



## **SANIERUNGSBERGBAU NEU DENKEN**

Innovative Ansätze auf dem Weg zur Nachhaltigkeit

## **RE-THINKING MINING REMEDIATION**

Innovative approaches towards sustainability

Extended Abstracts des 5. Internationalen  
Bergbausymposiums **WISSYM<sup>▲</sup>2023**



**WISMUT**

# **SANIERUNGSBERGBAU NEU DENKEN**

Innovative Ansätze auf dem Weg zur Nachhaltigkeit

# **RE-THINKING MINING REMEDIATION**

Innovative approaches towards sustainability

Extended Abstracts

des 5. Internationalen Bergbausymposiums WISSYM 2023

Dresden, 25. bis 28. September 2023

## INHALT

<b>CONTENT .....</b>	<b>7</b>
<b>Grußwort.....</b>	<b>13</b>
<i>des Bundesministers für Wirtschaft und Klimaschutz Parlamentarischer Staatssekretär Michael Kellner</i>	
<b>Vorwort .....</b>	<b>17</b>
<i>von Dr. Michael Paul Geschäftsführer Wismut GmbH</i>	
<b>GESELLSCHAFTLICHE AKZEPTANZ .....</b>	<b>21</b>
<b>Ein Spektrum der Ergebnisse von Bergwerksstilllegungen im Umgang mit schleichenden Umwelt- und Sozialrisiken während der Lebensdauer eines Bergwerks und darüber hinaus .....</b>	<b>23</b>
<i>Corinne Unger, Jo-Anne Everingham, Jörgen Sandberg</i>	
<b>Gesellschaftliche Akzeptanz bei Bergbau- und Sanierungsprojekten – die Rolle der Verbände/des VBGU .....</b>	<b>27</b>
<i>Olaf Alisch</i>	
<b>Die Wismut Stiftung gGmbH – Aufgaben, Stand und Perspektiven zur Pflege des Wismut-Erbes .....</b>	<b>31</b>
<i>Dr. Julia Dünkel, Nico Loße</i>	
<b>„Grenzen der Beherrschbarkeit“ – Umweltpolitik und Sanierung im Uranerz-bergbau der SAG/SDAG Wismut 1946-1990 .....</b>	<b>35</b>
<i>Dr. Sabine Loewe-Hannatzsch</i>	
<b>Das „Wismut-Erbe“ als (Denk-)Anstoß multidisziplinärer Forschung .....</b>	<b>39</b>
<i>Silvio Dittrich</i>	
<b>Systemisches Lebenszyklusmanagement von Bergbaustandorten zum Ausgleich gesellschaftlicher Zielkonflikte: Naturschutz vs. Versorgungssicherheit .....</b>	<b>43</b>
<i>W. Eberhard Falck, Vitor Correia</i>	
<b>Internationales Trainingszentrum World Nuclear University – School of Uranium Production .....</b>	<b>47</b>
<i>Vojtěch Vokál</i>	

<b>UNTERTAGEBERGBAU/ENDLAGER – ALTLASTEN IM ALTBERGBAU .....</b>	<b>51</b>
<b>Bedeutung des staatlichen Sanierungsbergbaus im Kontext der nationalen Rohstoffstrategie Deutschlands .....</b>	<b>53</b>
<i>Michael Paul</i>	
<b>Altlasten im Altbergbau: Vorbereitung Gefährdungsabschätzung Grube Morgenstern .....</b>	<b>57</b>
<i>Matthias Beyer, Jörg Drangmeister, Gunnar Laudel</i>	
<b>Errichtung des Anschlussbergwerks Asse 5 .....</b>	<b>61</b>
<i>Dr. Thomas Lautsch</i>	
<b>Endlager “Konrad” – Randbedingungen und Herausforderungen des untertägigen Ausbaus.....</b>	<b>65</b>
<i>Jana Heymann</i>	
<b>NORM-MANAGEMENT .....</b>	<b>69</b>
<b>Wertschöpfung und Nutzungsoptionen von NORM-Rückständen im Kontext der Kreislaufwirtschaft .....</b>	<b>71</b>
<i>Prof. Dr. Julian Hilton</i>	
<b>Verwendung von Baryt zur Minderung von <sup>226</sup>Ra in NORM-Bergbauabgängen aus Erz mit hohem U-Gehalt - Saskatchewan, Kanada .....</b>	<b>75</b>
<i>Clémence Besançon, Paul Sardini, Sébastien Savoye, Kebbi Hughes, Hamid Mokhtari, Martine Gérard, Michael Descostes</i>	
<b>UAV-based gamma-spectrometric survey of uranium legacy sites in Central Asia .....</b>	<b>79</b>
<i>Christian Kunze, Sven Altfelder, Benedikt Preugschat</i>	
<b>KREISLAUFWIRTSCHAFT &amp; ROHSTOFFE.....</b>	<b>83</b>
<b>Auf der Suche nach dem ökologischen Fußabdruck der weltweit steigenden Nachfrage von Rohstoffen im Zuge der grünen Energiewende?.....</b>	<b>85</b>
<i>Sven Altfelder</i>	
<b>Zukunftsmaterialien aus dem Altbergbau.....</b>	<b>89</b>
<i>Martin Bertau, Martin Reiber</i>	
<b>recomine – Ganzheitliche Technologien und Konzepte für Bergbaualtlasten made in Saxony .....</b>	<b>93</b>
<i>Philipp Büttner, Dr. Jonathan Engelhardt</i>	
<b>Ursache spontaner Verflüssigungen auf Innenkippen des Braunkohlenbergbaus und Folgen einer Verflüssigung .....</b>	<b>97</b>
<i>Manfred Wittig, Thomas Martienßen</i>	
<b>SANIERUNGSBERGBAU – TECHNOLOGIE &amp; NACHSORGE.....</b>	<b>101</b>
<b>Bekanntnis zur langfristigen Aufsichtspflicht: Ein Überblick über die sichere und nachhaltige Verwaltung und Wiederverwendung von Altlaststandorten .....</b>	<b>103</b>
<i>Tania Smith Taylor, Carmelo Melendez, Jay Glascock</i>	
<b>Von der Wissenschaft in die Praxis – Die Anwendung von Wissenschaft und Technology bei der nachhaltigen Bewirtschaftung von Standorten der Uranerzverarbeitung in den Vereinigten Staaten .....</b>	<b>107</b>
<i>Mark Kautsky, Nicolas Kiusalaas, Jeff Carman</i>	

<b>Erkundung der Historie zur Bewahrung der Zukunft Uranminen für die nationale Verteidigung</b> .....	113
<i>William Lee Burns</i>	
<b>Bauerfahrung bei Entsorgungszellenabdeckungen im Westen der Vereinigten Staaten</b> .....	117
<i>Joseph D. Ritchey</i>	
<b>Management von Bergbauatlasten in Peru</b> .....	123
<i>Soto Yen</i>	
<b>Umweltsanierung von Bergstandorten in Peru</b> .....	125
<i>Antonio Montenegro, Ormeño Ysmael, Miguel Tito</i>	
<b>Die Wiederherstellung des Ökosystems im Upamayo-Delta</b> .....	129
<i>Montenegro, Antonio; Ormeño, Ysmael; Condor, Javier; Tito, Miguel</i>	
<b>Das MinSus-Projekt: Technische Zusammenarbeit beim Umgang mit Bergbauatlasten in den Anden</b> .....	133
<i>Achim Constantin, Jacob Mai</i>	
<b>Codelco's Herausforderungen in Bezug auf Bergwerksschließung</b> .....	137
<i>Humberto Rivas</i>	
<b>Sanierung der Uranzeche Ranger</b> .....	139
<i>Keith Tayler</i>	
<b>Sanierung von Uran-Altlasten in Portugal. Perspektiven und Herausforderungen für das langfristige Management nach der Sanierung</b> .....	143
<i>Edgar Carvalho, Catarina Diamantino, Carlos Martins</i>	
<b>Minenschließung und Wassersicherheit: Perspektiven für ein gemeinsames deutsch- südafrikanisches Projekt im Far West Rand Goldfield (Südafrika)</b> .....	147
<i>Kerri du Preez, Frank Winde, Bashan Govender</i>	
<b>Anwendung von maschinellem Lernen auf Umweltüberwachungsdaten zur Erstellung intelligenter Vorhersagen</b> .....	151
<i>Maria de Lurdes Dinis</i>	
<b>Ein reaktives Transportmodell zur Vorhersage des ökologischen Fußabdrucks einer Urangewinnung in situ</b> .....	155
<i>Sofia Escario, Nicolas Seigneur, Antoine Collet, Olivier Regnault, Hélène de Boissezon, Vincent Lagneau, Michael Descostes</i>	
<b>Feldtest zur Steuerung der hydrochemischen Bedingungen im Grubengebäude des Uranbergwerkes Königstein durch Injektion einer reaktiven Lösung</b> .....	159
<i>Felix Bilek, Ulf Jenk, Uli Uhlig</i>	
<b>Verfahrensentwicklung zur Salzabtrennung aus Bergbauwässern mit Membranfiltration</b> .....	163
<i>Andrea Kassahun, Jan Laubrich, Thomas Metschies</i>	
<b>POSTERBEITRÄGE</b> .....	167
<b>Strahlenschutzrechtliche Anforderungen an die radondichte Sanierung von Halden aus dem Uranbergbau bei haldennaher Wohnbebauung</b> .....	171
<i>Constanze Bach</i>	
<b>Passive Behandlung von HCH-kontaminiertem Bergbauwasser</b> .....	175
<i>Petr Br���ek, Miroslav ��ern��k, Jan N��me��ek, Pavel Hrab��k</i>	
<b>Ein Überblick über die aktive und passive Behandlung von Grubenwasser in der Uran- Altmine Urgeiriça (PORTUGAL)</b> .....	179
<i>Catarina Diamantino, Edgar Carvalho, Carlos Martins</i>	

<b>Die Konzeption von MINDER – ein gemeinsamer Erasmus-Mundus-Masterstudiengang für Stilllegung und Umweltsanierung</b> .....	<b>183</b>
<i>Maria de Lurdes Dinis, Bieke Abelshausen, Deborah Oughton, Eliana Amaral, Horst Monken Fernandes, Karen Smith, Kenji Nanba, Laís Alencar de Aguiar, Leonel Lagos, Mariza Ramalho Franklin</i>	
<b>Nachhaltige Nutzung bereits vorhandener Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen als Förderbrunnen zur Fassung kontaminierter Sickerwässer in der Culmitzschau</b> .....	<b>187</b>
<i>Manja Haupt, Niclas Einert</i>	
<b>DYNOSORT: Dynamische Sortierung Polymetallischer Halden</b> .....	<b>191</b>
<i>Jonathan Engelhardt, Ladislav Pašek, Laura Tusa, Jakub Progorowicz, Cecilia Contreras, Barbora Dostálová, Igor Ďuriška, Martin Sisol, Christian Christesen, Jacek Kolacz</i>	
<b>Dezentrales Kommunikations- und Datenerfassungssystem für untertägige Anlagen (DECOMDA)</b> .....	<b>195</b>
<i>Max Friedemann, Dr.-Ing. Tobias Krichler, Prof. Dr. Helmut Mischo</i>	
<b>Schadstoffbilanzierung in bergbaugeprägten Einzugsgebieten – Einordnung der Sanierungsstandorte der Wismut GmbH entlang der Zwickauer Mulde</b> .....	<b>201</b>
<i>Annia Greif, Mirko Martin, Christine Stevens</i>	
<b>Sanierungsdokumentationen der Wismut GmbH – Ziele, Herausforderungen und Umsetzung</b> .....	<b>205</b>
<i>Axel Hiller, Olaf Zeidler, Jörg Voland</i>	
<b>In-situ online Watergenics-Sulfatsondenmessung in einem bergbaulich beeinflussten Fließgewässer des Lausitzer Braunkohlereviere – Benchmarking und erste Ergebnisse</b> .....	<b>209</b>
<i>Henning Jasnowski-Peters, Dr. Sebastian Stolzenberg, Dr. Liviu Mantecscu</i>	
<b>Vertiefung des Prozessverständnisses zur Entwicklung der Grubenwasserbeschaffenheit am Standort Schlema-Alberoda</b> .....	<b>213</b>
<i>Nils Hoth, Juliane Günther, Andrea Kassahun, Axel Hiller, Andrea Schramm</i>	
<b>Rückbau der Prozessstufe Uranentsorgung in Königstein – Neue Herausforderungen vor dem Hintergrund des Natur- und Artenschutzes</b> .....	<b>217</b>
<i>Dr. Ulf Jenk, Thomas Albrecht, Nadine Kleditz, Thomas Vetter, Thomas Beyer</i>	
<b>Umbau der Wasserbehandlung in Königstein – Ende der Urangewinnung und Prozessoptimierung zur Gewährleistung des mittel- und langfristigen Wassermanagements</b> .....	<b>221</b>
<i>Dr. Ulf Jenk, Nadine Kleditz, Thomas Beyer, René Pesth</i>	
<b>Einfluss von Mikroben auf die Uran-Reduktion in Grubenwässern ehemaliger Uranminen – eine Perspektive für die Sanierung</b> .....	<b>225</b>
<i>Evelyn Krawczyk-Bärsch, Antonio Newman-Portela, Andrea Kassahun, Mohamed L. Merroun, Johannes Raff</i>	
<b>Innovative Ansätze auf dem Weg zu einem zukunftsfähigen Sanierungsbergbau</b> .....	<b>227</b>
<i>Frank Lange</i>	
<b>Wasserbehandlung im Zuge der Sanierung der Thüringer Absetzanlagen – Rückblick, Risiken und Restlaufzeiten</b> .....	<b>233</b>
<i>Dr. Jan Laubrich, Sabine Wiesener</i>	
<b>Auf dem Weg zur klimaneutralen Bergbausanierung Wo steht die Wismut GmbH?</b> .....	<b>237</b>
<i>Lars Mammitzsch</i>	
<b>Nachhaltige Wasserbehandlung am Beispiel der neuen Wasserbehandlungsanlage Helmsdorf</b> .....	<b>241</b>
<i>Lars Mammitzsch</i>	

<b>Passive Wasserbehandlung als nachhaltige Lösung zur Verminderung der Folgen des Altbergbaus auf die Güte sächsischer Gewässer neu gedacht .....</b>	<b>245</b>
<i>Mirko Martin, Eberhard Janneck, Christine Stevens, Jürgen Meyer, Axel Hiller</i>	
<b>Erkenntnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage zum Thema Grubenwasser im Ruhrgebiet, Saarland und Ibbenbüren.....</b>	<b>249</b>
<i>Elke Mugova, Christian Wolkersdorfer, Stefanie Walter</i>	
<b>Die Rolle der Erstspülung (First Flush) für den Sanierungsbergbau – Untersuchungen an einem gefluteten Uranbergwerk in Sachsen und einem analogen Grubenwassermodell .....</b>	<b>253</b>
<i>Elke Mugova, Christian Wolkersdorfer</i>	
<b>Künftige Nutzung von Standorten nach Beendigung des Braunkohleabbaus in der Tschechischen Republik .....</b>	<b>257</b>
<i>RobertŠimůnek, Václav Švec, Petr Kubiš</i>	
<b>Charakterisierung des Einflusses der Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus anhand der Verhältnisse der natürlichen Radionuklide Beryllium-7 und Blei-210 in Weidegras.....</b>	<b>261</b>
<i>Jens Regner, Kristina Brottko</i>	
<b>Sanierung der IAA Dänkritz 2 aus dem Blickwinkel des Natur- und Artenschutzes .....</b>	<b>265</b>
<i>Marcel Roscher, Mirko Köhler, Matthias Bauroth, Claudia Preißler, Andreas Barth, Michael Hüttl, Dr. H. Sängler</i>	
<b>Ermittlung eines hydrogeochemischen Hintergrundwertes für Uran im Bereich des 4. Grundwasserleiters der ehemaligen Uranerzgrube Königsstein in Sachsen .....</b>	<b>269</b>
<i>Sebastian Schramm, Traugott Scheytt, Melanie Melchisedech, Birgit Niebuhr, Markus Wilmsen, Mark Mücklich, Thomas Voigt</i>	
<b>Sorptionsverhalten von Antimon an Eisenoxidverbindungen .....</b>	<b>273</b>
<i>Franz-Georg Simon, Sophie Frieling</i>	
<b>Priorisierung bergbaulicher Sanierungsmaßnahmen – Ermittlung punktueller und diffuser Belastungsquellen sowie Quellstärken in komplexen Flusssystemen im Rahmen einer ganzheitlichen Flussgebietsbewirtschaftung.....</b>	<b>277</b>
<i>Christine Stevens, Mirko Martin, Eberhard Janneck, Annia Greif</i>	
<b>Verwendung von Gesteinsmaterial aus Abraumhalden nach dem Abbau von Uranerzen in der Region Příbram für Verkehrsbauwerke .....</b>	<b>281</b>
<i>Ing. Václav Šustr</i>	
<b>Waldbaulich-ertragskundliche Untersuchung der Aufforstung auf der Halde Beerwalde – Diskussion geeigneter und angepasster Inventurverfahren .....</b>	<b>285</b>
<i>Joey Lee Taylor, Anka Nicke, Karina Kahlert, Mirko Köhler</i>	
<b>Grube Königstein: 25 Jahre Sanierungsbegleitung durch das GWZ.....</b>	<b>289</b>
<i>Uli Uhlig, Frank Börner, Felix Bilek, Ludwig Luckner</i>	
<b>Managing mining legacies: ein neuer internationaler Standard.....</b>	<b>293</b>
<i>Corinne Unger, Tania Laurent, Peter Goerke-Mallet</i>	
<b>Verdunstungsmessung als Beitrag zur Wasserhaushaltsbilanzierung von Halden und Deponien .....</b>	<b>297</b>
<i>Sebastian Westermann, Wilhelm Georg Coldewey, Julius Werner</i>	
<b>Vom Manhattan-Projekt zu Las Colonias – Die Umgestaltung des atomaren Erbes von Grand Junction zu einem wertvollen Gemeinschaftsgut .....</b>	<b>301</b>
<i>Sara Woods</i>	

## CONTENT

<b>Opening address</b> .....	<b>15</b>
<i>from the Federal Minister for Economic Affairs and Climate Action, given by Parliamentary State Secretary Michael Kellner</i>	
<b>Preface</b> .....	<b>19</b>
<i>by Dr. Michael Paul, Managing Director, Wismut GmbH</i>	
<b>SOCIAL ACCEPTANCE</b> .....	<b>21</b>
<b>A spectrum of mine closure outcomes from managing enviro-social insidious risks over the life of a mine and beyond</b> .....	<b>25</b>
<i>Corinne Unger, Jo-Anne Everingham, Jörgen Sandberg</i>	
<b>Social acceptance of mining and rehabilitation projects – the role of the associations / the VBGU</b> .....	<b>29</b>
<i>Olaf Alisch</i>	
<b>The Wismut Foundation gGmbH – tasks, status and perspectives for the care of the Wismut heritage</b> .....	<b>33</b>
<i>Dr. Julia Dünkel, Nico Loße</i>	
<b>"Limits of Controllability" – Environmental Policy and Remediation in Uranium Ore Mining at the SAG/SDAG Wismut 1946-1990</b> .....	<b>37</b>
<i>Dr. Sabine Loewe-Hannatzsch</i>	
<b>The "wismut heritage" as a thought-provoking for multidisciplinary research</b> .....	<b>41</b>
<i>Silvio Dittrich</i>	
<b>Systemic mine-site life-cycle management for reconciliation of conflicting societal objectives: Nature protection vs. raw materials supply resilience</b> .....	<b>45</b>
<i>W. Eberhard Falck, Vitor Correia</i>	
<b>International Training Centre World Nuclear University – School of Uranium Production</b> .....	<b>49</b>
<i>Vojtěch Vokál</i>	
<b>DEEP MINING/REPOSITORY SITES – LEGACIES IN ABANDONED MINE SITES..</b>	<b>51</b>
<b>The significance of state-funded mine remediation in the context of Germany's national raw materials strategy</b> .....	<b>55</b>
<i>Michael Paul</i>	
<b>Contaminated sites in abandoned mines: Preparation of hazard assessment for the Morgenstern pit</b> .....	<b>59</b>
<i>Matthias Beyer, Jörg Drangmeister, Gunnar Laudel</i>	
<b>Construction of the Asse 5 connection mine</b> .....	<b>63</b>
<i>Dr. Thomas Lautsch</i>	
<b>Repository „Konrad“ – Prerequisites and Technical Challenges of the Underground Support System</b> .....	<b>67</b>
<i>Jana Heymann</i>	

<b>NORM-MANAGEMENT .....</b>	<b>69</b>
<b>Valorisation and Beneficial Uses of NORM Residues in the Scope and Context of the Circular Economy .....</b>	<b>73</b>
<i>Prof. Dr. Julian Hilton</i>	
<b>Using barite to mitigate <sup>226</sup>Ra in NORM tailings from high U grade ore – Saskatchewan, Canada.....</b>	<b>77</b>
<i>Clémence Besançon, Paul Sardini, Sébastien Savoye, Kebbi Hughes, Hamid Mokhtari, Martine Gérard, Michael Descostes</i>	
<b>UAV-based gamma-spectrometric survey of uranium legacy sites in Central Asia .....</b>	<b>81</b>
<i>Christian Kunze, Sven Altfelder, Benedikt Preugschat</i>	
<b>CIRCULAR ECONOMY &amp; RESOURCES .....</b>	<b>83</b>
<b>In search of the ecological footprint of the increasing global demand for raw materials in the course of the green energy transition? .....</b>	<b>87</b>
<i>Sven Altfelder</i>	
<b>Materials of the future from old mines .....</b>	<b>91</b>
<i>Martin Bertau, Martin Reiber</i>	
<b>recomine – Technologies and concepts for a holistic mine waste treatment made in Saxony .....</b>	<b>95</b>
<i>Philipp Büttner, Dr. Jonathan Engelhardt</i>	
<b>Cause of spontaneous liquefaction on inner waste dumps of lignite mining and consequences.....</b>	<b>99</b>
<i>Manfred Wittig, Thomas Martienßen</i>	
<b>MINING REMEDIATION – TECHNOLOGY &amp; AFTERCARE.....</b>	<b>101</b>
<b>Commitment to Long-Term Stewardship: An Overview of Safe and Sustainable Management and Reuse of Legacy Sites .....</b>	<b>105</b>
<i>Tania Smith Taylor, Carmelo Melendez, Jay Glascock</i>	
<b>Moving Science into Practice – Applying Science and Technology to Sustainably Manage Former Uranium Mill Tailings Sites in the United States .....</b>	<b>110</b>
<i>Mark Kautsky, Nicolas Kiusalaas, Jeff Carman</i>	
<b>Investigating the Past – Protecting the Future Defense-Related Uranium Mines .....</b>	<b>115</b>
<i>William Lee Burns</i>	
<b>Construction Experience on Disposal Cell Covers in the Western United States .....</b>	<b>120</b>
<i>Joseph D. Ritchey</i>	
<b>Management of Mining Environmental Liabilities in Peru .....</b>	<b>124</b>
<i>Soto Yen</i>	
<b>Mine environmental remediation in Peru .....</b>	<b>127</b>
<i>Antonio Montenegro, Ormeño Ysmael, Miguel Tito</i>	
<b>The Recovery of the ecosystem of Delta Upamayo .....</b>	<b>131</b>
<i>Montenegro, Antonio; Ormeño, Ysmael; Condor, Javier; Tito, Miguel</i>	
<b>The MinSus-Project: technical assistance for managing mining legacies in the Andes.....</b>	<b>135</b>
<i>Achim Constantin, Jacob Mai</i>	

<b>Codelco’s challenges regarding mine closure</b> .....	<b>138</b>
<i>Humberto Rivas</i>	
<b>Rehabilitation of the Ranger uranium mine</b> .....	<b>141</b>
<i>Keith Tayler</i>	
<b>Remediation of uranium legacy sites in Portugal. Perspectives and challenges for long-term post-remediation management</b> .....	<b>145</b>
<i>Edgar Carvalho, Catarina Diamantino, Carlos Martins</i>	
<b>Mine Closure and Water Security: Perspectives on a joint German-South African project in the Far West Rand Goldfield (South Africa)</b> .....	<b>149</b>
<i>Kerri du Preez, Frank Winde, Bashan Govender</i>	
<b>Application of Machine Learning for Environmental Monitoring Data to Generate Intelligent Predictions</b> .....	<b>153</b>
<i>Maria de Lurdes Dinis</i>	
<b>A reactive transport model designed to predict the environmental footprint of an ‘in-situ recovery’ uranium exploitation</b> .....	<b>157</b>
<i>Sofia Escario, Nicolas Seigneur, Antoine Collet, Olivier Regnault, H�el�ene de Boissezon, Vincent Lagneau, Michael Descostes</i>	
<b>Field test to control the hydrochemical conditions in the K�onigstein uranium mine by injecting a reactive solution</b> .....	<b>161</b>
<i>Felix Bilek, Ulf Jenk, Uli Uhlig</i>	
<b>Membrane technology process adaption to salt separation from mine water</b> .....	<b>165</b>
<i>Andrea Kassahun, Jan Laubrich, Thomas Metschies</i>	
<b>POSTER CONTRIBUTIONS</b> .....	<b>167</b>
<b>From flooding of the former Ronneburg uranium mine to the long-term management of the Ronneburger Horst groundwater body</b> .....	<b>169</b>
<i>Dr. D. Baacke, T. Metschies</i>	
<b>Requirements for the radiation protection for radon tight remediation of heaps of the uranium mining lying close to living areas</b> .....	<b>173</b>
<i>Constanze Bach</i>	
<b>Passive Remediation System for the Treatment of HCH-Contaminated Mining Water</b> .....	<b>177</b>
<i>Petr Br�ucek, Miroslav �ernik, Jan N�eme�ek, Pavel Hrab�ak</i>	
<b>An overview of active and passive treatment mine water treatment at Urgeiriça uranium legacy mine (PORTUGAL)</b> .....	<b>181</b>
<i>Catarina Diamantino, Edgar Carvalho, Carlos Martins</i>	
<b>The Design of MINDER – an Erasmus Mundus Joint Master Degree in Decommissioning and Environmental Remediation</b> .....	<b>185</b>
<i>Maria de Lurdes Dinis, Bieke Abelshausen, Deborah Oughton, Eliana Amaral, Horst Monken Fernandes, Karen Smith, Kenji Nanba, La�s Alencar de Aguiar, Leonel Lagos, Mariza Ramalho Franklin</i>	
<b>Sustainable use of existing groundwater monitoring wells as extraction wells for the collection of contaminated seepage water in the Culmitschaue area</b> .....	<b>189</b>
<i>Manja Haupt, Niclas Einert</i>	
<b>DYNOSORT: Dynamic Ore Sorting of Polymetallic Stockpiles</b> .....	<b>193</b>
<i>Jonathan Engelhardt, Ladislav Pa�ek, Laura Tusa, Jakub Progorowicz, Cecilia Contreras, Barbora Dost�alov�a, Igor �uri�ska, Martin Sisol, Christian Christesen, Jacek Kolacz</i>	

<b>Decentralized Communication and Data Acquisition System for Underground Operations (DECOMDA).....</b>	<b>198</b>
<i>Max Friedemann, Dr.-Ing. Tobias Krichler, Prof. Dr. Helmut Mischo</i>	
<b>Pollutant load balancing in catchments impacted by mining– Integration of the Wismut remediation sites along the Zwickauer Mulde.....</b>	<b>203</b>
<i>Annia Greif, Mirko Martin, Christine Stevens</i>	
<b>Wismut’s remediation documentation – goals, challenges and implementation.....</b>	<b>207</b>
<i>Axel Hiller, Olaf Zeidler, Jörg Voland</i>	
<b>In situ online sensing by Watergenics to measure sulphate in river course influenced by mining from the Lausitz lignite mining district – benchmarking and first results .....</b>	<b>211</b>
<i>Henning Jasnowski-Peters, Dr. Sebastian Stolzenberg, Dr. Liviu Mantecscu</i>	
<b>Deepening of the process understanding for the development of the mine water quality at the Schlema-Alberoda site .....</b>	<b>215</b>
<i>Nils Hoth, Juliane Günther, Andrea Kassahun, Axel Hiller, Andrea Schramm</i>	
<b>Dismantling the uranium removal facility at Königstein – challenges with regard to new legislative requirements of nature conservation and habitat protection .....</b>	<b>219</b>
<i>Dr. Ulf Jenk, Thomas Albrecht, Nadine Kleditz, Thomas Vetter, Thomas Beyer</i>	
<b>Modification of the water treatment plant at the former Königstein uranium mining site – terminating uranium extraction and process optimization to ensure medium and long-term water management .....</b>	<b>223</b>
<i>Dr. Ulf Jenk, Nadine Kleditz, Thomas Beyer, René Pesth</i>	
<b>Impact of microbes on U reduction in mine water of former U mines – a remediation perspective.....</b>	<b>226</b>
<i>Evelyn Krawczyk-Bärsch, Antonio Newman-Portela, Andrea Kassahun, Mohamed L. Merroun, Johannes Raff</i>	
<b>Innovative approaches on the way to sustainable remediation mining .....</b>	<b>230</b>
<i>Frank Lange</i>	
<b>Water treatment in the course of the rehabilitation of the Thuringian tailings ponds – retrospective, risks and residual lifetimes.....</b>	<b>235</b>
<i>Dr. Jan Laubrich, Sabine Wiesener</i>	
<b>On the way to climate-neutral mining remediation Current state at Wismut GmbH .....</b>	<b>239</b>
<i>Lars Mammitzsch</i>	
<b>Sustainable water treatment technology – A case study on water treatment plant Helmsdorf.....</b>	<b>243</b>
<i>Lars Mammitzsch</i>	
<b>Re-thinking passive treatment options as sustainable solution for reducing surface water quality impacts from abandoned mines in Saxony .....</b>	<b>247</b>
<i>Mirko Martin, Eberhard Janneck, Christine Stevens, Jürgen Meyer, Axel Hiller</i>	
<b>Results of a representative survey about mine water in the Ruhr area, Saarland and Ibbenbüren .....</b>	<b>251</b>
<i>Elke Mugova, Christian Wolkersdorfer, Stefanie Walter</i>	
<b>The Role of the First Flush for Mining Remediation – Research on a Flooded Uranium Mine in Saxony and on an Analogue Model Mine .....</b>	<b>255</b>
<i>Elke Mugova, Christian Wolkersdorfer</i>	
<b>Future use of sites after the termination of brown coal mining in the Czech Republic .....</b>	<b>259</b>
<i>Robert Šimůnek, Václav Švec, Petr Kubiš</i>	

<b>Characterising environmental impacts of uranium mining legacy sites using the ratio of natural occurring Beryllium-7 and Lead-210 in pasture grass .....</b>	<b>263</b>
<i>Jens Regner, Kristina Brottko</i>	
<b>Remediation of the tailings pond Dänkritz 2 in perspective of nature and species protection .....</b>	<b>267</b>
<i>Marcel Roscher, Mirko Köhler, Matthias Bauroth, Claudia Preißler, Andreas Barth, Michael Hüttl, Dr. H. Sängler</i>	
<b>Determination of a hydrogeochemical background value for uranium in the area of the 4th aquifer of the former Königsstein uranium ore mine in Saxony .....</b>	<b>271</b>
<i>Sebastian Schramm, Traugott Scheytt, Melanie Melchisedech, Birgit Niebuhr, Markus Wilmsen, Mark Mücklisch, Thomas Voigt</i>	
<b>Sorption behavior of antimony on iron oxide compounds .....</b>	<b>275</b>
<i>Franz-Georg Simon, Sophie Frieling</i>	
<b>Prioritizing mining remediation – Identifying and scaling multiple point and diffuse water pollution sources in complex river systems as part of a holistic approach to river basin management .....</b>	<b>279</b>
<i>Christine Stevens, Mirko Martin, Eberhard Janneck, Annia Greif</i>	
<b>Use of aggregate from rock dumps after uranium ore mining in Příbram region for transport constructions .....</b>	<b>283</b>
<i>Ing. Václav Šustr</i>	
<b>Silvicultural-yield analysis of the afforestation on the Beerwalde slag heap – discussion of suitable and adapted inventory procedures .....</b>	<b>287</b>
<i>Joey Lee Taylor, Anka Nicke, Karina Kahlert, Mirko Köhler</i>	
<b>Königsstein mine: 25 years of supporting decontamination by GWZ .....</b>	<b>291</b>
<i>Uli Uhlig, Frank Börner, Felix Bilek, Ludwig Luckner</i>	
<b>Managing mining legacies: a new global standard .....</b>	<b>295</b>
<i>Corinne Unger, Tania Laurencont, Peter Goerke-Mallet</i>	
<b>Evaporation measurement as a contribution to balancing water management at dumps and landfills .....</b>	<b>299</b>
<i>Sebastian Westermann, Wilhelm Georg Coldewey, Julius Werner</i>	
<b>From the Manhattan Project to Las Colonias – Redevelopment of Grand Junction’s Atomic Legacy to Prized Community Asset .....</b>	<b>303</b>
<i>Sara Woods</i>	



## Grußwort

des Bundesministers für Wirtschaft und Klimaschutz  
Parlamentarischer Staatssekretär Michael Kellner



Sehr geehrte Damen und Herren,

ich begrüße Sie alle recht herzlich zum Bergbausymposium der Wismut GmbH 2023 in Dresden und freue mich über Ihre rege Teilnahme und Ihren Besuch in der sächsischen Landeshauptstadt.

Das Wismut-Symposium entwickelt sich zur Tradition. Nach 2007, 2011, 2015 und 2019 veranstaltet die Wismut GmbH das nunmehr fünfte Symposium als Gelegenheit zum internationalen Austausch auf dem Gebiet der Sanierung von bergbaulichen Hinterlassenschaften und bietet damit die Möglichkeit, Erfahrungen und Ergebnisse bei der Stilllegung und Sanierung ehemaliger Uranproduktions- und -aufbereitungsanlagen zu teilen.

Vor 32 Jahren, am 16. Mai 1991, wurde in Chemnitz das deutsch-sowjetische Abkommen zur Beendigung der Tätigkeit der SDAG Wismut unterzeichnet. Damit war das Ende des Uranerzbergbaus in Sachsen und Thüringen endgültig besiegelt. Noch im selben Jahr wurde das Bundesunternehmen Wismut GmbH gegründet und damit der Grundstein für eine über drei Jahrzehnte währende erfolgreiche Wismut-Sanierung gelegt.

Die maßgebliche Reduzierung der Umweltbelastungen aus der Zeit des Uranerzbergbaus, der Rückbau alter Schachtanlagen, deren sichere Verwahrung, die Renaturierung von Landschaften haben die Lebensbedingungen für die Menschen in den betroffenen Regionen Sachsens und Thüringens maßgeblich verbessert und waren Bedingung für eine positive wirtschaftliche Entwicklung nach 1991.

Neugestaltung und Transformation der Landschaften in den ehemaligen Uranbergbauregionen sind Beleg für die Fortschritte und Ergebnisse der Stilllegungs- und Sanierungsarbeiten in den vergangenen 32 Jahren. Die neue Landschaft in Ronneburg oder der in neuer Blüte auferstandene Kurort Bad Schlema (heute Aue-Bad-Schlema) veranschaulichen dies eindrücklich.

Mit dem Bergbausymposium 2023 wollen wir und insbesondere die Beschäftigten der Wismut GmbH Ihnen unsere Erfahrungen und Fortschritte bei der Sanierung der Hinterlassenschaften des Uranbergbaus präsentieren. Gleichzeitig möchten wir Ihre Erfahrungen kennen lernen und unser Wissen gern teilen, so wie wir in den ersten Jahren der Sanierung von anderen lernen durften. Dafür waren und sind wir sehr dankbar. Es erfüllt die Beschäftigten der Wismut GmbH mit Stolz, dass ihr erworbenes und weiterentwickeltes Sanierungs-Know-how heute international als beispielhaft angesehen wird.

Sehr geehrte Damen und Herren, die Wismut-Sanierung ist bis heute sehr weit fortgeschritten, an manchen Stellen auch schon beendet. Langzeitaufgaben wie Wasserbehandlung, Pflege und Monitoring bleiben und werden uns auch nach dem voraussichtlichen Ende der Sanierungsarbeiten 2028 weiter beschäftigen.

Für dieses in der Geschichte der Bundesrepublik Deutschland einmalige und bedeutende Umweltprojekt hat der Bund seit 1991 über 7 Mrd. Euro bereitgestellt. Dieser große finanzielle Beitrag hat sich gelohnt. Sanierte Flächen werden für Industrieansiedlungen, für die Land- und Forstwirtschaft, für die Freizeitgestaltung genutzt oder dienen als natürlicher Lebensraum für Flora und Fauna. Zugleich gilt es, das erworbene Wissen für die Fortschreibung der Rohstoffstrategie des Standorts Deutschland zu nutzen.

Ich möchte allen am Sanierungsprozess Beteiligten danken, wünsche dem Symposium einen erfolgreichen Verlauf und allen Gästen einen angenehmen Aufenthalt.

Mit freundlichen Grüßen und einem herzlichen Glück auf!

Michael Kellner

## Opening address

from the Federal Minister for Economic  
Affairs and Climate Action,  
given by Parliamentary State Secretary  
Michael Kellner



Ladies and Gentlemen,

I would like to warmly welcome you all to the Mining Symposium 2023 of Wismut GmbH in Dresden. I look forward to your active participation and hope you enjoy your visit to the capital of Saxony.

The Wismut Symposium is becoming a tradition. After 2007, 2011, 2015 and 2019, Wismut GmbH is now organizing the fifth symposium as an opportunity for international dialogue in the field of remediation of mining legacy sites and thus offers the opportunity to share experiences and results in the decommissioning and rehabilitation of former uranium production and processing facilities.

32 years ago, on 16 May 1991, the German-Soviet agreement to end the activities of SDAG Wismut was signed in Chemnitz. This finally marked the end of uranium ore mining in Saxony and Thuringia. In the same year, the federal company Wismut GmbH was established, laying the foundation for the successful implementation of the Wismut remediation project over the past three decades.

The significant reduction of environmental pollution dating from the era of uranium ore mining, the dismantling of old mines, their safe closure, and the renaturation of landscapes have significantly improved the living conditions for the people in the affected regions of Saxony and Thuringia and were a prerequisite for positive economic development after 1991.

The redesign and transformation of landscapes in the former uranium mining regions are evidence of the progress and results of decommissioning and rehabilitation work over the past 32 years. Projects like the New Landscape in Ronneburg and the spa town of Bad Schlema (today Aue-Bad-Schlema), which have been revived to flourish afresh, illustrate this impressively.

At this Mining Symposium 2023, we and especially the employees of Wismut GmbH want to present to you our experiences and progress in rehabilitating the legacy of uranium mining. At the same time, we would like to hear about your experiences and share our knowledge, just as we were able to learn from others in the first few years of the remediation project. We were and still are very grateful for that. The employees of Wismut GmbH are proud that the expertise in mine remediation that they have acquired and developed is now viewed internationally as benchmark-setting.

Ladies and gentlemen, the Wismut remediation project is very far advanced, and some parts have actually been completed. Long-term tasks such as water treatment, aftercare and monitoring still remain and will continue to occupy us even beyond 2028, when the physical remediation work is expected to end.

Since 1991, the Federal Government has provided over €7 billion for this important environmental project – a project that is unparalleled in the history of the Federal Republic of Germany. This large financial contribution has been worth it. Reclaimed areas are used for industrial development, agriculture and forestry, or leisure activities, or now serve as natural habitats for flora and fauna. At the same time, it is imperative to use the acquired knowledge to implement and further develop the Raw Materials Strategy in the interest of Germany economic development.

I would like to thank everyone involved in the remediation process, and I wish the symposium success and all our guests a pleasant stay.

With kind regards and a cordial 'Glück auf',

Michael Kellner

## Vorwort

von Dr. Michael Paul  
Geschäftsführer Wismut GmbH



Dekarbonisierung, Ausbau der Erneuerbaren, Digitalisierung – viele der aktuellen globalen Mega-Trends gehen mit einem rasant wachsenden Bedarf an mineralischen Rohstoffen einher. Nie zuvor hat die Welt ein derart beispielloses Ausmaß der Rohstoffgewinnung gesehen. Zugleich verschärfen sich die damit einhergehenden Konflikte um begrenzte Ressourcen und potentielle Umweltbelastungen: wachsender Energiebedarf und Beeinträchtigung von Wasserressourcen, Landschaftszerstörung, Gefährdung der Biodiversität und der Lebensgrundlagen der ansässigen Bevölkerung. All dies führt zu einer schwindenden gesellschaftlichen Akzeptanz von Bergbauaktivitäten. Hinzu treten tiefgreifende geopolitische Veränderungen geprägt von aufkommendem Ressourcennationalismus mit akuten Auswirkungen auf die globalen Lieferketten, insbesondere bei kritischen Rohstoffen.

Mit der Agenda 2030 haben die Vereinten Nationen 17 Nachhaltigkeitsziele formuliert, denen sich auch der Rohstoffsektor stellen muss. Im Kontext der ESG-Kriterien werden Bergbauunternehmen nicht mehr ausschließlich nach ihrer wirtschaftlichen Leistung und ihrer Rentabilität bewertet, sondern zunehmend auch nach ökologischen Parametern wie CO<sub>2</sub>-Fußabdruck, Wasser- und Energieeffizienz sowie sozialen Aspekten. Sekundärbergbau, Recycling und Rückstandsminimierung sind neben der Stärkung der einheimischen Rohstoffwirtschaft auch zentrale Bestandteile der Rohstoffstrategien der Bundesregierung sowie des Freistaates Sachsen. Mit dem Critical Raw Materials Act der EU-Kommission soll eine nachhaltige und sichere Versorgung mit kritischen Rohstoffen sichergestellt werden.

In diesem Spannungsfeld stellt sich die nunmehr 5. Internationale Bergbautagung WISSYM\_2023 der Frage, welche Bedeutung diese Trends für die Phase der Stilllegung und Sanierung von Bergbaustandorten haben. Sanierungsbergbau neu zu denken erfordert systemisches Lebenszyklusmanagement und ganzheitliche Ansätze zur Überwindung von Zielkonflikten. Darüber hinaus geht es bei Innovation immer auch darum, Lösungen außerhalb des gewohnten Rahmens zu finden, Dinge wirklich neu und disruptiv zu machen. Thinking out of the Box.

Unter der Schirmherrschaft des Bundesministers für Wirtschaft und Klimaschutz, Robert Habeck, diskutieren vom 26. – 28. September Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Behörden drei Tage lang auf der WISSYM\_2023 in Dresden über die aktuellen Herausforderungen in der Bergbausaniierung und einer nachhaltigen Rohstoffgewinnung. Kooperationspartner und Mitveranstalter des Wismut-Symposiums sind wiederum die Internationale Atomenergiebehörde (IAEA) sowie erstmalig der Verband für Bergbau, Geologie und Umwelt (VBGU) e.V.

Mein großer Dank gilt allen Autorinnen und Autoren der über 70 Fachbeiträge für Ihre Mühe bei der Erarbeitung und Übermittlung Ihrer Textbeiträge, die dieser Tagungsband vereint.

Die technische Fertigstellung des digitalen Tagungsbandes lag in den Händen von Dr. Mandy Schipek (technische Koordination) und Ines Sieg (Satz und Layout).

Ich wünsche allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern der WISSYM\_2023 eine bereichernde und inspirierende Tagung in Dresden, wertvolle Gespräche und einen konstruktiven Erfahrungsaustausch.

Mit freundlichem Glückauf

Dr. Michael Paul

## Preface

by Dr. Michael Paul,  
Managing Director, Wismut GmbH



Decarbonisation, expansion of renewables, digitalisation – many of the current global mega-trends are accompanied by a rapidly growing demand for mineral resources. Never in history has the world seen such an unprecedented scale of raw material extraction. At the same time, the associated conflicts over limited resources and potential environmental burdens are intensifying: growing energy demand and degradation of water resources, landscape destruction, threats to biodiversity and the livelihoods of local populations. All this leads to a dwindling social acceptance of mining activities. In addition, there are profound geopolitical changes characterised by increasing resource nationalism with acute impacts on global supply chains, especially for critical raw materials.

With its Agenda 2030, the United Nations has formulated 17 sustainability goals, which the extractive sector must also address. In the context of ESG criteria, mining companies are no longer evaluated solely on the basis of their economic performance and profitability, but increasingly also based on ecological indicators such as carbon footprint, water and energy efficiency as well as social aspects. Secondary mining, recycling and residue minimisation are also central aspects of the raw materials strategies of the Federal Government as well as the Free State of Saxony, in addition to strengthening the domestic raw materials industry. The EU Commission's Critical Raw Materials Act aims to ensure a sustainable and secure supply of critical raw materials.

In this area of tension, the 5th International Mining Conference WISSYM\_2023 will address the question of what significance these trends have for the phase of decommissioning and remediation of mine sites. Rethinking mine remediation requires systemic life cycle management and holistic approaches to overcome conflicting goals. Moreover, innovation is always about finding solutions outside the box, doing things in a truly new and disruptive way.

Under the patronage of the Federal Minister for Economic Affairs and Climate Protection, Robert Habeck, experts from industry, science, politics and authorities will discuss the current challenges in mine remediation and sustainable raw material extraction for three days at WISSYM\_2023 in Dresden from 26-28 September. Cooperation partners and co-organisers of the Wismut Symposium are again the International Atomic Energy Agency (IAEA) and, for the first time, the Association for Mining, Geology and the Environment (VBGU).

I would like to express my sincere thanks to all authors of the more than 70 technical papers for their efforts in preparing and submitting their text contributions, which this conference volume brings together.

The technical completion of the digital proceedings was in the hands of Dr Mandy Schipek (technical coordination) and Ines Sieg (typesetting and layout).

I wish all participants of WISSYM\_2023 an enriching and inspiring conference in Dresden, valuable discussions and a constructive exchange of experiences.

With best wishes and Glückauf

Dr. Michael Paul

**GESELLSCHAFTLICHE AKZEPTANZ**  
**SOCIAL ACCEPTANCE**



## Ein Spektrum der Ergebnisse von Bergwerksstilllegungen im Umgang mit schleichenden Umwelt- und Sozialrisiken während der Lebensdauer eines Bergwerks und darüber hinaus

Corinne Unger<sup>1</sup>, Jo-Anne Everingham<sup>2</sup>, Jörgen Sandberg<sup>3</sup>

Als sich die erstgenannte Autorin mit den Grenzen der Ansätze von Risikobewertungen für Bergbaubetriebe befasste, erkannte sie, dass diese auf die Abschwächung plötzlicher unerwünschter Ereignisse wie Unfälle und Krisen ausgerichtet waren. Mit Hilfe von Folgen- und Wahrscheinlichkeitsmatrizen wurden die mit der Bewertung der Risiken befassten Personen dazu angehalten, plötzlich auftretende, bekannte und oft messbare Risiken zu antizipieren und Kontrollen zu planen. Solche Risikobewertungen berücksichtigen daher nicht die Akkumulation von Umwelt- und Sozialrisiken über viele Jahre hinweg. Wenn man sich beim Risikomanagement auf die Vermeidung eines plötzlichen unerwünschten Ereignisses konzentriert, kann man den weniger offensichtlichen und allmählichen Prozess übersehen, in dem sich ein Risiko zu einem Schaden entwickelt. Bergbauprozesse führen jedoch zu großen Herausforderungen bei der Sanierung und der sozialen Betreiberverantwortung, die sich oft erst nach dem Ende des Bergbaus stellen. Beispiele hierfür sind die sozio-ökologischen Risiken einer Verunreinigung des Bodens, einer Verringerung der Artenvielfalt, einer geochemischen Kontamination, einer bergbaulich verursachten Gewässerbelastung, von Konflikten zwischen Gemeinden und Landnutzern, einer Beeinträchtigung der Lebensgrundlagen und regionaler Wirtschaftsabschwünge. Wir bezeichnen diese sich langsam entwickelnden und weniger offensichtlichen Risiken als schleichende Risiken, die während der gesamten Lebensdauer eines Bergwerks gemanagt werden müssen, um einen effektiven Übergang zu einer nachhaltigen und zukunftsorientierten Nachnutzung zu ermöglichen.

