle (SBÜ) beträgt etwa 600 m. Die Messstelle am Gesenk 2. Sohle dient bei dem zweiten Pilotversuch ebenfalls als Output-Messstelle.

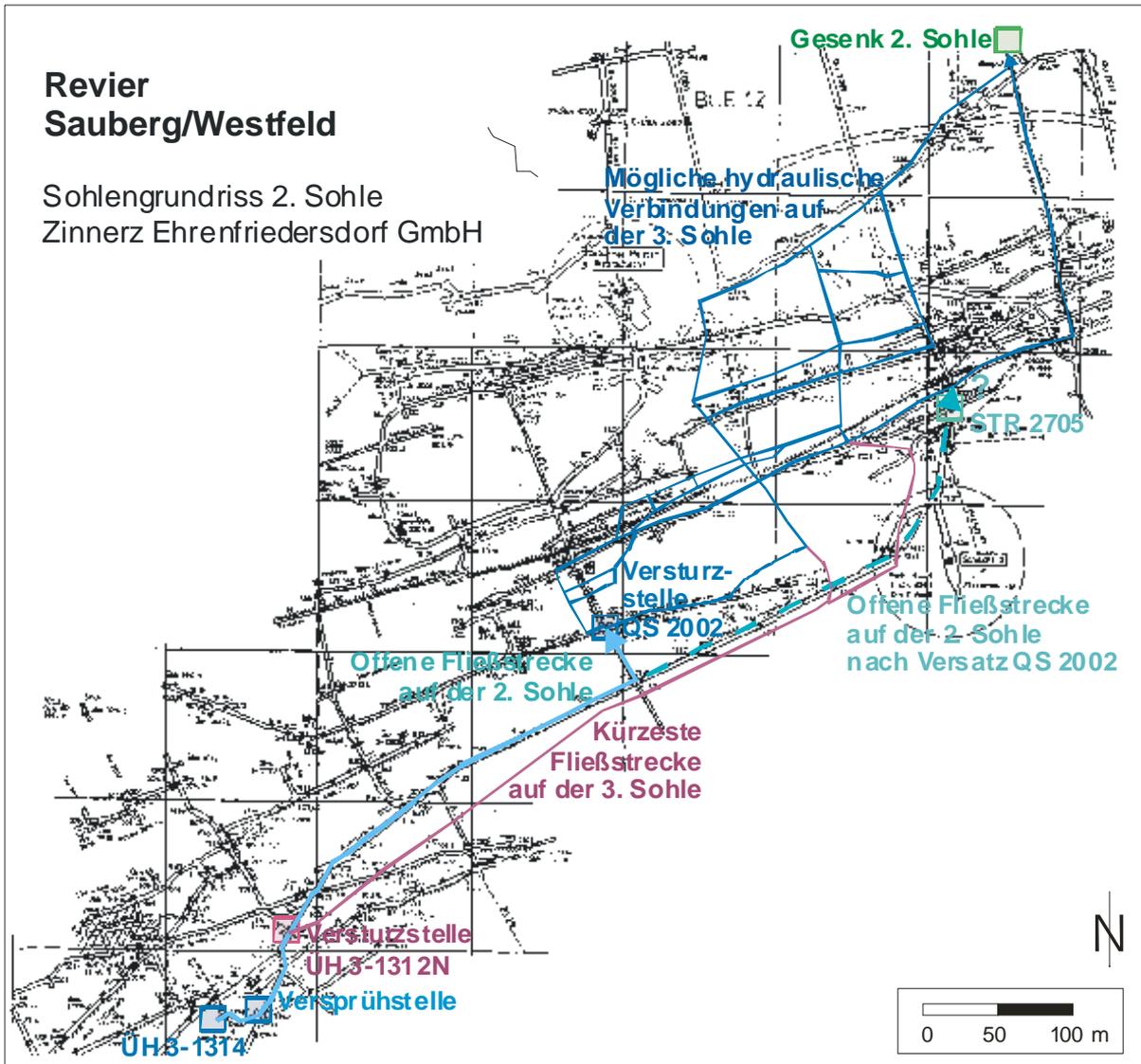


Abb. 4.22: Übersicht über das Grubenrevier Sauberg/Westfeld, die Lage der Probenahme-  
punkte Pumpstelle (ÜH 3-1314), Versturzstelle (QS 2002), Strecke 2705 (STR), Gesenk 2.  
Sohle (SBÜ) sowie die möglichen Fließwege für die Versuchsanordnung Pumpversuch ÜH 1



Bild 4.3: Sauerstoffanreicherung der aus dem Überhauen (ÜH 3-1314) gepumpten Wasser durch Verspritzen am Stoß



Bild 4.4: Sicherung der Versturzstelle im Querschlag QS 2002 gegen nachrutschende Masse

Der **Versuch ÜH 1** wurde am 05.11.2003 begonnen. Zwischen dem 05.11. und dem 11.11.2003 wurde der Versuch mehrmals unterbrochen und die Versuchsanordnung umgebaut, bis mit dem Spritzen an die Firste bzw. den Stoß der Strecke die optimale Variante zur Sauerstoffanreicherung gefunden wurde. Ab Weihnachten 2003 traten häufiger Probleme mit dem Gewebeschlauch auf. Neben einer undichten Stelle kam es häufig zum Verrutschen und Verknicken des Schlauchs mit nachfolgender Verminderung der Pumpleistung. Der Versuch wurde vom 25.01. bis 11.02.2004 unterbrochen. In dieser Zeit wurde der Gewebeschlauch durch einen starren Druckschlauch ersetzt und die Pumpe gewartet. Eine weitere turnusmäßige Wartung der Pumpe fand in der Zeit vom 12.05. bis 19.05.2004 statt. Zur Durchführung eines komplexen Tracerversuches wurde der Querschlag 2002 (QS 2002) in der Zeit vom

03.06. bis 07.06.2004 von den abgelagerten Sedimenten befreit und mit Holz (Laufbretter oberhalb Wasserspiegel) ausgebaut. In dieser Zeit wurde die Pumpe ausgeschaltet. Leider zeigte sich nach Wiederaufnahme der Pumpentätigkeit eine deutliche Verschlechterung des Wasserabtrags an der Versturztstelle. Nach Durchführung des Tracerversuches, in dessen Ergebnis ein Wasserkurzschluss zwischen Pump- und Versturztstelle ausgeschlossen wurde, kam es in der Zeit vom 23.06. bis 14.07.2004 wiederum zu längeren Unterbrechungen des Pumpvorganges. Eine Sicherung der Versturztstelle im QS 2002 gegen nachrutschende Masse (Bild 4.4) brachte nicht den gewünschten besseren Abfluss. Schließlich wurden alle den Fließweg seitlich begrenzenden Teile und das zur Wassermengenmessung eingebaute Wehr entfernt. Mit der Änderung der Abflusshöhe konnte der Abfluss wieder auf ca. 80 % verbessert werden. Im nachfolgenden Zeitraum kam es allerdings wiederum zu einem zunehmenden Versatz der Versturztstelle und einem kontinuierlich sinkendem Wasserabtrag. Eine bis auf 90 % kontinuierlich zunehmende Teilmenge des Wassers lief die Richtstrecke 2000 W in Richtung Schacht 2 entlang und versickerte ca. 300 m nach dem Abzweig in den QS 2002 in der Strecke 2705 in östliche Richtung. Am 22.11.2004 wurde der zweite Pilotversuch ÜH 1 eingestellt.

Ein neuer **Versuch ÜH 2** mit dem Ziel eines verbesserten Wasserabtrages wurde am 13.04.2005 begonnen. Die Wasserentnahme erfolgte analog ÜH 1 aus dem Überhauen 3-1314 mit nachfolgendem Versprühen an Firste/Stoß. Da es sich gezeigt hat, dass der Zugewinn an der Sauerstoffsättigung über den offenen Fließweg von der Sprühstelle bis zum Querschlag 2002 nur ca. 5-10 % betrug, wurde auf einen langen offenen Fließweg verzichtet und dieser auf 60 m verkürzt. Der Versturz erfolgte dann in das Überhauen 3-1312N, welches einen guten und längerfristigen Wasserabtrag auf die 3. Sohle erwarten ließ. Dieses Überhauen konnte mit geringem Aufwand (Entfernen der Ziegelvermauerung, Beräumen des eingelagerten Grubenholzes, Abgrenzung des Fließweges) aufgewältigt werden. Der auf der 3. Sohle vermutete bevorzugte Fließweg ist mindestens 850 m lang und endet mit dem Aufsteigen der Wasser am Gesenk 2. Sohle, das wiederum als Output-Messstelle fungierte. Der Versuch lief mit Ausnahme einer einwöchigen Wartungspause im August kontinuierlich bis zum 06.12.2005.

	<b>ÜH 1 - Langer Fließweg</b>	<b>ÜH 2 - Kurzer Fließweg</b>
<b>Vorteile</b>	- Absetzen der Partikel möglich	- frühzeitiger Wasserabtrag - Freihalten des Gerinnes - kein Zusetzen der Versturztstelle - Wasserfreiheit am Schacht 2
<b>Nachteile</b>	- Aufwirbelung durch diskontinuierliches Pumpen - Aufwirbelung durch Befahrungen zur Probenahme und bei Materialverkipfung im westlichen Grubenfeld - Aufwirbelung durch Reinigung des Gerinnes - rasches Zusetzen der Versturztstelle	- kaum Absetzen bereits gebildeter Partikel möglich

#### 4.4.3. Ergebnisse

##### Entwicklung der Wasserbeschaffenheit im ÜH 3-1314 im Gesamtzeitraum

Die analytischen Ergebnisse für das abgepumpte Wasser aus dem Überhauen ÜH 3-1314, dem Querschlag QS 2002, dem Überhauen ÜH 3-1312N und das aus der Grube am Gesenk 2.

Sohle ausfließende Wasser (SBÜ) sind für den Versuchszeitraum in den Tabellen in den Anlagen 10 bis 12 zusammengestellt. Einen ersten Überblick gibt Tab. 4.7. Aufgrund der sich rasch ändernden Qualität des abgepumpten Wassers in den ersten Wochen des Pumpversuchs, wurden die Ergebnisse für den ersten Versuch ÜH 1 in drei Zeitschnitten dargestellt.

Tab. 4.7: Übersicht über den mittleren Chemismus der gepumpten Grubenwässer am Überhauen (ÜH 3-1314), Konzentrationsangaben in mg/l

Versuch	Datum	n	T	pH	Eh	Lf	O2	Schweb
		maximal	[°C]		[mV]	[µS/cm]	[%]	
ÜH 1	05.11.03-11.11.03	3	9,3	6,6	363	434	nb	1,0
ÜH 1	13.11.03-20.01.04	12	9,5	6,7	316	472	[17,7]	2,1
ÜH 1	18.02.04-04.11.04	35	9,7	6,5	326	510	8,2	4,1
ÜH 2	13.04.05-06.12.05	14	9,6	6,5	479	475	4,2	3,2

Versuch	Datum	HCO3-	Fluorid	Chlorid	Sulfat	Na	K	Ca	Mg
ÜH 1	05.11.03-11.11.03	89,1	5,7	17,5	130	10,5	3,4	59,6	12,5
ÜH 1	13.11.03-20.01.04	98,9	5,7	18,8	137	10,5	3,5	69,1	12,9
ÜH 1	18.02.04-04.11.04	97,9	5,3	24,1	131	11,9	3,6	70,4	13,1
ÜH 2	13.04.05-06.12.05	81,7	4,9	24,7	121	12,5	3,4	63,1	11,9

Versuch	Datum	As_ges	As_gel	AsIII_gel	Fe_ges	Fe_gel	Fell_gel
ÜH 1	05.11.03-11.11.03	3,63	3,39	2,56	6,42	5,96	1,20
ÜH 1	13.11.03-20.01.04	1,85	1,37	0,737	2,76	1,89	1,38
ÜH 1	18.02.04-04.11.04	0,812	0,229	0,078	1,95	0,68	0,58
ÜH 2	13.04.05-06.12.05	0,445	0,160	0,016	0,74	0,08	0,04

Versuch	Datum	Al_ges	Cd_ges	Co_ges	Cu_ges	Mn_ges	Ni_ges	Si_ges	Zn_ges
ÜH 1	05.11.03-11.11.03	0,224	0,003	<0,01	0,019	1,69	<0,03	10,30	0,164
ÜH 1	13.11.03-20.01.04	0,179	<0,002	<0,01	0,015	1,75	<0,03	9,48	0,193
ÜH 1	18.02.04-04.11.04	0,133	<0,002	<0,01	<0,004	2,32	<0,03	8,85	0,160
ÜH 2	13.04.05-06.12.05	0,128	<0,002	<0,01	<0,004	1,62	<0,03	8,65	0,189

Versuch	Datum	Al_gel	Cd_gel	Co_gel	Cu_gel	Mn_gel	Ni_gel	Si_gel	Zn_gel
ÜH 1	05.11.03-11.11.03	0,213	0,002	<0,01	0,009	1,66	<0,03	10,25	0,154
ÜH 1	13.11.03-20.01.04	0,164	<0,002	<0,01	<0,004	1,77	<0,03	9,40	0,180
ÜH 1	18.02.04-04.11.04	0,113	<0,002	<0,01	<0,004	2,30	<0,03	8,80	0,139
ÜH 2	13.04.05-06.12.05	0,114	<0,002	<0,01	<0,004	1,58	<0,03	8,54	0,174

Das Grubenwasser aus dem Überhauen 3-1314 weist im Vergleich mit dem Grubenwasser am Gesenk 2. Sohle eine höhere Wassertemperatur, einen höheren pH-Wert und eine geringere elektrische Leitfähigkeit auf. Es besitzt aufgrund des hohen HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Gehaltes (80 - 100 mg/l) ein gutes Säurepuffervermögen.

Zu Versuchsbeginn war das gepumpte Wasser As-reicher als das am Gesenk austretende. Die Konzentrationen fielen im Versuchsverlauf ab und näherten sich denen der aufsteigenden Grubenwässer an. Die anfänglich ebenfalls höheren Fe-Konzentrationen im gepumpten Wasser fielen rasch ab und erreichten 08/2004 das Konzentrationsniveau des aufsteigenden Wassers (SBÜ), unterschritten es sogar im nachfolgenden Versuchsverlauf geringfügig (Abb. 4.23) Das Fe/As-Verhältnis wies im ÜH 3-1314 die geringsten Werte (im Mittel 2) auf, was für die Fe- und As-Eliminierung einen sehr ungünstigen Fall darstellt.

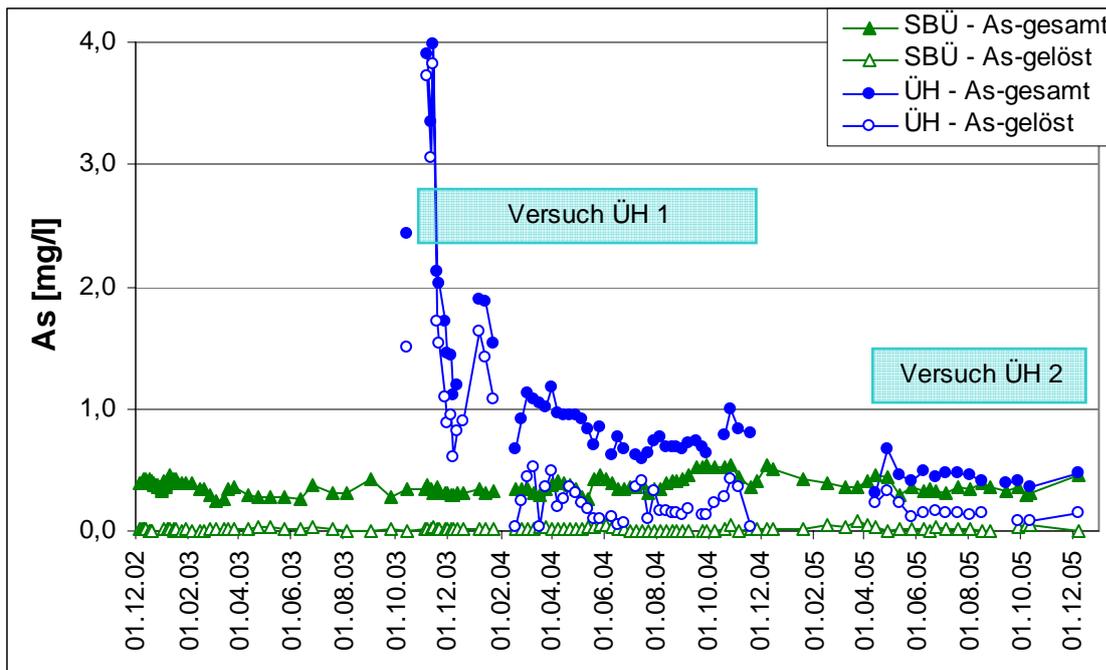


Abb. 4.23: Entwicklung der As-Konzentrationen im ÜH3-1314 und am Gesenk 2. Sohle (SBÜ)

Die Konzentrationen der Elemente Cd, Co, Mn, Ni, Zn, Al lagen im ÜH 3-1314 generell unter denen im SBÜ. Anfänglich höhere Cu- und Si-Konzentrationen im ÜH fielen nach ca. einmonatiger Pumpzeit unter die im SBÜ ab, wie in Abb. 4.24 für das Element Cu dargestellt wird.

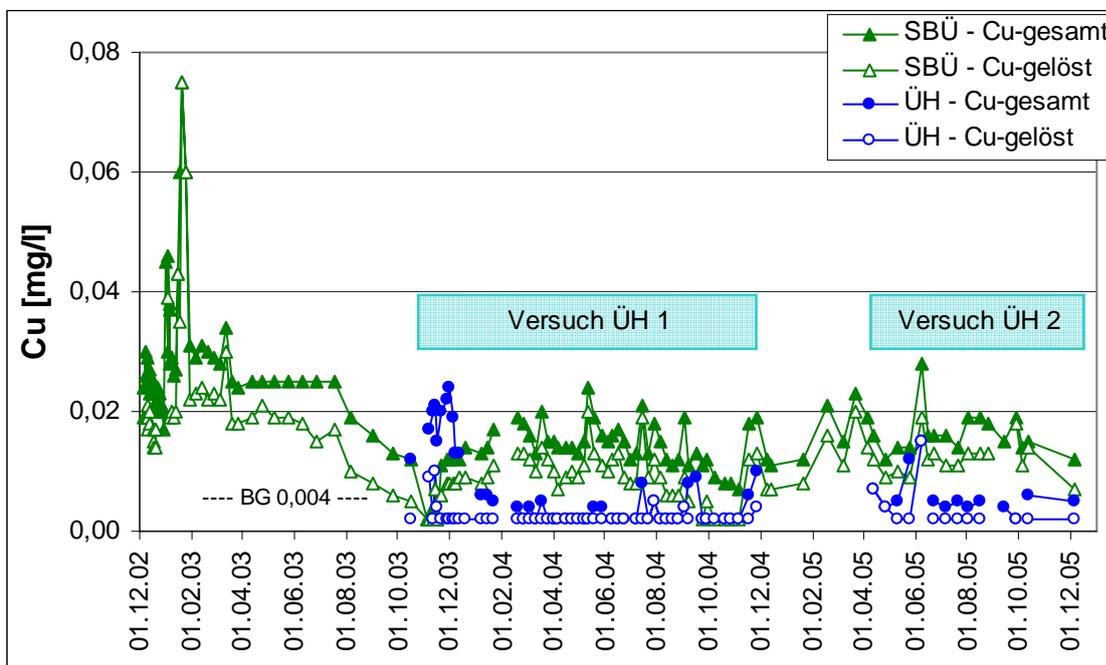


Abb. 4.24: Entwicklung der Cu-Konzentrationen im ÜH3-1314 und am Gesenk 2. Sohle (SBÜ)

Das Wasser aus dem Überhauen enthält im Vergleich mit Grubenwasser am Gesenk 2. Sohle höhere Anteile an gelösten As und Fe. Beide Elemente lagen im ÜH 3-1314 noch durchschnittlich zur Hälfte in gelöster Form vor. Das am Gesenk 2. Sohle ankommende As war im Untersuchungszeitraum des Versuchs ÜH 1 zu 96 % an die Schwebpartikel gebunden.

## Entwicklung der Wasserbeschaffenheit im offenen Gerinne zwischen ÜH 3-1314 und QS 2002 – Versuch ÜH 1

Das aus dem Überhauen 3-1314 gepumpte Wasser wurde auf dem Fließweg zum Querschlag QS 2002 durch zuzitendes Wasser auf der Sohle aus Richtung Westfeld leicht verdünnt (Abfall der elektrischen Leitfähigkeit um maximal 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Temperaturabfall um 0,1-0,2  $^{\circ}\text{C}$ ; pH, Eh veränderten sich kaum). Ein leichtes Absinken der Hauptan- und Kationenkonzentrationen spricht für ebenfalls für eine minimale Verdünnung.

Durch das Versprühen am Stoß/an der Firste (Bild 4.3) wurde das im Überhauen geförderte nahezu sauerstofffreie Grubenwasser (Sauerstoffsättigung  $<2\%$ ) mit Sauerstoff angereichert. Unmittelbar nach dem Versprühen wurde eine Sauerstoffsättigung von 80 bis 85 % erreicht. Auf dem nachfolgenden Fließweg bis zum Querschlag erhöhte sich die Sauerstoffsättigung lediglich um ca. 10 % auf 90 bis 95 %.

Der Schwebstoffgehalt erhöhte sich auf der Fließstrecke von ca. 3,5 auf 6,1 mg/l. Im Gerinne auf der 2. Sohle war eine deutlich erhöhte Sedimentablagerung zu verzeichnen. Der Hydrogenkarbonatgehalt sank auf der offenen Fließstrecke um durchschnittlich 7 mg/l, was auf die Pufferung des Hydrolysevorgangs hinweist.

Durch eine Gesamt-Beprobung und Analyse der Output- und Input-Stellen an ausgewählten Tagen konnten Erkenntnisse zur Entwicklung der Elementgehalte auf der offenen Fließstrecke gewonnen werden (Tab. 4.8). Besonders zu Versuchsbeginn war die Abreicherung der zunächst sehr hohen Fe- und As-Gehalte deutlich nachzuweisen (Tab. 4.8). Mit Abnahme der Fe- und As-Gesamtgehalte verringerte sich dieser Effekt. Bei den gelösten Fe- und As-Gehalten, die anfänglich mehr als 90 % der Gesamtgehalte ausmachten, war über den gesamten Versuchszeitraum eine stetige Abnahme der Gehalte um mindestens 30 % auf der offenen Fließstrecke zu verzeichnen. In ähnlicher Größenordnung nahmen auch die gelösten Fe(II)- und As(III)-Konzentrationen (Abb. 4.25) ab.

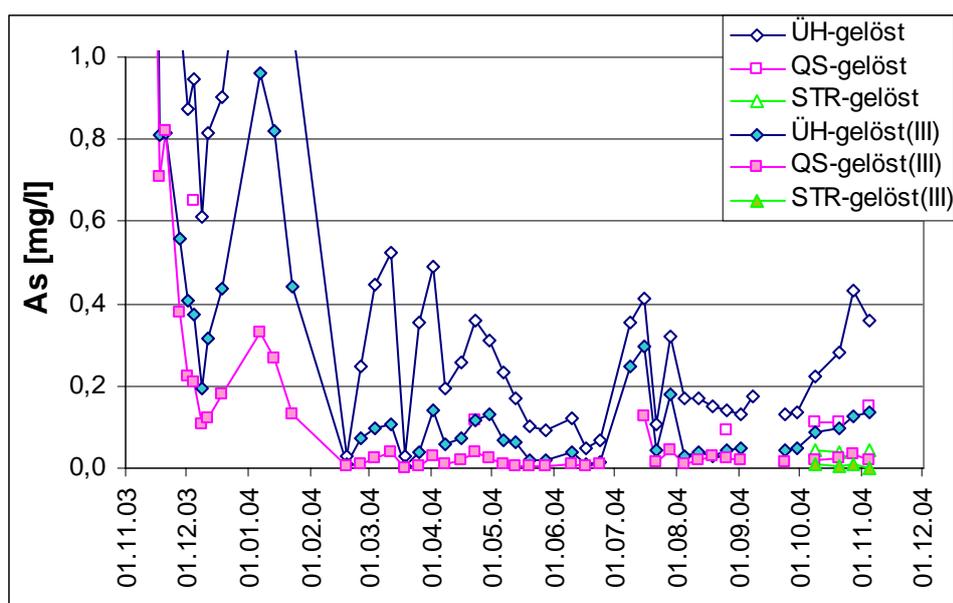


Abb. 4.25: Entwicklung der gelösten As-Gehalte auf der offenen Fließstrecke zwischen ÜH 3-1214, QS 2002 und STR 2705

Bei erhöhtem Abfluss über die Strecke 2705 (bis zu 90 % der Gesamtmenge) verringerten sich die elektrische Leitfähigkeit und der Schwebstoffgehalt durch kleine Zuflüsse ins Gerinne leicht. Die Fe- und As-Gehalte sanken beträchtlich unter das Niveau am QS ab.

Tab. 4.8: Entwicklung der As- und Fe-Konzentrationen zwischen ÜH 3-1314, QS 2002 und STR an ausgewählten Tagen, Konzentrationsangaben in mg/l

Datum	ÜH	QS	STR	ÜH	QS	STR	ÜH	QS	STR
	As-ges	As-ges	As-ges	As-gel	As-gel	As-gel	AsIII-gel	AsIII-gel	AsIII-gel
13.11.03	3,99	2,76	nb	3,82	2,38	nb	2,70	1,90	nb
04.12.03	1,44	1,03	nb	0,945	0,650	nb	0,373	0,210	nb
22.04.04	0,952	0,614	nb	0,360	0,115	nb	0,115	0,037	nb
25.08.04	0,679	0,790	nb	0,141	0,091	nb	0,042	0,022	nb
20.10.04	0,791	0,873	0,469	0,282	0,111	0,040	0,098	0,023	0,007
04.11.04	0,833	0,909	0,424	0,359	0,152	0,042	0,137	0,017	0,002

Datum	ÜH	QS	STR	ÜH	QS	STR	ÜH	QS	STR
	Fe-ges	Fe-ges	Fe-ges	Fe-gel	Fe-gel	Fe-gel	Fell-gel	Fell-gel	Fell-gel
13.11.03	6,69	5,50	nb	6,20	3,43	nb	2,02	0,63	nb
04.12.03	1,74	1,21	nb	0,916	0,405	nb	0,78	0,32	nb
22.04.04	2,40	1,44	nb	1,29	0,356	nb	1,28	0,32	nb
25.08.04	1,35	nb	nb	0,162	nb	nb	0,14	<0,05	nb
20.10.04	1,81	2,10	1,20	0,773	0,140	<0,009	0,76	0,14	<0,05
04.11.04	2,03	2,35	0,97	1,00	0,212	<0,009	1,00	0,20	<0,05

Bei den anderen Elementen (mit Gehalten über der Bestimmungsgrenze) ist eine Abreicherung auf der offenen Fließstrecke zwischen ÜH und QS nur für Mn durchgängig zu erkennen (Tab. 4.9). Die Elemente Zn und Al nehmen teilweise sogar leicht zu, Si verändert sich fast nicht.

Tab. 4.9: Entwicklung der Mn-, Zn, Al und Si-Konzentrationen zwischen ÜH3-1314, QS2002 und STR an ausgewählten Tagen, Konzentrationsangaben in mg/l

Datum	ÜH	QS	STR									
	Mn-ges	Mn-ges	Mn-ges	Mn-gel	Mn-gel	Mn-gel	Zn-ges	Zn-ges	Zn-ges	Zn-gel	Zn-gel	Zn-gel
13.11.03	1,76	1,60	nb	1,75	1,57	nb	0,153	0,256	nb	0,153	0,210	nb
04.12.03	1,44	1,44	nb	1,44	1,43	nb	0,207	0,212	nb	0,197	0,192	nb
22.04.04	2,38	2,05	nb	2,36	2,03	nb	0,145	0,260	nb	0,121	0,224	nb
25.08.04	2,18	nb	nb	2,10	nb	nb	0,143	nb	nb	0,138	nb	nb
20.10.04	2,30	1,90	1,16	2,28	1,89	1,15	0,152	0,199	0,163	0,132	0,158	0,136
04.11.04	2,41	2,04	1,42	2,40	1,92	1,41	0,149	0,209	0,162	0,128	0,158	0,138

Datum	ÜH	QS	STR									
	Al-ges	Al-ges	Al-ges	Al-gel	Al-gel	Al-gel	Si-ges	Si-ges	Si-ges	Si-gel	Si-gel	Si-gel
13.11.03	0,185	0,482	nb	0,183	0,145	nb	10,2	10,3	nb	10,2	9,87	nb
04.12.03	0,169	0,156	nb	0,162	0,114	nb	9,47	9,35	nb	9,40	9,17	nb
22.04.04	0,120	0,214	nb	0,109	0,143	nb	8,84	8,81	nb	8,77	8,78	nb
25.08.04	0,123	nb	nb	0,097	nb	nb	8,67	nb	nb	8,52	nb	nb
20.10.04	0,103	0,149	0,151	0,094	0,083	0,089	8,68	8,81	8,80	8,67	8,81	8,68
04.11.04	0,110	0,169	0,125	0,091	0,088	0,105	8,68	8,89	8,79	8,63	8,28	8,60

Am Messpunkt STR verringerten sich die Mn- und Zn-Gehalte gegenüber dem Messpunkt QS 2002. Al und Si blieben nahezu unverändert.

## Wasserbilanz – Versuch ÜH 1

Im ersten Versuchszeitraum vom 05.11.2003 bis 22.11.2004 wurden insgesamt ca. 147.000 m<sup>3</sup> Grubenwasser aus dem Überhauen abgepumpt, das entspricht einer durchschnittlichen täglichen Pumpleistung von ca. 380 m<sup>3</sup>. In Anbetracht der Tatsache, dass der Abfluss im Querschlag 2002 ab Juni 2004 zunehmend beeinträchtigt wurde, wird die dort versickerte Wassermenge auf ca. 110.000 m<sup>3</sup> geschätzt. Die Differenz von ca. 37.000 m<sup>3</sup> dürfte über die oben beschriebene Strecke 2705 in das Grubengebäude abgeflossen sein. Gemessen am Wasserreservoir von ca. 1,5 Mio m<sup>3</sup> unterhalb des Niveaus des Tiefen Sauberger Stollns sind gerade 10 % von diesem in einem Jahr bewegt worden.

Unter Berücksichtigung einer Fließstrecke von ca. 600 m im gefluteten Grubenraum (von der Sickerstelle im QS 2002 bis zum Gesenk 2. Sohle) zuzüglich je 50 m Sohlendifferenz von der 2. zur 3. Sohle und zurück sowie eines durchschnittlichen Sohlenquerschnitts von ca. 2,20 m \* 2,70 m ergibt sich für den Untersuchungszeitraum vom 05.11.2003 bis 22.11.2004 ein 26 maliger Wasserwechsel (bzw. Durchflusshäufigkeit). Das entspräche einer Erneuerung des Wassers ca. aller 14 Tage. Da der Fließweg hinsichtlich seiner Länge, der Sohlendifferenz und dem Querschnitt nicht genau bekannt ist und hier nur die kürzeste hydraulische Verbindung angenommen wurde, muss beim Durchfließen anderer Strecken auch mit längeren Verweilzeiten gerechnet werden.

Der Anteil des im Versuch ÜH 1 aus dem Überhauen gepumpten Grubenwasservolumens zum Gesamtabfluss am Gesenk 2. Sohle (690.000 m<sup>3</sup>) beträgt ca. 21 %. In Trockenperioden (Niedrigwasser) war die stündliche Pumpleistung (50 m<sup>3</sup>/h) aus dem ÜH sogar über längere Zeit höher als der Abfluss am Gesenk (<40 m<sup>3</sup>/h).

## Entwicklung der Wasserbeschaffenheit im offenen Gerinne zwischen ÜH 3-1314 und ÜH 3-1312N – Versuch ÜH 2

Nach Einrichtung des ÜH 3-1312N als wasserabtragendes Überhauen wurde die Pumpe am 13.04.05 wieder mit ihrer Leistung von 50 m<sup>3</sup>/h in Betrieb genommen. Die Mischung des gepumpten Wassers mit dem auf der 2. Sohle bereits abfließenden Sohlenwasser geringer Menge bewirkt eine minimale Verdünnung um max. 10 µS/cm, hergerufen durch eine minimale Abnahme der Hauptan- und kationen. Wassertemperatur, pH und Eh blieben nahezu unverändert.

Mit Ausnahme des Tages des Versuchsbeginns wurde während des Untersuchungszeitraumes auch auf dem kurzen Fließweg im offenen Gerinne eine Abnahme der Elemente As, Fe und Mn (um ca. 10 - 15 %) beobachtet (Tab. 4.10 und 4.11). Während Si unverändert blieb, erfuhren die Elemente Zn (Tab. 4.11) und Al einen Anstieg der mit der Zumischung kleiner Mengen Sohlenwassers allein nicht erklärt werden kann.

Die Sauerstoffbilanz wurde durch das Versprühen am Stoß kontrolliert. Am Einleitpunkt wurden ca. 90 % Sauerstoffsättigung erreicht. Der mittlere Schwebstoffgehalt sank wegen des sehr kurzen Fliessweges nur von 3,2 mg/l um ca. 0,2 mg/l auf 3 mg/l.

Tab. 4.10: Entwicklung der As- und Fe-Konzentrationen zwischen ÜH3-1314 (ÜH) und ÜH3-1312N (ÜH-in) an ausgewählten Tagen, Konzentrationsangaben in mg/l

Datum	ÜH As-ges	ÜH-in As-ges	ÜH As-gel	ÜH-in As-gel	ÜH AsIII-gel	ÜH-in AsIII-gel
13.04.05	0,318	0,334	0,223	0,244	0,032	0,019
25.05.05	0,413	0,360	0,121	0,097	0,003	0,011
20.07.05	0,467	0,416	0,139	0,131	0,008	0,008
28.09.05	0,414	0,348	0,086	0,075	0,005	0,004
12.10.05	0,360	0,332	0,088	0,076	0,007	0,006

Datum	ÜH Fe-ges	ÜH-in Fe-ges	ÜH Fe-gel	ÜH-in Fe-gel	ÜH Fell-gel	ÜH-in Fell-gel
13.04.05	0,269	0,271	<0,009	0,014	nb	nb
25.05.05	0,762	0,637	0,051	0,021	<0,05	<0,05
20.07.05	0,790	0,644	0,032	0,016	<0,05	<0,05
28.09.05	0,731	0,676	<0,009	<0,009	nb	nb
12.10.05	0,697	0,620	0,017	0,014	nb	nb

Tab. 4.11: Entwicklung der Mn-, Zn, Al und Si-Konzentrationen zwischen ÜH3-1314 (ÜH) und ÜH3-1312N (ÜH-in) an ausgewählten Tagen, Konzentrationsangaben in mg/l

Datum	ÜH Mn-ges	ÜH-in Mn-ges	ÜH Mn-gel	ÜH-in Mn-gel	ÜH Zn-ges	ÜH-in Zn-ges	ÜH Zn-gel	ÜH-in Zn-gel
13.04.05	1,22	1,10	1,22	1,10	0,249	0,349	0,248	0,345
25.05.05	1,46	1,26	1,44	1,24	0,194	0,282	0,194	0,267
20.07.05	1,71	1,45	1,66	1,45	0,162	0,188	0,154	0,176
28.09.05	1,76	1,51	1,75	1,50	0,18	0,301	0,173	0,289
12.10.05	1,63	1,42	1,62	1,41	0,278	0,268	0,164	0,259

Datum	ÜH Al-ges	ÜH-in Al-ges	ÜH Al-gel	ÜH-in Al-gel	ÜH Si-ges	ÜH-in Si-ges	ÜH Si-gel	ÜH-in Si-gel
13.04.05	0,171	0,156	0,117	0,155	8,29	8,62	8,15	8,62
25.05.05	0,135	0,160	0,122	0,156	8,75	8,78	8,67	8,67
20.07.05	0,125	0,112	0,110	0,108	8,86	8,87	8,68	8,79
28.09.05	0,125	0,192	0,117	0,169	8,66	8,73	8,55	8,63
12.10.05	0,123	0,159	0,119	0,151	8,23	8,34	8,16	8,23

### Wasserbilanz – Versuch ÜH 2

Im Zeitraum vom 13.04. bis 06.12.2005 wurden ca. 105.000 m<sup>3</sup> aus dem ÜH 3-1314 gepumpt und im ÜH 3-1312N verstrützt. Das ist etwa die gleiche Wassermenge, die im Versuch ÜH 1 in den Bruch des Querschleges 2002 verstrützt wurde. Aufgrund des reibungslosen Verlaufs des Versuchs lag die durchschnittliche tägliche Pumpleistung bei 430 m<sup>3</sup>.

Der Anteil des im Versuch ÜH 2 aus dem Überhauen gepumpten Volumens zum Gesamtfluss am Gesenk 2. Sohle (450.000 m<sup>3</sup>) betrug ca. 23 %.

## Auswirkungen des Pumpversuchs auf die Wasserqualität am Gesenk 2. Sohle

Die Auswirkungen der beiden Versuche auf die Qualität des ausfließenden Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle fasst Tab. 4.12 zusammen.

Tab. 4.12: Übersicht über den mittleren Chemismus der Grubenwässer am Gesenk 2. Sohle im Versuchszeitraum ÜH1 (05.11.03 bis 04.11.04, n = 51) und ÜH2 (13.04.05 bis 06.12.05, n = 16), Mittelwerte

	T [°C]	pH	Lf [µS/cm]	O2 [%]	Q [m <sup>3</sup> /h]	Schweb	HCO3-
SBÜ-ÜH1	8,8	6,17	620	11	64	3,2	43,9
SBÜ-ÜH2	8,8	6,13	584	9	83	3,3	32,7

	Fluorid	Chlorid	Nitrat	Sulfat	Na	K	Ca	Mg
SBÜ-ÜH1	9,2	21,4	3,0	265	13,3	5,2	84,5	19,6
SBÜ-ÜH2	8,8	21,1	4,0	243	13,3	5,0	75,4	17,3

	As_ges	As_gel	AsIII_gel	Fe_ges	Fe_gel
SBÜ-ÜH1	0,37	0,016	0,005	1,38	<0,1
SBÜ-ÜH2	0,36	0,022	0,005	0,94	<0,1

	Al_gel	Cd_gel	Co_gel	Cu_gel	Mn_gel	Ni_gel	Si_gel	Zn_gel
SBÜ-ÜH1	2,9	0,006	0,025	0,010	4,0	0,12	9,6	2,2
SBÜ-ÜH2	2,8	0,006	0,019	0,012	2,9	0,11	9,1	2,0

	Al_fra	Cd_fra	Co_fra	Cu_fra	Mn_fra	Ni_fra	Si_fra	Zn_fra
ÜH1	4807	10	40	20	6261	198	16561	3657
ÜH2	5484	11	36	24	5726	212	17966	4032

Der Vergleich der mittleren Elementgehalte ergibt am Wasseraufstiegspunkt Gesenk 2. Sohle (SBÜ) trotz unterschiedlicher Abflussverhältnisse nur einen geringen Unterschied zwischen den beiden Einleitphasen ÜH1 und ÜH2.

Interessante Veränderungen in der Wasserqualität am Gesenk 2. Sohle sind im Zeitraum August bis November 2004 zu beobachten, in dem der fast vollständige Verschluss der Sickerstelle QS 2002 eintrat und das gepumpte Wasser (bis zu 45 m<sup>3</sup>/h) zunehmend über die Strecke 2705 abfloss. Der Versturz erfolgte somit ortsnah zum Gesenk. Dazu kommt ein durch geringe Niederschläge bedingter geringer Abfluss am Gesenk 2. Sohle (<50 m<sup>3</sup>/h). Die Abb. 4.26 zeigt die mittleren Durchflussmengen am Einleitpunkt (28), am Ausfluss Gesenk 2. Sohle, sowie am Mundloch des Tiefen Sauberger Stollns (TSB) während des gesamten Projektverlaufs sowie während der beiden Pumpversuche. Abb. 4.27 löst den in Abb. 4.26 gekennzeichnete Zeitabschnitt detailliert auf.

