

Aktuelles Wassermanagement der Urangrube Schlema-Alberoda

Jürgen Meyer¹; Andrea Schramm²; Gisbert Schöne³

Wismut GmbH; 09117 Chemnitz, Jagdschänkenstraße 29; ^{1,2} Abteilung Wassermanagement Chemnitz; ³ Projektleiter Wasserbehandlung Aue

Die Verwahrung der Urangrube Schlema-Alberoda ist weit fortgeschritten. Die gesteuerte Grubenflutung als ein Verwahrungsschwerpunkt hat ihren vorläufigen Endstand im tagesnahen Grubenniveau erreicht. Das aufgestiegene Flutungswasser ist kontaminiert und bedingt vor der kontrollierten Einleitung in die Zwickauer Mulde die Behandlung zur Abtrennung radioaktiver und chemisch konventioneller Metalle einschließlich der sicheren Rückstandsdeponierung. Im Zuge der Wasserbehandlung wird im tagesnahen Grubenbereich ein Wasserspeicher zur Zulaufregulierung betrieben. Der Behandlungsprozess als kostenintensive Langzeitaufgabe rechtfertigt bzw. erfordert Untersuchungen sowohl zur perspektivischen Mengen- und Beschaffenheitsentwicklung des Flutungswassers als auch zur verfahrenstechnischen Optimierung der Wasserbehandlungsanlage. Dabei sind Erfordernisse des Gesamtwassermanagements am Sanierungsstandort Schlema-Alberoda mit zu berücksichtigen.

Closure of the uranium mine site Schlema – Alberoda is at an advanced state. As one key aspect of closure, the controlled flooding of the mine has reached its temporary final state. A near surface water table is attained. The rising mine water is contaminated and demands cleaning-up in a mine water treatment plant. Before controlled discharge into the river Zwickauer Mulde, radioactive elements and conventional metals have to be removed. The mine water treatment residues require encapsulated dumping. To control the inflow of the water treatment plant, a mine water reservoir near to the surface of the mine is operated. Water treatment is a cost-intensive long term task. It's optimisation requires prognosis of mine water quantity and quality as well as technological studies. Thereby, the water management strategy of the whole remediation site Schlema – Alberoda has to be considered.

1. Sachstand der Grubenflutung Schlema-Alberoda

1.1 Einordnung in Grubenverwahrung

Die 1990 erfolgte Stilllegung des Uranbergbaus der SDAG Wismut hinterließ am Standort Schlema-Alberoda die bis zu 1,8 km tiefe und mit einem bergmännischen Volumen von ca. 38 Millionen m³ aufgefahrene Urangrube, eine Haldenlandschaft mit ca. 45 Millionen m³ Lockermassen auf ca. 3 km² Fläche sowie eine Vielzahl von Betriebsflächen (Meyer et al. 1998). Anfängliche operative Verwahrungsmaßnahmen gingen bis Mitte der 1990er Jahre unter zunehmender behördlicher Kontrolle in die planmäßig-konzeptionelle Bergbausanierung durch die gegründete bundeseigene Wismut GmbH über. Diese Sanierungsmaßnahmen wurden durch die kommunale Revitalisierung und Ortsentwicklung in Bad Schlema und Aue-Alberoda sowie ab 2001 durch ein Sonderprogramm zur Sanierung von Altlasten des Uranbergbaus unter gemeinsamer Finanzierung der Bundesregierung und des Landes Sachsen flankiert. Die Verwahrungsschwerpunkte der Urangrube Schlema-Alberoda umfassten insbesondere die nachhaltige Gewährleistung folgender Anforderungen:

- geomechanische Sicherung der bewohnten bzw. genutzten Tagesoberfläche;
- unter- und übertägiger Strahlenschutz;
- Verminderung der Gewässerbelastung;
- separierter Grubenwasserabfluss aus benachbarter Erzgrube Schneeberg.

Die primäre Sanierungsphase des übertägigen Bergbaustandortes wird bis etwa 2020 weitgehend beendet sein. Für sekundäre Langzeitaufgaben der Pflege/Kontrolle, Wasserbehandlung und Grubenbewetterung muss von wesentlich längeren Laufzeiten ausgegangen werden.

1.2 Hydraulische Flutungssteuerung

Die Flutung des aufgelassenen Grubengebäudes stellt einen Verwahrungsschwerpunkt dar. Die Flutung war im Einklang mit den räumlich und zeitlich vorauslaufenden bergmännisch-technischen Verwahrungsarbeiten durchzuführen, was die Steuerung der Flutung erforderlich machte. Diese erfolgte gemäß eines Rahmenkonzeptes unter Berücksichtigung operativer Maßnahmen gemäß den Erfordernissen der Grubenverwahrung bzw. der meteorologisch-hydrologischen Entwicklung des Grundwasserzulaufes in die Urangrube.

Die Steuerung der seit 1991 laufenden Flutung erfolgte bis 1997 zunächst noch mit dem über die Grubentiefe gestaffelten komplexen Wasserhebungssystem der aktiven Bergbauzeit (bis zu 9 Pumpstationen mit Kreiselpumpen). Ab 1998 wurden alternative hydrotechnische Systeme im tagesnahen Grubenbereich installiert und betrieben, die schrittweise den hydrostatischen Druckverhältnissen des aufsteigenden Flutungsspiegels anzupassen waren (höhenvariable Pumpstation/Motortauchpumpen). Deren Betrieb war mit der Inbetriebnahme der neu errichteten Wasserbehandlungsanlage Schlema-Alberoda (WBA) verbunden. Die Pump- bzw. Behandlungskapazität war im Zuge der Flutung des tagesnahen Grubenbereiches iterativ den Erfordernissen anzupassen. Dabei wurde das Flutungswasser bis 2007 generell und im Zeitraum 2010/2011 noch zeitweise aus dem tiefen Schacht 208 über Druckrohrleitungen zur WBA gefördert.