Diese allmählichen Prozesse, bei denen sich das Risiko zu einem Schaden entwickelt, werden in der Literatur jedoch vernachlässigt. Nur wenige Wissenschaftler sind über das plötzliche, offensichtliche Risiko einer unerwünschten Krise hinausgegangen und haben den allmählichen und weniger offensichtlichen Prozess des Eintritts von Risiken untersucht. Die Wissenschaftler argumentieren, dass sie eine andere Art von Risiko aufzeigen, das latent (Ramanujam & Goodman, 2003), schleichend und expandierend (Turner, 1978, Beamish, 2002), sich langsam entwickelnd (Nursimulu, 2015) oder neuartig (Hardy & Maguire, 2020) ist. Unsere Analysen stellen die Vorstellung in Frage, dass es sich hierbei um getrennte Risikophänomene handelt, sondern vielmehr um verwandte Merkmale des schleichenden Risikos. Darüber hinaus haben wir eine Vielzahl von Möglichkeiten untersucht, wie das heimtückische Risiko gehandhabt wird, um den komplexen und weniger sichtbaren sozialen Prozess aufzuzeigen, der zu bestimmten Resultaten führt. Um das heimtückische Risiko zu verstehen, haben wir zwei Projekte durchgeführt, in denen drei Fälle untersucht wurden. Im ersten Fall analysierten wir dokumentierte Berichte über mehrere Beispiele für den unterschiedlichen Umgang mit schleichenden Risiken: i) solche, die in Katastrophen mündeten, mit Untersuchungsberichten, die wir analysieren konnten, sowie ii) solche, die eine Katastrophe erfolgreich vermieden oder als "führende Praxis" einen zweiten Fall darstellen. Wir haben die Art und Weise ermittelt, wie die gemeinsamen Aktivitäten in jedem Fall durchgeführt wurden, um zu zeigen, wie die unterschiedlichen Ergebnisse zustande kamen. In einer zweiten Studie untersuchte die Erstautorin das Umweltmanagement und die Sanierung in einem Tagebau, befragte die Beteiligten und analysierte Dokumente über mehrere Jahrzehnte hinweg, um den Umgang mit schleichenden Risiken zu analysieren.

---

<sup>1</sup> Postdoctoral Research Fellow, The University of Queensland Business School

<sup>2</sup> Honorary Senior Research Fellow, Centre for Social Responsibility in Mining, The University of Queensland

<sup>3</sup> Professor of Management, The Business Schools of The Universities of Queensland, Australia & Warwick, UK

Wir stellen fest, dass es ein breites Spektrum an Möglichkeiten gibt, die schleichenden sozio-ökologischen Risiken des Bergbaus zu bewältigen, was eine Reihe von unterschiedlichen Vorgehensweisen bei der Durchführung von Schlüsselaktivitäten mit divergierenden Ergebnissen erklärt. Die Methoden des Managements reichen von i) führenden Praktiken, die vorteilhafte und nachhaltige Nachnutzungen schaffen, die wir als "aufmerksam" bezeichnen, bis zu ii) schlechtesten Praktiken, die eine wachsende Haftung und sozio-ökologische Schäden verursachen, die anhaltende negative Hinterlassenschaften des Bergbaus hervorrufen, und dazwischen iii) eine gesetzestreue Praxis des schleichenden Risikomanagements (IRM), die lediglich die behördlichen Anforderungen erfüllt, aber nicht mehr. Der IRM-Prozess während des Bergbaus und während großer, langfristiger Sanierungsprojekte liefert schrittweise Ergebnisse für die Zeit der Sanierung. Während die rigorose und verantwortungsvolle Durchführung eines aufmerksamen IRM höchstwahrscheinlich zu einer nachhaltigen Entwicklung nach dem Bergbau führt, sind kurzfristige und eng fokussierte IRM-Aktivitäten auf dem Weg in eine nicht nachhaltige Katastrophe, wie z. B. große nicht finanzierte Verbindlichkeiten am Ende der Lebensdauer des Bergwerks, anhaltende Auswirkungen, die auf Dauer verwaltet werden müssen, und verlassene vom Bergbau abhängige Gemeinden. Der reglementierte Ansatz des gesetzestreuem Umgangs mit heimtückischen Risiken unterstreicht die Bedeutung von Regulierungsstandards und deren Durchsetzung zum Schutz vor sozio-ökologischen Risiken des Bergbaus, da niedrige Standards die Akkumulation und Verschlimmerung heimtückischer Risiken ermöglichen. Die gesetzestreue IRM-Praxis widersetzt sich regulatorischen Reformen, die höhere Standards für die Schließung von Bergwerken vorschreiben, mit dem Argument, dass die Regierungen "die Torpfosten verschieben". Folglich zeigt die Studie, wie wichtig hohe interne Organisationsstandards sind, anstatt sich auf staatlich auferlegte Vorschriften zu verlassen. Unsere Forschung ging über das entweder-oder von erfolgreichem oder fehlgeschlagenem Risikomanagement (Corvellec, 2009) hinaus, um das gesamte Spektrum der Möglichkeiten aufzuzeigen, wie Risiken gemanagt werden können, was zu unterschiedlichen Ergebnissen führen kann.

Diese Studie zeigt die unsichtbaren sozialen Prozesse des (falschen) Risikomanagements auf, die es ermöglichen, dass Schließungs- und Sanierungsrisiken entstehen und im Laufe der Zeit allmählich wachsen; oder alternativ dazu, dass Risiken und ihre potenziellen Schäden erkannt werden und frühzeitig reagiert wird, um sie einzudämmen. Anstelle von Risikobewertungsmatrizen empfehlen die AutorInnen Audits und eine Überprüfung der Art und Weise, wie Schlüsselaktivitäten durchgeführt werden, um Ergebnisse im Voraus zu antizipieren, anstatt bis zum Abschluss zu warten. Die kurzfristige und oberflächliche Art und Weise, die typisch für ein engstirniges IRM ist, ist eine Krise im Entstehen. Eine aufmerksame IRM-Praxis hingegen wird die Aktivitäten gewissenhaft und sorgfältig durchführen. Die AutorInnen plädieren für eine interdisziplinäre und weitsichtige Betrachtung dessen, was Bergbauleute tun und ob sie versuchen, das unauffällige, schleichende Risiko zu erkennen und einzudämmen und über die Organisationsgrenzen und die Teilnehmer an der IRM-Praxis hinauszublicken und den regulatorischen Anforderungen voraus zu sein.

Dieses Verständnis dafür, wie sich Risiken über Jahrzehnte hinweg unter kollektivem Management und durch Routineabläufe entwickeln, wirft neue Fragen für Risikomanager auf. Nicht mehr eine toxische Kultur, ein unvorsichtiger Mitarbeiter, eine fehlerhafte Ausrüstung, ein Kipppunkt oder ein "außergewöhnliches" Ereignis sind das Problem. Vielmehr sollten die Organisationen untersuchen, wie Risiken entstehen, wer innerhalb und außerhalb der Organisation darüber entscheidet, was ein Risiko ist oder nicht, und Risiken identifiziert, welche Risiken in welchen Zeiträumen vom Management priorisiert werden und was dazu beitragen kann, dass bestimmte schleichende Risiken übersehen werden. Über die Einhaltung von Vorschriften hinauszugehen und ständig auf kleine Anomalien zu achten, wird wahrscheinlich mit der Anerkennung einer sozialen Betreiberverantwortung für die bergbauliche Produktion an neuen Standorten belohnt. Eine Ausweitung des Bergbaus wird erwartet, um den Bedarf an wichtigen Rohstoffen im Rahmen der grünen Energiewende zu decken.

## A spectrum of mine closure outcomes from managing enviro-social insidious risks over the life of a mine and beyond

Corinne Unger<sup>1</sup>, Jo-Anne Everingham<sup>2</sup>, Jörgen Sandberg<sup>3</sup>

When the lead author wrestled with the limitations of risk assessment frameworks for mining operations, she realised that they were all directed toward mitigating sudden unwanted events, such as accidents and crises. Providing consequence and likelihood matrices, these frameworks directed risk assessors to anticipating, and planning controls for, suddenly materialising, familiar, often measurable risks. Thus, such risk frameworks do not address the accumulation of enviro-social risk over many years. Focussing risk management efforts on avoiding a sudden unwanted event can overlook the less obvious and gradual process during which risk materialises to harm. Yet mining processes generate large remediation and social license challenges, often not realised until the end of mining. Examples include the socio-environmental risks of land disturbance, reduced biodiversity, geochemical contamination, mine affected water, community and land use conflicts, impeded livelihoods and regional economic downturn. We name these slow developing and less obvious risks, insidious risks, that must be managed over the full life of a mine to effectively transition to sustainable and beneficial post-mining uses.

However, this gradual process of risk materialising to harm is neglected in the literature. Only a few scholars have moved beyond the sudden obvious risk of an unwanted crisis to study the gradual and less obvious process of risk. Each argues that they reveal a different type of risk that is latent (Ramanujam & Goodman, 2003), incubating (Turner, 1978), creeping and expanding (Beamish, 2002), slow-developing (Nursimulu, 2015) or novel (Hardy & Maguire, 2020). Our study challenges the notion that these are separate risk phenomena but are instead related features of insidious risk. Further, we examined a variety of ways insidious risk is managed to reveal the complex and less visible social process that culminates in particular outcomes. In order to understand insidious risk we undertook two studies exploring three cases. In the first, we analysed documented accounts of multiple examples of managing insidious risks in contrasting ways; i) those culminating in catastrophes with inquiry reports we could analyse, as well as ii) those successfully avoiding catastrophe or 'leading practice' as a second case. We identified the way common activities were carried out in each case, to show how the different outcomes resulted. Then in a second study, the lead author observed mining environmental management and remediation at an open cut mine, interviewed participants and analysed documents over several prior decades, to observe management of insidious risks.

We note a spectrum of ways of managing insidious socio-environmental risks of mining explaining a range of different ways of executing key activities with divergent outcomes. The ways of managing spanned i) leading practice that creates beneficial and sustainable post mining uses that we name 'attentive', to ii) worst practice that creates growing liability and socio-environmental harms leaving persistent negative mining legacies, and in between iii) a law-abiding insidious risk management (IRM) practice that merely complied with regulatory requirements, and nothing more. The IRM process during mining and during large, long-term, remediation projects, incrementally delivers post-remediation outcomes. While the rigorous and responsible conduct of attentive IRM is most likely to deliver sustainable development post-mining, blinkered IRM's short term and narrowly focussed activities are on a trajectory to an unsustainable catastrophe such as large unfunded liabilities at the end of mine life, persistent impacts to be managed in perpetuity, and abandoned mining-dependent communities. The regimented approach of the law-abiding way of managing insidious risks highlights the importance of regulatory

---

<sup>1</sup> Postdoctoral Research Fellow, The University of Queensland Business School

<sup>2</sup> Honorary Senior Research Fellow, Centre for Social Responsibility in Mining, The University of Queensland

<sup>3</sup> Professor of Management, The Business Schools of The Universities of Queensland, Australia and Warwick, UK

standards and enforcement to protect against socio-environmental risks of mining, as low standards will allow insidious risks to accumulate and worsen. The law-abiding IRM practice resists regulatory reforms that require higher closure remediation standards, arguing that governments are 'shifting the goal posts'. Consequently, the study shows the importance of high internal organisational standards rather than reliance upon government-imposed regulations. Our research advanced beyond the either/or of successful or failed risk management (Corvellec, 2009) to show the full spectrum of ways risk can be managed yielding different outcomes.

This study reveals the invisible social processes of (mis-)managing risk that allow closure and remediation risks to emerge and grow gradually over time; or alternatively, recognition of risks and their potential harms, responding early to contain them. Instead of risk assessment matrices we recommend auditing and review of how key activities are carried out to anticipate outcomes in advance, rather than wait until closure. The myopic and cursory way typical of blinkered IRM is a crisis-in-the-making. In contrast, attentive IRM practice will perform activities in a conscientious and meticulous way. We urge an inter-disciplinary and longitudinal perspective of what mining practitioners are doing and whether they seek to detect and contain the inconspicuous insidious risk and look beyond organisational boundaries and participants in the IRM practice and stay ahead of regulatory requirements.

This understanding of how risks develop over decades under collective management and through routine operations prompts new questions for risk managers. No longer is a toxic culture, careless worker, faulty equipment, tipping point or 'freakish' event the problem. Rather organisations should examine how risk emerges, who, within and beyond the organisation, decides what is a risk or not, and identifies risks, which risks and over what time frames are prioritised by management and what may be contributing to overlooking certain insidious risks. Going beyond compliance and being constantly alert to small anomalies is likely to be rewarded with social license to mine in new locations as expanded mining is heralded to meet the demands for critical raw materials in the green energy transition.

## References

- Beamish, T. D. (2002). *Silent spill: the organization of an industrial crisis*. MIT Press.
- Corvellec, H. (2009). The practice of risk management: Silence is not absence. *Risk Management*, 11(3-4), 285. <https://doi.org/10.1057/rm.2009.12>
- Hardy, C., & Maguire, S. (2020). Organizations, Risk Translations and the Ecology of Risks: The Discursive Construction of a Novel Risk. *Academy of Management Journal*, in-press.
- Nursimulu, A. (2015). Governance of slow-developing catastrophic risks: Fostering complex adaptive system and resilience thinking. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2830581](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2830581)
- Ramanujam, R., & Goodman, P. S. (2003). Latent errors and adverse organizational consequences: a conceptualization. *Journal of Organizational Behavior*, 24(7), 815-836. <https://doi.org/10.1002/job.218>
- Turner, B. A. (1978). *Man-made disasters*. Wykeham Publications Ltd.

## **Gesellschaftliche Akzeptanz bei Bergbau- und Sanierungsprojekten – die Rolle der Verbände/des VBGU**

Olaf Alisch<sup>1</sup>

### **Kurzvorstellung Verband Bergbau, Geologie und Umwelt e.V.**

Der Verband Bergbau, Geologie und Umwelt e.V. (VBGU) wurde 1990 in Berlin gegründet und ist seit 1993 satzungsgemäß als Arbeitgeberverband umstrukturiert. Er ist deutschlandweit derzeit für 55 Mitgliedsunternehmen tätig und gut vernetzt. Seine Hauptaktivitäten entfaltet der Verband bei der Unterstützung von Rohstoffprojekten im Untertagebergbau, bei der Sicherung der Rohstoffgewinnung sowie im Alt- und im Endlagerbergbau. Er hat seinen Sitz in der Bundeshauptstadt Berlin, ist im Lobbyregister des Bundestages registriert und vertritt die Interessen seiner Mitglieder gegenüber der Politik, den Ministerien und Behörden sowie der Öffentlichkeit (Abb. 1). Neben Kooperationsbeziehungen zu anderen Verbänden (u.a. auch ausländischen Verbänden) und Organisationen ist der VBGU Startpartner und Mitglied des Vereins RohstoffWissen! Initiative der Förderung der Rohstoffkultur e.V. (kurz RohstoffWissen!) und in dessen Vorstand vertreten.

### **Gesellschaftliche Akzeptanz**

Das Grundproblem bei der Durchführung von Industrie- oder Bergbauprojekten in Deutschland liegt u.a. in der Akzeptanz dieser Projekte durch die Gesellschaft. Neben Fragen der Dauer und Durchführbarkeit der notwendigen Genehmigungsverfahren für solche Projekte, ist die Transparenz an vorderster Stelle. Und mittlerweile ist das nicht nur ein Problem für Deutschland. Die Unternehmen können diese notwendige Öffentlichkeitsarbeit nur bedingt allein leisten. Deshalb kommt den Verbänden als Lobbyvereinigungen ihrer Mitglieder hierbei eine besondere Funktion in der Vermittlung der Notwendigkeit beispielsweise von Bergbau- und Sanierungsprojekten, gegenüber der Öffentlichkeit zu.

Der VBGU geht dabei, aufgrund der stärker werdenden Skepsis und aufkommender Befangenheitsvorwürfe gegenüber Lobbyisten und Verbänden, zusammen mit anderen Verbänden neue Wege. In diesem Vortrag wird versucht, die Rolle der Verbandsarbeit des VBGU und mögliche Konfliktlösungen anhand von Beispielen aufzuzeigen.

### **Mögliche Lösungsansätze**

Die gleichgelagerten Probleme der Akzeptanz von Vorhaben im Rohstoffbereich im weitesten Sinne führten dazu, dass auf Initiative des Berufsverbandes Deutscher Geowissenschaftler (BDG) und befreundeter Verbände und Unternehmen, sogenannte Startpartner 2018 den Verein RohstoffWissen! in Berlin gründeten, um u.a. ein Gremium zu schaffen, das sachorientierte und auf Fakten basierte Informationen und Zusammenhänge den Politikern und der breiten Öffentlichkeit gegenüber u.a. in Dialogveranstaltungen allgemeinverständlich zu verdeutlichen. Der Vorstand von RohstoffWissen! setzt sich a Verband Bergbau, Geologie und Umwelt e.V. wissenschaftsbasierte Informationsbereitstellung soll weiterhin (Wissenschafts-)Journalisten die Möglichkeit geben, eine breitere Öffentlichkeit über Bergbau- und Sanierungsprojekte zu informieren und in die Diskussionen einzubeziehen, als sie durch die Vorhabensträger selbst oder einzelner Verbände erreicht werden kann. Das dient insbesondere der Transparenz solcher Vorhaben und um eine mehr auf Fakten basierte Diskussion zu führen.

Ziel ist nicht die zeitliche Verlängerung von Genehmigungsverfahren, sondern eher eine Verkürzung dieser durch die frühzeitige Breitstellung der Fakten der Vorhaben für eine Diskussion.

---

<sup>1</sup> Verband Bergbau, Geologie und Umwelt e.V.

## Recherchereisen und Bürgerdialoge

Zwei für die Information der Öffentlichkeit identifizierte Instrumente, sind hier die Durchführung von Recherchereisen von Wissenschaftsjournalisten und Bürgerdialoge zu bestimmten Themen.

In den vergangenen zwei Jahren wurden vom Verein RohstoffWissen! zwei Reisen für Wissenschaftsjournalisten zu aktuellen, den Bergbau betreffenden Vorhaben sowie der Präsentation des erreichten Standes veranstaltet. Die erste Reise davon wurde maßgeblich durch den VBGU und einzelner Mitgliedsunternehmen vorbereitet und durchgeführt.

Die Grundvoraussetzung zur Schaffung von mehr Akzeptanz für die Erschließung heimischer Rohstoffe und des Bergbaus und auch des anschließenden Rekultivierungsprozesses (Stichwort „Nachbergbau“), aber auch für notwendige Rohstoff-Importstrategien, stellt die Befähigung der Öffentlichkeit zu einer wohlbegründeten Meinungsbildung dar. Diese soll durch eine umfangreiche, sachliche, bürger-nahe und anschauliche Aufklärung komplexer Sachverhalte wissenschaftlich fundiert, transparent und gut verständlich, mit Vor- und Nachteilen dargestellt werden. Der Verein RohstoffWissen! hat sich hier als ein Ziel die Initiative eines "Bürgerdialogs Rohstoffe", der aus verschiedenen Arbeitspaketen besteht, vorgenommen.



Abb. 1 Blick auf das Rote Rathaus und das Nikolaiviertel in Berlin, wo sich die VBGU-Geschäftsstelle befindet. © O. Alisch  
Fig. 1 View to the Town Hall of Berlin and the Nikolai-Quarter with the Office of VBGU.

## Literatur

Alisch, O. (2016): Ein (Bergbau-) Hunt für Berlin.- In: Zeitschr. bergbau, 67.Jg., S. 559-564

## Social acceptance of mining and rehabilitation projects – the role of the associations / the VBGU

Olaf Alisch<sup>1</sup>

### **Brief presentation of the Association of Mining, Geology and Environment e.V.**

The Association of Mining, Geology and Environment (VBGU) was founded in Berlin in 1990 and has been restructured as an employers' association since 1993 in accordance with its statutes. It currently works for 55 member companies throughout Germany and is well networked. The association's main activities are in supporting raw material projects in underground mining, securing raw material extraction as well as old and repository mining. It is based in the federal capital Berlin, is registered in the lobby register of the Bundestag and represents the interests of its members vis-à-vis politicians, ministries and authorities as well as the public (Fig. 1). In addition to cooperative relationships with other associations (including foreign associations) and organizations, the VBGU is a starting partner and member of the association RohstoffWissen! Initiative der Förderung der Rohstoffkultur e.V. (short RohstoffWissen!) and on its board.

### **Social acceptance**

The basic problem in the implementation of industrial or mining projects in Germany lies, among other things, in the acceptance of these projects by society. In addition to questions of the duration and feasibility of the necessary approval procedures for such projects, transparency is paramount. And now this is not only a problem for Germany. Companies can only carry out this necessary public relations work on their own to a limited extent. For this reason, the associations, as lobby associations of their members, have a special function in communicating the necessity of, for example, mining and rehabilitation projects to the public.

The VBGU is breaking new ground together with other associations due to the growing scepticism and emerging accusations of bias against lobbyists and associations. This lecture attempts to show the role of the VBGU's association work and possible conflict solutions using examples.

### **Possible Solutions**

The similar problems of acceptance of projects in the raw materials sector in the broadest sense led to the fact that on the initiative of the Professional Association of German Geoscientists (BDG) and friendly associations and companies, so-called start-up partners 2018, the association RohstoffWissen! in Berlin, in order to create, among other things, to create a committee that clarifies factual and fact-based information and contexts to politicians and the general public in a generally understandable way, e.g. in dialogue events. The board of RohstoffWissen! consists of representatives of associations, universities and industry.

Sound science-based information provision should continue to give (science) journalists the opportunity to inform a broader public about mining and remediation projects and to include them in the discussions than can be achieved by the project promoters themselves or individual associations. This serves in particular the transparency of such projects and to lead a more fact-based discussion.

The aim is not to extend approval procedures, but rather to shorten them by making the facts of the projects available for discussion at an early stage.

---

<sup>1</sup> Verband Bergbau, Geologie und Umwelt e.V.

## Research trips and citizens' dialogues

Two instruments identified for informing the public are the conduct of research missions by science journalists and citizens' dialogues on specific topics.

In the past two years, the association RohstoffWissen! organised two trips for science journalists on current projects relating to mining and the presentation of the status achieved. The first trip was largely prepared and carried out by the VBGU and individual member companies.

The basic prerequisite for creating more acceptance for the development of domestic raw materials and mining and also for the subsequent recultivation process (keyword "post-mining"), but also for necessary raw material import strategies, is the ability of the public to form a well-founded opinion. This should be presented by a comprehensive, factual, citizen-oriented and vivid clarification of complex facts scientifically sound, transparent and easily understandable, with advantages and disadvantages. The association RohstoffWissen! has set itself the initiative of a "citizens' dialogue on raw materials", which consists of various work packages.



Abb. 1 Aufstellung eines Hutes aus dem Bergbau auf dem U-Bahnhof Klosterstrasse in Berlin © Bedeschinski/VBGU

Fig. 1 Installation of a Hunt from the mining industry at the underground station Klosterstrasse in Berlin

## Reference

Alisch, O. (2016): Ein (Bergbau-) Hunt für Berlin.- In: Zeitschr. bergbau, 67.Jg., S. 559-564

## Die Wismut Stiftung gGmbH – Aufgaben, Stand und Perspektiven zur Pflege des Wismut-Erbes

Dr. Julia Dünkel<sup>1</sup>, Nico Loße<sup>1</sup>

Als Uranproduzenten waren die 1947 gebildete Staatliche Aktiengesellschaft der Buntmetallindustrie „Wismut“ und ihre Nachfolgesellschaft, die bis 1991 bestehende Sowjetisch-Deutsche Aktiengesellschaft (SDAG) Wismut, wesentlich für das nukleare Gleichgewicht des Schreckens in der Zeit des Kalten Krieges. In dieser Zeit beschäftigte sie in der Spitze mehr als 100.000 Menschen in Sachsen und Thüringen, griff vehement in Siedlungs- und Naturräume, Lebensbedingungen und mentale Verfassheiten vor Ort ein. Die heutige Wismut GmbH sorgt seit 1991 mit ihrer Sanierung in den ehemaligen Uranerz-Bergbauregionen erneut für Transformation von Landschaft und Arbeitszusammenhängen in weltweit einmaligem Ausmaß, was die Lebensverhältnisse vor Ort weiter prägt.

Von diesem Erbe der Wismut sind die Bundesrepublik Deutschland und die Freistaaten Sachsen und Thüringen – nicht zuletzt mit den von der Wismut berührten Regionen und Menschen – betroffen. Nach intensiven Diskussionen und mehrjährigen Vorüberlegungen beschlossen sie 2021 die Gründung der Wismut Stiftung gGmbH, die sich dieses Erbes annehmen und es bewahren, präsentieren, vermitteln und zu seiner weiteren Erforschung beitragen soll. Dem vorausgegangen war der Abschluss eines Verwaltungsabkommens zwischen den Partnern zur Finanzierung der gGmbH für eine erste Anlaufzeit, basierend auf dem „Umsetzungskonzept zum Wismut-Erbe“. Dieses war im Auftrag der Wismut GmbH unter Ägide des Deutschen Bergbaumuseums Bochum und unter Einbezug zahlreicher Vor-Ort-Recherchen und Experten bis März 2019 erarbeitet worden.



Abb. 1 Schacht 371 bei Bad Schlema – einer der künftigen zwei Präsentationsorte für das Wismut-Erbe.

Fig. 1 Mining shaft 371 near Bad Schlema – one of the future two presentation sites for the Wismut heritage.

<sup>1</sup> Wismut Stiftung gGmbH

Das „Umsetzungskonzept zum Wismut-Erbe“ ist der Leitfaden für das inhaltliche Agieren der Wismut Stiftung gGmbH, die im Jahr 2022 ihr operatives Geschäft aufgenommen hat. Deren eigentliche inhaltliche Aufgaben lassen sich auf dieser Basis grob so fassen: Es sind drei Präsentationsorte zu errichten und perspektivisch zu betreiben, nämlich zwei physische und ein virtueller Schau-Platz. Dazu kommen drei auf Dauer angelegte Querschnittsaufgaben – die Stakeholder des Wismut-Erbes zu vernetzen, die wissenschaftliche Forschung mit Bezug zum Wismut-Erbe anzuregen und das Wismut-Erbe zu bewahren i.S. einer auch konservatorischen Sammlungsverantwortung. Alle diese sechs Geschäftsfelder sind stark voneinander abhängig, gleichwohl durchaus heterogen im Anspruch an zeitliche, personell-inhaltliche und finanzielle Ressourcen. Finanziell stehen der Wismut Stiftung zunächst insgesamt 24,1 Mio € zur Verfügung. Personell sind neben der Geschäftsführung aktuell eine administrative und drei wissenschaftliche Stellen vorgesehen. Mit Inbetriebnahme der physischen Präsentationsorte kommen jeweils drei Personen für deren Absicherung hinzu.

Damit ist die Ressourcenausstattung – zeitlich, finanziell, personell – zunächst sehr überschaubar, was umso mehr Prioritätensetzung und Fokussierung erfordert. Was also zuerst, wie und mit wem?

Im Januar 2023 startete die Wismut Stiftung gGmbH mit der inhaltlichen Strukturierung des Aufbauvorhabens. Den beiden physischen Präsentationsorten, die mit jeweils 9,7 Mio € Planbudget die finanziellen Schwergewichte darstellen, kommt dabei oberste Priorität zu, da mit großen zeitlichen Planungsvorläufen zu rechnen ist – die gGmbH muss als Zuwendungsempfängerin öffentlicher Gelder dem bundesdeutschen Vergaberecht genügen. Bevor die EU-weite Planersuche angestrengt werden kann, sind dafür klare Aufgabenstellungen und Kostenschätzungen zu definieren, was im Rahmen einer Machbarkeitsstudie erfolgen soll. Dabei sind die Ausgangsbedingungen an den beiden Standorten sehr verschieden. Am ehemaligen Uranerz-Bergbau-Schacht 371 bei Bad Schlema wird ein zum UNESCO-Welterbe Montanregion Erzgebirge/Krušnohoří zählendes Gebäudeensemble aus Förder- und Maschinenhaus samt 50m hohem Fördergerüst als begehbares Schaudenkmal multimedial inszeniert. In der Neuen Landschaft Ronneburg dagegen soll eine neue Architektur auch baulich Akzente setzen, die zur vollsanierten Uranbergbaufolgelandschaft mit all ihren thematischen Anknüpfungspunkten zu Zukunftsfragen passt und den pointierten erzählerischen Bogen des Wismut-Erbes zwischen den beiden Standorten weiterspinnt. Das Wismut-Erbe ist in seiner historischen als auch räumlichen Dimension sehr vielfältig, heterogen und ambivalent. Materiell gehören zu ihm u.a. die von Uranerzbergbau und Sanierung geprägten Landschaften ebenso wie zahlreiche kommunale Gebäude, etwa ehemalige Wismut-Krankenhäuser oder Kindergärten, Kulturhäuser oder Sportanlagen, mobile Sachzeugen wie bergbauliches Großgerät, aber auch persönliche Erinnerungsstücke. Die Wismut GmbH verfügt über große Bestände historischer Dokumente – Unternehmens-, Personalakten, Fotos, Filmaufnahmen – von denen ein Großteil perspektivisch im Bundesarchiv verwahrt werden wird. Ihre ca. 9.000 geologische Objekte zählende Lagerstättensammlung oder die über 4.100 Werke umfassende Kunstsammlung wird dagegen auf die Wismut Stiftung übergehen. Imaterielle Erbestücke wie etwa bergmännische Traditionen, Sanierungs-Knowhow und Erinnerungen von Zeitzeugen zu bewahren, braucht einmal mehr das Zusammenspiel mit guten Partnern.

Das Ziel besteht darin, im Zusammenspiel der physischen Präsentationsorte mit dem Digital-Portal zum Wismut-Erbe eine landschaftsgebundene Erinnerungskultur mit überregionaler Bedeutung zu kreieren, die zu einer zeitgemäßen Auseinandersetzung mit dem geopolitisch bedeutsamen Erbe der Wismut in seiner Bedeutung für Gegenwart und Zukunft einlädt. Dazu soll das Digital-Portal sowohl das erlebbare Wismut-Erbe zugänglich machen, als auch Wismut-Stakeholder vernetzen und einen Zugang schaffen für alle diejenigen, die in das Wismut-Universum eintauchen wollen.

## The Wismut Foundation gGmbH – tasks, status and perspectives for the care of the Wismut heritage

Dr. Julia Dünkel<sup>1</sup>, Nico Loße<sup>1</sup>

As uranium producers, the Staatliche Aktiengesellschaft der Buntmetallindustrie „Wismut“, formed in 1947, and its successor company, the Soviet-German Joint Stock Company (SDAG) Wismut, which existed until 1991, were essential for the nuclear balance of terror during the Cold War. At its peak, it employed more than 100,000 people in Saxony and Thuringia, vehemently interfered with settlement and natural areas, living conditions and local mental constitutions. Since 1991, today's Wismut GmbH, with its rehabilitation of the former uranium ore mining regions, has once again transformed the landscape and working contexts on a scale that is unique in the world, which continues to shape the living conditions of the local people.

The Federal Republic of Germany and the Federal States of Saxony and Thuringia – not least with the regions and people touched by Wismut – are affected by this heritage of Wismut. After intensive discussions and several years of preliminary considerations, they decided in 2021 to establish the Wismut Stiftung gGmbH, which is to take care of this heritage and preserve, present and communicate it and contribute to its further exploration. This was preceded by an administrative agreement between the partners to finance the gGmbH for an initial start-up period, based on the "Implementation Concept for Wismut Heritage". This had been developed on behalf of Wismut GmbH under the lead of the German Mining Museum Bochum and with the involvement of numerous on-site researches and experts until March 2019.



Abb. 1 Das Wismut-Erbe ist weit umfangreicher als die Wismut-Kunstsammlung – hier das 1983 entstandene Gemälde "Schichtbus" von Lutz R. Ketscher.

Fig. 1 The Wismut heritage is far more wide than the Wismut art collection – here the 1983 painting "Schichtbus" by Lutz R. Ketscher.

---

<sup>1</sup> Wismut Stiftung gGmbH

The "Implementation Concept for the Wismut Heritage" is the guideline for the content-related activities of the Wismut Stiftung gGmbH, which started its operational business in 2022. The actual tasks of the Wismut Stiftung can be roughly summarised on this basis: Three presentation sites are to be set up and operated in the long term, namely two physical and one virtual exhibition site. In addition, there are three long-term cross-sectional tasks – to network the stakeholders of the Wismut heritage, to stimulate scientific research related to the Wismut heritage, and to preserve the Wismut heritage in the sense of also being responsible for the conservation of the collection. All six of these business segments are highly interdependent, but their demands on time, personnel, content and financial resources are quite heterogeneous. Financially, the Wismut Stiftung initially has a total of €24.1 million at its disposal. In terms of personnel, one administrative and three scientific positions are currently planned in addition to the management. When the two physical presentation sites are commissioned, six more people will be employed to secure them.

This means that the resources – in terms of time, finances and staff – are initially very confined, which makes it all the more necessary to set priorities and focus. So what first, how and with whom? In January 2023, the Wismut Stiftung gGmbH started to structure the master plan for the implementation of the project. The two physical presentation sites, which are the financial heavyweights with a planned budget of €9.7 million each, are given top priority, as long planning lead times are to be expected, depending of federal public procurement law. Before the EU-wide search for planners can be initiated, clear tasks and cost estimates must be defined, which should be done within the framework of a feasibility study. The initial conditions at the two sites are very different. At the former uranium ore mining shaft 371 near Bad Schlema, a building ensemble consisting of a winding and machine house, including a 50-metre-high winding tower, which is part of the UNESCO World Heritage Site Mining Region Erzgebirge/Krušnohoří, is being staged as a walk-in multimedia show monument. In the New Landscape Ronneburg, on the other hand, new architecture is to set structural accents that fit in with the fully restored post-mining uranium landscape with all its thematic links to future issues, continuing the narrative arc between the two sites.

The Wismut heritage is very diverse, heterogeneous and ambivalent in its historical and spatial dimension. In material terms, it includes the landscapes shaped by uranium ore mining and rehabilitation as well as numerous municipal buildings, such as former Wismut hospitals or kindergartens, cultural buildings or sports facilities, mobile material witnesses such as large-scale mining equipment, but also personal mementos. Wismut GmbH has large stocks of historical documents – company and personnel files, photos, film footage – the majority of which will be stored in the Federal Archives in the future. The Wismut Stiftung, on the other hand, will take over its collection of around 9,000 geological objects and its art collection of over 4,100 works. Preserving intangible heritage items such as mining traditions, rehabilitation know-how and memories of contemporary witnesses once again requires cooperation with good partners.

The goal is to create a landscape-bound culture of remembrance with supraregional significance in the interaction of the physical presentation sites with the digital portal on Wismut heritage, which invites a contemporary examination of Wismut's geopolitically significant heritage in its importance for the present and the future. To this end, the digital portal is intended to create access to the Wismut heritage that can be physically experienced on the one hand, and to network Wismut stakeholders and create access for all those who want to immerse themselves in the Wismut universe on the other.

## **„Grenzen der Beherrschbarkeit“ – Umweltpolitik und Sanierung im Uranerz-bergbau der SAG/SDAG Wismut 1946-1990**

Dr. Sabine Loewe-Hannatzsch<sup>1</sup>

Die Ergebnisse des seit 2019 laufenden Forschungsprojektes stellen die in der Literatur bislang dominierende Interpretation der SAG/SDAG Wismut als Staat im Staate grundsätzlich in Frage. Schon Anfang der 1950er Jahre belegten erste Berichte, Messwerte und Analysen die Umweltprobleme und Strahlenbelastungen des Uranerzbergbaus weit über die Grenzen des Wismut-Gebietes hinaus. In den folgenden Jahrzehnten erweiterte sich kontinuierlich der Kreis der Ministerien, administrativen Abteilungen und Personen, die regelmäßig mit Informationen zur Umweltbelastung konfrontiert waren. Aus umwelthistorischer Perspektive konnte nach Auswertung des gesammelten Archivmaterials das Bild einer vielfältigen Verzahnung von betrieblichen, administrativen und staatlichen Ebenen und Organen dargestellt werden. Aus diesen Ergebnissen wurden die Handlungsabläufe der Sanierungs- und Umweltschutzmaßnahmen rekonstruiert und es konnte gezeigt werden, dass die gravierenden Umweltbelastungen des Uranerzbergbaus während des gesamten Förderzeitraums sich nicht allein der Verantwortung der SAG/SDAG Wismut zuschreiben lassen. Vielmehr lassen die zahlreichen Versäumnisse im Bereich des Umweltschutzes auf allen administrativen Ebenen auf eine kollektive Verantwortung und ein Systemversagen schließen.

Während des gesamten Zeitraums des Uranbergbaus in der DDR war der Stellenwert von Umweltschutz und industrieller Produktion nie gleichwertig. Dies zeigte sich besonders daran, dass nur wenige Maßnahmen unternommen wurden, um die Strahlenexposition zu verringern. Hinzu kam, dass die SDAG Wismut kaum Sanierungskonzepte entworfen und nur sehr geringe Rücklagen dafür gebildet hatte. Andererseits bedrohten die zunehmenden Umweltbelastungen immer wieder die Aufrechterhaltung der Produktion, was die SDAG Wismut letztendlich dazu zwang auf die Problematik zu reagieren. Anhand der ausgewerteten Quellen konnte gezeigt werden, dass die SDAG Wismut bei der Eingrenzung der Umweltbelastungen und der Sanierung stillgelegter Standorte nicht untätig war. Gleichwohl wurden lediglich die allernötigsten Maßnahmen durchgeführt, um die industrielle Produktion sicherzustellen. Die Reaktionen der SDAG Wismut beziehen sich fast ausschließlich auf die Auswirkungen der Umweltverschmutzung, nicht aber auf eine Veränderung der Produktionsweise bzw. -intensität. Prinzipiell ging es also nicht um die Vermeidung, sondern um die Verteilung der vorhandenen und bereits entstandenen Belastungen. Das Ziel der Maßnahmen der SDAG Wismut war es, die Produktionsmittel stets in ausreichendem Maße zur Verfügung stellen zu können und nicht vordergründig die Umwelt zu schützen. Der Umweltschutz war für die Betriebe und industriellen Absetzanlagen in dem Maße nützlich, wie er dem Selbstzweck der Aufrechterhaltung der Produktion diente. Die Auswertung des Archivmaterials und das Zusammenführen der verschiedenen Entscheidungsebenen ermöglichte die Darstellung der Komplexität der erforderlichen Sanierungsmaßnahmen. Die Rekonstruktion der systemischen, materiellen, finanziellen, personellen und teils politischen Aspekte der Sanierung und deren Abhängigkeiten voneinander, verdeutlichen nicht nur die Probleme in einzelnen Bereichen, sondern auch, dass die SDAG Wismut trotz der unternommenen Maßnahmen nicht in der Lage war eine Sanierung solchen Ausmaßes vollumfänglich durchzuführen. Zudem war die Sanierung der stillgelegten Standorte, Halden, Anlagen und Absetzbecken ein dynamischer Prozess, der von den strukturellen Veränderungen der SDAG Wismut im Bereich der Förder- und Aufbereitungstechnologien, der zunehmenden Umweltbelastungen, der Durchführung und Verantwortung der Sanierungsmaßnahmen sowie der allgemeinen Ausrichtung der SDAG Wismut abhängig war. Die Umbrüche und Zäsuren in den Jahren 1953/54, 1961/62, 1968 und 1990/91 prägten die Entwicklung der Wismut maßgeblich und führten immer zu strukturellen

---

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Technikgeschichte und Industriearchäologie (IWTG), TU Bergakademie Freiberg, 09599 Freiberg

Veränderung in den einzelnen Betrieben der SDAG Wismut aber auch bei den mit der SDAG Wismut in Verbindung stehenden Ministerien und staatlichen Organen. Diese Veränderungs- und Transformationsprozesse waren von Konflikten und Aushandlungen zwischen den einzelnen Akteuren gekennzeichnet.

Dieser Beitrag fasst die Ergebnisse des vierjährigen Forschungsprojektes im Rahmen des Verbundprojektes „Umweltpolitik, Bergbau und Rekultivierung im deutsch-deutschen Vergleich“ zusammen.

## "Limits of Controllability" – Environmental Policy and Remediation in Uranium Ore Mining at the SAG/SDAG Wismut 1946-1990

Dr. Sabine Loewe-Hannatzsch<sup>1</sup>

The results of the research project, which has been running since 2019, fundamentally question the interpretation of the SAG/SDAG Wismut as a state within a state, which has dominated the literature until now. As early as the beginning of the 1950s, the first reports, measurements and analyses provided evidence of the environmental problems and radiation pollution caused by uranium ore mining far beyond the borders of the Wismut area. In the following decades, the circle of ministries, administrative departments and persons who were regularly confronted with the information on environmental pollution continuously expanded. From an environmental-historical perspective the archival material presents a picture of a multifaceted connection of operational, administrative, and governmental levels. From these results, the course of action of the remediation and environmental protection measures was reconstructed, and it could be shown that the serious environmental pollution by uranium ore mining cannot be attributed solely to the responsibility of the SAG/SDAG Wismut. Rather, the numerous failures in environmental protection at all administrative levels point to a collective responsibility and a systemic failure.

During the entire period of uranium mining in the GDR, the value of environmental protection and industrial production was never equal. This was particularly evident in the fact that few measures were taken to reduce radiation exposure. In addition, the SDAG Wismut had hardly designed any remediation concepts and had built up only very small financial reserves for this purpose. On the other hand, increasing environmental pollution repeatedly threatened the maintenance of production, which ultimately forced the SDAG Wismut to react to these problems. Based on the sources evaluated, it could be shown that the SDAG Wismut was not inactive in limiting environmental pollution and rehabilitating closed sites. Nevertheless, only the most necessary measures were taken to ensure industrial production. The reactions of the SDAG Wismut almost exclusively referred to the effects of environmental pollution, but not to a change in the production method or intensity. Therefore, it was not a matter of prevention, but of distributing the existing and already created burdens. The aim of the measures taken by the SDAG Wismut was to be able to always provide sufficient quantities of production resources and not to protect the environment. Environmental protection was useful for the mills and industrial tailings ponds to the extent that it served to maintain the production. The evaluation of the archive material and the consolidation of the various decision-making levels made it possible to illustrate the complexity of the necessary remediation measures. The reconstruction of the systemic, material, financial, personnel and partly political aspects of remediation and their interdependencies not only illustrate the problems in individual areas, but also that the SDAG Wismut was not able to fully implement a remediation of such magnitude despite the measures taken. In addition, rehabilitation and remediation was a dynamic process that depended on the structural changes at SDAG Wismut in the field of extraction and processing technologies, the increasing environmental pollution, the implementation, and responsibility of the remediation measures as well as the general orientation of SDAG Wismut. The upheavals and caesuras in the years 1953/54, 1961/62, 1968 and 1990/91 had a decisive impact on the development of Wismut and always led to structural changes on single sites of SDAG Wismut but also in the ministries and state bodies associated with SDAG Wismut. These processes of change and transformation were characterized by conflicts and negotiations between the individual actors.

---

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Technikgeschichte und Industriearchäologie (IWTG), TU Bergakademie Freiberg, 09599 Freiberg

This article summarizes the results of the four-year research project within the framework of the joint project "Environmental Policy, Mining and Recultivation in a German-German Comparison".

## Das „Wismut-Erbe“ als (Denk-)Anstoß multidisziplinärer Forschung

Silvio Dittrich<sup>1</sup>

Der Uranerzbergbau in der DDR und die anschließende Sanierung der Hinterlassenschaften sind untrennbar mit dem Unternehmen „Wismut“ verbunden. Die Förderung von Uranerz in den DDR-Abbaugebieten nahm Einfluss auf Landschaften, Industrien und Lebenswelten der Menschen dieser Region. Die Folgen in Form von Veränderungen räumlicher Strukturen von Landschaft, von Zwang und Gesundheitsschädigung, von Umwelt- und Bergbauschäden sowie von sozialen Verwerfungen sind enorm und bis in die Gegenwart für Umwelt und Mensch in der Region prägend.

Der Freistaat Sachsen und der Freistaat Thüringen haben gemeinsam die Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig beauftragt, multidisziplinäre Forschungen für das Wismut-Erbe zu sondieren, zu konzipieren und zu dokumentieren. Die Ergebnisse und Erfahrungen des Akademieprojekts „Wismut-Erbe-Forschung“, welches von 2019-2021 lief und das aktuelle Forschungsprojekt „Landschaft als KulturErbe. Transformation einer Bergbaulandschaft in Sachsen im 20. Jahrhundert“ bilden dabei die Arbeitsgrundlage der anschließenden Überlegungen. Anhand einer interaktiven Karte soll der Wandel der Bergbaulandschaft Aue-Bad Schlema gezeigt werden. Das Übergeordnete Ziel ist es, Landschaftsinformationen, sprich zeitweilige Perspektiven aus Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft, darzustellen, um so ein besseres Verständnis für die Entwicklung dieses, für das Wirken der „Wismut“ typischen Landschaftsausschnitts, die damit verbundenen mehrfachen tiefgreifenden Veränderungen, sowie die Herausforderungen der Gegenwart und Zukunft zu ermöglichen. Dem Ansatz von Hans Spethmanns „Dynamischer Länderkunde“ (Spethmann 1928) folgend, soll dargestellt werden, wie die Suche bzw. der Abbau eines seltenen und begehrten Rohstoffes menschliches Handeln angeleitet hat. Wie das Auftreten des militärisch wichtigen Uranerzes zur Herausbildung eines neuen Industriezweigs führte, für den beispielsweise alte oder hinderliche Infrastruktur abgerissen bzw. Landschaft punktuell oder flächenhaft umgestaltet wurde. Räumliche Voraussetzungen wurden nicht als eine unveränderbare Konstante wahrgenommen, sondern den Bedürfnissen angepasst.

Am Beispiel einer interaktiven Karte, sollen diese zeitweilige Perspektiven in einem Querschnitt dargestellt und intermedial mithilfe von Dokumenten kontextualisiert werden. Die Entwicklung der Karte wird durch folgende Fragen begleitet: Welche historisch-genetischen Spuren machen die Identität des Landschaftsausschnitts aus? Wie lassen sich die Veränderungen des Landschaftsausschnitts mithilfe von Primärdaten und Forschungsergebnissen dokumentieren? Welche Konsequenzen hat das für die Quellenarbeit?

---

<sup>1</sup> Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig



Abb. 1 (Bad Schlema, Schacht 13b, 1991 – Unternehmensarchiv Wismut GmbH)

Fig. 1 (Bad Schlema, mine 13b, 1991 – Unternehmensarchiv Wismut GmbH)

## Literatur

Spethmann, Hans (1928): Dynamische Länderkunde, Breslau.

## The "wismut heritage" as a thought-provoking for multidisciplinary research

Silvio Dittrich<sup>1</sup>

Uranium mining in the GDR and the subsequent rehabilitation of the legacies are inseparably linked to the company "Wismut". The extraction of uranium in the GDR mining areas influenced landscapes, industries and people. The consequences were enormous and still characterise environment and people of the region.