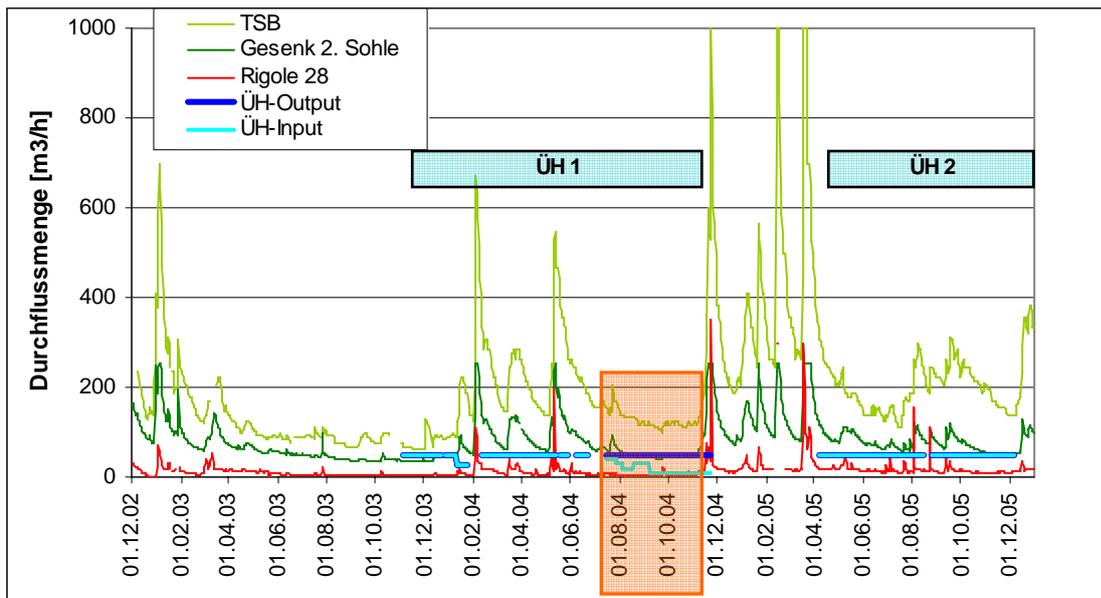


Abb. 4.26: Mittlere Tagesdurchflussmengen im Grubenbereich sowie Sickerwassereintrag an der Rigole 28

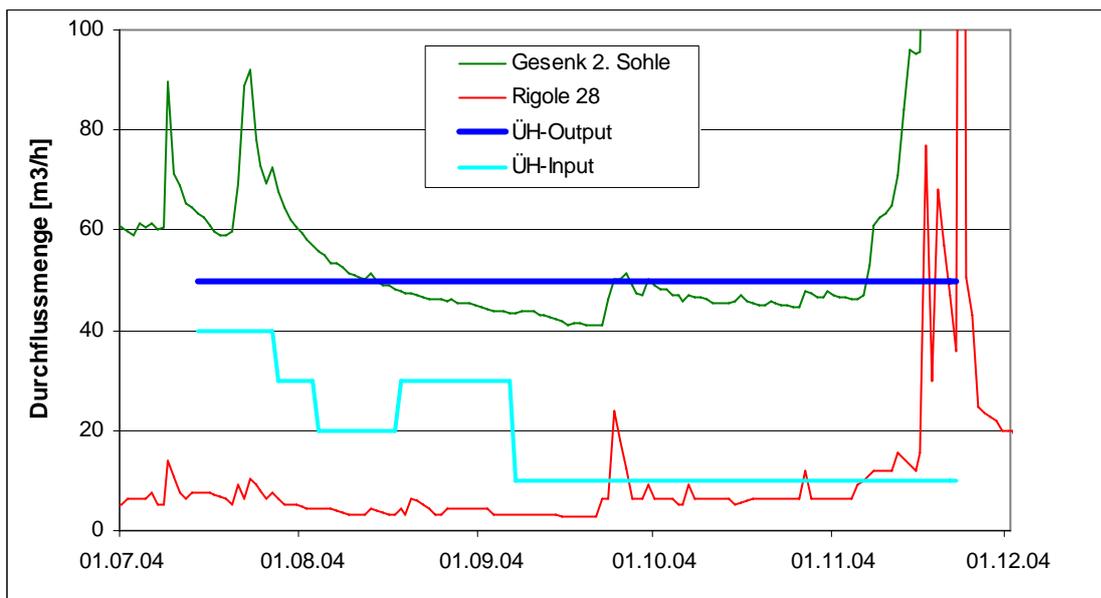


Abb. 4.27: Mittlere Tagesdurchflussmengen im Grubenbereich sowie Sickerwassereintrag an der Rigole 28 im Zeitraum Juli bis November 2004

Im Zeitraum Juli bis November 2004 sanken die gelösten As-Gehalte im ausfließenden Grubenwasser am Gesenk 2. Sohle unter 0,01 mg/l z. T. bis auf 0,003 mg/l ab (Abb. 4.28). In diesem Zeitabschnitt versickerte das gepumpte Wasser nach langem Fließweg auf der 2. Sohle wegen des Verschlusses der vorgesehenen Versturzstelle im Querschlag 2002 in der Nähe des Schachtes 2 in der Strecke 2705 deutlich näher zur Aufstiegsstelle im alten Gesenk. Das gleichzeitige Auftreten von erhöhten Gehalten an partikulärem Fe am Überlauf Gesenk 2. Sohle belegt, dass durch den veränderten Fließweg mit dem verstürzten Wasser zusätzlich Eisenhydroxidpartikel eingetragen wurden, diese zusätzlich noch gelöstes Arsen partikulär banden aber auf Grund des verbleibenden kurzen Fließweges nicht mehr sedimentieren konnten.



Grubenwässer am Gesenk. Die Konzentrationen der Elemente Cd, Co, Mn, Ni, Zn, Al lagen im Wasser aus dem ÜH 3-1314 generell unter denen im SBÜ. Die Cu- und Si-Konzentrationen unterschritten diese nach ca. einmonatiger Pumpzeit. Der Anteil der gelösten Fe- und As-Gehalte, die anfänglich mehr als 90 % der Gesamtgehalte ausmachte, erfuhr über den gesamten Versuchszeitraum eine stetige Abnahme um mindestens 30 %.

(3)

Ein zusätzliches Einbringen von Eisenhydroxid in das Grubenwasser, wie es unvorhergesehen durch den zunehmenden Verschluss der Versturzstelle erfolgte, führte zu einer weiteren Verringerung der gelösten Arsengehalte bis auf 0,003 mg/l. Eine technische Gestaltung dieses Prozesses dürfte nach Auswahl eines geeigneten Abproduktes (z.B. Rotschlamm aus der Aluminiumgewinnung) einfach zu realisieren sein.

## **4.5. Sedimentationsversuch Tiefer Sauberger Stolln**

### **4.5.1. Versuchskonzept**

Untersuchungen zur Partikelgröße am Gesenk 2. Sohle ergaben, dass die Mehrzahl der noch suspendierten Partikel im Partikelspektrum unter 10 µm lag. Der Verlauf des Tiefen Sauberger Stollns bot mit seiner langen Fließstrecke und dem geringem Gefälle eine Möglichkeit zur Errichtung einer Staustufe von ca. 35 cm Höhe für die Sedimentation dieser Partikel in einer strömungsberuhigten Zone. Die Effektivität dieser Einrichtung wurde mittels Sedimentationsfallen gemessen.

### **4.5.2. Durchführung**

Die Sedimentationsfalle, bestehend aus einem Haltegestell und 6 offenen PVC-Flaschen mit einer Gesamtöffnungsfläche von 678 cm<sup>2</sup>, wurde im Staubereich unmittelbar an der Innenseite des Überlaufs befestigt, so dass die Oberkante der Falle mindestens 5 cm unter dem Wasserspiegel lag.

Der Tiefe Sauberger Stolln ist im Teil der Neuauffahrung durchschnittlich ca. 2,50 m breit und wird auch auf voller Breite überflutet. Bei Normalwasser beträgt der auf ganzer Stollenbreite gestaute Bereich ca. 100 m, bei erhöhtem Abfluss (z.B. bei Gewitterregen) ca. 125 m. Der gestaute Bereich wurde mit einem 140 m langen Holzsteg überbaut, um eine Befahrung des Stollns ohne Sedimentaufwirbelungen zu ermöglichen und um am Wehr der Staustufe ungestörte Wasserproben (ST 2) entnehmen zu können. Gleichzeitig wurde bei jedem Flaschenwechsel auch am Beginn ca. 50 m oberhalb des Staubereichs eine Wasserprobe (ST 1) entnommen.

Der Einbau der Sedimentationsfalle erfolgte am 28.04.05. Die 6 Sedimentflaschen wurden alle 4 Wochen am 25.05., 22.06., 20.07., 17.08., 14.09, 12.10.05 gewechselt und zuletzt nach 8 Wochen am 06.12.05 ausgebaut. Nach Entnahme der Flaschen erfolgte die Trocknung der sedimentierten Rückstände, die Ermittlung der Quantität sowie der Qualität (Königswasser- auszug).

### 4.5.3. Ergebnisse

#### Wasserproben

Auf der ca. 200 m langen Fließstrecke mit ca. 100 m langem Staubereich zwischen ST1 und ST2 fand eine leichte Konzentrationsverringering der Elemente As und Fe statt. Die Gehalte nahmen um ca. 15 % ab. Das bedeutet, dass dieser Anteil im künstlichen Sedimentationsbecken zum Absetzen kam und dort verblieb. Andere Elemente wie Al, Cd, Co, Ni, Si und Zn verhielten sich nahezu unverändert. Die Konzentrationsabnahme bei Cu ist wegen der geringen Konzentration analytisch unsicher.

Auf dem Fließweg verminderte sich auch die Schwebmenge um durchschnittlich 0,6 mg/l. Zwischen den Punkten ST1 und ST2 werden rechnerisch ca. 10 % der Schwebmenge vom Ausgangspunkt ST1 abgesetzt (Tab. 4.13, Anlage 13).

Tab. 4.13: Mittlere Elementgehalte (Gesamtgehalte in mg/l) am Punkt ST1 und Elementverlust (mg/l bzw. %) auf der Fließstrecke im Staubereich zwischen ST1 und ST2 im Mittel im Zeitraum 11.05.-06.12.05

Element	As	Fe	Al	Mn	Cu	Zn
Gesamtgehalt ST1	0,328	0,920	2,57	2,68	0,015	1,88
Verlust zwischen ST1 und ST2	0,048	0,149	0,015	0,022	0,0012	0,0092
<b>prozentualer Verlust</b> zwischen ST1 und ST2	<b>14,6</b>	<b>16,2</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>8,0</b>	<b>0,5</b>

#### Sedimentationsproben – Quantität

Die quantitative Bestimmung der sedimentierten Ablagerungen (Tab. 4.14) ergab nach der Wägung der einzelnen Flascheninhalte (n = 6) eine mittlere Sedimentmenge von 15,5 mg/d\*Flasche bei einer mittleren Standardabweichung von 5 bis 11 %. Das entspricht hochgerechnet einer mittleren sedimentierten Menge von 8,6 g/d\*m<sup>2</sup>(Anlage 14).

Während der überstaute Bereich mindestens 250 m<sup>2</sup> beträgt, ist die Fläche, in der die Partikel sich absetzen und auch verbleiben können wesentlich geringer. Bei der Bilanzierung der Ablagerungen wird wegen der ungleichmäßigen Ausbildung des Untergrundes und der unterschiedlichen Strömungsverteilung nur eine Fläche von ca. 140 m<sup>2</sup> angenommen.

Bei Annahme einer flächendeckenden Ablagerung gleicher Dicke wurden über die gesamte Versuchsdauer von ca. 7 ½ Monaten ca. 260 kg Sediment im gestauten Bereich abgelagert.

Tab. 4.14: Quantifizierung des abgelagerten Materials in den Sedimentationsflaschen (n = 6) und Schätzung der abgelagerten Mengen im Staubereich

Serie	1	2	3	4	5	6	7
Tage	27	28	28	28	28	28	55
<b>Sedimentierte Menge in der Flasche</b>							
mg/Flasche	419	432	447	600	541	471	732
Stdw [%]	11	10	8	5	8	9	7
mg/d*Flasche	15,5	15,4	16,0	21,4	19,3	16,8	13,3
<b>Sedimentierte Menge flächenbezogen</b>							
g/d*m <sup>2</sup>	7,90	7,86	8,13	10,9	9,85	8,58	6,78
g/Zyklus*m <sup>2</sup>	213	220	228	306	276	240	373
m <sup>2</sup>	140	140	140	140	140	140	140
<b>Sedimentierte Menge absolut</b>							
kg/Zyklus	29,9	30,8	31,9	42,8	38,6	33,6	52,2

### Sedimentationsproben – Qualität

Die Analysen des sedimentierten Materials (nach Königswasserauszug) fasst Tab. 4.15 zusammen. Al und Fe bilden mit durchschnittlich 38,4 bzw. 24,3 % die Hauptbestandteile des Sedimentes. Das Sediment enthält auch mechanisch transportiertes Gesteinmehl, wodurch der hohe Gehalt an Al zu erklären ist. Die As-Gehalte liegen im Mittel bei 8,1 %. Nennenswert, auch bezüglich der Anforderungen der EU-WRRL, sind die mittleren Konzentrationen für Cu (1410 mg/kg) und Zn (6770 mg/kg), die ebenso wie As die Umweltqualitätsnorm überschreiten. Aus Sicht des geogenen Backgrounds (z.B. Turekian & Wedepohl, 1961) sind die Gehalte an Cd (28 mg/kg) und U (205 mg/kg) ebenfalls als erhöht einzustufen (Anlage 14). Die relative Standardabweichung zwischen den einzelnen Messzyklen liegt bei den meisten Elementen bei <10 %, lediglich für Cd schwanken diese stärker (30 %).

Tab. 4.15: Mittlere Elementgehalte des abgelagerten Materials in den Sedimentationsflaschen der sieben beprobten Zyklen (n = 7), Angaben in mg/kg

Element	Ag	Al	As	Cd	Co	Cu
Mittelwert	9,1	38400	80800	28,0	21,8	1410
Stabw [%]	11	18	9	30	17	9

Element	Fe	Mn	Ni	Pb	U	Zn
Mittelwert	243000	2230	89,9	606	205	6770
Stabw [%]	7	17	12	7	8	9

### Bilanzierung

Für den Versuch einer Bilanzierung werden alternativ zwei Varianten betrachtet.

Variante 1: Die im Staubereich zurückgehaltene Elementfracht im Untersuchungszeitraum wird aus dem Konzentrationsverlust der Elemente zwischen den Punkten ST1 und ST2 sowie dem mittleren Durchfluss berechnet.

Variante 2: Die abgelagerte Sedimentmenge und ihr Elementinhalt werden aus der geschätzten Fläche des Sedimentationsraumes und den mittleren Elementgehalten des in den Sedimentationsfallen enthaltenen Sedimentes berechnet.

#### Zu (1)

Für den Untersuchungszeitraum wurde für jeden beprobten Zyklus ein mittlerer Durchfluss berechnet. Zu den gemittelten Durchflussmengen am Gesenk 2. Sohle wurde der geschätzte und durch Stichproben belegte Zufluss am Alexander-Schacht addiert (ST1) (Abb. 4.29). Im ersten Zyklus wurde mit fast 100 m<sup>3</sup>/h die größte Durchflussrate ermittelt. Nach einem Absinken des Durchflusses in den nächsten beiden Zyklen bis auf 68 m<sup>3</sup>/h errechnet sich im Spätsommer 2005 durch einige Starkniederschläge ein durchschnittlicher mittlerer Abfluss von 90 m<sup>3</sup>/h ein. Im letzten Zyklus sinkt der Durchfluss auf ein niedriges Niveau von 58 m<sup>3</sup>/h ab.

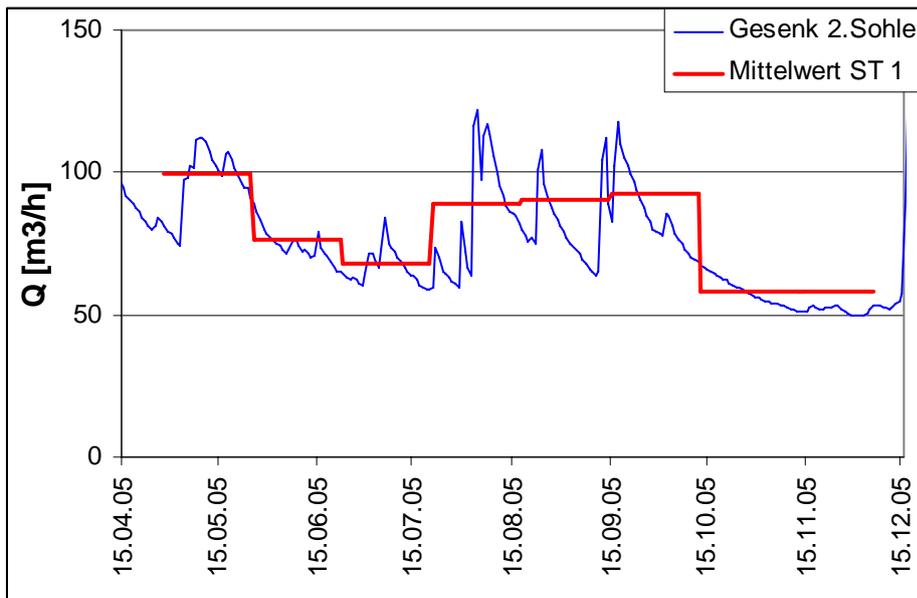


Abb. 4.29: Gemessener Durchfluss (Tagesmittelwerte) am Gesenk 2. Sohle und über den Zyklus der Probenahme gemittelter Durchfluss am Punkt ST1

Gemittelt über den gesamten Untersuchungszeitraum vom 28.04. bis 06.12.05 errechnet sich eine mittlere Durchflussrate von  $79 \text{ m}^3/\text{h}$ . Bei einer zurückgehaltenen Schwebmenge von durchschnittlich  $0,6 \text{ mg/l}$  ergibt sich eine sedimentierte Schwebfracht von  $47,4 \text{ g/h}$ . Hochgerechnet auf 222 Tage wurde ca.  $250 \text{ kg}$  Material im Sedimentationsraum abgelagert.

Diese Menge deckt sich fast mit der aus den Sedimentationsflaschen gewonnenen und über den gestauten Bereich hochgerechneten Menge von  $260 \text{ kg}$ .

Für die in Tab. 4.16 aufgeführten Elemente, deren Konzentrationen auf der Fließstrecke zwischen ST1 und ST2 abnehmen, lässt sich die zurückgehaltene Fracht berechnen. Demnach wurden auf dem gestauten Abschnitt des Tiefen Sauberger Stollns in den  $7 \frac{1}{2}$  Monaten ca.  $3,8 \text{ g/h}$  As (absolut  $20 \text{ kg}$ ) und  $11,8 \text{ g/h}$  Fe (absolut  $63 \text{ kg}$ ) belassen. Der Rückhalt der Elemente Mn, Al, Zn, Cu ist gering (absolut  $<10 \text{ kg}$ ).

Zu (2)

Nimmt man die aus den Sedimentationsflaschen und der Staufläche ermittelte sedimentierte Menge von  $250 \text{ kg}$  Material an, lässt sich zusammen mit den königswasserlöslichen Elementgehalten die abgesetzte Elementmenge errechnen. Ins Gewicht fallen hier nur die Elemente Fe mit  $61 \text{ kg}$ , As mit  $20 \text{ kg}$  und Al mit  $10 \text{ kg}$ . Alle anderen Elemente liegen unter  $2 \text{ kg}$ .

Beim Vergleich der beiden Methoden stimmen die absolut im Staubereich zurückgehaltenen As- und Fe-Mengen auffallend gut überein.

Tab. 4.16: Frachtbilanz für die Fließstrecke ST1 – ST2

Element	As	Fe	Al	Mn	Cu	Zn
<b>(1)</b>						
Verlust zwischen ST1 und ST2 (mg/l)	0,048	0,149	0,015	0,022	0,0012	0,0092
zurückgehaltene Fracht (g/h)	3,792	11,771	1,185	1,738	0,0948	0,7268
<b>absolut zurückgehalten (kg)</b>	<b>20,2</b>	<b>62,7</b>	<b>6,3</b>	<b>9,3</b>	<b>0,5</b>	<b>3,9</b>
<b>(2)</b>						
Elementgehalt (mg/kg)	80800	243000	38400	2230	1410	6770
<b>abgelagert bei 250 kg Sediment (kg)</b>	<b>20,2</b>	<b>60,8</b>	<b>9,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>	<b>1,7</b>

#### 4.5.4. Bewertung und Schlussfolgerungen

Die zusätzlichen Untersuchungen zur Wirkung einer strömungsberuhigten Zone im Abstrom weisen eine weitere Möglichkeit zur Rückhaltung von Hydroxidpartikeln und zur weiteren Reinigung des Grubenwassers nach.

Im konkreten Versuchfall wurden ca. 15 % der am Punkt Eintrittspunkt ermittelten Gesamtkonzentration an As und Fe zurückgehalten.

Während einer Versuchsdauer von 7 ½ Monaten wurden auf einer effektiv strömungsberuhigten Fläche von ca. 140 m<sup>2</sup> ca. 250 kg Material abgelagert, welches neben ca. 60 kg Fe auch ca. 20 kg As enthielt, die somit nicht in die Umwelt ausgetragen wurden.

Die große Länge des Tiefen Sauberger Stollns bietet die Möglichkeit zur Errichtung mehrerer derartiger kleiner Staustufen, so dass hierdurch und durch optimale Gestaltung der Stollensohle über ihre gesamte Breite dieser Rückhalteeffekt noch deutlich verstärkt werden könnte. Nach Ansammlung von erheblichen Sedimentmengen könnten diese nach Aufwirbelung in geeignete Überhauen (äquivalent zum Pumpversuch ÜH 2) verbracht werden.

#### 4.6. Tracerversuche

Vom 02.06. - 25.06.2004 führte die Abteilung Hydrogeologie der Technischen Universität Bergakademie Freiberg im Auftrag der Zinnerz Ehrenfriedersdorf GmbH einen Multi-Tracerversuch im Sauberger Grubenrevier und im Westfeld durch (Hasche & Wolkersdorfer 2004).

Es kamen als Feststofftracer 15 µm große fluoreszierende Mikrosphären (Triton Technology Dye-Trak VII+ fluorescent microspheres und Molecular Probes FluoSpheres® der Firma Triton Technology Inc., 4616 Santa Fe Street, San Diego CA 92109) verschiedener Farben zum Einsatz. Tab. 4.17 zeigt die Aufgabestellen der Mikrosphären.

Tab. 4.17: Übersicht über die Aufgabestellen und den Typ der Mikrosphären

<b>Aufgabestellen</b>	<b>Versuchsbeginn</b>	<b>Mikrosphären-Typ</b>
Übertägige Versturzsstelle des Haldensickerwassers (28)	03.06.2004 11:21 Uhr	20 ml Mikrosphären „Tangerine“ Dye-Trak VII+
Untertägiges Gangkreuz Querschlag 2009 / Reichzechner Gangzug	03.06.2004 13:21 Uhr	10 ml Mikrosphären „Red“ FluoSpheres®
Untertägige Versturzsstelle des im Westfeld gepumpten Wassers im Querschlag 2002	09.06.2004 10:30 Uhr	20 ml Mikrosphären „White“ Dye-Trak VII+

Zum Nachweis der Feststofftracer erfolgte an der Probenahmestelle Gesenk 2. Sohle eine kontinuierliche Wasserentnahme durch eine Minipumpe und Anreicherung in einem Filtersystem (MEFISTO). Im Zeitraum vom 02.06. bis 25.06.2004 wurde am Überlauf somit eine Gesamtwassermenge von 47.900 m<sup>3</sup> detektiert.

Eine zweite Pumpe wurde zwischen dem 16.06. und dem 25.06.2004 am Überhauen ÜH3-1314 installiert, um einen eventuellen Wasserkurzschluss zwischen der Pumpstelle ÜH3-1314 und der Versturzsstelle im QS2002 nachzuweisen. Hiermit wurden 4.700 m<sup>3</sup> Grubenwasser auf Mikrosphären kontrolliert.

Die Ergebnisse des Multi-Tracertests lassen sich wie folgt zusammenfassen:

(1)

Zwischen dem Gangkreuz Querschlag 2009 / Reichzechner Gang und Gesenk 2. Sohle bestehen überwiegend gute hydraulische Verbindungen. Bereits zwei Stunden nach Aufgabe der Mikrosphären wurden diese im Grubenwasser am Gesenk 2. Sohle wieder gefunden. Die rasche Wiederfindung klingt nach 40 Stunden nahezu vollständig ab. Einzelne Mikrosphärenschübe wurden nach 148 bzw. 184 Stunden beobachtet. Dies zeigt, dass für das eingeleitete Wasser offensichtlich verschiedene untertägige Fließwege zum Gesenk 2. Sohle existieren. Gemäß dieser detektierten Unterschiede wurden rechnerisch Fließgeschwindigkeiten von 0,03 bis 1,5 m/min ermittelt. Die Wiederfindungsrate der Mikrosphärentracer im Beobachtungszeitraum betrug ca. 47 %.

(2)

Während des 23tägigen Versuchszeitraumes konnte keine Verbindung von der übertägigen Versturzstelle (28) zum Gesenk 2. Sohle nachgewiesen werden, d.h. es wurde kein Tracer wieder gefunden. Mehrere Möglichkeiten, die eine Erklärung für dieses Ergebnis zulassen, sind denkbar: zu kurze Versuchsdauer, Tracer adsorbiert am Eisenhydroxidschlamm und verbleibt aufgrund zu enger Fließwege im Grubengebäude. Die erste Hypothese ist unwahrscheinlich, denn die Ergebnisse aus dem Sickerwasserversturz ab Dezember 2002 zeigten, dass es nach ca. einer Woche am Gesenk 2. Sohle zu einem stofflichen Effekt kam, der durch die erhöhte Leitfähigkeit der Haldensickerwässer gegenüber den Grubenwässern herbeigeführt wurde. Ob die anderen Möglichkeiten bzw. deren Kombination der Realität am nächsten kommen, ist für den erzielten Effekt eines Rückhalts der 15 µm großen Partikel im Grubengebäude sekundär.

(3)

Es kamen keine Tracer von der Aufgabestelle QS 2002 an der zusätzlich eingerichteten Entnahmestelle am Überhauen ÜH3-1314 an. Damit kann mit großer Sicherheit ausgeschlossen werden, dass durch das Abpumpen ein hydraulischer Kurzschluss zwischen den beiden Stellen existiert. Aufgrund laborativ verschleppter Tracerpartikel und einer minimalen Wiederfindungsrate von <0,5 % ist der endgültige Beweis der Ankunft der Tracerpartikel am Gesenk 2. Sohle nicht gegeben. Bei der Aufgabestelle QS2002 ist ebenfalls zu vermuten, dass sich die freien Fließwege durch die bereits andauernde Einleitung der eisenhydroxidpartikelhaltigen Haldensicker- bzw. Grubenwasser soweit zugesetzt hatten, dass die eingetragenen 15 µm großen Tracerpartikel im Grubengebäude verblieben.

## 5. Empfehlungen für die Anwendung des Verfahrens

Die nachgewiesene Funktionsfähigkeit des Verfahrens erlaubt seine Anwendung in anderen Problemfällen, wobei verschiedene Bedingungen hinsichtlich der Zusammensetzung des Wassers und der Gegebenheiten in der gefluteten Grube gewährleistet sein müssen.

Grundvoraussetzung für den Fällungsprozess der Hydroxide sind ausreichende, d.h. in Relation zu den Belastungselementen überschüssige Konzentrationen an Fe und möglichst Al. Als Orientierung kann ohne die noch durchzuführenden systematischen Untersuchungen der Faktor  $>10$  angesehen werden. Bei der Fällung von Fe- und Al-Hydroxid erfolgt in Abhängigkeit von der jeweiligen Wasserzusammensetzung eine Verringerung der gelösten Anteile für die Elemente Fe, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, (U z. T.), Zn bis zu  $> 90 \%$ .

Die hohen Fe-Konzentrationen liegen in den Wässern als Fe(II) vor, weshalb die Zufuhr von ausreichend Luft und eine evtl. nötige Anhebung des pH-Wertes in den Bereich 6 – 7 sowie dessen Pufferung gewährleistet werden müssen. Für die Wirksamkeit des Al ist eine möglichst niedrige Konzentration von  $F^-$  die Grundvoraussetzung. Anderenfalls erfolgt für verschiedene Elemente nur eine unzureichende oder keine Bindung an das ausfallende Hydroxid. Die Wirksamkeit des Verfahrens bleibt dann auf As, Pb, Cu und Cr beschränkt.

Im Bereich der gefluteten Grube sind Wegsamkeiten (Überhauen, Bruchzonen, Bohrungen) für das Einbringen des konditionierten Wassers in große Hohlräume (Abbaukammern, Stollen) mit möglichst geringer Durchströmung bereitzustellen. Auch bei Starkniederschlägen sollte der ausgewählte Bereich möglichst wenig betroffen werden. Die ausgewählten Bereiche sollten zur langzeitstabilen Ablagerung der mit Belastungselementen beladenen Hydroxidseimente zumindest keine stark reduzierenden und sauren Bedingungen aufweisen. Für die Auswahl dieser Bereiche bietet ein Strömungsmodell der gefluteten Gruben die günstigsten Voraussetzungen.

Der Austrag von kleinsten Hydroxidpartikeln ( $<5 \mu\text{m}$ ) dürfte auch bei geringer Strömung nicht völlig auszuschließen sein, weshalb weitere Sedimentationsbereiche im Abfluss den Effekt noch verbessern können.

Werden an dem Verfahren sowohl Oberflächen- als auch Grubenwässer – letztere zählen obwohl stark mit umweltrelevante Elementen belastet nach gesetzlicher Definition als Grundwässer - beteiligt, ist eine überzeugende Kooperation mit den zuständigen Behörden ebenfalls eine Grundvoraussetzung für die Akzeptanz und Betriebserlaubnis.

## 6. Weiterer Forschungsbedarf

Im Verlauf der Forschungsarbeiten haben sich für verschiedene Problemkreise Kenntnislücken ergeben, die nur durch systematische Untersuchungen geschlossen werden können. Ohne eine detaillierte Darstellung sollen diese nachfolgend benannt werden.

Die wenig bekannten Beziehungen zwischen der realen Wasserzusammensetzung, der Fällung von Fe- und Al-Hydroxid und der Bindung von umweltrelevanten Elementen sind systematisch experimentell und thermodynamisch modellierend zu untersuchen.

Ebenso bedarf die Stabilität der Elementbindungen an die Hydroxide besonders im Hinblick auf die erforderlichen Lagerungsbedingungen einer komplexen Untersuchung unter Einbeziehung aller in Betracht kommenden umweltrelevanten Elemente. Hierzu wird die Aufklärung der Bindung der adsorbierten Elemente an die Hydroxide selbst erforderlich

Die Optimierung der Flockung und Sedimentation der Hydroxidpartikel bildet einen entscheidenden Faktor für die Effektivität des Elementrückhaltes. Insbesondere technische und/oder chemische Möglichkeiten, den selbst bei geringer Wasserbewegung schlecht sedimentierenden Feinanteil  $<5 \mu\text{m}$  noch abzuscheiden, werden benötigt.

Für die Nutzung des Reaktions- und Sedimentationsraumes „geflutete Grube“ werden Strömungsmodelle benötigt, die eine optimale Gestaltung der Strömungswege und der Sedimentationsräume ermöglichen, was bei bereits gefluteten Gruben nur noch in begrenztem Umfang möglich ist.

## 7. Zusammenfassung

Mit dem Projekt „Entwicklung eines Verfahrens zur Behandlung von Gruben- und Haldensickerwasser“ wurden erstmals in einem Langzeitversuch die Möglichkeiten zur Reinigung von As- und schwermetallbelasteten Bergbauwässern auf der Basis von Fe- und Al-Hydroxidfällungen ohne Zusätze von Chemikalien unter Nutzung der gegebenen Möglichkeiten innerhalb eines gefluteten Grubenraumes am Beispiel der Zinnerzgrube Ehrenfriedersdorf getestet.

Die Versuche belegen die Funktionsfähigkeit des Verfahrens, dessen Wirkungsfaktor deutlich von der jeweils gegebenen Wasserzusammensetzung beeinflusst wird. Gruben- und Haldensickerwässer verfügen mit ihren Fe- und Al-Gehalten über ein systeminternes Selbstreinigungspotential durch Hydroxidfällung zur Bindung und Abscheidung von Belastungselementen wie As, Pb, Cd, Co, Cu, Ni, Mn, Zn und weiterer.

Auf der Basis von Wasseranalysen und einfachen Fällungsversuchen mit Bergbauwässern aus verschiedenen Erzprovinzen konnten Bewertungskriterien für die erreichbaren Abreicherungsraten für verschiedene Elemente abgeleitet werden. Die Versuche zeigen deutliche Beziehungen der Reinigungseffekte zur konkreten Wasserzusammensetzung auf, die bei modellierenden Betrachtungen bisher nicht berücksichtigt wurden.

Eine optimale Verringerung kann für die Mehrzahl der Elemente bei einer kombinierten Fällung von Fe- und Al-Hydroxid erreicht werden. Als wesentliche stofflich bedingte Einflussgrößen auf die erfassbare Elementpalette und die Ausbeute der Fällung / Abreicherung haben sich der pH-Wert, die O<sub>2</sub>-Konzentration, die Konzentration von Fe und Al sowie deren Verhältnis zu den Belastungselementen und der Gehalt an F<sup>-</sup> herausgestellt.

Zusätzlich müssen strömungsberuhigte Bereiche innerhalb des Flutungsraumes bereitstehen bzw. geschaffen werden, in denen die physikochemischen Parameter die langzeitige stabile Lagerung der hydroxidischen Sedimente gewährleisten.

Die Erprobung des Verfahrens unter Realbedingungen wurde mit Haldensickerwässern in der Grube Ehrenfriedersdorf durchgeführt. Die Ergebnisse entsprechen der aus den Laborversuchen abzuleitenden Vorhersage und weisen die Durchführbarkeit des Prozesses „Oxidation, Hydrolyse, Flockung und Ausfällung des Eisens als Hydroxid“ im gefluteten Grubenraum nach. Bedingt durch die hohen Gehalte an F<sup>-</sup> im Wasser der Modellgrube kommt es nur zu einer Fe-Hydroxidfällung verbunden mit einer As-Abreicherung. Es erfolgt keine entscheidende Ausfällung von Al-Hydroxid. Die Elemente Cd, Co, Ni, Mn und Zn verbleiben gelöst im Wasser. Die Restgehalte des mit dem Grubenwasser ausgetragenen Arsens und Eisens werden fast ausschließlich in partikulärer Form (Partikelgröße <5 µm) transportiert. Das im gefluteten Grubenraum sedimentierte Eisenhydroxid zeigt keine Remobilisierungserscheinungen und wird bei erhöhtem Wasseranfall nicht ausgespült. Die im Versuchszeitraum von drei Jahren erhaltenen Ergebnisse erlauben den Einsatz des Verfahrens im Dauerbetrieb.

Im Verlauf des dreijährigen Versuches wurden die Haldensickerwässer der Spülhalden in die Grube verbracht und gereinigt. Überschlägig wurden dort mindestens 250 kg As zurückgehalten und nicht in das Oberflächengewässer (Seifenbach – Wilisch – Zschopau – Mulde – Elbe) eingeleitet.

Zur Unterstützung des bereits in der Grube nachweislich ablaufenden Reinigungsprozesses erfolgten innerhalb der Grube Versuche, durch Eintrag von Luft in das Grubenwasser die

Oxidation und Ausfällung von Eisen und damit die As-Abreicherung in ausgewählten Feldesteilen zu intensivieren. Dazu wurde im Sauberg/ Westfeld in großer Entfernung vom Überlauf Grubenwasser (50 m<sup>3</sup>/h) auf das Niveau der 2. Sohle gepumpt und an Stoß und Firste zur Luftaufnahme verspritzt. Das langsam im Gerinne der 2. Sohle abfließende Wasser wurde nach Fließwegen unterschiedlicher Länge in Überhauen verstrützt und so dem Grubenwasser wieder zugeführt. Der angestrebte Prozess „Oxidation, Hydrolyse, Flockung und Ausfällung Eisen als Hydroxid einschließlich der Arsenbindung“ erfolgte nachweisbar bereits während des Fließweges im Gerinne, war aber als Anteil in der Gesamtbilanz am Überlauf nicht nachweisbar, weshalb ein möglichst langer offener und kontrollierbarer Fließ- und Sedimentationsweg mit geringer Fließgeschwindigkeit bei Nutzung der gesamten Sohlenbreite als Sedimentationsfläche empfohlen wird.

Die im Grubenwasser am Überlauf noch enthaltenen Fe- und As-Konzentrationen variieren zwischen 0,8 und 2,1 bzw. 0,25 und 0,45 mg/l, die im Mittel zu 85 bzw. 96 % partikulär (>0,45 µm) gebunden sind. Mit ergänzenden Versuchen wurde die Möglichkeit geprüft, durch Schaffung von Beruhigungs- und Sedimentationszonen im Ablaufstollen weitere Anteile zurückzuhalten. In dem nicht optimierten Staubereich von 100 m Länge konnten bei einem mittleren Abfluss von 79 m<sup>3</sup>/h ca. 250 kg Sediment und damit 20 kg As innerhalb von 7,5 Monaten zusätzlich zurückgehalten werden. Weitere Verbesserungen sind möglich.

Zur Reinigung der Sedimentationsbereiche kann das abgelagerte, mit As belastete Eisenhydroxid mit einem scharfen Wasserstrahl aufgewirbelt und zur Deponierung in Überhauen verstrützt werden. Die über den gesamten Pilotversuch von drei Jahren stabile Situation belegt, dass die Lagerungsbedingungen keine Remobilisierung aus den Sedimenten verursachen.

Für die Anwendung des Verfahrens und Übertragung auf andere Problemfälle werden Empfehlungen für die Voruntersuchungen der Wässer und die Gestaltung der Anlage gegeben.

Hinweise für die weitere Verbesserung des Verfahrens durch ergänzende Untersuchungen sowie für die noch erforderliche Grundlagenforschung werden mitgeteilt.

## Literaturverzeichnis

Beuge, P.; Greif, A.; Hoppe, T.; Klemm, W.; Kluge, A.; Martin, M.; Mosler, U.; Starke, R.; Alfaro, J.; Anders, B.; Behrens, K.; Grunwald, N.; Haurand, M.; Knöchel, A.; Meyer, A.; Potgeter, H.; Staub, S.; Stocker, M. (1999): Die Schwermetallsituation im Muldesystem. - TU Bergakademie Freiberg und Universität Hamburg, Bd. 1-3

Beuge, P.; Klemm, W.; Degner, Th.; Scheel, M.; Baacke, D.; Calmano, W.; Zoumis, Th.; Michel, Arevalo de, A. M.; Knöchel, A.; Cichon, M. (2001): Entwicklung geochemischer Methoden zur naturnahen Schadstoffdemobilisierung im Muldesystem. - Abschlußbericht zum BMBF-Forschungsprojekt, TU Bergakademie Freiberg, TU Hamburg-Harburg und Universität Hamburg

Bombach, G.; Klemm, W.; Greif, A. (2005): An analytical procedure for separation and determination of As(III) and As(V) in seepage and acid mine drainage water. - *Microchim. Acta* 151, 203-208

Drever, J.I. (1997): The geochemistry of natural waters. Surface and groundwater environments. - 3<sup>rd</sup> edition, Prentice Hall, New Jersey

Dzombak, D.A.; Morel, F. M. M. (1990): Surface complexation modelling. - John Wiley & Sons, New York

EcoConcept (2004): Verbringung von Haldensickerwässern im Revier Sauberg E-Feld der Zinnerz Ehrenfriedersdorf GmbH. – Abschlussbericht zum Pilotversuch, EcoConcept GmbH, Chemnitz

Hasche, A.; Wolkersdorfer, Ch. (2004): Multitracerversuch Ehrenfriedersdorf/ Erzgebirge. – Unveröff. Bericht, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie

Hüttl, M.; Paul, M. (2004): WBA Ronneburg – Wasserbehandlung nach dem HDS-Verfahren. – in: Merkel, B. et al.: GIS – Geoscience Applications and Developments / Treatment Technologies for Mining Impact Water. – *Wiss. Mitteilungen Inst. f. Geologie* 25, 101-106

Hösel, G: (1994): Das Zinnerz-Lagerstättengebiet Ehrenfriedersdorf/Erzgebirge. - Bergbaumonographie im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie und des Oberbergamtes Freiberg

Jekel, M. (1994) in Nriagu, J.O.: Arsenic in the environment. - Vol. 26, John Wiley & Sons Inc., New York, Chapter 7

Klemm, W. (1993): Untersuchungen zur Erfassung und Analyse von Ausfällungsprodukten der Spülhalden 1 und 2 der Zinnerz Ehrenfriedersdorf GmbH. - Unveröff. Forschungsbericht, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Mineralogie

Klemm, W.; Krellmann, Y. (2002): Investigation into seepage water acidification of a tailing dam of the tin ore processing. - In: Merkel, B.J.; Planer-Friedrich, B.; Wolkersdorfer, Ch.(Ed.): Uranium in the aquatic environment. - Springer Verlag Berlin, 1101-1108

Köckritz, V.; Schaber, A.; Klemm, W. (1995): Gutachten zum Langzeitverhalten von arsenbelasteten Sedimenten in den Spülhaldenwässern bei Verbringung der Wässer in das Grubenge-

bäude Ehrenfriedersdorf. - Unveröff. Bericht, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau, Institut für Mineralogie

Köckritz, V.; Schaber, A.; Klemm, W. (1996): Gutachten zum Langzeitverhalten von arsenbelasteten Sedimenten in den Spülhaldenwässern bei Verbringung der Wässer in das Grubengebäude Ehrenfriedersdorf und zur Modellierung der Strömungsvorgänge bei der Sickerwasser-einleitung in den unverfüllten Grubenbau, Magazinabbau 3213, Leimgrübner -Zwitterzug. - Unveröff. Bericht, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau, Institut für Mineralogie

Köckritz, V.; Schaber, A.; Klemm, W. (1995): Nachtrag zum Gutachten zum Langzeitverhalten von arsenbelasteten Sedimenten in den Spülhaldenwässern bei Verbringung der Wässer in das Grubengebäude Ehrenfriedersdorf. - Unveröff. Bericht, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau, Institut für Mineralogie

Köckritz, V.; Klemm W. (2000): Geotechnische und geochemische Untersuchungen zur Verbringung von Haldensickerwässern der Spülhalden 1 und 2 in das untertägige Grubengebäude.- Unveröff. Bericht, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau und Institut für Mineralogie

Krellmann, Y. (2001): Geochemische und mineralogische Untersuchungen an Spülhalden der Zinnerzaufbereitung zur Verringerung des Arsenaustrages durch Sickerwässer. - Unveröff. Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Mineralogie

Langmuir, D. (1997) : Aqueous environmental geochemistry. - Prentice Hall, New Jersey

Merkel, B.J.; Planer-Friedrich, B. (2002): Grundwasserchemie. - Springer Verlag Berlin

Oblasser, A. (2001): Untersuchungen des Einflusses von Gruben- und Haldensickerwässern auf Boden und Pflanzen im Gebiet von Oruro/Bolivien. - Unveröff. Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Mineralogie

Scheffer, F.; Schachtschabel, P. (1989): Lehrbuch der Bodenkunde. - Enke-Verlag, Stuttgart

Schreiber, M. (2002): Untersuchungen zur Schwermetall- und Arsen- Mitfällung durch Eisenoxidhydrat in Haldensicker- und Grubenwässern.- Unveröff. Studienarbeit, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Mineralogie

Sigg, L.; Stumm W. (1994): Aquatische Chemie. - VDF Zürich, Teubner-Verlag Stuttgart

Stumm, W. (1992): Chemistry of the solid – water interface. - John Wiley & Sons, Inc.