Die gesteuerte Flutung erreichte Anfang 2001 den tagesnahen Grubenbereich, die weitere Restflutung erfolgte schrittweise gemäß dem bergmännischen Verwahrungsfortschritt (Meyer et al. 2002). Anfang 2008 wurde bei 300 m NN erstmals die Unterkante der tagesnächsten flutbaren -30-m-Sohle und damit der vorläufige Flutungsendstand erreicht (s. Abb. 1).

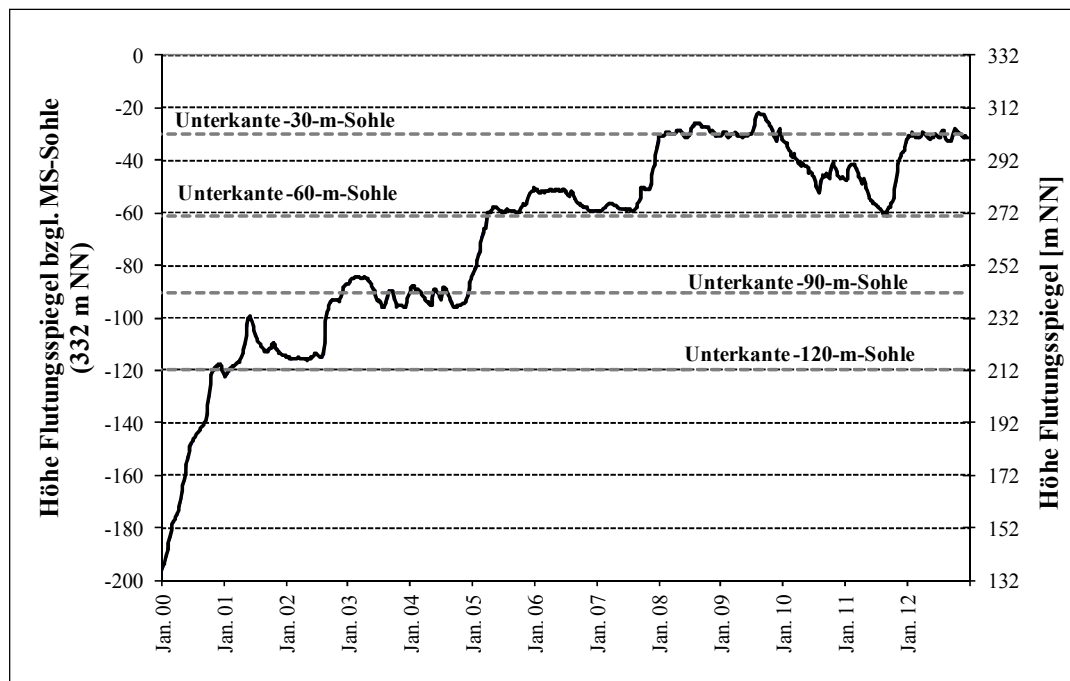


Abb. 1 : Vertikale Flutungsentwicklung Grube Schlema-Alberoda seit 2000

Die Zuführung des kontaminierten Flutungswassers zur WBA erfolgt über eine 1997 bergmännisch aufgefahrene Wasserableitungsstrecke. Diese verbindet im Niveau der -60-m-Sohle die nordöstliche Grubenperipherie beim Schacht 208 mit dem neu geteufte Förderbrunnen am Standort der WBA. Mit diesem Brunnen einschließlich dessen Überlafrösche wurde außerhalb der Ortslage von Bad Schlema ein neuer hydraulischer Tiefpunkt der Urangrube für den perspektivischen freien Austritt des Flutungswassers in die Zwickauer Mulde ohne hydraulische Beeinträchtigung der Ortslage geschaffen. Für die Dauer der Wasserbehandlung verbleibt der Flutungsspiegel abgesenkt unter dem Überlaufniveau, um einen diffusen Austrag von kontaminiertem Flutungswasser in die Vorflut grundsätzlich zu unterbinden.

Im Zeitraum 2008/2009 erfolgte der Test des Speicherbetriebes einschließlich des tagesnahen Flutungswasserabgriffes über den neuen Förderbrunnen. Der Test belegte die Machbarkeit unter geomechanischen, radiologischen sowie hydraulisch-hydrologischen und hydrochemischen Gesichtspunkten. Nach entsprechenden hydrotechnischen Umrüstungsarbeiten mit der endgültigen Stilllegung der Pumpenstation im Schacht 208 wird das getestete modifizierte Flutungsregime seit Spätherbst 2011 regulär betrieben.

1.3 Mengenentwicklung Flutungswasser

Der Urangrube fließen Grundwässer über das geklüftete metamorphe Deckgebirge zu, das zudem durch den intensiven tagesnahen Bergbau aufgelockert ist (Deformationsgebiet Oberschlema). Der Zulaufschwerpunkt liegt im tagesnahen Grubenbereich und nur lokal bei tiefen tektonischen Störungszonen. Die Grundwasserspeisung erfolgt flächig über die Verwitterungszone des anstehenden Gebirges und insbesondere in den Tälern der Zwickauer Mulde und ihrer lokalen Seitenzuflüsse. Im Grubengebiet sind keine großflächigen Porengrundwasserleiter hydrogeologisch relevant. In der Dynamik des Grundwasserzulaufs in die Grube findet die durch das Deckgebirge hydraulisch gedämpfte Niederschlags- und Abflussdynamik an der Tagesoberfläche ihre Widerspiegelung (s. Abb. 2).