The Free State of Saxony and the Free State of Thuringia have jointly commissioned the Saxon Academy of Sciences and Humanities in Leipzig to explore, design and document multidisciplinary research for the heritage of Wismut. The results and experiences of the academy project "Wismut-Erbe-Forschung", which ran from 2019-2021 and the current research project "Landschaft als KulturErbe" ("landscape as cultural heritage. Transformation of a mining landscape in Saxony in the 20th century") form the basis for the following considerations. By means of an interactive map the change of the mining landscape Aue-Bad Schlema shall be shown. The aim is to present landscape information, i.e. temporary perspectives from the past, present and future, in order to enable a better understanding of the development of this section of the landscape, which is typical of the work of the "Wismut", the associated multiple profound changes, as well as the challenges of the present and future. Interpreting and modifying the approach of Hans Spethmann's "Dynamische Länderkunde" (Spethmann 1928), it will be shown, how the search and mining of a rare and coveted raw material affected human action. The appearance of the militarily important uranium led to the formation of a new industry, for which new traffic routes were created, old or obstructive infrastructure was demolished and new ones were built. As a result waters were diverted, dammed or polluted, soil or Landscape remodelled selectively or even extensively, new administrations and jurisdiction were created and new jobs and industries developed. Landscape was not perceived as an unchangeable constant, but adapted to needs.

Using the example of an interactive map, temporary perspectives are to be presented in a cross-section and contextualised intermedial with the help of documents. The development of the map is accompanied by the following questions: What historical-genetic traces make up the identity of the landscape section? How can the changes in the landscape section be documented using primary data and research results? What consequences does this have for the source work.

---

<sup>1</sup> Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig



Abb. 2 (Bad Schlema, Schacht 13b, 2005 – Unternehmensarchiv Wismut GmbH)  
Fig. 2 (Bad Schlema, mine 13b, 2005 – Unternehmensarchiv Wismut GmbH)

## References

Spethmann, Hans (1928): Dynamische Länderkunde, Breslau

# **Systemisches Lebenszyklusmanagement von Bergbaustandorten zum Ausgleich gesellschaftlicher Zielkonflikte: Naturschutz vs. Versorgungssicherheit**

W. Eberhard Falck<sup>1</sup>, Vitor Correia<sup>1</sup>

## **Erweiterte Zusammenfassung**

Seit der zweiten Hälfte des 20. Jh. ist der Bergbau in der EU rückläufig. Andererseits ist die EU bei bestimmten mineralischen Rohstoffen erheblichen Versorgungsrisiken ausgesetzt, da 1) das Vorkommen bestimmter Mineralien z.Zt. nur an wenigen Orten weltweit bekannt ist, 2) der Abbau von einem einzigen oder einer kleinen Anzahl von Ländern dominiert wird, 3) politisch motivierte Drohungen, Krieg oder Ereignisse wie Pandemien Versorgungsnetze stören können, und 4) fragmentierte und inkonsistente Regularien eine nachhaltige und verantwortungsvolle Nutzung beeinträchtigen. Während der gesellschaftliche Diskurs über eine wünschenswerte sozioökonomische Entwicklung offen ist, scheint es Konsens darüber zu geben, dass Anpassungen an den Klimawandel und andere Umstände nicht zu erheblichen Beeinträchtigungen unseres Lebensstils führen sollten.

Europa steht vor dem Dilemma, seine natürliche Umwelt und Biodiversität zu schützen und gleichzeitig eine nachhaltige Versorgung mit mineralischen Rohstoffen für die in EU-Politikentscheidungen kodifizierten sozioökonomischen Entwicklungspfade sicherzustellen zu müssen. Aus einfachen thermodynamischen Überlegungen ist klar, dass eine Dekarbonisierung unserer Energiesysteme nur durch den Einsatz von mehr Mineralien erkauft werden und Massenbilanzrechnungen zeigen, dass Recycling erst in einigen Jahrzehnten einen signifikanten Beitrag leisten kann. Dieses Dilemma zu lösen, statt auf Importe und den ethisch bedenklichen Export der Auswirkungen auf heimischen Bergbau zu setzen und die ökologischen und sozialen Auswirkungen zu internalisieren, ist eine zentrale gesellschaftliche Herausforderung. Systemische Politikgestaltung und Genehmigungsverfahren, die alle relevanten Akteure einbeziehen, werden dazu beitragen, ihr zu begegnen.

Die EU identifiziert in ihrer Gesetzesvorlage zu kritischen Rohstoffen von 2023 besonders exponierte Stoffe. Die Umsetzung von politischen Zielen wie dem Green Deal und der Energiewende erfordert große zusätzliche Mengen bisher nicht oder kaum genutzter mineralischer Rohstoffe wie z.B. Seltene Erden. Zusammen mit dem Paradigma des Wirtschaftswachstums wird da zu einem Rohstoffbedarf führen, der mehr Bergbau erfordert. Die Bevölkerung wehrt sich oft gegen solche Projekte, weil sie befürchtet, dass Ökosystemen und Lebensstilen dauerhaften Schaden zugefügt wird. Dieser Beitrag diskutiert, wie ein umfassendes Lebenszyklusmanagement potentielle Konflikte ausgleichen kann und untersucht die Strategien und Randbedingungen für einen verantwortungsvollen Bergbau.

Der Bergbau innerhalb der EU unterliegt bereits strengeren Vorschriften als in den meisten anderen Ländern, hat den Vorteil kürzerer und sichererer Versorgungswege, größerer wirtschaftlicher Widerstandsfähigkeit und eines geringeren CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks. Das öffentliche Bild des Bergbaus wird durch vergangene Praktiken und ihre ökologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen geprägt. Dies war auch die Schuld vieler Bergbauunternehmen, die in der Vergangenheit eine eher lässige Haltung gegenüber solchen Auswirkungen an den Tag legten, aber moderne Bergbautechnologie haben gezeigt, dass Auswirkungen und Altlasten minimiert werden können.

Bergbau muss dort stattfinden, wo die Mineralien sind, die EU aber ist dicht besiedelt und hat viele als Naturschutzgebiete und andere Schutzzonen ausgewiesene Regionen, in denen Bergbau nicht oder doch nur mit besonderen Auflagen stattfinden kann. Darüber hinaus hat die COP-15 zur Biodiversität

---

<sup>1</sup> INTRAW International Raw Materials Observatory, Brüssel, Belgien

2022 gefordert, 30 % der Weltoberfläche zu Schutzgebieten zu erklären. Solche unterschiedliche Anforderungen an natürliche Ressourcen führen zu Konflikten über wünschbare oder notwendige Nutzung. Es gibt drei wesentliche Elemente für eine erfolgreiche gemeinsame Nutzung: (i) Zusammenarbeit und Dialog mit den Interessengruppen, (ii) vertrauenswürdige, unabhängige Folgenabschätzung und -minderung, einschließlich Aktionspläne zur Biodiversität, und (iii) kohärente Sanierungspläne. So kann Bergbau zeitlich begrenzte Landnutzung sein, ohne völlig irreversible Schäden zu verursachen.

Raumplanung, Ausweisung von Schutzzonen und Bergbaugenehmigungen werden oft als isolierte Verfahren durchgeführt, die auf sektoralen Richtlinien und Vorschriften basieren. Entscheidungen werden ausschließlich und kategorisch getroffen, ohne unvoreingenommene Folgenabschätzung. Charakteristiken, Bedürfnisse, Risiken und Auswirkungen werden fragmentiert bewertet, so dass ein hohes Risiko besteht, dass Entscheidungen inkonsistent oder sogar widersprüchlich sind und nicht das gesamte Spektrum gesellschaftlicher Bedürfnisse und Erwartungen berücksichtigen. Unsere Welt ist dreidimensional und Aktivitäten, deren Bereich sich überlappt, wenn auf die Erdoberfläche projiziert, stehen nicht unbedingt in Wechselwirkung miteinander: eine Grube in mehreren hundert Metern Tiefe kommuniziert nicht unbedingt mit Ökosystemen an der Oberfläche, so dass beide koexistieren könnten. Als 4. Dimension ist auch die Zeit einzubeziehen – von der Exploration bis zur Nachnutzung des Grubengeländes. Ein systemischer, sektorübergreifender Ansatz ermöglicht eine ausgewogene und integrierte Folgenabschätzung von der Genehmigung bis zur anschließenden Nachsorge. Ein entscheidender Faktor der verantwortungsvollen Gestaltung von Bergbau ist ein umfassendes und systemisches Lebenszyklusmanagement. Ziel muß es sein, das Grubengelände wieder in die Landschaft zu reintegrieren und nutzbringende Ökosystemleistungen zu fördern.

Bergbauprojekte werden von wirtschaftlichen Interessen getrieben. Sollen sie aber innerhalb von Schutzzonen stattfinden, muss der objektive Bedarf aus strategischer Sicht der Versorgungssicherheit bewertet werden. CIRAN entwickelt dazu ein DPSIR (Drivers-Pressures-States-Impacts-Responses)-Rahmenwerk, das den Einfluss politischer Vorgaben transparenter macht. Studien zum zukünftigen Rohstoffbedarf fließen in die Analyse ein, die auch nicht greifbare Faktoren und Auswirkungen umfasst, z.B. die Weltsicht bestimmter Interessengruppen und öffentliche Debatten. Die DPSIR-Analyse über den gesamten Lebenszyklus macht Akteuren die Folgen von Entscheidungen für oder gegen den Bergbau transparent und hilft bei der Entscheidung, ob er gegenüber anderen gesellschaftlichen Bedürfnissen und Erwartungen gerechtfertigt werden kann.

Das CIRAN-Projekt ([www.ciranproject.eu](http://www.ciranproject.eu)) untersucht innovative Optionen für systemische Entscheidungsfindung als praktische Brücke von etablierten sektoralen Methoden zu Methoden, die den heutigen Herausforderungen in den Bereichen Wirtschaft, Umwelt, und Gesellschaft (ESG) gerecht werden. Es wird zu einem transparenten, systemorientierten Ansatz für die Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen über und unter Tage führen.

**Danksagung:** Die Autoren möchten als Projektkoordinatoren allen CIRAN-Projektpartnern und -teilnehmern für ihre kritischen Beiträge während der Entwurfsphase des Projektvorschlags danken.

## Systemic mine-site life-cycle management for reconciliation of conflicting societal objectives: Nature protection vs. raw materials supply resilience

W. Eberhard Falck<sup>1</sup>, Vitor Correia<sup>1</sup>

### Extended Abstract

Mining has been in a steady decline in the EU since the second half of the 20th century. On the other hand, the EU is exposed to severe potential supply risks for certain mineral raw materials, as 1) certain minerals are currently known to occur at only few locations in the world, 2) mining is dominated by a single or a small number of countries, 3) politically motivated threats, warfare, or events such as pandemics can disrupt supply-webs, and 4) a fragmented and inconsistent regulatory approach affects sustainable and responsible use of resources. While it is open to a societal discourse what a desirable socio-economic trajectory should look like, there seems to be a wide consensus that adaptations to climate-change and other circumstances should not result in significant detriments to our life-style.

In the current geopolitical context, the EU is facing an increasingly perplexing dilemma of having to protect its natural environments and biodiversity while having to ensure a sustained and sustainable supply of mineral raw materials. The 2023 EU *Critical Raw Materials Act* identifies those materials that are particularly exposed. Implementing EU policy objectives, such as the *Green Deal* and the *Energy Transition* will require large additional quantities of mineral raw materials that previously have seen no or little use, such as rare earths and certain metalloids. Together with the paradigm of economic growth, it will lead to raw materials needs that require the mining of mineral raw materials from pristine areas. It is clear from simple thermodynamic considerations that a decarbonisation of our energy systems can only be bought by using more minerals, and mass-balance calculations show that recycling only will have significant impact in a few decades from now.

Solving the dilemma of having to bring about more domestic mineral raw materials supply and internalising the associated environmental and social impacts, rather than relying on imports and the ethically questionable export of these impacts is a crucial societal and policy-making challenge in the next few years. If sourced from within the EU, locals often resist the projects, fearing they will cause permanent damage to their eco-systems and ways of life. This paper discusses how a comprehensive mining life-cycle and legacy management could reconcile potential conflicts and explores the strategies and constraints for responsible extraction.

Mining within the EU occurs already under more stringent regulations than in most other countries, does have the benefit of shorter and more secure supply lines, greater economic resilience, and a smaller carbon footprint. The public image of mining is shaped by past practices and their environmental and societal impacts and legacies. This was also the fault of many mining companies who in the past exhibited a rather nonchalant attitude towards such impacts, but modern mining technology and mining governance have demonstrated that impacts and legacies can be minimised.

Mining has to take place, where the minerals are, but the EU is densely populated and has many regions designated as nature reserves (e.g. RAMSAR zones, Natura 2000 sites), drinking water protection zones, or cultural heritage areas, where minerals extraction is not or only accepted under very strict conditions. In addition, COP-15 on biodiversity in Montreal in 2022 has called for 30% of the World surface to be declared as protected areas. Such varied demands on natural resources will lead to con-

---

<sup>1</sup> INTRAW International Raw Materials Observatory, Brüssel, Belgien

flicts over their desired or needed use. To minimise the potential for such conflicts three essential elements must be considered for successful shared use: (i) stakeholder cooperation and dialogue, (ii) trustworthy, independent impact assessment and mitigation fostering the adoption of a Biodiversity Action Plan, and (iii) cohesive remediation plans, enhancing biodiversity and ecological corridors. In this way mining can be managed as a time-limited land-use without causing irreversible damage to such environments.

Often, land-use planning, designation of protected zones, and permitting of mining are carried out as quite isolated procedures, based on sectoral policies and regulations. Decisions are often made exclusive and categorical, without actual and impartial impact assessment of the proposed additional uses. Properties, needs, risks, and impacts are assessed in a fragmented way with a high risk that permitting decisions may be inconsistent, even contradictory, and not taking into consideration the full spectrum of societal needs and expectations. Our world is 3-dimensional and activities at depth whose footprints overlap when projected to the Earth's surface do not necessarily interact mechanistically with each other. Thus, a mine at several hundred metres depth does not necessarily communicate with ecosystems at the surface and therefore both can co-exist. Time needs also to be included as a 4th dimension, extending from exploration to the envisaged after-use of the mine site after final closure and remediation. A systemic, cross-sectoral approach enables a balanced and integrated impact assessment during approval, permitting and ensuing life-cycle management. A crucial factor in making mining projects more responsible is a comprehensive and systemic approach to life-cycle management from exploration to long-term stewardship. The goal must be to re-integrate the mine-site into the pre-existing landscape and to foster ecosystem services that are beneficial.

Mining projects in the first place are driven by the economic interests of investors. If these are to take place below protected areas, the objective need from a strategic supply resilience perspective must be evaluated. To this end, CIRAN develops a DPSIR (Drivers-Pressures-States-Impacts-Responses) framework. The framing role of policy-decisions, will become more transparent. Foresight studies on future demands will also inform the DPISR framework. The DPSIR analysis, can also include non-tangible drivers and pressures, such as those reflecting the world views of certain stakeholder groups that may shape the public debate. The DPSIR analysis over the whole life-cycle will make transparent to stakeholders the consequences of decisions to go ahead or otherwise and will help to decide, whether extraction can be justified against other imperative societal needs and expectations and the protection of its landscape, biodiversity and ecological function.

The CIRAN project ([www.ciranproject.eu](http://www.ciranproject.eu)) explores innovative options for systemic assessments beyond the end of active mining as a practical bridge from established sectoral methods to ones suited to the economic, environmental, societal, and governance (ESG) challenges of today. It will result in a transparent, system-oriented approach to managing natural resources above and below ground.

**Acknowledgements:** The authors, as project co-ordinators, would like to thank all the CIRAN project partners and participants for their critical review and input during the proposal drafting phase.

## **Internationales Trainingszentrum World Nuclear University – School of Uranium Production**

Vojtěch Vokál<sup>1</sup>

### **Einführung**

The World Nuclear University – School of Uranium Production (WNU SUP) Internationale Trainingszentrum wurde 2006 gegründet und wird vom Staatsbetrieb DIAMO unter der Schirmherrschaft der World Nuclear University in London und in Zusammenarbeit mit OECD/NEA und IAEA betrieben. Unter Nutzung des Wissens und der Ausrüstung des Staatsunternehmens DIAMO und der Verbindungen, die es mit Universitäten, Forschungseinrichtungen, Aufsichtsbehörden und anderen Experten aus der Tschechischen Republik und dem Ausland hat, entwickelt und präsentiert das Internationale Trainingszentrum Programme, die sich auf die Berufsausbildung in allen Bereichen der Uranproduktion konzentrieren, sei es die Lagerstättenerkundung und der Abbau mit verschiedenen Mitteln, die Behandlung von Uranerzen, der Umweltschutz und der Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer und sogar die Beseitigung der Folgen des Bergbaubetriebs. Die Mitarbeiter des Staatsbetriebs DIAMO bieten umfangreiche Erfahrung in allen Aspekten des Uranproduktionszyklus

### **Motivation und Mission**

Die steigende weltweite Nachfrage nach Uran, insbesondere in Ländern, in denen der Uranabbau zunimmt, hat zu steigenden Weltmarktpreisen und einer Neubewertung der Materialbestände geführt. Demgegenüber steht der in den letzten zwanzig Jahren zu beobachtender erheblicher Mangel an qualifizierten Fachkräften im Uranbergbau und der Uranverarbeitung.

Auf der anderen Seite wurden in den letzten Jahren weltweit Uranabbauprojekte eingestellt. Viele Länder müssen sich mit der Sanierung der Folgen des Uranbergbaus befassen, was die Beseitigung von Uranbergbaualtlasten wie konventionelle Urangruben, ISL-Felder, Wasserbehandlungsanlagen und Absetzbecken umfasst. Auch dieser Sektor leidet weltweit unter einem Mangel an qualifizierten Fachkräften.

In Übereinstimmung mit der Tatsache, dass die ordnungsgemäße Verwaltung der Uranproduktion qualifiziertes Personal und eine breite Anwendung von wissenschaftlichem, technischem und sozialem Wissen erfordert, zielt die WNU School of Uranium Production darauf ab:

- Ausbildung von Studenten in allen Phasen des Uranproduktionszyklus, einschließlich Erkundung, Planung, Erschließung, Betrieb sowie Sanierung, Rekultivierung, Behandlung von Grubenwasser und anderen Umweltaspekten der Schließung von Uranbergbau und Produktionsanlagen;
- Beiträge zur Verbesserung in den Bereichen Erkundung, Abbau und Sanierung nach Urangewinnung durch Forschung und Entwicklung;
- Bereitstellung eines Forums für den Austausch von Informationen und gewonnenen Erkenntnissen – Best Practices im Bereich Uranabbau und -verarbeitung.

### **Bergbau ist nicht nur Uran**

In den letzten Jahren hat sich der Staatsbetrieb durch die Aufnahme neuer Zweigbetriebe erweitert, deren Hauptaufgabe es ist, die Folgen des Braunkohle- bzw. Steinkohlenbergbaus abzumildern. Zusammen mit diesen Anlagen hat der Staatsbetrieb DIAMO damit viele neue Standorte und Experten hinzugewonnen, die sich mit den Bedingungen des Abbaus und der Sanierung ganz anders als mit der

---

<sup>1</sup> DIAMO, Staatsbetrieb

Uranthematik beschäftigen. Dadurch wurden auch die Möglichkeiten unseres Schulungszentrums stark erweitert, und aktuell konnten wir das Angebot um Kurse mit den Schwerpunkten Gewinnung und Produktion anderer Rohstoffe, Bergbausanierung, Gruben- und Grundwasserbehandlung, Rekultivierung und vielem mehr erweitern.

### Kurse

Jeder Kurs besteht aus einem theoretischen, auf Vorlesungen basierenden Teil und Begleitprogrammen in Form von technischen Exkursionen zu den Standorten und Betriebe des Staatsbetriebs DIAMO, deren Struktur bequem alle Aspekte des Bergbauprozesses abdeckt. Auch das hohe fachliche Niveau und die praktische Erfahrung der spezialisierten Mitarbeiter des Staatsbetriebs werden erfolgreich genutzt. An der Lehrtätigkeit sind neben den Mitarbeitern des Staatsbetriebs DIAMO auch Lektoren aus dem Ausland, die aus Bergbauinstitutionen stammen oder freiberufliche Berater, die in verschiedenen Bereichen wie Geologie, Hydrogeologie, Geomechanik, chemische Technologie, Strahlenschutz, Umweltschutz usw. tätig sind, beteiligt, je nach den Schwerpunkten der einzelnen Kurse. Die Kurse sind für Gruppen von 5 bis 18 Teilnehmern konzipiert.

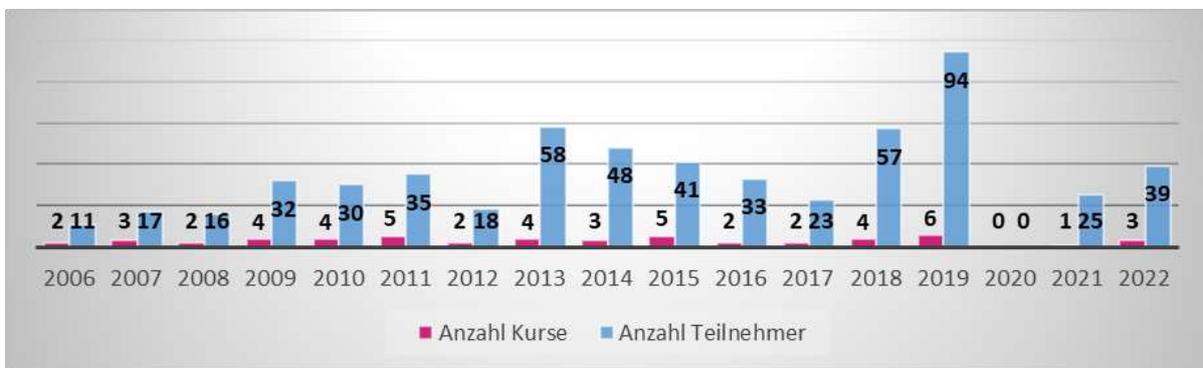


Abb. 1 Anzahl Kurse und Teilnehmer nach Jahren.

Fig. 1 Numbers of courses and participants by years

### Partner

WNU SUP kooperiert mit einer Reihe von weltweit renommierten Institutionen und nutzt deren fachliche Kapazitäten und Erfahrungen. Von den kooperierenden Instituten können wir die International Atomic Energy Agency mit Sitz in Wien, die Nuclear Energy Agency in Paris, die World Nuclear Association in London, die World Nuclear University in London, die University of Nottingham, die Tschechische Technische Universität in Prag – Fakultät für Kernwissenschaften und Physikalische Technik, die Technische Universität Ostrava, die Karls-Universität in Prag, das Staatliches Amt für nukleare Sicherheit in Prag und die WISMUT GmbH nennen.

### Abschluss

Vom ersten Tag seiner Gründung an wurde das Internationales Trainingszentrum zu einer weltweit renommierten Einrichtung für professionelles Training. Die Zahl der Teilnehmer aus insgesamt mehr als 20 Ländern, die fast 50 verschiedene Programme absolviert haben, hat fast 600 erreicht.

## International Training Centre World Nuclear University – School of Uranium Production

Vojtěch Vokál<sup>1</sup>

### Introduction

The World Nuclear University – School of Uranium Production (WNU SUP) international training centre was founded in 2006 and is operated by the DIAMO State Enterprise under the auspices of the World Nuclear University in London and in collaboration with OECD/NEA and IAEA. Making use of knowledge and equipment of the DIAMO State Enterprise and the connections it has with universities, research institutions, supervisory authorities and other experts from the Czech Republic and abroad, the International Training Centre develops and presents schemes focused on professional training throughout the range of aspects of uranium production, be it deposit surveys and extraction using various means, treatment of uranium ores, environmental protection and protection of the health of workers, and even removal of the consequences of mining operations. The staff of the State Enterprise DIAMO offers extensive experience all aspects of the uranium production cycle.

### Motivation and Mission

The increase in the global demand for uranium, particularly in countries where uranium mining is on the rise, has led to an increase in global market prices and a re-evaluation of the stock of the material. Contrasting to the above is the significant shortage of skilled professionals in uranium mining and processing observed in the last twenty years.

In recent years, termination of uranium mining has been under way around the world. Many countries need to deal with the disposal and remediation of the consequences of uranium mining, which includes removal of old uranium burdens such as deep mines, ISL mines, treatment plants and tailings ponds. This sector is also experiencing a shortage of qualified experts globally.

In accordance with the fact that the proper management of uranium production requires skilled personnel and a broad dissemination of scientific, engineering, and social knowledge, WNU School of Uranium Production aims to:

- educate students in all stages of the uranium production cycle, including surveys, planning, development, operations, as well as remediation, rehabilitation, treatment of mine water and other environmental aspects of closure of uranium mining and production plants;
- contribute to the improvement in the areas of surveys, mining and remediation after extraction of uranium through research and development;
- provide a forum for exchanging information and lessons learned – best practices in the field of uranium mining and processing.

### Mining is not only uranium

In recent years, the state enterprise has expanded by incorporating new branches, the main purpose of which is to mitigate the consequences of brown coal and lignite mining, respectively black coal mining. Together with these plants, the state enterprise DIAMO thus acquired many new locations and experts focused on the conditions of mining and remediation completely different from the issue of uranium. This also greatly expanded the possibilities of our training center and currently we were able to extend the

---

<sup>1</sup> DIAMO, state enterprise

offer with courses focused on the extraction and production of other raw materials, post-mining remediation, mine and ground water treatment, reclamation, and many others.

### Courses

Each of the courses consists of a theoretical, lecture-based part and accompanying programmes that take the form of technical field trips to the DIAMO State Enterprise sites and premises, whose structure conveniently covers all aspects of the mining process. The high professional level and practical experience of specialized staff members of the enterprise is also leveraged with success. In addition to the DIAMO State Enterprise staff, teaching activities also involve lecturers from abroad, originating from mining institutions or freelance consultants active in diverse fields such as geology, hydrogeology, geo-mechanics, chemical technology, radiation protection, environmental protection, etc., regarding the focus of the individual courses. The courses are designed for groups of 10 to 18 participants.

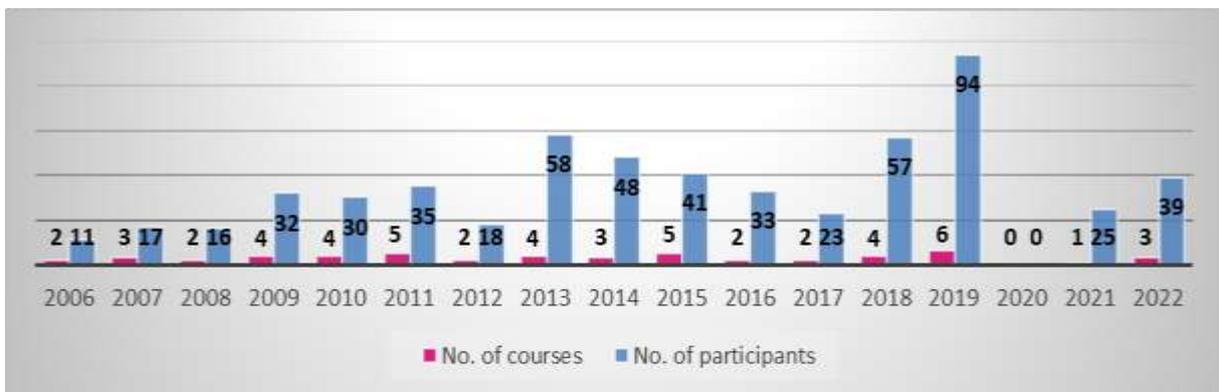


Abb. 1 Anzahl Kurse und Teilnehmer nach Jahren.

Fig. 1 Numbers of courses and participants by years

### Partners

The School of Uranium Production cooperates with several world-renowned institutions and uses their expert capacities and experience. From the cooperating institutes we can name International Atomic Energy Agency with the Headquarters in Vienna, Nuclear Energy Agency in Paris, World Nuclear Association in London, World Nuclear University in London, University of Nottingham, Czech Technical University in Prague – Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering, Technical University of Ostrava, Charles University in Prague, State Office for Nuclear Safety in Prague and WISMUT GmbH.

### Conclusion

From its very day of establishment, the International Training Centre became a globally renowned facility of professional training. The number of participants – from a total of more than 20 countries – passing almost 50 distinct programmes has already reached 600.

**UNTERTAGEBERGBAU/ENDLAGER –  
ATLASTEN IM ALTBERGBAU**

**DEEP MINING/REPOSITORY SITES –  
LEGACIES IN ABANDONED MINE SITES**



## Bedeutung des staatlichen Sanierungsbergbaus im Kontext der nationalen Rohstoffstrategie Deutschlands

Michael Paul<sup>1</sup>

### Kontext

Eine stabile Rohstoffversorgung ist wesentliche Grundlage der deutschen Wirtschaft und zugleich essentiell zur Erreichung der nationalen Klimaschutzziele. Während der Bedarf an Rohstoffen für Schlüssel- und Zukunftstechnologien rasant wächst, bergen die hohe Abhängigkeit von Rohstoffimporten und die große Marktmacht einzelner Produzenten beträchtliche volkswirtschaftliche Risiken, die sich in Versorgungsengpässen und Marktverwerfungen niederschlagen. Die vor diesem Hintergrund von der Bundesregierung verfolgte nationale Rohstoffstrategie (BMW 2019, 2021; BMWK 2023) formuliert wesentliche Eckpunkte auf dem Weg zu einer nachhaltigen und resilienten Rohstoffversorgung. Neben Ressourceneffizienz und Recycling setzt sie auf Diversifizierung von Lieferketten und die Stärkung der heimischen Rohstoffwirtschaft. Als einer der weltweit größten Rohstoffkonsumenten verpflichtet sich Deutschland damit zu einer verantwortungsvollen und effizienten Rohstoffnutzung im Sinne des Leitbildes der UN-Agenda 2030.

Mit einem auf Nachhaltigkeit basierenden Grundansatz hat der seit der politischen Wende in den ostdeutschen Kohle-, Erz- und Kalirevieren betriebene staatliche Sanierungsbergbau nicht nur zur weitgehenden Beseitigung inakzeptabler Bergbaufolgen geführt, sondern auch neue Perspektiven für eine den Erwartungen der Zivilgesellschaft gerecht werdende regionale Entwicklung geschaffen. Vor diesem Hintergrund und mit Blick auf die dafür eingesetzten erheblichen öffentlichen Mittel geht der Vortrag der Frage nach, welche Bedeutung der staatliche Sanierungsbergbau künftig für die Umsetzung der nationalen Rohstoffstrategie hat und welche zusätzlichen Impulse und Beiträge hierzu von den in Bundesland befindlichen Bergbausanierungsgesellschaften erbracht werden können. Als Fallbeispiel wird vertiefend auf Ansatzpunkte und Erfahrungen eingegangen, die sich aus der Tätigkeit und dem Aufgabenportfolio der Wismut GmbH ableiten lassen.

### Kernaspekte

Maßgebliche Beiträge des Sanierungsbergbaus zur Umsetzung der nationalen Rohstoffstrategie lassen sich in folgenden vier wesentlichen Bereichen identifizieren: (a) Erfüllung des Kernmandats als Beitrag zur Erhöhung der öffentlichen Akzeptanz gegenüber dem Rohstoffsektor, (b) Internationaler Wissenstransfer, (c) Forschung und Entwicklung, (d) Unterstützung des nationalen Rohstoffsektors.

(a) *Kernmandat und Akzeptanz.* Angesichts der Tatsache, dass neue Rohstoffprojekte – national wie international – auf erheblichen und zunehmenden Widerstand in der Öffentlichkeit stoßen, kann die erfolgreiche und nachhaltige Bewältigung von negativen Bergbaufolgen dazu beitragen, die Akzeptanz der Bergbaubranche insgesamt zu erhöhen. Mangelnde Akzeptanz insbesondere der lokalen Bevölkerung zählt zu den bedeutendsten Einzelrisiken für neue Bergbauprojekte. Insofern ist die verlässliche Erfüllung des Kernmandats der Bergbausanierungsgesellschaften des Bundes, nämlich Umwelteinflüsse zu vermindern, die Wiedernutzbarkeit von ehemaligen Bergbaugebieten auf hohem Niveau zu ermöglichen und damit letztlich den Erwartungen der Zivilgesellschaft zu entsprechen, von grundlegender Bedeutung auch im Kontext der nationalen Rohstoffstrategie.

(b) *Internationaler Wissenstransfer.* In den vergangenen drei Jahrzehnten hat der staatliche Sanierungsbergbau zu einem enormen Knowhow-Zuwachs und einer Vielzahl von technisch-technologischen Entwicklungen geführt. Zu deren Umsetzung im Rahmen großer und komplexer Sanierungsvorhaben

---

<sup>1</sup> Wismut GmbH

liegen umfangreiche Erfahrungen vor. Managementstrategien und Technologien, die in Deutschland zur Sanierung sehr unterschiedlicher Arten von Bergbauhinterlassenschaften entwickelt oder validiert wurden – so zur Stabilisierung bergbaulicher Rückstände, der Behandlung von Bergbauwässern oder zur Revitalisierung von Bergbauflächen – gelten als international richtungsweisend. Deren Anwendung, Adaption und Weiterentwicklung, beispielsweise im Hinblick auf die Entwicklung von bezahlbaren nachhaltigen Stilllegungs- und Sanierungskonzepten, die Vermeidung von Ewigkeitslasten, die Verbesserung der Ökobilanzen oder die Beteiligung von Interessengruppen – kann im internationalen Rahmen dazu beitragen, belastbare strategische Ressourcenpartnerschaften aufzubauen. Bundesunternehmen beraten bereits jetzt internationale Gremien, helfen beim Aufbau von Fachkapazitäten vor Ort und bringen ihre Expertise zur Unterstützung von Projekten im Rohstoffsektor sowie bei der Sanierung von Bergbaualtlasten außerhalb Deutschlands ein. Dies ist insbesondere für rohstoffexportierende Länder des globalen Südens bedeutsam, wo die abnehmende Akzeptanz des Bergbaus in der jungen Generation gepaart mit fehlenden Nachhaltigkeitsperspektiven des Sektors den seit Jahren bestehenden, akuten Fachkräftemangel weiter verschärft.

(c) *Forschung und Entwicklung.* Das akkumulierte Wissen, umfangreiche Datenreihen, insbesondere aber der Zugang zu realen Modell-Standorten eröffnen dem Sanierungsbergbau weitreichende Möglichkeiten, als Praxispartner in nationalen wie internationalen Forschungsverbänden zu agieren. Relevante Themenbereiche umfassen innovative Ansätze im Wasser-Energie-Nexus, Dekarbonisierung und Klimaneutralität, Wertstoffgewinnung aus Bergbaurückständen, Kreislaufwirtschaft u.v.a.m.

(d) *Unterstützung des nationalen Rohstoffsektors.* Hierzu zählen die systematische Erschließung und Verfügbarmachung von Rohstoff- und rohstoffbezogenen Daten, Beiträge zur Aus- und Weiterbildung zur Sicherung des einheimischen Fachkräftebedarfs, die Bereitstellung von Infrastruktur oder Dienstleistungsangeboten (darunter Hilfeleistungen im Sicherheits- und Havariebereich, Umwelt- und Spezialmessungen, Umgang mit NORM), die Beteiligung an Aus- und Weiterbildungsformaten zur Stärkung des Rohstoffbewusstseins bis hin zur Unterstützung konkreter Rohstoffprojekte im unmittelbar eigenen Tätigkeitsbereich.

## Fazit

Die in über drei Jahrzehnten staatlichen Sanierungsbergbaus erworbene Expertise ist als wichtiges strategisches Kapital bei der Bewältigung aktueller und künftiger Herausforderungen im Kontext der nationalen Rohstoffstrategie Deutschlands zu betrachten. Die von Seiten der Sanierungsträger leistbaren Beiträge sind relevant sowohl im nationalen Rahmen als auch auf internationaler Ebene. Deren konsequente Nutzung sowie die Erschließung bisher ungenutzter Potentiale durch den gezielten Ausbau und die Stärkung bereits existierender Kompetenzen liegen im Bundesinteresse.

## Literatur

BMWi (2019): Rohstoffstrategie der Bundesregierung, 37 S.

BMWi (2021): Rohstoffe – Bergbau, Recycling, Ressourceneffizienz – wichtig für Wohlstand und Arbeitsplätze, 22 S.

BMWK (2023): Eckpunktepapier: Wege zu einer nachhaltigen und resilienten Rohstoffversorgung. - 11 S.

Paul, M.; Winde, F. (2022): Emerging Global Trends in the Extractive Industry – International Potential and Future Roles of Remediation Expertise from Germany. In: Mining Report Glückauf, 158, S. 533-546

## The significance of state-funded mine remediation in the context of Germany's national raw materials strategy

Michael Paul<sup>1</sup>

### Context

A stable supply of raw materials is an essential foundation of the German economy and at the same time crucial for achieving national climate protection goals. While the demand for raw materials for key and future technologies is growing rapidly, the high dependence on raw material imports and the market dominance of individual producers pose considerable economic risks already causing supply bottlenecks and market distortions. Against this background, the national raw materials strategy pursued by the German government (BMW<sub>i</sub> 2019, 2021; BMWK 2023) formulates key cornerstones for achieving a sustainable and resilient supply of raw materials. In addition to resource efficiency and recycling, it focuses on diversifying supply chains and strengthening domestic resource supply. As one of the world's largest consumers of raw materials, Germany is committed to the responsible and efficient use of raw materials in line with the guiding principles of the UN Agenda 2030.

With a basic approach based on sustainability, the state-funded mine remediation carried out in the East German coal, ore and potash regions since the early 1990s has not only led to the extensive elimination of unacceptable mining consequences, but also created new perspectives for a regional development that meets the expectations of civil society. Against this background, and in view of the considerable resources spent on these achievements, this paper outlines the crucial role of federally-owned rehabilitation companies for implementing the national raw materials strategy and securing sustainable economic development using experiences and activities of Wismut GmbH as a case study.

### Key aspects

The contributions of federally funded mine remediation to the implementation of the national raw materials strategy relate to the following four main areas: (a) contributing to increasing public acceptance of mineral extraction through benchmark-setting mine remediation, (b) international knowledge transfer, (c) research and development, (d) support of the national raw materials sector.

*(a) Benchmark setting mine remediation and acceptance.* Given that new extractive projects – both nationally and internationally – face significant and increasing public opposition, successfully and sustainably addressing negative mining impacts can help increase acceptance of the mining industry as a whole. Lack of acceptance, especially by the local population, is one of the most significant business risks for new mining projects. In this respect, the reliable fulfilment of the core mandate of the federal mining rehabilitation companies, namely to reduce environmental impacts, to enable the reusability of former mining areas at a high level and thus ultimately meet the expectations of civil society, is of fundamental importance in the context of the national raw materials strategy.

*(b) International knowledge transfer.* In the past three decades, state-owned rehabilitation mining has led to an enormous increase in know-how and a diversity of technical and technological developments. Extensive experience is now available on implementing these within the context of large and complex rehabilitation projects. Management strategies and technologies that have been developed or validated in Germany for rehabilitating very different types of mining legacies – e.g. the stabilization of mining residues, the treatment of mine waters, the revitalization of former mining areas – are considered to be internationally leading. Their application, adaptation and further development – for example with regard to the development of affordable sustainable decommissioning and remediation concepts, the

---

<sup>1</sup> Wismut GmbH

avoidance of perpetual economic burdens, the improvement of life cycle assessments, and the participation of stakeholders – can contribute to building resilient strategic resource partnerships with important mineral export nations. German companies are already advising international bodies and providing technical expertise to support projects in the raw materials sector and in the remediation of mine legacy sites outside Germany. This is particularly significant for resource-exporting countries in the global South, where the declining acceptance of mining among the younger generation, coupled with a lack of sustainability prospects for the sector, further exacerbates the acute shortage of skilled workforce that has existed for years.

(c) *Research and development.* The accumulated knowledge, extensive data, and especially the access to remediated mining sites with existing infrastructure open up far-reaching opportunities for mine rehabilitation companies to act as a practical partner in regional, national and international research networks. Relevant topics include innovative approaches to the water-energy nexus, decarbonisation and climate neutrality, recovery of valuable materials from mining residues, zero-waste circular economy, and many more.

(d) *Support for the national raw materials sector.* This includes the systematic development and provision of raw material and raw material-related data, contributions to education and training to secure the supply for skilled workers, the provision of infrastructure or services (including hands-on assistance to safety and emergency services, specialised environmental measurements, handling of NORM in accordance with complex national and international guidelines), participation in education and training to increase public awareness on issues surrounding raw materials and support for new local mining projects.

## Conclusion

The expertise acquired in over three decades of state-funded mine remediation is an important strategic capital for addressing current and future challenges and uncertainties as identified in Germany's national raw materials strategy. The contributions of rehabilitation companies are relevant at national as well as international level. Their active use by the Federal Government and the targeted further development and strengthening of existing competencies is thus in the federal interest.

## References

- BMWi (2019): Raw materials strategy of the federal government, 37 pp.  
BMWi (2021): Raw materials – mining, recycling, resource efficiency – important for prosperity and job creation, 22 p.  
BMWK (2023): Cornerstone paper: ways to a sustainable and resilient raw materials supply.- 11 pp.  
Paul, M.; Winde, F. (2022): Emerging Global Trends in the Extractive Industry – International Potential and Future Roles of Remediation Expertise from Germany. In: Mining Report Glückauf, 158, pp. 533-546

## Altlasten im Altbergbau: Vorbereitung Gefährdungsabschätzung Grube Morgenstern

Matthias Beyer<sup>1</sup>, Jörg Drangmeister<sup>1</sup>, Gunnar Laudel<sup>1</sup>

### Vorgeschichte

Die Grube Morgenstern ist ein stillgelegtes, kleineres Eisenerzbergwerk an der Ostflanke des südlichen Salzgitter-Höhenzuges. Bereits 1938 wurde der Bergbau in einem Tagebau aufgenommen (Trichterbau). Nachdem von 1938 bis 1939 im Liegenden der Lagerstätte der Schacht Morgenstern abgeteuft wurde, wurde über diesen das Tagebauerz wieder zu Tage gehoben. Der Schacht war 185 Meter tief; es wurden vier Tiefbausohlen (in 45, 85, 135 und 184 m Teufe) angesetzt und vorgerichtet. Der untertägige Abbau begann 1941 im Magazinbau (Kammerbauverfahren). Über Tage entstanden von 1938 bis 1940 die notwendigen Tagesanlagen sowie eine Erzaufbereitung.

1960 wurde die Grube Morgenstern mit der Grube Fortuna zum Verbundbergwerk Fortuna-Morgenstern zusammengelegt. Auf der neu aufgefahrenen 5. Tiefbausohle (Unterwerksbau) in 309 Metern unter Tage wurde Morgenstern über eine 3,7 km lange Verbindungsstrecke mit dem neuen Hauptförderschacht Fortuna 2 verbunden. Auf Fortuna wurde eine neue Zentralaufbereitung errichtet.



Abb. 1 Übersichtsplan Morgenstern / Fortuna (Luftbild)

Fig. 1 General site plan Morgenstern / Fortuna (aerial view)

Aus wirtschaftlichen Gründen erfolgte 1963 die Betriebseinstellung. Der Schacht Morgenstern wurde 1964 verfüllt. Von 1963 bis 1968 nutzte das Ehepaar Florentz die ehemaligen Bergwerksanlagen als Entsorgungsbetrieb für Chemikalienabfälle. Dabei wurden Fässer und andere Gebinde unsachgemäß in den Tagebau gestürzt und sogar Flüssigkeiten dort direkt verklappt. Da sich die Betreiber 1968 das Leben nahmen, blieben die Details bis heute im Dunkeln. Aus Sicherheitsgründen ließ der Landkreis 1970 eine Umzäunung anlegen. Am 22. November 1970 ereignete sich im Fasslager innerhalb des Tagebaus ein Großbrand, der erst im Januar 1971 endgültig gelöscht werden konnte.

Von 1976 bis 1993 wurde der ehemalige Tagebau Morgenstern als Hausmülldeponie vom Landkreis Goslar genutzt. Die endgültige Abdeckung der Hausmülldeponie erfolgte seit 2017 und ist inzwischen beendet.

---

<sup>1</sup> GICON / BGD ECOSAX

## **Altlast Grube Morgenstern**

Bereits in den 1970er Jahren wurde mit hydraulischen und chemischen Untersuchungen begonnen, um eine mögliche Schadstoffausbreitung ausgehend vom Grubengebäude Morgenstern über die Verbindungsstrecke zur Grube Fortuna bewerten zu können. Parallel wurde ab Mitte der 1990er Jahre die Sickerwasserproblematik der Hausmülldeponie, die auch in den Grubenwasserhaushalt eingriff, untersucht und bewertet.

Seit 2010 wird die Erkundung des Schadens durch den Landkreis mit Öffentlichkeitsbeteiligung offensiv durchgeführt. Der Schadensherd innerhalb des Alt-Erzbergwerks konnte lokalisiert werden, erste Sanierungsversuche wurden unternommen.

Problematisch gestaltet sich jedoch nach wie vor die Gefahrenbewertung: Im Zuge der systematischen Grund- und Grubenwasseruntersuchungen wurden erste Anzeichen für einen Schadstofftransport gefunden, gleiches gilt für den Abstrom in Nebengesteine. Bisher war jedoch nicht gelungen, dessen Frachten und Zeitabläufe genauer abzuschätzen.

Im ersten Schritt wurde ein hydrogeologisches Modell erstellt und auf dieser Grundlage mit Hilfe von vereinfachten Bilanzbetrachtungen zum Wasserhaushalt mögliche Bandbreiten von Abstrommengen errechnet. Diese ließen sich jedoch mit Felduntersuchungen nicht verifizieren.

Zur Quantifizierung der aus dem ehemaligen Bergwerk Morgenstern über die Verbindungsstrecke abströmenden Wassermengen wurde sodann durch GICON mit Hilfe von Matlab-Simulink ein Systemmodell der hydraulisch verbundenen Bergwerke unter Einbeziehung aller relevanten Randbedingungen aufgebaut und mit den über mehrere Jahre vorliegenden Monitoringdaten validiert/kalibriert. Daneben kam ein Wasserhaushaltsmodell zum Einsatz. Damit konnten die innerjährlich stark variierenden Wasserstandsverläufe in Grund- und Grubenwassermessstellen mit guter Passung nachberechnet werden. Als Ergebnis lagen weitere Aussagen zur Größenordnung der Abstrommengen vor, die von der Grube Morgenstern in Richtung des Nachbarbergwerks strömen und letztendlich in die dort angebundene Vorfluter übertreten.

Eine erste Absicherung dieser Modellaussagen erfolgte mit Hilfe von hydraulischen Tests, die im Zuge des regulären Monitorings durchgeführt wurden. Hierzu wurden spezielle Methoden einer messtechnisch qualifizierten Probenahme eingesetzt, um Kosten insbesondere für die Entsorgung kontaminierter Wässer zu vermeiden. Damit wurden erste Frachtabschätzungen zu einem möglichen Schadstofftransport für die Gefährdungsabschätzung ermöglicht.

Zwischenzeitlich wurde eine tiefe Präzisionsbohrung in die Verbindungsstrecke niedergebracht und als Messstelle ausgebaut, Videoaufnahmen im gefluteten Stollen gemacht und ergänzende Monitoringdaten erhoben. Ansätze für die Durchführung von Tracertests mussten jedoch verworfen werden, da keine geeignete Messstrecke realisierbar war.

Zur endgültigen Bestimmung der Abstrommengen durch die Verbindungsstrecke sind Mitte 2023 weitere hydraulische Tests geplant. Hierbei sollen quasi-stationäre Verhältnisse auf der Messstrecke aufgebaut werden, indem das natürliche Druckgefälle zwischen den Grubengebäuden temporär aufgehoben wird. Die Ergebnisse sind ein entscheidender Baustein für die abschließende Gefährdungsabschätzung. Über die Methodik und die Ergebnisse dieser Tests wird ebenfalls im Beitrag berichtet.

## **Literatur**

Zahlreiche Materialien zum Gesamtstandort Morgenstern sind unter [www.landkreis-goslar.de](http://www.landkreis-goslar.de) – Deponie Morgenstern / Altlast Florentz abrufbar.