Turekian, K.H.; Wedepohl, K.H. (1961): Distribution of elements in some major units of the earth's crust. - Geol. Soc. Am. Bull. 72, 175-192

Zuomis, Th. (2003): Entwicklung aktiver Barrieren für die Entfernung von Schwermetallen aus Grubenwässern am Beispiel der Freiburger Grube, Sachsen. - Verein Deutscher Ingenieure: Fortschrittsberichte VDI/1115, 2

## Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall „Ehrenfriedersdorf“
Anlage 2	Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall „Wismut“
Anlage 3	Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall „Oruro/Bolivien“
Anlage 4	Zeitliche Entwicklung des Haldensickerwassers der Spülhalde 2 – Punkt 30 (1992-2005)
Anlage 5	Zeitliche Entwicklung des Haldensickerwassers der Spülhalde 1 – Punkt 33 (1993-2005)
Anlage 6	Zeitliche Entwicklung des Gesamtsickerwassers - Rigole 28 (1992-2000)
Anlage 7	Zeitliche Entwicklung des Gesamtsickerwassers - Rigole 28 (Dez. 2002-2005)
Anlage 8	Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle (1996-2001)
Anlage 9	Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle (Dez. 2002-2005)
Anlage 10	Zeitliche Entwicklung des gepumpten Grubenwassers am ÜH 3-1314 (2003-2005)
Anlage 11	Zeitliche Entwicklung des gepumpten Grubenwassers im QS 2002 und bis STR 2705 (2003-2004)
Anlage 12	Zeitliche Entwicklung des gepumpten Grubenwassers am ÜH 3-1312N (2005)
Anlage 13	Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Ein- und Ausgang des Sedimentationsbereichs im Tiefen Sauberger Stolln (2005)
Anlage 14	Chemische Zusammensetzung der in den Fallen zurückgehaltenen partikulären Substanz (2005)

## Verwendete Abkürzungen in den Anlagen

f	filtriert (<0,45 µm)
nb	nicht bestimmt
dot	dotiert, vgl. Kapitel 3.1.
+Ca	Calciumzugabe, vgl. Kapitel 3.1.
KS	Säureneutralisationskapazität
3.S.	3. Sohle
gel	gelöst (<0,45 µm filtriert)
ges	gesamt (unfiltrierte Probe)
*	Bestimmung mit ICP-MS

## Anlage 1: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Ehrenfriedersdorf" (Schreiber, 2002)

**Tabelle 1: Ergebnisse der Standversuche für Probe 28 original**

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
28 (f)	0	9,90	8,50	0,77	0,500	2,93	12,9	0,28	0,20	8,04	5,86	0,0075	<0,05	<0,01	<0,01	6,3
28 (f)	12	3,70	3,70	0,25	0,192	2,93	12,8	0,28	0,20	7,51	5,57	0,0075	<0,05	<0,01	<0,01	6,2
28 (f)	24	3,58	3,45	0,25	0,153	2,93	12,6	0,28	0,20	7,99	5,54	nb	<0,05	<0,01	<0,01	5,9
28 (f)	48	1,83	1,83	0,12	0,099	2,93	12,9	0,28	0,20	8,04	5,50	nb	<0,05	<0,01	<0,01	6,1
28 (f)	96	0,63	0,63	0,058	0,084	2,93	11,7	0,28	0,20	7,85	5,60	nb	<0,05	<0,01	<0,01	5,9
28 (f)	144	0,038	<0,1	0,005	0,001	2,93	12,7	0,28	0,20	7,60	5,65	0,0070	<0,05	<0,01	<0,01	5,5

**Tabelle 2: Ergebnisse der Standversuche für Probe 28 dotiert**

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
28 dot (f)	0	9,90	8,50	0,77	0,500	2,93	12,9	0,28	0,20	8,02	5,84	1,00	1,00	1,00	<0,01	6,2
28 dot (f)	12	1,68	1,63	0,11	0,070	2,93	11,5	0,28	0,19	7,64	5,56	0,87	0,054	0,68	<0,01	5,8
28 dot (f)	24	1,65	1,63	0,11	0,070	2,93	11,2	0,28	0,19	7,81	5,63	nb	0,050	0,67	<0,01	5,7
28 dot (f)	48	1,03	0,98	0,082	0,070	2,93	11,8	0,28	0,19	7,62	5,60	nb	0,078	0,69	<0,01	5,8
28 dot (f)	96	0,29	0,29	0,070	0,054	2,93	12,9	0,28	0,19	7,74	5,84	nb	0,098	0,74	<0,01	5,6
28 dot (f)	144	0,021	<0,1	0,016	0,003	2,93	12,2	0,28	0,19	7,50	5,69	nb	0,094	0,80	<0,01	5,4

## Anlage 1: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Ehrenfriedersdorf" (Schreiber, 2002) (Fortsetzung)

Tabelle 3: Ergebnisse der Standversuche für Probe 28 bei einem pH-Wert von 7,5

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
28 pH 7,5 (f)	0	9,90	8,50	0,77	0,50	2,93	12,9	0,28	0,20	8,04	5,86	0,0075	<0,05	<0,01	<0,01	7,5
28 pH 7,5 (f)	12	0,054	<0,1	0,24	0,18	0,34	12,4	0,23	0,17	5,72	3,34	0,0075	<0,05	<0,01	<0,01	7,0
28 pH 7,5 (f)	24	0,046	<0,1	0,24	0,16	0,32	12,3	0,22	0,17	5,97	3,34	nb	<0,05	<0,01	<0,01	7,0
28 pH 7,5 (f)	48	<0,005	<0,1	0,24	0,10	0,24	12,7	0,22	0,17	5,93	3,27	nb	<0,05	<0,01	<0,01	7,1
28 pH 7,5 (f)	96	<0,005	<0,1	0,11	0,030	0,18	12,8	0,22	0,17	5,49	3,09	nb	<0,05	<0,01	<0,01	7,2
28 pH 7,5 (f)	144	<0,005	<0,1	0,031	0,003	0,10	12,9	0,22	0,17	4,96	2,89	0,0072	<0,05	<0,01	<0,01	7,1

Tabelle 4: Ergebnisse der Standversuche für Probe 28 dotiert bei einem pH-Wert von 7,5

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
28 pH 7,5 dot (f)	0	9,90	8,50	0,77	0,50	2,93	12,9	0,28	0,20	8,04	5,86	1,00	1,00	1,00	<0,01	7,5
28 pH 7,5 dot (f)	12	0,028	nb	0,25	0,13	0,15	12,3	0,22	0,16	5,25	2,94	0,72	<0,05	0,017	<0,01	6,9
28 pH 7,5 dot (f)	24	0,027	nb	0,25	0,13	0,15	12,9	0,23	0,17	5,81	3,11	nb	<0,05	0,014	<0,01	7,0
28 pH 7,5 dot (f)	48	0,026	nb	0,23	0,12	0,10	12,4	0,22	0,17	5,85	2,98	nb	<0,05	0,013	<0,01	7,1
28 pH 7,5 dot (f)	96	0,021	nb	0,20	0,11	0,070	12,2	0,22	0,16	5,11	2,82	nb	<0,05	0,012	<0,01	7,1
28 pH 7,5 dot (f)	144	<0,005	nb	0,044	0,003	0,056	12,7	0,21	0,17	4,41	2,58	0,68	<0,05	0,010	<0,01	7,1

## Anlage 1: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Ehrenfriedersdorf" (Schreiber, 2002) (Fortsetzung)

Tabelle 5: Ergebnisse der Standversuche für Probe 28 und Ca-Zugabe

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
28 +Ca (f)	0	9,90	8,50	0,77	0,50	2,93	12,9	0,28	0,20	8,04	5,86	0,0075	<0,05	<0,01	<0,01	6,4
28 +Ca (f)	12	3,08	3,00	0,22	0,11	2,93	12,2	0,26	0,19	7,44	5,58	0,0071	<0,05	<0,01	<0,01	5,9
28 +Ca (f)	24	2,89	2,85	0,20	0,11	2,93	11,7	0,26	0,19	7,63	5,52	nb	<0,05	<0,01	<0,01	5,8
28 +Ca (f)	48	1,48	1,48	0,12	0,075	2,93	11,7	0,27	0,19	7,84	5,60	nb	<0,05	<0,01	<0,01	5,7
28 +Ca (f)	96	0,30	0,30	0,077	0,065	2,93	11,7	0,26	0,19	7,70	5,59	nb	<0,05	<0,01	<0,01	5,3
28 +Ca (f)	144	<0,005	<0,1	0,048	0,025	2,93	11,8	0,27	0,19	7,61	5,48	0,0071	<0,05	<0,01	<0,01	5,3

Tabelle 6: Ergebnisse der Standversuche für Probe 28 dotiert und Ca-Zugabe

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
28 dot +Ca (f)	0	9,90	8,47	0,77	0,50	2,93	12,9	0,28	0,20	8,04	5,86	1,01	1,00	1,00	<0,01	6,2
28 dot +Ca (f)	12	1,54	1,54	0,15	0,069	2,93	12,9	0,26	0,18	7,48	5,52	0,84	0,063	0,70	<0,01	5,6
28 dot +Ca (f)	24	1,52	1,52	0,15	0,062	2,93	12,9	0,26	0,18	7,76	5,65	nb	0,076	0,70	<0,01	5,5
28 dot +Ca (f)	48	1,12	1,12	0,11	0,049	2,93	12,0	0,27	0,19	7,90	5,59	nb	0,063	0,73	<0,01	5,6
28 dot +Ca (f)	96	0,88	0,86	0,11	0,048	2,93	10,8	0,27	0,18	7,70	5,72	nb	0,064	0,71	<0,01	5,5
28 dot +Ca (f)	144	0,12	0,12	0,11	0,048	2,93	11,6	0,26	0,18	7,39	5,64	0,81	0,090	0,73	<0,01	5,4

## Anlage 1: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Ehrenfriedersdorf" (Schreiber, 2002) (Fortsetzung)

**Tabelle 7: Ergebnisse der Standversuche für Probe 28 original**

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
28 (f)	0	9,55	8,25	0,72	0,43	2,04	11,3	0,26	0,17	7,60	5,25	0,0080	<0,05	<0,01	<0,01	6,6
28 (f)	12	2,47	2,47	0,20	0,14	2,04	11,1	0,25	0,17	6,99	4,87	0,0076	<0,05	<0,01	<0,01	6,3
28 (f)	24	2,03	2,03	0,20	0,14	2,04	10,9	0,25	0,17	6,86	4,86	0,0077	<0,05	<0,01	<0,01	6,4
28 (f)	48	0,64	0,64	0,12	0,063	2,04	10,9	0,24	0,16	6,71	4,76	0,0067	<0,05	<0,01	<0,01	6,4
28 (f)	96	0,18	<0,05	0,013	0,003	2,04	11,0	0,26	0,16	6,75	4,82	0,0080	<0,05	<0,01	<0,01	6,5
28 (f)	144	0,055	<0,05	0,004	<0,001	1,97	11,1	0,26	0,16	6,69	4,76	0,0077	<0,05	<0,01	<0,01	6,4

**Tabelle 8: Ergebnisse der Standversuche für Probe 28 dotiert**

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
28 dot (f)	0	9,55	8,25	0,72	0,43	2,04	11,3	0,26	0,17	7,60	5,25	1,01	1,00	1,00	1,00	6,3
28 dot (f)	12	0,66	0,66	0,11	0,073	2,04	10,8	0,26	0,17	7,53	4,75	0,95	<0,05	0,30	<0,01	6,1
28 dot (f)	24	0,57	0,57	0,11	0,073	2,04	10,8	0,26	0,17	7,03	4,92	0,95	<0,05	0,30	<0,01	6,3
28 dot (f)	48	0,16	0,16	0,089	0,059	2,04	11,1	0,26	0,17	7,12	4,98	0,95	<0,05	0,29	<0,01	6,2
28 dot (f)	96	0,067	0,067	0,048	0,025	2,04	10,8	0,26	0,17	7,13	4,85	0,95	<0,05	0,25	<0,01	6,5
28 dot (f)	144	0,041	<0,05	0,007	<0,001	2,04	11,1	0,26	0,17	6,93	4,80	0,95	<0,05	0,24	<0,01	6,3

**Tabelle 9: Ergebnisse der Standversuche für Probe SBÜ**

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
SBÜ (f)	0	0,016	<0,05	0,053	0,006	3,78	4,15	0,14	0,035	9,94	3,07	0,0076	<0,05	0,01	<0,01	6,4
SBÜ (f)	12	0,016	<0,05	0,013	0,002	2,93	4,05	0,14	0,038	9,53	2,78	0,0076	<0,05	<0,01	<0,01	6,5
SBÜ (f)	24	0,016	<0,05	0,013	<0,001	2,73	4,15	0,14	0,035	9,62	2,80	0,0076	<0,05	<0,01	<0,01	6,6
SBÜ (f)	48	0,016	<0,05	0,009	<0,001	1,81	4,14	0,14	0,039	9,38	2,77	0,0076	<0,05	<0,01	<0,01	6,7
SBÜ (f)	96	0,016	<0,05	0,004	<0,001	0,42	3,83	0,14	0,035	8,62	2,41	0,0074	<0,05	<0,01	<0,01	7,3
SBÜ (f)	144	0,016	<0,05	0,004	<0,001	0,24	3,96	0,14	0,035	8,17	2,08	0,0074	<0,05	<0,01	<0,01	7,3

## Anlage 1: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Ehrenfriedersdorf" (Schreiber, 2002) (Fortsetzung)

Tabelle 10: Ergebnisse der Standversuche für Mischung aus Probe 28 und SBÜ, Verhältnis 1:10

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
28+SBÜ (f)	0	0,97	0,91	0,12	0,049	3,62	4,87	0,16	0,048	9,71	3,30	0,008	<0,05	0,01	<0,01	6,4
28+SBÜ (f)	12	0,053	<0,05	0,011	0,004	2,97	4,87	0,14	0,044	9,52	2,98	0,008	<0,05	<0,01	<0,01	6,5
28+SBÜ (f)	24	0,032	<0,05	0,010	0,001	2,79	4,87	0,15	0,045	9,47	2,97	0,008	<0,05	<0,01	<0,01	6,6
28+SBÜ (f)	48	0,032	<0,05	0,00595	<0,001	1,98	4,82	0,15	0,046	9,23	2,93	0,007	<0,05	<0,01	<0,01	6,8
28+SBÜ (f)	96	0,023	<0,05	0,003	<0,001	0,49	4,87	0,14	0,044	8,84	2,68	0,007	<0,05	<0,01	<0,01	7,2
28+SBÜ (f)	144	0,023	<0,05	0,004	<0,001	0,22	4,85	0,15	0,045	8,40	2,37	0,007	<0,05	<0,01	<0,01	7,3

Tabelle 11: Ergebnisse der Standversuche für Mischung aus Probe 28 und SBÜ, Verhältnis 1:10, dotiert

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
28+SBÜ dot (f)	0	0,97	0,90	0,12	0,049	3,62	4,87	0,16	0,048	9,71	3,30	1,01	1,00	1,01	1,00	6,4
28+SBÜ dot (f)	12	0,025	0,025	0,052	0,036	3,12	4,87	0,15	0,046	9,68	3,06	0,82	0,06	0,39	0,025	6,4
28+SBÜ dot (f)	24	0,025	<0,05	0,047	0,022	2,98	4,87	0,14	0,047	9,65	3,02	0,82	0,06	0,36	0,021	6,4
28+SBÜ dot (f)	48	0,016	<0,05	0,039	0,019	2,20	4,87	0,14	0,047	9,31	2,98	0,80	<0,05	0,26	<0,01	6,7
28+SBÜ dot (f)	96	0,016	<0,05	0,012	0,005	0,73	4,87	0,15	0,046	9,06	2,72	0,80	<0,05	0,091	<0,01	7,0
28+SBÜ dot (f)	144	0,016	<0,05	0,011	<0,001	0,21	4,87	0,15	0,044	8,58	2,44	0,77	<0,05	0,031	<0,01	7,3

## Anlage 1: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Ehrenfriedersdorf" (Schreiber, 2002) (Fortsetzung)

Tabelle 12: Ergebnisse der Standversuche für Probe 28 original

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
28 (f)	0	7,30	7,00	0,51	0,31	2,74	8,59	0,25	0,14	7,99	5,05	0,0075	<0,05	0,011	<0,01	6,4
28 (f)	12	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	
28 (f)	24	1,50	1,30	0,21	0,10	2,69	7,95	0,25	0,14	7,48	4,80	0,0075	<0,05	0,011	<0,01	6,3
28 (f)	48	0,050	0,050	0,10	0,050	2,52	7,95	0,23	0,14	7,40	4,61	nb	<0,05	0,011	<0,01	6,4
28 (f)	96	0,024	<0,1	0,017	0,001	1,89	8,25	0,23	0,14	7,21	4,56	nb	<0,05	<0,01	<0,01	6,6
28 (f)	144	0,024	<0,1	0,017	<0,001	1,96	8,43	0,24	0,14	7,21	4,69	0,0075	<0,05	<0,01	<0,01	6,5

Tabelle 13: Ergebnisse der Standversuche für Probe 28 dotiert

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
28 dot (f)	0	7,30	7,00	0,51	0,31	2,74	8,59	0,25	0,14	7,99	5,05	1,01	1,00	1,01	<0,01	
28 dot (f)	12	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	
28 dot (f)	24	1,42	1,33	0,20	0,13	2,74	8,11	0,25	0,14	7,33	4,79	0,89	0,39	0,80	<0,01	6,2
28 dot (f)	48	0,055	0,055	0,12	0,079	2,67	8,03	0,23	0,14	7,38	4,67	nb	0,073	0,52	<0,01	6,4
28 dot (f)	96	0,009	<0,1	0,036	0,018	2,03	8,18	0,24	0,14	7,24	4,71	nb	<0,05	0,36	<0,01	6,6
28 dot (f)	144	0,009	<0,1	0,007	0,001	1,69	8,59	0,25	0,14	7,39	4,78	0,85	<0,05	0,27	<0,01	6,5

Tabelle 14: Ergebnisse der Standversuche für Grubenwasser 3. Sohle

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
3.S. (f)	0	25,2	21,8	1,04	0,21	0,15	7,76	<0,1	<0,01	6,97	0,029	0,0002	<0,05	<0,01	<0,01	7,0
3.S. (f)	12	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	
3.S. (f)	24	24,5	7,40	1,04	0,053	0,15	7,76	<0,1	<0,01	6,97	0,025	0,0002	<0,05	<0,01	<0,01	6,8
3.S. (f)	48	3,92	1,30	0,048	0,009	0,063	7,76	<0,1	<0,01	6,49	0,015	nb	<0,05	<0,01	<0,01	6,9
3.S. (f)	96	0,43	<0,1	0,011	0,002	<0,01	7,76	<0,1	<0,01	6,25	<0,01	nb	<0,05	<0,01	<0,01	7,6
3.S. (f)	144	0,098	<0,1	0,008	<0,001	<0,01	7,76	<0,1	<0,01	5,34	<0,01	nb	<0,05	<0,01	<0,01	8,1

## Anlage 1: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Ehrenfriedersdorf" (Schreiber, 2002) (Fortsetzung)

Tabelle 15: Ergebnisse der Standversuche für Mischung aus Probe 28 und Grubenwasser 3. Sohle, Verhältnis 1:10

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
28+3.S. (f)	0	23,4	20,3	0,99	0,22	0,41	7,84	0,12	0,023	7,07	0,53	0,00095	<0,05	0,01	<0,01	
28+3.S. (f)	12	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	
28+3.S. (f)	24	22,6	5,69	0,99	0,055	0,41	7,84	<0,1	0,020	7,07	0,53	0,00095	<0,05	<0,01	<0,01	6,8
28+3.S. (f)	48	2,95	0,91	0,068	0,018	0,28	7,84	<0,1	0,020	6,20	0,32	nb	<0,05	<0,01	<0,01	7,0
28+3.S. (f)	96	0,31	<0,1	0,021	0,005	0,099	7,78	<0,1	0,019	5,81	0,17	nb	<0,05	<0,01	<0,01	6,7
28+3.S. (f)	144	0,097	<0,1	0,021	0,001	0,061	7,21	<0,1	0,014	5,41	0,039	<0,001	<0,05	<0,01	<0,01	8,3

Tabelle 16: Ergebnisse der Standversuche für Mischung aus Probe 28 und Grubenwasser 3. Sohle, Verhältnis 1:10, dotiert

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
28+3.S. dot (f)	0	23,4	20,3	0,99	0,22	0,41	7,84	0,12	0,023	7,07	0,53	1,00	1,00	1,01	<0,01	
28+3.S. dot (f)	12	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	
28+3.S. dot (f)	24	3,76	3,37	0,077	0,040	0,41	7,57	0,11	0,019	6,07	0,41	0,88	<0,05	0,29	<0,01	6,6
28+3.S. dot (f)	48	0,051	<0,1	0,042	0,025	0,29	7,84	<0,1	0,019	6,06	0,35	nb	<0,05	0,080	<0,01	6,9
28+3.S. dot (f)	96	0,009	<0,1	0,037	0,025	0,16	7,84	<0,1	0,018	5,62	0,24	nb	<0,05	0,042	<0,01	7,7
28+3.S. dot (f)	144	0,009	<0,1	0,023	0,010	0,089	7,57	<0,1	0,014	5,16	0,079	0,32	<0,05	0,021	<0,01	8,3

## Anlage 1: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Ehrenfriedersdorf" (Schreiber, 2002) (Fortsetzung)

Tabelle 17: Ergebnisse der Standversuche für Probe 30 original

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
30 (f)	0	20,0	16,8	1,08	0,56	4,60	8,00	0,50	0,10	7,70	13,6	0,022	<0,05	<0,05	<0,01	6,1
30 (f)	12	13,9	12,9	0,42	0,26	3,66	7,97	0,49	0,096	7,39	12,8	0,022	<0,05	<0,05	<0,01	6,2
30 (f)	24	13,1	10,4	0,39	0,22	3,56	7,97	0,49	0,095	7,26	13,0	0,022	<0,05	<0,05	<0,01	6,1
30 (f)	48	7,43	7,28	0,19	0,11	2,70	7,97	0,48	0,095	6,80	12,4	0,021	<0,05	<0,05	<0,01	6,2
30 (f)	96	1,44	1,40	0,071	0,039	1,79	7,97	0,50	0,095	6,50	11,8	0,022	<0,05	<0,05	<0,01	6,4
30 (f)	144	0,091	<0,1	0,004	<0,001	1,43	8,00	0,48	0,096	6,42	11,7	0,022	<0,05	<0,05	<0,01	6,4

Tabelle 18: Ergebnisse der Standversuche für Probe 30 dotiert

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
30 dot (f)	0	20,0	16,8	1,08	0,56	4,60	8,00	0,50	0,10	7,70	13,6	1,02	1,00	1,00	1,00	6,1
30 dot (f)	12	4,37	3,64	0,085	0,069	3,64	7,90	0,49	0,096	7,41	12,3	0,94	<0,05	0,43	<0,05	5,9
30 dot (f)	24	3,65	2,38	0,079	0,050	4,09	7,88	0,48	0,094	7,70	12,1	0,94	<0,05	0,45	<0,05	5,9
30 dot (f)	48	1,37	0,63	0,054	0,033	3,45	7,82	0,48	0,094	7,32	12,1	0,94	<0,05	0,42	<0,05	5,9
30 dot (f)	96	0,062	<0,1	0,035	0,021	2,49	7,82	0,48	0,094	7,10	11,7	0,94	<0,05	0,25	<0,05	6,4
30 dot (f)	144	0,028	<0,1	0,007	0,002	1,96	7,82	0,48	0,095	6,75	11,5	0,91	<0,05	0,15	<0,05	6,4

Tabelle 19: Ergebnisse der Standversuche für Probe SBÜ

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
SBÜ (f)	0	0,19	0,18	0,010	0,010	3,51	4,15	0,13	0,031	9,72	2,88	0,008	<0,05	0,016	<0,01	6,3
SBÜ (f)	12	0,19	0,13	0,004	<0,001	3,25	3,75	0,13	0,028	9,71	2,88	0,008	<0,05	0,016	<0,01	6,5
SBÜ (f)	24	0,19	0,11	0,003	<0,001	3,58	3,76	0,13	0,029	9,72	2,79	0,008	<0,05	0,016	<0,01	6,4
SBÜ (f)	48	0,089	<0,1	0,003	<0,001	1,87	3,68	0,13	0,029	9,14	2,74	0,008	<0,05	0,015	<0,01	6,6
SBÜ (f)	96	0,007	<0,1	0,001	<0,001	0,51	3,75	0,13	0,030	8,75	2,53	0,008	<0,05	0,015	<0,01	6,8
SBÜ (f)	144	0,006	<0,1	0,001	<0,001	0,26	3,75	0,13	0,030	8,60	2,29	0,008	<0,05	0,015	<0,01	7,3

## Anlage 1: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Ehrenfriedersdorf" (Schreiber, 2002) (Fortsetzung)

Tabelle 20: Ergebnisse der Standversuche für eine Mischung aus den Proben 30 und SBÜ im Verhältnis 1:10

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
SBÜ+30 (f)	0	1,99	1,66	0,094	0,06	3,65	4,46	0,17	0,037	9,50	4,04	0,009	<0,05	<0,05	<0,01	6,2
SBÜ+30 (f)	12	0,55	<0,1	0,004	<0,001	3,20	3,99	0,14	0,018	9,17	3,51	0,008	<0,05	<0,05	<0,01	6,4
SBÜ+30 (f)	24	0,55	<0,1	0,004	<0,001	3,63	4,02	0,13	0,020	9,50	3,62	0,008	<0,05	<0,05	<0,01	6,4
SBÜ+30 (f)	48	0,092	<0,1	0,002	<0,001	1,98	4,03	0,14	0,019	9,20	3,43	0,008	<0,05	<0,05	<0,01	5,6
SBÜ+30 (f)	96	0,010	<0,1	0,002	<0,001	0,55	3,96	0,14	0,018	8,36	3,20	0,008	<0,05	<0,05	<0,01	7,0
SBÜ+30 (f)	144	0,010	<0,1	0,002	<0,001	0,20	4,04	0,13	0,018	8,36	2,82	0,008	<0,05	<0,05	<0,01	7,4

Tabelle 21: Ergebnisse der Standversuche für eine Mischung aus den dotierten Proben 30 und SBÜ im Verhältnis 1:10

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	Cr [mg/l]	pH
SBÜ+30(dot) (f)	0	1,99	1,66	0,094	0,059	3,65	4,46	0,170	0,040	9,50	4,04	1,01	1,00	1,02	1,00	6,2
SBÜ+30(dot) (f)	12	0,080	0,080	0,020	0,020	2,95	4,40	0,169	0,036	9,50	3,88	0,82	0,070	0,14	<0,01	6,4
SBÜ+30(dot) (f)	24	0,080	0,080	0,018	0,011	3,33	4,27	0,166	0,037	9,50	3,82	0,82	0,080	0,13	<0,01	6,5
SBÜ+30(dot) (f)	48	0,072	0,072	0,014	0,008	2,01	4,28	0,169	0,039	9,34	3,76	0,80	0,072	0,088	<0,01	6,7
SBÜ+30(dot) (f)	96	0,070	0,072	0,010	0,004	0,73	4,35	0,163	0,039	8,84	3,30	0,80	<0,05	0,040	<0,01	7,1
SBÜ+30(dot) (f)	144	0,029	0,072	0,005	0,002	0,17	4,20	0,161	0,038	8,15	2,93	0,77	<0,05	0,020	<0,01	7,4

## Anlage 2: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Wismut"

Tabelle 1: Ergebnisse der Standversuche für Probe WA510 original

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WA510 (f)	0	9,81	3,00	1,68	0,826	<0,05	5,24	<0,1	<0,01	8,71	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	4,89	6,87	3,97	606
WA510 (f)	12	0,965	0,96	0,840	0,826	<0,05	5,16	<0,1	<0,01	7,95	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	4,72	6,98	3,95	602
WA510 (f)	24	0,088	0,06	0,695	0,472	<0,05	5,09	<0,1	<0,01	8,00	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	7,06	3,81	581
WA510 (f)	48	0,016	<0,05	0,605	0,273	<0,05	4,32	<0,1	<0,01	8,08	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	7,47	3,76	573
WA510 (f)	96	<0,01	<0,05	0,590	0,209	<0,05	1,73	<0,1	<0,01	6,02	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	7,91	3,64	555
WA510 (f)	144	<0,01	<0,05	0,570	0,293	<0,05	1,29	<0,1	<0,01	7,76	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	4,62	8,04	2,30	351

Tabelle 2: Ergebnisse der Standversuche für Probe WA510 dotiert mit Ni, Co, Cd, Pb, Cu

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WA510 dot (f)	0	9,81	3,00	1,68	0,826	<0,05	5,24	1,00	1,00	8,71	<0,01	1,00	1,00	1,00	4,89	6,87	3,97	606
WA510 dot (f)	12	0,036	<0,05	0,89	0,826	<0,05	4,98	0,900	0,890	8,22	<0,01	0,885	<0,05	0,135	4,89	7,02	3,76	573
WA510 dot (f)	24	0,026	<0,05	0,84	0,713	<0,05	4,57	0,825	0,860	7,74	<0,01	0,849	<0,05	0,130	nb	7,22	3,76	573
WA510 dot (f)	48	0,023	<0,05	0,70	0,695	<0,05	4,06	0,800	0,780	8,00	<0,01	0,629	<0,05	0,115	nb	7,58	3,71	566
WA510 dot (f)	96	<0,01	<0,05	0,59	0,568	<0,05	1,73	0,690	0,500	7,42	<0,01	0,170	<0,05	0,049	nb	7,93	3,38	516
WA510 dot (f)	144	<0,01	<0,05	0,54	0,540	<0,05	1,38	0,660	0,455	7,63	<0,01	0,058	<0,05	0,047	4,72	8,09	2,49	380

## Anlage 2: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Wismut" (Fortsetzung)

Tabelle 3: Ergebnisse der Standversuche für Probe WA510 bei einem pH-Wert von 6

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WA510 pH 6 (f)	0	9,81	3,00	1,68	0,826	<0,05	5,24	<0,1	<0,01	8,71	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	4,89	6,00	3,97	606
WA510 pH 6 (f)	12	7,37	2,43	1,45	0,826	<0,05	5,12	<0,1	<0,01	8,54	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	4,63	6,51	1,76	269
WA510 pH 6 (f)	24	4,36	1,85	1,05	0,532	<0,05	4,73	<0,1	<0,01	7,89	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	6,51	1,67	254
WA510 pH 6 (f)	48	1,31	0,32	0,740	0,514	<0,05	4,51	<0,1	<0,01	8,04	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	7,01	1,81	276
WA510 pH 6 (f)	96	<0,01	<0,05	0,560	0,442	<0,05	4,36	<0,1	<0,01	7,89	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	7,99	1,76	269
WA510 pH 6 (f)	144	<0,01	<0,05	0,540	0,383	<0,05	4,19	<0,1	<0,01	8,17	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	4,74	8,23	1,62	247

Tabelle 4: Ergebnisse der Standversuche für Probe WA510 dotiert mit Ni, Co, Cd, Pb, Cu bei einem pH-Wert von 6

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WA510 pH 6 dot (f)	0	9,81	3,00	1,68	0,826	<0,05	5,24	1,00	1,00	8,71	<0,01	1,00	1,00	1,00	4,89	6,00	3,97	606
WA510 pH 6 dot (f)	12	0,149	0,14	0,865	0,826	<0,05	4,84	0,765	0,880	7,72	<0,01	1,00	<0,05	0,140	4,56	6,26	1,86	283
WA510 pH 6 dot (f)	24	0,040	<0,05	0,795	0,714	<0,05	5,04	0,785	0,925	7,50	<0,01	0,921	<0,05	0,155	nb	6,36	1,86	283
WA510 pH 6 dot (f)	48	0,040	<0,05	0,695	0,599	<0,05	4,60	0,795	0,925	8,14	<0,01	0,902	<0,05	0,185	nb	6,77	1,88	287
WA510 pH 6 dot (f)	96	<0,01	<0,05	0,565	0,519	<0,05	4,70	0,825	0,945	7,98	<0,01	0,673	<0,05	0,125	nb	7,79	1,86	283
WA510 pH 6 dot (f)	144	<0,01	<0,05	0,495	0,495	<0,05	4,33	0,765	0,885	8,08	<0,01	0,380	<0,05	0,078	4,89	8,14	1,74	265

## Anlage 2: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Wismut" (Fortsetzung)

Tabelle 5: Ergebnisse der Standversuche für Probe WA510 bei einem pH-Wert von 7,5

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WA510 pH 7,5 (f)	0	9,81	3,00	1,68	0,826	<0,05	5,25	<0,1	<0,01	8,71	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	4,89	7,50	3,97	606
WA510 pH 7,5 (f)	12	0,052	0,05	0,890	0,793	<0,05	4,93	<0,1	<0,01	8,06	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	4,64	7,54	4,29	654
WA510 pH 7,5 (f)	24	0,026	<0,05	0,735	0,227	<0,05	4,49	<0,1	<0,01	7,85	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	7,64	4,41	671
WA510 pH 7,5 (f)	48	0,018	<0,05	0,560	0,220	<0,05	3,22	<0,1	<0,01	7,68	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	7,77	4,02	613
WA510 pH 7,5 (f)	96	<0,01	<0,05	0,480	0,140	<0,05	1,27	<0,1	<0,01	7,68	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	7,89	3,36	513
WA510 pH 7,5 (f)	144	<0,01	<0,05	0,405	0,140	<0,05	0,625	<0,1	<0,01	7,46	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	4,81	8,08	2,84	433

Tabelle 6: Ergebnisse der Standversuche für Probe WA510 dotiert mit Ni, Co, Cd, Pb, Cu bei einem pH-Wert von 7,5

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WA510 pH 7,5 dot (f)	0	9,81	3,00	1,68	0,826	<0,05	5,25	1,00	1,00	8,71	<0,01	1,00	1,00	1,00	4,89	7,50	3,97	606
WA510 pH 7,5 dot (f)	12	0,010	<0,05	0,830	0,825	<0,05	4,53	0,775	0,840	7,59	<0,01	0,702	<0,05	0,069	4,70	7,59	4,30	656
WA510 pH 7,5 dot (f)	24	0,010	<0,05	0,830	0,710	<0,05	4,75	0,855	0,855	7,88	<0,01	0,571	<0,05	0,071	nb	7,66	4,28	652
WA510 pH 7,5 dot (f)	48	0,010	<0,05	0,670	0,639	<0,05	3,19	0,715	0,685	7,66	<0,01	0,357	<0,05	0,063	nb	7,74	3,97	606
WA510 pH 7,5 dot (f)	96	<0,01	<0,05	0,645	0,636	<0,05	1,62	0,720	0,505	7,97	<0,01	0,063	<0,05	0,042	nb	7,88	3,76	573
WA510 pH 7,5 dot (f)	144	<0,01	<0,05	0,530	0,527	<0,05	0,83	0,580	0,345	7,23	<0,01	0,019	<0,05	0,025	4,78	8,09	2,94	448

## Anlage 2: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Wismut" (Fortsetzung)

Tabelle 7: Ergebnisse der Standversuche für Probe WP1 original

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WP1 (f)	0	3,17	2,65	1,26	1,02	<0,05	0,335	<0,1	<0,01	9,23	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	0,050	7,24	1,57	240
WP1 (f)	12	0,041	<0,05	0,570	0,078	<0,05	0,315	<0,1	<0,01	8,75	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	7,15	1,58	238
WP1 (f)	24	0,022	<0,05	0,570	0,063	<0,05	0,310	<0,1	<0,01	9,02	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	7,32	1,56	238
WP1 (f)	48	0,010	<0,05	0,595	0,074	<0,05	0,280	<0,1	<0,01	8,85	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	7,79	1,54	234
WP1 (f)	96	0,005	<0,05	0,705	0,070	<0,05	0,056	<0,1	<0,01	9,20	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	8,34	1,51	230
WP1 (f)	144	0,005	<0,05	0,750	0,063	<0,05	0,005	<0,1	<0,01	9,00	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	8,45	1,40	213

Tabelle 8: Ergebnisse der Standversuche für Probe WP1 dotiert

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WP1 dot (f)	0	3,17	2,65	1,26	1,02	<0,05	0,335	1,00	1,00	9,23	<0,01	1,00	1,00	1,00	0,050	7,24	1,57	240
WP1 dot (f)	12	0,065	0,06	0,905	0,740	<0,05	0,330	0,905	0,935	8,54	<0,01	0,725	<0,05	0,155	nb	7,09	1,53	232
WP1 dot (f)	24	0,028	<0,05	0,850	0,730	<0,05	0,325	0,855	0,920	8,69	<0,01	0,689	<0,05	0,135	nb	7,27	1,51	231
WP1 dot (f)	48	0,014	<0,05	0,845	0,720	<0,05	0,320	0,805	0,870	8,27	<0,01	0,607	<0,05	0,110	nb	7,74	1,48	225
WP1 dot (f)	96	<0,005	<0,05	0,780	0,600	<0,05	0,290	0,725	0,775	8,85	<0,01	0,385	<0,05	0,072	nb	8,35	1,53	233
WP1 dot (f)	144	<0,005	<0,05	0,730	0,580	<0,05	0,150	0,575	0,540	8,51	<0,01	0,125	<0,05	0,033	nb	8,54	1,45	221

## Anlage 2: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Wismut" (Fortsetzung)

Tabelle 9: Ergebnisse der Standversuche für Probe WP1 bei einem pH-Wert von 6

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WP1 pH 6 (f)	0	3,17	2,65	1,26	1,02	<0,05	0,335	<0,1	<0,01	9,23	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	0,05	6,00	1,57	240
WP1 pH 6 (f)	12	0,126	<0,05	0,535	0,473	<0,05	0,325	<0,1	<0,01	8,72	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	6,06	0,58	89
WP1 pH 6 (f)	24	0,061	<0,05	0,415	0,141	<0,05	0,320	<0,1	<0,01	9,02	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	6,26	0,47	72
WP1 pH 6 (f)	48	0,011	<0,05	0,400	0,083	<0,05	0,310	<0,1	<0,01	8,61	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	6,87	0,45	69
WP1 pH 6 (f)	96	<0,01	<0,05	0,410	0,072	<0,05	0,110	<0,1	<0,01	8,96	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	7,65	0,46	71
WP1 pH 6 (f)	144	<0,01	<0,05	0,510	0,108	<0,05	0,014	<0,1	<0,01	8,67	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	8,18	0,43	66

Tabelle 10: Ergebnisse der Standversuche für Probe WP1 dotiert bei einem pH-Wert von 6

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WP1 pH 6 dot (f)	0	3,17	2,65	1,26	1,02	<0,05	0,335	1,00	1,00	9,23	<0,01	1,00	1,00	1,00	0,050	6,00	1,57	240
WP1 pH 6 dot (f)	12	0,064	0,06	0,840	0,840	<0,05	0,325	0,890	0,950	8,55	<0,01	0,910	<0,05	0,400	nb	5,98	0,54	82
WP1 pH 6 dot (f)	24	0,054	0,05	0,820	0,792	<0,05	0,325	0,870	0,930	8,85	<0,01	0,830	<0,05	0,365	nb	6,19	0,54	82
WP1 pH 6 dot (f)	48	0,008	<0,05	0,815	0,729	<0,05	0,315	0,820	0,910	8,38	<0,01	0,742	<0,05	0,240	nb	6,66	0,51	78
WP1 pH 6 dot (f)	96	<0,005	<0,05	0,700	0,632	<0,05	0,325	0,800	0,900	8,82	<0,01	0,642	<0,05	0,135	nb	7,66	0,49	75
WP1 pH 6 dot (f)	144	<0,005	<0,05	0,420	0,074	<0,05	0,295	0,645	0,725	8,38	<0,01	0,370	<0,05	0,059	nb	8,11	0,49	75