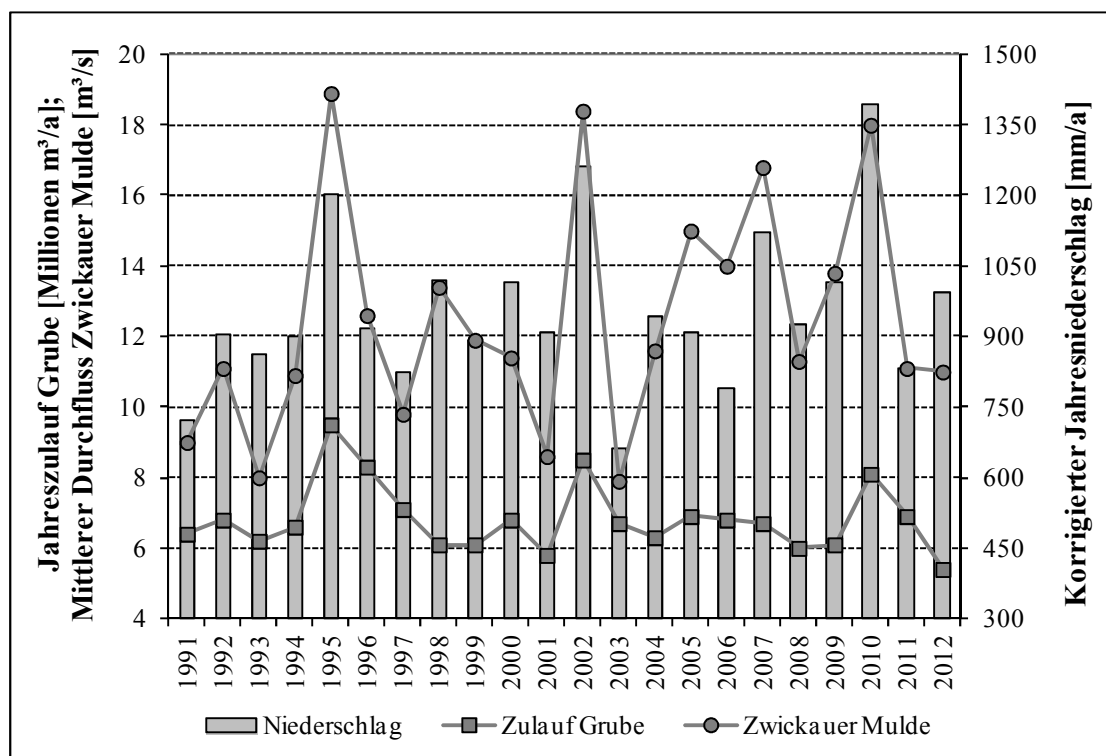


Abb. 2: Jahreswerte hydrologischer Parameter im Grubenbereich Schlema-Alberoda

Der primäre Grundwasserzulauf in die Grube erfolgt diffus und ist objektiv nicht messbar. Mengenquantifizierungen beschränken sich auf Zulaufmessungen aus der Grube zur WBA sowie auf Mengenschätzungen auf der Grundlage vertikaler Hohlraumangaben, die teils markscheiderisch fundiert sind bzw. teils aus der Auffüll- bzw. Leerdynamik des als Wasserspeicher genutzten Grubenhohlraums der -30-m-Sohle abgeschätzt werden können.

Die Variationsbreite des mittleren monatlichen Grundwasserzulaufes in der Grube um den langjährigen Mittelwert von ca. 800 m³/h liegt bei 500 m³/h bis zu 1400 m³/h. Kurzfristige Zulaufspitzen können tageweise bis zu 3000 m³/h betragen. Länger anhaltende Starkzuläufe von ca. 1000 m³/h bis zu 1400 m³/h über ein halbes Jahr oder länger waren für die meteorologischen Nassperioden 1995/1996, 2002/2003 und 2010/2011 charakteristisch. Herausragendes Ereignis hierbei war der Zeitraum Mitte 1995 bis Anfang 1996 mit einem summarischen Gesamtzulauf von 7 Millionen m³.

Frühere Prognosen zur Entwicklung des Grundwasserzulaufes waren von einem mehr oder minder deutlichen Zulaufrückgang bei vertikaler Annäherung des Flutungsspiegels an das hydraulische Über-

laufniveau ausgegangen (ca. 300 – 500 m³/h). Ursache sollten die Abflachung hydraulischer Gradienten zwischen lokalen speisenden Grundwasserniveaus im Grubenumfeld und dem Flutungsspiegel in der Grube bzw. eine Verkleinerung zulaufrelevanter Wassereinzugsgebiete sein. Aus der realen Zulaufentwicklung während der Flutung war hingegen frühzeitig eine weitgehende Zulaufkonstanz unter Berücksichtigung der Witterungs- und Abflussentwicklung im Grubenumfeld erkennbar. Dies lässt sich mit einer vorherrschend vertikalen Grundwasserspeisung durch das geklüftete, teils bergbaubedingt aufgelockerte Grubendeckgebirge des tagesnahen Grubenbereiches interpretieren. Zugleich kommt offenbar der direkten Wasserspeisung aus der lokalen Vorflut wesentliche Bedeutung zu.

Erst aus der Endphase der Flutung lässt sich eine gewisse Abschwächung des Grundwasserzulaufes ableiten. Hierbei werden allerdings die Zulaufminima im Zeitraum 2008/2009 und insbesondere 2012 durch die Nassjahre 2010 und 2013 hydrologisch überlagert. Es bleibt daher weiter zu beobachten, inwiefern im Zuge des Speicherbetriebes im Niveau der -30-m-Sohle hydraulische Kopplungseffekte auf den lokalen Grundwasserzulauf aus dem Taltiefsten der Zwickauer Mulde und des unteren Schlemabaches im Gebiet von Niederschlema nachhaltig wirksam sind. Hinweise darauf liefern auch einige Grundwassermessstellen, in denen trotz ihrer Verfilterung über dem Flutungsniveau seit 2008 hydraulische Reaktionen der lokalen Grundwasserspiegel auf die Flutungsdynamik messbar sind. Auch diese Messreihen bedürfen der Weiterführung und Bewertung.