## Contaminated sites in abandoned mines: Preparation of hazard assessment for the Morgenstern pit

Matthias Beyer<sup>1</sup>, Jörg Drangmeister<sup>1</sup>, Gunnar Laudel<sup>1</sup>

### Prehistory

The Morgenstern mine is a disused, small-scale iron ore mine located on the eastern flank of the southern Salzgitter Mountain range. As early as 1938, mining was started in an open pit (funnel mining). From 1938 to 1939, the Morgenstern shaft was sunk at the bottom of the deposit, and the open-cast ore was then brought to the surface. The shaft was 185 metres deep; four deep mining levels (at depths of 45, 85, 135 and 184 metres) were sunk and prepared. Underground mining began in 1941 in the magazine construction method (chamber construction method). From 1938 to 1940, the necessary surface facilities and an ore dressing plant were built.

In 1960, the Morgenstern mine was merged with the Fortuna mine to form the Fortuna-Morgenstern integrated mine. Morgenstern was connected to the new main production shaft Fortuna 2 via a 3.7 km long connecting roadway on the newly excavated 5th underground level at 309 meters below ground. A new central processing plant was built at Fortuna.

The mine was closed in 1963 for economic reasons. The Morgenstern shaft was backfilled in 1964. From 1963 to 1968, Mr. and Mrs. Florentz used the former mining facilities as a disposal plant for chemical waste. In the process, barrels and other containers were improperly dumped into the open pit and even liquids were dumped there directly. Since the operators took their own lives in 1968, the details remained obscure to this day. For safety reasons, the district had a fence built in 1970. On 22 November 1970, a major fire occurred in the barrel storage area inside the open pit mine, which could not be finally extinguished until January 1971.

From 1976 to 1993, the former Morgenstern opencast mine was used as a domestic waste dump by the Goslar district. The final capping of the domestic waste landfill was carried out in 2017 and has since been completed.

### Contaminated site of the Morgenstern pit

As early as the 1970s, hydraulic and chemical investigations were started to assess the possible spread of pollutants from the Morgenstern pit via the connecting road to the Fortuna pit. In parallel, from the mid-1990s onwards, the leachate problem of the domestic waste landfill, which also interfered with the mine water balance, was investigated and evaluated.

Since 2010, the district has been investigating the damage with public participation. It was possible to locate the source of the damage within the old ore mine, and initial remediation attempts were made.

However, the risk assessment is still problematic: During the systematic groundwater and mine water investigations, the first indications of contaminant transport were found, and the same applies to the outflow into adjacent rocks. So far, however, it has not been possible to estimate its loads and timing more precisely.

In a first step, a hydrogeological model was created and, on this basis, possible bandwidths of runoff quantities were calculated with the help of simplified balance considerations of the water balance. However, these could not be verified with field investigations.

---

<sup>1</sup> GICON / BGD ECOSAX

In order to quantify the water flowing out of the former Morgenstern mine via the connecting roadway, GICON built a system model of the hydraulically connected mines with the help of Matlab-Simulink, taking into account all relevant boundary conditions, and validated/calibrated it with the monitoring data available over several years. In addition, a water balance model was used. This made it possible to recalculate the water level trends in groundwater and mine water measuring points, which vary greatly from year to year, with a good fit. As a result, further statements were available on the order of magnitude of the discharge quantities that flows from the Morgenstern mine in the direction of the neighboring mine and ultimately spill into the receiving waters connected there.

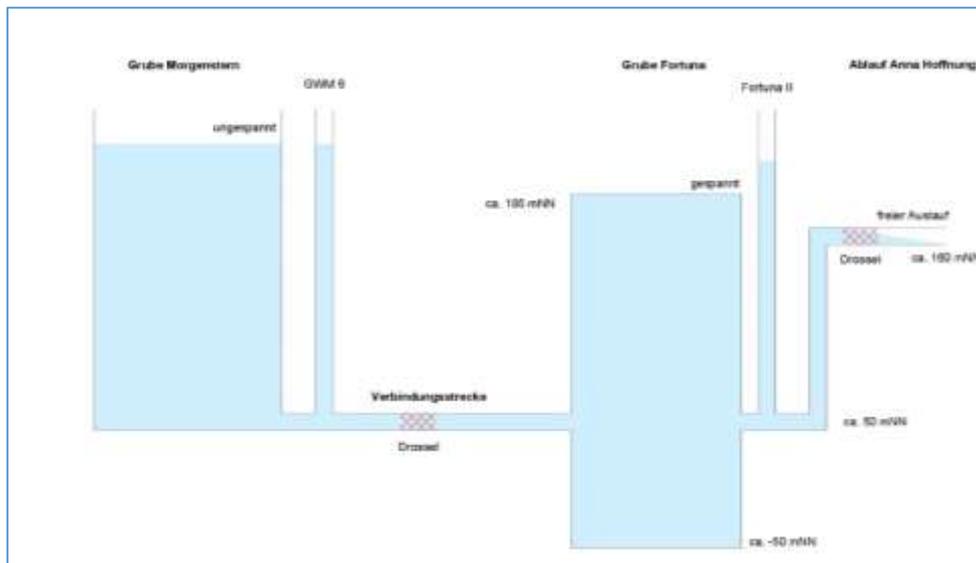


Abb. 2 vereinfachte Darstellung des hydraulischen Systems Morgenstern – Fortuna (ohne detaillierte Randbedingungen).  
Fig. 2 Simplified representation of the Morgenstern – Fortuna hydraulic system (without detailed boundary conditions)

An initial validation of these model statements was carried out with the help of hydraulic tests, which were carried out during regular monitoring. Special methods of qualified sampling were used to avoid costs, especially for the disposal of contaminated water. This enabled initial freight estimates of possible pollutant transport for the hazard assessment.

In the meantime, a deep precision borehole was drilled into the connecting section and developed as a measuring point. Video recordings were made in the flooded gallery and supplementary monitoring data were collected. Approaches for conducting tracer tests had to be discarded, however, as no suitable measuring section could be realized.

Further hydraulic tests are planned for mid-2023 to finally determine the flow rates through the connecting section. Quasi-stationary conditions are to be established on the measuring section by temporarily removing the natural pressure gradient between the mine buildings. The results are a decisive building block for the final hazard assessment. The methodology and results of these tests are also reported in the paper.

## References

Numerous materials on the entire Morgenstern site are available at [www.landkreis-goslar.de](http://www.landkreis-goslar.de) – Deponie Morgenstern / Altlast Florentz.

## Errichtung des Anschlussbergwerks Asse 5

Dr. Thomas Lautsch<sup>1</sup>

### Errichtung des Anschlussbergwerks Asse 5

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) mit Sitz in Peine ist unter anderem mit der Stilllegung der Schachtanlage Asse II, nach Rückholung der radioaktiven Abfälle beauftragt.

### Schachtanlage Asse II – Historie

Der Schacht Asse 2 wurde zwischen 1906 und 1908 bis in eine Teufe von 765m abgeteuft. Um eine größtmögliche Gewinnung zu realisieren, wurden für das Bergwerk drei Baufelder angelegt.

Der Salzbergbau wurde 1964 auf der Asse II beendet. Der Durchbauungsgrad im Bereich der Südflanke des Bergwerks Asse II beträgt mehr als 50 %. Die Abbauhohlräume sind zunächst nicht versetzt worden, deshalb ging das Tragwerk des Bergwerks seit den 1980er Jahren zunehmend in den Zustand der Bruchverformung über.

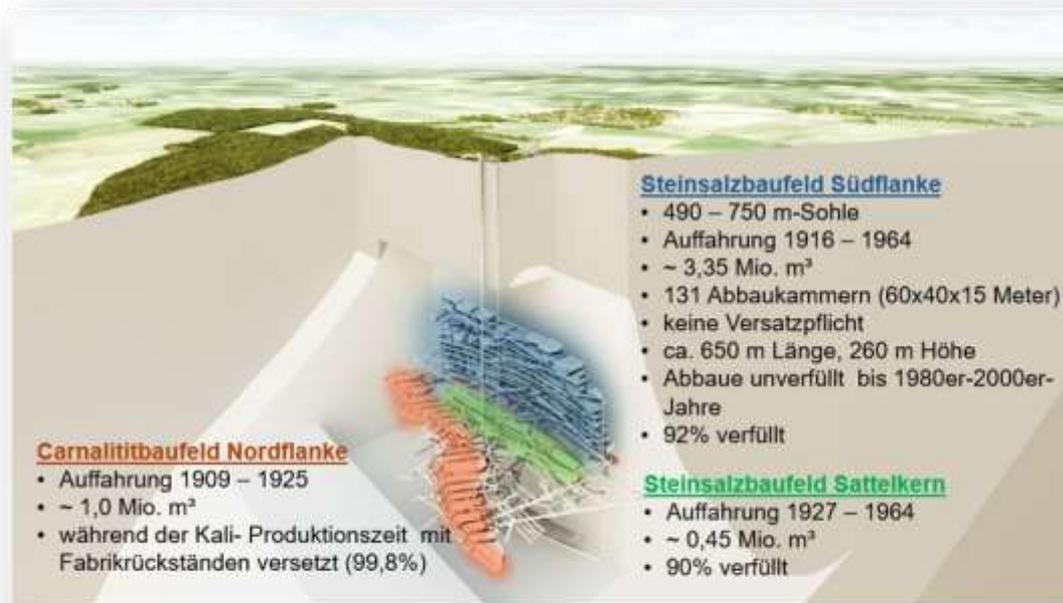


Abb. 1 Abbauhohlräume

Fig. 1 mining cavities

Im Jahr 1965 kaufte der Bund das Bergwerk und nutzt es als Forschungsbergwerk für die Einlagerung radioaktiver Abfälle.

In das ehemalige Kali- und Steinsalzbergwerk Asse II wurden im Zeitraum von 1967 bis 1978 schwach- und mittelradioaktive Abfälle in 13 Einlagerungskammern eingelagert. Seit 1988 werden Lösungszutritte aus dem Nebengebirge in die Schachtanlage beobachtet, die aus der Schädigung des

<sup>1</sup> Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH

Nebengebirges und dem Verlust der Barriereintegrität infolge der langjährigen Steinsalzgewinnung resultieren. Diese betragen aktuell etwa 12 bis 14 m<sup>3</sup> pro Tag. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Lösungszutritte in Zukunft zunehmen und ein Absaufen des Bergwerkes droht.

Am 20.04.2013 wurde im Bundestag das „Gesetz zur Beschleunigung der Rückholung radioaktiver Abfälle und der Stilllegung der Schachanlage Asse II“ beschlossen. Demzufolge ist nach § 57b Abs. 2 Atomgesetz (AtG) die Schachanlage Asse II unverzüglich stillzulegen, nach Rückholung der radioaktiven Abfälle. Die Rückholung und damit auch deren Planung sind somit gesetzlicher Auftrag.

Um diesen gesetzlichen Auftrag gerecht zu werden, plant und baut die BGE das Rückholbergwerk Schacht Asse 5.

Das Rückholbergwerk Asse 5 besteht aus den Tagesanlagen, einem neuen Abwetterschacht mit Diffusor, zwei Füllrörtern und den Anschlussstrecken an das bestehende Bergwerk. Die größte Herausforderung besteht darin, in der beengten und tektonisch beanspruchten Salzstruktur östlich des Bestandsbergwerkes Grubenbaue zu errichten, die alle nach Atomrecht erforderlichen Sicherheitsnachweise ermöglichen. In den Jahren 2019 bis 2023 wurde eine umfangreiche Explorationskampagne bestehend aus einer 3-D Seismik, 4 Tagesbohrungen und 5 Horizontalbohrungen aus dem bestehenden Bergwerk heraus durchgeführt mit dem Ziel, die Ungewissheiten bei dieser anspruchsvollen Aufgabe zu verringern.

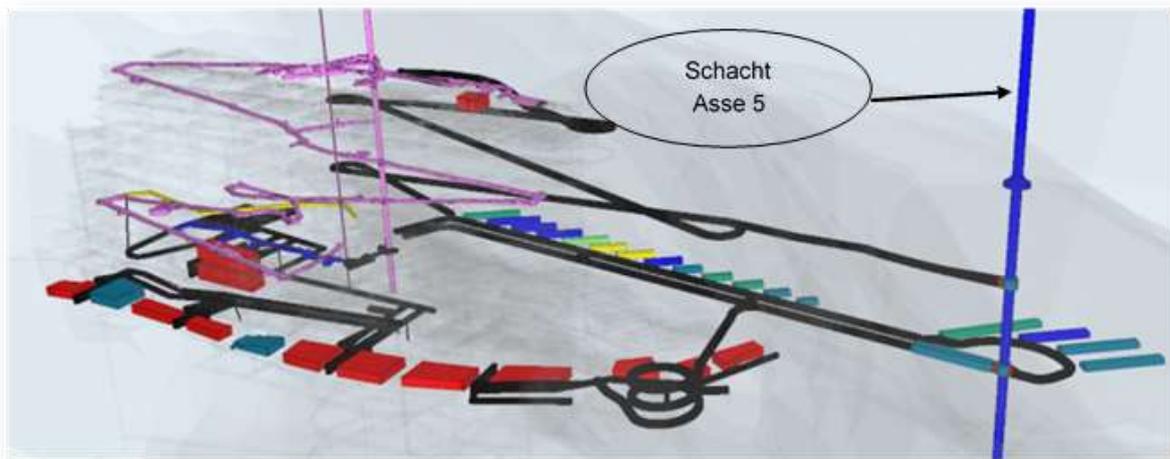


Abb. 2 Rückholbergwerk  
Fig. 2 return mine

## Construction of the Asse 5 connection mine

Dr. Thomas Lautsch<sup>1</sup>

### Construction of the Asse 5 connection mine

The Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) based in Peine, has among other tasks been commissioned with the decommissioning of the Asse II mine after retrieving the radioactive waste that is contained therein.

### Asse II mine – history

The Asse 2 shaft was sinking between 1906 and 1908 to a depth of 765m. In order to achieve the largest possible extraction, three construction sites were created for the mine. Salt mining on Asse II ended in 1964. The degree of development in the area of the southern flank of the Asse II mine is more than 50%. The excavation cavities were initially not relocated, which is why the structure of the changed more and more into a state of fracture deformation since the 1980s.

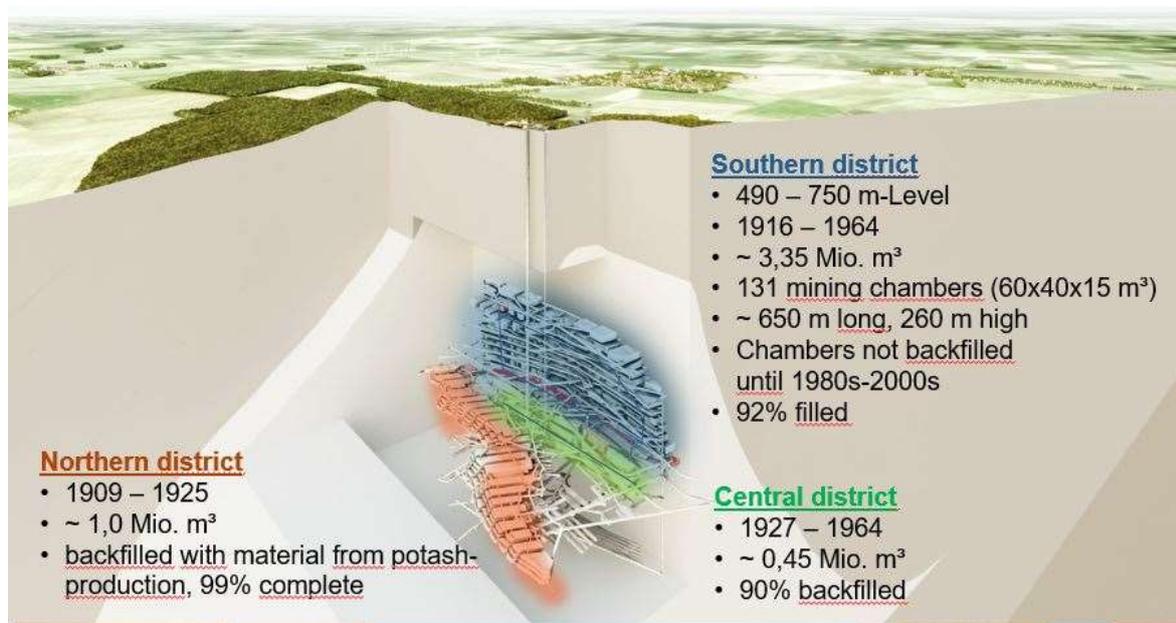


Abb. 1 Abbauhohlräume  
Fig. 1 mining cavities

In 1965, the federal government bought the mine and used it as a research mine for storing radioactive waste. In the period from 1967 to 1978, low-level and medium-level radioactive waste was stored in 13 emplacement chambers in the former Asse II potash and rock salt mine. Since 1988, ingress of solution from the adjacent rock into the mine has been observed, resulting from damage to the adjacent rock and the loss of barrier integrity as a result of years of rock salt mining. These are currently around 12 to 14 m<sup>3</sup> per day. It cannot be ruled out that the inflow of solution will increase in the future and that the mine is at risk of flooding.

On April 20, 2013, the "Act to accelerate the retrieval of radioactive waste and the decommissioning of the Asse II mine" was passed in the German Bundestag. Consequently, according to Section 57b,

<sup>1</sup> Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH

paragraph 2 of the Atomic Energy Act (AtG), the Asse II mine must be shut down immediately after the radioactive waste has been retrieved. The retrieval and its planning are therefore a legal order.

In order to fulfill this legal mandate, the BGE is planning and building the return mine at Schacht Asse 5.

The retrieval mine Asse 5 consists of surface facilities, a new return shaft including diffusor, 2 inlets und the main development to connect to the existing mine. The biggest challenge is to comply with all nuclear safety standards in a narrow and irregular salt structure. Between 2019 and 2023 explored the salt dome to the East of the existing mine with a 3-D seismic campaign, 4 drill holes from the surface and 5 horizontal exploration drillings from existing mine workings. The exploration target is to reduce uncertainty.

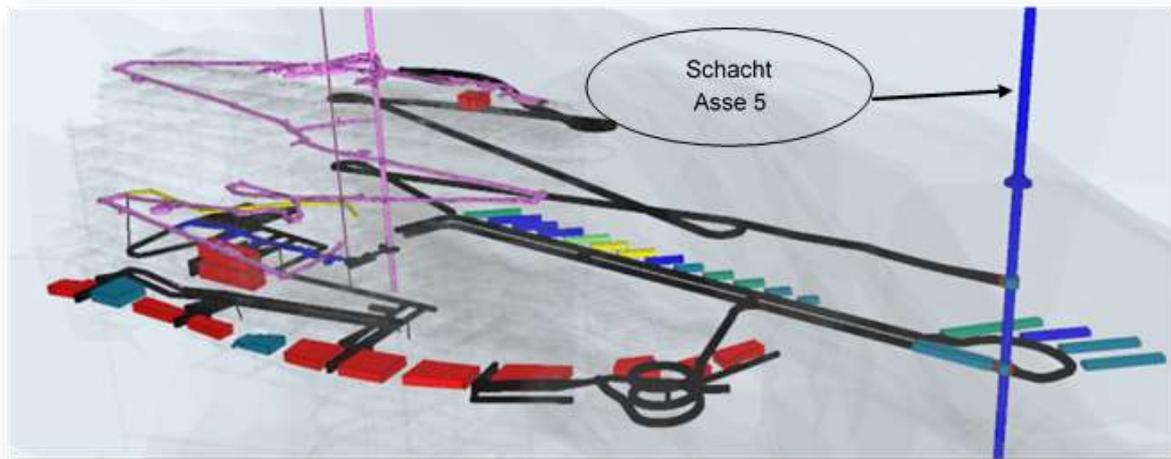


Abb. 2 Rückholbergwerk  
Fig. 2 return mine

## Endlager “Konrad” – Randbedingungen und Herausforderungen des untertägigen Ausbaus

Jana Heymann<sup>1</sup>

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) rüstet das ehemalige Eisenerzbergwerk Konrad zu einem Endlager für feste und verfestigte radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung um. Der dafür erforderliche Umbau der Schachtanlage beinhaltet das Erweitern bestehender sowie das Auffahren und Sichern neuer Grubenräume in für den Bergbau unüblichen Dimensionen. Im Rahmen dieser Bearbeitung ist eine bislang unvergleichbare Planungssituation zu meistern.

Seit Planungsbeginn im Jahre 2010 wurden dafür dreidimensionale numerische Berechnungen zur Parameterkalibrierung und Standsicherheitsberechnung durchgeführt. Die Planung der Systemankerung und des Ausbausystems erfolgten auf Basis anfänglich noch nicht alltäglicher dreidimensionaler CAD-Modelle, welche eine einwandfreie Kollisionsprüfung und Festlegung der Vielzahl von Ankern in den durch einen hohen Durchbauungsgrad geprägten Grubenräumen ermöglichten. Im Ergebnis ist die Standsicherheit des Grubengebäudes für eine 40-jährige sanierungsfreie Betriebszeit zu gewährleisten.



Abbildung 1: Blick in das Füllort 2. Sohle während der Sohlauffahrung links sowie Auszug aus BIM-Modell rechts  
Figure 1: View of the filling point 2nd level during the levelling process on the left and excerpt from the BIM model on the right

Die betreffenden Strecken und Kreuzungsbauwerke auf der 2. Sohle (ca. 850 m unter Geländeoberkante) werden in Anlehnung an die Neue Österreichische Tunnelbauweise (NÖT) aufgeföhrt und in zwei Phasen gesichert. Nach der Aufföhrtung wird zunächst ein nachgiebiger Ausbau in Form eines Anker-Spritzbetonausbaus gestellt, der nach Ablauf der Konvergenzzeit in der zweiten Phase durch eine bewehrte Stahlbetonschale ergänzt wird. Sämtliche Bauphasen von Aufföhrtungsbeginn bis zum Einbau der Innenschale werden dabei durch Beobachtungsmethoden des Eurocode 7 gutachterlich begleitet.

Die Autorin stellt die für die Sicherung erforderliche etappenweise Planung der untertägigen Grubenräume vor. Insbesondere ist dabei eine Auseinandersetzung mit den geotechnischen Zuständen, den logistischen Randbedingungen und den Sicherheitsbedürfnissen von Bergwerk und Einlagerungsbetrieb erforderlich. Durch die Verschneidung der verschiedenen Sicherheitsbedürfnisse des konstruktiven Ingenieurbaus mit denen des untertägigen Bergbaus stellt dieses Projekt eine besondere Herausforderung an die beteiligten Fachplaner.

Ergänzend zu Planung und Bau der tragenden Innenschale ist für den zukünftigen Einlagerungsbetrieb eine umfangreiche Anlagentechnik vorgesehen, welche im Bereich des Füllorts die einzulagernden Gebinde vom Vertikal- in den Horizontaltransport umschlagen wird. Von dort transportieren Fahrzeuge die Abfallgebände in die Einlagerungskammern. Um diese komplexe Situation des iterativen, durch die

---

<sup>1</sup> CDM Smith Consult GmbH und BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH

zweiphasige Grubenraumsicherung geprägten, Planungsprozesses mit zahlreichen Fachplanern zu beherrschen, kommen zur Koordinierung und Kollisionsprüfung verschiedene Methoden des Building Information Modelling (BIM) zum Einsatz.

Der Vortrag gibt einen Einblick in den Planungsprozess, stellt den aktuellen Projektstand vor und schließt mit einem kurzen Ausblick zu den noch anstehenden Aufgaben ab.

## Repository „Konrad“ – Prerequisites and Technical Challenges of the Underground Support System

Jana Heymann<sup>1</sup>

The Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) is converting the former Konrad iron ore mine into a repository for solid and solidified radioactive waste with negligible heat generation. The conversion of the mine required for this includes expansions of existing galleries as well as driving and securing of new ones in such dimensions that are unusual for the underground mining environment. Within the framework of this task, a hitherto incomparable planning situation must be mastered.

Since planning began in 2010, three-dimensional numerical calculations for parameter calibration and stability calculations have been carried out. The planning of the system-anchoring and the support system was based on initially unusual three-dimensional CAD models, which enabled a flawless collision check and determination of the large number of anchors in rooms and roads of the mine, which are characterized by a high number of mine workings in this area. As a result, the stability of the mine building is to be guaranteed for a 40-year operating period without refurbishment.



Abbildung 2: Blick in das Füllort 2. Sohle während der Sohlauffahrung links sowie Auszug aus BIM-Modell rechts  
Figure 1: View of the filling point 2nd level during the levelling process on the left and excerpt from the BIM model on the right

The relevant galleries and tunnel-style intersections on level 2 (approx. 850 m below ground level) are being excavated based on the New Austrian Tunnelling Method (NAT) and secured in two phases. After the excavation, a flexible lining in the form of an anchor shotcrete lining is initially applied, which is supplemented by a reinforced concrete shell in the second phase after the end of the convergence time. All construction phases from the beginning of the heading to the installation of the inner shell are accompanied by experts using observation methods of Eurocode 7.

The author present the step-by-step planning of the underground mine spaces required for the support. It is necessary to deal with the geotechnical conditions, the logistical boundary conditions, and the safety requirements of the mine as well as the repository. Due to integration of the various safety requirements of structural engineering with those of underground mining, this project poses a particular challenge to the specialist planners involved.

In addition to the planning and construction of the supporting inner shell, extensive system technology is planned for future storage operations, which will transport the containers from vertical to horizontal direction in this area of the filling point. From there, vehicles transport the waste packages to the storage chambers. To cope with this complex situation of the iterative planning processes, which is characterized by the two-phase mine area safety, with numerous specialist planners, various methods of Building Information Modelling (BIM) are used for coordination and collision checking.

---

<sup>1</sup> CDM Smith Consult GmbH and BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH

The presentation gives an insight into the planning process, presents the current project status, and concludes with a brief outlook on the tasks still to come.

**NORM-MANAGEMENT**  
**NORM-MANAGEMENT**



## Wertschöpfung und Nutzungsoptionen von NORM-Rückständen im Kontext der Kreislaufwirtschaft

Prof. Dr. Julian Hilton<sup>1</sup>

### Einleitung und Ziel

Dieser Artikel konzentriert sich auf das NORM-Management-Thema der WisSym 2023 und befasst sich mit den sozialen, ökologischen und wirtschaftlichen Aspekten des Begriffs „NORM-Management“, einschließlich der Ressourcenklassifizierung und -regulierung sowie dem dazu erforderlichen Arbeitsumfang innerhalb der Kreislaufwirtschaft.

### Kurzfassung

Die Argumentation des Artikels berücksichtigt die offensichtlichen Verbindungen zu den zugehörigen Konferenzthemen progressiver bzw. disruptiver, transformativer Ansätze für ein nachhaltiges NORM-Sekundärressourcenmanagement, einschließlich sozialer Akzeptanz, verantwortungsvoller Regulierung und Innovationen zur Erreichung von Nachhaltigkeit. Insgesamt legt der diskutierte Fall nahe, dass der Grad, in dem eine systematische Verwertung von NORM-Abfällen und -Rückständen erreicht wird, die zum Verschwinden von Abfallprodukten führt, entscheidend für den erfolgreichen Übergang zur Kreislaufwirtschaft ist. Diese Ziele sind daher von zentraler Bedeutung für die Arbeitsgruppe 5 (WG5) des IAEA-Environet-Programms und für das von ihr derzeit erarbeitete technische IAEA-Dokument zum Umgang mit NORM-Rückständen, dessen Veröffentlichung für Ende 2024 geplant ist. Vor diesem Hintergrund lädt der Artikel die Konferenzteilnehmer zu Kommentaren und Diskussionen folgender Themen ein:

1. innerhalb eines kreislauforientierten, wirtschaftspolitischen Rahmens, der im Großen und Ganzen dem des Green Deals der EU ähnelt, wird geprüft, wie Neuklassifizierungs- und Regulierungsverfahren innerhalb des NORM-Ressourcenmanagements am besten aufgebaut und umgesetzt werden können, mit dem Ziel „Abfälle“ in „wiederverwendbare Nebenprodukte“ bzw. „Produktrohstoffe“ umzuwandeln
2. Entwicklung einer Neuinterpretation des NORM-Ressourcenmanagements, in der das nicht mehr funktionierende lineare Modell der Abfallerzeugung als Wirtschaftskosten des Werterhalts bzw. der Wertschöpfung von NORM-Ressourcen dargestellt wird
3. Einsparung von Primärressourcen durch deren standardmäßige Substitution mittels Sekundärressourcen wo dies möglich ist, ergänzt durch optimierte Nutzungseffizienz (Zero-Waste) mittels Schließung von Kreisläufen der Lebenszyklen von Ressourcen und Eliminierung vermeidbarer Verluste und Abfälle
4. Entwicklung sowohl rechtlicher Rahmenbedingungen als auch damit verbundener steuerlicher und politischer Maßnahmen sowie von Anreizen zur Förderung umfangreicher Investitionen in neue Verarbeitungstechnologien, neue Produktentwicklungsstrategien und damit verbundene, innovative Geschäftsmodelle, um so einen neuen Markt für Sekundärrohstoffe mit umfassenden BIP-Mehrwert zu schaffen
5. Verpflichtung zur vollständigen Einhaltung der Netto-Null-Ziele durch jedes Land und Berichterstattung darüber, insbesondere im Hinblick auf die Erfüllung der Energieintensitäts- und Treibhausgasemissionsziele beim Übergang zu grünen Energiequellen

---

<sup>1</sup> Chairman, Aleff Group

6. Der Zweck des Beitrages besteht darin, basierend auf Konferenzergebnissen und Kommentaren zum veröffentlichten Artikel, die operative Planung und praktische Umsetzung zu gestalten und im technischen Dokument der IAEA festzuhalten, einschließlich des wahrscheinlichen Investitionsbedarfs.

Die Übernahme dieser Grundsätze und damit verbundener Praktiken wird dauerhaft von Technologien des NORM-Ressourcenmanagements über den gesamten Lebenszyklus begleitet – einschließlich vollständiger Nachverfolgung und Rückverfolgbarkeit – um Transparenz für Stakeholder und eine verbesserte gesellschaftliche Akzeptanz zu gewährleisten. Die bisherigen Erkenntnisse darüber, wo die Kreislaufwirtschaft und damit verbundene Klimaschutzmaßnahmen sowie ESG-Investitionsgrundsätze entweder Anzeichen von Akzeptanz und Einhaltung oder Widerstand gegen Veränderungen zeigen, legen nahe, dass ein reibungsloser und gerechter Übergang schwierig sein wird. In einigen, wenn nicht sogar allen Fällen, werden staatliche Interventionen erforderlich sein, die denen ähneln, die a) zur Schaffung und Förderung erneuerbarer Energiemärkte für Wind- und Solarenergie und b) zur Bekämpfung von COVID ergriffen wurden, um zu einer zirkulären industriellen Wertschöpfungskette überzugehen. Um zunächst eine breite gesellschaftliche Akzeptanz zu erlangen und dann dauerhaft aufrechtzuerhalten, ist eine grundlegende Verhaltens- und Einstellungsänderung unerlässlich, insbesondere des Leitungspersonals und der Investoren der vielen und sehr unterschiedlichen Organisationen, Unternehmen sowie der gesamten Gesellschaft. Diese Veränderung muss langfristig auf einer messbaren, gerechten Aufteilung der Vorteile basieren, die sich aus solchen veränderten Verhaltensweisen ergeben, sei es für den Einzelnen, die Gemeinschaft oder die Gesellschaft als Ganzes. Eine wohlüberlegte Kombination von Ermutigung und Zwang zu solchen Veränderungen ist unerlässlich. Dies erfordert die Akzeptanz neuer Nuancen in den Grundsätzen des Strahlenschutzes, wie sie auf NORM angewendet werden, wie beispielsweise die Verlagerung der Regulierungsschwerpunkte „Rechtfertigung“ und „Optimierung“ a) von der Messung der Aktivitätskonzentration von NORM-Materialien (deterministisch/ materialbezogen) hin zu effektiver Dosisberechnung (empirisch/ Mensch- und Umwelt bezogen), was zu b) einem abgestuften Ansatz führt, der akzeptiert, dass „tolerierbare Risiken und Schäden“ akzeptabel sind, wenn die Vorteile dieser Vorgehensweise Einzel- und Kollektivrisiken deutlich überwiegen. Die daraus resultierende Erzählung wird erklären, wie vorteilhaft der Übergang im Ressourcenmanagement von einem eindimensionalen, linearen zu einem zirkulären, ganzheitlichen Modell aus ökologischer, sozialer und wirtschaftlicher Sicht ist. Im linearen Paradigma werden alle NORM-Ressourcen als unvermeidbare, standardisierte, greifbare „fungible Tokens“ (FT, austauschbare Gegenstände) mit hohem negativem Wert klassifiziert. Im zirkulären Paradigma basiert das Ressourcenmanagement auf den „Resource as a Service“ (RaaS, Ressource als Dienstleistung) -Prinzipien, bei denen NORM-Ressourcen alle „non-fungible Token“ (NFTs, also nicht-austauschbare Gegenstände) sind. Jeder NFT hat damit dann eine einzigartige Herkunft und Beschaffenheit, deren inhärenter Wert dann freigesetzt wird, wenn die Eigenschaften der Materialien mit dem immateriellen Know-how und der Erfahrung derjenigen zusammenreffen, die sie für eine Nachnutzung und dauerhafte Rückgewinnung und Wiederverwendung vorbereiten. Wenn für einige NORM-Ressourcen keine aktuelle Nutzung bekannt oder kurzfristig vorhersehbar ist, werden diese Materialien charakterisiert, inventarisiert und unter „zukunftsicheren“ Bedingungen und Einrichtungen eingelagert.

## Literatur

- The EU Critical Raw Materials Act draft, March 16, 2023, [https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/european-critical-raw-materials-act\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/european-critical-raw-materials-act_en),  
Investigating Europe's secondary raw material markets, March 12, 2023) <https://www.eea.europa.eu/publications/investigating-europes-secondary-raw-material>)

## Valorisation and Beneficial Uses of NORM Residues in the Scope and Context of the Circular Economy

Prof. Dr. Julian Hilton<sup>1</sup>

### Introduction and objective

Focused on the NORM Management track for WisSym 2023, this paper addresses the social, environmental and economic issues covered by the phrase “NORM management”, including resource classification and regulation, and the related scope of work that will be needed to deal with them within a circular economic framework.

### Abstract

The arguments takes into account the obvious linkages to the related conference themes of progressive vs disruptive, transformative approaches to sustainable NORM secondary resource management, including social (stakeholder) acceptance, responsible governance and innovation for sustainability. Taken together the case developed proposes that the degree to which systematic valorisation of NORM tailings and residues, resulting in End of Waste, is achieved will be definitive of our overall success in facing the challenges and opportunities that the Circular Economy transition brings. These goals are central to the Terms of Reference of the IAEA Environet Programme Working Group 5 (WG5) and to the resultant Technical Document for managing NORM residues and tailings that Environet WG5 is currently working on for publication by IAEA in late 2024. To facilitate this work, the paper opens up for conference participant comment and debate the following issues:

1. within a circular economic policy framework, broadly similar to that outlined in the EU Green Deal, considering how best to build and implement a NORM resource management reclassification and regulation procedure, transforming “wastes” into “reusable co-product or by-product raw materials”
2. developing a NORM resource management narrative, resetting the broken linear model of waste as cost of doing business to value- preservation of, or value-add to, NORM resources
3. conserving primary resources by defaulting first to substitution where feasible of secondary for primary resources, complemented by optimised use efficiency (Zero Waste) resulting from closing resource life-cycle loops and by the elimination of avoidable losses and wastes
4. developing both legal frameworks and related fiscal and policies and incentives to encourage and significant investment in new processing technologies, new product development strategies and related innovative business models to release extensive GDP value-add from creating a new market for secondary raw materials.
5. committing to and reporting of full compliance with net zero targets by country, most notably in regard to meeting energy intensity and GHG emissions targets with transition to green energy sources, notably renewable and nuclear.
6. The wider purpose is to draw on conference findings and on the comments the published paper then elicits, for shaping the operational planning and practical implementation purposes, to be captured into the IAEA Technical Document, including likely investment needs.

Adoption of these principles and the practices entailed in following them, is accompanied by indefinite, whole-lifecycle NORM resource management technologies and practices – including full tracking and traceability – to ensure stakeholder transparency and enhanced social acceptance.

Based on evidence to date of where the circular economy and related climate action policies, and ESG-investment principles, are showing either signs of adoption and compliance, or of resistance to

---

<sup>1</sup> Chairman, Aleff Group

change, it is clear that a smooth and just transition will be hard to achieve. Government interventions similar to those adopted in a) creating and fostering renewable energy markets for wind and solar, and b) countering COVID will, in some if not all instances, be needed to transition to a circular industrial value-chain.

To first gain and then indefinitely maintain widespread social acceptance a related fundamental behavioural and attitudinal change is essential, notably in the leaderships of and investors in the many and diverse organisations, enterprises as well as across societies as a whole. The change must be grounded long-term in measurable, equitable sharing of the benefits that will flow from such changed behaviours, whether to the individual, the community or society as whole. A judiciously balanced combination of measures to encourage and enforce such changes is essential. This will entail accepting new nuances in the principles of radiation protection as applied to NORM, as for example moving the regulatory foci of “justification” and “optimisation” a) from measuring activity concentration of NORM materials (deterministic/ materials-centric) to effective dose calculation (empirical/ people- and environment-centric), resulting in b) a graded approach that accepts that “tolerable risk and harm” can be taken into account where the benefits of so doing significantly outweigh the risks, both individually and collectively.

The resultant narrative will explain how beneficial in terms of environmental, social and economic, will be the transition in resource management from a one-dimensional, linear to a circular, holistic model. In the linear paradigm, all NORM resources are classed as unavoidable, standardised, tangible, “fungible tokens” (FT) of high negative value. In the circular paradigm, resource management is grounded in “Resource as a Service” (RaaS) principles, in which NORM resources are all “non-fungible tokens” (NFTs). Each NFT has unique provenance and nature, from which value is released when the inherent properties of the materials are met with the intangible know-how and experience of those who are preparing them for beneficial use and indefinite recovery and reuse. And where no current use for some NORM resources is known or foreseeable in the short-term, these materials are characterised, inventoried and stored in “future-proofed” conditions and facilities.

## References

- The EU Critical Raw Materials Act draft, March 16, 2023, [https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/european-critical-raw-materials-act\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/european-critical-raw-materials-act_en),  
Investigating Europe's secondary raw material markets, March 12, 2023) <https://www.eea.europa.eu/publications/investigating-europes-secondary-raw-material>

## Verwendung von Baryt zur Minderung von $^{226}\text{Ra}$ in NORM-Bergbauabgängen aus Erz mit hohem U-Gehalt - Saskatchewan, Kanada

Clémence Besançon<sup>1</sup>, Paul Sardini<sup>2</sup>, Sébastien Savoye<sup>3</sup>, Kebbi Hughes<sup>4</sup>, Hamid Mokhtari<sup>4</sup>, Martine Gérard<sup>5</sup>, Michael Descostes<sup>1</sup>

### Zusammenhang

Das Radium-226 ist das vorherrschende Radionuklid der meisten NORM-Abfälle (Naturally Occurring Radioactive Material). Es ist von besonderem Interesse für die kanadischen U-Minen mit hochgradigem Erz, die Bergbauabgängen vom Typ NORM produzieren. Das in der Mühle McClean Lake – Saskatchewan, Kanada – behandelte Erz hat Aktivitätswerte von durchschnittlich 2200 Bq/g  $^{238}\text{U}$  (entspricht  $1,8 \times 10^5$  ppm) und  $^{226}\text{Ra}$  (60 ppb), und die Rückgewinnungsrate für U beträgt 99 %. Rückstände von U-Minenmühlen sind sulfatreiche, schwach radioaktive Abfälle, die  $^{226}\text{Ra}$  enthalten und Aktivitäten von bis zu 3000 Bq/g aufweisen. Das Volumen der von der McClean Lake-Mühle produzierten Bergbauabgängen beträgt über 2 Mt. Der Gesamtbestand an U- Bergbauabgängen in Kanada beträgt 218 Mt. (Natural Resources Canada, 2021)

Das  $^{226}\text{Ra}$  ist eine der Hauptverunreinigungen, die für die Entsorgung der Bergbauabgängen von Interesse und umweltbedenklich ist, insbesondere wegen seines Zerfallsprodukts  $^{222}\text{Rn}$ . In der McClean Lake-Mühle wird  $\text{BaCl}_2$  hinzugefügt, um das  $^{226}\text{Ra}$  in Baryt als feste Lösung auszufällen. Nach dieser Neutralisationsbehandlung wird das  $^{226}\text{Ra}$  in den Bergbauabgängen im Allgemeinen als in Baryt ( $\text{BaSO}_4$ ) sequestriert und an Ferrihydrit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) sorbiert angesehen, und die Bergbauabgängen werden unter einer Wasserabdeckung gelagert, die als radiologische Barriere dient. (Robertson et al., 2019)

Ein besseres Verständnis der Retentionsprozesse von dem  $^{226}\text{Ra}$  in den Bergbauabgängen ist notwendig, um das Verhalten und die chemische Stabilität der NORM-Bergbauabgängen langfristig vorherzusagen, aber auch um die in der Anlage verwendeten Neutralisationsprozesse zu optimieren.

### Strategie der Studie

Um die Stabilität von dem  $^{226}\text{Ra}$  in den Bergbauabgängen nach der  $\text{BaCl}_2$ -Zugabe zu beurteilen, wurde eine umfassende Untersuchung des Retentionspotentials für das  $^{226}\text{Ra}$  in den Bergbauabgängen durchgeführt. Als Ultrapurenelement wird das  $^{226}\text{Ra}$  nicht mit üblichen Techniken gemessen. Die Alpha-Autoradiographie dient der direkten Beobachtung der räumlichen Verteilung von Alphastrahlern und erfordert keine chemische Modifikation der Probe. (Besançon et al., 2022)

Die Charakterisierungen beinhalten Chemie, Mineralogie, Kationenaustauschkapazitätsmessung, REM/EDS und Alpha-Autoradiographie-Analysen, ergänzt durch thermodynamische Modellierung. Dieser Ansatz wird in Abb. 1 zusammengefasst.

---

<sup>1</sup> ORANO Mining, Env. R&D Dpt

<sup>2</sup> Institut de Chimie des Milieux et des Matériaux de Poitiers (IC2MP), Université de Poitiers

<sup>3</sup> Université Paris-Saclay CEA, Service de Physico-Chimie

<sup>4</sup> Orano Canada Inc

<sup>5</sup> Sorbonne Université, CNRS UMR7590, MNHN, IRD, IMPMC

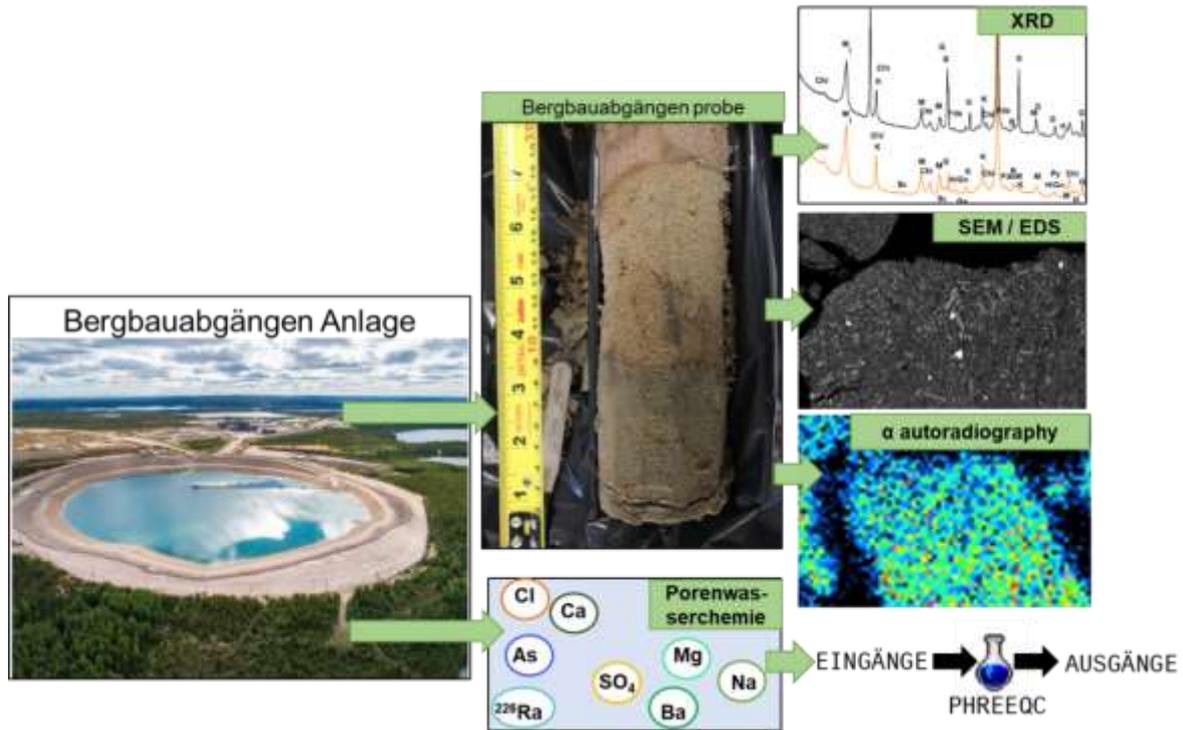


Abb. 1 Analytisches Schema für die Suche nach mineralische  $^{226}\text{Ra}$ -Bindephase in dieser Studie  
 Fig. 1 Analytical scheme for the search for  $^{226}\text{Ra}$  retention mineral phases in this study

## Resultate und Diskussion

Die Ergebnisse bestätigen, dass Baryt die Hauptbindephase für das  $^{226}\text{Ra}$  in den Bergbauabgängen ist, in Übereinstimmung mit der im Porenwasser gemessenen  $^{226}\text{Ra}$ -Konzentration (6 Bq/l), die aus einer Kopräzipitationsreaktion stammt. Der Beitrag der Sorptionsmechanismen ist minimal. Ein (Ba,Ra) $\text{SO}_4$ -Mischkristall steuert die  $^{226}\text{Ra}$ -Konzentration jetzt und langfristig über einen Verteilungskoeffizienten, der einer langfristigen Verschiebung in Richtung eines Rekristallisationsgleichgewichts unterliegt. Diese Verschiebung bewirkt eine nachfolgende Erhöhung der Langzeitkonzentration von dem  $^{226}\text{Ra}$  im Bergbauabgängen-Wasser auf 10 Bq/L. Diese Gleichgewichtsänderung wird durch die wässrige Chemie des Bergbauabgängen bestätigt.

Das Wissen über den Rückhalte Mechanismus des  $^{226}\text{Ra}$  in den Bergbauabgängen ist von wesentlicher Bedeutung und wird die Entwicklung von Vorhersagemodellen speisen. All diese Ergebnisse ermöglichen es uns, die Managementstrategie der Bergbauabgängen besser einzuschätzen, indem sichergestellt wird, dass die Bergbauabgängen keine signifikanten Auswirkungen auf die nachgelagerte Umwelt haben, die langfristig geschützt bleibt.