## Anlage 2: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Wismut" (Fortsetzung)

Tabelle 11: Ergebnisse der Standversuche für Probe WP1 bei einem pH-Wert von 7,5

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WP1 pH 7,5 (f)	0	3,17	2,65	1,26	1,02	<0,05	0,335	<0,1	<0,01	9,23	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	0,050	7,50	1,57	240
WP1 pH 7,5 (f)	12	0,016	<0,05	0,870	0,161	<0,05	0,285	<0,1	<0,01	8,26	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	7,46	1,68	256
WP1 pH 7,5 (f)	24	0,016	<0,05	0,870	0,060	<0,05	0,285	<0,1	<0,01	8,86	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	7,68	1,67	254
WP1 pH 7,5 (f)	48	0,010	<0,05	0,880	0,077	<0,05	0,255	<0,1	<0,01	8,34	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	8,10	1,67	254
WP1 pH 7,5 (f)	96	<0,005	<0,05	0,960	0,062	<0,05	0,062	<0,1	<0,01	8,79	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	8,40	1,65	251
WP1 pH 7,5 (f)	144	<0,005	<0,05	0,985	0,105	<0,05	0,005	<0,1	<0,01	8,52	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	nb	8,49	1,48	225

Tabelle 12: Ergebnisse der Standversuche für Probe WP1 dotiert bei einem pH-Wert von 7,5

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WP1 pH 7,5 dot (f)	0	3,17	2,65	1,26	1,02	<0,05	0,335	1,00	1,00	9,23	<0,01	1,00	1,00	1,00	0,050	7,50	1,57	240
WP1 pH 7,5 dot (f)	12	0,018	<0,05	0,845	0,719	<0,05	0,325	0,985	1,00	8,59	<0,01	0,508	<0,05	0,170	nb	7,63	1,63	248
WP1 pH 7,5 dot (f)	24	0,017	<0,05	0,835	0,626	<0,05	0,310	0,920	1,00	8,62	<0,01	0,472	<0,05	0,150	nb	7,66	1,63	248
WP1 pH 7,5 dot (f)	48	0,009	<0,05	0,810	0,618	<0,05	0,310	0,860	0,950	8,27	<0,01	0,387	<0,05	0,120	nb	8,12	1,62	247
WP1 pH 7,5 dot (f)	96	<0,005	<0,05	0,790	0,521	<0,05	0,260	0,775	0,820	8,87	<0,01	0,194	<0,05	0,068	nb	8,47	1,61	246
WP1 pH 7,5 dot (f)	144	<0,005	<0,05	0,750	0,516	<0,05	0,120	0,620	0,465	8,55	<0,01	0,047	<0,05	0,031	nb	8,55	1,51	230

## Anlage 2: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Wismut" (Fortsetzung)

**Tabelle 13: Ergebnisse der Standversuche für Probe WR1 original**

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WR1 (f)	0	549	549	0,132	0,062	5,90	20,0	4,35	1,23	8,07	2,00	0,013	0,050	0,041	1,277	5,48	1,67	254
WR1 (f)	12	538	475	0,090	0,035	3,34	19,7	4,30	1,20	7,60	1,93	0,013	<0,05	0,041	0,998	5,43	0,58	9
WR1 (f)	24	518	475	0,064	0,018	2,93	19,1	4,35	1,23	7,68	2,00	0,013	<0,05	0,041	0,865	5,29	0,71	11
WR1 (f)	48	482	450	0,015	<0,001	2,14	19,6	4,11	1,23	7,08	1,86	0,013	<0,05	0,015	0,675	5,13	0,35	5
WR1 (f)	96	461	419	0,009	<0,001	4,76	19,9	4,22	1,23	8,00	1,88	0,013	<0,05	0,041	1,155	4,14	0,00	0
WR1 (f)	144	353	265	0,009	<0,001	5,90	20,0	4,35	1,23	8,07	2,00	0,013	<0,05	0,041	1,277	3,12	0,00	0

**Tabelle 14: Ergebnisse der Standversuche für Probe WR1 dotiert**

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WR1 dot (f)	0	549	549	0,132	0,062	5,90	20,0	5,35	2,23	8,07	2,00	1,013	1,050	1,040	1,277	5,48	1,67	254
WR1 dot (f)	12	493	473	0,047	<0,001	3,29	19,7	5,21	2,11	7,47	1,93	0,975	0,061	0,760	0,790	5,16	0,49	8
WR1 dot (f)	24	480	473	0,032	<0,001	3,43	19,1	5,35	2,23	7,85	2,00	0,995	<0,05	0,745	0,790	4,84	0,29	4
WR1 dot (f)	48	457	450	0,011	<0,001	3,64	19,3	4,66	1,96	7,04	1,75	0,955	<0,05	0,705	0,990	4,32	0,00	0
WR1 dot (f)	96	455	423	0,010	<0,001	5,90	19,7	5,15	2,11	8,07	1,95	0,975	<0,05	0,955	1,277	3,94	0,00	0
WR1 dot (f)	144	394	350	0,010	<0,001	5,90	19,8	5,35	2,20	8,07	1,99	1,005	<0,05	0,985	1,277	3,14	0,00	0

## Anlage 2: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Wismut" (Fortsetzung)

Tabelle 15: Ergebnisse der Standversuche für Probe WR1 bei einem pH-Wert von 6

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WR1 pH 6 (f)	0	549	549	0,132	0,062	5,90	20,0	4,35	1,23	8,07	2,00	0,013	0,050	0,041	1,277	6,00	1,67	254
WR1 pH 6 (f)	12	506	448	0,050	0,022	1,07	19,5	4,18	1,21	7,35	1,82	0,013	<0,05	0,013	0,743	5,79	1,45	22
WR1 pH 6 (f)	24	485	445	0,034	<0,001	0,76	19,3	4,05	1,23	7,32	1,88	0,013	<0,05	<0,01	0,545	5,74	1,64	25
WR1 pH 6 (f)	48	438	413	0,004	<0,001	0,76	19,3	3,75	1,11	6,23	1,52	0,013	<0,05	<0,01	0,365	5,66	1,64	25
WR1 pH 6 (f)	96	395	369	0,002	<0,001	0,83	20,0	3,96	1,19	6,36	1,67	0,013	<0,05	<0,01	0,515	4,50	0,00	0
WR1 pH 6 (f)	144	368	353	0,002	<0,001	3,49	19,8	4,25	1,23	7,21	1,68	0,013	<0,05	<0,01	1,277	4,02	0,00	0

Tabelle 16: Ergebnisse der Standversuche für Probe WR1 dotiert bei einem pH-Wert von 6

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WR1 pH 6 dot (f)	0	549	549	0,132	0,062	5,90	20,0	5,35	2,23	8,07	2,00	1,013	1,050	1,040	1,277	6,00	1,67	254
WR1 pH 6 dot (f)	12	490	469	0,038	0,038	1,23	19,3	4,91	2,07	7,23	1,80	1,013	<0,05	0,325	0,540	5,67	0,31	5
WR1 pH 6 dot (f)	24	446	390	0,023	<0,001	0,88	19,1	5,19	2,18	7,27	1,84	1,013	<0,05	0,176	0,405	5,59	0,32	4
WR1 pH 6 dot (f)	48	421	365	0,023	<0,001	0,60	18,9	4,63	1,96	6,58	1,62	1,013	<0,05	0,123	0,380	5,27	0,29	4
WR1 pH 6 dot (f)	96	391	365	0,004	<0,001	2,26	19,8	4,97	2,03	7,37	1,75	1,013	<0,05	0,440	1,120	4,26	0,00	0
WR1 pH 6 dot (f)	144	385	358	0,004	<0,001	5,04	19,7	5,13	2,10	8,01	1,91	1,013	<0,05	0,795	1,277	3,96	0,00	0

## Anlage 2: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Wismut" (Fortsetzung)

Tabelle 17: Ergebnisse der Standversuche für Probe WR1 bei einem pH-Wert von 7,5

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WR1 pH 7 (f)	0	549	549	0,132	0,062	5,90	20,0	4,35	1,23	8,07	2,00	0,013	0,050	0,040	1,277	7,50	1,67	254
WR1 pH 7 (f)	12	331	288	0,040	<0,001	<0,05	18,6	2,19	0,71	6,00	0,18	0,006	<0,05	<0,01	0,058	7,13	16,90	259
WR1 pH 7 (f)	24	309	255	0,036	<0,001	<0,05	18,0	2,13	0,72	5,72	0,14	0,006	<0,05	<0,01	0,08	7,02	16,60	258
WR1 pH 7 (f)	48	259	225	0,007	<0,001	<0,05	18,1	1,76	0,66	4,79	0,11	0,004	<0,05	<0,01	0,05	6,78	14,10	218
WR1 pH 7 (f)	96	215	193	0,001	<0,001	<0,05	18,3	1,45	0,58	3,53	0,08	0,004	<0,05	<0,01	0,22	6,71	14,00	217
WR1 pH 7 (f)	144	122	120	<0,001	<0,001	<0,05	17,7	1,46	0,58	2,49	0,05	0,003	<0,05	<0,01	0,42	6,45	9,14	139

Tabelle 18: Ergebnisse der Standversuche für Probe WR1 dotiert bei einem pH-Wert von 7,5

Probe	Standzeit [h]	Fe [mg/l]	Fe2+ [mg/l]	As [mg/l]	As3+ [mg/l]	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Co [mg/l]	Si [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Cu [mg/l]	U [mg/l]	pH	KS 4,3 [mmol/l]	HCO3 [mg/l]
WR1 pH 7 dot (f)	0	549	549	0,132	0,062	5,90	20,0	5,35	2,23	8,07	2,00	1,013	1,050	1,040	1,277	7,50	1,67	254
WR1 pH 7 dot (f)	12	254	208	0,030	<0,001	<0,05	18,4	2,06	0,99	5,46	0,13	0,450	<0,05	<0,01	0,039	7,06	14,70	226
WR1 pH 7 dot (f)	24	231	188	0,020	<0,001	<0,05	17,7	2,02	0,98	5,13	0,09	0,400	<0,05	<0,01	0,05	6,89	14,70	226
WR1 pH 7 dot (f)	48	187	164	0,006	<0,001	<0,05	17,3	1,65	0,89	4,22	0,06	0,345	<0,05	<0,01	0,12	6,74	14,75	226
WR1 pH 7 dot (f)	96	102	100	<0,001	<0,001	<0,05	17,4	1,39	0,79	2,88	0,04	0,280	<0,05	<0,01	0,19	6,61	13,25	203
WR1 pH 7 dot (f)	144	30	30	<0,001	<0,001	<0,05	16,7	1,26	0,73	1,74	0,02	0,205	<0,05	<0,01	0,37	6,55	5,98	91

**Anlage 3: Ergebnisse der Standversuche für den Modellfall "Oruro, Potosi/Bolivien" (Oblasser, 2001)**

	<b>Standzeit</b> [h]	<b>Al</b> [mg/l]	<b>As</b> [mg/l]	<b>Cd</b> [mg/l]	<b>Co</b> [mg/l]	<b>Cr</b> [mg/l]	<b>Cu</b> [mg/l]	<b>Fe</b> [mg/l]	<b>Mn</b> [mg/l]	<b>Ni</b> [mg/l]	<b>Pb</b> [mg/l]	<b>Zn</b> [mg/l]	<b>pH</b>	<b>Eh</b> [mV]
<b>San José</b>														
S.J.1.1	0	1080	203	1,8	1,31	0,735	30,2	15600	17,3	1,72	2,59	23,5	6,0	467
S1.F.1	12	<5	<0,2	1,8	0,748	0,021	6,10	1260	15,7	0,700	0,498	17,2	4,3	46
S1.F.2	24	<5	<0,2	1,8	0,696	<0,02	6,74	1230	14,6	0,616	0,507	16,1	4,6	170
S1.F.3	48	<5	<0,2	1,8	0,749	<0,02	10,4	1030	16,1	0,639	0,612	18,9	4,2	222
S1.F.4	96	<5	<0,2	1,8	0,730	<0,02	17,8	1379	16,1	0,539	1,16	19,3	4,2	225
<b>Huanuni</b>														
S2.0	0	227	4,12	52,4	6,39	0,165	52,5	1410	23,2	4,08	0,091	341	6,0	417
S2.F.1	12	<5	0,225	34,2	3,72	0,056	1,72	748	21,8	1,65	nb	128	4,6	137
S2.F.2	24	<5	0,212	34,2	3,70	0,050	2,13	799	21,8	1,59	nb	133	5,6	109
S2.F.3	48	<5	<0,2	36,1	3,99	0,041	3,06	745	23,4	1,64	nb	146	4,4	162
S2.F.4	96	<5	<0,2	37,4	4,21	0,057	4,06	783	23,6	1,64	nb	155	4,3	190
<b>Potosi</b>														
S3.0	0	13,6	91,3	8,98	3,49	0,468	90,3	8640	164	3,93	0,081	1400	6,0	441
S3.F.1	12	<5	<0,2	1,78	0,691	<0,02	0,191	840	58,7	0,609	nb	219	4,8	147
S3.F.2	24	<5	<0,2	1,83	0,692	<0,02	0,373	846	58,0	0,594	nb	228	4,7	98
S3.F.3	48	<5	<0,2	1,82	0,698	<0,02	0,745	803	58,1	0,624	nb	240	4,5	171
S3.F.4	96	<5	<0,2	1,90	0,724	<0,02	1,57	809	60,1	0,518	nb	255	4,4	204

#### Anlage 4: Zeitliche Entwicklung des Haldensickerwassers der Spülhalde 2 - Punkt 30 (1992-2005)

Datum	Feldparameter								Hauptan- und Kationen								
	T [°C]	pH	Eh [mV]	Lf [µS/cm]	O2 [mg/l]	O2 [%]	Q [m3/h]	Schweb [mg/l]	HCO3- [mg/l]	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]
11.11.92	nb	6,0	nb	925	nb	nb	5,8	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
03.02.93	nb	6,5	nb	976	nb	nb	1,8	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
04.03.93	nb	6,8	nb	984	nb	nb	3,6	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
30.03.93	nb	6,3	nb	995	nb	nb	1,8	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
22.04.93	nb	6,5	nb	988	nb	nb	4,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
26.05.93	nb	6,6	nb	1015	nb	nb	3,6	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
29.06.93	nb	nb	nb	nb	nb	nb	3,6	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
19.07.93	nb	6,8	nb	997	nb	nb	3,6	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
09.08.93	nb	6,8	nb	1005	nb	nb	3,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
24.04.96	nb	6,5	nb	1014	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
19.06.97	nb	6,1	nb	1460	nb	nb	nb	nb	82,5	13,0	18,0	3,00	763	21,6	18,5	200	57,4
26.11.98	nb	5,2	nb	1429	nb	nb	1,2	nb	85,5	9,20	11,3	2,80	780	22,0	18,0	198	57,1
08.07.99	nb	6,4	nb	1420	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
20.10.99	nb	5,9	nb	1640	nb	nb	nb	nb	74,9	10,5	12,8	3,70	826	19,6	19,2	238	60,7
25.11.99	nb	6,4	nb	1610	nb	nb	nb	nb	nb	9,40	13,7	0,40	845	20,2	19,8	231	59,9
30.03.00	nb	5,7	nb	1433	nb	nb	nb	nb	nb	9,56	8,0	4,50	722	15,1	18,2	214	54,2
25.05.00	nb	6,2	nb	1696	nb	nb	nb	nb	58,6	9,95	10,7	3,22	891	nb	nb	nb	nb
12.07.00	nb	5,9	nb	1830	nb	nb	nb	nb	50,3	11,3	11,5	4,60	983	nb	nb	274	80,3
18.02.04	5,2	6,2	317	1244	9,0	80	nb	24,3	53,2	9,77	13,7	3,95	991	18,1	18,3	243	63,3
22.04.04	8,7	6,0	318	1107	3,7	36	nb	6,26	34,2	10,2	16,9	2,89	1090	19,7	19,9	266	68,3
23.06.04	11,2	5,6	317	2000	3,5	35	nb	8,83	68,3	7,10	15,8	1,93	1120	20,4	19,0	257	67,1
25.08.04	11,2	6,0	321	1830	3,4	34	nb	9,40	68,3	8,49	20,0	<0,1	1150	21,9	19,9	250	67,7
27.10.04	9,1	6,2	354	1820	3,6	34	nb	0,20	68,8	10,6	18,6	2,84	1040	20,9	20,9	262	66,9
04.11.04	9,5	5,6	334	1750	3,8	36	nb	nb	63,4	12,0	17,8	2,82	1050	21,4	20,6	261	67,0
19.01.05	5,4	5,8	365	1820	7,8	68	nb	2,04	33,7	13,5	18,1	3,93	1080	19,5	21,3	261	66,5
05.04.05	11,5	6,0	517	1780	nb	nb	nb	88,0	8,3	10,9	17,3	6,39	1130	19,4	24,1	281	68,0
25.05.05	16,1	5,9	429	1810	9,1	95	2,0	3,74	11,0	18,4	12,9	4,00	1120	15,8	22,7	288	74,1
04.08.05	12,8	6,0	506	1540	7,4	75	nb	1,84	14,2	10,8	9,66	3,34	1013	13,4	18,6	244	60,2
06.10.05	10,5	6,1	348	1690	7,1	67	1,5	5,34	38,1	13,4	15,1	<0,1	1130	17,2	20,1	269	74,6

#### Anlage 4: Zeitliche Entwicklung des Haldensickerwassers der Spülhalde 2 - Punkt 30 (1992-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Al_ges [mg/l]	Al_gel [mg/l]	As_ges [mg/l]	As_gel [mg/l]	AsIII_gel [mg/l]	Cd_ges [mg/l]	Cd_gel [mg/l]	Co_ges [mg/l]	Co_gel [mg/l]	Cu_ges [mg/l]	Cu_gel [mg/l]	Fe_ges [mg/l]	Fe_gel [mg/l]	Fell_gel [mg/l]
11.11.92	nb	0,230	nb	3,40	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	4,84	nb
03.02.93	nb	nb	nb	2,08	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	4,01	nb
04.03.93	nb	0,470	nb	2,08	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	5,39	nb
30.03.93	nb	0,500	nb	1,74	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	6,37	nb
22.04.93	nb	0,583	nb	1,84	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	5,40	nb
26.05.93	9,24	0,437	3,77	2,33	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	7,81	6,39	nb
29.06.93	0,550	0,515	2,96	2,90	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	10,9	10,5	nb
19.07.93	0,300	0,221	3,12	2,27	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	7,07	5,32	nb
09.08.93	0,510	0,442	3,33	3,06	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	6,11	5,60	nb
24.04.96	4,20	4,11	0,920	0,920	nb	nb	nb	0,056	0,049	nb	nb	9,29	8,72	nb
19.06.97	3,30	2,93	1,82	1,54	nb	nb	nb	0,197	0,197	nb	nb	29,4	27,3	nb
26.11.98	2,31	2,26	1,66	1,58	nb	nb	nb	0,129	0,129	nb	nb	22,3	21,7	nb
08.07.99	3,98	3,71	0,696	0,440	nb	nb	nb	0,047	0,047	nb	nb	9,63	8,49	nb
20.10.99	3,20	2,97	1,33	1,04	nb	nb	nb	0,124	0,122	nb	nb	23,3	22,3	nb
25.11.99	3,10	3,09	1,30	1,11	nb	nb	nb	0,100	0,100	nb	nb	22,2	21,6	nb
30.03.00	5,02	5,02	0,891	0,760	nb	nb	nb	0,042	0,041	nb	nb	12,0	11,7	nb
25.05.00	4,19	4,11	1,29	1,03	nb	nb	nb	0,086	0,086	nb	nb	21,3	19,7	nb
12.07.00	4,49	4,46	1,35	0,950	nb	nb	nb	0,069	0,067	nb	nb	18,2	16,7	nb
18.02.04	nb	7,43	nb	1,14	0,661	nb	0,023	nb	0,119	nb	0,011	nb	22,2	20,8
22.04.04	5,71	5,58	1,59	1,19	0,821	0,022	0,022	0,160	0,160	0,009	0,007	28,0	25,6	25,6
23.06.04	5,24	4,82	1,68	1,32	0,943	0,020	0,020	0,190	0,180	0,009	0,008	29,2	27,4	26,4
25.08.04	4,54	4,51	1,67	1,64	1,03	0,010	0,010	0,150	0,150	0,006	0,006	28,4	28,4	28,0
27.10.04	5,33	5,22	1,72	1,65	0,925	0,017	0,016	0,130	0,130	0,013	0,010	27,1	27,1	26,4
04.11.04	5,29	5,18	1,44	1,19	0,635	0,017	0,017	0,130	0,130	0,006	0,006	23,3	22,8	19,4
19.01.05	6,03	5,98	0,93	0,860	0,709	0,022	0,022	0,089	0,086	0,009	0,009	16,3	16,0	15,0
05.04.05	6,99	5,20	0,984	0,219	0,125	0,024	0,024	0,092	0,087	0,020	0,004	3,86	1,12	1,12
25.05.05	9,89	9,49	0,319	0,190	0,137	0,035	0,035	0,134	0,133	0,019	0,019	3,18	2,82	2,64
04.08.05	10,5	10,3	0,279	0,218	0,099	0,039	0,039	0,118	0,115	0,023	0,021	3,10	2,97	2,40
06.10.05	9,33	9,30	1,07	0,790	0,561	0,034	0,034	0,154	0,154	0,019	0,018	17,7	16,0	15,8

#### Anlage 4: Zeitliche Entwicklung des Haldensickerwassers der Spülhalde 2 - Punkt 30 (1992-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente							
	Mn_ges [mg/l]	Mn_gel [mg/l]	Ni_ges [mg/l]	Ni_gel [mg/l]	Si_ges [mg/l]	Si_gel [mg/l]	Zn_ges [mg/l]	Zn_gel [mg/l]
11.11.92	nb	1,26	nb	nb	nb	nb	nb	nb
03.02.93	nb	1,42	nb	nb	nb	nb	nb	nb
04.03.93	nb	1,36	nb	nb	nb	nb	nb	nb
30.03.93	nb	1,49	nb	nb	nb	nb	nb	nb
22.04.93	nb	1,29	nb	nb	nb	nb	nb	nb
26.05.93	1,27	1,27	nb	nb	nb	nb	nb	nb
29.06.93	1,70	1,68	nb	nb	nb	nb	nb	nb
19.07.93	1,48	1,43	nb	nb	nb	nb	2,21	2,10
09.08.93	nb	1,21	nb	nb	nb	nb	nb	nb
24.04.96	7,21	7,21	0,488	0,488	nb	nb	12,3	12,3
19.06.97	10,5	9,88	0,488	0,440	nb	nb	9,19	8,49
26.11.98	7,27	7,27	0,294	0,294	nb	nb	4,76	4,76
08.07.99	3,16	3,07	0,328	0,324	nb	nb	8,11	7,97
20.10.99	6,67	6,67	0,368	0,362	4,42	4,42	9,27	8,95
25.11.99	5,98	5,98	0,356	0,356	7,77	7,77	7,54	7,54
30.03.00	3,78	3,78	0,442	0,440	7,82	7,82	10,3	10,3
25.05.00	5,98	5,94	0,482	0,482	7,92	7,92	12,5	12,5
12.07.00	5,74	5,72	0,501	0,501	7,86	7,86	13,1	12,9
18.02.04	nb	14,1	nb	0,774	nb	9,53	nb	17,7
22.04.04	13,7	13,5	0,670	0,670	9,11	9,11	15,6	15,2
23.06.04	14,5	14,5	0,630	0,630	8,97	8,92	5,29	5,29
25.08.04	13,0	13,0	0,570	0,560	8,63	8,61	9,80	9,80
27.10.04	13,0	13,0	0,570	0,570	8,94	8,83	14,6	14,6
04.11.04	12,0	11,9	0,600	0,590	9,20	9,17	12,7	12,7
19.01.05	12,9	12,9	0,660	0,660	9,50	9,45	16,0	15,8
05.04.05	14,7	13,8	0,500	0,480	12,2	8,61	10,7	10,4
25.05.05	16,1	15,8	1,02	1,01	11,7	11,5	23,1	22,6
04.08.05	14,9	14,8	1,09	1,06	13,2	12,5	37,6	37,1
06.10.05	17,0	16,5	1,00	1,00	12,0	11,5	26,8	26,0

### Anlage 5: Zeitliche Entwicklung des Haldensickerwassers der Spülhalde 1 - Punkt 33 (1992-2005)

Datum	Feldparameter								Hauptan- und Kationen								
	T [°C]	pH	Eh [mV]	Lf [µS/cm]	O2 [mg/l]	O2 [%]	Q [m3/h]	Schweb [mg/l]	HCO3- [mg/l]	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]
26.05.93	nb	6,9	nb	1034	nb	nb	0,26	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
30.06.93	nb	6,8	nb	1059	nb	nb	0,26	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
19.07.93	nb	6,8	nb	1080	nb	nb	0,50	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
09.08.93	nb	6,9	nb	1177	nb	nb	0,24	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
14.03.95	nb	4,7	nb	1945	nb	nb	nb	nb	1,40	36,0	4,90	<1	830	12,2	20,9	214	84,0
24.04.96	nb	3,8	nb	1878	nb	nb	nb	nb	nb	29,0	9,30	1	1024	9,20	20,6	228	94,0
22.05.96	nb	3,8	nb	1890	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	8,80	20,0	nb	nb
24.07.96	nb	5,1	nb	1720	nb	nb	0,36	nb	nb	31,7	11,4	0,60	1034	9,20	18,0	170	52,5
28.08.96	nb	5,2	nb	1750	nb	nb	nb	nb	nb	49,0	14,6	0,50	1102	8,70	19,3	255	125
19.06.97	nb	4,5	nb	1754	nb	nb	nb	nb	nb	21,4	17,3	2,40	1089	11,4	19,8	211	87,0
22.07.97	nb	4,4	nb	1700	nb	nb	nb	nb	nb	31,7	11,4	0,60	1034	9,20	17,9	170	52,5
26.11.98	nb	4,1	nb	1691	nb	nb	3,0	nb	nb	nb	6,60	6,60	1090	12,0	17,6	157	108
25.11.99	nb	4,1	nb	1607	nb	nb	nb	nb	nb	30,0	5,90	1,20	898	9,27	17,5	180	59,3
20.01.00	nb	4,1	nb	1380	nb	nb	nb	nb	nb	18,8	6,60	1,40	665	8,40	14,2	149	47,8
30.03.00	nb	3,7	nb	1168	nb	nb	nb	nb	nb	12,7	8,10	4,50	722	8,58	12,3	123	37,8
25.05.00	nb	4,2	nb	1607	nb	nb	nb	nb	nb	26,0	6,60	nn	898	10,8	18,5	193	61,2
12.07.00	nb	4,6	nb	1546	nb	nb	4,4	nb	nb	17,6	7,59	1,67	830	nb	nb	205	7,55
18.02.04	5,3	4,6	460	938	9,0	80	7,2	2,84	0,24	12,4	10,3	3,59	623	11,0	12,7	138	35,4
22.04.04	9,2	4,7	431	1010	7,2	67	2,9	4,76	2,44	14,5	10,6	1,70	675	10,6	13,0	142	37,4
23.06.04	9,7	4,2	558	1285	7,5	75	3,3	4,38	0	9,05	10,1	2,41	681	10,9	12,5	137	37,4
25.08.04	10,8	4,9	328	1370	6,7	67	1,6	9,00	4,88	14,2	9,21	<0,1	903	11,5	16,1	174	47,0
27.10.04	8,9	4,9	332	1340	7,8	72	2,0	7,18	6,59	22,1	8,12	1,16	768	11,9	15,9	168	44,5
04.11.04	8,9	4,9	333	1300	7,8	72	1,9	nb	5,86	22,8	7,93	<0,1	733	11,9	15,6	166	44,5
19.01.05	5,5	3,9	559	1100	7,1	62	5,0	2,82	0	21,5	11,6	4,08	602	11,1	11,6	127	32,7
05.04.05	9,1	3,8	604	987	6,7	62	8,0	1,10	0	21,9	10,2	5,85	522	11,0	10,6	108	28,3
25.05.05	11,7	3,8	557	1190	nb	nb	4,8	2,96	0	20,8	12,2	3,80	660	13,6	13,5	148	38,9
04.08.05	10,8	3,7	585	1170	6,4	63	4,5	2,60	0	12,0	7,48	1,53	670	11,1	13,8	146	37,6
06.10.05	9,9	3,7	529	1260	9	83	4,5	2,80	0	17,5	8,93	<0,1	753	11,5	13,9	149	40,1

### Anlage 5: Zeitliche Entwicklung des Haldensickerwassers der Spülhalde 1 - Punkt 33 (1992-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Al_ges [mg/l]	Al_gel [mg/l]	As_ges [mg/l]	As_gel [mg/l]	AsIII_gel [mg/l]	Cd_ges [mg/l]	Cd_gel [mg/l]	Co_ges [mg/l]	Co_gel [mg/l]	Cu_ges [mg/l]	Cu_gel [mg/l]	Fe_ges [mg/l]	Fe_gel [mg/l]	Fell_gel [mg/l]
26.05.93	1,72	1,57	3,85	3,75	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	9,05	8,34	nb
30.06.93	1,73	nb	3,89	3,25	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	11,2	9,24	nb
19.07.93	2,07	2,07	3,59	3,32	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	10,0	9,36	nb
09.08.93	1,79	1,75	5,52	4,22	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	13,9	10,4	nb
14.03.95	52,7	3,50	7,59	6,30	nb	nb	nb	0,927	0,817	nb	nb	93,7	87,6	nb
24.04.96	24,3	23,5	5,57	5,10	nb	nb	nb	0,923	0,923	nb	nb	103	99,5	nb
22.05.96	17,7	17,7	6,25	4,55	nb	nb	nb	0,803	0,803	nb	nb	64,3	60,7	nb
24.07.96	20,3	18,9	5,22	4,29	nb	nb	nb	0,863	0,809	nb	nb	73,2	66,1	nb
28.08.96	18,8	18,7	6,58	5,39	nb	nb	nb	0,845	0,832	nb	nb	76,2	76,2	nb
19.06.97	18,4	17,9	5,89	5,14	nb	nb	nb	1,080	0,844	nb	nb	75,7	75,7	nb
22.07.97	20,3	18,9	5,21	4,29	nb	nb	nb	0,863	0,809	nb	nb	73,2	66,1	nb
26.11.98	18,4	18,3	3,42	2,92	nb	nb	nb	0,703	0,703	nb	nb	50,6	50,6	nb
25.11.99	18,2	18,2	5,00	4,30	nb	nb	nb	0,730	0,730	nb	nb	61,0	60,0	nb
20.01.00	16,1	15,9	4,34	3,50	nb	nb	nb	0,598	0,588	nb	nb	50,7	48,9	nb
30.03.00	15,3	15,3	1,38	nb	nb	nb	nb	0,415	0,407	nb	nb	21,0	21,0	nb
25.05.00	33,3	15,3	2,48	2,17	nb	nb	nb	0,600	0,597	nb	nb	45,5	45,0	nb
12.07.00	11,0	11,0	2,76	2,26	nb	nb	nb	0,479	0,479	nb	nb	36,1	34,7	nb
18.02.04	17,7	16,2	1,28	0,706	0,480	0,005	0,005	0,380	0,370	0,094	0,094	12,0	10,6	10,1
22.04.04	11,5	11,5	2,64	1,86	1,65	0,006	0,006	0,325	0,325	0,070	0,070	20,6	19,1	19,1
23.06.04	11,8	11,5	1,98	1,36	0,906	0,005	0,005	0,370	0,370	0,076	0,076	18,7	17,0	16,2
25.08.04	9,99	9,94	4,45	3,40	3,10	<0,002	<0,002	0,350	0,350	0,045	0,045	37,6	34,5	34,0
27.10.04	12,6	12,2	5,23	4,09	2,79	0,003	0,003	0,350	0,350	0,055	0,052	40,7	35,8	35,6
04.11.04	10,9	10,8	5,02	3,75	2,28	<0,002	<0,002	0,350	0,350	0,05	0,049	38,8	35,6	35,6
19.01.05	12,5	12,2	1,56	1,11	0,868	0,004	0,004	0,300	0,300	0,074	0,074	18,8	17,7	17,6
05.04.05	12,6	12,6	0,639	0,532	0,166	0,004	0,004	0,280	0,280	0,111	0,111	11,5	11,4	9,92
25.05.05	12,5	11,9	1,13	0,900	0,619	0,004	0,004	0,320	0,320	0,078	0,078	15,0	13,4	10,5
04.08.05	11,2	11,2	2,11	1,74	1,12	<0,002	<0,002	0,360	0,360	0,061	0,061	26,5	25,3	18,1
06.10.05	13,4	13,4	2,23	1,88	1,35	0,004	0,004	0,356	0,351	0,066	0,066	28,1	28,1	21,9

### Anlage 5: Zeitliche Entwicklung des Haldensickerwassers der Spülhalde 1 - Punkt 33 (1992-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente							
	Mn_ges [mg/l]	Mn_gel [mg/l]	Ni_ges [mg/l]	Ni_gel [mg/l]	Si_ges [mg/l]	Si_gel [mg/l]	Zn_ges [mg/l]	Zn_gel [mg/l]
26.05.93	6,81	6,74	nb	nb	nb	nb	nb	nb
30.06.93	7,22	7,22	nb	nb	nb	nb	nb	nb
19.07.93	8,42	7,47	nb	nb	nb	nb	4,67	4,67
09.08.93	nb	8,68	nb	nb	nb	nb	nb	nb
14.03.95	31,2	30,5	1,20	1,19	nb	nb	24,8	24,7
24.04.96	38,7	37,9	1,54	1,48	nb	nb	22,6	22,2
22.05.96	29,2	29,2	1,35	1,35	nb	nb	17,9	17,9
24.07.96	35,5	33,8	1,32	1,24	nb	nb	25,7	27,2
28.08.96	35,4	35,4	1,22	1,22	nb	nb	19,8	19,4
19.06.97	35,1	35,1	1,08	1,08	nb	nb	18,7	18,3
22.07.97	35,5	33,8	1,32	1,24	nb	nb	25,7	25,7
26.11.98	32,6	32,6	1,11	1,10	nb	nb	20,1	20,1
25.11.99	36,2	36,2	0,980	0,970	15,5	15,5	18,1	18,1
20.01.00	27,7	27,7	0,790	0,785	14,2	14,2	16,0	15,0
30.03.00	19,9	19,9	0,640	0,601	12,6	12,6	11,8	11,6
25.05.00	28,7	28,7	0,869	0,869	14,6	14,6	18,9	18,9
12.07.00	25,0	25,0	0,629	0,629	11,2	10,8	11,9	11,9
18.02.04	18,2	18,2	0,62	0,62	13,9	13,0	13,8	13,1
22.04.04	15,4	15,4	0,49	0,49	11,6	11,5	10,4	10,4
23.06.04	17,0	16,7	0,48	0,47	13,2	12,9	8,98	8,93
25.08.04	19,9	19,8	0,53	0,53	13,4	13,2	9,22	9,22
27.10.04	21,1	20,2	0,52	0,52	13,1	12,6	8,83	8,70
04.11.04	19,4	19,4	0,52	0,52	13,5	13,4	8,63	8,59
19.01.05	15,4	15,1	0,48	0,48	12,9	12,7	9,37	9,22
05.04.05	13,2	13,2	0,44	0,44	11,9	11,9	8,20	8,20
25.05.05	15,9	15,0	0,56	0,56	12,7	11,9	10,4	9,88
04.08.05	19,2	18,9	0,62	0,61	15,2	15,0	15,7	15,5
06.10.05	18,3	18,3	0,57	0,57	14,4	14,4	10,4	10,3

## Anlage 6: Zeitliche Entwicklung des Gesamtsickerwassers - Rigole 28 (1992-2000)

Datum	Feldparameter			Hauptan- und Kationen								
	pH	Lf [µS/cm]	Q [m3/h]	HCO3- [mg/l]	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]
11.11.92	6,9	773	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
21.12.92	6,3	763	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
03.02.93	5,3	736	18,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
30.03.93	6,4	689	10,8	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
22.04.93	6,2	613	18,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
26.05.93	7,1	762	7,2	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
29.06.93	6,6	721	9,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
19.07.93	7,4	670	12,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
09.08.93	6,8	660	7,2	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
24.04.96	6,5	1014	nb	145	12,3	19,1	3,0	405	19,7	18,1	148	24,3
19.06.97	6,6	1107	nb	145	9,3	33,0	2,5	401	28,5	22,0	143	31,0
25.11.99	6,5	1217	nb	3,4	11,8	15,0	7,0	663	14,8	13,1	nb	54,5
20.01.00	6,5	633	nb	nb	6,6	8,3	3,9	265	8,5	6,3	75,0	18,3
25.05.00	6,0	1351	nb	2,2	12,9	11,3	5,4	671	13,4	15,5	185	48,1
12.07.00	6,0	1335	12,0	3,4	11,8	15,0	11,0	663	nb	nb	184	12,3

Datum	Haupt- und Spurenelemente															
	Al_ges [mg/l]	Al_gel [mg/l]	As_ges [mg/l]	As_gel [mg/l]	Co_ges [mg/l]	Co_gel [mg/l]	Fe_ges [mg/l]	Fe_gel [mg/l]	Mn_ges [mg/l]	Mn_gel [mg/l]	Ni_ges [mg/l]	Ni_gel [mg/l]	Si_ges [mg/l]	Si_gel [mg/l]	Zn_ges [mg/l]	Zn_gel [mg/l]
11.11.92	nb	2,08	nb	0,100	nb	nb	nb	0,30	nb	1,75	nb	nb	nb	nb	nb	nb
21.12.92	nb	nb	nb	0,143	nb	nb	nb	0,57	nb	1,42	nb	nb	nb	nb	nb	nb
03.02.93	nb	nb	nb	0,160	nb	nb	nb	0,52	nb	1,79	nb	nb	nb	nb	nb	nb
30.03.93	nb	0,52	nb	0,160	nb	nb	nb	0,88	nb	1,79	nb	nb	nb	nb	nb	nb
22.04.93	nb	5,56	nb	0,099	nb	nb	nb	0,42	nb	1,45	nb	nb	nb	nb	nb	nb
26.05.93	0,76	0,26	0,220	0,166	nb	nb	0,79	0,51	1,86	1,85	nb	nb	nb	nb	nb	nb
29.06.93	0,83	0,23	0,260	0,094	nb	nb	0,96	0,33	1,74	1,74	nb	nb	nb	nb	nb	nb
19.07.93	0,99	nb	0,340	0,139	nb	nb	0,75	0,29	1,78	1,76	nb	nb	nb	nb	3,59	3,44
09.08.93	0,55	0,30	0,210	0,167	nb	nb	0,54	0,35	1,82	1,81	nb	nb	nb	nb	nb	nb
24.04.96	4,22	3,60	1,44	1,24	0,055	0,052	9,92	8,90	3,85	3,63	0,312	0,287	nb	nb	3,22	2,98
19.06.97	2,78	0,86	0,971	0,776	0,051	0,051	9,44	6,64	3,83	3,83	0,313	0,313	nb	nb	3,14	2,67
25.11.99	6,76	6,30	1,83	0,722	0,263	0,259	20,1	13,0	14,5	14,5	0,358	0,358	9,65	8,95	6,40	6,40
20.01.00	4,53	3,75	0,677	0,362	0,101	0,101	7,29	5,55	6,25	5,08	0,167	0,167	6,25	5,87	3,42	3,32
25.05.00	7,34	7,34	1,24	0,554	0,293	0,293	22,0	13,1	15,0	13,6	0,441	0,441	9,01	8,72	9,88	9,67
12.07.00	8,25	4,95	0,226	0,582	nb	0,217	11,6	7,53	nb	12,1	nb	0,391	nb	7,92	nb	7,50