1.4 Stoffaustausch Flutungsraum

Die geflutete Grube stellt ein komplexes System aus im Wesentlichen vertikal (80 Tages- und Blindschächte, 250 Überhaun, Gesenke und Rollen) und horizontal (ca. 4200 km Grund- und Abbaustrecken) ausgerichteten linearen Hohlräumen der 62 Grubensohlen dar, die über eine Vielzahl von Schnittstellen miteinander hydraulisch vernetzt sind. Typische Hohlraumquerschnitte liegen bei etwa 3 m² bis 30 m² und stellen trotz erheblicher Wandrauigkeiten gute „Strömungsleiter“ dar. Dieses Hohlraumssystem erstreckt sich aus dem tagesnahen Grubenbereich bei 300 m NN bis in Teufen von - 1.450 m NN. Dabei differiert die Gebirgstemperatur vertikal von ca. 10 °C bis auf über 60 °C. Die natürlichen thermischen Bedingungen sind durch die jahrzehntelange Grubenbewetterung überprägt worden, woraus u. a. auch horizontale Temperaturgradienten resultieren. Im Gegensatz zu den variierenden Gebirgstemperaturen weist das Flutungswasser verschiedener Grubenbereiche und – teufen nur geringe Temperaturunterschiede von lokal wenigen Grad auf.

Offenbar bewirken die heterogenen Gebirgstemperaturen die Erwärmung und konvektive Umwälzung des eingestauten Flutungswassers gemäß dem Prinzip einer Schwerkraftheizung. Zur Umwälzung tragen vermutlich weiterhin Strömungsimpulse durch die Vielzahl der den Flutungsraum speisenden kalten Grundwasserzuläufe bei. Schließlich wurde die konvektive Wasserdurchmischung bis 2008 bzw. zeitweise nochmals bis Mitte 2011 durch die Flutungssteuerung über den tiefen Schacht 208 stimuliert. Dabei erfolgte die Wasseraufnahme aus Grubenteufen von – 200 m NN und tiefer. Nach der endgültigen Umstellung der Flutungssteuerung auf den tagesnahen Wasserabgriff im Förderbrunnen/WBA entfällt nunmehr dieser hydraulische Faktor grundsätzlich. Aus durchgeführten In-situ-Temperaturmessungen und dem radiologischen und hydrochemischen Flutungsmonitoring deutet sich eine Umstellung grubeninterner Strömungsverhältnisse an, die insbesondere den tagesnahen Grubenbereich betreffen kann, ohne dass bislang die konvektive Durchmischung des gesamten Flutungsraumes außer Kraft gesetzt würde. So ergab sich ab 2011 im Zulauf der WBA ein markanter Anstieg in der Konzentration des im Flutungswassers gelösten Radons (Rn-222) als kurzlebige Nuklid innerhalb der Uran-Zerfallsreihe. Dies kann mit einer schnelleren bzw. direkteren Nachlieferung aus dem Flutungsraum interpretiert werden. Hierzu ist die weitere messtechnische Beobachtung erforderlich.

1.5 Beschaffenheitsentwicklung Flutungswasser

Mit der Stilllegung des Uranbergbaus erfolgte vor der gesteuerten Grubenflutung die Beräumung wassergefährdender technischer Betriebsstoffe wie Fette/Öle; Kühlmittel und Holzschutzmittel. Unabhängig davon war die Grubenflutung mit der umfassenden Kontaktierung des festen Grubeninventars durch das aufsteigende Flutungswasser verknüpft. Davon waren insbesondere auch sedimentierte Grubenschlämme und die in den Abbaubereichen verbliebenen Versatzmassen

betroffen, die in ihrer physikalischen Struktur und geochemischen Beschaffenheit grundsätzlich den übertägigen Halden entsprechen. Dementsprechend erfolgte die Mobilisierung von während des aktiven Grubenbetriebes akkumulierten Verwitterungsprodukten. Im Rahmen des hydrochemischen Flutungsmonitorings wurde eine allgemeine Mineralisierung des Flutungswassers einschließlich der umweltrelevanten Mobilisierung von Uran, Radium (Ra-226), Arsen, Eisen und Mangan beobachtet, nicht aber die von konventionellen Schwermetallen. Die makrochemische Matrix beinhaltet insbesondere Sulfate, Hydrogenkarbonate und Chloride von Kalzium, Magnesium und Natrium. In den ersten Jahren der Flutung war ein mehr oder minder stetiger Anstieg der Stoffkonzentrationen im aufsteigenden Flutungswasser messbar (s. Abb. 3).

Zugleich stellte sich im Flutungswasser ein pH-neutrales bzw. schwach reduzierendes Redoxmilieu ein. Hierbei ist insbesondere der hohe Karbonatgehalt des Grubeninventars gegenüber moderaten Sulfidgehalten bzw. die umfassende biochemische Zehrung des eingetragenen Sauerstoffes von Belang. Unter den hydrostatischen Druckverhältnissen führte das u. a. zur CO_2 -Übersättigung des Flutungswassers mit einer karbonatischen Komplexbildung des mobilen sechswertigen Urans. Für die anderen umweltrelevanten Komponenten kann von der überwiegenden Mobilisierung niedrigwertiger Spezies (Fe^{2+} ; Mn^{2+}) bzw. Anionen (AsO_3^{3-}) ausgegangen werden. Die Mobilisierungen erfolgen überwiegend in Form von Ionen und Kolloiden und nur untergeordnet als Schwebstoffe.

Mit der Inbetriebnahme der Wasserbehandlung (WBA) kam der allgemeine Rückgang der mobilisierten Stoffkonzentrationen in Gang. Diese erfolgt prinzipiell gemäß einer exponentiellen Zeitfunktion, was nach anfänglich deutlichen Abnahmen bis 2011 zur Verlangsamung bzw. bei einzelnen Parametern zu Stagnationen führte (Paul et al. 2011).