## Literatur

- Besançon, C., Sardini, P., Savoye, S., Descostes, M., Gérard, M. (2022). Quantifying  $^{226}\text{Ra}$  activity in a complex assemblage of  $^{226}\text{Ra}$ -bearing minerals using alpha autoradiography and SEM/EDS. *J. Environ. Radioact.* 251–252, 106951. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106951>
- Natural Resources Canada (2021). Inventory of radioactive waste in Canada 2019. 978-0-660-39983
- Robertson, J., Hendry, M.J., Kotzer, T., Hughes, K.A. (2019). Geochemistry of uranium mill tailings in the Athabasca Basin, Saskatchewan, Canada: A review. *Crit Rev Env. Sci Technol* 29, 1237–1293. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1571352>

## Using barite to mitigate $^{226}\text{Ra}$ in NORM tailings from high U grade ore – Saskatchewan, Canada

Clémence Besançon<sup>1</sup>, Paul Sardini<sup>2</sup>, Sébastien Savoye<sup>3</sup>, Kebbi Hughes<sup>4</sup>, Hamid Mokhtari<sup>4</sup>, Martine Gérard<sup>5</sup>, Michael Descostes<sup>1</sup>

### Context

Radium-226 is the predominant radionuclide of most NORM (Naturally Occurring Radioactive Material) waste. It is of special interest for the Canadian U-mines with high grade ore, which produce NORM-type tailings. The ore treated at McClean Lake mill – Saskatchewan, Canada – has activity values averaging 2200 Bq/g  $^{238}\text{U}$  (equivalent to  $1.8 \times 10^5$  ppm) and  $^{226}\text{Ra}$  (60 ppb), and the recovery rate for U is 99%. U mining mill tailings are sulfate-rich low-level radioactive waste containing  $^{226}\text{Ra}$ , with activities up to 3000 Bq/g. The volume of tailings produced by the McClean Lake mill is over 2 Mt. The total inventory of U-tailings in Canada is 218 Mt. (Natural Resources Canada, 2021)

$^{226}\text{Ra}$  is one of the main contaminants of interest for the management of the tailings and of environmental concern, particularly because of its decay product  $^{222}\text{Rn}$ . At the McClean mill  $\text{BaCl}_2$  is added to precipitate  $^{226}\text{Ra}$  in barite as a solid-solution. Following this neutralization treatment,  $^{226}\text{Ra}$  in the tailings is generally considered as sequestered in barite ( $\text{BaSO}_4$ ) and sorbed on ferrihydrite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ) and the tailings are stored under a water cover acting as radiological barrier. (Robertson et al., 2019)

A better understanding of the retention processes of  $^{226}\text{Ra}$  in the tailings is necessary to predict the behavior and chemical stability of the NORM tailings over the long term, but also to optimize the neutralization processes used in the plant.

### Strategy of study

To assess the stability of  $^{226}\text{Ra}$  in the tailings after  $\text{BaCl}_2$  addition, an extensive study of the retention potential for  $^{226}\text{Ra}$  of the tailings was performed. As an ultra-trace element,  $^{226}\text{Ra}$  is not measured by usual techniques. Alpha-autoradiography is used for the direct observation of the spatial distribution of alpha emitters and does not require any chemical modification of the sample. (Besançon et al., 2022)

The characterizations imply chemistry, mineralogy, cation exchange capacity measurement, SEM/EDS and alpha-autoradiography analyses supplemented with thermodynamic modelling. This approach is summarized in Fig. 1.

---

<sup>1</sup> ORANO Mining, Env. R&D Dpt

<sup>2</sup> Institut de Chimie des Milieux et des Matériaux de Poitiers (IC2MP), Université de Poitiers

<sup>3</sup> Université Paris-Saclay CEA, Service de Physico-Chimie

<sup>4</sup> Orano Canada Inc

<sup>5</sup> Sorbonne Université, CNRS UMR7590, MNHN, IRD, IMPMC

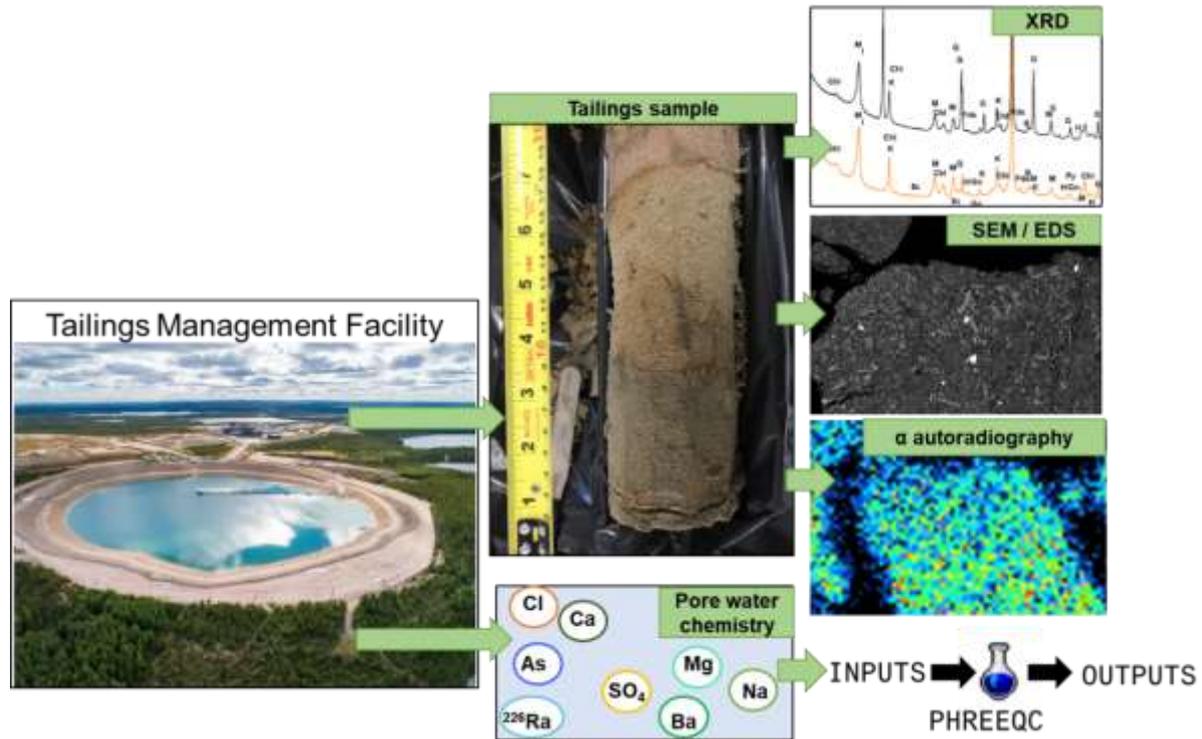


Fig. 1 Analytical scheme for the search for <sup>226</sup>Ra retention mineral phases in this study

## Results and discussion

Results confirm that barite is the major binding-phase for <sup>226</sup>Ra in the tailings, in agreement with the <sup>226</sup>Ra concentration measured in pore water (6 Bq/L) inherited from a coprecipitation reaction. The contribution of the sorption mechanisms is minimal. A (Ba,Ra)SO<sub>4</sub> solid-solution controls the <sup>226</sup>Ra concentration now, and over the long term, through a distribution coefficient which is subject to a long-term shift towards a recrystallization equilibrium. This shift causes a subsequent elevation of the long-term concentration of <sup>226</sup>Ra in the tailings water to 10 Bq/L. This change of equilibrium is confirmed by the aqueous chemistry of the tailings.

The knowledge of the retention mechanism of the <sup>226</sup>Ra in the tailings is essential and will feed the development of predictive models. All these results allow us to better assess the management strategy of the tailings by ensuring that tailings have no significant effects on the downstream environment which remains protected over the long term.

## Références

- Besançon, C., Sardini, P., Savoye, S., Descostes, M., Gérard, M. (2022). Quantifying <sup>226</sup>Ra activity in a complex assemblage of <sup>226</sup>Ra-bearing minerals using alpha autoradiography and SEM/EDS. *J. Environ. Radioact.* 251–252, 106951. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106951>
- Natural Resources Canada (2021). Inventory of radioactive waste in Canada 2019. 978-0-660-39983
- Robertson, J., Hendry, M.J., Kotzer, T., Hughes, K.A. (2019). Geochemistry of uranium mill tailings in the Athabasca Basin, Saskatchewan, Canada: A review. *Crit Rev Env. Sci Technol* 29, 1237–1293. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1571352>

## UAV-based gamma-spectrometric survey of uranium legacy sites in Central Asia

Christian Kunze<sup>1</sup>, Sven Altfelder<sup>2</sup>, Benedikt Preugschat<sup>3</sup>

### Zusammenfassung

Ein deutsch-zentralasiatisches Forschungskonsortium hat ein drohnengestütztes Gamma-Spektrometrie-System auf der Basis verschiedener Szintillationsdetektoren entwickelt, um Uran-Altlasten (uranium legacy sites, ULS), insbesondere Halden und Tailings, radiologisch zu charakterisieren. Das System wurde nach Testflügen auf Standorten in Deutschland auf ULS in Kirgisistan, Kasachstan und Usbekistan eingesetzt.

Das System adressiert die Notwendigkeit einer effizienten radiologischen Charakterisierung als Grundlage für die Sanierungsplanung und kann insbesondere als Schlüsselbestandteil der institutionellen Kontrolle und des Langzeitmonitorings nach der Sanierung eingesetzt werden, um sicherzustellen, dass die Sanierungsziele nachhaltig und langfristig erreicht werden.

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die Herausforderungen, die während der Flugkampagnen in Zentralasien erfolgreich bewältigt, und über die konkreten Ergebnisse, die an drei ULS in Zentralasien erzielt wurden. Es wird auf die gegenseitige Abhängigkeit zwischen räumlicher Auflösung, Flugeschwindigkeit und Flughöhe des UAV eingegangen. Dieser Ansatz wird anhand von Daten getestet, die von drohnen- und bodenbasierten Messungen sowie anhand von Laboranalysen von auf den Objekten genommenen Proben gewonnen wurden.

### Vorgehensweise und Methoden

Es wurde ein drohnenbasiertes Szintillations-Gamma-Spektrometer entwickelt, um radioaktive Standorte zu charakterisieren, die z. B. aufgrund steiler Hänge schwer zugänglich sind. Die Drohne mit der maximalen Startmasse von 25 kg besitzt eine Nutzlast von bis zu 7 kg.

Im Vergleich zu anderen drohnenbasierten Strahlungsmesssystemen konzentriert sich das hier vorgestellte System auf relativ niedrige Werte natürlicher Radioaktivität im Zusammenhang mit früheren Uranbergbau- und Erzverarbeitungsbetrieben. Auf der Drohne wurden zwei energiekalibrierte Szintillationsdetektoren mit Volumen zwischen 100 und 700 ml montiert. Dies bot die Möglichkeit, die Leistungsfähigkeit verschiedener Detektortypen und -volumina beim Einsatz auf ULS zu vergleichen. Eine ausführliche Beschreibung der Randbedingungen für den Betrieb eines solchen Systems in abgelegenen Gebieten findet sich in (Kunze et al. 2022).

Für die Auswertung der Spektren wurden sowohl die Fenster- als auch die Total-Spectrum-Methode eingesetzt. Für den Zusammenhang zwischen spezifischer Aktivität und Zählrate in den Energiekanälen sowie zur Korrektur der Flughöhe über Grund wurde der Ansatz (van der Veeke et al. 2021) verwendet. Die räumliche Auflösung ist einerseits durch die Fluggeschwindigkeit, andererseits durch das Sichtfeld des Detektors in der Größenordnung der Flughöhe bestimmt, siehe (Preugschat et al. 2022).

---

<sup>1</sup> IAF-Radioökologie GmbH

<sup>2</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

<sup>3</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Forschungs- und Entwicklungszentrums Bergbaufolgen (FEZB), Cottbus

## Ergebnisse

ULS in Kirgisistan, Kasachstan und Usbekistan wurden mit dem entwickelten System untersucht. Abbildung 1 zeigt das Beispiel einer Armerzhalde in Yangiabad, Usbekistan.

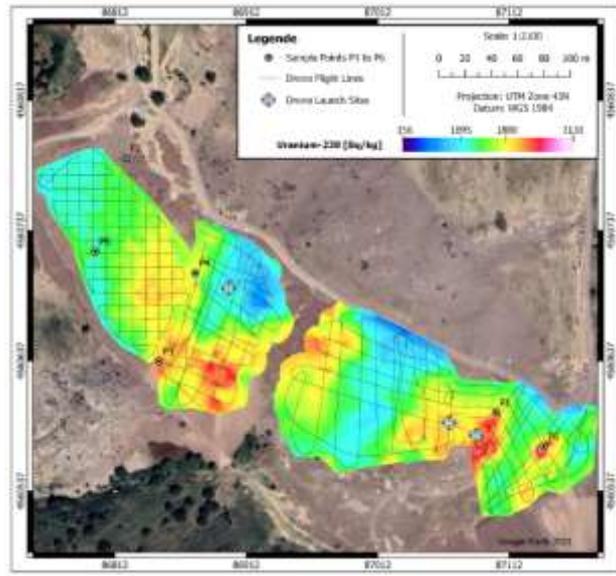


Abb. 1 Räumliche Verteilung der spezifischen Aktivität von Nukliden der U-238-Reihe auf der Armerzhalde Y7 in Yangiabad, Usbekistan

Fig. 1 Spatial distribution of the specific activity of nuclides of the U-238 series on the low grade ore stockpile Y7 at Yangiabad, Uzbekistan

Zusätzlich zur drohnengestützten Gammaskpektrometrie wurde ein umfangreiches Qualitätssicherungsprogramm durchgeführt, u.a., mittels rucksackbasierten Gammaskpektrometern und Gammaskpektrometrie im Labor an von den ULS entnommenen Proben. Das System liefert zuverlässige und reproduzierbare Ergebnisse und ist zur Bestimmung der räumlichen Verteilung der spezifischen Aktivitäten von Nukliden der U- und Th-Zerfallsreihen sowie K-40 geeignet. Das Verfahren eignet sich besonders gut für die Überwachung der Langzeitstabilität sanierter ULS. Weitere mögliche Anwendungsfälle werden in diesem Beitrag diskutiert.

Das Projekt wurde durch das BMBF CLIENT II Programm, FKZ 01LZ1706A-C gefördert, Aktivitäten der zentralasiatischen Partner wurden durch die IAEA unterstützt.

## Literatur

- Kunze, C., Preugschat, B., Arndt, R., Kandzia, F., Wiens, B., Altfelder, S. (2022): Development of a UAV-Based Gamma Spectrometry System for Natural Radionuclides and Field Tests at Central Asian Uranium Legacy Sites. *Remote Sens.* 14, 2147. <https://doi.org/10.3390/rs14092147>
- Preugschat, B., Kunze, C., Arndt, R., Kandzia, F., Wiens, B., Altfelder, S. (2022): Drone-Based Gamma Spectrometry of NORM-Affected Areas and Uranium Legacy Sites: Results and Outlook of the DUB-GEM Research & Development Project. *Proc. NORM X*, Utrecht, The Netherlands, 9-13 May 2022
- van der Veeke, S., Limburg, J., Koomans, R.L., Söderström, M., de Waal, S.N., van der Graaf, E.R. (2021): Footprint and height corrections for UAV-borne gamma-ray spectrometry studies, *Journal of Environmental Radioactivity* 231 (2021) 106545, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106545>

## UAV-based gamma-spectrometric survey of uranium legacy sites in Central Asia

Christian Kunze<sup>1</sup>, Sven Altfelder<sup>2</sup>, Benedikt Preugschat<sup>3</sup>

### Abstract

A German-Central Asian research consortium has developed a scintillation gamma spectrometry system carried by an Uncrewed Aerial Vehicle (UAV), in order to survey uranium legacy sites (ULS), in particular waste rock dumps and tailings management facilities. The system was deployed at ULS in Kyrgyzstan, Kazakhstan and Uzbekistan, following test flights at a NORM contaminated site and a legacy uranium site in Germany.

The system addresses the urgent need for efficient radiological site characterization as a basis for remediation planning of uranium and NORM contaminated sites and, perhaps more important, as a key ingredient of post-remediation institutional control and monitoring, to ensure that the remediation objectives are sustainably met in a long-term.

This contribution provides an overview of the technical and logistical challenges encountered and successfully dealt with during the flight campaigns in Central Asia, and of the specific results that have been obtained at three different ULS in Central Asia. It also presents a practicable approach to investigate the dependence of spatial resolution, flight speed and altitude of the UAV. This approach is tested using data generated by UAV and backpack-based systems, as well as ground-truthing (sampling and lab-based analysis).

### Approach and methods

A UAV-based scintillation gamma spectrometry system was developed to survey uranium legacy sites and other radioactively contaminated areas that are difficult to access, e.g., due to steep slopes. The UAV has a maximum take-off mass (MTOM) of 25 kg and a payload of up to 7 kg.

Compared to other UAV-based radiation detection systems, DUB-GEM focuses on relatively low levels of natural radioactivity associated with former uranium mining and ore processing operations. Two energy-calibrated-scintillation detectors with different crystal with a volume between 100 and 700 ml were mounted on the UAV. This provided ample opportunity to compare the performance of, and the need for, various types of scintillation detector for the surveillance of ULS. A detailed description of the UAV and gamma spectrometers, as well as the logistical and administrative conditions of operating such a system in remote areas can be found in (Kunze et al. 2022).

For the evaluation of the raw spectra, both window method and total spectrum method have been used. For the relationship between specific activity and count rate in the energy channels the approach developed in (van der Veeke et al. 2021) was used, which also allows an algorithm to correct for flight altitude above ground. It should be noted that the spatial resolution is limited to the footprint of the UAV-based detector, which is of the order of the flight altitude. There is also a trade-off between ground speed (i.e., the area coverage rate of the survey) and the spatial resolution. Both constraints were described in (Preugschat et al. 2022).

---

<sup>1</sup> IAF-Radioökologie GmbH

<sup>2</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

<sup>3</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Forschungs- und Entwicklungszentrums Bergbaufolgen (FEZB), Cottbus

## Results

ULS in Kyrgyzstan, Kazakhstan and Uzbekistan have been investigated using the novel system. Figure 1 shows the example of a low-grade ore stockpile in Yangiabad, Uzbekistan.

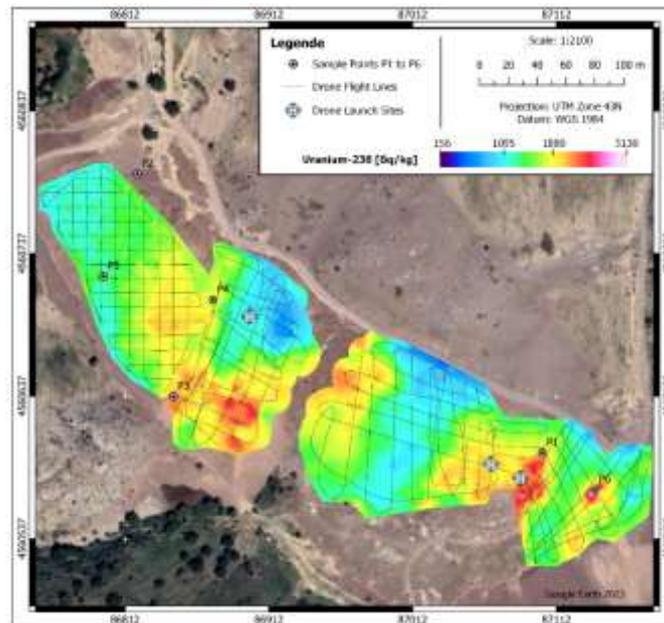


Abb. 1 Räumliche Verteilung der spezifischen Aktivität von Nukliden der U-238-Reihe auf der Armerzhalde Y7 in Yangiabad, Usbekistan

Fig. 1 Spatial distribution of the specific activity of nuclides of the U-238 series on the low grade ore stockpile Y7 at Yangiabad, Uzbekistan

In addition to the UAV-based surveys, an extensive ground-truthing program was carried out, which consisted of mapping the objects using backpack-based gamma spectrometers and lab-based gamma-spectrometry of samples taken at the sites. It could be demonstrated that the system provides reliable and reproducible results and can be used to determine the spatial distribution of the specific activities of nuclides in the U-238 and Th-232 decay series, as well as potassium-40. The method is particularly well-suited to repeated, automated monitoring of remediated ULS, detecting trends of degradation and contamination patterns to monitor the long-term stability of the remediated sites. This and other potential use-cases are discussed in this contribution.

The study was funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) under the CLIENT II program, Grant No. 01LZ1706A-C.

## References

- Kunze, C., Preugschat, B., Arndt, R., Kandzia, F., Wiens, B., Altfelder, S. (2022): Development of a UAV-Based Gamma Spectrometry System for Natural Radionuclides and Field Tests at Central Asian Uranium Legacy Sites. *Remote Sens.* 14, 2147. <https://doi.org/10.3390/rs14092147>
- Preugschat, B., Kunze, C., Arndt, R., Kandzia, F., Wiens, B., Altfelder, S. (2022): Drone-Based Gamma Spectrometry of NORM-Affected Areas and Uranium Legacy Sites: Results and Outlook of the DUB-GEM Research & Development Project. Proc. NORM X, Utrecht, The Netherlands, 9-13 May 2022
- van der Veeke, S., Limburg, J., Koomans, R.L., Söderström, M., de Waal, S.N., van der Graaf, E.R. (2021): Footprint and height corrections for UAV-borne gamma-ray spectrometry studies, *Journal of Environmental Radioactivity* 231 (2021) 106545, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106545>

**KREISLAUFWIRTSCHAFT & ROHSTOFFE**  
**CIRCULAR ECONOMY & RESOURCES**



## **Auf der Suche nach dem ökologischen Fußabdruck der weltweit steigenden Nachfrage von Rohstoffen im Zuge der grünen Energiewende?**

Sven Altfelder<sup>1</sup>

### **Zusammenfassung**

Mit einer globalen Wirtschaft, die zunehmend auf erneuerbaren Energien basiert, wird die Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen unaufhaltsam steigen (Abb. 1). Diese Umwandlung erfordert Rohstoffmengen, die nicht allein durch Recycling gedeckt werden können. Der zusätzliche Bedarf lässt sich nur durch bergbauliche Rohstoffgewinnung zu decken. Dieser Notwendigkeit steht die Tatsache gegenüber, dass die ökologischen und sozialen Auswirkungen des Bergbaus in den letzten Jahrzehnten immer mehr Aufmerksamkeit erregt haben. Verantwortungsvoller Bergbau – egal wo auf der Erde – muss daher im Rahmen einer glaubwürdigen globalen Energiewende das Primat von Rohstoffgewinnungsprojekte sein und sollte höchste Priorität genießen.

Der Weltgemeinschaft fehlt es an international verbindlichen Standards für weltweit gleiche Wettbewerbsbedingungen in Bezug auf die Nachhaltigkeit des Bergbaus und die Stilllegung des Bergbaubetriebs. Im Gegensatz dazu hat das gestiegene öffentliche Bewusstsein in den Industrieländern zur Verabschiedung strengerer nationaler Gesetze und Vorschriften für Bergbauprojekte geführt

Infolgedessen haben die wichtigen Akteure der globalen Rohstoffversorgungsinfrastruktur nach praktikableren Alternativen gesucht und sich bei der Erschließung neuer Bergwerke dem globalen Süden zugewandt. Umgekehrt haben die jeweiligen Zielländer in der Regel ein starkes Interesse daran, ihre wirtschaftliche Entwicklung voranzutreiben, und sind daher häufig bereit, neue Bergbauprojekte zuzulassen.

Die mangelhafte Rückverfolgbarkeit von globalen Rohstofflieferketten hat zu Konsequenz, dass doppelte Standards bei der globalen Rohstoffproduktion in den Bereichen Gesundheit, Sicherheit und Umwelt vom Rohstoffverbraucher unbemerkt bleiben. Fragen der Verantwortung lassen sich in einem sich ständig verändernden Labyrinth von Lieferanten, Auftragnehmern und Händlern leichter verbergen – in der Regel unabhängige Subunternehmen, deren eigentliche Unternehmenszugehörigkeit schwer zu verfolgen ist. Globale Rohstoffeinkäufer legen selten Rechenschaft über das Verhalten dieser Zwischenhändler ab oder übernehmen die Verantwortung dafür. Die Verantwortung, den Rohstoffbedarf der Welt auf möglichst nachhaltige Weise zu decken, wird derzeit zu einem großen Teil von den Ländern getragen, die dazu in Bezug auf Humanressourcen und Regierungsführung am wenigsten in der Lage sind (Abb. 2).

Aufgrund des zunehmenden öffentlichen Drucks im globalen Süden, der internationalen öffentlichen Meinung, aber auch des öffentlichen Drucks in den Industrieländern im Hinblick auf eine glaubwürdige Energiewende ist der globale Norden jedoch mehr und mehr bereit, diese Politik zu überdenken. Außerdem werfen die Bemühungen um die Sanierung/Entsorgung von Altlasten aus früheren Bergbauprojekten Haftungsfragen auf. In gewisser Weise wirft die Auslagerung der Rohstoffgewinnung und ihres ökologischen Fußabdrucks also ähnliche Fragen auf wie die Verbringung gefährlicher Abfälle aus dem industrialisierten Norden in den globalen Süden – ein Thema, das als Präzedenzfall für die hier diskutierte Rohstoffproduktionsproblematik betrachtet werden kann. In diesem Beitrag werden die Überlegungen erörtert, die bei internationalen Bemühungen zur Bewältigung dieser Problematik berücksichtigt werden müssen. Obwohl der Schwerpunkt dieser Präsentation auf den Folgen der Rohstoffgewinnung

---

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

für den globalen Süden liegt, werden auch Fragen im Zusammenhang mit transparenten Lieferketten angesprochen.



**Abb. 1** *Künftige Nachfrage nach kritischen Rohstoffen (CRM) in Europa (Szenario mit hoher Nachfrage)*  
**Fig. 1** *Future demand of Critical Raw Materials (CRM) in Europe (high-demand scenario)*



**Abb. 2** *Toxizität des bergbaulichen Abbauprozesses jedes CRM und die Fähigkeit einer Nation, mit den Schäden umzugehen, die sich aus dem Prozess ergeben können.*  
**Fig. 2** *Toxicity of the mining process of each CRM and the capability of a nation to deal with the damage that may result from the process*

## In search of the ecological footprint of the increasing global demand for raw materials in the course of the green energy transition?

Sven Altfelder<sup>1</sup>

### Abstract

With the global transition to a green energy-based economy, the demand for mineral raw materials will continue to grow (Fig. 1). This transformation requires quantities of raw materials that cannot be met by recycling alone. The additional demand can only be met by mining. While the environmental and social impacts of mining have attracted increased attention during the past decades, they will now become an even more important differentiator of resource projects in the green energy transition

The global community lacks internationally binding standards for a global level playing field in terms of mining sustainability and mining decommissioning. In contrast, increased public awareness in developed countries has led to the adoption of stricter national laws and regulations for mining projects

As a result, major players in the global commodity supply infrastructure have sought more viable alternatives and turned to the global South for new mine development. Conversely, the respective target countries usually have a strong interest in advancing their economic development and are therefore often willing to allow new mining projects.

The international community has yet to take adequate action to comprehensively address the problem of mining-related environmental degradation and sustainability and to create a level playing field for mine operations and closure worldwide. Increasing public awareness in developed countries has led to the adoption of stricter laws and regulations for mining projects. As a result, the global commodity supply infrastructure has sought more viable alternatives, often turning to the global South for new mine development. At the same time, the benefits of the commodity export industry for economic development of the target countries lead them to readily accept new mining projects.

The poor traceability of global commodity supply chains means that double standards in global commodity production in the areas of health, safety and the environment go unnoticed by the public as well as commodity consumers. Accountability issues are easier to hide in an ever-changing maze of suppliers, contractors and traders – usually independent subcontractors whose actual corporate affiliation is difficult to track. Global commodity buyers rarely account for or take responsibility for the behavior of these intermediaries. The responsibility to meet the world's commodity needs in a sustainable manner is currently borne in large part by those countries least able to do so in terms of human resources and governance (Fig. 2).

However, due to increasing public pressure in the global South, international public opinion, but also public pressure in the global North with regard to a credible energy transition, the global North is more and more willing to reconsider this policy. In addition, efforts to clean up/dispose of contaminated sites from past mining projects raise liability issues. In some ways, then, the outsourcing of raw material extraction and its environmental footprint raises similar issues to the transfer of hazardous wastes from the industrialized global North to the global South – an issue that can be seen as a precedent for the raw material production issues discussed here. This paper discusses the considerations that must be taken into account in international efforts to address this issue. Although the focus of this presentation

---

<sup>1</sup> Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), Hannover

is on the impacts of commodity extraction on the Global South, issues related to transparent supply chains are also addressed.



**Abb. 1** Künftige Nachfrage nach kritischen Rohstoffen (CRM) in Europa (Szenario mit hoher Nachfrage)  
**Fig. 1** Future demand of Critical Raw Materials (CRM) in Europe (high-demand scenario)



**Abb. 2** Toxizität des bergbaulichen Abbauprozesses jedes CRM und die Fähigkeit einer Nation, mit den Schäden umzugehen, die sich aus dem Prozess ergeben können.  
**Fig. 2** Toxicity of the mining process of each CRM and the capability of a nation to deal with the damage that may result from the process

## Zukunftsmaterialien aus dem Altbergbau

Martin Bertau<sup>1</sup>, Martin Reiber<sup>1</sup>

### Altbergbau – das Mißverständnis von der Altlast

Unterhalb des Fußbereiches des Entwicklungsstandortes Spülhalde Davidschacht befindet sich der „Rote Graben“ (RG), ein künstlich angelegter Wasserlauf aus dem 17. Jahrhundert. Dieser dient der Entwässerung verschiedener Gruben und mobilisiert immer noch Metalle aus gefluteten Grubenbauen. Diese Grubenwässer sind sehr stark mit Schwermetallen, darunter Cadmium als prioritär gefährlicher Stoff nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie, sowie Aluminium, Arsen und Zink verunreinigt, welche über mehrere Abschlüge der Freiburger Mulde zugeführt werden. Durch fehlende Unterhaltung ist der RG nunmehr stark verschlammmt. Die derzeit geschätzte Schlammmenge beläuft sich auf ca. 13.000 m<sup>3</sup>. Für diese Herausforderung müssen zeitnah effiziente, ökologische und ökonomische Lösungen gefunden werden. Allgemein herrscht Konsens, daß es sich um eine Hinterlassenschaft des Altbergbaus, mithin also eine Altlast handelt. Unbeantwortet bleibt in diesem Zusammenhang jedoch die Frage, ob diese Sichtweise in der heutigen Zeit noch zutreffend ist oder ob dem Altbergbau angesichts neuer Methoden und Technologien nicht doch ein Zukunftspotenzial innewohnt.

### Zukunftsthema Altbergbau

Der Handlungsbedarf an Altbergbaustandorten ist unstrittig. Die untertägigen Hohlräume sammeln Wasser, das durch die Einwirkung von Wasser, Luft und mikrobieller Tätigkeit auf unterschiedliche Weise mit verschiedenen Elementen angereichert ist. Oftmals fallen bereits im Berg komplexe Eisenhydroxidschlämme (EHS) aus, die durch die Transportwirkung des Wassers zutage gefördert werden.

Am RG ergibt sich die unmittelbare Notwendigkeit zum Handeln aus dem Umstand, daß die Schlamm-aufnahmekapazität des Wasserbauwerks erschöpft ist und bei Starkregenereignissen signifikante Schlammengen in die Mulde geraten.

Für (EHS) gibt es keine allgemeingültige Lösung. Das EHS-Konzept der LMBV als Sanierungsträger des ostdeutschen Braunkohlebergbaus sieht dafür eine bevorzugte Reihenfolge vor, welche in großen Teilen auf den Erzbergbau übertragbar ist: 1. Vermeidung, welche aufgrund der Gegebenheiten nicht möglich ist. 2. Verwertung, welche sich aufgrund der bisherigen Anforderungen nur in Sonderfällen eröffnet. 3. Verspülung, welche auf erhebliche Akzeptanzprobleme der Öffentlichkeit stößt & auch entsprechenden Verspülraum benötigt. Damit verbleibt nur 4. Deponierung bei knappen Deponieraum, wobei die Voraussetzung dafür jedoch die Herstellung einer Deponiefähigkeit ist. Folglich ist eine ökonomisch und ökologisch sinnvolle Verwertung der Schlämme in der Praxis bisher nicht gelungen.

### Rohstoffe, nicht Altlasten

Der Lösungsansatz liegt in der gemeinsamen Verarbeitung von entwässerten Grubenschlamm mit eisenhaltigen Schlacken eines regionalen Hüttenbetriebes zur Gewinnung enthaltender Rohstoffe und Generierung elutionsstabiler Geopolymere für den Einsatz als Spezialbaustoffe. Wie zielführend dieser Weg sein kann, zeigt eine einfache chemische Analyse, derzufolge der EHS in der Trockensubstanz zu 30-45% Fe, 2,5-5 % Zn, ~0,1 % Cu, 10-15 % Al sowie variablen Mengen Quarz und silikatischen Anteilen besteht. Schwermetallverunreinigungen mit As, Pb und Cd liegen in Summe bei ~0,5-1,0 %.

Dabei steht vor allem die Gewinnung enthaltener Wertstoffe im Fokus: Fe, Zn und Cu ließen sich im Labor durch Coverhüttung zu >80 % aus dem Schlamm gewinnen. Bei der späteren technischen Um-

---

<sup>1</sup> Institut für Technische Chemie, TU Bergakademie Freiberg, Leipziger Straße 29, 09599 Freiberg, Deutschland

setzung werden die Schadstoffe As, Pb und Cd über den Elektrofilter gemäß geltenden Immissionschutzregelungen entfernt. Die Stabilisierung der Al- und Si-haltigen Reste erfolgt in Form von Geopolymeren, d.h. neuartigen elutionsstabilen Baustoffen, in denen eventuelle Schwermetallverunreinigungen auf geologische Zeiträume immobilisiert sind. Das Ziel ist ein zukunftsorientierter und nachhaltiger Beitrag für umweltrelevante Fragestellungen im Bereich Grubenwässer und -schlämme, welcher von regionalen Partnern international skaliert werden kann und die öffentliche Akzeptanz mit integriert. So sollen Alternativen zur Entsorgung, Schonung von Deponieraum, Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen und ökologische Verbesserungen für Flora und Fauna erreicht werden.

Was wir bis dato unter Altlasten verstanden hatten, sind Rohstoffe, die sich bei richtiger Vorgehensweise sinnvoll und wirtschaftlich gewinnen und verwerten lassen. Im Hinblick auf die EU-Wasserrahmenrichtlinie mit der Verpflichtung der Behandlung von Bergbauwässern, kann so frühzeitig ein wesentlicher Beitrag geliefert werden, um behördliche Vorgaben zu erfüllen. Durch eine Technologie zur Nutzung der Grubenschlämme können zudem Deponieflächen geschont werden.

Im Zentrum der technischen Arbeiten steht ein Versuchscontainer am Entwicklungsstandort Spülhalde Davidschacht, welcher Bergbau- und Haldensickerwässer in sich vereinigt. Die mobile Anlage wird direkt am Standort in Realumgebung eingesetzt und betrieben. Der modulare Aufbau ermöglicht ein Entwässern der Schlämme, die Behandlung des Filtratwassers mittels Membrantechnologie und Konzentratbehandlung sowie darauf aufbauend eine Wert- und Baustoffgewinnung.

Das Ziel des laufenden Projektes ist die Entwicklung von Technologien für Ewigkeitsfolgen des Bergbaus unter aktiver Einbindung der Bevölkerung in der Welterberegion Erzgebirge/Krušnohoří in Zukunftsfragen. Angestrebt wird ein Bewußtsein für (heimischen) Bergbau und Rohstoffgewinnung sowie das Bergbaurückständen innewohnende Potential für die Versorgung von Morgen zu schaffen und neue Arbeitsplätze zu generieren. Mit gesellschaftlicher Akzeptanz können die entwickelten Verfahren durch das modulare, mobile Anlagendesign zukünftig nicht nur für Wasserlösestollen in Sachsen, sondern auch für die Behandlung eisenhaltiger Rückstände aus dem Braunkohlenbergbau in der Lausitz und weitere Regionen angewendet werden; nicht zuletzt können ähnliche Materialien oder Produkte aus dem bundesdeutschen Altbergbau unter diesen Gesichtspunkten getestet und validiert werden.

Auf diese Weise trägt der Altbergbau im Sinne der Zukunftssicherung in Form marktfähiger, innovativer Produkte aus Grubenschlämme zu den weltweiten Zielen der Schonung von Klima und Ressourcen bei.

Die Hinterlassenschaften des sächsischen Bergbaus, invertiert sich so vom Problemfall zu einem neuen Rohstoffgewinnungskonzept, das bereits bundesweit Aufmerksamkeit gewonnen hat.

## **Danksagung**

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung des Projektes „ZauBer“ (FKZ 03WIR1908A) im Rahmen des WIR!-Vorhabens rECOMine.

## Materials of the future from old mines

Martin Bertau<sup>1</sup>, Martin Reiber<sup>1</sup>

### Old mining – the misunderstanding of contaminated sites

Below the foot area of the Davidschacht dump development site is the "Rote Graben" (RG), an artificially constructed watercourse dating back to the 17<sup>th</sup> century. It serves to drain various pits and still mobilises metals from flooded mine workings. These mine waters are heavily contaminated with heavy metals, including cadmium as a priority hazardous substance according to the EU Water Framework Directive, as well as aluminium, arsenic and zinc, which are fed into the river Mulde via several outlets. Due to a lack of maintenance, the RG is now heavily silted. The current estimated sludge volume is approx. 13,000 m<sup>3</sup>. Efficient, ecological and economic solutions to this challenge must be found in a timely manner. There is a general consensus that this is a legacy of the old mining industry, i.e. a contaminated site. However, the question remains unanswered in this context as to whether this view is still valid today or whether, in view of new methods and technologies, old mining does not have potential for the future.

### Future topic of old mine workings

The need for action at abandoned mine sites is indisputable. The underground cavities collect water that is enriched with various elements in different ways through the action of water, air and microbial activity. Often, complex iron hydroxide slurries (EHS) precipitate already in the mine, brought to light by the transport effect of the water.

At the RG, the immediate need for action arises from the fact that the sludge absorption capacity of the hydraulic structure is exhausted and significant amounts of sludge enter the river Mulde during heavy rainfall events.

There is no universal solution for (EHS). The EHS concept of the LMBV as the rehabilitation agency of the East German lignite mining industry provides for a preferred sequence, which is largely transferable to ore mining: 1. avoidance, which is not possible due to the circumstances. 2. utilisation, which is only possible in special cases due to the previous requirements. 3. flushing, which encounters considerable acceptance problems from the public and also requires corresponding flushing space. This leaves only 4. landfilling where landfill space is scarce, although the prerequisite for this is the creation of a landfill capability. Consequently, an economically and ecologically sensible recycling of sludge has not yet been achieved in practice.

### Raw materials, not contaminated sites

The solution lies in the joint processing of dewatered mine sludge with iron-containing slags from a regional smelter for the extraction of raw materials and the generation of elution-stable geopolymers for use as special building materials. A simple chemical analysis shows how effective this approach can be. According to this analysis, the EHS consists of 30-45% Fe, 2.5-5% Zn, ~0.1% Cu, 10-15% Al as well as variable amounts of quartz and silicate components in the dry substance. Heavy metal impurities with As, Pb and Cd are in total ~0.5-1.0 %.

The focus here is primarily on the recovery of the valuable substances contained: Fe, Zn and Cu could be recovered from the sludge by >80 % in the laboratory through cover smelting. During the subsequent technical conversion, the pollutants As, Pb and Cd are removed via the electrostatic precipitator in accordance with the applicable emission control regulations. The stabilisation of the Al- and Si-containing residues takes place in the form of geopolymers, i.e. novel elution-stable building materials in

---

<sup>1</sup> Institute of Technical Chemistry, TU Bergakademie Freiberg, Leipziger Straße 29, 09599 Freiberg, Germany

which possible heavy metal contaminants are immobilised for geological periods of time. The aim is to make a future-oriented and sustainable contribution to environmentally relevant issues in the field of mine water and sludge, which can be scaled up internationally by regional partners and which integrates public acceptance. In this way, alternatives for disposal, conservation of landfill space, reduction of CO<sub>2</sub> emissions and ecological improvements for flora and fauna are to be achieved.

What we had previously understood by contaminated sites are raw materials that can be extracted and recycled sensibly and economically if the right approach is taken. In view of the EU Water Framework Directive with its obligation to treat mining water, this can make a significant contribution at an early stage to meeting official requirements. In addition, landfill areas can be conserved through a technology for the utilisation of mine sludge.

The technical work is centred on a test container at the Davidschacht rinsing dump development site, which combines mining and tailings leachates. The mobile plant is used and operated directly at the site in a real environment. The modular design allows the sludge to be dewatered, the filtrate water to be treated using membrane technology and concentrate treatment, and, based on this, metals and building materials to be recovered.

The aim of the current project is to develop technologies for the eternal consequences of mining while actively involving the population in the World Heritage region of the Erzgebirge/Krušnohoří in future issues. The aim is to create an awareness of (domestic) mining and raw material extraction as well as the inherent potential of mining residues for the supply of tomorrow and to generate new jobs. With social acceptance, the developed processes can be applied in the future through the modular, mobile plant design not only for water solution tunnels in Saxony, but also for the treatment of iron-containing residues from lignite mining in Lusatia and other regions; last but not least, similar materials or products from old mining operations in Germany can be tested and validated under these aspects.

In this way, old mine workings contribute to the global goals of protecting the climate and resources in the form of marketable, innovative products made from mine sludge.

The legacy of Saxon mining is thus being inverted from a problem case into a new raw material extraction concept that has already attracted nationwide attention.

## **Acknowledgement**

The authors would like to thank the Federal Ministry of Education and Research for funding the project "ZauBer" (FKZ 03WIR1908A) as part of the WIR! project rECOMine.

## recomine – Ganzheitliche Technologien und Konzepte für Bergbauabfälle made in Saxony

Philipp Büttner<sup>1</sup>, Dr. Jonathan Engelhardt<sup>1</sup>

### Das recomine-Bündnis

recomine ist ein Bündnis aus überwiegend regionalen Partnern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft im Erzgebirge. Das Netzwerk wird seit 2018 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit insgesamt 12,7 Millionen Euro gefördert und vom Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie koordiniert. Mit der Vision, innovative und ganzheitliche Lösungen für bergbauliche Abfälle zu entwickeln, unterstützt recomine F&E-Projekte, die an der Schnittstelle von Umwelttechnologie, Ressourcentechnologie, Industrie 4.0 und sozialen Fragen ansetzen. Ziel ist es, regionales Know-how an realen Entwicklungsstandorten zusammenzuführen.



**Abb. 1** Die Spülhalde I in Ehrenfriedersdorf ist einer der Forschungs- und Entwicklungsstandorte von recomine zur Entwicklung ganzheitlicher Lösungen für Bergbauabfälle.

### Forschung unter realen Bedingungen

Die Spülhalde I in Ehrenfriedersdorf (Abb. 1) ist einer der F&E-Standorte von recomine, an denen innovative Lösungen unter realen Bedingungen getestet werden können. Insgesamt hat recomine Zugang zu drei Halden (Tailings Storage Facilities – TSF) in der Region, einem Bergwerk zur Bearbeitung von Projekten im Bereich Grubenwasser und einer ehemaligen Hütte. Die Teams der recomine F&E-Projekte können direkt an diesen Standorten arbeiten oder Material von dort verwenden.

### Globale Nachfrage nach ganzheitlichen Lösungen für Bergbauabfälle

Die Notwendigkeit innovativer Technologien für Bergbauabfälle verdeutlicht der 2020 vom International Council on Mining & Metals (ICMM) veröffentlichte neue Global Industry Standard on Tailings Management. Er wurde als Reaktion auf die jüngsten verheerenden Haldenunglücke (z. B. Brumadinho/Brasilien 2019) entwickelt und basiert auf dem Prinzip "Zero Harm". Zahlreiche Aktivitäten großer Bergbauunternehmen (z. B. BPH, Vale, Rio Tinto) haben als Folge des neuen Standards begonnen, die Ent-

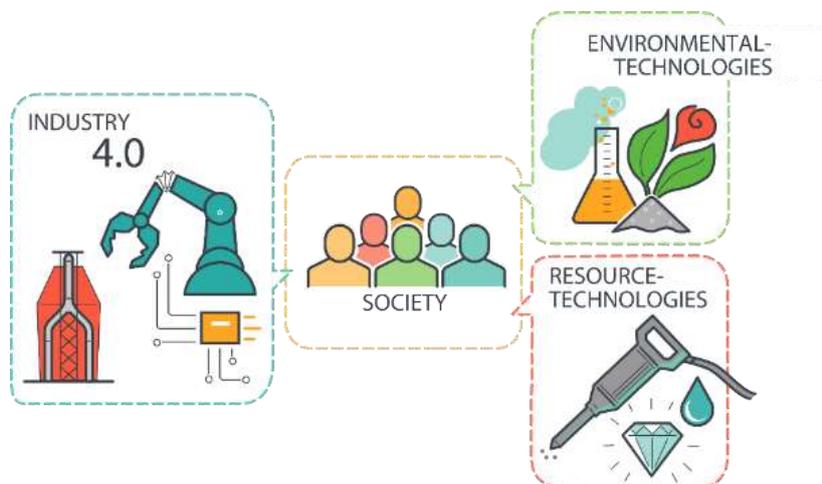
---

<sup>1</sup> Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie

wicklung neuer Vorgehensweisen zu fördern. Im Jahr 2021 rief beispielsweise die BHP Tailings Challenge die weltweite Rohstoffgemeinschaft dazu auf, Konzepte für das Recycling und die Reduzierung von Bergbauabfällen einer großen Kupfermine in Südamerika einzureichen. recomine schaffte es, aus über 150 Teams unter die zehn ausgewählten zu kommen. Diese Teams mussten ihr eingereichtes Recyclingkonzept in einer ersten Phase des Wettbewerbs unter Beweis stellen. Dieser Erfolg wird nun fortgesetzt, z. B. in einem Projekt für Amira, eine globale gemeinnützige Organisation, die Mitglieder aus der Rohstoffindustrie vertritt, welches derzeit vorbereitet wird. Auch direkte F&E-Vereinbarungen von recomine-Partnern und Bergbauunternehmen sind in Verhandlung bzw. wurden durch recomine bereits angeschoben. Langfristiges Ziel des Bündnisses ist es, eine Brücke zwischen regionalen Know-how-Trägern und der globalen Bergbauindustrie zu schlagen und damit den regionalen Strukturwandel durch Technologietransfer zu unterstützen.

## Technologien zur Behandlung, Vermeidung und Charakterisierung von Bergbauabfällen

Die entwickelten Technologien lassen sich in vier Gruppen einteilen: Analyse, Vermeidung, Wiederaufbereitung und Umwandlung. Während im Bereich der Analyse neue Technologien zur Charakterisierung von Tailings oder Grubenwasser eine Rolle spielen, geht es im Bereich der Vermeidung um Technologien zur Minimierung von feinkörnigem Tailings in der primären Erzaufbereitung (z. B. durch maschinelles Lernen optimierte sensorgestützte Sortierung). Bei der Wiederaufbereitung werden Aufbereitungstechnologien entwickelt, um die verbleibenden Metalle auch aus den bisher nicht erschließbaren Korngrößenbereichen zu gewinnen, z.B. durch Weiterentwicklung der pneumatischen Flotation. Die Transformation befasst sich dann mit der Nutzung von Bergbauabfällen, z.B. im Baustoffsektor, und liefert auch neue Ansätze zur Renaturierung.



**Fig. 2** recomine arbeitet an der Schnittstelle von Umwelt- & Ressourcentechnologie, Industrie 4.0 und Gesellschaft

recomine-Projekte konzentrieren sich auf globale Herausforderungen in der Bergbauindustrie. Ziel ist es, aus regionalem Know-how Produkte und Lösungen an der Schnittstelle von Umwelt- & Ressourcentechnologie sowie Industrie 4.0 für den Weltmarkt zu entwickeln und dabei auch die gesellschaftlichen Fragestellungen zu berücksichtigen (Abb 2.). Da das Erzgebirge auch eine Grenzregion zur Tschechischen Republik darstellt und dort weitere Know-how-Träger aus den genannten Sektoren zu finden sind, steht auch der Netzwerkaufbau zum Nachbarland im Fokus des Bündnisses.