## Anlage 7: Zeitliche Entwicklung des Gesamtsickerwassers - Rigole 28 (Dez. 2002-2005)

Datum	Feldparameter									Hauptan- und Kationen								
	T [°C]	pH	Eh [mV]	Lf [µS/cm]	O2 [mg/l]	O2 [%]	N [mm/d]	Q [m3/h]	Schweb [mg/l]	HCO3- [mg/l]	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]
06.12.02	3,5	5,8	381	1191	13,4	106	0,00	21,0	24,6	0,82	9,9	15,1	4,73	748	13,3	14,9	175	47,0
07.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,00	21,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
08.12.02	3,4	5,8	388	1250	13,3	102	0,00	19,5	10,7	2,0	13,3	14,4	3,94	846	14,0	15,6	194	54,0
09.12.02	2,0	5,5	378	1040	13,8	107	0,00	19,5	12,9	<0,8	14,8	14,1	3,66	882	14,4	15,8	209	59,3
10.12.02	2,5	5,9	380	1032	14,3	111	0,00	17,5	11,7	1,7	14,2	13,9	3,73	902	14,4	16,2	212	60,8
11.12.02	1,9	5,9	382	1148	14,2	114	0,00	16,0	13,9	2,0	15	13,6	3,45	888	14,7	16,6	214	58,3
12.12.02	2,0	6,0	375	1550	14,1	111	0,00	15,0	14,3	1,7	16,5	14,5	3,86	925	14,7	16,8	215	59,3
13.12.02	2,9	5,9	384	1366	14,1	112	0,00	15,0	43,8	2,1	17,5	14,8	3,98	889	14,0	17,0	210	58,8
14.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,00	10,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
15.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,00	9,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
16.12.02	4,2	6,0	382	1180	13,1	106	0,22	8,0	10,6	2,1	14,4	14,8	5,27	894	14,2	17,3	205	56,5
17.12.02	4,4	5,7	377	1250	13,1	115	2,75	7,0	16,5	1,9	10,1	14,7	3,76	874	14,4	16,5	208	57,8
18.12.02	3,8	6,0	385	1329	13,1	106	0,00	6,0	10,7	2,0	14,2	14,6	3,54	891	14,8	16,3	218	61,5
19.12.02	4,0	6,0	382	1366	13,4	109	0,00	5,0	14,2	2,2	15,4	15,2	3,67	904	14,8	16,9	227	63,0
20.12.02	2,8	6,0	374	1198	13,4	104	0,00	4,0	10,3	2,1	13,8	15,1	3,52	932	14,7	16,8	227	64,0
21.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,00	1,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
22.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	12,21	1,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
23.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	8,58	0,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
24.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,44	0,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
26.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	1,54	0,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
27.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,00	0,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
28.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,00	0,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
29.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	4,07	0,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
30.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	44,77	0,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
31.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	6,38	0,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
02.01.03	nb	nb	nb	nb	nb	nb	16,06	0,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
04.01.03	nb	nb	nb	nb	nb	nb	2,31	25,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
05.01.03	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,11	25,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
06.01.03	3,0	5,9	383	676	14,8	103	0,00	25,0	8,90	4,4	7,91	17,2	7,32	444	11,9	9,90	113	29,5
08.01.03	2,2	6,0	391	861	14,5	109	0,00	25,0	9,65	4,4	5,57	19,3	7,01	573	12,6	11,8	135	37,0
10.01.03	3,9	6,0	379	998	12,0	105	0,00	20,0	9,86	5,4	11,0	16,7	4,58	759	12,8	14,1	178	49,0
13.01.03	3,7	6,0	374	911	12,3	100	3,08	20,0	10,7	3,4	9,17	17,6	5,17	730	13,3	13,4	175	48,4
15.01.03	4,2	6,1	397	540	12,0	98	0,00	25,0	54,2	4,4	4,85	25,9	10,63	300	12,0	6,51	76,4	21,4
17.01.03	4,1	6,0	390	953	12,4	101	0,00	20,0	6,34	2,9	10,4	16,7	6,11	623	13,0	12,5	155	41,3
20.01.03	5,7	5,9	385	1110	12,0	102	0,00	15,0	7,13	2,4	2,21	15,9	5,42	695	13,5	14,0	170	46,5
24.01.03	5,3	6,1	380	790	11,6	106	3,74	18,0	7,74	3,7	7,78	19,4	8,20	485	12,3	9,46	120	32,9
29.01.03	4,1	6,3	314	692	12,0	100	6,71	20,7	13,3	3,7	7,28	13,2	5,92	462	9,89	9,76	115	30,0

## Anlage 7: Zeitliche Entwicklung des Gesamtsickerwassers - Rigole 28 (Dez. 2002-2005)

Datum	Feldparameter									Hauptan- und Kationen								
	T [°C]	pH	Eh [mV]	Lf [µS/cm]	O2 [mg/l]	O2 [%]	N [mm/d]	Q [m3/h]	Schweb [mg/l]	HCO3- [mg/l]	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]
05.02.03	3,4	6,0	372	1220	12,0	108	0,00	11,5	8,73	3,9	7,01	18,2	6,39	724	13,8	12,6	147	41,2
13.02.03	2,7	6,2	367	1254	15,3	111	0,00	7,5	10,5	3,7	10,1	15,2	4,24	895	15,2	15,7	204	54,8
19.02.03	2,8	6,2	369	1530	14,5	114	0,00	6,8	9,68	3,9	7,62	14,6	3,38	939	15,1	16,7	223	58,5
26.02.03	3,6	6,1	374	1462	12,6	102	0,00	7,2	10,5	3,2	8,31	15,0	3,50	964	15,6	17,2	228	61,2
05.03.03	4,1	6,1	369	948	13,8	110	0,00	30,0	12,2	4,9	7,51	16,0	6,11	621	12,5	11,7	146	37,3
13.03.03	4,4	6,2	363	1060	12,4	102	0,66	30,0	39,3	4,9	4,73	11,7	3,87	561	10,9	9,54	132	34,0
19.03.03	5,9	6,2	410	1414	12,2	105	0,00	18,6	11,9	2,0	5,46	13,6	4,26	844	14,1	14,0	188	50,0
26.03.03	6,8	6,0	365	1454	12,3	104	0,00	13,7	9,91	3,7	5,17	14,2	3,75	888	14,9	14,8	201	54,3
11.04.03	6,6	5,9	430	1423	11,9	100	2,31	14,6	10,9	3,2	3,70	16,8	4,33	897	14,7	15,1	204	57,3
24.04.03	8,0	6,0	361	1396	11,2	102	0,00	14,0	11,3	2,7	5,14	15,2	4,80	838	15,6	16,4	201	56,0
08.05.03	11,2	5,6	376	1520	9,9	97	2,09	9,6	10,4	3,4	4,65	15,8	4,25	900	16,7	17,5	216	60,3
24.05.03	10,9	6,2	344	1393	9,7	94	0,00	10,0	18,8	2,9	3,47	15,5	4,07	877	16,9	17,3	218	59,3
11.06.03	14,8	5,5	393	1422	9,5	100	0,11	5,4	5,97	3,2	11,6	17,7	4,35	1015	17,8	17,9	224	60,0
26.06.03	11,8	6,2	325	1506	nb	nb	0,00	5,4	6,43	2,2	10,8	17,8	4,12	971	17,6	19,9	230	62,0
18.07.03	13,3	6,5	285	1370	9,8	99	0,22	7,7	22,3	2,4	10,6	15,7	2,78	876	16,1	16,2	204	53,3
05.08.03	15,4	5,9	409	1523	9,4	101	0,00	4,4	9,23	2,2	11,4	18,0	2,58	1030	18,8	18,7	229	61,0
02.09.03	11,4	6,3	331	1344	10,3	100	0,00	4,4	14,6	6,9	10,9	17,2	1,60	990	18,4	18,9	220	57,7
25.09.03	6,8	6,6	309	1220	10,4	90	0,00	3,4	10,7	10,2	6,97	17,8	1,21	537	20,0	19,5	229	60,3
15.10.03	7,4	6,6	312	1420	9,2	80	0,00	3,4	13,7	35,6	10,5	18,0	2,90	994	19,4	18,7	228	57,9
05.11.03	3,2	6,5	348	1420	11,8	95	0,00	3,4	8,15	13,7	9,32	17,4	1,41	1010	19,5	19,1	224	57,4
04.12.03	4,2	6,5	313	1270	13,5	108	0,00	2,8	12,3	10,5	9,10	17,8	1,98	933	19,5	17,9	224	55,1
18.02.04	3,4	6,4	336	896	13,2	100	0,11	15,6	8,74	7,8	8,55	16,8	5,50	568	14,8	10,9	144	35,1
22.04.04	9,0	6,1	335	1040	11,4	95	0,00	6,5	9,19	3,9	7,16	18,7	2,42	683	15,8	12,6	165	41,2
12.05.04	11,0	6,0	366	658	9,3	95	0,00	30,0	16,2	12,2	6,08	13,2	6,28	341	11,8	8,52	91	22,4
03.06.04	12,1	6,2	318	802	10,2	100	0,00	13,8	15,2	nb	5,74	17,3	3,49	427	14,3	10,0	116	30,4
23.06.04	12,3	6,1	307	1220	9,5	96	0,88	9,0	15,1	10,2	7,36	22,1	3,03	606	18,0	12,3	154	40,0
04.08.04	16,6	6,2	291	1470	8,2	90	0,00	4,4	14,1	6,1	9,83	17,3	1,00	889	17,8	16,8	200	45,8
25.08.04	13,1	6,1	344	1465	9,2	94	0,00	3,4	14,9	8,3	9,29	20,3	<0,1	895	18,7	17,4	201	50,5
27.10.04	8,8	6,7	296	1210	10,3	96	5,94	12,0	7,54	10,7	8,82	24,3	4,81	614	18,4	13,7	163	39,9
04.11.04	8,9	6,1	329	1380	10,2	93	0,00	6,4	6,80	7,3	11,4	20,2	2,56	724	18,8	16,6	196	48,2
19.01.05	3,1	6,0	330	1100	11,9	98	0,44	12,0	15,7	9,8	12,6	22,8	5,3	602	18,0	11,7	145	35,6
05.04.05	8,5	6,2	456	962	10,5	95	0,44	22,0	12,6	8,8	14	15,6	3,72	526	14,7	11,4	131	32,0
25.05.05	13,8	5,5	436	1180	10,0	100	0,00	15,6	10,3	2,0	14,7	16,1	2,67	623	16,2	13,8	164	41,4
04.08.05	12,8	6,2	316	1060	8,6	86	0,00	22,0	14,1	7,3	7,05	21,0	2,85	619	20,5	12,6	149	34,7
06.10.05	10,3	6,0	319	1190	10,5	100	2,70	12,0	13,3	2,4	10,8	20,7	2,44	741	19,0	15,0	174	42,8

## Anlage 7: Zeitliche Entwicklung des Gesamtsickerwassers - Rigole 28 (Dez. 2002-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Al_ges [mg/l]	Al_gel [mg/l]	As_ges [mg/l]	As_gel [mg/l]	AsIII_gel [mg/l]	Cd_ges [mg/l]	Cd_gel [mg/l]	Co_ges [mg/l]	Co_gel [mg/l]	Cu_ges [mg/l]	Cu_gel [mg/l]	Fe_ges [mg/l]	Fe_gel [mg/l]	Fell_gel [mg/l]
06.12.02	10,7	9,69	0,820	0,320	0,213	0,028	0,028	0,24	0,24	0,087	0,059	14,4	10,2	7,55
07.12.02	10,7	nb	0,730	nb	nb	0,029	nb	0,25	nb	0,092	nb	14,9	nb	nb
08.12.02	11,1	10,7	0,770	0,420	0,274	0,031	0,031	0,28	0,28	0,086	0,066	16,0	13,0	nb
09.12.02	11,9	11,2	0,830	0,430	0,208	0,033	0,033	0,29	0,29	0,100	0,074	17,1	13,7	nb
10.12.02	12,1	11,5	0,830	0,460	0,329	0,034	0,034	0,30	0,30	0,092	0,074	18,0	14,6	nb
11.12.02	12,5	11,7	0,890	0,500	0,342	0,033	0,033	0,31	0,31	0,096	0,076	19,6	15,8	nb
12.12.02	12,5	11,5	0,960	0,500	0,313	0,033	0,033	0,31	0,31	0,096	0,073	20,2	16,3	nb
13.12.02	12,2	11,1	1,01	0,590	0,414	0,032	0,032	0,31	0,30	0,087	0,066	19,7	15,8	nb
14.12.02	11,6	nb	0,930	nb	nb	0,032	nb	0,30	nb	0,083	nb	18,4	nb	nb
15.12.02	11,7	nb	0,980	nb	nb	0,032	nb	0,30	nb	0,084	nb	19,1	nb	nb
16.12.02	11,6	11,3	0,970	0,590	0,419	0,032	0,032	0,30	0,30	0,085	0,071	18,6	15,2	nb
17.12.02	11,4	10,7	0,950	0,590	0,375	0,030	0,030	0,28	0,28	0,079	0,065	17,7	14,4	nb
18.12.02	10,7	10,3	0,980	0,610	0,469	0,035	0,035	0,33	0,33	0,075	0,061	18,1	15,0	nb
19.12.02	10,5	10,1	1,00	0,640	0,468	0,034	0,033	0,33	0,33	0,075	0,057	18,4	15,1	nb
20.12.02	10,9	10,3	1,04	0,650	0,487	0,035	0,033	0,34	0,33	0,075	0,059	19,3	15,9	nb
21.12.02	11,0	nb	1,01	nb	nb	0,034	nb	0,32	nb	0,075	nb	18,1	nb	nb
22.12.02	10,7	nb	1,04	nb	nb	0,034	nb	0,33	nb	0,074	nb	18,6	nb	nb
23.12.02	6,25	nb	0,720	nb	nb	0,020	nb	0,16	nb	0,043	nb	9,76	nb	nb
24.12.02	9,44	nb	0,910	nb	nb	0,030	nb	0,28	nb	0,063	nb	15,6	nb	nb
26.12.02	10,9	nb	1,04	nb	nb	0,033	nb	0,32	nb	0,067	nb	18,1	nb	nb
27.12.02	10,1	nb	1,01	nb	nb	0,031	nb	0,30	nb	0,067	nb	17,0	nb	nb
28.12.02	8,92	nb	0,920	nb	nb	0,028	nb	0,26	nb	0,059	nb	14,6	nb	nb
29.12.02	6,21	nb	1,26	nb	nb	0,015	nb	0,12	nb	0,049	nb	9,95	nb	nb
30.12.02	15,7	nb	1,14	nb	nb	0,013	nb	0,03	nb	0,160	nb	35,3	nb	nb
31.12.02	6,14	nb	1,00	nb	nb	0,013	nb	0,08	nb	0,039	nb	6,67	nb	nb
02.01.03	12,6	nb	3,37	nb	nb	0,012	nb	0,06	nb	0,066	nb	13,5	nb	nb
04.01.03	6,67	nb	0,500	nb	nb	0,012	nb	0,10	nb	0,037	nb	5,47	nb	nb
05.01.03	6,05	nb	0,390	nb	nb	0,015	nb	0,14	nb	0,045	nb	6,58	nb	nb
06.01.03	6,63	5,97	0,420	0,200	0,131	0,017	0,017	0,16	0,15	0,049	0,039	7,54	5,62	nb
08.01.03	7,95	7,39	0,550	0,300	0,211	0,021	0,020	0,20	0,20	0,057	0,044	10,1	7,79	nb
10.01.03	10,2	9,69	0,760	0,410	0,279	0,027	0,027	0,28	0,27	0,067	0,055	14,1	11,1	nb
13.01.03	9,64	9,08	0,790	0,490	0,161	0,027	0,026	0,26	0,26	0,064	0,048	13,8	10,8	nb
15.01.03	5,32	3,52	1,07	0,190	0,101	0,012	0,011	0,08	0,08	0,059	0,029	7,10	3,24	nb
17.01.03	8,30	8,03	0,700	0,430	0,376	0,022	0,022	0,21	0,21	0,069	0,050	10,8	8,56	nb
20.01.03	9,15	9,15	0,800	0,520	0,323	0,025	0,025	0,24	0,24	0,065	0,055	13,3	10,8	nb
24.01.03	5,79	5,44	0,580	0,350	0,229	0,017	0,017	0,14	0,14	0,045	0,038	8,27	6,62	nb
29.01.03	6,04	5,05	0,550	0,300	0,193	0,017	0,017	0,14	0,14	0,036	0,025	7,43	5,55	nb

## Anlage 7: Zeitliche Entwicklung des Gesamtsickerwassers - Rigole 28 (Dez. 2002-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Al_ges [mg/l]	Al_gel [mg/l]	As_ges [mg/l]	As_gel [mg/l]	AsIII_gel [mg/l]	Cd_ges [mg/l]	Cd_gel [mg/l]	Co_ges [mg/l]	Co_gel [mg/l]	Cu_ges [mg/l]	Cu_gel [mg/l]	Fe_ges [mg/l]	Fe_gel [mg/l]	Fell_gel [mg/l]
05.02.03	8,70	8,10	0,770	0,500	0,345	0,024	0,023	0,22	0,22	0,052	0,042	12,3	9,49	nb
13.02.03	9,96	9,51	1,10	0,670	0,478	0,028	0,028	0,27	0,27	0,056	0,041	17,2	14,5	nb
19.02.03	11,2	10,4	1,19	0,720	0,466	0,031	0,031	0,30	0,30	0,057	0,044	19,3	15,5	nb
26.02.03	11,0	10,8	1,24	0,780	0,505	0,032	0,032	0,31	0,31	0,058	0,042	19,8	16,9	nb
05.03.03	6,61	5,38	0,770	0,500	0,350	0,021	0,021	0,16	0,16	0,032	0,020	10,4	8,39	nb
13.03.03	6,88	4,68	0,880	0,410	0,308	0,020	0,020	0,14	0,14	0,037	0,019	9,07	6,31	nb
19.03.03	10,5	9,82	1,05	0,660	0,464	0,028	0,028	0,25	0,25	0,051	0,035	15,3	12,7	nb
26.03.03	9,95	9,22	1,01	0,640	0,164	0,029	0,029	0,27	0,27	0,049	0,038	15,1	12,2	nb
11.04.03	10,2	9,44	1,21	0,760	0,399	0,030	0,030	0,28	0,27	0,045	0,031	17,1	17,1	nb
24.04.03	9,88	9,83	1,08	0,630	0,423	0,028	0,028	0,26	0,26	0,042	0,032	15,9	12,6	nb
08.05.03	9,15	8,86	1,24	0,720	0,477	0,028	0,028	0,27	0,27	0,041	0,035	15,2	12,4	nb
24.05.03	9,13	8,72	1,28	0,670	[0,270]	0,027	0,027	0,28	0,28	0,037	0,029	15,5	12,3	nb
11.06.03	8,26	8,26	1,27	0,880	0,544	0,024	0,024	0,28	0,28	0,030	0,027	15,6	13,6	9,7
26.06.03	7,24	6,90	1,31	0,780	0,450	0,020	0,020	0,27	0,27	0,024	0,016	15,9	13,2	13,2
18.07.03	5,88	4,82	1,32	0,590	0,503	0,017	0,017	0,22	0,22	0,020	0,008	15,6	11,2	11,2
05.08.03	6,16	5,80	1,51	0,667	0,513	0,019	0,019	0,25	0,25	0,018	0,009	17,9	13,8	13,6
02.09.03	5,70	4,45	2,26	1,08	0,703	0,016	0,015	0,24	0,24	0,020	0,006	22,2	16,8	16,8
25.09.03	5,24	4,16	2,02	1,31	1,05	0,009	0,009	0,23	0,23	0,014	0,006	19,4	16,8	16,8
15.10.03	5,17	3,51	2,03	1,31	0,941	0,009	0,009	0,22	0,22	0,016	0,006	17,2	14,1	13,5
05.11.03	4,09	3,34	2,05	1,51	0,906	0,014	0,014	0,25	0,25	0,008	0,008	17,3	14,1	14,1
04.12.03	4,08	2,54	1,66	0,987	0,420	0,016	0,014	0,38	0,36	0,010	0,008	13,2	7,93	nb
18.02.04	8,17	6,53	0,736	0,439	0,266	0,012	0,012	0,16	0,16	0,052	0,033	6,81	5,62	5,32
22.04.04	5,74	5,28	1,02	0,458	0,426	0,010	0,010	0,19	0,19	0,037	0,022	9,86	6,72	6,72
12.05.04	5,15	2,63	0,312	0,126	nb	0,008	0,008	0,07	0,07	0,041	0,024	2,88	1,72	1,72
03.06.04	4,89	3,25	0,531	0,191	nb	0,008	0,008	0,12	0,12	0,049	0,026	5,07	2,97	2,96
23.06.04	4,54	3,26	0,684	0,342	0,260	0,009	0,009	0,21	0,21	0,040	0,019	7,13	3,87	3,00
04.08.04	5,53	4,64	1,30	0,662	0,568	0,004	0,004	0,26	0,26	0,027	0,013	14,8	10,8	10,2
25.08.04	4,47	3,52	1,55	0,875	0,690	0,002	0,002	0,26	0,26	0,019	0,016	15,9	11,8	11,8
27.10.04	3,48	2,33	1,15	0,744	0,430	0,007	0,007	0,15	0,14	0,022	0,010	9,5	7,20	7,20
04.11.04	5,00	4,29	1,28	0,805	0,634	0,008	0,008	0,22	0,22	0,019	0,009	13,1	10,4	10,4
19.01.05	6,40	4,90	0,907	0,432	0,327	0,008	0,008	0,17	0,17	0,057	0,023	9,53	5,77	5,60
05.04.05	7,25	6,27	0,641	0,284	0,138	0,008	0,008	0,17	0,17	0,079	0,045	7,77	3,91	3,68
25.05.05	8,71	8,33	0,753	0,388	0,295	0,011	0,011	0,23	0,23	0,060	0,050	9,61	6,00	5,76
04.08.05	6,04	4,79	0,726	0,376	0,254	0,013	0,013	0,16	0,16	0,027	0,012	8,96	5,27	4,64
06.10.05	7,46	7,07	1,17	0,605	0,403	0,009	0,009	0,22	0,22	0,034	0,020	15,4	10,9	10,2

### Anlage 7: Zeitliche Entwicklung des Gesamtsickerwassers - Rigole 28 (Dez. 2002-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Mn_ges [mg/l]	Mn_gel [mg/l]	Ni_ges [mg/l]	Ni_gel [mg/l]	Pb_ges [mg/l]	Pb_gel [mg/l]	Si_ges [mg/l]	Si_gel [mg/l]	Tl_ges [mg/l]	Tl_gel [mg/l]	U_ges [mg/l]	U_gel [mg/l]	Zn_ges [mg/l]	Zn_gel [mg/l]
06.12.02	16,9	16,9	0,66	0,65	<0,05	<0,05	11,3	10,4	nb	nb	nb	nb	15,2	15,2
07.12.02	18,3	nb	0,70	nb	<0,05	nb	10,8	nb	nb	nb	nb	nb	16,3	nb
08.12.02	19,6	19,6	0,75	0,75	<0,05	<0,05	11,1	11,1	nb	nb	nb	nb	17,2	17,2
09.12.02	20,6	20,6	0,80	0,80	<0,05	<0,05	11,2	11,0	nb	nb	nb	nb	18,3	18,3
10.12.02	21,2	21,2	0,83	0,82	<0,05	<0,05	11,4	11,4	nb	nb	nb	nb	18,7	18,7
11.12.02	22,3	22,3	0,83	0,83	<0,05	<0,05	11,5	11,2	nb	nb	nb	nb	19,4	19,4
12.12.02	22,3	22,3	0,84	0,83	<0,05	<0,05	11,5	11,2	nb	nb	nb	nb	19,2	19,2
13.12.02	21,5	21,5	0,80	0,80	<0,05	<0,05	11,6	10,8	nb	nb	nb	nb	18,5	18,5
14.12.02	21,4	nb	0,81	nb	<0,05	nb	11,0	nb	nb	nb	nb	nb	18,5	nb
15.12.02	21,5	nb	0,82	nb	<0,05	nb	11,0	nb	nb	nb	nb	nb	18,7	nb
16.12.02	21,2	21,2	0,81	0,81	<0,05	<0,05	10,9	10,8	nb	nb	nb	nb	18,6	18,6
17.12.02	20,2	20,2	0,78	0,78	<0,05	<0,05	10,6	10,3	nb	nb	nb	nb	17,7	17,7
18.12.02	20,2	20,1	0,80	0,80	0,0010*	0,0010*	10,9	10,7	0,00013*	0,00013*	0,0029*	0,0017*	17,4	17,3
19.12.02	20,1	20,1	0,80	0,79	<0,05	<0,05	10,8	10,7	nb	nb	nb	nb	17,1	17,1
20.12.02	20,7	20,6	0,82	0,82	<0,05	<0,05	11,0	10,8	nb	nb	nb	nb	17,8	17,6
21.12.02	20,0	nb	0,81	nb	<0,05	nb	10,9	nb	nb	nb	nb	nb	17,5	nb
22.12.02	20,5	nb	0,81	nb	<0,05	nb	11,0	nb	nb	nb	nb	nb	17,6	nb
23.12.02	10,6	nb	0,44	nb	<0,05	nb	7,95	nb	nb	nb	nb	nb	9,48	nb
24.12.02	17,1	nb	0,71	nb	<0,05	nb	10,2	nb	nb	nb	nb	nb	15,3	nb
26.12.02	19,5	nb	0,78	nb	<0,05	nb	10,8	nb	nb	nb	nb	nb	17,0	nb
27.12.02	18,6	nb	0,76	nb	<0,05	nb	10,5	nb	nb	nb	nb	nb	16,3	nb
28.12.02	16,2	nb	0,66	nb	<0,05	nb	11,1	nb	nb	nb	nb	nb	14,3	nb
29.12.02	7,97	nb	0,33	nb	0,0140*	nb	9,16	nb	nb	nb	nb	nb	6,68	nb
30.12.02	1,77	nb	0,17	nb	0,0120*	nb	22,4	nb	nb	nb	nb	nb	1,67	nb
31.12.02	5,07	nb	0,24	nb	<0,05	nb	8,07	nb	nb	nb	nb	nb	5,09	nb
02.01.03	3,63	nb	0,19	nb	<0,05	nb	12,0	nb	nb	nb	nb	nb	3,35	nb
04.01.03	5,55	nb	0,25	nb	<0,05	nb	7,25	nb	nb	nb	nb	nb	5,05	nb
05.01.03	7,85	nb	0,34	nb	0,0020*	nb	7,94	nb	0,00010*	nb	0,0025*	nb	6,86	nb
06.01.03	9,05	8,99	0,39	0,38	<0,05	<0,05	8,39	8,06	nb	nb	nb	nb	7,87	7,82
08.01.03	11,8	11,7	0,49	0,49	<0,05	<0,05	9,17	8,96	nb	nb	nb	nb	10,0	10,0
10.01.03	15,9	15,9	0,68	0,67	<0,05	<0,05	10,4	10,2	nb	nb	nb	nb	13,9	13,8
13.01.03	15,3	15,3	0,65	0,64	0,0010*	0,0002*	9,92	9,75	0,00011*	0,00011*	0,0029*	0,0015*	13,2	13,2
15.01.03	5,31	5,31	0,22	0,22	<0,05	<0,05	8,83	6,67	nb	nb	nb	nb	4,68	4,68
17.01.03	13,0	12,9	0,56	0,56	0,0013*	<0,0001*	9,38	9,23	0,00009*	0,00009*	0,0021*	0,0012*	11,1	10,9
20.01.03	15,7	15,5	0,64	0,64	<0,05	<0,05	9,90	9,90	nb	nb	nb	nb	13,3	13,3
24.01.03	9,66	9,66	0,41	0,41	<0,05	<0,05	7,76	7,54	nb	nb	nb	nb	8,43	8,43
29.01.03	8,96	8,92	0,40	0,40	<0,05	<0,05	7,49	7,03	nb	nb	nb	nb	8,62	8,50

### Anlage 7: Zeitliche Entwicklung des Gesamtsickerwassers - Rigole 28 (Dez. 2002-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Mn_ges [mg/l]	Mn_gel [mg/l]	Ni_ges [mg/l]	Ni_gel [mg/l]	Pb_ges [mg/l]	Pb_gel [mg/l]	Si_ges [mg/l]	Si_gel [mg/l]	Tl_ges [mg/l]	Tl_gel [mg/l]	U_ges [mg/l]	U_gel [mg/l]	Zn_ges [mg/l]	Zn_gel [mg/l]
05.02.03	13,9	13,4	0,60	0,60	0,0010*	0,0003*	9,39	8,90	0,00012*	0,00012*	0,0019*	0,0011*	12,4	11,9
13.02.03	17,8	17,8	0,76	0,75	<0,05	<0,05	9,96	9,95	nb	nb	nb	nb	15,2	15,2
19.02.03	20,7	20,1	0,82	0,82	<0,05	<0,05	10,8	10,4	nb	nb	nb	nb	17,8	17,2
26.02.03	20,7	20,7	0,84	0,84	<0,05	<0,05	10,7	10,7	nb	nb	nb	nb	17,8	17,8
05.03.03	10,9	10,9	0,50	0,50	<0,05	<0,05	6,67	6,49	nb	nb	nb	nb	10,5	10,3
13.03.03	9,48	9,47	0,46	0,46	<0,05	<0,05	7,14	6,30	nb	nb	nb	nb	9,52	9,52
19.03.03	16,1	16,1	0,73	0,73	0,0011*	0,0003*	8,75	8,62	0,00010*	0,00010*	0,0024*	0,0012*	14,8	14,8
26.03.03	16,9	16,5	0,75	0,75	<0,05	<0,05	8,90	8,73	nb	nb	nb	nb	15,4	15,1
11.04.03	18,3	18,3	0,80	0,79	0,0008*	0,0001*	8,87	8,60	0,00010*	0,00010*	0,0019*	0,0010*	16,4	16,4
24.04.03	17,7	17,7	0,74	0,74	<0,05	<0,05	8,94	8,79	nb	nb	nb	nb	15,4	15,4
08.05.03	19,8	20,0	0,76	0,76	<0,05	<0,05	10,8	10,8	nb	nb	nb	nb	16,1	16,1
24.05.03	19,3	19,3	0,75	0,74	0,0010*	<0,0001*	10,6	10,1	0,00013*	<0,0001*	0,0010*	0,0006*	16,6	15,6
11.06.03	19,2	19,2	0,72	0,72	<0,05	<0,05	10,5	10,5	nb	nb	nb	nb	14,2	14,2
26.06.03	20,9	20,7	0,67	0,67	0,0004*	0,0004*	10,1	9,85	<0,0001*	<0,0001*	0,0004*	0,0003*	14,1	14,1
18.07.03	17,2	17,2	0,58	0,58	<0,05	<0,05	9,36	8,84	nb	nb	nb	nb	11,9	11,8
05.08.03	19,3	19,3	0,59	0,59	0,0004*	<0,0001*	9,80	9,80	<0,0001*	<0,0001*	0,0008*	0,0002*	11,7	11,7
02.09.03	18,0	18,0	0,51	0,51	<0,05	<0,05	9,07	8,81	nb	nb	nb	nb	10,0	9,91
25.09.03	18,5	17,8	0,48	0,48	<0,05	<0,05	8,70	8,45	nb	nb	nb	nb	8,47	8,37
15.10.03	17,1	17,1	0,45	0,45	<0,05	<0,05	8,66	8,19	nb	nb	nb	nb	8,00	7,86
05.11.03	15,3	15,2	0,42	0,42	<0,05	<0,05	nb	nb	<0,0001*	<0,0001*	0,0015*	0,0014*	9,40	9,23
04.12.03	13,6	13,0	0,38	0,36	<0,05	<0,05	nb	nb	nb	nb	nb	nb	8,80	8,20
18.02.04	9,29	9,21	0,34	0,33	<0,05	<0,05	9,18	8,93	nb	nb	<0,02	<0,02	7,18	7,07
22.04.04	10,8	10,7	0,28	0,28	<0,05	<0,05	9,02	8,85	nb	nb	<0,02	<0,02	5,45	5,45
12.05.04	4,41	4,41	0,17	0,17	<0,05	<0,05	7,51	7,15	nb	nb	<0,02	<0,02	3,43	3,41
03.06.04	7,40	7,36	0,22	0,22	<0,05	<0,05	8,42	8,00	nb	nb	<0,02	<0,02	4,08	3,98
23.06.04	12,6	12,4	0,27	0,27	<0,05	<0,05	8,97	8,59	nb	nb	<0,02	<0,02	4,77	4,66
04.08.04	15,7	15,7	0,36	0,36	<0,05	<0,05	9,68	9,29	nb	nb	<0,02	<0,02	5,74	5,56
25.08.04	14,7	14,2	0,33	0,32	<0,05	<0,05	9,07	8,68	nb	nb	<0,02	<0,02	4,86	4,59
27.10.04	9,41	9,27	0,25	0,24	<0,05	<0,05	8,32	7,79	nb	nb	<0,02	<0,02	3,95	3,81
04.11.04	13,4	13,1	0,35	0,35	<0,05	<0,05	9,48	9,17	nb	nb	<0,02	<0,02	5,36	5,29
19.01.05	9,42	9,38	0,29	0,29	<0,05	<0,05	9,40	9,00	nb	nb	<0,02	<0,02	5,24	5,15
05.04.05	8,97	8,85	0,31	0,30	<0,05	<0,05	9,28	8,88	nb	nb	<0,02	<0,02	5,95	5,79
25.05.05	12,7	12,4	0,49	0,49	<0,05	<0,05	10,3	9,93	nb	nb	<0,02	<0,02	9,35	9,06
04.08.05	10,8	10,6	0,45	0,45	<0,05	<0,05	10,1	9,62	nb	nb	<0,02	<0,02	12,4	12,0
06.10.05	13,4	13,4	0,42	0,42	<0,05	<0,05	10,7	10,3	nb	nb	<0,02	<0,02	7,69	7,52

### Anlage 8: Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle (1996-2001)

Datum	Feldparameter							Hauptan- und Kationen								
	T [°C]	pH	Eh [mV]	Lf [µS/cm]	O2 [mg/l]	Q [m3/h]	Schweb [mg/l]	HCO3- [mg/l]	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]
30.08.96	9,7	6,0	402	1270	0,7	50,0	1,09	38,6	17,1	22,9	2,57	537	12,9	8,16	232	46,8
18.09.96	nb	5,8	392	1260	1,0	nb	1,00	45,4	13,1	22,4	1,97	609	13,2	8,13	253	42,6
05.11.96	nb	5,9	402	1150	1,2	nb	2,00	42,7	6,6	22,1	1,86	587	13,0	7,85	338	75,0
28.11.96	9,4	6,0	379	1200	1,3	88,1	1,08	34,6	16,7	25,7	2,70	562	13,4	7,54	188	37,7
17.12.96	9,4	5,8	390	1165	2,2	84,1	0,77	45,2	8,7	12,7	2,50	269	12,6	7,71	175	41,8
17.02.97	9,6	5,9	372	1150	1,6	155	1,20	42,7	13,0	24,3	4,80	497	14,6	7,33	166	27,9
18.03.97	nb	6,1	371	1044	1,8	207	1,22	45,9	6,5	22,2	5,50	419	15,1	7,09	154	42,6
14.05.97	7,8	5,9	402	705	5,5	nb	0,68	14,9	7,3	24,2	19,3	320	12,1	5,36	91,0	25,0
19.06.97	9,2	6,1	366	1060	2,3	nb	1,70	42,2	8,3	25,9	3,50	491	13,9	6,78	146	34,0
27.07.97	9,0	nb	328	1135	3,0	154	1,70	39,0	11,2	23,9	7,80	430	14,6	7,00	158	36,5
27.08.97	9,0	6,2	344	970	1,7	nb	2,10	47,8	17,5	24,1	7,30	500	14,8	6,80	148	36,5
18.09.97	9,1	5,8	327	1010	1,4	nb	1,28	45,8	19,0	29,2	9,80	466	14,5	6,70	142	33,6
06.11.97	8,9	5,9	316	1040	0,7	80,0	1,35	54,6	15,3	23,9	4,90	434	14,4	6,80	148	36,5
10.12.97	9,0	6,1	365	1022	1,7	nb	5,08	49,3	14,6	25,1	6,50	489	14,3	6,80	144	42,6
29.01.98	8,8	6,1	375	998	1,2	nb	2,50	50,7	18,8	28,3	9,80	443	14,7	6,70	144	34,0
01.04.98	9,1	6,3	421	940	2,4	nb	3,84	57,6	8,7	24,6	9,50	339	14,7	6,40	126	35,3
06.05.98	9,0	6,4	351	918	1,7	nb	3,94	54,2	13,3	21,7	4,00	422	14,8	6,60	137	33,6
24.06.98	9,0	6,1	324	880	1,8	nb	3,01	46,6	8,9	20,1	7,60	251	13,8	5,86	112	24,0
23.09.98	8,6	6,2	370	820	1,8	nb	nb	52,7	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
08.07.99	8,7	6,3	377	810	1,6	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
09.12.99	8,8	6,1	417	789	1,3	nb	nb	47,0	12,0	27,0	9,50	304	14,3	5,40	99,0	33,6
20.01.00	8,6	6,2	381	775	1,5	nb	3,40	47,0	15,2	24,0	5,50	280	nb	5,40	nb	nb
23.07.00	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	19,0	9,0	23,8	19,6	226	13,6	3,05	86,4	19,2
20.09.00	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	8,0	24,1	11,3	267	14,0	5,40	80,9	18,9
20.03.01	8,7	6,0	406	719	1,4	nb	1,70	51,9	6,0	24,7	5,60	252	14,8	4,65	94,5	19,7
23.07.01	8,5	6,1	416	685	1,3	nb	1,98	45,9	8,1	24,6	5,80	246	14,5	5,08	84,7	19,2
14.09.01	nb	6,4	323	701	2,9	nb	2,90	38,1	4,3	24,9	7,30	266	14,5	5,13	84,5	19,3

### Anlage 8: Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle (1996-2001) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente																																							
	Al_ges		Al_gel		As_ges		As_gel		AsIII_gel		Cd_ges		Cd_gel		Co_ges		Co_gel		Cu_ges		Cu_gel		Fe_ges		Fe_gel		FeII_gel		Mn_ges		Mn_gel		Ni_ges		Ni_gel		Zn_ges		Zn_gel	
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]		
30.08.96	nb	5,65	nb	0,043	nb	nb	0,022	nb	0,099	nb	0,029	nb	0,128	nb	nb	7,11	nb	0,405	nb	7,31																				
18.09.96	nb	5,44	nb	0,065	nb	nb	0,027	nb	0,106	nb	0,031	nb	0,193	nb	nb	7,22	nb	0,430	nb	7,37																				
05.11.96	5,52	5,45	0,130	0,030	nb	nb	0,024	nb	0,116	nb	0,024	0,620	0,240	nb	7,20	7,20	0,450	0,450	6,70	6,70																				
28.11.96	5,42	5,29	0,150	0,050	nb	nb	0,023	nb	0,102	nb	0,024	0,610	0,361	nb	6,48	6,48	0,360	0,360	5,73	5,73																				
17.12.96	6,19	6,19	0,160	0,107	nb	nb	0,023	nb	0,118	nb	0,029	0,910	0,756	nb	7,47	7,47	0,410	0,410	6,36	6,22																				
17.02.97	5,84	5,49	0,190	0,099	0,001	nb	0,031	nb	0,119	nb	0,041	1,22	1,01	1,01	8,00	7,87	0,390	0,390	5,19	5,19																				
18.03.97	5,85	5,77	0,180	0,103	0,001	nb	0,021	nb	0,107	nb	0,038	1,24	1,00	1,00	7,11	7,06	0,370	0,367	5,42	5,35																				
14.05.97	6,26	5,99	0,130	0,095	nb	nb	0,016	nb	0,060	nb	<0,01	0,550	0,550	0,550	4,15	4,12	0,100	0,100	4,62	4,54																				
19.06.97	6,80	5,85	0,250	0,134	0,002	nb	0,014	nb	0,117	nb	0,013	1,90	1,33	1,20	8,73	7,80	0,230	0,230	4,60	4,60																				
27.07.97	5,72	5,72	0,340	0,151	0,021	nb	nb	nb	0,111	nb	<0,01	1,85	1,53	1,40	7,50	7,47	0,330	0,330	4,67	4,67																				
27.08.97	5,43	5,43	0,330	0,187	0,041	nb	0,012	nb	0,117	nb	nb	2,12	1,78	1,54	7,69	7,69	0,300	0,300	3,92	3,92																				
18.09.97	6,16	6,13	0,350	0,206	0,053	nb	0,012	nb	0,116	nb	<0,01	2,23	1,86	1,55	8,17	8,17	0,320	0,320	4,57	4,51																				
06.11.97	5,66	5,65	0,450	0,358	0,106	nb	0,010	nb	0,106	nb	<0,01	2,63	2,39	2,34	7,80	7,80	0,290	0,290	3,86	3,81																				
10.12.97	5,25	5,25	0,360	0,041	0,029	nb	0,010	nb	0,103	nb	0,023	1,68	0,103	0,103	7,67	7,67	0,270	0,270	3,58	3,58																				
29.01.98	5,38	5,38	0,350	0,056	0,001	nb	0,013	nb	0,103	nb	0,021	1,36	0,457	0,457	7,04	7,04	0,260	0,260	3,94	3,94																				
01.04.98	5,06	5,06	0,280	0,007	0,001	nb	0,013	nb	0,107	nb	0,019	1,71	0,460	nb	7,16	7,16	0,250	0,250	3,93	3,93																				
06.05.98	4,64	4,64	0,250	0,002	0,001	nb	0,011	nb	0,091	nb	0,009	1,19	0,009	0,009	7,31	7,28	0,210	0,208	3,12	3,12																				
24.06.98	5,50	5,34	0,240	0,013	0,001	nb	0,010	nb	0,095	nb	0,029	1,41	0,657	0,220	6,64	6,57	0,230	0,228	3,81	3,67																				
23.09.98	5,14	5,00	0,300	0,024	0,024	nb	0,010	nb	0,072	nb	0,014	1,52	0,175	0,175	5,97	5,71	0,200	0,200	4,37	4,14																				
08.07.99	nb	4,93	nb	0,032	nb	nb	0,011	nb	0,070	nb	0,018	nb	0,011	nb	nb	6,19	nb	0,188	nb	3,92																				
09.12.99	nb	4,98	nb	0,048	nb	nb	nb	nb	0,058	nb	nb	nb	0,007	nb	nb	5,51	nb	0,186	nb	3,88																				
20.01.00	nb	4,77	0,248	0,008	0,006	nb	nb	nb	0,057	nb	nb	1,32	0,085	0,009	nb	5,79	nb	0,190	nb	3,89																				
23.07.00	nb	5,07	0,157	0,060	nb	nb	nb	nb	0,026	nb	nb	0,470	0,030	nb	nb	3,10	nb	0,180	nb	4,37																				
20.09.00	nb	4,55	0,151	0,056	nb	nb	nb	nb	0,035	nb	nb	0,576	0,154	0,009	nb	3,93	nb	0,155	nb	3,60																				
20.03.01	nb	4,01	0,291	0,022	nb	nb	nb	nb	0,044	nb	nb	1,13	0,009	nb	nb	4,80	nb	0,159	nb	3,23																				
23.07.01	nb	3,74	0,302	0,008	nb	nb	nb	nb	0,032	nb	nb	0,128	0,021	nb	nb	4,61	nb	0,150	nb	2,85																				
14.09.01	nb	3,79	0,304	0,1	nb	nb	nb	nb	0,035	nb	nb	1,05	0,193	0,180	nb	4,15	nb	0,143	nb	3,09																				