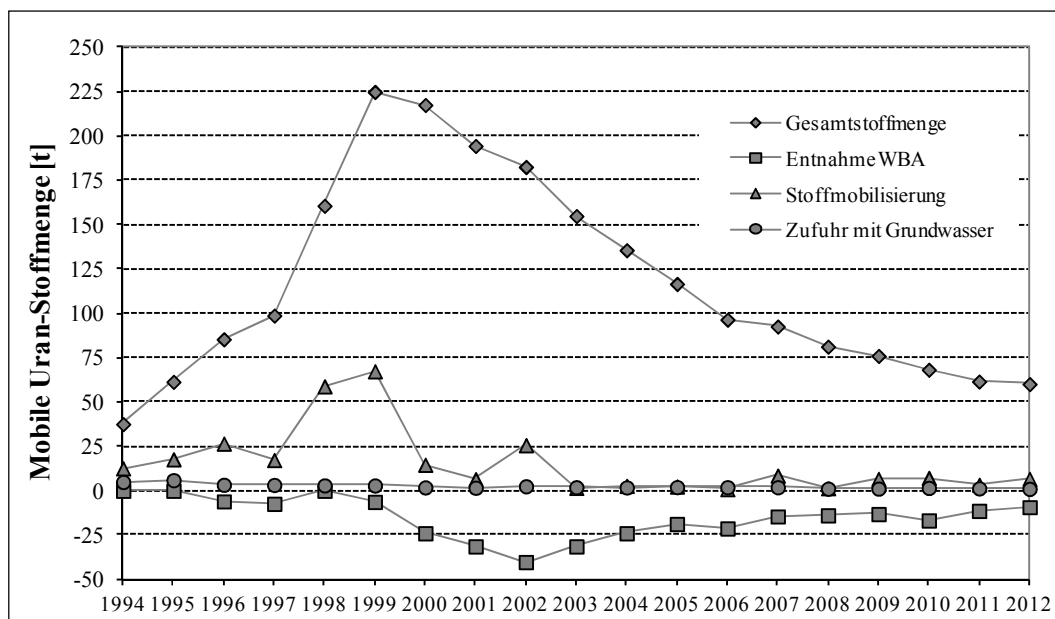


Abb. 3: Uran-Stoffbilanz/Flutungsraum Grube Schlema-Alberoda

Diese Entwicklung lässt sich aus aktueller Sicht empirisch mit der zeitlichen Überlagerung folgender Grundprozesse im Flutungsraum interpretieren:

- Abschluss flutungsbedingter Stoffmobilisierungen;
- begrenzte Stoffnachlieferungen aus geflutetem Inventar;
- zügiger Stoffaustrag zur WBA;
- natürliche Verdünnung durch Grundwasserzulauf.

Aktuelle Beobachtungen des hydrochemischen Flutungsmonitorings zeigten ab Ende 2011 insbesondere für die Parameter Fe, As und Ra-226 begrenzte Konzentrationsanstiege. Diese erfolgten zeitgleich mit dem o. g. Anstieg beim Rn-222 und lassen sich gemäß früherer Untersuchungen stofflich mit der partiellen Stoffmobilisierung aus Grubenschlämmen in Zusammenhang bringen. Diese chemisch-laborativen Untersuchungen hatten die Möglichkeit chemisch-reaktiver

Stoffmobilisierungen demonstriert. Im Zusammenhang mit den o. g. grubeninternen Strömungsveränderungen ist eine teilweise Auflösung oxydativ gebildeter Hydroxidschlämme im tagesnahen Grubenbereich vorstellbar, was im Rahmen des weiteren Flutungsmonitorings zu überprüfen ist.

2. Wasserbehandlung

Die angesichts der flutungsbedingten Schadstoffmobilisierungen erforderliche Wasserbehandlung war seit 1994 konzeptionell vorbereitet, 1995 beantragt und bis 1997 im Rahmen der genehmigungsrechtlichen/gutachterlichen Prüfung schrittweise planerisch spezifiziert worden. Bis Anfang 1999 erfolgte die Errichtung und Inbetriebnahme der Teilanlage 1. Angesichts modifizierter Flutungsprognosen machte sich bis zum Jahr 2001 die Erweiterung um die Teilanlage 2 erforderlich. Gemäß den Betriebserfahrungen der ersten Jahre einschließlich des extremen Nassjahres 2002 wurden bis 2004 grundsätzliche verfahrenstechnische Optimierungen zur Wasserbehandlung sowie bis 2006 zur Rückstandsentsorgung vorgenommen. Seitdem steht die WBA Schlema-Alberoda mit einer regulären Kapazität von 1150 m³/h zur Verfügung.

Die Wasserbehandlung umfasst ein mehrstufiges physikalisch-chemisches Verfahren zur Abtrennung o. g. umweltrelevanter Komponenten mittels Flockung und Fällung in mehreren Behandlungsbecken mit Rührwerken, die teils in Reihe, teils parallel geschaltet sind. Die wesentlichen aktuellen Verfahrensstufen sind:

- Abbau HCO₃-Puffer mit HCl unter CO₂-Ableitung (Strippkolonnen);
- Radium-Fällung mit BaCl₂;
- Neutralisation mit Kalk;
- Uran-und Arsen-Fällung mit FeCl₃;
- Mangan-Fällung mit KMnO₄;
- Flockenverbrückung mit Flockungshilfsmittel;
- Flockensedimentation (Röhrenabsetzbecken);
- Endfiltration (Scheibenfilter) vor kontrolliertem Wasserabstoß.

Der Fällschlamm durchläuft folgende Verarbeitungsschritte:

- Abzug Dünnschlamm (Schlammräumer, Schlammumpfen);
- Schlammeindickung (Eindicker);
- Schlamm-Teil entwässerung (Kammerfilterpressen);
- Schlammimmobilisierung mit Portlandzement (Trommelmischer);
- Immobilisattransport und Einlagerung in Verwahrort.

Der Verwahrort auf der Halde 371/I stellt ein technisch ausgebautes Multibarrierensystem dar und wird auf der in Sanierung befindlichen Halde für die Dauer der Wasserbehandlung betrieben und segmentweise hydraulisch verschlossen.