## recomine – Technologies and concepts for a holistic mine waste treatment made in Saxony

Philipp Büttner<sup>1</sup>, Dr. Jonathan Engelhardt<sup>1</sup>

### The recomine Alliance

recomine is an alliance of predominantly regional partners from industry, science and society in the Erzgebirge (Saxony/Germany). The alliance is funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) since 2018 with a total of €12.7 million and is coordinated by the Helmholtz Institute Freiberg for Resource Technology. With the vision of developing innovative and holistic solutions for mining waste, recomine supports R&D projects that address the intersection of environmental technology, resource technology, Industry 4.0 and social issues. The aim is to bring regional know-how at real development sites together.



*Fig. 1 The TSF Davidschacht in Freiberg is one of recomine's R&D sites to develop holistic mine waste solutions.*

### Research under real conditions

The Davidschacht tailing in Freiberg (Fig. 1) is one of the recomine R&D sites that allows testing innovative solutions under real conditions. In total, recomine has access to 3 Tailings Storage Facilities (TSF) in the region, a mine to work on mine water related projects and a former smelter. Within recomine's R&D projects, the teams can work directly on or use material from these sites.

### High global demand for holistic mine waste solutions

The necessity of innovative technologies is illustrated the new Global Industry Standard on Tailings Management published in 2020 by the International Council on Mining & Metals (ICMM). It was developed in response to recent devastating tailings accidents (e.g. Brumadinho/Brazil in 2019) and is based on the "Zero Harm" principle. Numerous activities of large mining companies (e.g. BPH, Vale, Rio Tinto)

---

<sup>1</sup> Helmholtz Institute Freiberg for Resource Technology

started to promote the development of new approaches as a consequence of the new standard. In 2021, for example, the BHP Tailings Challenge called the global raw material community to submit concepts for the recycling and reduction of mining waste from a large copper mine. recomine succeeded in being among the ten selected from over 150 teams. These teams had to proof their submitted recycling concept in a first phase of the challenge. This success is now being continued, e.g. in a project for Amira, a global not-for-profit organization representing members from the resources industry, which is currently being prepared. Direct R&D agreements with mining companies are also under negotiation. recomine's long-term goal is to act as a bridge between regional know-how providers and the global mining industry.

### Mine waste treatment, prevention and characterization technologies

The developed technologies can be divided into four groups: analysis, avoidance, remining and transformation. While new technologies for the characterization of tailings or mine water play a role in the area of analysis, the area of avoidance deals with technologies to minimize fine-grained tailings in primary ore processing (e.g. machine-learning optimized sensor-based sorting). In remining, processing technologies are developed to recover the remaining metals, even from the previously undevelopable grain size ranges, e.g. by further development of pneumatic flotation. The Transformation then deals with the use of mining waste, e.g. in the building materials sector, and also provides new approaches to renaturation.

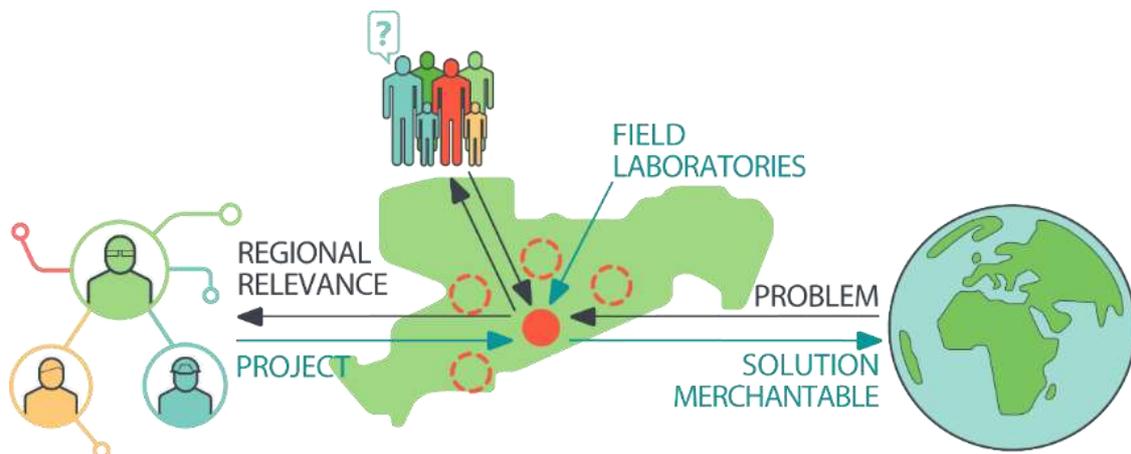


Fig. 2 The recomine stage gate process – technologies for the global mining industry needs

recomine projects focus on global challenges in the mining industry. The aim is to develop products and solutions for the global market from regional mining and environmental know-how. The R&D test sites play an important role in further developing the project technologies and transferring them from the laboratory to real applications and services (Fig. 2). This will help regional institutions to grow their businesses and reach new customers in the global mining industry. Since the Ore Mountains also represent a border region to the Czech Republic and additional know-how carriers from the mining and environmental sector can be found there, the network development to the neighboring country is also pushed in recomine.

## Ursache spontaner Verflüssigungen auf Innenkippen des Braunkohlenbergbaus und Folgen einer Verflüssigung

Manfred Wittig<sup>1</sup>, Thomas Martienßen<sup>2</sup>

### Ursache spontaner Verflüssigungen

Der Abraum des Braunkohlenbergbaus wird auf Innenkippen aus technologischen Gründen in sehr lockerer Lagerung, mit großem Porenanteil  $n$  und damit labiler Feststoffstruktur abgelagert. Bei Wiederanstieg des Grundwassers und nach Sättigung neigen solch locker gelagerte sandige Böden dazu, sich spontan zu verflüssigen (Casagrande, 1975). Verflüssigungen treten deshalb auch auf diesen Innenkippen plötzlich auf und sind oft mit großen Geländeänderungen (Abb. 1) verbunden.



Abb. 1 Verflüssigung im Bereich der Innenkippe Seese-West (Kleptna-Niederung) Quelle: Rauhut/LMBV mbH/2011  
Fig. 1 Liquefaction in the area of the inner dump Seese-West (Kleptna-Lowland)

In Böden ohne zusätzliche äußere Belastungen oder Verformungen ändern sich die totalen Spannungen  $\sigma = \gamma_r \cdot H$  in den abgelagerten Materialien bei einer Verflüssigung nicht. Der durch Verflüssigung entstehende Porenwasserüberdruck kann den Wert  $\Delta u = \gamma_w \cdot H$  nicht überschreiten. Der Porenwasserdruck insgesamt ist unter statischen Bedingungen zusammen mit dem statischen Porenwasserdruck dann auf  $u = 2 \cdot \gamma_w \cdot H$  begrenzt. Ist die Wichte  $\gamma_r$  vor einer Strukturveränderung in der Kippe kleiner  $\gamma_r \cdot H < u$  bzw.  $\gamma_r \cdot H < 2 \cdot \gamma_w \cdot H$ , kann sich der Boden verflüssigen. Im anderen Fall verbleibt ein Rest effektiver Spannungen, der dies verhindert. Jede Verdichtung der Feststoffstruktur in gesättigten Kippen führt zu Porenwasserüberdrücken  $\Delta u$  und dem damit verbundenem Scherfestigkeitsverlust, wobei eine Verflüssigung spontan nur bis zu einer Wichte  $\gamma_r < 2 \cdot \gamma_w$  eintreten kann.

<sup>1</sup> Sachverständiger für Geotechnik, vormals Lehrbeauftragter für Deponiebau und Industrielle Absetzanlagen, TU Bergakademie Freiberg, Deutschland

<sup>2</sup> TU Bergakademie Freiberg, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie

## Standsicherheit von Innenkippen

Innenkippenmaterial mit einer Wichte  $\gamma_r < 2 \cdot \gamma_w$  ist potenziell verflüssigungsfährdet. Eine Verflüssigung kann dann auch bei ebenem Gelände ohne Anregung völlig spontan eintreten, oft aber auch infolge einer äußeren Anregung (Initial). Nach der Verflüssigung treten auf der Innenkippe typische Geländeänderungen ein, die man folgendermaßen einteilen (Wittig, 2017) kann:

1. Kategorie Große horizontale Verschiebungen (Rutschungen),
2. Kategorie Vertikale Verschiebungen (Geländeausgleich) ohne horizontale Bewegungen und
3. Kategorie Lokal begrenzte Aufbrüche (analog Erdfällen) bei großem Grundwasserflurabstand.

Eine Verflüssigung führt immer zu vertikalen Geländeänderungen (Kategorie 2). Ob auch Horizontalverschiebungen (Kategorie 1) eintreten, lässt sich durch einen Erddruckvergleich zwischen dem minimalen  $h_{\min}$  und maximalen Grundwasserflurabstand  $h_{\max}$  (Abb. 2) der Innenkippe ableiten.

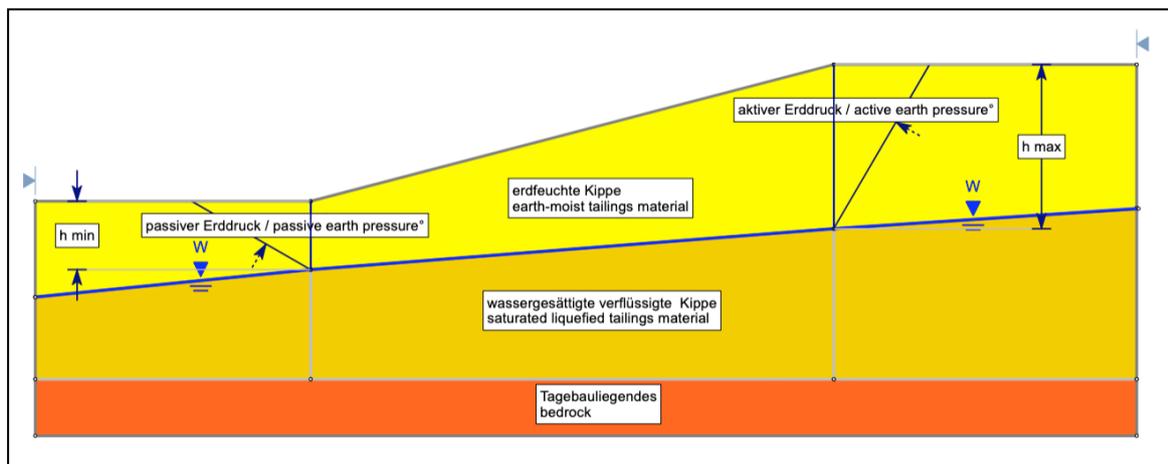


Abb. 2 Erddruckmodell zur Prognose von Rutschungen nach einer Verflüssigung

Fig. 2 Earth pressure model for the prediction of landslides after liquefaction

Solange der passive Erddruck  $E_p$  größer als der aktive Erddruck  $E_a$  ist, treten keine Horizontalbewegungen auf. Im anderen Fall kommt es zu horizontalen Verschiebungen bis sich das Gleichgewicht zwischen den Erddrücken einstellt oder zu großflächigen Rutschungen.

In (Weißbach & Kudla, 2014) wurden erstmals ca. 100 Geländeänderungen nach Verflüssigungen detailliert erfasst. Wertet man diese dort erfassten Geländeänderungen mit dem Ansatz für den vertikalen Geländeausgleich und den Erddruckansatz für horizontale Bewegungen nach (Wittig, 2022) aus, wird die Vorhersage vertikaler und horizontaler Bewegungen bestätigt.

## Literatur

- Casagrande, A. (1975). Liquefaction and cyclic deformation of sands: A critical review. Proc. of the Fifth Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, S. pp. 88-133.
- Weißbach, J., & Kudla, W. (2014). Auswertung der Verflüssigungsereignisse im Nordraum Lausitz in den Jahren 2012/2013. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, Institut für Bergbau und Spezialtiefbau.
- Wittig, M. (2017). Geokinematische Abläufe bei der Verflüssigung von Tagebaukippen. TU Bergakademie Freiberg, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie, 18. Geokinematischer Tag, Heft 1.
- Wittig, M. (2022). Physikalische Grenzen der statischen "spontanen" Verflüssigung und Beobachtungen des Vorganges auf Innenkippen. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie.

## Cause of spontaneous liquefaction on inner waste dumps of lignite mining and consequences

Manfred Wittig<sup>1</sup>, Thomas Martienßen<sup>2</sup>

### Cause of spontaneous liquefaction

For technological reasons, the overburden of lignite mining is deposited on inner waste dumps in very low densities and thus unstable solid structure. When the groundwater level rises again and saturation occurs, certain loosely deposited sandy soils in these tailings tend to liquefy spontaneously (Casagrande, 1975). This also occurs suddenly on inner dumps, often associated with large terrain changes (Fig. 1).



Abb. 1 Verflüssigung im Bereich der Innenkippe Seese-West (Kleptna-Niederung) Creator: Rauhut/LMBV mbH/2011

Fig. 1 Liquefaction in the area of the inner dump Seese-West (Kleptna lowland)

In soils without additional external stresses or deformations, the total stresses  $\sigma = \gamma_r \cdot H$  in the deposited materials does not change during liquefaction. The excess pore water pressure  $\Delta u = \gamma_w \cdot H$  resulting from liquefaction is limited to  $u = 2 \cdot \gamma_w \cdot H$ . The total pore water pressure under static conditions together with the static pore water pressure is then limited to  $2 \cdot \gamma_w \cdot H$ . If the saturated density  $\gamma_r$  is smaller  $\gamma_r \cdot H < 2 \cdot \gamma_w \cdot H$  before a structural change, the soil can liquefy. In the other case, a residual effective stress remains to prevent this. Under static conditions, a structural fracture always produces excess pore water pressures  $\Delta u$ , and associated shear strength loss but liquefaction with total shear strength loss can only occur up to a saturated density  $\gamma_r < 2 \cdot \gamma_w$ .

<sup>1</sup> Expert for Geotechnics, former Lecturer for Landfill Construction and Industrial Tailings Ponds, TU Bergakademie Freiberg, Germany

<sup>2</sup> TU Bergakademie Freiberg, Institute for Mine Surveying and Geodesy

## Stability of internal dumps

Interior tailings material with densities  $\gamma_r < 2 \cdot \gamma_w$  are therefore potentially at risk of liquefaction. Liquefaction can occur completely spontaneously even on nearly level terrain without excitation, but it is usually the result of external excitation (initial). After liquefaction, terrain changes occur on the inner dump, which can be classified as follows (Wittig, 2017):

- 1st category Large horizontal displacements (landslides),
- 2nd category Vertical displacements (terrain levelling) without horizontal movements, and
- 3rd category local breakups (analogous to sinkholes) with large groundwater-flood distance.

Liquefaction always causes deformations with terrain compensation (category 2). Whether horizontal displacements (category 1) occur can be deduced from an earth pressure comparison between the minimum  $h_{\min}$  and maximum groundwater floor distance  $h_{\max}$  (Fig. 2) of the interior dump.

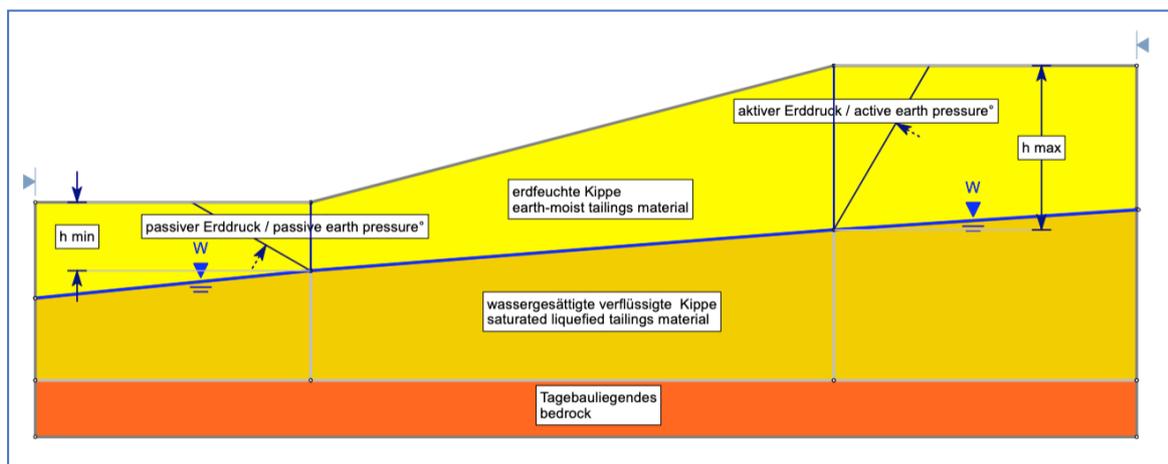


Abb. 2 Analyse der Verflüssigungsereignisse nach Bewegungsart

Fig. 2 Analysis of liquefaction events by movement type

If the passive earth pressure  $E_p$  is greater than the active earth pressure  $E_a$ , no horizontal movements occur. In the other case, horizontal displacements occur until equilibrium is reached or large-scale landslides occur.

In (Weißbach & Kudla, 2014) about 100 landslide movements after liquefaction were analyzed for the first time. If the recorded slope changes are evaluated with the approach for vertical terrain equilibrium and the earth pressure approach for horizontal movements (Wittig, 2022), their suitability for the prediction of vertical and horizontal movements after liquefaction is confirmed.

## References

- Casagrande, A. (1975). Liquefaction and cyclic deformation of sands: A critical review. *Proc. of the Fifth Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp. pp. 88-133.
- Weißbach, J., & Kudla, W. (2014). *Auswertung der Verflüssigungsereignisse im Nordraum Lausitz in den Jahren 2012/2013*. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, Institut für Bergbau und Spezialtiefbau.
- Wittig, M. (2017). Geokinematische Abläufe bei der Verflüssigung von Tagebaukippen. *TU Bergakademie Freiberg, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie, 18. Geokinematischer Tag, Heft 1*.
- Wittig, M. (2022). *Physikalische Grenzen der statischen "spontanen" Verflüssigung und Beobachtungen des Vorganges auf Innenkippen*. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie.

**SANIERUNGSBERGBAU –  
TECHNOLOGIE & NACHSORGE**

**MINING REMEDIATION –  
TECHNOLOGY & AFTERCARE**



## **Bekanntnis zur langfristigen Aufsichtspflicht: Ein Überblick über die sichere und nachhaltige Verwaltung und Wiederverwendung von Altlaststandorten**

Tania Smith Taylor<sup>1</sup>, Carmelo Melendez<sup>2</sup>, Jay Glascock<sup>3</sup>

### **US-Energieministerium, Office of Legacy Management (LM)**

Die Tätigkeiten des Department of Energy, Office of Legacy Management, sind trans-hemisphärisch. Das Office of Legacy Management hat die Aufgabe, die menschliche Gesundheit und die Umwelt an 102 Standorten in über 30 Bundesstaaten und Territorien zu schützen, von Puerto Rico in der Karibik bis zur Insel Amchitka in Alaska im Beringmeer. Das Amt ist der Verwalter der Altstandorte, die in der Atomgeschichte Amerikas eine entscheidende Rolle gespielt haben. Daher steht sein Engagement für eine nachhaltige, langfristige Verwaltung im Mittelpunkt aller Aktivitäten, beginnend mit der Übernahme eines Altstandorts bis hin zu langfristigen Managementbemühungen. Dieser Beitrag analysiert die langfristige Verantwortung, die LM in den letzten Jahren übernommen hat. Er beschreibt die notwendigen Komponenten eines wirksamen Programms, einschließlich des Schutzes der menschlichen Gesundheit und der Umwelt, der sinnvollen Wiederverwendung, der Führung von Aufzeichnungen, der Überwachung von Sanierungsmaßnahmen, der Einbindung von Interessengruppen und der internationalen Zusammenarbeit. Das Thema untersucht die Zusammenarbeit mit lokalen Gemeinschaften, Landes- und Kommunalverwaltungen sowie Stammesnationen über zahlreiche Medien hinweg, um die Öffentlichkeit über laufende Verwaltungsaktivitäten aufzuklären und zu informieren. Abschließend werden aktuelle Bemühungen zur Bewertung der mit dem Klimawandel verbundenen Risiken und zur Einbeziehung von Maßnahmen zur Erhöhung der Klimaresilienz von Altstandorten diskutiert. Die Autoren hoffen, dass die Diskussion die Wichtigkeit des Bekenntnisses zu einer langfristigen Aufsichtspflicht verdeutlicht.

### **Sichere und nachhaltige Verwaltung älterer Websites über Generationen hinweg**

Das 2003 gegründete Office of Legacy Management bewertet kontinuierlich, wie sich potenzielle Umweltveränderungen auf bestehende Ansätze zur Überwachung, Inspektion und Wartung der Standorte auswirken können. Der Umfang Letzterer ist von 30 im Jahr 2003 auf heute 102 Standorte gewachsen und wird bis 2030 auf 125 ansteigen. Das LM umfasst etwa 80 Bundesangestellte und 500 Vertragspartner, darunter Geologen, Hydrologen, Ingenieure, Physiker und andere Fachleute, um den langfristigen Umweltschutz sicherzustellen. Dazu gehören auch Versicherungsmathematiker, Finanzmanager und Beschaffungsspezialisten, die für Rentenzahlungen und Leistungen nach der Pensionierung pensionierter Auftragnehmer sorgen. Zertifizierte Beamte und Immobilienspezialisten verwalten Bundeseigentum während Informationstechnologiespezialisten und Archivierungsfachleute Informationen erfassen, sichern und weitergeben. Historiker und Spezialisten für Öffentlichkeitsbeteiligung organisieren den Dialog mit Interessengruppen und Regierungen. Schließlich gibt es Personal- und Verwaltungsfachleute, die Belegschaftsangelegenheiten und Arbeitsabläufe unterstützen.

Das LM arbeitet nach fünf Schlüsselkomponenten bzw. Zielen. Es schützt die menschliche Gesundheit und die Umwelt; macht Aufzeichnungen über Altlasten und Umweltsanierungen der Öffentlichkeit und künftigen Generationen zugänglich; finanziert Renten und Leistungen nach dem Ruhestand für über 10.000 ehemalige Auftragnehmer und ihre Ehepartner; verwaltet Land und erleichtert die sinnvolle Wie-

---

<sup>1</sup> MEng, MBA Director, Technical Programs, Forrestal Office, Washington DC, Office of Legacy Management

<sup>2</sup> PE, PMP, EngD Director, Office of Legacy Management, Department of Energy, Forrestal Office, Washington DC

<sup>3</sup> PMP, MEng Director, Site Operations, Westminster Center, Office of Legacy Management

derverwendung stillgelegter Standorte; und gewährleistet eine sinnvolle Beteiligung aller Interessengruppen, insbesondere Stammes- und lokaler Gemeindemitglieder, an allen langfristigen Verwaltungsaktivitäten.

Im Einklang mit dem Thema des diesjährigen 5. Internationalen Bergbausymposiums „Bergbausanierung neu denken, innovative Ansätze für Nachhaltigkeit“ ist es wichtig zu prüfen, wie das LM die Zukunft von Altstandorten durch sein Engagement für Sicherheit und Nachhaltigkeit langfristig gestaltet. In dieser Präsentation wird erörtert, wie all diese Aktivitäten zusammenwirken, um eine erfolgreiche langfristige Beaufsichtigung und Verwaltung von Altstandorten zu erreichen, die Gemeinden einbezieht und eine sichere und nachhaltige Wiederverwendung fördert, wo immer dies möglich ist.

## Commitment to Long-Term Stewardship: An Overview of Safe and Sustainable Management and Reuse of Legacy Sites

Tania Smith Taylor<sup>1</sup>, Carmelo Melendez<sup>2</sup>, Jay Glascock<sup>3</sup>

### The Dept of Energy, Office of Legacy Management

The operations of the Department of Energy, Office of Legacy Management, are trans-hemispheric. The Office of Legacy Management is charged to protect human health and the environment at 102 sites in over 30 states and territories, from Puerto Rico in the Caribbean Sea to Amchitka Island, Alaska, in the Bering Sea. The Office is the caretaker or steward of the legacy sites that played a critical role in America's nuclear history. As such, its commitment to sustainable long-term stewardship is at the core of everything it does, beginning the moment the Office takes over a legacy site and continuing throughout long-term management efforts. This discussion re-views the long-term stewardship undertaken by the Office of Legacy Management in recent years. It describes the necessary components of an effective program, including the protection of human health and the environment, beneficial reuse, record keeping, monitoring remedial activities, stakeholder engagement, and international collaboration. The topic explores engagements with local communities, state and local governments, and tribal nations across numerous mediums to educate and inform the public of ongoing stewardship activities. Finally, the discussion includes current efforts to assess risks associated with climate change and to incorporate measures to increase climate resiliency of legacy sites. It is hoped that this discussion will convey the importance and commitment required of long-term stewardship.

### Safely and Sustainably Managing Legacy Sites Over Generations

Established in 2003, the Office of Legacy Management continually evaluates how potential environmental changes may impact the approach to monitoring, inspection, and maintenance at the sites. Its scope has grown from 30 in 2003 to 102 sites to-day, and the number will continue to increase to 125 by 2030. The organization comprises approximately 80 federal employees and 500 contractor partners including geologists, hydrologists, engineers, physical scientists, and other professionals to ensure long-term environmental protection. It includes actuaries, financial managers, and procurement specialists to provide for retired contractor pension payments and post-retirement benefits. Certified realty officers and property specialists manage federal property and information technology specialists and records professionals to capture, safeguard, and share information. Historians and public participation specialists help facilitate engagements with stakeholders and governments. Finally, there are human resource and administrative staff to support personnel and workflow needs.

The Office operates using five key components or goals. The Office protects human health and the environment; makes legacy and environmental clean-up records accessible to the public and future generations; funds pensions and post-retirement benefits for over 10,000 former contractor workers and their spouses; manages land and facilitates beneficial reuse of closed sites; and ensures meaningful involvement by all stakeholders, especially tribal and local community members in all long-term stewardship activities.

In keeping with the theme of this year's 5th International Mining Symposium, "Re-thinking Mining Remediation, Innovative Approaches Towards Sustainability", it is important to review how the Office of Legacy Management shapes the future of legacy sites through its commitment to safe and sustainable

---

<sup>1</sup> MEng, MBA Director, Technical Programs, Forrestal Office, Washington DC, Office of Legacy Management

<sup>2</sup> PE, PMP, EngD Director, Office of Legacy Management, Department of Energy, Forrestal Office, Washington DC

<sup>3</sup> PMP, MEng Director, Site Operations, Westminster Center, Office of Legacy Management

long-term stewardship. This presentation will discuss how all these activities work together to accomplish successful long-term stewardship of legacy sites, that engages communities and promotes safe and sustainable reuse where feasible.



*Above: Weldon Spring Uranium Feed Materials Plant, circa 1957.*



*Right: Visitors walk to the top of the Weldon Spring disposal cell during a solar eclipse event.*



*Right: Children catch and tag butterflies at the Weldon Spring site.*



*Left: LM plants several hundred trees to reduce soil erosion at the Canonsburg site.*

## References

- Canonsburg, Pennsylvania, Site. <https://www.energy.gov/lm/canonsburg-pennsylvania-disposal-site>
- Grand Junction was Home to a Top-Secret Manhattan Project Uranium Mill During WWII, October 5, 2018. <https://www.cpr.org/news/story/grand-junction-was-home-to-a-top-secret-manhattan-project-uranium-mill-during-wwii>
- Strategic Plan, 2020-2025, Department of Energy, Office of Legacy Management, January 2020. <https://www.energy.gov/lm/articles/2020-2025-strategic-plan>
- Weldon Spring, Missouri, Site. <https://www.energy.gov/lm/weldon-spring-site-missouri>

## **Von der Wissenschaft in die Praxis – Die Anwendung von Wissenschaft und Technology bei der nachhaltigen Bewirtschaftung von Standorten der Uranerz-verarbeitung in den Vereinigten Staaten**

Mark Kautsky<sup>1</sup>, Nicolas Kiusalaas<sup>2</sup>, Jeff Carman<sup>2</sup>

### **Das U.S. Department of Energy, Office of Legacy Management**

Das U.S. Department of Energy (DOE), Office of Legacy Management (LM) setzt sich für den Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt in Kommunen ein, die während einer der kritischsten Perioden in der Geschichte der Vereinigten Staaten für die Nation Opfer erbringen mussten. Das LM führt kontinuierlich langfristige Überwachungs- und Instandhaltungsmaßnahmen (LTS&M) an Standorten durch, an denen radioaktiven Hinterlassenschaften mit verbleibenden Restkontaminationen saniert wurden und an denen nach wie vor eine passive oder aktive Behandlung von Grundwasser, welches durch Radionuklide oder andere maßgebliche Schadstoffe kontaminiert ist, durchgeführt wird. Zu den Tätigkeiten nach der Sanierung gehören jährliche Standortinspektionen, die Umweltüberwachung, die Umsetzung von Umwelt-sanierungsstrategien (insbesondere für Grundwasser) und die Sicherstellung der weiterhin erforderlichen administrativen Kontrolle. Diese langfristigen Überwachungsmaßnahmen müssen über viele Jahre hinweg, d. h. solange die Boden- und Grundwasserkontamination noch besteht, aufrechterhalten werden. Die jährlichen Inspektionsberichte des LM werden der zuständigen Aufsichtsbehörde, der U.S. Nuclear Regulatory Commission, zur Prüfung vorgelegt. Des Weiteren werden die Ergebnisse der jährlichen Inspektionen auf der öffentlich zugänglichen Website des LM unter <https://www.energy.gov/lm/lm-sites> veröffentlicht.

### **Das Programm für angewandte Studien- und Technologie**

Das Programm für angewandte Studien und Technologie (AS&T-Programm) ist Teil der Umsetzung der Aufgaben des LM (siehe: <https://www.energy.gov/lm/applied-studies-and-technology-ast>). Ein verbessertes wissenschaftliches Verständnis und entsprechende technologische Anwendungen im Management von Sanierungsstandorten und bei der Umsetzung von Sanierungsstrategien erhöhen die Wirksamkeit, den Schutz und die Nachhaltigkeit von Sanierungsmaßnahmen. Zudem können dadurch die Kosten für die langfristige Bewirtschaftung der Hinterlassenschaften gesenkt werden. Konsequenterweise wird durch das AS&T-Programm angestrebt, den "Stand der Wissenschaft" bei der Umsetzung langfristiger LTS&M-Strategien zum "Stand der Praxis" an den LM-Standorten zu machen.

Klimaauswirkungen stellen neue Herausforderungen für die Tätigkeit des LM dar. Das Office nimmt deshalb regelmäßig an der Arbeit einer DOE-weiten Arbeitsgruppe teil, um Wissen und Erfahrungen auszutauschen. Des Weiteren werden Schulungen und Konferenzen besucht, die sich der Resilienz gegenüber Klimaveränderungen widmen. Ziel ist dabei, Möglichkeiten zur strategischen Anpassung an Klima-veränderungen zu identifizieren. So erforscht das AS&T-Programm intern Methoden zur Verbesserung der Widerstandsfähigkeit von LM-Standorten, die besonders anfällig für den Klimawandel sind. Beispielsweise sind LM-Standorte in ariden und semiariden Regionen früher als ursprünglich angenommen von Erosion betroffen, worauf das LM mit entsprechenden Gegenmaßnahmen reagiert.

---

<sup>1</sup> DOE LM

<sup>2</sup> RSI

## AS&T-Projekte

Im Rahmen des AS&T-Programms werden interne Studien durchgeführt und es erfolgt eine Zusammenarbeit mit anderen Bundesbehörden, Universitäten, nationalen Laboratorien und der internationalen wissenschaftlichen Gemeinschaft. Ziel ist es dabei, neue ingenieurtechnische und wissenschaftliche Fortschritte zu bewerten und zu verstehen, die sich für LM als vorteilhaft erweisen könnten. In diesem Sinne hat die Investition des LM in die vieljährige Verfolgung der Funktionalität der Abdeckung von Abfallentsorgungszellen (disposal cells) zu innovativen Ansätzen geführt, um die langfristige Wirksamkeit der derzeitigen Abdeckungen der Zellen zu verbessern. Diese Bemühungen führen auch zu alternativen Abdeckungen für Entsorgungszellen und zu verbesserten Methoden und Richtlinien zur Bewertung der Funktionalität der Abdeckungen. Die Ergebnisse des AS&T-Programmes bilden zusammen mit anderen erforderlichen Überwachungsmaßnahmen die Grundlage für ein sachkundiges Management von konventionellen Abdeckungen und Evapotranspirations-Abdeckungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle über lange Zeiträume.

Studien zur Leistungsfähigkeit von Abdeckungen helfen den Verantwortlichen, Antworten auf nachfolgende Fragen zum LTS&M an Abdeckungen von Entsorgungszellen zu finden:

- Haben Veränderungen der ingenieurtechnischen Eigenschaften der Abdeckungen erhöhte Radonfreisetzung aus den Zellen sowie erhöhte Bodendurchsickerungen zur Folge? Wenn ja, wie sind die daraus entstehenden Risiken zu bewerten, und wie ist der gegenwärtige Schutz der menschlichen Gesundheit sowie der Umwelt einzuschätzen?
- Werden die natürlich ablaufenden Veränderungsprozesse in Abdeckungen über den gesamten Zeitraum ihrer angestrebten Leistungsfähigkeit zu erhöhten Radonfreisetzungen, zu Wasserdurchsickerungen, zur Aufnahme von Kontaminanten durch Biota und zur Erosion führen? Wenn ja, wie langzeitlich schützend sind die Abdeckungen?
- Unter welchen Bedingungen sollte sich eine Vegetation auf den Abfallentsorgungszellen ausbilden?
- Sind die Abdeckungen jener Entsorgungszellen, die im Rahmen des US Control Act Title II entwickelt und gebaut wurden, noch akzeptabel, oder bedarf es ihrer Modifikation, um auch künftig eine hinreichende Wirksamkeit der Abdeckungen zu gewährleisten?
- Wie wären die Wasserdurchsickerung und die Radonfreisetzung durch bestehende Abdeckungen zu kontrollieren im Fall der Veränderung behördlicher Anforderungen und welche Erfordernisse würden sich dadurch an die Durchführung des Monitorings ergeben?
- Welche Technologien können genutzt werden für den Fall erforderlicher Gegenmaßnahmen bei nicht hinreichender Wirksamkeit der Abdeckungen?

Die Studien im Rahmen des AS&T-Programmes umfassen auch Projekte, die sich auf ein besseres Verständnis der Auswirkungen sekundärer Schadstoffquellen auf die Grundwasserqualität und die Wirksamkeit von Abhilfemaßnahmen konzentrieren. Des Weiteren werden verbesserte Methoden zur Überwachung der Funktionalität der Entsorgungszellen untersucht. Die Einbindung von Interessengruppen ist Bestandteil der Projekte. Die Zusammenarbeit mit 17 nationalen Laboratorien des DOE-Netzwerkes führt zu einer Verringerung von Risiken. Das AS&T-Programm hat zahlreiche Berichte veröffentlicht, die als wertvolle Referenzdatenbank dienen und unter <https://www.energy.gov/lm/ast-reports> leicht zugänglich sind.

## Der Nutzen von AS&T-Studien

Das AS&T-Programm förderte die Verwirklichung zahlreicher LM-Ziele, darunter die folgenden:

- Kosteneffektive Verringerung der Gesundheitsrisiken nach der Schließung von Standorten
- Verbesserung der Nachhaltigkeit der Sanierung auf lange Zeit

- Berücksichtigung des umweltrelevanten Erbes von Standorten des Uranbergbaus und der Uranerzverarbeitung im Verteidigungsbereich
- Bessere Verfügbarkeit von Informationen
- Verbesserung eines nachhaltigen Umweltschutzes für Einrichtungen und persönliches Eigentum sowie Berücksichtigung des Klimawandels bei der Verwaltung von LM-Standorten
- Einbindung der Öffentlichkeit in die Programm-, Projekt- und Standortaktivitäten von LM
- Effektive Zusammenarbeit mit lokalen, staatlichen und bundesstaatlichen Behörden sowie gemeinnützigen Organisationen
- Beratung, Zusammenarbeit und Partnerschaften mit den Bürgern und Regierungen nationaler Stämme.

### **Schlussbemerkungen**

Die Autoren hoffen, dass der vorliegende Beitrag die Bedeutung und das Engagement des Legacy Management Offices und weiterer für die langfristige Betreuung von Entsorgungsstandorten verdeutlicht.

## Moving Science into Practice – Applying Science and Technology to Sustainably Manage Former Uranium Mill Tailings Sites in the United States

Mark Kautsky<sup>1</sup>, Nicolas Kiusalaas<sup>2</sup>, Jeff Carman<sup>2</sup>

### **The U.S. Department of Energy, Office of Legacy Management**

The U.S. Department of Energy (DOE) Office of Legacy Management (LM) is committed to protecting human health and the environment within the communities that made sacrifices for the nation during one of the most critical periods in our country's history. LM continues to conduct long-term surveillance and maintenance (LTS&M) at sites where radioactive waste has been remediated, where residual contamination remains, and where passive or active treatment of groundwater that is contaminated by radionuclides or other contaminants of concern, is being conducted. Post-remediation activities include annual site inspections, environmental monitoring, implementation of environmental remediation strategies (particularly for groundwater), and ensuring administrative controls remain in place and are being enforced. These long-term stewardship actions must be sustained for many years over the life of residual soil and groundwater contamination. LM's annual inspection reports are submitted for review to its regulator, the U.S. Nuclear Regulatory Commission, and results of the annual inspections are posted on the LM public website at <https://www.energy.gov/lm/lm-sites>.

### **The Applied Studies and Technology Program**

The Applied Studies and Technology (AS&T) Program has a supplemental role in the LM mission <https://www.energy.gov/lm/applied-studies-and-technology-ast>. Incorporating improvements in scientific understanding and technology applications into site management and remediation strategies improves cleanup effectiveness, protectiveness, and sustainability, and can decrease long-term stewardship costs. Consequently, AS&T strives to move the “state of the science” in evaluating long-term stewardship strategies into the “state of the practice” at LM sites.

Climate impacts pose emergent challenges to the LM mission. LM routinely participates in a DOE-wide working group to exchange knowledge and experience and attends training and conferences focused on climate resilience to identify opportunities to adapt strategically. Internally, the AS&T Program is exploring methodologies to improve the resiliency of LM sites that are most vulnerable to climate change. For example, LM sites in arid and semiarid regions have experienced erosion sooner than originally anticipated, and LM is responding with appropriate corrective actions.

### **AS&T Projects**

AS&T conducts in-house studies and collaborates with other federal agencies, universities, national laboratories, and the international scientific community to evaluate and understand emerging engineering and scientific advancements that may prove beneficial to LM. Along these lines, LM's investment in multiyear tracking the performance of its waste-disposal cell covers has led to innovative approaches to improving the long-term sustainability of current disposal cell covers. These efforts are also leading to alternative disposal cell cover designs and improved performance-evaluation methods and policies. AS&T findings, together with other required monitoring, provides the basis for informed management of conventional, and evapotranspiration covers to manage radioactive wastes over long periods of time.

---

<sup>1</sup> DOE LM

<sup>2</sup> RSI

Cover performance studies are helping managers answer the following types of questions regarding the LTS&M of disposal cell covers:

- Have changes in cover engineering properties increased radon flux and soil-water percolation? If so, what are the regulatory risks, and are covers currently protective of human health and the environment?
- Will natural processes increase radon flux, soil-water percolation, biological uptake, or erosion over the design life of a cover? If so, will covers be protective in the long term?
- Under what conditions should vegetation be allowed to grow on disposal cells?
- Are disposal cell covers at Uranium Mill Tailings Radiation Control Act Title II transition sites acceptable as designed and built, or will they require modification to be remain viable?
- How would water percolation and radon flux through in-service covers be monitored if regulatory requirements change and place greater emphasis on performance monitoring?
- What technologies could be used to modify a cover if a corrective action is necessary?

The AS&T study portfolio also includes projects focused on improved understanding of the effects of secondary contaminant sources on groundwater quality and remedy effectiveness, improved methods for monitoring cell performance, outreach with stakeholder communities, and reducing site risks through collaborations with DOE's network of 17 National Laboratories. The AS&T Program published numerous reports that serve as a valuable reference database, which is readily accessible at <https://www.energy.gov/lm/ast-reports>.

### **AS&T Study Benefits**

The AS&T Program promoted the advancement of many LM objectives, including the following:

- Reducing post closure-related health risks in a cost-effective manner
- Improving the long-term sustainability of environmental remedies
- Addressing the environmental legacy of defense-related uranium mines and milling sites
- Making information more accessible
- Enhancing sustainable environmental performance for facilities and personal property, and accounting for climate change in LM site management
- Engaging the public in LM's program, project, and site activities
- Working effectively with local, state, and federal governments and nonprofit organizations
- Consulting, collaborating, and partnering with the citizens and governments of tribal nations

### **Closing Remarks**

It is hoped that this paper emphasizes the importance and commitment of LM and others in long-term stewardship roles of disposal sites.



## Erkundung der Historie zur Bewahrung der Zukunft Uranminen für die nationale Verteidigung

William Lee Burns<sup>1</sup>

### The U.S. Department of Energy, Office of Legacy Management

Das U.S. Department of Energy (DOE), Büro für Altlastenmanagement ist beauftragt, die Örtlichkeit und die Umweltbedingungen für mehr als 3.300 Uranminen festzustellen, die für die Sicherung der nationalen Verteidigung betrieben wurden. Diese werden im DRUM-program (DRUM = Defence-Related Uranium Mines) erfasst.



Abb. 1 Uranminen die für die nationale Verteidigung in den USA betrieben wurden (DRUM-program)

Fig. 1 Defense-Related Uranium Mines (DRUM) located within the United States

Im Jahre 2017 richtete das Büro für Altlastenmanagement des Department of Energy (DOE) das DRUM-Programm ein, um die Gefahren besser zu verstehen, die verbunden sind mit der Teilmenge der verteidigungsbezogenen Uranminen (DRUM) und um das Mandat des Kongresses zu erfüllen, Daten und Informationen über die abgeworfenen Uranminen zu ermitteln. Diese Minen lieferten Uranerz zum Vorgänger der DOE, der U.S. Atomenergiekommission für verteidigungsbezogene Maßnahmen. Des Weiteren sichert dieses Programm die Verpflichtung der Agentur, die menschliche Gesundheit und die Umwelt bei diesen Bergbauortstandorten zu schützen.

### Überprüfung und Validierung der verteidigungsbezogenen Uranminen

Das DRUM Programm etablierte ein System zur Datenerfassung und -bewertung einschließlich einer Rangfolge der Minen hinsichtlich der potentiellen Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt, das Vorliegen physischer Gefahren oder anderer bergbaubedingter Risiken sowie über das Maß der Zugriffe und der Komplexität. Analytische Daten zu chemischen Bestandteilen, toxischen Metallen, sowie radiologische Daten werden erfasst durch Probenahmen vor Ort, Kartierung und Screening-Messungen von bergbaubeeinflussten Böden und Sedimenten, Messungen der Ortsdosisleistung der Gammastrahlung und von Oberflächenwasser. Solche Daten werden miteinander verglichen, um Bench-

<sup>1</sup> DOE-LM

marks zu etablieren und genutzt um sie zu überprüfen im Hinblick auf potentielle Risiken für die menschliche Gesundheit. Ein Ansatz multipler Nachweise wird genutzt um die potentiellen Risiken zu bewerten, die von einer Mine ausgehen.

Nach der Identifizierung und Sammlung des verschiedenartigen Dateninputs für die Erfassung jeder einzelnen Mine bezüglich physischer Gefahren und potentieller Risiken für die menschliche Gesundheit wird eine Risikobewertung (RSA = Risk scoring assessment) für jede Mine zur Auswertung genutzt,

Die Risikobewertungskriterien wurden festgelegt mit dem Ziel für jede einzelne Mine spezifische Gruppen von Gefahren zu bewerten.

Dieses System beinhaltet numerische Evaluationen mit breiten Rankingkategorien von "kein Risiko", "geringes Risiko", "mittleres Risiko" oder "hohes Risiko" basierend auf den Informationen, die für jede einzelne Mine gesammelt wurden (DOE 2022).

Zusätzlich zu den einzelnen Minenreports erarbeitet die DOE zusammenfassende Risikoberichte für Vorhabensgebiete, um die Bemusterung der bergbaubezogenen Informationen und relative Risiken zu erleichtern. Diese Zusammenfassungen unterstützen die Übereinstimmung mit den Rankings der minenbezogenen Risiken der Agenturen für Liegenschaftsmanagement und stellen Empfehlungen zur Priorisierung von Entscheidungen über Sicherungsmaßnahmen bereit. Das wird erreicht durch Bereitstellung von Seite an Seite stehenden Vergleichen zusammenfassender Informationen der einzelnen Minen in Bezug auf spezifische geographische Gebiete, wie z. B. den Bergbaudistrikt, und durch Verfügbarmachung programmbezogener Mittel zur konsistenten Evaluierung und zum Risikoranking um die bedeutendsten Gefahren zu identifizieren die verbunden sind mit der Gruppe der Minen im DRUM-Programm (DOE 2020).

Die Bestandsaufnahme für diese Minen begann auf Land, das durch andere Bundesagenturen der USA verwaltet wurde, wo öffentlicher Zutritt im Allgemeinen ohne Restriktionen möglich ist, was die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Bergbaugesfahren erhöht. Kürzlich begann die Bestandsaufnahme auf Land im Eigentum indigener Völker und in Kürze wird sie auch auf Land im Privateigentum ausgedehnt. Im Jahre 2020 erweiterte das DRUM-Programm sein Portfolio an strategischen Zielstellungen um die Sicherung von Minen zur Gefahrenabwehr aufgrund der großen Anzahl an physischen Gefahren, die im Zuge der Bestandsaufnahme entdeckt worden waren.

### **Sicherung von Uranminen mit Bezug zur nationalen Verteidigung**

Sicherung zur Gefahrenabwehr ("Safeguarding") ist der Prozess zum Schutze der Öffentlichkeit vor den physischen Gefahren, die von verbliebenen bergbaubezogenen Objekten auf den Standorten des DRUM-Programms ausgehen. Dabei werden, wo möglich, Habitate für Wildtiere erhalten. Sicherungsmaßnahmen ("Safeguarding") umfasst den Bau von Absperrungen, die geeignet sind den öffentlichen Zutritt zu gefährlichen Stollen, Schächten, Bergsenkungen, Abbauwänden, und anderen Abtragsformen des Bergbaus zu unterbinden.

Durch die Zusammenarbeit mit Partnern in verschiedenen Sektoren hat das DRUM-Programm 625 gefährliche Bergbauobjekte gesichert.

Alles in allem erfüllt die Bestandsaufnahme, die Beprobung und die Sicherung dieser abgeworfenen Bergbaustandorte das Bekenntnis der Agentur, die menschliche Gesundheit und die Umwelt auf und im Umfeld dieser Bergbaualtlasten zu schützen.

## Investigating the Past – Protecting the Future Defense-Related Uranium Mines

William Lee Burns<sup>1</sup>

### **The U.S. Department of Energy, Office of Legacy Management**

The U.S. Department of Energy (DOE) Office of Legacy Management is tasked with determining the location and environmental conditions for more than 3,300 defense-related uranium mines (DRUM) across the United States.

In 2017, the Office of Legacy Management established the DRUM program to better understand the extent of the hazards associated with this subset of mines and to meet the Congressional mandate to obtain data and information on these abandoned uranium mines. These mines provided uranium ore to DOE's predecessor, the U.S. Atomic Energy Commission, for defense-related activities. This program further ensures the agency's commitment of protecting human health and the environment at these legacy mine sites.

### **Verification and Validation of Defense-Related Uranium Mines**

The DRUM program established a system to acquire data and provide an assessment and ranking of mines for their potential risk to human health and the environment, presence of physical hazards or other mine-related features, and degree of access or complexity. Analytical data regarding chemical constituents, toxic metals, and radiological activity are obtained through on-site sampling, mapping, and screening of mining-impacted soil and sediment, gamma radiation, and surface water. Such data are compared to established benchmarks and used to screen for potential human health risks. The multiple lines of evidence screening approach are used to evaluate the potential risks posed by a mine.