### Anlage 9: Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle (Dez. 2002-2005)

Datum	Feldparameter									Hauptan- und Kationen								
	T [°C]	pH	Eh [mV]	Lf [µS/cm]	O2 [mg/l]	O2 [%]	N [mm/d]	Q [m3/h]	Schweb [mg/l]	HCO3- [mg/l]	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]
06.12.02	8,6	6,1	467	543	[3,8]	[36]	0,00	136,1	2,06	34,1	9,60	23,6	8,26	221	13,4	5,54	79,6	17,5
07.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,00	142,3	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
08.12.02	8,8	6,3	464	538	[3,7]	[35]	0,00	135,2	3,08	34,2	9,90	24,0	8,30	219	13,5	5,97	79,0	17,2
09.12.02	8,9	6,2	458	517	nb	nb	0,00	129,1	2,85	33,0	9,92	31,9	8,66	219	13,8	4,79	78,1	17,7
10.12.02	8,9	6,3	423	526	[3,4]	[30]	0,00	124,4	3,49	35,5	10,1	23,2	9,06	222	13,5	4,79	75,6	17,3
11.12.02	8,9	6,3	476	541	nb	nb	0,00	114,3	3,92	36,9	10,5	23,2	7,89	217	13,5	5,32	79,7	17,3
12.12.02	8,9	6,3	447	538	[3,1]	[29]	0,00	109,2	3,69	36,2	9,70	23,5	8,60	224	13,6	4,92	78,3	17,3
13.12.02	8,9	6,3	467	545	[3,2]	[27]	0,00	104,7	3,42	36,6	10,1	23,3	8,35	221	14,1	5,41	79,2	17,3
14.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,00	101,2	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
15.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,00	98,3	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
16.12.02	9,0	6,3	453	549	[3,1]	[29]	0,22	95,8	3,42	38,3	10,0	23,2	8,50	223	13,9	4,88	78,7	18,0
17.12.02	9,0	6,2	444	537	nb	nb	2,75	93,4	3,41	38,7	9,87	23,8	7,97	223	14,1	5,01	80,3	18,1
18.12.02	9,0	6,3	454	560	[3,0]	[26]	0,00	90,5	5,20	40,7	10,0	24,1	7,70	227	14,4	4,95	82,2	18,5
19.12.02	9,0	6,3	460	555	nb	nb	0,00	88,5	5,89	39,4	11,4	24,1	7,76	230	14,3	5,00	85,0	17,9
20.12.02	9,0	6,4	439	587	[3,1]	[29]	0,00	86,4	3,77	39,8	11,7	25,8	8,46	234	13,7	6,50	85,0	19,1
21.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,00	83,8	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
22.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	12,21	82,7	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
23.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	8,58	93,8	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
24.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,44	85,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
26.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	1,54	76,4	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
27.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,00	76,4	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
28.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,00	78,5	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
29.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	4,07	79,2	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
30.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	44,77	151,0	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
31.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	6,38	247,7	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
02.01.03	nb	nb	nb	nb	nb	nb	16,06	185,4	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
03.01.03	9,5	6,0	443	580	[2,3]	[23]	13,42	244,6	3,06	36,6	11,4	21,9	8,88	263	14,6	5,39	87,0	20,8
04.01.03	nb	nb	nb	nb	nb	nb	2,31	>255	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
05.01.03	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,11	>255	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
06.01.03	9,4	6,2	425	544	[2,6]	[25]	0,00	239,0	4,01	45,4	12,0	22,4	7,36	232	13,5	4,97	80,4	18,6
08.01.03	9,5	6,3	460	538	[2,7]	[25]	0,00	181,7	3,58	46,8	10,6	23,5	7,52	243	13,0	4,89	79,1	18,2
10.01.03	9,7	6,3	448	550	[2,2]	[22]	0,00	146,4	3,79	49,3	9,42	22,9	6,97	239	13,4	4,99	80,5	18,4
13.01.03	9,8	6,4	467	557	[2,6]	[26]	3,08	123,9	3,63	46,8	9,60	23,2	7,24	247	13,5	5,20	82,4	18,7
15.01.03	10,0	6,4	477	594	[2,7]	[26]	0,00	149,5	4,47	35,1	10,2	22,1	7,75	250	13,2	5,18	81,5	18,6

### Anlage 9: Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle (Dez. 2002-2005)

Datum	Feldparameter									Hauptan- und Kationen								
	T [°C]	pH	Eh [mV]	Lf [µS/cm]	O2 [mg/l]	O2 [%]	N [mm/d]	Q [m3/h]	Schweb [mg/l]	HCO3- [mg/l]	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]
17.01.03	10,1	6,3	480	598	[3,7]	[35]	0,00	119,5	3,44	40,0	11,0	22,4	7,04	250	13,4	5,35	81,6	19,0
20.01.03	9,6	6,2	475	600	[2,6]	[25]	0,00	103,8	1,17	41,0	4,67	22,3	6,99	227	13,3	5,28	84,3	19,4
24.01.03	10,0	6,3	465	585	[2,6]	[25]	3,74	100,9	3,67	39,8	10,8	22,6	6,74	255	13,2	5,30	84,2	19,3
29.01.03	10,0	6,3	465	586	[3,1]	[30]	6,71	128,3	3,10	36,6	10,6	22,3	6,98	277	13,3	5,41	85,2	19,1
05.02.03	9,8	6,3	445	656	[3,2]	[33]	0,00	89,5	3,48	44,4	10,8	22,7	6,45	281	13,9	5,41	87,5	19,3
13.02.03	9,8	6,3	448	640	[2,4]	[23]	0,00	72,6	3,86	43,4	9,70	21,5	6,47	273	13,1	5,49	88,0	19,3
19.02.03	9,7	6,3	462	655	[2,6]	[26]	0,00	66,7	3,50	43,9	10,2	22,6	6,63	276	13,3	5,50	89,4	20,1
26.02.03	9,6	6,3	462	632	[2,3]	[22]	0,00	62,1	3,03	42,6	10,8	23,0	6,97	275	14,0	5,47	85,5	19,4
05.03.03	9,6	6,2	448	607	[2,2]	[22]	0,00	87,7	2,40	38,6	9,50	21,7	6,91	281	12,9	5,19	88,3	20,0
13.03.03	8,7	6,2	475	651	[2,8]	[25]	0,66	135,5	2,64	37,1	5,61	21,9	7,71	262	14,1	5,24	81,6	19,3
19.03.03	8,7	6,4	475	626	[2,1]	[22]	0,00	111,7	3,20	44,4	6,08	23,0	6,45	239	13,4	5,19	79,9	18,3
26.03.03	8,8	6,5	438	623	[2,1]	[22]	0,00	80,8	3,37	45,9	5,80	24,0	5,85	233	13,3	5,03	79,8	18,7
11.04.03	8,7	6,0	533	610	[3,4]	[31]	2,31	63,1	3,02	41,7	8,94	22,8	6,13	257	13,2	5,16	81,5	19,1
24.04.03	8,7	6,0	448	620	2,0	18	0,00	77,1	2,75	43,2	6,56	22,0	6,28	240	13,2	5,07	79,8	18,6
08.05.03	8,8	6,1	398	632	1,3	12	2,09	59,2	2,88	36,6	6,66	22,5	6,21	238	13,6	5,05	79,0	18,7
24.05.03	8,9	6,4	393	579	2,2	19	0,00	59,7	2,59	44,4	6,98	23,1	6,43	263	13,3	5,24	79,6	18,4
11.06.03	8,8	6,3	441	598	1,3	13	0,11	51,1	1,54	42,0	9,54	23,8	4,52	258	12,9	5,07	79,7	18,5
26.06.03	8,8	6,3	397	588	nb	nb	0,00	49,7	2,52	42,9	8,80	21,8	4,25	246	13,3	5,05	79,3	18,4
18.07.03	9,0	6,5	365	593	0,3	3	0,22	51,0	4,24	38,6	7,63	22,0	4,30	263	13,5	5,14	79,3	18,2
05.08.03	9,0	6,2	388	648	1,6	16	0,00	45,1	2,12	41,2	8,95	21,7	4,31	303	13,4	5,61	87,1	19,8
02.09.03	9,0	6,2	382	583	0,4	4	0,00	37,7	3,79	39,3	9,89	27,4	3,03	298	13,5	5,81	89,0	20,8
25.09.03	9,0	6,4	361	621	0,4	4	0,00	36,9	3,91	46,8	6,89	22,5	2,33	265	13,7	5,65	89,4	20,3
15.10.03	8,9	6,3	484	621	0,9	9	0,00	41,3	3,04	50,3	9,50	20,9	2,38	266	13,3	5,66	89,6	21,3
05.11.03	9,0	6,4	408	643	0,9	9	0,00	36,4	2,25	49,8	11,6	21,5	2,75	296	13,4	5,57	89,3	20,7
07.11.03	9,0	6,2	408	648	nb	nb	0,00	36,8	1,88	53,7	9,67	21,5	2,25	289	13,6	5,51	90,5	20,6
11.11.03	9,0	6,4	412	631	nb	nb	0,00	36,2	2,81	51,7	11,2	21,4	2,58	286	13,6	5,48	90,2	20,9
13.11.03	9,0	nb	nb	nb	nb	nb	0,00	35,9	2,39	48,8	10,5	22,0	3,22	276	13,4	5,34	87,3	20,6
17.11.03	9,0	6,5	395	670	0,9	8	9,46	36,1	2,72	52,7	11,6	24,5	2,14	295	13,5	5,51	89,0	21,0
20.11.03	8,9	6,4	467	620	0,8	7	0,00	35,9	2,96	52,0	9,18	21,2	2,03	286	13,4	5,47	90,3	20,9
27.11.03	8,9	6,2	450	625	0,8	8	0,00	36,5	2,40	50,8	10,4	21,5	2,49	303	13,4	5,65	90,1	20,3
01.12.03	8,8	6,3	433	566	0,9	9	0,00	37,5	2,17	50,5	9,88	21,3	2,31	301	13,5	5,62	91,2	20,5
04.12.03	8,8	6,3	405	612	1,5	14	0,00	36,7	1,84	51,8	9,60	21,5	2,30	298	13,5	5,53	88,8	20,4
08.12.03	8,9	6,4	418	542	1,7	15	0,00	36,7	2,95	50,3	9,43	21,2	2,29	292	13,6	5,51	90,6	20,7
11.12.03	8,8	6,3	458	609	2,2	20	1,54	36,2	2,89	49,8	9,00	21,3	2,45	297	13,2	5,57	92,4	20,3

### Anlage 9: Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle (Dez. 2002-2005)

Datum	Feldparameter									Hauptan- und Kationen								
	T [°C]	pH	Eh [mV]	Lf [µS/cm]	O2 [mg/l]	O2 [%]	N [mm/d]	Q [m3/h]	Schweb [mg/l]	HCO3- [mg/l]	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]
18.12.03	8,9	6,2	437	690	0,8	8	1,21	44,8	2,93	47,8	9,43	21,0	2,46	291	13,2	5,48	92,2	20,8
06.01.04	8,9	6,5	425	642	1,0	9	2,86	43,1	nb	49,8	8,91	21,2	2,49	291	13,3	5,49	91,4	20,6
13.01.04	8,9	6,3	395	636	1,0	10	5,50	62	2,96	45,4	8,89	20,9	3,66	287	13,4	5,46	90,3	20,9
22.01.04	8,8	6,4	419	673	0,8	8	0,44	62	3,15	44,4	9,36	20,6	2,57	278	13,4	5,40	90,6	20,3
18.02.04	8,7	6,3	426	592	nb	nb	0,00	123	2,64	38,1	10,2	20,7	3,19	276	13,8	5,18	84,0	19,6
25.02.04	8,7	6,3	468	594	nb	nb	0,00	95	3,32	40,2	9,60	22,8	3,53	273	13,7	5,17	86,6	19,4
03.03.04	8,7	6,3	448	571	1,4	13	0,11	74	3,53	40,0	8,59	21,2	2,56	256	13,2	5,27	84,3	19,2
11.03.04	8,7	6,2	451	602	1,6	14	0,00	63	3,69	42,0	9,29	21,9	3,52	262	13,3	5,31	85,3	19,3
18.03.04	8,6	5,9	458	593	2,0	18	0,00	128	3,20	37,1	9,55	21,0	4,35	269	13,2	5,21	84,8	19,8
25.03.04	8,5	nb	455	563	1,7	16	0,11	136	3,28	40,0	9,55	21,6	3,45	261	13,2	5,27	84,2	19,1
01.04.04	8,7	6,3	444	nb	2,8	28	0,00	107	3,23	42,9	8,25	20,9	2,99	255	13,1	5,21	83,6	18,9
07.04.04	8,8	6,1	460	551	2,8	26	0,11	89	3,32	44,4	9,58	21,5	3,07	258	13,4	5,21	83,6	18,8
15.04.04	8,8	6,4	425	545	nb	nb	0,00	74	2,88	45,4	8,50	20,7	2,84	248	13,2	5,10	84,5	18,8
22.04.04	8,9	6,3	403	563	0,9	8	0,00	67	3,00	44,4	10,5	21,7	2,81	265	12,9	5,10	85,1	19,8
29.04.04	8,9	6,2	423	555	0,7	7	0,00	62	2,12	43,9	9,28	22,0	2,94	266	13,5	5,10	84,2	19,4
06.05.04	8,8	6,2	485	571	0,8	8	0,00	99	1,81	39,0	8,34	23,6	3,33	258	13,5	5,97	83,0	19,3
12.05.04	8,6	5,9	461	547	1,2	10	0,00	>255	1,72	33,2	8,03	20,5	6,25	259	13,3	5,18	80,5	20,1
19.05.04	8,7	6,2	466	550	0,9	9	0,00	156	1,96	41,5	9,58	22,0	3,35	253	13,5	4,29	79,8	19,8
27.05.04	8,8	6,2	494	552	0,8	8	0,00	113	2,99	44,2	9,07	22,7	2,67	246	13,6	4,81	79,9	19,5
03.06.04	8,7	5,9	481	545	0,9	8	0,00	106	2,65	nb	8,12	20,9	2,63	230	13,5	4,88	79,4	19,3
09.06.04	8,7	6,2	479	609	1,4	13	0,00	92	3,62	41,7	7,47	21,7	3,46	240	13,3	4,87	78,9	19,2
16.06.04	8,8	5,9	457	[743]	1,5	14	0,11	81	2,43	37,6	8,10	21,1	4,14	241	13,0	4,89	77,2	18,9
23.06.04	8,7	6,1	429	690	nb	nb	0,88	79	3,26	38,6	8,84	20,4	4,02	230	13,1	4,92	77,9	18,1
30.06.04	8,8	6,0	464	673	1,9	17	0,77	61	3,07	nb	8,48	20,7	3,49	259	13,4	4,87	80,5	18,2
08.07.04	8,8	6,2	486	669	2,0	18	0,00	60	2,54	39,5	7,58	20,6	3,69	248	13,6	4,98	80,9	18,4
15.07.04	8,8	5,9	437	665	nb	nb	2,86	62	2,96	39,5	9,32	19,4	3,43	235	13,1	5,10	78,7	18,3
21.07.04	8,7	5,9	456	657	1,4	13	0,11	69	2,75	39,0	8,52	20,1	3,98	256	13,1	5,08	77,8	18,4
28.07.04	8,7	5,9	427	663	1,1	10	0,00	68	4,40	40,5	9,62	21,1	4,45	259	13,4	5,15	80,1	19,1
04.08.04	8,8	6,1	378	646	1,1	10	0,00	56	3,73	40,0	8,73	21,5	3,75	254	13,5	5,03	79,6	18,7
11.08.04	8,8	6,0	352	656	0,9	8	0,00	51	4,00	40,7	8,59	19,7	3,14	233	12,9	5,03	80,2	18,4
18.08.04	8,8	6,1	370	622	0,8	7	0,88	48	6,20	41,5	9,65	22,3	3,34	262	13,2	5,00	80,3	18,4
25.08.04	8,9	6,0	417	627	0,9	8	0,00	46	4,80	41,5	8,00	25,9	3,48	257	13,1	4,94	83,2	20,6
01.09.04	8,8	6,0	439	629	0,7	6	0,00	45	4,67	39,0	8,89	21,2	3,07	259	13,2	4,94	80,3	18,6
07.09.04	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,00	43	4,60	nb	6,67	19,6	3,18	236	13,5	5,24	80,3	18,4

### Anlage 9: Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle (Dez. 2002-2005)

Datum	Feldparameter									Hauptan- und Kationen								
	T [°C]	pH	Eh [mV]	Lf [µS/cm]	O2 [mg/l]	O2 [%]	N [mm/d]	Q [m3/h]	Schweb [mg/l]	HCO3- [mg/l]	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]
16.09.04	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,00	41	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
23.09.04	8,9	5,9	370	632	0,3	3	18,37	46	4,73	41,2	8,49	22,9	2,39	266	13,1	5,05	81,3	18,7
29.09.04	9,0	6,1	364	636	0,4	4	10,01	47	5,26	40,3	10,7	22,3	2,31	258	13,3	5,17	82,0	18,7
08.10.04	9,1	6,1	313	646	0,4	4	0,00	47	4,27	44,4	9,56	20,4	1,67	270	13,2	5,21	84,1	19,3
20.10.04	9,1	6,1	358	647	0,6	6	3,63	45	4,64	45,4	10	20,3	1,33	251	13,2	5,24	85,2	19,8
27.10.04	9,1	6,1	363	678	0,4	4	5,94	48	2,22	44,4	9,52	20,3	1,44	247	13,1	5,31	85,9	19,8
04.11.04	9,1	6,1	457	676	0,4	4	0,00	46	2,76	46,8	9,29	20,3	1,45	249	13,4	5,40	86,8	19,7
18.11.04	8,9	6,1	424	660	0,9	9	25,52	220	2,50	35,6	9,25	19,1	3,00	259	13,7	5,44	85,8	19,9
26.11.04	8,8	5,8	461	610	1,3	12	0,00	228	1,38	43,4	8,8	19,7	3,18	220	13,4	5,01	78,8	18,3
08.12.04	9,0	6,2	440	677	0,8	7	0,00	105	3,20	41,5	9,1	19,9	2,01	243	13,4	5,35	79,7	18,5
14.12.04	9,0	6,5	498	645	0,9	8	0,00	87	2,86	40,5	9,12	22,2	2,67	240	13,2	5,05	80	18,6
19.01.05	8,9	5,9	482	628	1,1	10	0,44	101	3,24	38,1	9,57	22,5	3,2	241	12,9	5,02	78,7	18,4
17.02.05	8,5	6,2	507	570	nb	nb	0,00	214	1,56	30,3	9,2	22,2	3,94	244	12,7	4,88	73,5	17,3
09.03.05	nb	6,0	508	620	nb	nb	1,54	86	2,44	32,9	9,43	22,4	3,73	238	12,6	4,81	76,1	18,5
23.03.05	8,6	6,0	498	576	nb	nb	0,00	>255	1,92	33,2	9,15	18,1	4,5	210	13,2	4,69	71,2	16,1
05.04.05	8,6	6,0	520	590	2,1	18	0,44	130	2,96	33,2	9,07	19,7	4,13	228	13,3	4,62	71	16,4
13.04.05	8,7	6,2	544	573	1,0	10	0,00	100	2,72	35,1	10,1	20,2	3,97	237	13	4,81	72	17
28.04.05	8,8	5,9	487	611	0,7	7	0,00	81	3,54	36,6	9,16	21,7	4,57	231	13,8	4,88	74,1	16,9
11.05.05	8,7	6,1	418	581	1,3	12	2,75	111	3,06	30,7	8,61	21,0	4,79	242	13,4	4,97	74,2	16,8
25.05.05	8,8	6,2	588	587	1,6	15	0,00	91	3,88	31,2	8,66	20,4	8,56	224	13,6	5,05	73,7	17
09.06.05	8,8	6,0	448	601	1,3	12	0,00	74	3,08	27,8	7,79	20,9	5,03	237	13,2	5,06	72,3	16,9
16.06.05	8,8	6,1	398	577	1,3	12	0,00	74	2,84	28,8	8,06	20,7	4,6	253	13,4	5,07	75,9	17,3
22.06.05	8,8	6,1	518	586	1,2	11	6,93	65	3,72	29,8	8,17	20,6	4,49	252	13,2	4,94	74,2	17,5
06.07.05	8,8	5,8	558	571	1,1	9	0,00	84	2,84	29,3	8,28	20,3	4,35	228	13	5	75,1	17,4
20.07.05	8,9	6,6	521	573	1,6	15	7,70	59	3,04	32,7	9,07	20,0	2,29	216	13	4,88	73,7	17,2
04.08.05	8,7	6,2	477	569	0,8	8	0,00	122	2,52	28,1	9,73	20,3	4,3	254	12,8	5,07	76,4	17,9
17.08.05	8,8	6,2	432	572	0,6	6	0,00	82	3,74	35,6	8,77	20,8	3,47	242	13,5	4,98	74,1	16,7
25.08.05	8,9	6,0	438	577	0,5	5	0,44	96	3,58	33,4	9,16	22,1	3,64	251	13,2	5,19	77,3	17
14.09.05	nb	nb	nb	nb	nb	nb	0,00	89	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
28.09.05	8,9	6,4	452	576	0,6	6	0,00	80	4,24	36,6	8,42	22,2	3,03	242	13,2	5,04	76,4	17,1
06.10.05	8,9	6,2	479	583	0,4	4	nb	77	2,90	37,6	9,41	22,0	2,45	263	13,6	5,17	77,4	17,7
12.10.05	8,9	6,0	476	599	0,5	5	0,00	68	3,64	37,8	8,16	21,6	2,27	253	13,6	5,12	77,4	17,5
06.12.05	9,1	6,1	430	600	0,7	7	0,00	54	3,76	nb	9,37	22,3	1,48	256	13,8	5	81,4	18,7

### Anlage 9: Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle (Dez. 2002-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Al_ges [mg/l]	Al_gel [mg/l]	As_ges [mg/l]	As_gel [mg/l]	AsIII_gel [mg/l]	Cd_ges [mg/l]	Cd_gel [mg/l]	Co_ges [mg/l]	Co_gel [mg/l]	Cu_ges [mg/l]	Cu_gel [mg/l]	Fe_ges [mg/l]	Fe_gel [mg/l]	Fell_gel [mg/l]
06.12.02	3,16	3,14	0,390	0,019	0,0046	0,007	0,007	0,020	0,020	0,024	0,019	1,19	0,009	<0,05
07.12.02	3,75	nb	0,390	nb	bn	0,008	nb	0,018	nb	0,030	nb	1,16	nb	nb
08.12.02	3,21	3,19	0,390	0,016	0,0042	0,008	0,008	0,019	0,019	0,026	0,019	1,23	<0,009	<0,05
09.12.02	3,29	3,21	0,390	0,016	0,0038	0,008	0,008	0,017	0,017	0,029	0,021	1,23	<0,009	<0,05
10.12.02	3,22	3,19	0,410	0,013	0,0030	0,007	0,007	0,017	0,017	0,026	0,019	1,26	<0,009	<0,05
11.12.02	3,20	3,19	0,420	0,011	0,0038	0,007	0,007	0,020	0,020	0,025	0,017	1,31	<0,009	<0,05
12.12.02	3,26	3,23	0,400	0,011	0,0033	0,007	0,007	0,019	0,019	0,027	0,020	1,26	0,010	<0,05
13.12.02	3,25	3,24	0,430	0,020	0,0028	0,007	0,007	0,020	0,020	0,023	0,018	1,34	0,034	<0,05
14.12.02	3,26	nb	0,400	nb	nb	0,007	nb	0,019	nb	0,024	nb	1,32	nb	nb
15.12.02	3,28	nb	0,400	nb	nb	0,007	nb	0,020	nb	0,025	nb	1,34	nb	nb
16.12.02	3,27	3,23	0,390	0,008	0,0032	0,007	0,007	0,021	0,021	0,025	0,017	1,31	0,010	<0,05
17.12.02	3,24	3,23	0,390	0,007	0,0019	0,007	0,007	0,020	0,020	0,023	0,015	1,36	0,010	<0,05
18.12.02	3,09	3,09	0,420	0,007	0,0027	0,007	0,007	0,025	0,025	0,021	0,014	1,48	0,120	<0,05
19.12.02	3,12	3,08	0,400	0,007	0,0011	0,008	0,007	0,025	0,023	0,024	0,017	1,46	0,021	<0,05
20.12.02	3,14	3,12	0,410	0,005	0,0015	0,007	0,007	0,026	0,026	0,020	0,014	1,55	0,019	<0,05
21.12.02	4,50	nb	0,390	nb	nb	0,008	nb	0,027	nb	0,022	nb	1,82	nb	nb
22.12.02	4,00	nb	0,380	nb	nb	0,008	nb	0,028	nb	0,024	nb	1,60	nb	nb
23.12.02	3,38	nb	0,380	nb	nb	0,007	nb	0,030	nb	0,023	nb	1,63	nb	nb
24.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
26.12.02	3,42	nb	0,380	nb	nb	0,007	nb	0,033	nb	0,021	nb	1,61	nb	nb
27.12.02	3,52	nb	0,360	nb	nb	0,007	nb	0,033	nb	0,021	nb	1,61	nb	nb
28.12.02	3,64	nb	0,360	nb	nb	0,007	nb	0,037	nb	0,017	nb	1,67	nb	nb
29.12.02	4,34	nb	0,360	nb	nb	0,007	nb	0,038	nb	0,020	nb	1,65	nb	nb
30.12.02	4,40	nb	0,330	nb	nb	0,007	nb	0,040	nb	0,020	nb	1,52	nb	nb
31.12.02	4,67	nb	0,350	nb	nb	0,010	nb	0,038	nb	0,045	nb	1,45	nb	nb
02.01.03	5,54	nb	0,410	nb	nb	0,008	nb	0,036	nb	0,030	nb	1,55	nb	nb
03.01.03	4,25	4,25	0,370	0,022	0,0052	0,010	0,010	0,035	0,035	0,046	0,039	1,39	0,084	<0,05
04.01.03	4,22	nb	0,360	nb	nb	0,010	nb	0,034	nb	0,038	nb	1,46	nb	nb
05.01.03	4,84	nb	0,380	nb	nb	0,010	nb	0,031	nb	0,037	nb	1,41	nb	nb
06.01.03	3,71	3,68	0,430	0,013	0,0067	0,009	0,008	0,031	0,031	0,028	0,019	1,51	0,110	<0,05
08.01.03	3,65	3,61	0,400	0,010	0,0036	0,009	0,008	0,031	0,030	0,029	0,020	1,50	0,026	<0,05
10.01.03	3,60	3,57	0,450	0,012	0,0043	0,008	0,008	0,032	0,032	0,026	0,019	1,55	0,013	<0,05
13.01.03	3,72	3,72	0,420	0,011	0,0018	0,009	0,008	0,033	0,033	0,027	0,020	1,53	0,029	<0,05
15.01.03	3,96	3,93	0,400	0,008	0,0022	0,008	0,008	0,034	0,034	0,043	0,043	1,46	<0,009	<0,05

### Anlage 9: Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle (Dez. 2002-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Al_ges [mg/l]	Al_gel [mg/l]	As_ges [mg/l]	As_gel [mg/l]	AsIII_gel [mg/l]	Cd_ges [mg/l]	Cd_gel [mg/l]	Co_ges [mg/l]	Co_gel [mg/l]	Cu_ges [mg/l]	Cu_gel [mg/l]	Fe_ges [mg/l]	Fe_gel [mg/l]	FeII_gel [mg/l]
17.01.03	3,86	3,86	0,420	0,010	0,0022	0,009	0,008	0,034	0,034	0,060	0,035	1,50	<0,009	<0,05
20.01.03	3,90	3,88	0,400	nb	0,0020	0,008	0,008	0,036	0,036	0,075	0,064	1,71	nb	<0,05
24.01.03	3,99	3,93	0,390	0,007	0,0019	0,009	0,009	0,037	0,037	0,060	0,060	1,48	0,009	<0,05
29.01.03	4,25	4,10	0,390	0,009	0,0027	0,008	0,008	0,041	0,041	0,031	0,022	1,51	0,023	<0,05
05.02.03	3,99	3,95	0,390	0,005	0,0021	0,008	0,007	0,040	0,040	0,029	0,023	1,59	0,014	<0,05
13.02.03	4,08	4,08	0,350	0,004	0,0027	0,009	0,008	0,040	0,040	0,031	0,024	1,54	0,019	<0,05
19.02.03	4,03	4,00	0,340	0,005	0,0010	0,009	0,009	0,039	0,039	0,030	0,022	1,41	0,016	<0,05
26.02.03	4,08	4,06	0,290	0,009	0,0030	0,009	0,009	0,041	0,041	0,029	0,023	1,25	0,010	<0,05
05.03.03	4,12	4,10	0,250	0,009	0,0028	0,008	0,008	0,039	0,039	0,028	0,022	1,02	0,011	<0,05
13.03.03	4,09	4,08	0,260	0,020	0,0048	0,009	0,009	0,037	0,037	0,034	0,030	0,990	0,011	<0,05
19.03.03	3,65	3,62	0,350	0,020	0,0051	0,009	0,008	0,030	0,030	0,025	0,018	1,22	0,011	<0,05
26.03.03	3,65	3,63	0,360	0,014	0,0046	0,008	0,007	0,032	0,032	0,024	0,018	1,26	0,012	<0,05
11.04.03	3,86	3,76	0,290	0,019	0,0056	0,008	0,007	0,033	0,033	0,025	0,019	1,22	<0,009	<0,05
24.04.03	3,83	3,83	0,270	0,028	0,0080	0,008	0,008	0,034	0,034	0,025	0,021	1,04	<0,009	<0,05
08.05.03	3,60	3,53	0,270	0,026	0,0065	0,009	0,009	0,034	0,034	0,025	0,019	0,970	<0,009	<0,05
24.05.03	3,77	3,71	0,270	0,021	0,0100	0,009	0,008	0,033	0,033	0,025	0,019	1,00	<0,009	<0,05
11.06.03	3,79	3,74	0,260	0,010	0,0037	0,008	0,008	0,037	0,041	0,025	0,018	0,820	0,011	<0,05
26.06.03	3,57	3,53	0,380	0,026	0,0069	0,009	0,008	0,035	0,035	0,025	0,015	1,31	0,460	0,11
18.07.03	3,31	3,3	0,310	0,020	0,0087	0,008	0,008	0,027	0,027	0,025	0,017	1,30	0,160	0,08
05.08.03	3,49	3,45	0,310	0,001	0,0016	0,009	0,009	0,035	0,035	0,019	0,010	1,50	0,105	0,07
02.09.03	3,26	3,22	0,426	0,004	0,0015	0,009	0,009	0,035	0,034	0,016	0,008	2,06	0,824	0,04
25.09.03	3,13	3,11	0,274	0,011	0,0036	0,007	0,007	0,034	0,034	0,013	0,006	1,62	0,393	0,15
15.10.03	3,04	3,04	0,344	0,006	0,0025	0,007	0,007	0,034	0,034	0,012	0,005	1,50	<0,009	0,10
05.11.03	2,32	2,14	0,340	0,024	0,0031	0,010	0,008	0,037	0,035	<0,001	<0,001	1,33	<0,009	<0,05
07.11.03	2,63	2,53	0,380	0,023	0,0041	0,008	0,008	0,039	0,037	<0,001	<0,001	1,35	<0,009	<0,05
11.11.03	2,65	2,65	0,343	0,021	0,0049	0,006	0,006	0,036	0,036	0,004	<0,001	1,37	<0,009	<0,05
13.11.03	2,72	2,67	0,310	0,026	0,0076	0,006	0,005	0,034	0,031	0,007	0,007	1,15	<0,009	<0,05
17.11.03	2,66	2,63	0,352	0,018	0,0047	0,005	0,005	0,035	0,035	<0,001	<0,001	1,36	<0,009	<0,05
20.11.03	2,9	2,88	0,326	0,013	0,0033	0,007	0,006	0,030	0,030	0,011	0,006	1,33	<0,009	<0,05
27.11.03	2,94	2,90	0,307	0,014	0,0038	0,007	0,006	0,031	0,031	0,012	0,008	1,22	<0,009	<0,05
01.12.03	2,99	2,93	0,308	0,010	0,0032	0,007	0,006	0,031	0,031	0,012	0,008	1,22	<0,009	<0,05
04.12.03	2,98	2,96	0,299	0,016	0,0063	0,007	0,006	0,028	0,028	0,013	0,008	1,16	<0,009	<0,05
08.12.03	2,98	2,96	0,300	0,016	0,0045	0,007	0,006	0,029	0,028	0,013	0,008	1,17	<0,009	<0,05
11.12.03	3,00	2,96	0,303	0,022	0,0029	0,007	0,006	0,030	0,030	0,012	0,009	1,17	0,023	<0,05

### Anlage 9: Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle (Dez. 2002-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Al_ges [mg/l]	Al_gel [mg/l]	As_ges [mg/l]	As_gel [mg/l]	AsIII_gel [mg/l]	Cd_ges [mg/l]	Cd_gel [mg/l]	Co_ges [mg/l]	Co_gel [mg/l]	Cu_ges [mg/l]	Cu_gel [mg/l]	Fe_ges [mg/l]	Fe_gel [mg/l]	Fell_gel [mg/l]
18.12.03	3,62	3,56	0,313	0,014	0,0054	0,007	0,007	0,029	0,029	0,014	0,009	1,19	<0,009	<0,05
06.01.04	3,49	3,44	0,335	0,010	0,0027	0,007	0,006	0,027	0,027	0,013	0,008	1,25	<0,009	<0,05
13.01.04	3,12	3,08	0,315	0,009	0,0028	0,006	0,006	0,028	0,028	0,014	0,009	1,16	<0,009	<0,05
22.01.04	3,04	2,98	0,332	0,010	0,0039	0,006	0,006	0,028	0,028	0,017	0,011	1,22	<0,009	<0,05
18.02.04	3,17	3,13	0,347	0,014	0,0057	0,006	0,006	0,027	0,027	0,019	0,013	1,15	0,216	<0,05
25.02.04	3,13	3,05	0,346	0,019	0,0047	0,007	0,007	0,024	0,024	0,018	0,013	1,34	0,022	<0,05
03.03.04	3,29	3,27	0,349	0,017	0,0033	0,006	0,006	0,028	0,028	0,016	0,012	1,25	<0,009	<0,05
11.03.04	2,95	2,88	0,316	0,015	0,0034	0,006	0,006	0,024	0,024	0,013	0,010	1,23	<0,001	<0,05
18.03.04	3,21	3,14	0,291	0,025	0,0053	0,007	0,007	0,023	0,023	0,020	0,014	1,03	0,127	<0,05
25.03.04	3,09	3,05	0,338	0,036	0,0059	0,007	0,007	0,024	0,024	0,015	0,012	1,15	<0,009	<0,05
01.04.04	2,95	2,9	0,370	0,020	0,0089	0,006	0,006	0,026	0,026	0,015	0,010	1,32	<0,009	<0,05
07.04.04	2,89	2,86	0,407	0,019	0,0081	0,006	0,006	0,023	0,023	0,014	0,007	1,43	<0,009	<0,05
15.04.04	2,68	2,66	0,388	0,014	0,0039	0,006	0,006	0,022	0,022	0,014	0,009	1,38	<0,009	<0,05
22.04.04	2,73	2,7	0,373	0,012	0,0037	0,006	0,006	0,022	0,022	0,014	0,010	1,28	<0,009	<0,05
29.04.04	2,87	2,85	0,338	0,015	0,0029	0,006	0,006	0,024	0,024	0,013	0,009	1,16	<0,009	<0,05
06.05.04	3,05	3,05	0,281	0,021	0,0050	0,006	0,006	0,024	0,024	0,015	0,011	0,915	<0,009	<0,05
12.05.04	3,18	3,17	0,255	0,037	0,0082	0,008	0,008	0,022	0,022	0,024	0,020	0,778	<0,009	<0,05
19.05.04	2,86	2,83	0,420	0,035	0,0086	0,007	0,007	0,022	0,022	0,019	0,013	1,15	<0,009	<0,05
27.05.04	2,77	2,76	0,450	0,051	0,0112	0,007	0,006	0,022	0,022	0,016	0,011	1,18	<0,009	<0,05
03.06.04	2,82	2,81	0,424	0,045	nb	0,006	0,006	0,021	0,021	0,015	0,010	1,04	<0,009	nb
09.06.04	2,77	2,77	0,385	0,028	0,0065	0,007	0,007	0,021	0,021	0,016	0,012	1,11	<0,009	<0,05
16.06.04	2,78	2,76	0,340	0,014	0,0031	0,008	0,007	0,020	0,018	0,017	0,013	0,936	<0,009	<0,05
23.06.04	2,81	2,77	0,335	0,010	0,0026	0,007	0,007	0,020	0,020	0,015	0,009	0,993	<0,009	<0,05
30.06.04	2,95	2,95	0,366	0,004	0,0010	<0,002	<0,002	<0,1	<0,1	0,012	0,008	1,23	0,022	<0,05
08.07.04	3,07	3,01	0,365	0,002	0,0016	<0,002	<0,002	<0,1	<0,1	0,013	0,008	1,36	<0,009	<0,05
15.07.04	3,12	3,07	0,385	0,003	<0,001	<0,002	<0,002	<0,1	<0,1	0,021	0,019	1,40	0,022	<0,05
21.07.04	2,89	2,87	0,317	0,007	0,0011	0,006	0,006	0,020	0,020	0,013	0,009	1,11	0,041	<0,05
28.07.04	2,76	2,73	0,350	0,002	<0,001	0,005	0,005	0,019	0,019	0,018	0,012	1,27	<0,009	<0,05
04.08.04	2,83	2,77	0,337	0,003	<0,001	0,006	0,006	0,019	0,019	0,015	0,009	1,26	<0,009	<0,05
11.08.04	2,76	2,73	0,388	0,002	<0,001	0,005	0,005	0,020	0,020	0,012	0,006	1,45	0,032	<0,05
18.08.04	2,72	2,72	0,409	0,001	<0,001	0,005	0,005	0,019	0,019	0,011	0,006	1,51	0,057	<0,05
25.08.04	2,74	2,69	0,414	0,001	<0,001	0,003	0,003	0,017	0,017	0,012	0,006	1,53	0,050	<0,05
01.09.04	3,02	2,98	0,426	0,001	<0,001	<0,002	<0,002	0,020	0,020	0,019	0,009	1,76	0,093	0,09
07.09.04	2,97	2,97	0,450	<0,001	nb	<0,002	<0,002	0,019	0,023	0,011	0,005	1,89	0,064	nb