3. Flutungs- und Behandlungsprognose

3.1 Wassermanagement am Sanierungsstandort Schlema-Alberoda

Die Zwickauer Mulde erfährt als Hauptvorfluter des sächsischen Westerzgebirges verschiedene stoffliche Belastungen in Folge der geogenen Gegebenheiten, des historischen Erzbergbaus, der Erzaufbereitung und Metallurgie bzw. Metallverarbeitung (Altlasten). Durch die Hinterlassenschaften des Uranbergbaus sind insbesondere Immissionen an natürlichen Radionukliden (Uran, Radium) und untergeordnet von Arsen bedingt. Potenzielle Hauptemissionsquelle ist die geflutete Urangrube Schlema-Alberoda, deren entsprechende Primäremissionen aus dem Flutungsraum durch die WBA auf

weniger als 10 % reduziert werden. Erhebliche Arsenfrachten werden aus der Erzgrube Schneeberg (Altlast) freigesetzt.

In Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie besteht ein gesellschaftliches Interesse an der nachhaltigen Verbesserung der Vorfluterqualität. Verbindliche Qualitätsziele/Umweltqualitätsnormen sind bislang für das Arsen festgeschrieben. Die Wismut GmbH ist behördlicherseits zur Prüfung beauftragt, zusätzlich zum Flutungswasser auch ausgewählte übertägige kontaminierte Haldensickerwässer in die Wasserbehandlung einzubeziehen. Ein erster Sickerwasserteilstrom wird bereits seit 2009 behandelt. Das bisherige separate Behandlungsverfahren (Ionenaustausch) hat sich verfahrenstechnisch nicht bewährt und soll ab 2014 möglichst durch eine Mitbehandlung in der WBA Schlema-Alberoda abgelöst werden. Die Haldensickerwässer weisen eine grundsätzlich ähnliche chemische Signatur wie das Flutungswasser auf, sind allerdings durch eine stärkere Abflussdynamik geprägt als das hydrogeologisch gepufferte Flutungswasser, was grundsätzlich eine Mengenlimitierung erforderlich macht.

3.2 Weitere Optimierung der Wasserbehandlung

Bis Ende 2012 sind mit der WBA ca. 80 Millionen m³ Flutungswasser mit einem Gesamtkostenaufwand von ca. 90 Millionen € behandelt worden. Es waren bislang ca. 40.000 m³ an Behandlungsrückständen kontrolliert zu entsorgen. Dieser hohe Aufwand hatte bereits in der Vergangenheit zur Überprüfung bzw. Realisierung von Optimierungsmaßnahmen geführt. In deren Folge konnten unter Aufrechterhaltung der zielgemäßen Schadstoffabtrennung die spezifischen Behandlungskosten deutlich unter 1 €/m³ gesenkt werden. Weitergehende Optimierungen können sowohl aus Veränderungen im hydrologischen und hydrochemischen Quellenverhalten der gefluteten Grube als auch aus verfahrenstechnischen Verbesserungen der Wasserbehandlung an sich resultieren.

3.2.1 Quellenverhalten

Für das hydrologische Quellenverhalten ist die hydraulische Wirkung eines möglichst hohen Flutungsspiegels auf den Grundwasserzulauf von speziellem Interesse. Es besteht die theoretische Chance einer nachhaltigen tendenziellen Zulaufminderung bei adäquater Reduzierung des Behandlungsumfanges. Die Spiegelanhebung ist aber durch die Notwendigkeit eines ausreichend dimensionierten Wasserspeichers zur Kompensation von Zulaufspitzen begrenzt. Die fachliche Beobachtung und Beurteilung erfordert wegen der natürlichen Schwankungsbreiten der Witterungs- und Zulaufverhältnisse mittelfristige Zeiträume.

Für das hydrochemische Quellenverhalten sind zunächst die hydraulischen Austauschverhältnisse innerhalb des Flutungsraumes als eine wesentliche Rahmenbedingung für die physikalisch-chemische Beschaffenheitsentwicklung des Flutungswassers von Belang. Unter den seit 2011 realisierten Bedingungen der tagesnahen Flutungswasserabförderung besteht die theoretische Möglichkeit einer mittel- bis langfristigen hydraulischen Segmentierung des Flutungsraumes mit einem ggf. eingeschränkten internen Wasseraustausch. Auch hierzu sind wegen der Trägheit des Systems mittelfristige Beobachtungen im Rahmen des Flutungsmonitorings erforderlich.

Unter Berücksichtigung dessen ist die Beschaffenheitsprognose des langfristigen Gleichgewichtszustandes in der gefluteten Grube von zentraler Bedeutung, weil sich daraus die Dauer der Wasserbehandlung planen lässt. Hierbei ist die Entwicklung der physikalisch-chemischen Milieuverhältnisse im Flutungsraum wesentlich. Während zur pH-Entwicklung wegen der umfangreichen Karbonatpufferung wesentliche Änderungen unwahrscheinlich sind, besteht hinsichtlich der Redoxverhältnisse die Möglichkeit einer Systemverschiebung in den stärker reduzierenden Zustandsbereich. Eine derartige Entwicklung ist für die Urangruben Pöhla (Wismut GmbH) und Zobes (Altlast) bekannt. Das dortige Flutungswasser ist Jahrzehnte nach der Flutung entgegen dem Ausgangszustand weitgehend uran- und sulfatfrei, weist aber immer noch vergleichsweise hohe Konzentrationen an Arsen und Radiumaktivität (Ra-226) auf.