After identifying and collecting the various data inputs needed to screen each mine for physical hazards and potential risks to human health, a risk scoring assessment (RSA) criterion is used to evaluate each mine. The RSA criteria were established for the purpose of individually evaluating specific groups of hazards at a mine. This system incorporates numeric evaluations with broad risk ranking categories of "none," "low," "medium," or "high" based on the information collected for each mine (DOE 2022).

In addition to individual mine reports, DOE prepares risk summary reports for project areas to facilitate the review of mine information and relative risks. The summary reports support concurrence with land management agencies on mine risk rankings and provide recommendations on prioritization and safeguarding decisions. This is accomplished by providing side-by-side summary information comparisons of the individual mines from specific geographic areas, such as a mining district, and by delivering a programmatic means to consistently evaluate and rank risk to identify the most significant hazards associated with a mine or group of mines in the DRUM Program (DOE 2020).

Inventory of these mines started on lands managed by other United States Federal Agencies where public visitation is generally unrestricted, increasing the likelihood to encounter hazardous mine features. Recently, inventory began on indigenous (Native American) lands and soon inventory will begin on privately owned lands. In 2020, the DRUM program expanded its suite of strategic objectives to include safeguarding due to the number of physical hazards discovered during inventory.

---

<sup>1</sup> DOE-LM

## **Safeguarding Defense-Related Uranium Mines**

Safeguarding is the process of protecting the public from physical safety hazards posed by remnant mining-related features at DRUM sites while preserving, where necessary, wildlife habitat. Safeguarding involves construction of barricades designed to prohibit access to hazardous adits, shafts, subsidences, highwalls, and other excavated mine features (DOE, 2021). Through collaboration with multiple sector partnerships, the DRUM program has safeguarded 625 hazardous mine features.

Overall, the inventorying, sampling, and safeguarding of these abandoned mines secures the agency's commitment of protecting human health and the environment at these legacy sites.

## **Literature**

DOE (U.S. Department of Energy), (2020). Defense-Related Uranium Mines Risk Screening Process, LMS/DRM/S29603, Office of Legacy Management.

DOE (U.S. Department of Energy), (2021). Defense-Related Uranium Mines (DRUM) Mine Safeguarding Program Management Plan, LMS/DRM/S33217-0.1, Office of Legacy Management.

DOE (U.S. Department of Energy), (2022). Defense-Related Uranium Mines Verification and Validation Work Plan, LMS/DRM/S13690-3.4, Office of Legacy Management.

## Bauerfahrung bei Entsorgungszellenabdeckungen im Westen der Vereinigten Staaten

Joseph D. Ritchey<sup>1</sup>

### Einleitung

Im Westen der Vereinigten Staaten wurden über zwanzig Abraumentsorgungszellen für Uranmühlen errichtet. Die meisten Entsorgungszellen wurden in den späten 1980er und 1990er Jahren gebaut, aber der Bau und die Wartung der Zellen erstrecken sich bis heute und für viele Jahre. Der Standort dieser Entsorgungszellen befindet sich fast immer in unmittelbarer Nähe zum Abfall und in größerer Entfernung, um Ausgangsstoffe abzudecken. Die Abdeckung Materialquellen und das Klima beeinflussen unter anderem die Zellkonstruktion. Beobachtungen der Zelleistung und des laufenden Baus können Betriebserfahrungen liefern, um zukünftige Baupraktiken zu verbessern.

Die Wiederherstellung von Uranmühlenstandorten wurde durch den Uranium Mill Tailings Radiation Control Act von 1978 genehmigt, und verteidigungsbezogene Standorte werden vom US-Energieministerium saniert und gewartet, um die Vorschriften der United States Environmental Protection Agency gemäß 40 Code of Federal Regulations Part 192 Health and Environmental Protection Standards for Uranium and Thorium Mill Tailings zu erfüllen. Die United States Nuclear Regulatory Commission prüft und genehmigt Pläne und erteilt eine allgemeine Lizenz für Entsorgungszellen, sobald sie gebaut sind.

### Quellenmaterial

Alle Abraumentsorgungszellen für Uranmühlen im Westen der Vereinigten Staaten sind mit Felspflastersteinen bedeckt, die ohne Vegetation oder einer Mischung aus Gestein und Erde mit Vegetation bestimmt sind. Verschiedene Arten von Abdeckungen und Deckschichten werden in Dwyer et. al. (2007) und United States Nuclear Regulatory Commission (2022). Das erforderliche Verhältnis von Gestein zu Boden hängt vom Zelldesign ab, einschließlich der Zusammensetzung der obersten Schicht, um Erosion zu verhindern, und des Einschlusses einer Gesteinsschicht, um grabende Tiere zu begrenzen oder einen Kapillarbruch zu schaffen, um die Wasserinfiltration zu begrenzen. Andere Schichten, wie Frostschutz, Radonsperre und Drainage, bestehen fast ausschließlich aus feinkörnigen Materialien aus Sand, Schluff oder Ton. Um die Radonemission zu begrenzen, wird die Radonbarriere eine ausreichend dicke feinkörnige Schicht aufweisen, um den Gasfluss zu reduzieren.

Die richtige Platzierung von Abfall- und Abdeckmaterialien hat einen erheblichen Einfluss auf die langfristige Leistung. Vor einigen Jahren wurden etwa 20 Jahre nach dem Zellaufbau Vertiefungen in einer Gesteinsdecke im Nordosten Arizonas beobachtet. Eine umfassende Untersuchung (DOE, 2021) ergab, dass Deckböden mobilisiert wurden, wodurch Hohlräume, Rohre und Hohlräume in der Radonbarriere entstanden. Erosionsrohre wurden durch eine Kombination von Faktoren verursacht, darunter Sturmereignisse, langfristiges Klima, Landschaftstopographie und die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften von Bodenmaterialien.

Die Radonbarriere an diesem Standort bestand aus einheimischen Böden, die mit Bentonit-Ton angereichert waren. Bodentests wurden von Halden und nicht nach dem Platzieren durchgeführt, und die Abdeckmaterialien wurden von der Spitze eines Hangs aus verteilt. Abstufungen und Feuchtigkeitsge-

---

<sup>1</sup> MSc, PE, RG

halt können sich während des Transports ändern, was dazu beiträgt, dass die Böden nach dem Verlegen nicht den Spezifikationen entsprechen. Die Bildung von Kalziumkarbonat in Erosionsrohren wurde als beitragender Faktor festgestellt.

Gesteins- und Bodenquellen erfordern in der Regel vor der Platzierung eine Art Verarbeitung, was zu einer erheblichen Menge an Material führt, die für die Abdeckung nicht zufriedenstellend ist. Die Planung der Verwendung von Materialien in anderen Bereichen, die nicht den Spezifikationen für Bezugsmaterialien entsprechen, kann die Baueffizienz erhöhen. Dies kann Straßen und Entwässerung umfassen, die nicht Teil der Zelle sind.

## Klima

Das Klima in weiten Teilen des Westens der Vereinigten Staaten ist gekennzeichnet durch starke Winde im Frühjahr in östlicher Richtung, durchschnittliche Niederschläge von etwa 33 Zentimetern pro Jahr, von denen eine erhebliche Menge bei Spätsommerstürmen auftritt, und relativ niedrige Luftfeuchtigkeit. Temperaturänderungen während des Tages können oft 30 Grad Celsius überschreiten.

Während des Baus können die Auswirkungen starker Winde gemildert werden, indem Strukturen und Aktivitäten so ausgerichtet werden, dass die durchdringende Windrichtung blockiert wird. Geschwindigkeitsbeschränkungen für Geräte, die Böden oder Schotterstraßen stören, und ein erhöhter Wasserverbrauch zur Staubbekämpfung begrenzen die Staubproduktion. Beobachteter Staub, auch aus Nicht-Abfallbereichen, wird sich wahrscheinlich negativ auf die öffentliche Wahrnehmung auswirken.

Eine andere Möglichkeit, wie sich das Klima auf den Bau auswirkt, ist die verringerte Effizienz, wenn die Deckschichten über längere Zeiträume freigelegt werden, in denen gefrorene Böden möglicherweise nachbearbeitet werden müssen, um die Verdichtungsstandards zu erfüllen. Zelldesigns, die die Deklination eines Hangs und den ununterbrochenen Hangabstand minimieren, können die Gesamteffizienz im Bauwesen erhöhen, indem sie den durch übermäßige Erosion verursachten Wartungsaufwand reduzieren. Die Überwachung der Wetterbedingungen und die Anpassung der Aktivitäten vor Ort sowie die Gewährleistung ordnungsgemäß funktionierender Geräte erhöhen die persönliche Sicherheit.

## Weitere Überlegungen

Es gibt viele andere Aspekte des Zellbaus, die zu berücksichtigen sind, einschließlich der Auftriebsdicke des Abfalls und des Setzungspotenzials, das zu Rissen in der Abdeckung führen kann. Eine größere Dicke des Abfalllifts oder eine ungleichmäßige Platzierung von Schmutz kann zu einer unterschiedlichen Setzung beitragen. An den Rändern der Entsorgungszelle, wo die Abdeckung auf das vorhandene Gelände trifft, kann die Sortierung der Materialien die Wahrscheinlichkeit der Erosion oder des Auffüllens von Hohlräumen durch feinkörnige Böden verringern, die die beabsichtigten Entwässerungsmuster verändern können. Kulturelle und historische Ressourcen, Lebensraum für bedrohte und gefährdete Arten sowie Anwohner in der Nähe der Zelle und entlang von Transportwegen spielen ebenfalls eine Rolle bei der Lage und Nutzbarkeit von Baustützstrukturen und Lagerflächen und beeinflussen die zulässigen Bauzeiten.

Bau- und Qualitätssicherungsteams sollten Pläne und geplante Optionen regelmäßig überprüfen, um nachteilige Auswirkungen von wechselnden und extremen Wetterbedingungen zu berücksichtigen und Maßnahmen zur Minderung der Auswirkungen vor dem Ereignis zu ergreifen.

## Literatur

- Dwyer, S.; Rager, R; Hopkins, J. (2007): Leitfaden und Anforderungsdokument für das Design von Abdeckungssystemen – LA-UR-06-47-4715, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, 242 S.
- Energieministerium der Vereinigten Staaten (2021): Charakterisierung und Datenbericht über Erosionsrohre Mexican Hat, Utah, Entsorgungszelle – LMS/HAT/S29391, Office of Legacy Management, Washington DC, 1770 S.

United States Nuclear Regulatory Commission (2022): Grundlage für technische Leitlinien zur Bewertung von Evapotranspirationsabdeckungen – NUREG/CR-7297, Washinton DC, 127 S.

## Construction Experience on Disposal Cell Covers in the Western United States

Joseph D. Ritchey<sup>1</sup>

### Introduction

Over twenty uranium mill tailings disposal cells have been constructed in the Western United States. Most of the disposal cells were constructed in the late 1980's and 1990's, but cell construction and maintenance extend to today and for many years to come. The location of these disposal cells is almost always in close proximity to the waste and a greater distance to cover source materials. The cover material sources and climate among other considerations impact cell construction. Observations of cell performance and on-going construction can provide operational experience to improve future construction practices.

Restoration of uranium mill sites was authorized by the Uranium Mill Tailings Radiation Control Act of 1978 and defense related sites are being cleaned up and maintained by the United States Department of Energy to meet United States Environmental Protection Agency regulations under 40 Code of Federal Regulations Part 192 Health and Environmental Protection Standards for Uranium and Thorium Mill Tailings. The United States Nuclear Regulatory Commission reviews and approves plans and issues a general license for disposal cells once constructed.

### Source Material

All uranium mill tailings disposal cells in the Western United States are covered with rock cobbles intended without vegetation or a mixture of rock and soil with vegetation. Various types of covers and cover layers are described in Dwyer et. al. (2007) and United States Nuclear Regulatory Commission (2022). The proportion of rock versus soil required is dependent on the cell design including makeup of the upper most layer to prevent erosion and the inclusion of a rock layer to limit burrowing animals or create a capillary break for limit water infiltration. Other layers, such as a frost protection, radon barrier, and drainage consist almost entirely of finer grained materials of sand, silt, or clay. To limit radon emanation, the radon barrier will have a sufficiently thick fine-grained layer to reduce gas flux.

Proper placement of waste and cover materials has a significant impact on long-term performance. Several years ago, depressions were observed in a rock cover in northeast Arizona about 20 years after cell construction. A comprehensive investigation (DOE, 2021) found that cover soils were mobilized creating voids, pipes, cavities in the radon barrier. Erosional pipes were caused by a combination of factors including storm events, long-term climate, landform topography, and the physical, chemical, and biological properties of soil materials.

Radon barrier at this site was comprised of native soils amended with bentonite clay. Soil tests were conducted from stockpiles rather than after being placed and cover materials were spread from the top of a slope. Gradations and moisture content can change during transport which contributes to soils not meeting specifications once placed. Calcium carbonate formation in erosional piping was noted as a contributing factor.

Rock and soil sources usually require some kind of processing prior to placement which results in a significant quantity of material that is not satisfactory for the cover. Planning for use of materials in other areas that don't meet specifications for cover materials can increase construction efficiency. This might include roadways and drainage that are not part of the cell.

---

<sup>1</sup> MSc, PE, RG

## Climate

The climate of much of the Western United States is typified by strong winds during the spring in an easterly direction, average precipitation of about 33 centimeters per year, a significant amount of which occurs during late summer storms, and relatively low humidity. Temperature change during the day can often exceed 30 degrees Celsius.

During construction, the impact of high winds can be mitigated by orienting structures and activities to block the prevailing wind direction. Speed restrictions for equipment that disturbs soils or on gravel roadways and increased use of water to control dust will limit dust production. Observed dust, even from non-waste areas, will likely have a negative effect on public perception.

Other ways that climate affects construction is reduced efficiency when uncompleted cover layers are exposed over extended periods where frozen soils may require reworking to meet compaction standards. Cell designs that minimize the declination of a slope and the uninterrupted slope distance can increase overall efficiency in construction by reducing maintenance caused by excessive erosion. Monitoring weather conditions and adjusting site activities and ensuring properly working equipment will increase personal safety.

## Other Considerations

There are many other aspects of cell construction to consider including the lift thickness of the waste and potential for settlement that may lead to cracks in the cover. A greater waste lift thickness or debris placement that is not uniform can contribute to differential settlement. At the margins of the disposal cell, where the cover meets the existing terrain, grading the materials can reduce the likelihood of erosion or filling in of voids by fine grained soils that can alter intended drainage patterns. Cultural and historic resources, habitat for threatened and endangered species, and residents near the cell and along transportation routes also factor into location and usability of construction support structures and storage areas and affect allowable periods of construction.

Construction and quality assurance teams should periodically review plans and planned operations to consider detrimental effects from changing and extreme weather conditions and take steps to mitigate the impacts prior to the event.

## References

- Dwyer, S; Rager, R; Hopkins, J. (2007): Cover System Design Guidance and Requirements Document – LA-UR-06-47-4715, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, 242 pp.
- United States Department of Energy (2021): Erosional Piping Characterization and Data Report Mexican Hat, Utah, Disposal Cell – LMS/HAT/S29391, Office of Legacy Management, Washington DC, 1770 pp.
- United States Nuclear Regulatory Commission (2022): Basis for Technical Guidance to Evaluate Evapotranspiration Covers – NUREG/CR-7297, Washinton DC, 127 pp.



## Management von Bergbaualtlasten in Peru

Soto Yen<sup>1</sup>

Die früheren Bergbautätigkeiten in Peru haben tiefe Narben in der Landschaft der ehemaligen Bergbaugebiete hinterlassen. Verlassene Minen, die nicht ordnungsgemäß geschlossen wurden, können erhebliche und dauerhafte Risiken für die öffentliche Gesundheit, das Ökosystem und das Eigentum mit sich bringen.

Heute gibt es in Peru jedoch einen gesetzlichen Rahmen für die Verwaltung der Umwelthaftung im Bergbau: das Gesetz Nr. 28271 aus dem Jahr 2004 und die dazugehörige Verordnung aus dem Jahr 2005. Gemäß diesem Gesetz ist das peruanische Energie- und Bergbauministerium (MINEM) für die Verwaltung der Bergbaualtlasten zuständig. Diese Altlasten umfassen hierbei die Anlagen, Abwässer, Emissionen, Rückstände oder Abfallablagerungen, die zum Zeitpunkt des Inkrafttretens des Gesetzes (2004) stillgelegt oder inaktiv waren sowie eine dauerhafte und potenzielle Gefahr für die Gesundheit der Bevölkerung, das umgebende Ökosystem und das Eigentum darstellen.

Die ministeriellen Ziele für Bergbaualtlasten sind: 1) Aufrechterhaltung der Kontinuität der Sanierung von Altlasten im Umweltbergbau durch eine nachhaltige Finanzierung, 2) Förderung des Potenzials für die Wiederaufbereitung zur Gewinnung von Wertmineralen (Sekundärbergbau), 3) Aufbau einer nationalen, sektorübergreifenden Bergbaupolitik in Bezug auf Altlasten und 4) Konsolidierung der Bergbauidentität des Landes und weitere Schließung der Informationslücke durch Schulungen für Gemeinden.

Andererseits wurde Peru bei der koordinierten Prüfung zu Altlasten im Bergbau in Lateinamerika und der Karibik im Zeitraum 2019-2021 unter der Leitung der Organisation der Obersten Rechnungskontrollbehörden Lateinamerikas und der Karibik (OLACEFS) als eines der wenigen Länder identifiziert, die über die staatliche Verwaltung und technischen Instrumente verfügt, die sich auf Abhilfemaßnahmen konzentrieren, und das einzige Land ist, das spezifische Budgets für die Sanierung von Altlasten bereitstellt. Aus der obigen Analyse geht hervor, dass Peru in Bezug auf das Management von Bergbaualtlasten ein fortgeschrittenes Niveau aufweist.

Vielseitige Aktivitäten werden von multidisziplinären Arbeitsgruppen entwickelt, um zu einem verbesserten Altlastenmanagement in Peru beizutragen. Die internationale Zusammenarbeit spielt hierbei eine wichtige Rolle, da durch den Austausch von Erfahrungen und die ständige Weiterbildung von Fachleuten eine nachhaltige Entwicklung gefördert wird. Auch nationale Allianzen, wie mit dem Institut für Geologie, Bergbau- und Metallurgie (INGEMMET), welche die Bewertung des geologischen und metallurgischen Wiederaufbereitungspotenzials von Bergbaualtlasten ermöglicht, tragen hierzu bei.

---

<sup>1</sup> Ministerio de Energía y Minas de Perú, Dirección General de Minería

## Management of Mining Environmental Liabilities in Peru

Soto Yen<sup>1</sup>

The past mining activities in Peru have left deep scars on the landscape of former mining units. Abandoned mines that have not been properly closed and these can have significant risks and permanent to public health, the ecosystem and the property.

But today, Peru has the legal framework about the Management of Mining Environmental Liabilities "The Law N° 28271 from year 2004 and it's the Regulation from year 2005". According to the Law the Ministry of Energy and Mines of Peru (MINEM) is the responsible of the Management of Mining Environmental Liabilities (PAM). Moreover, PAM are installations, effluents, emissions, remains or waste deposits produced by mining operations, abandoned or inactive on the effective date of the Law (2004) and that constitute a permanent and potential risk to the health of the population, the surrounding ecosystem and property.

The ministerial goals about PAM are: 1) Maintaining the continuity the Remediation of Liabilities Environmental Mining through the sustainable financy, 2) Promoting the potential for reuse of Liabilities Environmental Mining to recover valuable metals (secondary metals), 3) To build the national multisectorial mining policy about Liabilities Environmental Mining and 4) To consolidate the mining identity of the country and continue closing the information gap through the training for communities.

On the other hand, the coordinated audit on mining environmental liabilities in Latin America and the Caribbean, in 2019-2021 directed by Organization of Latin American and Caribbean Supreme Audit Institutions (OLACEFS), Peru was identificated as one of the few countries that has public policies and technical instruments focused on corrective actions, and the only country that provides specific budgets for remediation liabilities. From above analysis, OLACEF indicated that Peru has an advanced level regarding the Management of PAM.

Lastly, to the management of PAM in Peru has been developing activities as the update of the Inventory of Mining Environmental Liabilities, for the field work are using drones, the international cooperation that is an important key which enables to contribute to sustainable development through of interchange experiences and continuous training of professionals and finally the local alliances for example the Geological, Mining and Metallurgical Institute (INGEMMET) that would allow to development the specific studies for reuse of PAM, these studies will obtain information of contain metallic that could be attractive for any people in carrying out the reuse. All of these activities are being development by the work team who are multidisciplinary professionals

---

<sup>1</sup> Ministerio de Energía y Minas de Perú, Dirección General de Minería

## Umweltsanierung von Bergstandorten in Peru

Antonio Montenegro<sup>1</sup>, Ormeño Ysmael<sup>1</sup>, Miguel Tito<sup>1</sup>

Activos Mineros SAC (AMSAC) ist ein peruanisches Staatsunternehmen, das 2006 im Rahmen der FONAFE-Kooperation gegründet wurde und dessen Hauptzweck in der Umweltsanierung von Altlasten im Bergbau besteht. Die Aufgabe des Unternehmens ist es, zur nachhaltigen Entwicklung des Landes beizutragen, indem ausgedehnte, durch alten Bergbau geschädigte Gebiete saniert werden. In verschiedenen Regionen des Landes wurde Bergbau ohne Umweltvorschriften betrieben, was negative Auswirkungen auf die Umwelt und die Lebensqualität der Bevölkerung hatte.

Ziel dieses Beitrages ist es, die Entwicklung der AMSAC-Umweltsanierungsprojekte im Bergbau, die einzigen ihrer Art in Lateinamerika, besser bekannt zu machen und die guten Ergebnisse bei der Wiederherstellung der Umwelt und der Verbesserung der Lebensqualität der Einwohner sowie der Flora und Fauna vor allem in den Anden aufzuzeigen.

AMSAC verfügt über ein Portfolio von 65 Sanierungsprojekten in 11 Regionen Perus. Diese umfassen 1.194 bergbauliche Altlasten, von deren Sanierung mehr als 235.000 Einwohner profitieren. Die Sanierung erfolgt unter strikter Einhaltung der Umweltvorschriften für Bergbaualtlasten (aus dem Jahr 2004) aus öffentlichen Investitionen (Finanzierung der Projekte aus staatlichen Mitteln) in den verschiedenen technischen Interventionsphasen unter Beteiligung eines multidisziplinären Teams spezialisierter Fachleute (AMSAC beschäftigt 114 Mitarbeiter).

Zu Beginn wird AMSAC vom Ministerium für Energie und Bergbau (zuständig für die Bestandsaufnahme und Priorisierung der Umweltbelastungen im Bergbau in Peru) beauftragt, die Ausgangssituation und Struktur der Projekte zu entwickeln und die Umweltbelastungen zu ermitteln, um den technisch-rechtlichen und sozialen Umfang zu validieren sowie die faktischen Sanierungsmöglichkeiten zu überprüfen.

Anschließend werden Untersuchungen zum Schließungsplan (Umweltinstrument) und zum Projektprofil (Voraussetzung für die Bereitstellung öffentlicher Mittel) durchgeführt. Nach deren Bestätigung wird die technische Akte (detaillierte Planung) entwickelt, nach deren Fertigstellung es möglich ist, die Ausführung der Projektarbeiten auszuschreiben (nach Regelungen der staatlichen Vergabevorschriften). Nachdem die Arbeiten abgeschlossen sind, beginnt die Nachsorgephase in einem Zeitraum von 5 Jahren. In dieser Zeit werden Maßnahmen umgesetzt, um die physikalische, chemische und hydrologische Stabilität der sanierten Projekte zu kontrollieren und sicherzustellen. Abhängig von der Altlastenart beginnt abschließend die Phase der kontinuierlichen Wartung.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass die Sanierung von Bergbauumweltaltlasten – zusätzlich zu den technischen Herausforderungen, aufgrund der Lage im peruanischen Hochland und der polymetallischen Zusammensetzung – notwendigerweise die Entwicklung einer dauerhaften sozialen Managementstrategie unter Beteiligung aller profitierenden Gemeinden während des gesamten Projektzyklus erfordert.

Zu den Errungenschaften der AMSAC gehört ein Portfolio von 17 Projekten mit 400 Altlasten, die sich bis heute in verschiedenen Regionen des Landes in der Instandhaltungs- und Nachsorgephase befinden und harmonisch von den umliegenden Gemeinden kontrolliert werden, welche sich an der Pflege der sanierten Objekte beteiligen und neue Chancen in den wiederhergestellten Ökosystemen sehen. Gleichzeitig befinden sich 13 Projekte, darunter 282 Altlasten, in der Ausführungsphase oder entsprechende Sanierungsstudien sind abgeschlossen, die demnächst ausgeschrieben werden sollen.

---

<sup>1</sup> Activos Mineros SAC

Hinzu kommt ein erweitertes Portfolio mit 28 neuen Projekten, die sich im Strukturierungsprozess befinden und vom Ministerium für Energie und Bergbau im Dezember 2021 in Auftrag gegeben wurden.

Die in den letzten Jahren getätigten Sanierungsinvestitionen belaufen sich auf durchschnittlich 30 Mio. USD pro Jahr. Diese kommen der peruanischen Bevölkerung in der Umgebung der Projekte zugute und tragen zur Nachhaltigkeit einer modernen und verantwortungsvollen Bergbautätigkeit bei, die eine treibende Kraft für die Wirtschaft des Landes ist.

Das Wachstum von AMSAC als spezialisiertes Unternehmen basiert, neben seinem technischen Profil, auf der guten Praxis in der Unternehmensführung, der internen Kontrolle und dem Personalmanagement. In diesen Bereichen nimmt AMSAC eine führende Position innerhalb der FONAFE-Kooperation ein und hat internationale Zertifizierungen erhalten.



Fig. 2 AMSAC Sanierungsarbeiten



Fig. 3 Sanierungsprojekte von AMSAC

Um die kontinuierliche Verbesserung zu fördern und Innovationsmöglichkeiten zu eröffnen, werden Beziehungen im akademischen und privatwirtschaftlichen Sektor aus dem Bereich Umwelt-Bergbau-System und mit internationalen Organisationen und Kooperationen geknüpft, die sich dem Ziel von AMSAC anschließen: "Wir erwecken den Planeten wieder zum Leben".

## Mine environmental remediation in Peru

Antonio Montenegro<sup>1</sup>, Ormeño Ysmael<sup>1</sup>, Miguel Tito<sup>1</sup>

Activos Mineros SAC (AMSAC) is a Peruvian state-owned company under the scope of FONAFE corporation, created in 2006, whose main purpose is the environmental remediation of mine environmental liabilities. Its mission, in this line, is to contribute to the sustainable development of the country through the recovery of extensive territories degraded as a result of the old mining that operated without environmental regulation and had a negative impact on the environment, as well as on the quality of life of the population in different regions of the country.

The purpose of this work is to make better known the development of AMSAC's mining environmental remediation projects, the only one of its kind in Latin America, and to show the good results regarding the recovery of the environment and the improvement of the quality of life of the inhabitants, as well as flora and fauna mainly from the Andes Mountains.

AMSAC has a portfolio of 65 remediation projects in 11 regions of Peru, involving 1194 mining environmental liabilities and that benefited more than 235,000 inhabitants. The remediation is executed strictly following the environmental regulations on mining liabilities (issued in 2004) and public investment (since the projects are financed through State resources) in the different stages involved in the technical intervention, including a multidisciplinary team of specialized professionals (the AMSAC labor force is made up of 114 employees).

It begins at the moment that AMSAC receives the order from the Ministry of Energy and Mines (sector responsible for the inventory and prioritization of the mining environmental liabilities in Peru), with the development of the baseline or structuration of each project and its liabilities to validate the technical-legal and social scope, as well as the verification of the factual possibility of the intervention.

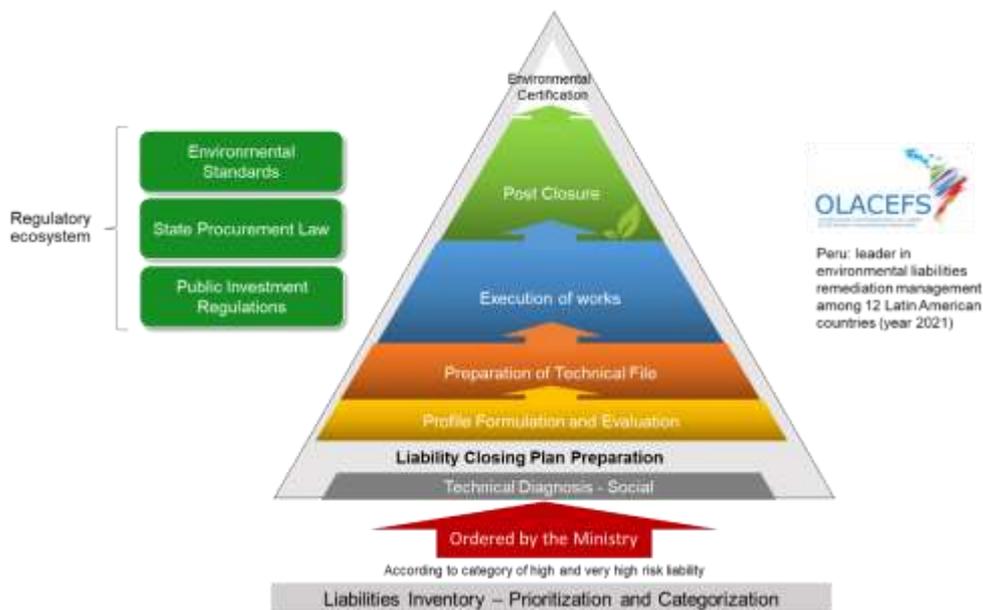


Fig. 1 Remediation process of AMSAC on Mining Environmental Liabilities in Peru

<sup>1</sup> Activos Mineros SAC

Then, the studies for the Closure Plan (environmental instrument) and the project profile (requirement for the provision of public funds) are carried out, so that after its approval, the Technical File (detail engineering) is developed, which upon completion, allows to tender the project works execution (through tenders regulated by the State contracting regulations). Once the works are finished, the post-Closure stage begins, in a period of five years, in which actions are deployed to control and ensure the physical, chemical, and hydrological stability of the remediated project. Finally, depending on the liability type, the phase of continuous maintenance starts.

It is important to mention that the intervention to the mining environmental liabilities, in addition to the technical challenges implied by their location in the Peruvian highlands and their polymetallic composition, necessarily requires the development of permanent social management strategies with the participation of the beneficiary communities throughout the entire project execution cycle.

AMSAC's achievements includes a portfolio of 17 projects with 400 liabilities that to this date are in the maintenance and post-closure stages in different regions of the country, harmoniously controlled with the surrounding communities who participate in their care and envisage new opportunities in recovered ecosystems. At the same time, 13 projects including 282 liabilities are in course of execution of works or with completed studies to be tendered soon, to which is added an extended portfolio with 28 new projects in structuration process, ordered by the Ministry of Energy and Mines in December of 2021.

The execution of investments in remediation in recent years has reached an average of US\$ 30 million per year for the benefit of the Peruvian population in the area surrounding the projects, as well as, due to their results, the sustainability of modern and responsible mining activity, activity that is a driving force for the country's economy.

The growth of AMSAC as a specialized entity is based on, in addition to its technical profile, the best practices in corporate governance, internal control and human management, where it stands out in leading positions within the FONAFE corporation, besides the fact that it has obtained international certifications.

Likewise, promoting continuous improvement and opening up innovation opportunities, ties are being strengthened with the academy, the private sector related to the environmental-mining system, and international organizations and cooperation that join the purpose of AMSAC: "We bring the planet back to life".

## Die Wiederherstellung des Ökosystems im Upamayo-Delta

Montenegro, Antonio; Ormeño, Ysmael; Condor, Javier; Tito, Miguel<sup>1</sup>

Die Wiederherstellung des Ökosystems im Upamayo-Delta ist ein erfolgreiches Projekt unter Leitung von Activos Mineros S.A.C. (AMSAC) in Zusammenarbeit mit den Privatfirmen Cia Minera Aurifera Aurex, Sociedad Minera El Brocal SA und Empresa Administradora Cerro SAC. Das Projekt zielte auf die Transformation und Wiederherstellung ausgedehnter, durch alten Bergbau degradiertes Gebiete. Dieser Bergbau wurde ohne Umweltvorschriften betrieben und hatte negative Auswirkungen auf die Umwelt und die Lebensqualität der Bevölkerung.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Entwicklung und die guten Ergebnisse des Projekts hinsichtlich der Umweltsanierung und -pflege, der Lebensqualität der Bewohner sowie der Wiederherstellung des Lebensraums der Andenflora und -fauna bekannt zu machen.

Das Projekt zur Sanierung des Upamayo-Deltas, das aufgrund seiner geografischen Merkmale eine der ersten Erfahrungen in Peru ist, befindet sich in den Regionen Pasco und Junín auf 4.085 m ü.d.M. Das Projektgebiet befindet sich in der Nähe der Mündung des Flusses San Juan im nördlichen Bereich des Chinchayocha-Sees (zweitgrößter See in Peru und Naturschutzgebiet) und ist gekennzeichnet durch Umweltbelastungen durch polymetallische Sedimentablagerungen, die sich in einem Flussdelta mit einer Fläche von mehr als 48 Hektar angesammelt haben.



Fig. 1 Upamayo-Delta vor Eingriff durch AMSAC



Fig. 2 Upamayo-Delta nach Eingriff durch AMSAC

Die Sanierung bestand aus einem 2015 begonnenen Prozess der Neutralisierung saurer Böden mit Kalkstein. Der pH-Wert des Bodens wurde dadurch schrittweise von 2,5 auf 5,2 angehoben. 2017 schloss sich die Begrünung mit einheimischen Arten (Gräser und Totoraschilf) an, die zunächst auf durch biologisch abbaubare Säcke geschützten Substraten und vegetativem Material kultiviert wurden. Dabei wurden die besonderen Merkmale jedes der sechs im Delta identifizierten Sektoren, vor allem der Überflutbarkeit, berücksichtigt.

Die Ausführung der Arbeiten endete 2019. Seit diesem Zeitpunkt werden die Nachsorgemaßnahmen durchgeführt, einschließlich der Wartung und Überwachung des sanierten Gebietes, um dessen physikalische, chemische und hydrologische Stabilität sowie die biologische Stabilität zu gewährleisten.

Die Ergebnisse zeigen, dass 48,89 Hektar Boden saniert wurden, auf denen 488.868 einheimische Pflanzen gepflanzt wurden, die sich derzeit in vollem Wachstum befinden. Die Wasserqualität in dem Abschnitt des Flusses San Juan, der durch das Upamayo-Delta fließt, hat sich verbessert und erreicht die von der peruanischen Gesetzgebung festgelegten Standards (ECA - Wasser der Kategorie 3). Auch

---

<sup>1</sup> Activos Mineros SAC

die Luftqualität in der Umgebung des Projekts hat sich verbessert und entspricht nun den geltenden Normen (ECA-Air).

Bemerkenswert ist auch, dass die verbesserten Bedingungen des Upamayo-Deltas dazu geführt haben, dass 37 von 42 endemischen Vogelarten ihren Lebensraum im Sanierungsgebiet wiedererlangt haben. Darunter sind einige Vogelarten, wie z. B. der Rotrückenbussard, der Bergkarakara und der Andenflamingo, die auf der Liste der am stärksten gefährdeten und bedrohten Arten stehen.



*Fig. 3 Argentinische Ruderente im wiederhergestellten Lebensraum*



*Fig. 4 Andenflamingo im wiederhergestellten Lebensraum*

Der Erfolg des Projekts und die Wiederherstellung des Ökosystems kommen 13.600 Einwohnern der Gemeinden Cochamarca, Vicco und San Pedro de Pari direkt zugute. Die Gesundheitsrisiken durch die Vermeidung der Flusswasserverschmutzung flussabwärts und der Luftverschmutzung in der Trockenzeit durch getrocknete, vom Wind verwehte Bergbauabfälle wurden verringert. Außerdem beteiligt sich die Bevölkerung aktiv an der Pflege und Instandhaltung des Sanierungsprojekts, da sie eine kontinuierliche Ausbildung und eine formelle Beschäftigung in einem Gebiet erhält, das seit kurzem auch in den lokalen Tourismuskreislauf aufgenommen wurde.



*Fig. 5 Gemeinden, die von der Sanierung des Upamayo-Deltas profitieren*

Diese Ergebnisse zeigen den Beitrag von AMSAC zur nachhaltigen Entwicklung Perus durch die Wiederherstellung von Gebieten, die von Umweltverschmutzungen durch den Bergbau betroffen sind. Besonders hervorzuheben ist die Synergie, die im Projekt Upamayo-Delta mit den lokalen Gemeinden und dem verantwortlichen Privatunternehmen erzielt wurde, sowie der Beitrag zu den 15 Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen im Einklang mit dem Unternehmensziel: "Wir erwecken den Planeten wieder zum Leben".

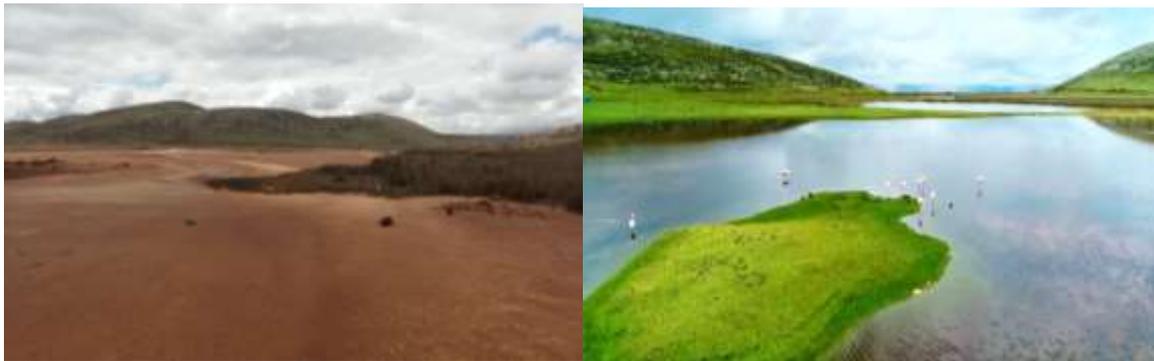
## The Recovery of the ecosystem of Delta Upamayo

Montenegro, Antonio; Ormeño, Ysmael; Condor, Javier; Tito, Miguel<sup>1</sup>

The recovery of the ecosystem in Upamayo Delta is a successful project effectively led by Activos Mineros SAC (AMSAC), in cooperation with the private companies: Cia Minera Aurifera Aurex, Sociedad Minera El Brocal SA and Empresa Administradora Cerro SAC, achieving the transformation and recovery of extensive areas degraded as a result of the old mining that operated without environmental regulation and had a negative impact on the environment, as well as on the quality of life of the surrounding population.

The purpose of this work is to make better known the development and good results of the project regarding the environmental remediation and care, the inhabitant's quality of life, as well as the Andean flora and fauna habitat recovery.

The Delta Upamayo remediation project, whose geographical characteristics make it one of the first experiences in the country, is located in the regions of Pasco and Junín, at 4,085 m.a.s.l., with mining environmental liabilities made up of polymetallic sediment deposits accumulated in a fluvial delta that impacted more than 48 hectares, close to the mouth of the San Juan river in the northern sector of Lake Chinchaycocha (second largest lake in Peru and protected natural area).



*Fig. 1 Delta Upamayo – Before the intervention of AMSAC Fig. 2 Delta Upamayo – After the intervention of AMSAC*

The remediation consisted of a process of neutralization of acid soils using limestone started in 2015, progressively raising the soil pH from 2.5 to 5.2 for its subsequent revegetation with native species (among grasses and totora reeds) since 2017, originally fed with substrates and vegetative material protected by biodegradable bags and considering the special characteristics of each of the six sectors identified in the Delta, mainly its floodability.

The execution of works ended in 2019, and as from that date the post-closure activities are carried out, including the maintenance and monitoring of the remediated area to ensure its physical, chemical and hydrological stability, as well as the biological stability.

The results show 48.89 hectares of soil intervened with remediation in which 488,868 units of native plants, currently in full growth, were planted and that the water quality has improved, reaching the standards established by Peruvian legislation (ECA – Water in Category 3), in the stretch of the San Juan

---

<sup>1</sup> Activos Mineros SAC

River that passes through the Delta Upamayo. Similarly, the air quality in the areas surrounding the project has been improved, which complies with the current regulatory standards (ECA-Air).

It is also noteworthy that the improved conditions of the Delta Upamayo have allowed that 37 out of 42 endemic bird species have recovered their habitat in the intervention area, some of which, such as the Variable Hawk, the Mountain Caracara and the Andean Flamingo, are in the near threatened and vulnerable species list.



*Fig. 3 Lake duck in recovered habitat*



*Fig. 4 Andean flamingo in recovered habitat*

The success of the project and the recovery of the ecosystem directly benefits 13,600 inhabitants of the local communities of Cochamarca, Vicco and San Pedro de Pari, who have seen the reduction of health risks by avoiding the contamination of the river water downstream as well as the air pollution in dry season by dried mining waste dispersed by the wind. Also, the population is an active participant in the care and maintenance of the remediated project, since they receive continuous training and formal employment in an area that has also recently been included in the local tourist circuit.



*Fig. 5 Communities benefiting from the remediation in Delta Upamayo*

These results demonstrate the contribution of AMSAC to the sustainable development of Peru through the recovery of areas impacted by mining environmental liabilities, highlighting specially the synergy achieved in the Delta Upamayo project with the local communities and the private company in charge, and furthermore the contribution to the SDG 15 of the United Nations in line with the organizational purpose: "We bring the planet back to life".

## Das MinSus-Projekt: Technische Zusammenarbeit beim Umgang mit Bergbaualtlasten in den Anden

Achim Constantin<sup>1</sup>, Jacob Mai<sup>1</sup>

### Relevanz des Bergbaus und dessen Nachsorge in den Andenländern

Die Bergbauindustrie zählt in vielen Andenländern zu den wichtigsten Wirtschaftszweigen. Sie bietet großes Potenzial für Wachstum und sozialen Entwicklung, und kann einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs) der UN- Agenda 2030 leisten. Allerdings prognostizieren viele Analysten einen neuen Boom des Extraktivismus in der Region, der durch bedeutende Vorkommen an wichtigen Mineralien für die globale Energiewende und die Digitalisierung , wie z. B. Kupfer und Lithium, befeuert wird. Dabei sind die potenziellen negativen Auswirkungen erheblich.

Insbesondere stillgelegte Minen, die nicht angemessen geschlossen werden, bergen langfristige Risiken für die öffentliche Gesundheit, die Sicherheit und die Umwelt. In einer Region, die auf eine lange Bergbaugeschichte zurückblickt, sind diese Bergbauhinterlassenschaften keine Seltenheit (Beispiel: siehe Abb.1).Obgleich Beteiligungsmechanismen zunehmen, strengere Umweltgesetze etabliert wurden und die Umweltkontrolle erhebliche Fortschritte gemacht hat, können die teils mangelnden gesetzlichen Rahmenbedingungen und/oder unzureichenden Kontrollmaßnahmen keine zuverlässige Vermeidung von Bergbaualtlasten sicherstellen.

Die Vermeidung und der verantwortungsvolle Umgang mit diesen Altlasten sind jedoch entscheidend, um die Emission von Schadstoffen in die Umwelt zu minimieren die langfristige Durchführbarkeit des Bergbaus sicherzustellen. Zudem tragen sie zu einer besseren Akzeptanz der Bevölkerung beiträgt.



**Abb. 1** Bergbaualtlasten Caridad in Huarochirí, Peru, welche durch die staatliche Firma AMSAC saniert werden  
**Fig. 1** Mine legacies Caridad in Huarochirí, which are remediated by the governmental company AMSAC

---

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

## Beitrag des MinSus- Projektes zum verantwortungsvollen Altlastenmanagement

Vor dem Hintergrund der Herausforderungen eines verantwortungsvollen Bergbau, einschließlich des nachhaltigen Managements von Bergbaualtlasten, hat das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) beauftragt, das MinSus-Programm in Zusammenarbeit mit der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Lateinamerika und die Karibik (ECLAC) durchzuführen. Im Einklang mit den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen fördert das Projekt die regionale Zusammenarbeit für einen nachhaltigeren Abbau mineralischer Rohstoffe in der Andenregion und konzentriert sich dabei auf die Etablierung von internationalen Nachhaltigkeitsstandards und Best Practices sowie die transparente Integration in globale Liefer- und Wertschöpfungsketten.

Darüber hinaus unterstützt das Projekt das ganzheitliche Management und die Sanierung von Bergbau-Altlasten. Der Managementansatz beinhaltet die Vermeidung neuer Altlasten durch die Umsetzung einer angemessenen Gesetzgebung zur Minenschließung und die Gewährleistung finanzieller Garantien, sowie eine präzise und effektive Umweltkontrolle. Im Falle bereits bestehender Altlasten liegt der Schwerpunkt auf einer adäquaten Sanierung durch die Sicherstellung einer dauerhaften chemischen und physikalischen Stabilität, Bewertung von Wiedernutzungspotentialen und Einbindung der lokalen Bevölkerung in Entscheidungsprozesse. Gefördert wird dies durch technische Lehrgänge in staatlichen Institutionen, die Entwicklung von Leitfäden und die Förderung des Austauschs zwischen den Andenländern.

In der Präsentation werden konkrete Beispiele für die technische Zusammenarbeit mit Regierungen und Behörden, die Förderung des internationalen Austauschs zu bewährten Verfahren sowie die Schwerpunkte der entwickelten Leitfäden vorgestellt. Dabei wird gezielt darauf eingegangen, welchen Beitrag die Entwicklungszusammenarbeit zu einem nachhaltigen Altlastenmanagement leisten kann. Außerdem wird eine Fallstudie über die Untersuchung und Bewertung von stillgelegten Absetzbecken im Norden Perus vorgestellt. Diese umfasst eine umfassende Umwelt-, Sozial- und Risikobewertung, die Bewertung des Potenzials zur Wiederaufbereitung der noch vorhandenen Wertminerale und eine abschließende Empfehlung für die Sanierung dieser Abraumhalden (siehe Abb.2).



**Abb. 2** Nutzung der Bergbauhalden von La Ciénaga als Sportplatz mit sehr hohen Konzentrationen von Arsen und Schwermetallen.

*Fig. 2 Use of the mining tailings of La Ciénaga as a sports field with high concentrations of arsenic and heavy metals.*

## The MinSus-Project: technical assistance for managing mining legacies in the Andes

Achim Constantin<sup>1</sup>, Jacob Mai<sup>1</sup>

### Relevance of mining and post-mining in the Andean countries

The mining industry as one of the most important economic sectors of many Andean countries. It offers great potential for growth and social development, and can make an important contribution to achieving the Sustainable Development Goals (SDGs) of the UN Agenda 2030. However, the potential negative impacts are severe, especially as many analysts predict a new boom of extractivism in the region, which holds significant deposits of crucial minerals for the global energy transition and digitalization, such as Copper and Lithium.

Particularly abandoned mines, without an adequate closure, possess long lasting risks for the public health, safety and the environment. In a region with a long mining history, these mining legacies are highly abundant (example: see fig.1). Even today, weak legislative frameworks and/ or deficient supervisory authorities do not guarantee the reliable avoidance of mine legacies, although stricter environmental laws are in place today, participation mechanisms are increasing and environmental control has generally advanced. While the avoidance and responsible management of these mining legacies is crucial in order to minimize the release of pollutants into the environment, it also secures the long-term feasibility of mining operations by contributing to a social license to operate.