### Anlage 9: Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle (Dez. 2002-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Al_ges [mg/l]	Al_gel [mg/l]	As_ges [mg/l]	As_gel [mg/l]	AsIII_gel [mg/l]	Cd_ges [mg/l]	Cd_gel [mg/l]	Co_ges [mg/l]	Co_gel [mg/l]	Cu_ges [mg/l]	Cu_gel [mg/l]	Fe_ges [mg/l]	Fe_gel [mg/l]	FeII_gel [mg/l]
16.09.04	2,96	nb	0,522	nb	nb	0,004	nb	0,022	nb	0,013	nb	2,31	nb	nb
23.09.04	3,30	3,08	0,519	0,001	<0,001	0,004	0,004	0,022	0,022	0,011	<0,004	2,25	0,404	0,40
29.09.04	3,28	3,25	0,540	<0,001	<0,001	0,004	0,004	0,024	0,024	0,012	0,005	2,61	0,589	0,58
08.10.04	3,03	3,03	0,527	0,006	<0,001	0,004	0,004	0,028	0,028	0,009	<0,004	2,65	0,991	0,98
20.10.04	2,58	2,53	0,524	0,009	0,0015	0,004	0,004	0,028	0,028	0,008	<0,004	2,32	0,367	0,36
27.10.04	2,69	2,63	0,533	0,046	0,0098	0,004	0,004	0,028	0,028	0,008	<0,004	1,83	0,550	0,48
04.11.04	2,61	2,56	0,435	0,008	0,0050	0,004	0,004	0,030	0,030	0,007	<0,004	1,75	0,261	0,26
18.11.04	2,85	2,84	0,362	0,011	0,0044	0,006	0,006	0,022	0,022	0,018	0,012	1,31	<0,009	<0,05
26.11.04	2,69	2,66	0,412	0,022	0,0067	0,006	0,006	0,020	0,020	0,019	0,013	1,09	<0,009	<0,05
08.12.04	2,85	2,81	0,539	0,017	0,0057	0,005	0,005	0,026	0,026	0,012	0,007	1,44	<0,009	<0,05
14.12.04	2,87	2,79	0,500	0,015	0,0033	0,005	0,005	0,024	0,024	0,011	0,007	1,40	<0,009	<0,05
19.01.05	2,48	2,41	0,424	0,024	0,0066	0,005	0,005	0,021	0,021	0,012	0,008	1,16	0,007	<0,05
17.02.05	2,7	2,65	0,394	0,050	0,0093	0,006	0,006	0,017	0,017	0,021	0,016	0,742	<0,001	<0,05
09.03.05	2,84	2,71	0,355	0,030	0,0058	0,006	0,006	0,021	0,021	0,015	0,011	0,903	<0,001	<0,05
23.03.05	2,94	2,91	0,366	0,085	0,0122	0,007	0,007	0,016	0,016	0,023	0,020	0,622	<0,009	<0,05
05.04.05	2,71	2,66	0,413	0,045	0,0054	0,006	0,006	0,016	0,016	0,019	0,014	0,780	<0,009	<0,05
13.04.05	2,78	2,74	0,450	0,031	0,0082	0,005	0,005	0,016	0,016	0,016	0,012	0,972	<0,009	<0,05
28.04.05	2,63	2,56	0,435	0,003	0,0034	0,005	0,005	0,017	0,017	0,012	0,009	1,00	<0,009	<0,05
11.05.05	3,02	2,95	0,301	0,015	0,0046	0,006	0,006	0,016	0,016	0,014	0,010	0,960	<0,009	<0,05
25.05.05	2,85	2,8	0,360	0,023	0,0065	0,005	0,005	0,019	0,019	0,014	0,009	1,01	<0,009	<0,05
09.06.05	3,03	2,95	0,331	0,018	0,0035	0,005	0,005	0,017	0,017	0,028	0,019	0,837	<0,009	<0,05
16.06.05	2,71	2,7	0,339	0,008	nb	0,005	0,005	0,018	0,018	0,016	0,012	0,915	<0,009	<0,05
22.06.05	2,75	2,68	0,323	0,033	0,0024	0,006	0,006	0,017	0,017	0,016	0,013	0,819	<0,009	<0,05
06.07.05	2,91	2,87	0,307	0,023	0,0040	0,006	0,006	0,019	0,019	0,016	0,011	0,786	<0,009	<0,05
20.07.05	2,77	2,77	0,359	0,011	0,0025	0,006	0,006	0,020	0,020	0,014	0,011	0,946	0,018	<0,05
04.08.05	3,01	2,95	0,349	0,016	0,0019	0,006	0,006	0,020	0,020	0,019	0,013	0,908	0,038	<0,05
17.08.05	2,74	2,73	0,393	0,007	0,0014	0,006	0,006	0,020	0,020	0,019	0,013	1,11	0,125	nb
25.08.05	2,86	2,8	0,356	0,006	<0,001	0,006	0,006	0,021	0,021	0,018	0,013	0,901	0,040	<0,05
14.09.05	2,79	nb	0,322	nb	nb	0,006	nb	0,021	nb	0,015	nb	0,850	nb	nb
28.09.05	2,72	2,71	0,359	0,031	0,0056	0,006	0,006	0,018	0,018	0,019	0,018	0,988	<0,009	<0,05
06.10.05	2,77	2,75	0,301	0,050	0,0067	0,005	0,005	0,018	0,018	0,014	0,011	0,735	<0,009	<0,05
12.10.05	2,76	2,69	0,306	0,051	0,0081	0,006	0,006	0,018	0,018	0,015	0,014	0,810	<0,009	<0,05
06.12.05	2,55	2,5	0,456	<0,001	<0,001	0,005	0,005	0,022	0,022	0,012	0,007	1,47	0,129	nb

### Anlage 9: Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle (Dez. 2002-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Mn_ges [mg/l]	Mn_gel [mg/l]	Ni_ges [mg/l]	Ni_gel [mg/l]	Pb_ges [mg/l]	Pb_gel [mg/l]	Si_ges [mg/l]	Si_gel [mg/l]	Tl_ges [mg/l]	Tl_gel [mg/l]	U_ges [mg/l]	U_gel [mg/l]	Zn_ges [mg/l]	Zn_gel [mg/l]
06.12.02	2,86	2,86	0,12	0,12	0,0002*	0,0002*	9,47	9,47	0,00027*	0,00027*	0,0071*	0,0062*	2,61	2,59
07.12.02	2,78	nb	0,12	nb	<0,05	nb	9,45	nb	nb	nb	nb	nb	2,69	nb
08.12.02	2,89	2,89	0,12	0,12	<0,05	<0,05	9,48	9,48	nb	nb	nb	nb	2,58	2,58
09.12.02	2,85	2,83	0,12	0,12	<0,05	<0,05	9,52	9,39	nb	nb	nb	nb	2,63	2,62
10.12.02	2,91	2,91	0,12	0,12	<0,05	<0,05	9,44	9,43	nb	nb	nb	nb	2,56	2,55
11.12.02	2,96	2,96	0,12	0,12	<0,05	<0,05	9,52	9,51	nb	nb	nb	nb	2,53	2,52
12.12.02	2,93	2,92	0,12	0,12	<0,05	<0,05	9,49	9,42	0,00026*	0,00026*	0,0074*	0,0069*	2,59	2,57
13.12.02	3,00	3,00	0,12	0,12	<0,05	<0,05	9,50	9,49	nb	nb	nb	nb	2,53	2,53
14.12.02	3,05	nb	0,12	nb	<0,05	nb	9,60	nb	nb	nb	nb	nb	2,51	nb
15.12.02	3,08	nb	0,12	nb	<0,05	nb	9,51	nb	nb	nb	nb	nb	2,52	nb
16.12.02	3,10	3,07	0,12	0,12	<0,05	<0,05	9,47	9,38	nb	nb	nb	nb	2,53	2,50
17.12.02	3,18	3,18	0,11	0,11	0,0001*	<0,05	9,45	9,45	0,00026*	0,00023*	0,0086*	0,0078*	2,45	2,45
18.12.02	3,18	3,18	0,11	0,11	0,0035*	0,0013*	9,47	9,47	0,00023*	0,0002*	0,0029*	0,0017*	2,43	2,42
19.12.02	3,19	3,16	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,46	9,36	nb	nb	nb	nb	2,47	2,43
20.12.02	3,33	3,33	0,12	0,11	<0,05	<0,05	9,46	9,45	nb	nb	nb	nb	2,41	2,40
21.12.02	3,42	nb	0,12	nb	<0,05	nb	9,55	nb	nb	nb	nb	nb	2,37	nb
22.12.02	3,46	nb	0,11	nb	<0,05	nb	9,54	nb	nb	nb	nb	nb	2,35	nb
23.12.02	3,70	nb	0,12	nb	<0,05	nb	9,64	nb	nb	nb	nb	nb	2,43	nb
24.12.02	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
26.12.02	3,96	nb	0,13	nb	<0,05	nb	9,79	nb	nb	nb	nb	nb	2,39	nb
27.12.02	3,98	nb	0,13	nb	<0,05	nb	9,84	nb	nb	nb	nb	nb	2,42	nb
28.12.02	4,35	nb	0,13	nb	<0,05	nb	9,98	nb	nb	nb	nb	nb	2,30	nb
29.12.02	4,35	nb	0,13	nb	0,0040*	nb	10,1	nb	0,00024*	nb	0,0025*	nb	2,36	nb
30.12.02	4,40	nb	0,14	nb	<0,05	nb	10,1	nb	nb	nb	nb	nb	2,51	nb
31.12.02	3,87	nb	0,18	nb	<0,05	nb	10,2	nb	nb	nb	nb	nb	3,54	nb
02.01.03	3,74	nb	0,15	nb	<0,05	nb	10,0	nb	nb	nb	nb	nb	2,80	nb
03.01.03	3,54	3,54	0,17	0,17	<0,05	<0,05	9,87	9,87	nb	nb	nb	nb	3,56	3,56
04.01.03	3,56	nb	0,15	nb	<0,05	nb	10,1	nb	nb	nb	nb	nb	3,15	nb
05.01.03	3,22	nb	0,14	nb	0,0049*	nb	9,83	nb	0,00031*	nb	0,0025*	nb	3,00	nb
06.01.03	3,28	3,25	0,13	0,13	<0,05	<0,05	9,87	9,80	nb	nb	nb	nb	2,68	2,66
08.01.03	3,29	3,26	0,13	0,13	<0,05	<0,05	9,96	9,78	nb	nb	nb	nb	2,67	2,65
10.01.03	3,45	3,43	0,13	0,13	<0,05	<0,05	9,82	9,76	nb	nb	nb	nb	2,58	2,54
13.01.03	3,66	3,64	0,13	0,13	0,0041*	0,0002*	9,79	9,72	0,00024*	0,00023*	0,0029*	0,0015*	2,57	2,55
15.01.03	3,92	3,90	0,14	0,14	<0,05	<0,05	10,2	10,1	nb	nb	nb	nb	2,80	2,79

### Anlage 9: Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle (Dez. 2002-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Mn_ges [mg/l]	Mn_gel [mg/l]	Ni_ges [mg/l]	Ni_gel [mg/l]	Pb_ges [mg/l]	Pb_gel [mg/l]	Si_ges [mg/l]	Si_gel [mg/l]	Tl_ges [mg/l]	Tl_gel [mg/l]	U_ges [mg/l]	U_gel [mg/l]	Zn_ges [mg/l]	Zn_gel [mg/l]
17.01.03	3,97	3,96	0,14	0,14	0,0050*	0,0004*	10,1	10,1	0,00025*	0,00024*	0,0083*	0,0071*	2,74	2,74
20.01.03	4,21	4,21	0,15	0,15	<0,05	<0,05	10,2	10,2	nb	nb	nb	nb	2,73	2,72
24.01.03	4,42	4,35	0,15	0,15	<0,05	<0,05	10,2	10,1	nb	nb	nb	nb	2,77	2,74
29.01.03	4,65	4,47	0,16	0,16	<0,05	<0,05	10,4	10,1	nb	nb	nb	nb	3,02	2,93
05.02.03	4,65	4,63	0,16	0,15	0,0035*	0,0006*	10,2	10,1	0,00029*	0,00024*	0,0096*	0,0082*	2,87	2,85
13.02.03	4,75	4,74	0,16	0,16	<0,05	<0,05	10,1	10,1	nb	nb	nb	nb	2,94	2,94
19.02.03	4,69	4,68	0,16	0,15	<0,05	<0,05	10,0	9,97	nb	nb	nb	nb	2,96	2,94
26.02.03	4,70	4,69	0,16	0,16	<0,05	<0,05	10,1	10,0	nb	nb	nb	nb	2,99	2,97
05.03.03	4,27	4,26	0,16	0,16	<0,05	<0,05	8,41	8,39	nb	nb	nb	nb	2,95	2,95
13.03.03	3,89	3,89	0,16	0,16	<0,05	<0,05	8,36	8,33	nb	nb	nb	nb	3,24	3,24
19.03.03	3,77	3,75	0,14	0,14	0,0036*	0,0008*	8,30	8,27	0,00020*	0,00020*	0,0092*	0,0080*	2,75	2,73
26.03.03	3,78	3,74	0,14	0,14	<0,05	<0,05	8,25	8,22	nb	nb	nb	nb	2,77	2,73
11.04.03	4,17	4,15	0,15	0,14	0,0031*	<0,0001*	8,17	8,13	0,00020*	0,00020*	0,0105*	0,0090*	2,84	2,82
24.04.03	4,14	4,14	0,15	0,15	<0,05	<0,05	8,16	8,16	nb	nb	nb	nb	2,91	2,91
08.05.03	4,23	4,20	0,15	0,15	<0,05	<0,05	10,0	9,98	nb	nb	nb	nb	3,01	2,99
24.05.03	4,20	4,17	0,15	0,15	0,0024*	<0,0001*	9,72	9,63	0,00019*	0,00019*	0,0076*	0,0066*	2,94	2,90
11.06.03	4,23	4,23	0,15	0,15	<0,05	<0,05	9,70	9,65	nb	nb	nb	nb	2,85	2,85
26.06.03	4,21	4,21	0,14	0,14	0,0051*	<0,0001*	9,70	9,68	0,00019*	0,00017*	0,0064*	0,0053*	2,86	2,86
18.07.03	4,20	4,23	0,13	0,13	<0,05	<0,05	9,56	9,53	nb	nb	nb	nb	2,71	2,69
05.08.03	4,90	4,90	0,16	0,15	0,0114*	<0,0001*	9,63	9,55	0,00017*	0,00017*	0,0068*	0,0057*	2,60	2,60
02.09.03	4,81	4,79	0,15	0,15	<0,05	<0,05	9,45	9,44	nb	nb	nb	nb	2,49	2,47
25.09.03	4,87	4,84	0,14	0,14	<0,05	<0,05	9,33	9,28	nb	nb	nb	nb	2,29	2,27
15.10.03	4,99	4,99	0,13	0,13	<0,05	<0,05	9,23	9,23	nb	nb	nb	nb	2,17	2,15
05.11.03	4,83	4,50	0,13	0,12	0,0020*	<0,001*	nb	nb	<0,001*	<0,001*	0,0130*	0,0110*	2,61	2,48
07.11.03	5,13	4,83	0,13	0,12	0,0020*	<0,001*	nb	nb	<0,001*	<0,001*	0,0120*	0,0100*	2,78	2,71
11.11.03	4,84	4,81	0,12	0,12	0,0010*	<0,001*	nb	nb	<0,001*	<0,001*	0,0100*	0,0080*	2,46	2,39
13.11.03	4,35	4,25	0,13	0,12	<0,001*	<0,001*	nb	nb	<0,001*	<0,001*	0,0100*	0,0080*	2,60	2,60
17.11.03	4,72	4,64	0,12	0,12	0,0010*	<0,001*	nb	nb	<0,001*	<0,001*	0,0110*	0,0090*	2,40	2,35
20.11.03	5,26	5,26	0,13	0,13	<0,05	<0,05	9,71	9,66	nb	nb	<0,02	<0,02	2,08	2,07
27.11.03	5,18	5,16	0,13	0,13	<0,05	<0,05	9,69	9,62	nb	nb	<0,02	<0,02	2,14	2,12
01.12.03	5,20	5,18	0,14	0,14	<0,05	<0,05	9,63	9,61	nb	nb	<0,02	<0,02	2,17	2,16
04.12.03	5,13	5,10	0,13	0,13	<0,05	<0,05	9,63	9,60	nb	nb	<0,02	<0,02	2,18	2,17
08.12.03	5,10	5,07	0,13	0,13	<0,05	<0,05	9,64	9,59	nb	nb	<0,02	<0,02	2,18	2,17
11.12.03	5,15	5,13	0,13	0,13	<0,05	<0,05	9,62	9,56	nb	nb	<0,02	<0,02	2,18	2,16

### Anlage 9: Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle (Dez. 2002-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Mn_ges [mg/l]	Mn_gel [mg/l]	Ni_ges [mg/l]	Ni_gel [mg/l]	Pb_ges [mg/l]	Pb_gel [mg/l]	Si_ges [mg/l]	Si_gel [mg/l]	Tl_ges [mg/l]	Tl_gel [mg/l]	U_ges [mg/l]	U_gel [mg/l]	Zn_ges [mg/l]	Zn_gel [mg/l]
18.12.03	4,97	4,97	0,14	0,14	0,05	0,05	9,73	9,70	nb	nb	<0,02	<0,02	2,23	2,22
06.01.04	4,86	4,85	0,13	0,13	<0,05	<0,05	9,63	9,54	nb	nb	<0,02	<0,02	2,12	2,11
13.01.04	4,92	4,89	0,13	0,13	0,07	0,07	9,71	9,67	nb	nb	<0,02	<0,02	2,23	2,22
22.01.04	4,66	4,61	0,13	0,13	<0,05	<0,05	9,95	9,87	nb	nb	<0,02	<0,02	2,31	2,27
18.02.04	4,04	4,01	0,14	0,14	<0,05	<0,05	9,99	9,82	nb	nb	<0,02	<0,02	2,44	2,41
25.02.04	3,98	3,97	0,14	0,13	<0,05	<0,05	9,83	9,74	nb	nb	<0,02	<0,02	2,40	2,38
03.03.04	4,09	4,05	0,13	0,13	<0,05	<0,05	9,83	9,81	nb	nb	<0,02	<0,02	2,35	2,33
11.03.04	4,16	4,07	0,12	0,12	<0,05	<0,05	9,50	9,33	nb	nb	<0,02	<0,02	2,25	2,21
18.03.04	4,02	3,96	0,14	0,14	<0,05	<0,05	9,59	9,46	nb	nb	<0,02	<0,02	2,61	2,56
25.03.04	3,86	3,84	0,13	0,13	<0,05	<0,05	9,40	9,36	nb	nb	<0,02	<0,02	2,37	2,35
01.04.04	3,79	3,74	0,13	0,12	<0,05	<0,05	9,38	9,31	nb	nb	<0,02	<0,02	2,23	2,21
07.04.04	3,76	3,75	0,12	0,12	<0,05	<0,05	9,37	9,29	nb	nb	<0,02	<0,02	2,16	2,15
15.04.04	3,79	3,78	0,11	0,11	0,0015*	<0,0001*	9,54	9,49	0,0028*	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*	2,06	2,04
22.04.04	3,81	3,81	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,53	9,46	nb	nb	<0,02	<0,02	2,09	2,07
29.04.04	3,94	3,94	0,12	0,12	<0,05	<0,05	9,51	9,51	nb	nb	<0,02	<0,02	2,11	2,11
06.05.04	3,87	3,84	0,13	0,13	<0,05	<0,05	9,44	9,44	nb	nb	<0,02	<0,02	2,30	2,30
12.05.04	3,36	3,36	0,14	0,14	<0,05	<0,05	9,28	9,28	nb	nb	<0,02	<0,02	2,74	2,74
19.05.04	3,48	3,48	0,12	0,12	<0,05	<0,05	9,68	9,62	nb	nb	<0,02	<0,02	2,36	2,35
27.05.04	3,43	3,41	0,12	0,11	<0,05	<0,05	9,76	9,71	nb	nb	<0,02	<0,02	2,22	2,20
03.06.04	3,33	3,32	0,12	0,11	<0,05	<0,05	9,71	9,68	nb	nb	<0,02	<0,02	2,24	2,22
09.06.04	3,23	3,23	0,12	0,12	<0,05	<0,05	9,56	9,52	nb	nb	<0,02	<0,02	2,25	2,24
16.06.04	3,01	3,00	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,36	9,33	nb	nb	<0,02	<0,02	2,26	2,25
23.06.04	3,03	3,03	0,12	0,11	<0,05	<0,05	9,40	9,36	nb	nb	<0,02	<0,02	2,24	2,22
30.06.04	3,32	3,31	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,68	9,68	nb	nb	<0,02	<0,02	2,21	2,19
08.07.04	3,50	3,42	0,12	0,12	<0,05	<0,05	9,83	9,67	nb	nb	<0,02	<0,02	2,20	2,16
15.07.04	3,44	3,40	0,12	0,12	<0,05	<0,05	9,96	9,84	nb	nb	<0,02	<0,02	2,22	2,20
21.07.04	3,06	3,02	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,64	9,45	nb	nb	<0,02	<0,02	2,17	2,13
28.07.04	2,98	2,98	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,60	9,53	nb	nb	<0,02	<0,02	2,09	2,09
04.08.04	2,91	2,91	0,10	0,10	<0,05	<0,05	9,38	9,38	nb	nb	<0,02	<0,02	2,03	2,03
11.08.04	3,03	3,03	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,68	9,68	nb	nb	<0,02	<0,02	1,99	1,99
18.08.04	3,03	3,02	0,10	0,10	<0,05	<0,05	9,61	9,58	nb	nb	<0,02	<0,02	1,95	1,91
25.08.04	3,04	3,00	0,10	0,10	<0,05	<0,05	9,48	9,33	nb	nb	<0,02	<0,02	1,82	1,74
01.09.04	3,18	3,18	0,11	0,10	<0,05	<0,05	9,94	9,86	nb	nb	<0,02	<0,02	1,99	1,99
07.09.04	3,32	3,27	0,11	0,10	<0,05	<0,05	9,70	9,70	nb	nb	<0,02	<0,02	1,98	1,90

### Anlage 9: Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Gesenk 2. Sohle (Dez. 2002-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Mn_ges [mg/l]	Mn_gel [mg/l]	Ni_ges [mg/l]	Ni_gel [mg/l]	Pb_ges [mg/l]	Pb_gel [mg/l]	Si_ges [mg/l]	Si_gel [mg/l]	Tl_ges [mg/l]	Tl_gel [mg/l]	U_ges [mg/l]	U_gel [mg/l]	Zn_ges [mg/l]	Zn_gel [mg/l]
16.09.04	3,47	nb	0,10	nb	<0,05	nb	9,75	nb	nb	nb	<0,02	nb	1,82	nb
23.09.04	3,44	3,44	0,10	0,10	<0,05	<0,05	10,2	10,1	nb	nb	<0,02	<0,02	1,79	1,79
29.09.04	3,70	3,68	0,10	0,10	<0,05	<0,05	10,4	10,2	nb	nb	<0,02	<0,02	1,80	1,78
08.10.04	4,21	4,21	0,10	0,10	<0,05	<0,05	10,2	10,2	nb	nb	<0,02	<0,02	1,58	1,56
20.10.04	4,41	4,41	0,10	0,10	<0,05	<0,05	9,70	9,66	nb	nb	<0,02	<0,02	1,59	1,57
27.10.04	4,42	4,39	0,10	0,10	<0,05	<0,05	9,62	9,58	nb	nb	<0,02	<0,02	1,66	1,65
04.11.04	4,51	4,47	0,10	0,10	<0,05	<0,05	9,68	9,59	nb	nb	<0,02	<0,02	1,62	1,60
18.11.04	3,73	3,70	0,12	0,12	0,0010*	<0,0001*	9,38	9,33	0,00013*	0,00011*	0,006*	0,005*	2,23	2,22
26.11.04	3,15	3,15	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,78	9,83	nb	nb	<0,02	<0,02	2,12	2,10
08.12.04	3,64	3,62	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,48	9,43	nb	nb	<0,02	<0,02	1,85	1,82
14.12.04	3,58	3,58	0,10	0,10	<0,05	<0,05	9,34	9,32	nb	nb	<0,02	<0,02	1,8	1,79
19.01.05	3,37	3,36	0,10	0,10	<0,05	<0,05	9,27	9,2	nb	nb	<0,02	<0,02	1,79	1,77
17.02.05	2,59	2,58	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,31	9,27	nb	nb	<0,02	<0,02	2,21	2,19
09.03.05	3,00	2,96	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,42	9,27	nb	nb	<0,02	<0,02	2,01	1,95
23.03.05	2,37	2,37	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,17	9,11	nb	nb	<0,02	<0,02	2,36	2,34
05.04.05	2,4	2,37	0,10	0,10	<0,05	<0,05	8,84	8,77	nb	nb	<0,02	<0,02	2,12	2,12
13.04.05	2,71	2,68	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,36	9,27	nb	nb	<0,02	<0,02	2,03	2,03
28.04.05	2,92	2,92	0,11	0,10	<0,05	<0,05	9,44	9,42	nb	nb	<0,02	<0,02	1,89	1,88
11.05.05	2,84	2,84	0,11	0,10	<0,05	<0,05	8,86	8,83	nb	nb	<0,02	<0,02	2,15	2,15
25.05.05	3,01	2,96	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,08	8,98	nb	nb	<0,02	<0,02	2,03	1,99
09.06.05	2,79	2,77	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,01	8,94	nb	nb	<0,02	<0,02	2,06	2,01
16.06.05	2,81	2,81	0,10	0,10	<0,05	<0,05	8,89	8,89	nb	nb	<0,02	<0,02	2,01	2,00
22.06.05	2,70	2,67	0,10	0,10	<0,05	<0,05	8,85	8,73	nb	nb	<0,02	<0,02	2,05	1,98
06.07.05	2,74	2,73	0,12	0,11	<0,05	<0,05	9,38	9,28	nb	nb	<0,02	<0,02	2,04	2,01
20.07.05	2,93	2,88	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,46	9,37	nb	nb	<0,02	<0,02	1,91	1,90
04.08.05	2,94	2,9	0,12	0,12	<0,05	<0,05	9,42	9,24	nb	nb	<0,02	<0,02	2,45	2,40
17.08.05	2,97	2,92	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,10	9,01	nb	nb	<0,02	<0,02	2,07	2,03
25.08.05	2,97	2,93	0,12	0,11	<0,05	<0,05	9,13	8,99	nb	nb	<0,02	<0,02	2,11	2,05
14.09.05	2,93	nb	0,11	nb	<0,05	nb	9,27	nb	nb	nb	<0,02	nb	2,17	nb
28.09.05	3,02	2,96	0,10	0,10	<0,05	<0,05	9,22	9,09	nb	nb	<0,02	<0,02	2,12	2,09
06.10.05	3,01	3,01	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,15	9,12	nb	nb	<0,02	<0,02	2,09	2,07
12.10.05	2,98	2,98	0,11	0,11	<0,05	<0,05	9,24	9,15	nb	nb	<0,02	<0,02	2,01	2,00
06.12.05	3,73	3,71	0,10	0,10	<0,05	<0,05	9,29	9,27	nb	nb	<0,02	<0,02	1,69	1,67

### Anlage 10: Zeitliche Entwicklung des gepumpten Grubenwassers am ÜH 3-1314 (2003-2005)

Datum	Feldparameter									Hauptan- und Kationen								
	Teufe [cm]	T [°C]	pH	Eh [mV]	Lf [µS/cm]	O2 [mg/l]	O2 [%]	Q [m3/h]	Schweb [mg/l]	HCO3- [mg/l]	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]
ÜH 1																		
15.10.03	nb	9,5	6,6	329	413	1,2	11	50	7,20	75,6	3,63	15,9	<0,1	117	nb	nb	nb	nb
05.11.03	nb	nb	6,6	437	422	nb	nb	50	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
07.11.03	nb	9,3	6,5	335	448	nb	nb	50	nb	87,8	nb	nb	nb	nb	10,5	3,46	58,5	12,2
11.11.03	nb	9,2	6,8	318	431	nb	nb	50	0,97	90,3	5,73	17,5	<0,1	130	10,4	3,27	60,7	12,8
13.11.03	nb	9,3	6,9	292	438	nb	nb	50	0,84	93,2	6,05	17,6	<0,1	130	10,2	3,24	61,3	13,0
17.11.03	nb	9,5	6,9	338	418	2,7	25	50	1,33	89,8	5,37	16,4	<0,1	139	10,2	3,23	61,3	12,7
20.11.03	nb	9,5	6,5	373	425	2,1	19	50	2,96	90,8	5,17	17,0	<0,1	127	10,1	3,28	61,1	12,7
27.11.03	nb	9,5	6,4	354	445	1,4	13	50	2,77	93,7	5,67	17,7	<0,1	136	10,3	3,48	65,0	12,6
01.12.03	nb	9,5	6,6	345	454	2,0	18	50	2,20	98,6	6,11	18,2	<0,1	138	10,6	3,53	67,1	12,5
04.12.03	nb	9,4	6,6	328	450	1,9	17	50	1,48	98,1	5,53	18,7	<0,1	136	10,5	3,52	68,5	12,9
08.12.03	nb	9,4	6,8	321	447	2,2	20	50	2,87	98,1	5,25	19,7	<0,1	135	10,6	3,51	68,0	12,9
11.12.03	nb	9,4	6,8	324	460	2,2	21	50	2,00	100	5,76	19,7	<0,1	140	10,6	3,61	72,0	12,8
18.12.03	nb	9,5	6,7	328	550	2,0	19	50	nb	104	5,60	20,1	<0,1	138	10,5	3,74	75,8	13,5
06.01.04	nb	9,6	6,9	254	528	1,2	10	50	1,80	109	6,00	20,4	<0,1	140	10,7	3,73	75,9	13,4
13.01.04	nb	9,7	6,7	242	500	1,7	16	30	2,53	105	5,64	20,3	<0,1	141	10,9	3,74	76,2	13,0
22.01.04	162	9,6	6,9	290	551	1,8	17	30	2,72	106	5,85	19,9	<0,1	140	10,6	3,79	76,5	13,1
18.02.04	157	9,6	6,7	350	498	1,7	18	50	4,20	95,2	7,34	23,8	<0,1	137	10,6	3,63	73,0	13,1
25.02.04	159	9,6	6,8	299	505	nb	nb	50	3,60	101	7,18	22,4	<0,1	136	10,9	3,64	75,7	13,1
03.03.04	162	9,7	6,7	264	470	1,4	13	50	6,07	102	5,36	20,7	<0,1	130	11,1	3,66	71,2	13,3
11.03.04	163	9,7	6,7	258	481	1,0	9	50	3,29	102	5,23	22,1	<0,1	133	10,5	3,59	71,1	13,3
18.03.04	157	9,6	6,6	332	470	1,5	14	50	7,56	101	5,45	21,1	<0,1	129	10,5	3,57	71,4	13,0
25.03.04	156	9,6	nb	278	443	1,2	12	50	3,84	102	5,64	22,2	<0,1	131	10,9	3,54	70,5	13,0
01.04.04	158	9,7	6,7	330	nb	2,2	22	50	3,24	101	5,41	22,4	<0,1	132	11,0	3,63	70,7	13,1
07.04.04	159	9,7	6,5	283	449	2,3	21	50	4,65	101	5,38	22,9	<0,1	132	11,2	3,55	70,1	13,0
15.04.04	161	9,8	6,7	312	439	nb	nb	50	3,47	101	5,58	23,0	<0,1	130	10,8	3,59	70,9	12,7
22.04.04	161	9,8	6,7	293	455	0,9	8	50	2,61	92,7	5,61	21,9	<0,1	127	11,0	3,65	70,7	12,9
29.04.04	162	9,8	6,7	310	463	1,0	10	50	2,80	98,1	5,78	24,4	<0,1	134	11,7	3,40	68,8	12,6
06.05.04	159	9,8	6,7	298	463	0,8	8	50	3,00	97,1	4,53	24,2	<0,1	117	11,9	3,38	68,4	13,0
12.05.04	146	9,7	6,5	291	448	0,9	8	50	3,01	97,6	4,98	23,9	<0,1	122	11,9	3,61	68,7	13,5
19.05.04	154	9,7	6,6	342	464	1,4	13	50	2,81	93,7	5,25	24,7	<0,1	128	11,8	3,53	67,5	13,3
27.05.04	157	9,6	6,7	361	452	1,1	11	50	4,56	95,2	5,44	26,5	<0,1	126	12,4	3,54	68,8	13,4

### Anlage 10: Zeitliche Entwicklung des gepumpten Grubenwassers am ÜH 3-1314 (2003-2005)

Datum	Feldparameter										Hauptan- und Kationen							
	Teufe [cm]	T [°C]	pH	Eh [mV]	Lf [µS/cm]	O2 [mg/l]	O2 [%]	Q [m3/h]	Schweb [mg/l]	HCO3- [mg/l]	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]
09.06.04	159	9,6	6,6	313	535	1,1	11	50	3,29	92,2	4,63	25,4	<0,1	121	12,1	3,54	66,1	13,0
16.06.04	160	9,6	6,1	390	591	1,3	12	50	5,08	90,0	4,62	26,0	<0,1	119	12,9	3,58	67,1	13,3
23.06.04	162	9,8	6,4	348	570	nb	nb	50	4,26	94,2	5,04	26,6	<0,1	120	12,7	3,54	66,9	12,7
08.07.04	164	9,6	6,4	353	545	0,9	9	50	7,22	97,1	4,78	24,1	<0,1	117	12,8	3,51	67,3	12,5
15.07.04	160	9,7	6,4	317	543	nb	nb	50	1,64	96,1	5,07	24,5	<0,1	121	12,7	3,51	67,1	12,7
21.07.04	161	9,8	6,2	354	544	0,3	2	50	3,20	94,2	5,18	26,9	<0,1	136	12,8	3,57	67,6	12,7
28.07.04	162	9,6	6,3	384	546	1,0	9	50	7,00	97,6	5,32	26,7	<0,1	138	13,0	3,62	69,5	13,2
04.08.04	164	9,7	6,4	288	555	0,2	2	50	9,60	95,6	5,00	27,0	<0,1	142	13,3	3,67	70,6	13,3
11.08.04	165	9,8	6,5	296	619	0,3	3	50	4,27	96,2	5,38	26,2	<0,1	140	12,2	3,7	71,3	13,2
18.08.04	164	9,7	6,5	287	530	0,2	2	50	4,67	96,6	5,04	24,9	<0,1	136	12,2	3,67	71,9	13,1
25.08.04	164	9,8	6,6	327	534	0,2	2	50	4,50	94,7	5,02	24,9	<0,1	139	12,0	3,72	71,6	13,3
01.09.04	164	9,7	6,3	350	540	0,2	2	50	3,28	95,2	4,35	25,4	<0,1	147	12,0	3,67	72,3	13,5
07.09.04	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	50	3,33	nb	4,70	24,3	<0,1	139	12,2	3,77	71,2	13,2
16.09.04	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	50	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
23.09.04	165	9,7	6,2	328	533	0,2	2	50	3,20	98,6	5,06	25,5	<0,1	147	12,3	3,79	73,0	13,4
29.09.04	165	9,8	6,2	340	532	0,2	2	50	3,87	98,1	5,89	25,7	0,69	130	11,9	3,79	72,1	13,5
08.10.04	165	9,8	6,7	326	530	0,3	3	50	10,9	99,1	6,04	23,6	<0,1	139	12,2	3,73	72,7	13,5
20.10.04	165	9,7	6,6	347	525	0,3	3	50	3,60	104	5,30	23,2	0,29	137	12,0	3,74	72,0	13,4
27.10.04	164	9,7	6,6	378	549	0,3	3	50	1,76	104	5,33	20,3	0,39	133	11,8	3,74	72,8	13,4
04.11.04	165	9,7	6,7	435	514	0,3	3	50	1,90	107	5,06	22,7	0,23	121	12,2	3,73	73,4	13,6
18.11.04	152	9,7	6,4	424	533	0,3	3	50	4,68	105	5,32	22,6	0,44	140	12,1	3,75	73,8	13,6
<b>ÜH 2</b>																		
13.04.05	157	9,6	6,5	542	445	1,0	10,0	50	1,48	78,1	4,48	22,4	3,4	103	11,1	3,36	58,2	10,7
28.04.05	160	9,6	6,5	417	473	0,4	4,0	50	2,40	74,4	4,73	24,3	1,81	110	12,5	3,39	59,6	11,2
11.05.05	157	9,6	6,6	387	466	0,4	4,0	50	2,78	73,7	5,70	26,8	1,42	120	13,1	3,38	62,3	11,4
25.05.05	160	9,6	6,6	483	476	0,4	4,0	50	2,76	78,6	4,62	27,9	1,16	113	13,8	3,41	63,3	11,4
09.06.05	160	9,6	6,5	430	488	0,4	4,0	50	2,90	76,1	4,87	26,5	0,45	122	13,2	3,48	62,2	11,6
22.06.05	162	9,6	6,5	509	478	0,3	3,0	50	2,88	82,2	4,89	25,4	0,32	124	12,8	3,52	62,7	12,1
06.07.05	160	9,6	6,5	526	474	0,3	3,0	50	3,76	82,2	4,51	24,9	<0,1	119	12,4	3,38	62,7	11,9
20.07.05	160	9,6	6,5	495	479	0,3	3	50	2,58	82,5	4,36	23,6	0,26	115	12,2	3,24	63,4	12,2
04.08.05	157	9,6	6,5	528	470	0,4	4	50	2,78	80,8	4,95	23,5	0,61	124	11,8	3,35	64,0	12,0
17.08.05	160	9,6	6,5	463	477	0,5	5	0	2,48	93,2	5,04	23,5	0,63	129	12,1	3,39	63,7	12,1
14.09.05	160	nb	nb	nb	nb	nb	nb	50	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
28.09.05	160	9,7	6,5	493	483	0,3	3	50	5,84	91,3	5,23	24,8	0,64	131	13,3	3,43	65,6	12,6
12.10.05	160	9,6	6,6	469	485	0,3	3	50	3,16	87,8	5,24	24,7	0,55	132	11,8	3,44	66,0	13,0
06.12.05	163	9,7	6,5	489	482	0,4	4	50	5,84	nb	5,14	23,3	<0,1	126	12,3	3,28	66,3	12,4

### Anlage 10: Zeitliche Entwicklung des gepumpten Grubenwassers am ÜH 3-1314 (2003-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Al_ges [mg/l]	Al_gel [mg/l]	As_ges [mg/l]	As_gel [mg/l]	AsIII_gel [mg/l]	Cd_ges [mg/l]	Cd_gel [mg/l]	Co_ges [mg/l]	Co_gel [mg/l]	Cu_ges [mg/l]	Cu_gel [mg/l]	Fe_ges [mg/l]	Fe_gel [mg/l]	Fell_gel [mg/l]
ÜH 1														
15.10.03	0,320	0,270	2,43	1,50	1,12	<0,002	<0,002	<0,008	<0,008	0,012	<0,005	3,88	1,57	1,56
05.11.03	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
07.11.03	0,215	0,215	3,91	3,72	2,70	0,003	<0,002	<0,008	<0,008	0,017	0,009	7,03	6,67	1,52
11.11.03	0,232	0,210	3,34	3,06	2,41	0,003	0,002	<0,008	<0,008	0,020	<0,004	5,80	5,24	0,88
13.11.03	0,185	0,183	3,99	3,82	2,70	0,004	0,002	<0,008	<0,008	0,021	0,010	6,69	6,20	2,02
17.11.03	0,207	0,194	2,13	1,71	0,811	0,003	0,002	<0,008	<0,008	0,015	0,004	2,90	2,09	2,06
20.11.03	0,222	0,187	2,03	1,53	0,816	0,003	0,002	<0,008	<0,008	0,020	<0,004	2,81	1,72	1,40
27.11.03	0,197	0,177	1,72	1,10	0,556	0,003	0,002	<0,008	<0,008	0,022	<0,004	2,15	1,02	1,02
01.12.03	0,205	0,191	1,46	0,875	0,408	0,003	0,002	<0,008	<0,008	0,024	<0,004	1,59	0,646	0,34
04.12.03	0,169	0,162	1,44	0,945	0,373	0,003	0,002	<0,008	<0,008	0,019	<0,004	1,74	0,916	0,78
08.12.03	0,165	0,153	1,11	0,610	0,192	<0,002	<0,002	<0,008	<0,008	0,013	<0,004	1,49	0,568	0,50
11.12.03	0,178	0,164	1,19	0,814	0,317	<0,002	<0,002	<0,008	<0,008	0,013	<0,004	1,67	0,940	0,84
18.12.03	nb	0,153	nb	0,902	0,439	nb	<0,002	nb	<0,008	nb	<0,004	nb	1,33	1,16
06.01.04	0,155	0,155	1,89	1,63	0,962	<0,002	<0,002	0,008	0,008	0,006	<0,004	3,17	2,71	2,22
13.01.04	0,144	0,127	1,87	1,42	0,822	<0,002	<0,002	0,010	0,009	0,006	<0,004	3,22	2,41	2,34
22.01.04	0,140	0,121	1,54	1,08	0,444	<0,002	<0,002	0,009	0,009	0,005	<0,004	2,89	2,07	1,90
18.02.04	0,169	0,157	0,674	0,031	0,008	<0,002	<0,002	0,009	0,009	0,004	<0,004	1,67	0,108	0,05
25.02.04	0,128	0,117	0,916	0,248	0,075	<0,002	<0,002	0,011	<0,008	<0,004	<0,004	2,68	1,26	0,68
03.03.04	0,128	0,122	1,12	0,448	0,099	<0,002	<0,002	0,012	0,01	0,004	<0,004	2,86	1,65	1,08
11.03.04	0,130	0,112	1,07	0,524	0,107	<0,002	<0,002	0,009	0,009	<0,004	<0,004	2,85	1,81	1,70
18.03.04	0,145	0,096	1,04	0,029	0,006	<0,002	<0,002	0,010	0,010	0,005	<0,004	2,65	0,245	0,24
25.03.04	0,120	0,098	1,01	0,356	0,039	<0,002	<0,002	0,009	0,009	<0,004	<0,004	2,45	1,21	0,40
01.04.04	0,115	0,101	1,17	0,489	0,143	<0,002	<0,002	0,009	0,008	<0,004	<0,004	2,76	1,60	1,44
07.04.04	0,109	0,096	0,962	0,192	0,056	<0,002	<0,002	0,009	0,009	<0,004	<0,004	2,53	0,958	0,90
15.04.04	0,119	0,109	0,949	0,259	0,072	<0,002	<0,002	0,008	0,008	<0,004	<0,004	2,41	1,06	1,06
22.04.04	0,120	0,109	0,952	0,360	0,115	<0,002	<0,002	0,010	0,010	<0,004	<0,004	2,40	1,29	1,28
29.04.04	0,114	0,103	0,950	0,309	0,129	<0,002	<0,002	0,012	0,011	<0,004	<0,004	2,47	1,12	1,10
06.05.04	0,115	0,100	0,911	0,235	0,066	<0,002	<0,002	0,009	0,009	<0,004	<0,004	2,25	0,851	0,72
12.05.04	0,117	0,095	0,829	0,172	0,063	<0,002	<0,002	0,009	0,009	<0,004	<0,004	2,00	0,571	0,52
19.05.04	0,137	0,133	0,710	0,100	0,019	<0,002	<0,002	0,008	0,008	0,004	<0,004	1,62	0,318	0,26
27.05.04	0,111	0,102	0,857	0,090	0,017	<0,002	<0,002	0,009	0,009	0,004	<0,004	1,53	0,082	0,08