Für die Grube Schlema-Alberoda besteht die Frage nach der perspektivischen Einstellung adäquater Redoxverhältnisse. Dazu erfolgen neben der Auswertung hydrochemischer Zeitreihen des Flutungsmonitorings kleintechnische Kolonnenversuche zur experimentellen Simulierung der Flutung. Im Zeitraum 2006/2007 waren zudem ausgehend von kleintechnischen Kolonnenversuchen großtech-

nische Versuche zur chemischen Stimulierung einer In-situ-Uranabtrennung mit Eisenpulver im gefluteten Hauptschacht der Grube Schlema-Alberoda durchgeführt worden. Anhand der Versuchsergebnisse war eine reduktive Uranabtrennung im Gesamtmaßstab der Grube als stofflich möglich, aber als technisch problematisch beurteilt worden. Seit 2011 erfolgen Untersuchungen zum biologischen Inventar bzw. Potenzial des Flutungswassers, um die Möglichkeit einer biochemischen Katalyse von Reduktionsprozessen mittelfristig beurteilen zu können. Im Falle positiver experimenteller Nachweise wird allerdings die Quantifizierung bzw. Prognose derartiger Prozesse als ein objektives Problem erachtet.

Zum Emissionsverhalten des Arsens fanden in Zusammenarbeit mit der TU Freiberg mineralogische und chemisch-experimentelle Untersuchungen anhand von Halden-Erzproben gemäß den für die Grube typischen arsenführenden Paragenesen statt, deren Publikation vorbereitet wird. Diese Untersuchungen widerspiegeln die unterschiedliche Verwitterungsanfälligkeit einzelner Paragenesen mit einem erheblichen Bildungspotenzial an Arsenoxiden, die sowohl unter oxidierenden als auch reduzierenden Redoxverhältnissen mehr oder weniger gut wasserlöslich sind. Dies deckt sich mit den Erfahrungen aus dem bisherigen Wassermonitoring an den Grubenstandorten im Westerzgebirge, aus dem aber auch hervorgeht, dass die Arsenemissionen effektiv durch den Phasenkontakt mit geogenen Adsorptionsmitteln, wie insbesondere Eisenhydroxiden, begrenzt werden kann.

3.2.2 Wasserbehandlungskonzept

Seit 2011 erfolgen Untersuchungen in der WBA, um die mehrstufige Prozessführung weiter zu optimieren. Zielstellung ist die Überprüfung von Möglichkeiten der reduzierten Chemikaliendosierungen bei uneingeschränkter Gewährleistung der komponentenspezifischen Behandlungsziele. Für den diesbezüglichen Hauptkostenfaktor – Salzsäure, war das allerdings bei den derzeitigen Mengen- und Beschaffenheitsverhältnissen des Flutungswassers prinzipiell nur eingeschränkt möglich (s. Tab. 1).

Tab. 1: Kostenstruktur Betriebsmittel WBA (2011)

Betriebsmittel	Jahresmenge [t]	Jahreskosten	
		[Millionen €]	[%]
HCl-Lösung	7.600	0,53	50
BaCl ₂ -Lösung	715	0,12	11
Fe(III)Cl ₃ -Lösung	712	0,12	11
Kalk	265	0,02	2
KMnO ₄	7,2	0,02	2
Flockungshilfsmittel	8,6	0,02	2
Entschäumer	2,5	0,01	1
Zement	912	0,08	8
Elektroenergie	0,7 Mio. kWh	0,14	13
Summe	-	1,06	100

Die Untersuchungen fanden überwiegend im großtechnischen Maßstab bei laufendem Betrieb der Teilanlage 2 der WBA mittels empirisch-schrittweiser Veränderungen bekannter Prozessparameter statt. Durch die testweise Chemikalienreduzierung wurden erhebliche Schwankungen von Restkonzentrationen unterhalb der Behandlungszielwerte ersichtlich, die bei hohen Dosieraten unterdrückt waren. Dies ließ auf mögliche kinetische Einflüsse bei der Flockenbildung und –aggregation in den Behandlungs- und Sedimentationsbecken durch variable Feststoffgehalte des zu behandelnden Flutungswassers schließen. Deswegen wurde ab 2012 eine permanente Feststoffbeaufschlagung durch eine partielle Schlammrückführung experimentell realisiert. Die folgenden Monate zeigten trotz der reduzierten Chemikaliendosierung die weitgehende Stabilisierung niedriger Restkonzentrationen infolge der modifizierten Wasserbehandlung (s. Abb. 4).

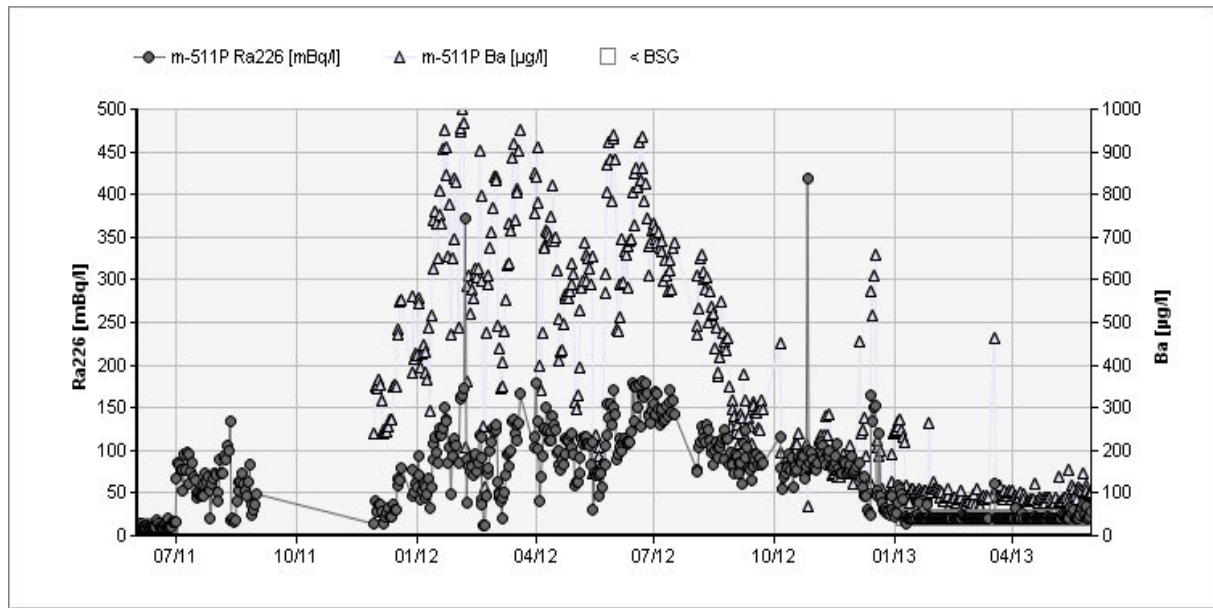


Abb. 4: Restkonzentrationen WBA-Teilanlage 2 (Messpunkt m-511P)

Zur verfahrenstechnischen Reproduzierung dieses Effektes wird die partielle Schlammrückführung seit dem Frühjahr 2013 auch in der Teilanlage 1 der WBA testweise betrieben. Im weiteren Verlauf dieses Großversuches ist eine Anpassung/Optimierung des Schlammabzugs bis zur Prozessstufe der Filterpressen vorzunehmen und es sind die Auswirkungen auf das Immobilisat zu untersuchen.

Es erfolgen separate Untersuchungen zu Verockerungsprozessen auf den Füllkörpern der Strippkolonnen beider WBA-Teilanlagen. Aus chemisch-analytischen, phasenanalytischen und thermodynamischen Untersuchungen konnten hier trotz des praktizierten HCl-Einsatzes (pH: 3,5) mikrobiell katalysierte Hydrolyseprozesse nachgewiesen werden, die zur allmählichen Verblockung der Kolonnen führen, was einen periodischen Füllkörperwechsel notwendig macht. Zur Minimierung dieser Prozesse sollen zunächst in Abstimmung mit dem Hersteller Produktvariationen der Füllkörper getestet werden. Eine alternative Absenkung des pH-Wertes wäre wegen des intensivierten Säure- und Kalkeinsatzes vergleichsweise kostenintensiv.

Im Zeitraum 2009/2010 wurden in der WBA Schlema-Alberoda kleintechnische Pilotversuche im Rahmen des nationalen BMBF-Forschungsprojektes SURFTRAP durchgeführt. Deren Ziel bestand im experimentellen Test einer alternativen Entarsenierung von Grubenwässern unter Einsatz des Reststoffes Schwertmannit anstelle von konventionellem Eisenchlorid. Die Pilotierung erfolgte unter technischer Unterstützung der Wismut GmbH und belegte die grundsätzliche Realisierbarkeit dieses Verfahrens, ohne das bislang konkrete Rahmenbedingungen eines großtechnischen Einsatzes benannt werden können. Der Einsatz von Schwertmannit als Festbettabsorber zur Arsenabtrennung soll in einem Folgeprojekt untersucht werden.

4. Ausblick

Gemäß dem fortgeschrittenen Sanierungsstand am Standort Schlema-Alberoda der Wismut GmbH ist das sinnvolle Zusammenwirken der weitgehend gefluteten Urangrube mit der Wasserbehandlungsanlage für das Wassermanagement am Standort von entscheidender Bedeutung. Durch die Wismut GmbH wird die weitere Optimierung des aufwendigen Behandlungsprozesses unter Berücksichtigung der perspektivischen Mengen- und Beschaffenheitsentwicklung des kontaminierten Flutungswassers angestrebt. Diesbezüglich soll bis Ende 2014 eine komplexe Zwischenbewertung erfolgen, von der u. a. auch die Möglichkeiten einer zusätzlichen Einbeziehung übertägiger Haldensickerwässer in die Behandlung abhängig zu machen ist. Auf mittel- bis langfristige Sicht wird der Entwicklung der Redoxverhältnisse in der gefluteten Grube unter den Bedingungen des seit Ende 2011 praktizierten tagesnahen Flutungswasserabgriffes besondere Bedeutung beigemessen. Dazu sind die verschiedenen aktuellen Untersuchungen zur Relevanz mikrobieller Flutungsprozesse im Sinne einer erweiterten Systemanalyse auszuwerten. Des Weiteren sind bisherige Analogiebetrachtungen zu

anderen/historischen Flutungen von Urangruben mit prinzipiell vergleichbaren geochemischen bzw. hydrogeologischen Verhältnissen (Westerzgebirge; Tschechische Republik) fortzusetzen.

5. Literatur

- Meyer, J.; Jenk, U.; Schuppan, W.; Knappik, R.: Hydrochemische Aspekte und Interpretationen der Grubenflutungen des Sanierungsbetriebes Aue der Wismut GmbH; Proceedings of Int. Conf. Uranium Mining and Hydrogeology II, Freiberg, September 1998; Verlag Sven von Loga 1998; S. 124 – 129
- Meyer, J.; Jenk, U.; Göhrs, A.; Schuppan, W.: Characterisation of final mine flooding at the Schlema-Alberoda site of Wismut GmbH with particular emphasis on flooding water quality evolution; Proceedings of Int. Conf. Uranium Mining and Hydrogeology III/Int. Mine Water Assoc. Symposium; Freiberg; Sept. 2002; Springer Verlag 2002; S. 769 – 774
- Meyer, J.; Paul, M.; Jenk, U.: Water hydrology of the Schneeberg Mine (Saxony) fifty years after flooding; Proceedings of 10th Int. Mine Water Assoc. Congress, Karlovy Vary 2008; S. 163 - 166
- Paul, M.; Metschies, Th.; Frenzel, M.; Meyer, J.: The mean hydraulic residence time and its use for assessing the longevity of mine water pollution from flooded underground mines; Proceedings of Int. Conf. Uranium Mining and Hydrogeology VI, Freiberg, September 2011: "The New Uranium Mining Boom", Springer-Verlag 2011, S. 689 - 699