## Anlage 10: Zeitliche Entwicklung des gepumpten Grubenwassers am ÜH 3-1314 (2003-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Al_ges [mg/l]	Al_gel [mg/l]	As_ges [mg/l]	As_gel [mg/l]	AsIII_gel [mg/l]	Cd_ges [mg/l]	Cd_gel [mg/l]	Co_ges [mg/l]	Co_gel [mg/l]	Cu_ges [mg/l]	Cu_gel [mg/l]	Fe_ges [mg/l]	Fe_gel [mg/l]	Fell_gel [mg/l]
09.06.04	0,131	0,131	0,619	0,120	0,041	<0,002	<0,002	0,009	0,008	<0,004	<0,004	1,49	0,395	0,26
16.06.04	0,156	0,120	0,762	0,050	0,012	<0,002	<0,002	0,008	0,008	<0,004	<0,004	1,64	0,052	<0,05
23.06.04	0,130	0,128	0,666	0,070	0,016	<0,002	<0,002	0,008	0,008	<0,004	<0,004	1,41	0,096	0,05
08.07.04	0,148	0,126	0,623	0,353	0,246	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	<0,004	<0,004	1,85	1,09	0,31
15.07.04	0,129	0,13	0,587	0,414	0,296	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,008	<0,004	1,70	1,25	0,29
21.07.04	0,128	0,113	0,636	0,105	0,042	<0,002	<0,002	0,009	0,008	<0,004	<0,004	1,45	0,222	0,05
28.07.04	0,120	0,120	0,732	0,319	0,178	<0,002	<0,002	0,007	0,007	0,005	0,005	1,63	0,687	0,18
04.08.04	0,296	0,120	0,764	0,169	0,029	<0,002	<0,002	0,007	0,007	<0,004	<0,004	2,44	0,249	<0,05
11.08.04	0,129	0,110	0,681	0,168	0,040	<0,002	<0,002	0,008	0,008	<0,004	<0,004	1,42	0,230	<0,05
18.08.04	0,133	0,110	0,678	0,151	0,028	<0,002	<0,002	0,010	0,006	<0,004	<0,004	1,50	0,149	<0,05
25.08.04	0,123	0,097	0,679	0,141	0,042	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	<0,004	<0,004	1,35	0,162	0,14
01.09.04	0,117	0,117	0,667	0,130	0,047	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,004	0,004	1,36	0,135	0,13
07.09.04	0,143	0,125	0,715	0,176	nb	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,008	<0,004	1,48	0,233	nb
16.09.04	0,189	nb	0,738	nb	nb	<0,002	nb	<0,01	nb	0,009	nb	1,86	nb	nb
23.09.04	0,135	0,120	0,689	0,132	0,046	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	<0,004	<0,004	1,51	0,296	0,28
29.09.04	0,130	0,117	0,640	0,136	0,047	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	<0,004	<0,004	1,46	0,311	0,30
08.10.04	nb	0,114	nb	0,223	0,086	nb	<0,002	nb	<0,01	nb	<0,004	nb	0,600	0,60
20.10.04	0,103	0,094	0,791	0,282	0,098	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	<0,004	<0,004	1,81	0,773	0,76
27.10.04	0,106	0,101	0,996	0,430	0,124	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	<0,004	<0,004	1,87	0,962	0,86
04.11.04	0,110	0,091	0,833	0,359	0,137	<0,002	<0,002	0,008	0,008	<0,004	<0,004	2,03	1,00	1,00
18.11.04	0,108	0,098	0,796	0,036	0,008	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,006	<0,004	1,85	0,068	0,06
<b>ÜH 2</b>														
13.04.05	0,171	0,117	0,318	0,223	0,032	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,007	0,007	0,269	<0,009	nb
28.04.05	0,142	0,115	0,664	0,321	0,054	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,004	0,004	1,01	0,382	0,18
11.05.05	0,129	0,119	0,461	0,223	0,016	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,005	<0,004	0,839	0,278	0,15
25.05.05	0,135	0,122	0,413	0,121	0,003	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,012	<0,004	0,762	0,051	<0,05
09.06.05	0,126	0,117	0,486	0,139	0,014	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,015	0,015	0,720	0,039	<0,05
22.06.05	0,107	0,105	0,447	0,168	0,008	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,005	<0,004	0,657	0,048	<0,05
06.07.05	0,136	0,104	0,476	0,149	0,011	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,004	<0,004	0,862	0,041	<0,05
20.07.05	0,125	0,110	0,467	0,139	0,008	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,005	<0,004	0,790	0,032	<0,05
04.08.05	0,122	0,118	0,449	0,132	0,008	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,004	<0,004	0,782	0,014	<0,05
17.08.05	0,123	0,117	0,411	0,144	0,025	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,005	<0,004	0,670	0,017	<0,05
14.09.05	0,120	nb	0,392	nb	nb	<0,002	nb	<0,01	nb	0,004	nb	0,729	nb	nb
28.09.05	0,125	0,117	0,414	0,086	0,005	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	<0,004	<0,004	0,731	<0,009	nb
12.10.05	0,123	0,119	0,360	0,088	0,007	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,006	<0,004	0,697	0,017	nb
06.12.05	0,111	0,105	0,471	0,148	nb	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,005	<0,004	0,852	0,082	nb

### Anlage 10: Zeitliche Entwicklung des gepumpten Grubenwassers am ÜH 3-1314 (2003-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Mn_ges [mg/l]	Mn_gel [mg/l]	Ni_ges [mg/l]	Ni_gel [mg/l]	Pb_ges [mg/l]	Pb_gel [mg/l]	Si_ges [mg/l]	Si_gel [mg/l]	Tl_ges [mg/l]	Tl_gel [mg/l]	U_ges [mg/l]	U_gel [mg/l]	Zn_ges [mg/l]	Zn_gel [mg/l]
ÜH 1														
15.10.03	1,08	1,07	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	9,41	9,33	nb	nb	nb	nb	0,376	0,324
05.11.03	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
07.11.03	1,73	1,72	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	10,4	10,3	nb	nb	<0,02	<0,02	0,147	0,145
11.11.03	1,64	1,60	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	10,2	10,2	nb	nb	<0,02	<0,02	0,181	0,163
13.11.03	1,76	1,75	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	10,2	10,2	nb	nb	<0,02	<0,02	0,153	0,153
17.11.03	1,25	1,24	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	9,98	9,93	nb	nb	<0,02	<0,02	0,212	0,204
20.11.03	1,30	1,29	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	10,1	10,0	nb	nb	<0,02	<0,02	0,221	0,208
27.11.03	1,30	1,28	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	9,93	9,86	nb	nb	<0,02	<0,02	0,225	0,209
01.12.03	1,36	1,35	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	9,68	9,67	nb	nb	<0,02	<0,02	0,218	0,205
04.12.03	1,44	1,44	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	9,47	9,40	nb	nb	<0,02	<0,02	0,207	0,197
08.12.03	1,49	1,47	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	9,19	9,19	nb	nb	<0,02	<0,02	0,202	0,191
11.12.03	1,78	1,78	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	9,08	9,02	nb	nb	<0,02	<0,02	0,192	0,182
18.12.03	nb	2,07	nb	<0,03	nb	<0,05	nb	8,95	nb	nb	nb	<0,02	nb	0,167
06.01.04	2,44	2,44	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,79	8,82	nb	nb	<0,02	<0,02	0,159	0,147
13.01.04	2,57	2,57	<0,03	<0,03	0,05	0,05	8,85	8,81	nb	nb	<0,02	<0,02	0,168	0,150
22.01.04	2,55	2,54	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	9,00	8,98	nb	nb	<0,02	<0,02	0,168	0,147
18.02.04	2,32	2,30	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,92	8,78	nb	nb	<0,02	<0,02	0,215	0,188
25.02.04	2,52	2,51	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,87	8,87	nb	nb	<0,02	<0,02	0,170	0,159
03.03.04	2,57	2,56	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,88	8,88	nb	nb	<0,02	<0,02	0,168	0,141
11.03.04	2,61	2,60	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,72	8,68	nb	nb	<0,02	<0,02	0,164	0,139
18.03.04	2,54	2,51	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,64	8,58	nb	nb	<0,02	<0,02	0,167	0,138
25.03.04	2,48	2,46	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,65	8,58	nb	nb	<0,02	<0,02	0,162	0,135
01.04.04	2,40	2,38	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,59	8,58	nb	nb	<0,02	<0,02	0,150	0,126
07.04.04	2,41	2,40	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,61	8,56	nb	nb	<0,02	<0,02	0,157	0,128
15.04.04	2,38	2,36	0,020	0,020	<0,0001*	<0,0001*	8,83	8,83	<0,0001*	<0,0001*	<0,02	<0,02	0,149	0,126
22.04.04	2,38	2,36	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,84	8,77	nb	nb	<0,02	<0,02	0,145	0,121
29.04.04	2,42	2,41	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,87	8,79	nb	nb	<0,02	<0,02	0,150	0,125
06.05.04	2,38	2,36	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,83	8,75	nb	nb	<0,02	<0,02	0,153	0,127
12.05.04	2,33	2,28	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,68	8,54	nb	nb	<0,02	<0,02	0,150	0,129
19.05.04	2,30	2,27	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,92	8,91	nb	nb	<0,02	<0,02	0,189	0,169
27.05.04	2,20	2,18	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,85	8,83	nb	nb	<0,02	<0,02	0,172	0,153

### Anlage 10: Zeitliche Entwicklung des gepumpten Grubenwassers am ÜH 3-1314 (2003-2005) (Fortsetzung)

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Mn_ges [mg/l]	Mn_gel [mg/l]	Ni_ges [mg/l]	Ni_gel [mg/l]	Pb_ges [mg/l]	Pb_gel [mg/l]	Si_ges [mg/l]	Si_gel [mg/l]	Tl_ges [mg/l]	Tl_gel [mg/l]	U_ges [mg/l]	U_gel [mg/l]	Zn_ges [mg/l]	Zn_gel [mg/l]
09.06.04	2,12	2,11	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,94	8,94	nb	nb	<0,02	<0,02	0,154	0,133
16.06.04	2,08	2,05	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,93	8,79	nb	nb	<0,02	<0,02	0,176	0,151
23.06.04	2,10	2,06	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,86	8,73	nb	nb	<0,02	<0,02	0,171	0,160
08.07.04	2,28	2,27	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	9,45	9,40	nb	nb	<0,02	<0,02	0,154	0,132
15.07.04	2,17	2,17	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,96	8,96	nb	nb	<0,02	<0,02	0,137	0,116
21.07.04	2,19	2,16	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	9,06	8,92	nb	nb	<0,02	<0,02	0,152	0,135
28.07.04	2,21	2,21	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	9,02	9,01	nb	nb	<0,02	<0,02	0,148	0,132
04.08.04	2,25	2,19	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	9,15	8,93	nb	nb	<0,02	<0,02	0,161	0,138
11.08.04	2,23	2,22	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,82	8,82	nb	nb	<0,02	<0,02	0,156	0,141
18.08.04	2,26	2,22	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,86	8,69	nb	nb	<0,02	<0,02	0,159	0,143
25.08.04	2,18	2,10	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,67	8,52	nb	nb	<0,02	<0,02	0,143	0,138
01.09.04	2,30	2,30	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	9,09	9,09	nb	nb	<0,02	<0,02	0,162	0,149
07.09.04	2,26	2,26	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,89	8,89	nb	nb	<0,02	<0,02	0,173	0,140
16.09.04	2,24	nb	<0,03	nb	<0,05	nb	8,74	nb	nb	nb	<0,02	nb	0,181	nb
23.09.04	2,31	2,27	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,90	8,85	nb	nb	<0,02	<0,02	0,157	0,139
29.09.04	2,29	2,27	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,97	8,84	nb	nb	<0,02	<0,02	0,155	0,135
08.10.04	nb	2,28	nb	<0,03	nb	<0,05	nb	8,78	nb	nb	nb	<0,02	nb	0,130
20.10.04	2,30	2,28	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,68	8,67	nb	nb	<0,02	<0,02	0,152	0,132
27.10.04	2,33	2,31	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,64	8,64	nb	nb	<0,02	<0,02	0,154	0,133
04.11.04	2,41	2,40	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,68	8,63	nb	nb	<0,02	<0,02	0,149	0,128
18.11.04	2,40	2,31	<0,03	<0,03	0,0040*	<0,0001*	8,46	8,43	<0,0001*	<0,0001*	0,011*	0,011*	0,185	0,153
<b>ÜH 2</b>														
13.04.05	1,22	1,22	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,29	8,15	nb	nb	<0,02	<0,02	0,249	0,248
28.04.05	1,44	1,41	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	9,06	8,91	nb	nb	<0,02	<0,02	0,189	0,176
11.05.05	1,33	1,30	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,52	8,49	nb	nb	<0,02	<0,02	0,202	0,191
25.05.05	1,46	1,44	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,75	8,67	nb	nb	<0,02	<0,02	0,194	0,194
09.06.05	1,57	1,56	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,65	8,66	nb	nb	<0,02	<0,02	0,161	0,157
22.06.05	1,59	1,58	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,49	8,42	nb	nb	<0,02	<0,02	0,158	0,152
06.07.05	1,66	1,64	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,96	8,80	nb	nb	<0,02	<0,02	0,159	0,150
20.07.05	1,71	1,66	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,86	8,68	nb	nb	<0,02	<0,02	0,162	0,154
04.08.05	1,88	1,81	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,88	8,68	nb	nb	<0,02	<0,02	0,185	0,176
17.08.05	1,81	1,79	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,53	8,41	nb	nb	<0,02	<0,02	0,178	0,176
14.09.05	1,80	nb	<0,03	nb	<0,05	nb	8,62	nb	nb	nb	<0,02	nb	0,180	nb
28.09.05	1,76	1,75	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,66	8,55	nb	nb	<0,02	<0,02	0,180	0,173
12.10.05	1,63	1,62	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,23	8,16	nb	nb	<0,02	<0,02	0,278	0,164
06.12.05	1,81	1,78	<0,03	<0,03	<0,05	<0,05	8,61	8,47	nb	nb	<0,02	<0,02	0,167	0,157

## Anlage 11: Zeitliche Entwicklung des gepumpten Grubenwassers im QS 2002 und bis STR 2705 (2003-2004)

Tabelle 1: Entwicklung der Sauerstoff-, Schwebstoff-, Hydrogenkarbonat-, As(III)- und Fe(II)-Gehalte im QS 2002

Datum	T [°C]	O2 [mg/l]	O2 [%]	Q [m3/h]	Schweb [mg/l]	HCO3- [mg/l]	AsIII_gel [mg/l]	Fell_gel [mg/l]
07.11.03	nb	nb	85	50	71,6	nb	1,22	0,83
13.11.03	nb	10,5	96	50	9,35	86,4	1,90	0,63
17.11.03	9,3	10,1	93	50	6,07	85,4	0,708	0,23
20.11.03	9,3	9,8	89	50	3,81	87,4	0,820	1,42
27.11.03	9,2	10,0	93	50	3,45	91,7	0,378	0,72
01.12.03	nb	10,7	98	50	1,64	94,7	0,223	0,32
04.12.03	9,2	10,7	98	50	2,23	95,2	0,210	0,32
08.12.03	9,2	10,9	99	50	2,89	95,2	0,107	0,14
11.12.03	9,2	11,0	102	50	2,41	98,3	0,123	0,10
18.12.03	9,4	9,9	92	50	2,11	100	0,179	0,22
06.01.04	9,4	10,0	93	50	4,36	99,6	0,330	0,42
13.01.04	9,5	9,9	94	25	4,39	97,1	0,269	0,84
22.01.04	9,5	9,9	94	25	7,43	86,9	0,131	0,82
18.02.04	9,6	9,8	98	50	7,24	87,8	0,005	0,05
25.02.04	9,8	nb	nb	50	7,96	89,8	0,008	0,28
03.03.04	9,5	10,2	94	50	5,04	93,7	0,022	0,34
11.03.04	9,6	9,8	92	50	5,29	93,4	0,039	0,58
18.03.04	9,4	10,1	93	50	8,56	86,4	<0,001	0,12
25.03.04	9,4	9,8	96	50	5,04	88,3	0,007	1,04
01.04.04	9,5	10,7	100	50	3,32	89,3	0,027	0,56
07.04.04	9,5	nb	nb	50	7,32	90,8	0,009	0,30
15.04.04	9,5	nb	nb	50	3,28	97,1	0,018	0,34
22.04.04	9,6	9,7	90	50	3,01	77,1	0,037	0,32
29.04.04	9,5	9,8	92	50	2,71	91,7	0,026	0,30
06.05.04	9,6	9,7	93	50	2,50	80,5	0,012	0,22
12.05.04	9,6	9,7	92	50	5,85	77,1	0,006	0,22
19.05.04	9,4	10,0	92	50	9,18	78,6	0,006	0,10
27.05.04	9,5	10,0	93	50	3,67	86,9	0,005	<0,05
09.06.04	9,5	10,3	93	50	39,20	85,6	0,009	<0,05
16.06.04	9,5	9,9	92	50	10,24	87,4	0,006	<0,05
23.06.04	nb	nb	nb	50	15,92	89,3	0,010	nb
15.07.04	nb	10,0	96	40	5,74	89,8	0,125	0,18
21.07.04	nb	9,9	92	40	9,80	90,8	0,016	<0,05
28.07.04	nb	10,1	94	30	6,44	93,7	0,044	<0,05

Datum	T [°C]	O2 [mg/l]	O2 [%]	Q [m3/h]	Schweb [mg/l]	HCO3- [mg/l]	AsIII_gel [mg/l]	Fell_gel [mg/l]
04.08.04	nb	10,2	95	20	12,40	90,8	0,012	<0,05
11.08.04	nb	10,0	94	20	5,60	92,2	0,020	<0,05
18.08.04	nb	10,0	94	30	5,70	88,8	0,031	<0,05
25.08.04	nb	10,1	96	10	16,40	92,2	0,022	<0,05
01.09.04	nb	10,3	95	10	4,20	93,2	0,017	<0,05
23.09.04	nb	9,7	92	5	5,24	95,6	0,016	<0,05
08.10.04	9,6	9,7	91	5	4,50	96,4	0,021	0,16
20.10.04	9,5	9,9	93	5	6,10	98,1	0,023	0,14
27.10.04	9,5	9,9	93	5	7,00	100	0,034	0,16
04.11.04	9,5	9,9	93	5	6,30	102	0,017	0,20
18.11.04	9,5	9,6	91	5	6,22	85,4	0,001	0,44

## Anlage 11: Zeitliche Entwicklung des gepumpten Grubenwassers im QS 2002 und bis STR 2705 (2003-2004) (Fortsetzung)

Tabelle 2: Entwicklung der Feldparameter, Hauptionen- und Spurenelementgehalte im QS 2002

Datum	Feldparameter								Hauptan- und Kationen								
	T [°C]	pH	Eh [mV]	Lf [µS/cm]	O2 [mg/l]	O2 [%]	Q [m3/h]	Schweb [mg/l]	HCO3- [mg/l]	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]
13.11.03	nb	7,0	295	435	10,5	96	50	9,35	86,4	5,51	17,3	<1	128	10,1	3,27	59,2	12,9
04.12.03	9,2	nb	nb	nb	10,7	98	50	2,23	95,2	5,38	19,0	<1	133	10,5	3,43	64,0	12,1
22.04.04	9,6	nb	nb	nb	9,7	90	50	3,01	77,1	5,55	21,4	<1	124	10,4	3,64	69,1	12,6
08.10.04	9,6	6,7	348	522	9,7	91	5	4,50	96,4	5,34	22,6	0,41	136	12,2	3,65	71,1	13,4
20.10.04	9,5	nb	nb	nb	9,9	93	5	6,10	98,1	nb	nb	nb	nb	11,9	3,62	71,9	13,4
04.11.04	9,5	6,7	nb	514	9,9	93	5	6,30	102	nb	nb	nb	nb	11,8	3,67	71,9	13,3
18.11.04	9,5	6,6	388	522	9,6	91	5	6,22	85,4	6,03	20,1	1,17	146	11,4	3,53	69,8	13,6

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Al_ges [mg/l]	Al_gel [mg/l]	As_ges [mg/l]	As_gel [mg/l]	AsIII_gel [mg/l]	Cd_ges [mg/l]	Cd_gel [mg/l]	Co_ges [mg/l]	Co_gel [mg/l]	Cu_ges [mg/l]	Cu_gel [mg/l]	Fe_ges [mg/l]	Fe_gel [mg/l]	Fell_gel [mg/l]
13.11.03	0,482	0,145	2,76	2,38	1,90	0,002	<0,002	<0,008	<0,008	0,027	0,008	5,50	3,43	0,63
04.12.03	0,156	0,114	1,03	0,650	0,210	0,003	<0,002	<0,008	<0,008	0,016	<0,004	1,21	0,405	0,32
22.04.04	0,214	0,143	0,614	0,115	0,037	<0,002	<0,002	0,008	0,008	0,005	<0,004	1,44	0,356	0,32
08.10.04	0,164	0,115	0,679	0,110	0,021	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	<0,004	<0,004	1,55	0,160	0,16
20.10.04	0,149	0,083	0,873	0,111	0,023	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	<0,004	<0,004	2,10	0,140	0,14
04.11.04	0,169	0,088	0,909	0,152	0,017	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,004	<0,004	2,35	0,212	0,20
18.11.04	1,03	0,760	0,710	0,0027	0,001	0,003	0,003	<0,01	<0,01	0,009	<0,004	2,80	0,447	0,44

Datum	Haupt- und Spurenelemente					
	Mn_ges [mg/l]	Mn_gel [mg/l]	Si_ges [mg/l]	Si_gel [mg/l]	Zn_ges [mg/l]	Zn_gel [mg/l]
13.11.03	1,60	1,57	10,3	9,87	0,256	0,210
04.12.03	1,44	1,43	9,35	9,17	0,212	0,192
22.04.04	2,05	2,03	8,81	8,78	0,260	0,224
08.10.04	1,87	1,87	8,79	8,70	0,186	0,155
20.10.04	1,90	1,89	8,81	8,81	0,199	0,158
04.11.04	2,04	1,92	8,89	8,28	0,209	0,158
18.11.04	2,03	2,02	9,01	8,91	0,769	0,712

## Anlage 11: Zeitliche Entwicklung des gepumpten Grubenwassers im QS 2002 und bis STR 2705 (2003-2004)

Tabelle 3: Entwicklung der Feldparameter, Hauptionen- und Spurenelementgehalte auf der Strecke 2705

Datum	Feldparameter								Hauptan- und Kationen								
	T [°C]	pH	Eh [mV]	Lf [µS/cm]	O2 [mg/l]	O2 [%]	Q [m3/h]	Schweb [mg/l]	HCO3- [mg/l]	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]
08.10.04	8,9	6,7	429	515	9,6	93	45	5,80	91,7	4,69	21,9	0,34	135	11,7	3,72	70,2	13,6
20.10.04	9,1	6,6	408	505	9,7	93	45	4,32	96,1	5,09	22,2	0,49	135	11,6	3,70	69,9	13,4
27.10.04	9,0	6,7	478	526	10,2	99	45	4,80	95,6	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
04.11.04	9,0	6,7	437	528	10,2	99	45	5,32	98,1	nb	nb	nb	nb	11,8	3,68	69,7	13,1
18.11.04	9,2	6,5	388	515	9,6	93	45	5,68	80,5	6,36	20,0	1,48	145	11,2	3,59	69,5	13,5

Datum	Haupt- und Spurenelemente													
	Al_ges [mg/l]	Al_gel [mg/l]	As_ges [mg/l]	As_gel [mg/l]	AsIII_gel [mg/l]	Cd_ges [mg/l]	Cd_gel [mg/l]	Co_ges [mg/l]	Co_gel [mg/l]	Cu_ges [mg/l]	Cu_gel [mg/l]	Fe_ges [mg/l]	Fe_gel [mg/l]	FeII_gel [mg/l]
08.10.04	0,215	0,116	0,522	0,042	0,009	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	<0,004	<0,004	1,45	0,014	<0,05
20.10.04	0,151	0,089	0,469	0,040	0,007	<0,002	<0,002	<0,01	<0,01	0,009	<0,004	1,20	<0,009	<0,05
27.10.04	nb	nb	nb	nb	0,011	nb	<0,05							
04.11.04	0,125	0,105	0,424	0,042	0,002	<0,002	<0,02	<0,01	<0,01	<0,004	<0,004	0,972	<0,009	<0,05
18.11.04	0,769	0,450	0,429	0,0016	0,002	0,002	0,002	<0,01	<0,01	0,007	<0,004	1,65	0,070	<0,05

Datum	Haupt- und Spurenelemente					
	Mn_ges [mg/l]	Mn_gel [mg/l]	Si_ges [mg/l]	Si_gel [mg/l]	Zn_ges [mg/l]	Zn_gel [mg/l]
08.10.04	1,02	0,983	8,99	8,99	0,161	0,120
20.10.04	1,16	1,15	8,80	8,68	0,163	0,136
27.10.04	nb	nb	nb	nb	nb	nb
04.11.04	1,42	1,41	8,79	8,60	0,162	0,138
18.11.04	1,42	1,42	8,95	8,88	0,578	0,544

## Anlage 12: Zeitliche Entwicklung des gepumpten Grubenwassers am ÜH 3-1312N (2005)

Datum	Feldparameter								Hauptan- und Kationen								
	T [°C]	pH	Eh [mV]	Lf [µS/cm]	O2 [mg/l]	O2 [%]	Q [m3/h]	Schweb [mg/l]	HCO3- [mg/l]	Fluorid [mg/l]	Chlorid [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]
13.04.05	9,5	6,5	539	434	9,2	85	50	1,42	78,1	4,89	22,0	4,12	103	10,7	3,31	57,3	10,6
28.04.05	nb	nb	nb	nb	9,4	87	50	9,06	74,4	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
11.05.05	9,6	6,6	357	463	9,4	87	50	3,88	73,2	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
25.05.05	9,6	6,6	487	464	9,9	91	50	3,00	78,1	4,52	26,3	1,51	110	13,1	3,26	61,7	11,3
09.06.05	9,5	nb	nb	nb	10,0	92	50	2,12	75,6	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
22.06.05	9,6	6,6	nb	473	10,1	93	50	2,42	78,8	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
06.07.05	9,5	6,7	nb	476	9,7	91	50	2,34	78,8	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
20.07.05	nb	6,7	nb	nb	9,6	93	50	2,96	81,5	4,44	23,6	0,50	116	12,2	3,21	63,3	12,1
04.08.05	nb	nb	nb	nb	9,6	89	50	2,16	79,8	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
28.09.05	9,7	6,5	nb	459	9,9	92	50	5,02	90,3	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
12.10.05	9,6	6,5	476	480	9,6	89	50	2,84	86,6	5,02	24,0	1,36	130	11,8	3,32	63,7	12,5

Datum	Haupt- und Spurenelemente																			
	Al_ges [mg/l]	Al_gel [mg/l]	As_ges [mg/l]	As_gel [mg/l]	AsIII_gel [mg/l]	Cd_ges [mg/l]	Cd_gel [mg/l]	Co_ges [mg/l]	Co_gel [mg/l]	Cu_ges [mg/l]	Cu_gel [mg/l]	Fe_ges [mg/l]	Fe_gel [mg/l]	Fell_gel [mg/l]	Mn_ges [mg/l]	Mn_gel [mg/l]	Si_ges [mg/l]	Si_gel [mg/l]	Zn_ges [mg/l]	Zn_gel [mg/l]
13.04.05	0,156	0,155	0,334	0,244	0,019	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	0,018	0,018	0,271	0,014	nb	1,10	1,10	8,62	8,62	0,349	0,345
28.04.05	nb	nb	nb	nb	0,015	nb	0,14	nb	nb	nb	nb	nb	nb							
11.05.05	nb	nb	nb	nb	0,010	nb	0,11	nb	nb	nb	nb	nb	nb							
25.05.05	0,160	0,156	0,360	0,097	0,011	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	0,005	<0,004	0,637	0,021	<0,05	1,26	1,24	8,78	8,67	0,282	0,267
09.06.05	nb	nb	nb	nb	0,019	nb	<0,05	nb	nb	nb	nb	nb	nb							
22.06.05	nb	nb	nb	nb	0,012	nb	<0,05	nb	nb	nb	nb	nb	nb							
06.07.05	nb	nb	nb	nb	0,010	nb	<0,05	nb	nb	nb	nb	nb	nb							
20.07.05	0,112	0,108	0,416	0,131	0,008	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	0,005	<0,004	0,644	0,016	<0,05	1,45	1,45	8,87	8,79	0,188	0,176
04.08.05	nb	nb	nb	nb	0,007	nb	<0,05	nb	nb	nb	nb	nb	nb							
28.09.05	0,192	0,169	0,348	0,075	0,004	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	0,006	<0,004	0,676	<0,009	nb	1,51	1,5	8,73	8,63	0,301	0,289
12.10.05	0,159	0,151	0,332	0,076	0,006	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	0,006	0,005	0,620	0,014	nb	1,42	1,41	8,34	8,23	0,268	0,259



### Anlage 13: Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Ein- und Ausgang des Sedimentationsbereichs im TSB (2005) (Forts.)

		Haupt- und Spurenelemente													
	Datum	Al_ges [mg/l]	Al_gel [mg/l]	As_ges [mg/l]	As_gel [mg/l]	AsIII_gel [mg/l]	Cd_ges [mg/l]	Cd_gel [mg/l]	Co_ges [mg/l]	Co_gel [mg/l]	Cu_ges [mg/l]	Cu_gel [mg/l]	Fe_ges [mg/l]	Fe_gel [mg/l]	Fell_gel [mg/l]
ST1	11.05.05	2,81	2,77	0,280	0,014	0,003	0,005	0,005	0,016	0,016	0,014	0,008	0,906	<0,009	<0,05
ST2	11.05.05	2,86	2,75	0,272	0,014	0,003	0,005	0,005	0,017	0,017	0,013	0,008	0,841	<0,009	<0,05
ST1	25.05.05	2,55	2,43	0,332	0,016	0,002	0,005	0,005	0,018	0,018	0,014	0,008	0,992	<0,009	<0,05
ST2	25.05.05	2,53	2,33	0,302	0,015	0,002	0,005	0,005	0,018	0,018	0,013	0,009	0,869	<0,009	<0,05
ST1	09.06.05	2,75	2,54	0,288	0,012	0,002	0,005	0,005	0,018	0,018	0,014	0,010	0,731	<0,009	<0,05
ST2	09.06.05	2,76	2,41	0,263	0,007	0,002	0,005	0,005	0,018	0,018	0,013	0,008	0,686	<0,009	<0,05
ST1	22.06.05	2,59	2,31	0,309	0,023	0,004	0,005	0,005	0,016	0,016	0,015	0,008	0,864	<0,009	<0,05
ST2	22.06.05	2,49	2,15	0,254	0,016	0,004	0,004	0,004	0,016	0,016	0,014	0,008	0,806	<0,009	<0,05
ST1	06.07.05	2,71	2,62	0,306	0,016	0,004	0,005	0,005	0,016	0,016	0,014	0,009	0,782	<0,009	<0,05
ST2	06.07.05	2,71	2,54	0,296	0,017	0,003	0,005	0,005	0,017	0,017	0,014	0,008	0,741	<0,009	<0,05
ST1	20.07.05	2,55	2,32	0,362	0,010	0,002	0,005	0,005	0,018	0,018	0,013	0,006	0,978	<0,009	nb
ST2	20.07.05	2,51	2,19	0,274	0,012	0,001	0,005	0,005	0,019	0,019	0,012	0,008	0,720	<0,009	nb
ST1	04.08.05	2,91	2,82	0,345	0,016	0,001	0,006	0,006	0,020	0,020	0,017	0,012	0,898	0,019	nb
ST2	04.08.05	2,95	2,85	0,308	0,012	0,001	0,006	0,006	0,019	0,019	0,016	0,010	0,772	<0,009	nb
ST1	17.08.05	2,36	2,25	0,324	0,005	0,001	0,005	0,005	0,018	0,018	0,017	0,009	0,879	0,028	nb
ST2	17.08.05	2,33	2,22	0,267	0,005	0,002	0,005	0,005	0,018	0,018	0,015	0,009	0,710	0,019	nb
ST1	25.08.05	2,50	2,37	0,379	0,009	0,002	0,006	0,006	0,018	0,018	0,018	0,012	1,05	0,022	nb
ST2	25.08.05	2,42	2,29	0,269	0,007	0,001	0,006	0,006	0,020	0,020	0,016	0,009	0,710	<0,009	nb
ST1	14.09.05	2,18	nb	0,198	nb	nb	0,005	nb	0,016	nb	0,015	nb	0,410	nb	nb
ST2	14.09.05	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
ST1	28.09.05	2,43	2,33	0,387	0,039	0,004	0,005	0,005	0,014	0,014	0,016	0,011	1,20	<0,009	nb
ST2	28.09.05	2,38	2,29	0,287	0,030	0,005	0,005	0,005	0,014	0,014	0,015	0,009	0,806	<0,009	nb
ST1	12.10.05	2,45	2,18	0,261	0,039	0,010	0,005	0,005	0,018	0,018	0,013	0,008	0,645	<0,009	nb
ST2	12.10.05	2,47	2,12	0,239	0,034	0,012	0,005	0,005	0,017	0,017	0,012	0,007	0,565	<0,009	nb
ST1	06.12.05	2,25	1,90	0,359	<0,001	nb	0,005	0,005	0,022	0,022	0,013	0,007	1,12	0,01	nb
ST2	06.12.05	2,27	1,78	0,322	0,001	nb	0,005	0,005	0,020	0,020	0,011	0,005	1,03	<0,009	nb

### Anlage 13: Zeitliche Entwicklung des Grubenwassers am Ein- und Ausgang des Sedimentationsbereichs im TSB (2005) (Forts.)

		Haupt- und Spurenelemente							
	Datum	Mn_ges [mg/l]	Mn_gel [mg/l]	Ni_ges [mg/l]	Ni_gel [mg/l]	Si_ges [mg/l]	Si_gel [mg/l]	Zn_ges [mg/l]	Zn_gel [mg/l]
ST1	11.05.05	2,63	2,62	0,102	0,102	8,84	8,73	2,04	2,02
ST2	11.05.05	2,62	2,58	0,099	0,099	8,79	8,69	2,04	2,00
ST1	25.05.05	2,69	2,69	0,111	0,111	8,92	8,89	1,84	1,82
ST2	25.05.05	2,68	2,67	0,110	0,110	8,90	8,86	1,83	1,83
ST1	09.06.05	2,58	2,58	0,102	0,102	8,94	8,85	1,89	1,87
ST2	09.06.05	2,56	2,54	0,105	0,102	8,88	8,82	1,88	1,87
ST1	22.06.05	2,55	2,49	0,112	0,112	8,91	8,70	1,90	1,85
ST2	22.06.05	2,44	2,44	0,098	0,097	8,93	8,78	1,83	1,80
ST1	06.07.05	2,57	2,57	0,110	0,110	9,38	9,35	1,93	1,91
ST2	06.07.05	2,56	2,56	0,107	0,107	9,33	9,33	1,92	1,91
ST1	20.07.05	2,65	2,65	0,103	0,103	9,40	9,29	1,78	1,75
ST2	20.07.05	2,64	2,61	0,106	0,101	9,32	9,28	1,76	1,75
ST1	04.08.05	2,75	2,75	0,118	0,116	9,43	9,43	2,36	2,33
ST2	04.08.05	2,77	2,77	0,120	0,115	9,53	9,51	2,43	2,39
ST1	17.08.05	2,49	2,48	0,099	0,097	8,81	8,71	1,77	1,73
ST2	17.08.05	2,50	2,46	0,097	0,096	8,80	8,68	1,78	1,72
ST1	25.08.05	2,53	2,50	0,103	0,097	8,83	8,68	1,81	1,76
ST2	25.08.05	2,52	2,49	0,102	0,100	8,88	8,65	1,80	1,77
ST1	14.09.05	2,27	nb	0,086	nb	8,92	nb	1,70	nb
ST2	14.09.05	n	nb						
ST1	28.09.05	2,65	2,62	0,093	0,093	9,02	8,93	1,87	1,84
ST2	28.09.05	2,60	2,59	0,095	0,092	8,93	8,84	1,83	1,83
ST1	12.10.05	2,70	2,64	0,097	0,097	9,10	8,92	1,81	1,76
ST2	12.10.05	2,65	2,63	0,097	0,097	9,01	8,90	1,79	1,76
ST1	06.12.05	3,35	3,35	0,089	0,089	9,21	9,10	1,55	1,53
ST2	06.12.05	3,34	3,33	0,088	0,088	9,23	9,06	1,55	1,52

## Anlage 14: Chemische Zusammensetzung der in den Fallen zurückgehaltenen partikulären Substanz (2005)

Tabelle 1: Mittlere sedimentierte Mengen in den Sedimentationsfallen

Serie	1	2	3	4	5	6	7	Mittel
Einbau	28.04.05	25.05.05	22.06.05	20.07.05	17.08.05	14.09.05	12.10.05	
Ausbau	25.05.05	22.06.05	20.07.05	17.08.05	14.09.05	12.10.05	06.12.05	
Tage	27	28	28	28	28	28	55	
Flasche1 mg/Flasche	460	399	410	611	505	480	774	
Flasche2 mg/Flasche	421	442	512	618	566	396	678	
Flasche3 mg/Flasche	492	520	462	545	618	512	780	
Flasche4 mg/Flasche	382	413	405	593	515	443	759	
Flasche5 mg/Flasche	398	426	435	601	541	486	739	
Flasche6 mg/Flasche	360	392	458	632	502	511	664	
<b>Mittel mg/Flasche</b>	<b>419</b>	<b>432</b>	<b>447</b>	<b>600</b>	<b>541</b>	<b>471</b>	<b>732</b>	
Stdw mg/Flasche	45	43	36	28	41	41	50	
Stdw %	11	10	8	5	8	9	7	
<b>Menge g/d*m2</b>	<b>7,9</b>	<b>7,9</b>	<b>8,1</b>	<b>10,9</b>	<b>9,8</b>	<b>8,6</b>	<b>6,8</b>	<b>8,6</b>

Tabelle 2: Mittlere Elementgehalte in den gesammelten Sedimenten

Serie	1	2	3	4	5	6	7	Mittel
<b>Element</b>								
<b>Ag</b> mg/kg	9,14	8,91	9,56	7,92	11,0	9,19	8,06	<b>9,10</b>
<b>Al</b> mg/kg	31900	42900	40400	31300	35800	35800	50700	<b>38400</b>
<b>As</b> mg/kg	71600	76900	76800	88000	92200	81300	78700	<b>80800</b>
<b>Ba</b> mg/kg	174	125	147	169	148	156	159	<b>154</b>
<b>Cd</b> mg/kg	32,6	15,1	24,5	22,9	30,2	28,7	42,1	<b>28,0</b>
<b>Co</b> mg/kg	25,2	17,5	22,1	21,1	19,9	18,7	28,4	<b>21,8</b>
<b>Cr</b> mg/kg	7,82	2,85	2,00	5,12	2,84	2,00	2,00	<b>&lt; 5</b>
<b>Cu</b> mg/kg	1230	1360	1310	1450	1610	1380	1510	<b>1410</b>
<b>Fe</b> mg/kg	242000	229000	220000	235000	263000	261000	252000	<b>243000</b>
<b>Mn</b> mg/kg	2350	1930	2410	2260	1790	2000	2890	<b>2230</b>
<b>Ni</b> mg/kg	89,9	89,5	107	76,5	84,7	82,1	99,8	<b>89,9</b>
<b>Pb</b> mg/kg	670	606	607	600	648	583	529	<b>606</b>
<b>Sb</b> mg/kg	5,66	3,93	2,00	4,17	2,34	3,9	2,00	<b>3,43</b>
<b>U</b> mg/kg	228	206	185	186	212	216	201	<b>205</b>
<b>Zn</b> mg/kg	6170	6890	7860	6580	6440	6330	7150	<b>6770</b>