**Abb. 1** Bergbaualtlasten Caridad in Huarochirí, Peru, welche durch die staatlichen Firma AMSAC saniert werden  
**Fig. 1** Mine legacies Caridad in Huarochirí, which are remediated by the governmental company AMSAC

### Contribution of the MinSus- Projekt towards the responsible legacy management

Against the backdrop of the challenges of responsible mining, including the sustainable management of mining legacies, the German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ) has commissioned the Federal Institute for Geoscience and Natural Resources (BGR) and the German

---

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Agency for International Cooperation (GIZ) to jointly carry out the MinSus Programme in cooperation with its regional counterpart, the United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC). In line with the SDGs, the project promotes regional cooperation for a more sustainable management of mining resources in the Andean region, focusing on the establishment of international sustainability standards and best practices as well as the transparent integration into global supply and value chains.

In addition, the project supports the integral management and remediation of mining legacies. The management approach includes the avoidance of new legacies by implementing adequate legislation for mine closure and by ensuring financial guarantees, as well as accurate and effective environmental control. In case of already existing legacies, it focuses on sound remediation by insuring long lasting chemical and physical stability, assessment of reuse potential and involvement of the local population in decision-making processes. This is supported by strengthening technical capacities within public institutions, such as ministries, geological services or environmental assessment and control agencies, the development of guidelines and the promotion of exchange between the Andean countries. The latter supports the iterative development, based on the good and bad experiences of different approaches within the region. One example can be seen in Peru, where a public company, which is the first of its kind in the region, has been founded with the purpose of rehabilitating the existing mining legacies in the country and thus represents a showcase example in the region (see fig. 2).

The presentation will highlight specific examples on of how the project provides technical assistance to governments and authorities, the promotion of international exchange regarding proven good practices and the targeting of developed guidelines. Besides, a case study about the investigation and assessment of abandoned tailing ponds in northern Peru will be presented. This includes a comprehensive environmental, social and risk assessment, the potential of reprocessing to recover residual valuable minerals and a final proposal for the rehabilitation of these tailings.



**Abb. 2** Bergbaualtasten Excelsior in Pasco, Peru welche durch die staatlichen Firma AMSAC saniert werden  
*Fig. 2* Mine legacies Excelsior in Pasco, which are remediated by the governmental company AMSAC

## Codelco's Herausforderungen in Bezug auf Bergwerksschließung

Humberto Rivas<sup>1</sup>

### Abstract

CODELCO, ein chilenisches Staatsunternehmen und der größte Kupferproduzent der Welt, durchläuft derzeit einen bedeutenden Transformationsprozess, um eine nachhaltige und langfristige Kupferproduktion zu gewährleisten und den Klimawandel zu bekämpfen. Es werden erhebliche Investitionen getätigt, um die Produktion für die nächsten 50 Jahre zu sichern.

Der CODELCO-Geschäftsplan befasst sich jedoch auch mit den Kosten für die Stilllegung von Minen, die mit der Weiterentwicklung der Stilllegungsvorschriften in Chile stärker berücksichtigt werden. Heute verlangen die Vorschriften von den Bergbauunternehmen, dass sie eine angemessene physikalische und chemische Langzeitstabilität der verbleibenden Arbeiten am Standort sicherstellen. Außerdem werden finanzielle Garantien zur Finanzierung der Stilllegungs- und Sanierungsarbeiten verlangt, wenn die Unternehmenseigentümer ihren Verpflichtungen nicht mehr nachkommen können oder vor der Stilllegung nicht mehr als Bergbauunternehmen existieren. All diese Verpflichtungen haben die Stilllegungskosten bei CODELCO in den letzten fünf Jahren in die Höhe getrieben.

Aber nach 100 Jahren Minenbetrieb, wie z.B. in den Minen Chuquicamata und El Teniente, müssen einige Schließungs- und Sanierungsarbeiten gerade jetzt beginnen. All dies ist eine große Herausforderung, da Chile ein Land ist, in dem hauptsächlich neue Minen betrieben und nur wenige Stilllegungsarbeiten durchgeführt werden. In der Division El Salvador hat CODELCO zum Beispiel mit der Schließung der alten Kupferfilteranlage Llanta begonnen, die 2015 ihren Betrieb einstellte. Auch die technischen Studien für die Schließung der Ventanas-Hütte werden vorbereitet, deren Betrieb 2022 eingestellt werden soll. Der soziale Druck ist groß, eine umwelt- und sozialverträgliche Schließung durchzuführen.

Bei mehr als 50 Anlagen, die heute nicht mehr in Betrieb sind, werden die Kosten für die mittelfristigen Stilllegungsarbeiten auf mehr als 600 Mio. USD geschätzt. Es muss dringend nach einer alternativen Nutzung für diese Anlagen gesucht werden, oder es müssen neue Schließungsstrategien entwickelt werden.

Schließlich steht CODELCO auch vor Herausforderungen bei der Planung der Schließung von Absetzanlagen (Tailings-Anlagen). Einige von ihnen, die kleiner sind und nicht an der richtigen Stelle liegen, müssen entfernt werden. Bei anderen sollte nach innovativeren Techniken für die Schließung gesucht werden, um die Kosten zu senken und den neuen Gegebenheiten des Klimawandels zu begegnen.

---

<sup>1</sup> Direktor für Umweltrisiken, CODELCO

## Codelco's challenges regarding mine closure

Humberto Rivas<sup>1</sup>

### Abstract

CODELCO, a Chilean state-owned company and the world largest copper producer, is going through a significant transformation process to ensure a sustainable long-term copper production to combat climate change. Significantly capital investments are in process to ensure our production for the next 50 years.

Nevertheless, CODELCO business plan is also looking into mine closure cost, which are being taken more into account as closure regulation evolves in Chile. Today, regulation requires mining companies to ensure proper physical and chemical long-term stability of remaining site works. Financial guarantees are also required to fund closure and remediation works if company owners re-fuse to execute its obligations or ceased to exist as mine companies before closure time. All these obligations have pushed up closure costs in CODELCO during the last five years.

But after 100 years long mine operations such as Chuquicamata and El Teniente mines, some closure and remediation works are required to start right now. And all of these have been a challenging experience as Chile is a country with mostly new mines and not much closure works executed. For example, in Division El Salvador mine, CODELCO has started with the closure of the old Llanta copper filter plant, which on 2015 it ceased operations. It is also preparing the engineering studies to close Ventanas smelter which has to cease operations on 2022. Social pressure is strong to execute environmental and social friendly closures.

With more than 50 facilities out of operations today, medium-term closure works cost has been estimated on more than USD \$ 600 million. It is urgent to look for alternative use for this facilities or new closure plan strategies have to be developed.

Lastly, CODELCO faces also challenges on Tailings Storage Facilities closure designs. Some of them, smaller and not properly located has to be removed, others should look for more innovative techniques for closure in order to reduce cost and faces climate change new reality.

---

<sup>1</sup> Environmental Risk Director, CODELCO

## Sanierung der Uranzeche Ranger

Keith Tayler<sup>1</sup>

### Die Ranger-Uranzeche

Die Uranzeche Ranger wurde von 1980 bis 2021 von Energy Resources of Australia Ltd (ERA) betrieben und produzierte insgesamt 132.000 Tonnen Uranoxid. Ranger war ein konventioneller Tagebau, der mit einem Säurelaugungs- und Lösungsmittelextraktionsverfahren jährlich etwa 5.500 Tonnen Uranoxid aus zwei Tagebauen produzierte. Die Aufbereitungsrückstände wurden in einem oberirdischen Absetzbecken mit einer Fläche von ca. 1 km<sup>2</sup> gelagert. Insgesamt beträgt das gestörte Gebiet bei Ranger, einschließlich der unterstützenden Infrastruktur- und Wasserwirtschaftsstrukturen, etwa 800 ha.

Ranger liegt etwa 250 km östlich von Darwin im Northern Territory von Australien und ist vom Kakadu-Nationalpark umgeben, der zum Weltkulturerbe gehört. Aborigines besiedeln die Region, in der sich Ranger befindet, seit über 60.000 Jahren und nutzen das Gebiet weiterhin für kulturelle Zwecke und dem Sammeln von Buschnahrungsmitteln.

Im Jahr 1978 richtete die australische Regierung die Position des Supervising Scientist ein, um die Regulierungsbehörden technisch zu beraten, um regulatorische Entscheidungen in Bezug auf die Rehabilitation von Ranger zu treffen. Der Supervising Scientist leitet eine Abteilung, die aus Forschung und Beurteilung zusammengestellt ist (SSB, in englischer Abkürzung).

### Umweltverträglichkeit

Bis heute haben mehr als 40 Jahre Überwachung durch den SSB gezeigt, dass es keine Auswirkungen auf die Umwelt stromabwärts von Ranger gegeben hat. Darüber hinaus hat der SSB kürzlich zu einer Überprüfung von mehr als 16 Jahren radiologischer Daten beigetragen, die schlüssig zeigen, dass Ranger kein radiologisches Risiko für die Gesundheit der in der Region lebenden Menschen darstellt. Die Ergebnisse der Monitoring-Programme von SSB werden jährlich in der Reihe Supervising Scientist Annual Technical Report ([www.environment.gov.au/science/supervising-scientist](http://www.environment.gov.au/science/supervising-scientist)) veröffentlicht.

### Rehabilitation requirements

In Anerkennung der herausragenden kulturellen und ökologischen Werte der umliegenden Region muss Ranger auf dem höchstmöglichen Standard rehabilitiert werden. Die folgenden Aspekte müssen erfüllt werden:

- Ranger muss auf einen Standard rehabilitiert werden, der es ermöglicht, ihn in den Kakadu-Nationalpark zu integrieren.
- Ranger müssen mit einheimischen Arten bepflanzt werden, um eine Umgebung zu schaffen, die den umliegenden Gebieten des Kakadu-Nationalparks sehr ähnlich ist.
- Uranrückstände müssen in den abgebauten Gruben für einen Zeitraum von 10.000 Jahren von der Umwelt isoliert werden.
- Es gibt keine Veränderung der Artenvielfalt oder Beeinträchtigung der Gesundheit des Ökosystems im Kakadu-Nationalpark aufgrund des Bergbaus bei Ranger.
- Die Umweltauswirkungen innerhalb des Ranger-Projektgebietes sind so gering wie vernünftigerweise erreichbar.

---

<sup>1</sup> Leitender Wissenschaftler; Australische Regierung

- Die Strahlendosis für Menschen ist so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar und entspricht allen relevanten australischen Normen und Standards.

### **Rehabilitationsarbeiten**

Der allgemeine Sanierungsplan bei Ranger sieht folgendes vor: alle Rückstände in die abgebauten Gruben zu plazieren; die gesamte Oberflächeninfrastruktur abzureissen; die gesamte abgerissene Infrastruktur in Grube 3 zu plazieren; beide Gruben mit Abraumgestein an die Oberfläche zu füllen; das verbleibende Abraumgestein zu nutzen, um eine niedrige Landform zu schaffen, die in etwa der Topographie vor dem Bergbau entspricht, und das Bepflanzen der Landform mit lokalen Arten, um ein Ökosystem zu schaffen, das den umliegenden Gebieten ähnelt und für eine eventuelle Eingliederung in den Kakadu-Nationalpark geeignet wäre.

ERA hat die Auffüllung von Grube 1 abgeschlossen und mit der Bepflanzung dieses Bereiches begonnen. Die Untertagezeche wurde aufgefüllt und alle Rückstände wurden vom Absetzbecken in die Grube 3 transportiert. Die restlichen Arbeiten sollen bis 2028 abgeschlossen sein. Darauf folgt eine längere Überwachungs- und Wartungsphase, die voraussichtlich viele Jahrzehnte andauern wird.

ERA schätzt, dass sich die endgültigen Kosten für die Sanierung von Ranger auf bis zu 2,2 Mrd. AUD belaufen könnten.

### **Überwachungstechnik**

SSB nutzt Drohnen, künstliche Intelligenz und DNA-Analysen, um modernste Überwachungsinstrumente zu entwickeln, die sicherer, einfacher zu bedienen und effizienter sind.

### **Fisch-Videografie**

Um das Risiko eines Krokodilangriffs zu verringern, sind wir von manuellen Beobachtungen zu einer videobasierten Methode des Fischmonitoring übergegangen. GoPro-Kameras werden in Billabongs plaziert, um Fischpopulationen aufzuzeichnen. Wir haben die Verarbeitung dieser Videos mithilfe künstlicher Intelligenz automatisiert und die Verarbeitungszeit effizient verkürzt.

### **Landschaftsbezogene Vegetationserhebungen**

Wir verwenden vertikale Start- und Landedrohnen mittlerer Reichweite, die mit LiDAR- und Hyperspektralkameras ausgestattet sind, um Vegetationsuntersuchungen im Landschaftsmaßstab durchzuführen. Aufgrund der enormen Datenmenge, die generiert wird, trainieren wir ein Programm mit künstlicher Intelligenz, um die Identifizierung wichtiger Baumarten zu automatisieren und die LiDAR-Bilder zu verarbeiten. Diese Technologie erlaubt die Analyse der Pflanzenentwicklung basierend auf Daten mit hoher Auflösung.

### **Omics (DNA-Analyse)**

Wir haben eine DNA-Bibliothek aquatischer Makroinvertebratenarten aus der Kakadu-Region entwickelt und gehen zu einer DNA-basierten Makroinvertebraten-Überwachungsmethode über, die im Vergleich zur manuellen Zählung erheblich Zeit spart. Wir untersuchen den Einsatz von eDNA für den Nachweis von aquatischen und terrestrischen Arten, die Verwendung von DNA für die Charakterisierung der Bodenfauna und die Gewinnung von DNA von blutsaugenden Insekten für den Nachweis von kryptischen terrestrischen Arten, wie dem vom Aussterben bedrohten Nördlichen Quoll.

## Rehabilitation of the Ranger uranium mine

Keith Tayler<sup>1</sup>

### The Ranger uranium mine

The Ranger uranium mine was operated by Energy Resources of Australia Ltd (ERA) from 1980 to 2021 and produced a total of 132,000 tonnes of uranium oxide. Ranger was a conventional open-cut mine utilising an acid leach and solvent extraction process to produce approximately 5,500 tonnes of uranium oxide annually from two open pits. Mill tailings were stored in an above-ground tailings storage facility with an area of approximately 1 km<sup>2</sup>. In total, the disturbed area at Ranger, including supporting infrastructure and water management areas, is approximately 800 Ha.

Ranger is located approximately 250km east of Darwin in the Northern Territory of Australia and is surrounded by the dual World Heritage listed Kakadu National Park. Aboriginal people have occupied the region in which Ranger is located for over 60,000 years and continue to utilise the area for cultural purposes and the collection of bush foods.

In 1978 the Australian Government established the position of the Supervising Scientist to provide technical advice to the regulatory authorities to inform regulatory decisions in relation to the rehabilitation of Ranger.

### Environmental protection

To date, more than 40 years of monitoring by the Supervising Scientist has demonstrated that there has been no impact on the environment downstream of Ranger. Additionally, the Supervising Scientist has recently contributed to a review of more than 16 years of radiological data which conclusively demonstrates that Ranger does not present a radiological risk to the health of people living in the region. The results of the Supervising Scientist's monitoring program are published annually in the Supervising Scientist Annual Technical Report series ([www.environment.gov.au/science/supervising-scientist](http://www.environment.gov.au/science/supervising-scientist)).

### Rehabilitation requirements

In recognition of the outstanding cultural and environmental values of the surrounding region, Ranger is required to be rehabilitated to the highest possible standard. It is required that:

- Ranger must be rehabilitated to a standard which would allow it to be incorporated into Kakadu National Park.
- Ranger must be revegetated with local species to create an environment which is similar to surrounding areas of Kakadu National Park.
- Uranium tailings must be isolated from the environment in the mined-out pits for a period of 10,000 years.
- There is no change to biodiversity or impairment of ecosystem health in Kakadu National Park because of mining at Ranger.
- Environmental impacts on the Ranger Project Area are as low as reasonably achievable.
- Radiation dose to people is as low as reasonably achievable and complies with all relevant Australian standards and codes of practice.

---

<sup>1</sup> Supervising Scientist, Australian Government

## **Rehabilitation work**

The general rehabilitation plan at Ranger is to: place all tailings into the mined-out pits; demolish all surface infrastructure; place all demolished infrastructure into Pit 3; backfill both pits to surface with waste rock; use the remaining waste rock to create a low landform approximately similar to the pre-mining topography, and revegetate the landform using local species to create an ecosystem similar to surrounding areas which would be suitable for eventual incorporation into Kakadu National Park.

ERA has completed the backfill of Pit 1 and has commenced planting vegetation over this area. The underground mine has been filled in and all tailings have been moved from the tailings dam into Pit 3. The remaining works are scheduled to be finished by 2028. This will be followed by an extended period of monitoring and maintenance which is expected to last for many decades.

ERA has estimated the final cost of rehabilitation at Ranger could be as much as AUD\$2.2 billion.

## **Monitoring technology**

The Supervising Scientist is using drones, artificial intelligence and DNA analysis to develop leading-edge monitoring tools which are safer, easier to use and more efficient.

## **Fish videography**

To reduce the risk of crocodile attack we have moved from manual observations to a video-based fish monitoring method. GoPro cameras are placed in billabongs to record fish populations. We have automated the processing of this video using artificial intelligence saving hundreds of hours of processing time.

## **Landscape-scale vegetation surveys**

We are using medium-range vertical takeoff and landing drones equipped with LiDAR and hyperspectral cameras to undertake vegetation surveys at a landscape scale. Due to the huge volume of data generated we are training an artificial intelligence program to automate the identification of key tree species and to process the LiDAR imagery. This technology will also allow the high-resolution assessment of revegetation progress.

## **Omics (DNA analysis)**

We have developed a DNA library of aquatic macroinvertebrate species from the Kakadu region and are moving to a DNA-based macroinvertebrate monitoring method which saves significant time compared to manual counting. We are investigating the use of eDNA for the detection of both aquatic and terrestrial species, using DNA for the characterisation of soil fauna and recovering DNA from blood-feeding insects for the detection of cryptic terrestrial species, such as the endangered Northern Quoll.

## Sanierung von Uran-Altlasten in Portugal. Perspektiven und Herausforderungen für das langfristige Management nach der Sanierung

Edgar Carvalho<sup>1</sup>, Catarina Diamantino<sup>2</sup>, Carlos Martins<sup>3</sup>

### Resümee

Die Ausbeutung radioaktiver Erze in Portugal begann mit der Entdeckung der ersten Radiumlagerstätte im Jahr 1907 und wurde Anfang der neunziger Jahre abgeschlossen. Seit 2001 ist EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro, S.A. (EDM), ein portugiesisches Staatsunternehmen, im Rahmen eines Konzessionsvertrags, der durch das Gesetzesdekret 198-A/2001 festgelegt wurde, für die Umweltsanierung aller Bergbau-Altlasten in Portugal zuständig.

Der Konzessionsvertrag umfasst 199 Bergbau-Altlasten, darunter 62 Radium- und Uran-Altlasten, die zwischen 1912 und 1991 abgebaut worden sind. Seit Beginn der Konzession hat die EDM 45 radioaktive Bergbaustandorte saniert, 8 befinden sich in der Sanierung (bis 2023) und 9 sollen bis 2030 saniert werden.

Die Durchführung der Sanierung zielt darauf ab, die Risiken für Mensch und Umwelt zu verringern und zur Wiederverwendung dieser Gebiete für verschiedene nützliche Zwecke beizutragen, z. B. für die Wiederherstellung von Landschaften und Lebensräumen oder für andere öffentliche Folgenutzungen. Dies war bei mehreren der sanierten Flächen der Fall, die je nach ihrer potenziellen Nutzung zu Naturgebieten oder öffentlichen Parks umgestaltet wurden.

Trotz des Einsatzes sicherer und komplexer Sanierungstechnologien muss ein kontinuierliches Nachsorgemanagement gewährleistet werden, um die Integrität der umgesetzten Lösungen, den langfristigen Schutz von Mensch und Umwelt und die nachhaltige Nutzung der sanierten Flächen sicherzustellen.

In Portugal sorgt EDM für die Kontrolle und regelmäßige Überwachung, Wartung, Aufbereitung des Grubenwassers und Bewahrung von Aufzeichnungen und Kenntnissen über die sanierten Gebiete, um eine sichere Nutzung und den Schutz von Mensch und Umwelt in der Zeit nach der Sanierung zu gewährleisten.

Um jedoch ein nachhaltiges Nachsorgemanagement zu gewährleisten, könnten diese Gebiete für verschiedene Nutzungen verwendet werden, die besser zur sicheren Nutzung der Gebiete beitragen und gleichzeitig die soziale und wirtschaftliche Entwicklung fördern und von den interessierten Parteien akzeptiert werden können.

In Anbetracht dieser Herausforderungen werden in diesem Papier einige Perspektiven vorgestellt, die in Portugal für die Nutzung der sanierten Flächen in Betracht gezogen werden. Dazu gehören die Nutzung der sanierten Abraumhalden und Gesteinsablagerungen für die Erzeugung erneuerbarer Energien durch den Einsatz fotovoltaischer Solarpaneele, die auch zur Herstellung von grünem Wasserstoff verwendet werden könnten, die Nutzung der stillgelegten und sanierten Anlagen für den Industrietourismus, wie z. B. die Uranmühle von Urgeiriça (Abbildung 1 und Abbildung 2), oder die Umwandlung der Anlagen für wissenschaftliche oder Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten oder die Ausbildung

---

<sup>1</sup> EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A. [edgar.carvalho@edm.pt](mailto:edgar.carvalho@edm.pt)

<sup>2</sup> EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A. [catarina.diamantino@edm.pt](mailto:catarina.diamantino@edm.pt)

<sup>3</sup> EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A. [engenharia@edm.pt](mailto:engenharia@edm.pt)

in Zusammenarbeit mit Universitäten und Forschungszentren in den Bereichen der natürlichen Radioaktivität.



**Abb. 1** *Sanierte Uranmühle am Altstandort Urgeiriça*  
**Fig. 1** *Remediated uranium mill at Urgeiriça legacy site*

## Remediation of uranium legacy sites in Portugal. Perspectives and challenges for long-term post-remediation management

Edgar Carvalho<sup>1</sup>, Catarina Diamantino<sup>2</sup>, Carlos Martins<sup>3</sup>

### Abstract

The exploitation of radioactive ores in Portugal initiated with the discovery of the first radium deposit in 1907 and concluded in the early nineties. Since 2001, EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro, S.A. (EDM), a Portuguese State-Owned Company, has been granted the responsibility for the environmental remediation of all mining legacy sites in Portugal, under a concession contract established by the Decree-Law 198-A/2001.

In the scope of the concession contract are included 199 legacy mining sites, including 62 radium and uranium legacy sites, which have been exploited between 1912 and 1991. Since the beginning of concession, EDM remediated 45 radioactive mining sites, 8 are undergoing remediation (in 2023) and 9 are planned to be remediated until 2030.

The implementation of remediation aims for the reduction of risks to people and to the environment and to contribute to the reuse of these areas for different beneficial end-uses, such as restoration of landscapes and habitats, or other public subsequent uses. This has been the case in several of the remediated areas, which have been rehabilitated to natural areas or to public parks according to its potential use.

Despite the use of safe and complex remediation technologies, it is necessary to ensure the continuous post-remediation management activities to ensure the integrity of the implemented solutions and the long-term protection of the people and the environment and the sustainable use of the remediated areas.

In Portugal, EDM ensures the control and regular monitoring, maintenance, mine water treatment and preservation records and knowledge on the remediated areas to ensure safe beneficial use and protection of people and the environment in the post-remediation.

However, in order to ensure the sustainable post-remediation management, these areas might be used for different beneficial uses that could better contribute the safe use of the areas, while promoting the social and economic development and have acceptability by the interested parties.

Considering these challenges, this paper presents some perspectives being considered in Portugal for the use of the remediated areas in Portugal. These include the use of remediated tailings and waste rock deposits for producing renewable energy, through the implementation of photovoltaic solar panels, which could also be used to produce green hydrogen, the use of the decommissioned and rehabilitated facilities for industrial tourism, such as the uranium mill of Urgeiriça (Figure 1 and Figure 2), or the conversion of the facilities for scientific or research and development activities or training in coordination with Universities and Research Centers in the areas of natural radioactivity.

---

<sup>1</sup> EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A. [edgar.carvalho@edm.pt](mailto:edgar.carvalho@edm.pt)

<sup>2</sup> EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A. [catarina.diamantino@edm.pt](mailto:catarina.diamantino@edm.pt)

<sup>3</sup> EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A. [engenharia@edm.pt](mailto:engenharia@edm.pt)



**Abb. 2** Öffentliche Besichtigung der sanierten Uranfabrik am Altstandort Urgeiriça  
**Fig. 2** Public visiting remediated uranium mill at Urgeiriça legacy site

## **Minenschließung und Wassersicherheit: Perspektiven für ein gemeinsames deutsch-südafrikanisches Projekt im Far West Rand Goldfield (Südafrika)**

Kerri du Preez<sup>1</sup>, Frank Winde<sup>2</sup>, Bashan Govender<sup>1</sup>

Die Goldminen im Abbaubereich des Far West Rands in Südafrika gehören zu den tiefsten der Welt und liegen unterhalb eines in einzelne Kompartimente gegliederten dolomitischen Karstaquifers, der die größte Grundwasserressource des Landes darstellt. Um einen sicheren und wirtschaftlich rentablen Untertagebergbau zu gewährleisten, wurden mehrere der dolomitischen Karstkompartimente entwässert und der Grundwasserspiegel bis auf stellenweise 1000 m unter Gelände abgesenkt. Dies hat zu Grundwasserabsenkungstrichtern geführt, die sich über Hunderte von Quadratkilometern erstrecken. Weitere Auswirkungen des Tiefbergbaus umfassen irreversible Veränderungen der hydrogeologischen Bedingungen durch die Durchörterung vertikaler Syenitintrusionen, die als hydraulische Trennschichten zwischen den Kompartimenten fungierten, die Einlagerung uranhaltiger Aufbereitungsrückstände in unterirdischen Karsthohlräume und der Abschlag belasteter Sumpfungswasser. Die damit verbundene Belastung der Oberflächengewässer wirkt sich ebenfalls auf den Karstgrundwasserleiter aus. Die hydraulische Interkonnektivität der verschiedenen Gruben, Veränderungen der Wasserqualität, Seismizität, überlaufende saure Grubenwässer, Erdfälle und Dolinen sind nur einige der Variablen in diesem komplexen System. Da sich viele Minen nun ihrem Betriebsende nähern, bestehen durch die schließungsbedingte Flutung der Gruben erhebliche Risiken für noch aktive Minen in der Region. Negative Erfahrungen mit unkontrolliert austretenden sauren Grubenwässern im Eastern, Western und Central Rand zeigen, dass innovative und vorbeugende Wassermanagementmaßnahmen umgesetzt werden müssen, um eine ähnliche Krise im FWR abzuwenden. Im Rahmen der BMBF-Initiative „Wassersicherheit im südlichen Afrika“ zielt dieses Gemeinschaftsprojekt von Mintek, Wismut und Fraunhofer IKTS darauf ab, die mit der Stilllegung von Minen verbundenen Risiken für die Ressource Wasser zu minimieren. Dazu soll in enger Zusammenarbeit mit relevanten Institutionen, Bergbauunternehmen und Kommunen vor Ort eine ganzheitliche regionale Stilllegungsstrategie entwickelt werden. In der Vorbereitungsphase zielte das Projekt darauf ab, mit Hilfe von Workshops die relevanten Partner auszuwählen und miteinander in Kontakt zu bringen sowie die wichtigsten regionsspezifischen Grubenwasserprobleme zu identifizieren. Mit Unterstützung von Wismut ermittelten und präsentierten die Workshops den aktuellen Stand der hydrologischen und geohydrologischen Probleme im Far West Rand. Basierend auf den Erfahrungen im südafrikanischen Grubenwasserbereich, der Literatur, dem Feedback von Interessenvertretern und den gesetzlichen Rahmenbedingungen kristallisierten sich vier Hauptschwerpunkte heraus: Regulatorische Herausforderungen; Wasser, Umwelt und Landnutzung; Minenschließung; Datenverfügbarkeit und -verwaltung. Zu den weiteren festgestellten sozioökonomischen Problemen gehörten illegaler Bergbau und damit verbundene Risiken, Armut sowie Risiken für die Gesundheit und Sicherheit von Gemeinden durch Bergbaualtstätten. Diese Aspekte werden in die geplante Strategie zur Umsetzung nachhaltiger Wassermanagementmaßnahmen nach der Minenschließung im Far West Rand einbezogen und fließen in diese ein, um den Schutz kritischer Wasserressourcen sicherzustellen.

---

<sup>1</sup> MINTEK, South Africa

<sup>2</sup> Wismut GmbH, Germany

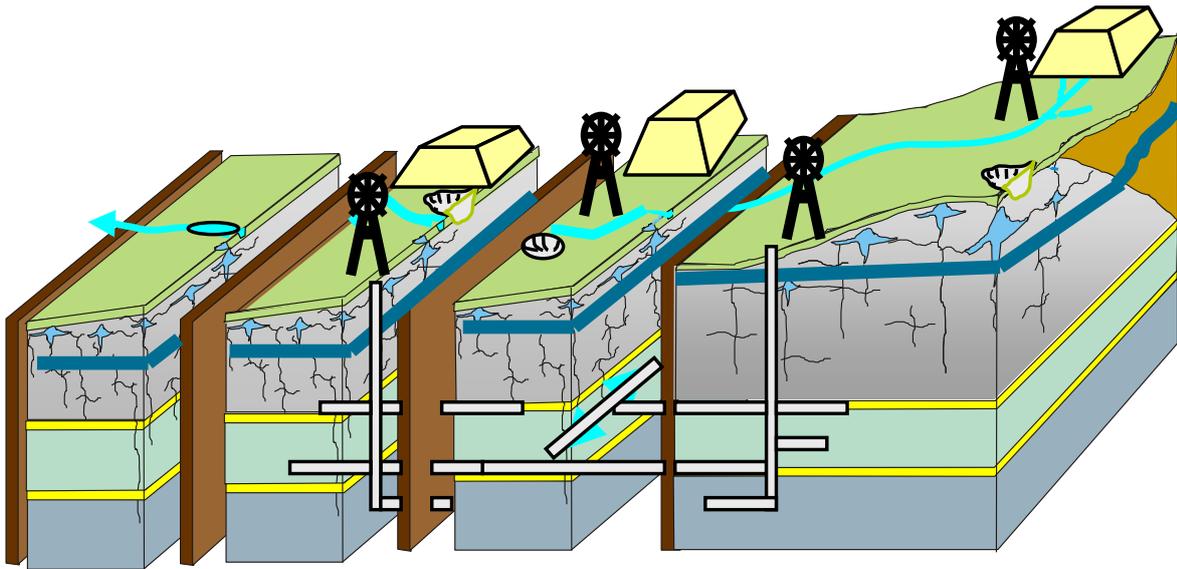


Abb. 1 Vereinfachter geologischer Schnitt durch die dolomitischen Karstkompartimente der Far West Rand Region  
Fig. 1 Simplified geological cross section through the dolomitic compartments of the Far West Rand

## Mine Closure and Water Security: Perspectives on a joint German-South African project in the Far West Rand Goldfield (South Africa)

Kerri du Preez<sup>1</sup>, Frank Winde<sup>2</sup>, Bashan Govender<sup>1</sup>

Gold mines in the Far West Rand goldfield of South Africa are among the deepest in the world, operating below an extensively compartmentalised dolomitic karst aquifer, which represents the largest groundwater resource in the country. To ensure safe and economically-viable underground mining, several of the dolomitic compartments were dewatered, with water tables drawn down as far as 1000m. This has resulted in dewatering cones affecting hundreds of square kilometres. Other water impacts associated with deep-level mining include irreversible changes of hydrogeological conditions through the mining of dykes separating compartments, injection of uraniferous tailings into karst cavities, sinkholes, seepage from large tailings deposits, and pumping of fissure water from depth. Surface water pollution and upstream discharges also affect the hydro-geology of the karst aquifer, adding further complexity. The interconnectedness of the mine void to the aquifer, water quality changes, seismicity, surface decant, dolomitic stability and subsidence, are just some of the unknown variables in a complex system. With many mines now approaching end of life, there are significant risks associated with flooding the vast network of interlinked underground mine voids. Experience with the acid mine drainage crises in the Eastern-, Western-, and Central-Rand goldfields suggest that novel and proactive water management interventions be implemented prior to mine closure, to avert a similar crisis. As part of the BMBF Water Security in Africa initiative, this joint project between Mintek, Wismut and Fraunhofer IKTS aims to address mine-closure related risks through developing an integrated regional closure strategy in close collaboration with mandated institutions and regulatory authorities, mining companies, local municipalities and civil society. In the first phase, the project aimed to host a series of workshops to engage with stakeholders and identify mine water issues specific to the region. Supported by Wismut, the workshops identified and presented the current status of hydrological and geohydrological issues in the Far West Rand. Based on experience in the South African mine water space, literature, feedback from stakeholder engagements and legislative frameworks, four major focus areas emerged: Regulatory challenges; Water, Environment and Land Use; Mine Closure; Data Availability and Management. Other socio-economic issues identified, included illegal mining and related risks, poverty, and risks to the health and safety of communities from mining legacy sites. These aspects will be included in and inform the envisaged strategy for implementation of sustainable post-mine closure water management measures in the Far West Rand, to ensure protection of critical water resources.

---

<sup>1</sup> MINTEK, South Africa

<sup>2</sup> Wismut GmbH, Germany



# Anwendung von maschinellem Lernen auf Umweltüberwachungsdaten zur Erstellung intelligenter Vorhersagen

Maria de Lurdes Dinis<sup>1</sup>

## Einführung

Die Langzeitüberwachung (LTM) ist ein wichtiger Aspekt bei der Bewertung der Leistung der Umweltsanierung von kontaminiertem Boden oder Grundwasser. Sie wird eingesetzt, um den Fortschritt der Grundwassersanierung zu überwachen, insbesondere bei Projekten mit überwachter natürlicher Abschwächung (MNA), um zu überprüfen, ob eine Schadstofffahne stabil ist oder schrumpft, ob die Konzentrationen die Sanierungs- oder Konformitätsziele erreicht haben, oder um veränderte Bedingungen zu überwachen. LTM kann eine Datenerfassung über mehrere Jahre oder sogar Jahrzehnte erfordern und kann daher über den Lebenszyklus eines Standorts sehr teuer sein. Gleichzeitig werden bei der nachhaltigen Sanierung die Nettoauswirkungen auf die Umwelt berücksichtigt und der Übergang von intensiver Bodenentfernung und -behandlung zu nachhaltigeren, passiven Sanierungskonzepten und überwachter natürlicher Abschwächung gefördert. Häufig ist eine längere institutionelle Verwaltung und Überwachung erforderlich. Angesichts der zunehmenden Datenmenge aus Umweltüberwachungssystemen ist das maschinelle Lernen (ML) ein potenziell leistungsfähiges Instrument für die Datenanalyse, Klassifizierung und Vorhersage. Datengesteuerte Modelle, die auf ML basieren, können komplexere nichtlineare Probleme effizient lösen, da sie über ein hohes Potenzial an Speicher- und Rechenleistung verfügen und große Datenmengen kontinuierlich untersuchen können, während sie gleichzeitig subtile und dynamische Muster erkennen. In dieser Arbeit sollen die aktuellen ML-Anwendungen untersucht werden, die das Potenzial und die Herausforderungen von Umweltüberwachungsdaten bei der Erstellung von Vorhersagen für relevante Umweltparameter aufzeigen. Es wurde eine Suche in den Datenbanken Web of Science und Scopus unter Verwendung einer Kombination der Suchbegriffe (Titel/Abstract/Schlüsselwörter) durchgeführt: "Maschinelles Lernen", "Grundwassermonitoring" und "Grundwasserkontamination". Alle relevanten Studien, die zwischen 2016 und 2023 veröffentlicht wurden, wurden ausgewählt. Alle für geeignet befundenen Artikel wurden erfolgreich heruntergeladen. Die Studie folgte den PRISMA-Leitlinien und Checkliste, um Artikel zu überprüfen, Informationen zu extrahieren und relevante Indikatoren zusammenzufassen.

## Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Bei der Literaturrecherche wurden zunächst insgesamt 92 Einträge gefunden, von denen 28 Duplikate waren. Nach der Prüfung auf Eignung und Einschlusskriterien wurden schließlich 17 Artikel in die Studie aufgenommen. Maschinelles Lernen wurde in vielen verschiedenen Zusammenhängen angewandt, z. B. zum Verständnis der Chrom(VI)-Fahnen im Grundwasser (Mazumdar et al. 2022); zur Entwicklung eines umfassenden Rahmens für die langfristige Überwachung der Grundwasserkontamination (Open-Source-Python-Paket PyLEnM) (Meray et al., 2022); für die optimale Planung von Beobachtungsbrunnenstandorten und die hochpräzise Identifizierung von Quellparametern der Grundwasserkontamination (An et al., 2022); zur Vorhersage der Ammoniumkonzentration im Grundwasser (Perović et al. 2022), der Härteanfälligkeit (Mosavi et al., 2020), der Pestizidkonzentration im Grundwasser (Lischeid et al., 2023), der NO<sub>3</sub>-Kontamination im Grundwasser (Knoll et al. 2019), der Salzwasserintrusion und der unterstützenden Auslegung der Salzwasserreinigung (Yin & Tsai, 2020), der Wasserqualitätsparameter (Aldrees et al, 2022), die gesamten gelösten Feststoffe (Ewusi et al., 2021), die Nitratkonzentration (Podgorski et al., 2020) oder PFAS in privaten Brunnen (Hu et al., 2021); die Entwicklung von

---

<sup>1</sup> CERENA-FEUP, Faculty of Engineering, University of Porto

Risikokarten für hohe Arsenkonzentrationen im Grundwasser und die Festlegung von Prioritäten für Gebiete, in denen eine intensivere Überwachung erforderlich ist (Liang et al., 2021); zur Abschätzung von Wahrscheinlichkeiten und Konzentrationsbereichen von Arsen in privaten Brunnen (Lombard et al., 2021); zur Lokalisierung von Risikobereichen der Arsenkontamination (Sumdang et al., 2023); zur Identifizierung der ursprünglichen Grundwassertypen (einschließlich Schadstoffquellen) in geochemischen Mischungen (Velimir, 2018); und zur Echtzeitverarbeitung großer Mengen von Wasserqualitätsüberwachungsdaten (Dritsas & Trigka, 2023).

Die vielversprechenden Ergebnisse dieser Studien zeigen das Potenzial des maschinellen Lernens für die Analyse und Synthese einer großen Datenmenge und die Erstellung sehr genauer Vorhersagen relevanter Umweltqualitätsparameter

## Literatur

- Aldreess A.; Khan, M.A. et al. (2022), Water Quality Assessment Using Water Quality Indices, <https://doi.org/10.3390/w14060947>.
- An, Y.; Zhang, Y.; Yan, X. (2022). An Integrated Bayesian and Machine Learning Approach Application to Identification of Groundwater Contamination Source Parameters, <https://doi.org/10.3390/w14152447>.
- Dritsas E.; Trigka M. (2023), Efficient Data-Driven Machine Learning Models for Water Quality Prediction. *Computation*, <https://doi.org/10.3390/computation11020016>.
- Ewusi A.; Ahenkorah I.; Aikins, D. (2021), Modelling total dissolved solids in water supply systems using regression and supervised machine learning approaches, <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01352-7>.
- Hu X.C.; Ge B.; Ruyle B.J. (2021), A Statistical Approach for Identifying Private Wells Susceptible to Perfluoroalkyl Substances (PFAS) Contamination, <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00264>.
- Knoll L.; Breuer L.; Bach M. (2019), Large-scale prediction of groundwater nitrate concentrations from spatial data using machine learning, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.045>.
- Liang C.-P.; Sun C.-C. et al. (2021), A Machine Learning Approach for Spatial Mapping of the Health Risk Associated with Arsenic-Contaminated Groundwater in Taiwan's Lanyang Plain, <https://doi.org/10.3390/ijerph182111385>.
- Lisheid G.; Steidl J. et al. (2023), Regional dynamics of pesticide concentration below the root zone, <https://doi.org/10.1007/s00767-022-00534-1>.
- Lombard M.; Bryan M.S. et al. (2021), Machine Learning Models of Arsenic in Private Wells Throughout the Conterminous United States as a Tool for Exposure Assessment in Human, <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05239>.
- Mazumdar H.; Murphy M.P. et al. (2022), Optimized Machine Learning Model for Predicting Groundwater Contamination, <https://doi.org/10.1109/MetroCon56047.2022.9971133>.
- Meray A.O.; Savannah S. et al. (2022), PyLEnM: A Machine Learning Framework for Long-Term Groundwater Contamination Monitoring Strategies, *Environmental Science & Technology*, <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c07440>.
- Mosavi A.; Hosseini, F.S. et al. (2020), Susceptibility Prediction of Groundwater Hardness Using Ensemble Machine Learning Models, <https://doi.org/10.3390/w12102770>.
- Perović M.; Šenk, I. et al. (2021), Machine Learning Models for Predicting the Ammonium Concentration in Alluvial Groundwaters, <https://doi.org/10.1007/s10666-020-09731-9>.
- Podgorski J.; Wu R. et al. (2020), Groundwater Arsenic Distribution in India by Machine Learning Geospatial Modeling, <https://doi.org/10.3390/ijerph17197119>.
- Sumdang N.; Chotpantarat S. et al., (2023), The risk assessment of arsenic contamination in the urbanized coastal aquifer of Rayong groundwater basin using the machine learning approach, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114665>.
- Velimir V.V.; Boian S.A.; O'Malley D. (2018), Contaminant source identification using semi-supervised machine learning, <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2017.11.002>.
- Yin J.; Tsai F.T. (2020), Bayesian set pair analysis and machine learning-based ensemble surrogates for optimal multi-aquifer system remediation design, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124280>.

# Application of Machine Learning for Environmental Monitoring Data to Generate Intelligent Predictions

Maria de Lurdes Dinis<sup>1</sup>

## Introduction

Long-Term Monitoring (LTM) is a key aspect in assessing the performance of environmental remediation of contaminated soil or groundwater. It is used to monitor the progress of groundwater remediation, particularly for monitored natural attenuation projects (MNA), to verify that a plume is stable or shrinking, that concentrations have met clean-up or compliance goals, or to monitor for changing conditions. Remediation technologies are not always effective, and, in many cases, residual contaminants may persist at a site at low levels but still above regulatory values. LTM may involve data collection over several years or even decades and thus can be very expensive over the life cycle of a site. At the same time, sustainable remediation considers net environmental impacts, promoting the transition from intense soil removal and treatments to more sustainable, passive remediation approaches and monitored natural attenuation (MNA). Often, longer institutional management and monitoring are necessary. With increased data from environmental monitoring systems, machine learning (ML) is a potentially powerful tool for data analysis, classification, and prediction.

Data-driven models based on ML can efficiently solve more complex nonlinear problems due to a potential for potent memory and computational power and the ability to continuously examine large volumes of data while identifying subtle and dynamic patterns.

This work intends to review the current ML applications that demonstrate the potential and challenges of environmental monitoring data to generate predictions of relevant environmental parameters. A search was performed in the Web of Science and Scopus databases using a combination of the following search terms (Title/Abstract/Keywords): “machine learning”, “groundwater monitoring”, and “groundwater contamination”. All relevant studies published between 2016 and 2023 were selected. All articles deemed eligible were successfully downloaded. The survey followed the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines and the PRISMA 2020 checklist to screen articles, extract information, and summarize relevant indicators. This study performs a descriptive synthesis and analysis of the data.

## Results and Conclusions

A total of 92 records were initially scoped in the literature search, 28 of which were duplicates. After screening for eligibility and inclusion criteria, 17 articles were ultimately included in the study. Machine Learning has been applied in many different contexts such as: to understand the hexavalent chromium (Cr(VI)) plumes in groundwater (Mazumdar et al. 2022); to develop a comprehensive framework for long-term groundwater contamination monitoring (open-source Python package PyLEnM) (Meray et al., 2022); for the optimal design of observation well locations and the high-precision identification of groundwater contamination source parameters (An et al., 2022); to predict the ammonium concentration in groundwater (Perović et al. 2022), the hardness susceptibility (Mosavi et al., 2020), the concentration of pesticides in groundwater (Lischeid et al., 2023), the NO<sub>3</sub> contamination in groundwater (Knoll et al. 2019), saltwater intrusion and assisting saltwater scavenging design (Yin & Tsai, 2020), water quality parameters (Aldrees et al., 2022), the total dissolved solids (Ewusi et al., 2021), the nitrate concentration (Podgorski et al., 2020) or PFAS in private wells (Hu et al., 2021); to develop risk maps from arsenic high concentration in groundwater and prioritize the areas where more intensive monitoring is required

---

<sup>1</sup> CERENA-FEUP, Faculty of Engineering, University of Porto

(Liang et al., 2021); to estimate probabilities and concentration ranges of arsenic in private wells (Lombard et al., 2021); to locate risk areas of arsenic contamination (Sumdang et al., 2023); to identify the original groundwater types (including contaminant sources) in geochemical mixtures (Velimir, 2018); and to process in real-time large amounts of water quality monitoring data (Dritsas & Trigka, 2023).

Machine Learning applications for environmental monitoring data are still under development. The promising results from these studies showed the potential of ML to analyse and synthesize a large volume of data and generate very accurate predictions of relevant environmental quality parameters.

## References

- Aldrees A.; Khan, M.A. et al. (2022), Water Quality Assessment Using Water Quality Indices, <https://doi.org/10.3390/w14060947>.
- An, Y.; Zhang, Y.; Yan, X. (2022). An Integrated Bayesian and Machine Learning Approach Application to Identification of Groundwater Contamination Source Parameters, <https://doi.org/10.3390/w14152447>.
- Dritsas E.; Trigka M. (2023), Efficient Data-Driven Machine Learning Models for Water Quality Prediction. *Computation*, <https://doi.org/10.3390/computation11020016>.
- Ewusi A.; Ahenkorah I.; Aikins, D. (2021), Modelling total dissolved solids in water supply systems using regression and supervised machine learning approaches, <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01352-7>.
- Hu X.C.; Ge B.; Ruyle B.J. (2021), A Statistical Approach for Identifying Private Wells Susceptible to Perfluoroalkyl Substances (PFAS) Contamination, <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00264>.
- Knoll L.; Breuer L.; Bach M. (2019), Large-scale prediction of groundwater nitrate concentrations from spatial data using machine learning, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.045>.
- Liang C.-P.; Sun C.-C. et al. (2021), A Machine Learning Approach for Spatial Mapping of the Health Risk Associated with Arsenic-Contaminated Groundwater in Taiwan's Lanyang Plain, <https://doi.org/10.3390/ijerph182111385>.
- Lischeid G.; Steidl J. et al. (2023), Regional dynamics of pesticide concentration below the root zone, <https://doi.org/10.1007/s00767-022-00534-1>.
- Lombard M.; Bryan M.S. et al. (2021), Machine Learning Models of Arsenic in Private Wells Throughout the Conterminous United States as a Tool for Exposure Assessment in Human, <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05239>.
- Mazumdar H.; Murphy M.P. et al. (2022), Optimized Machine Learning Model for Predicting Groundwater Contamination, <https://doi.org/10.1109/MetroCon56047.2022.9971133>.
- Meray A.O.; Savannah S. et al. (2022), PyLEnM: A Machine Learning Framework for Long-Term Groundwater Contamination Monitoring Strategies, *Environmental Science & Technology*, <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c07440>.
- Mosavi A.; Hosseini, F.S. et al. (2020), Susceptibility Prediction of Groundwater Hardness Using Ensemble Machine Learning Models, <https://doi.org/10.3390/w12102770>.
- Perović M.; Šenk, I. et al. (2021), Machine Learning Models for Predicting the Ammonium Concentration in Alluvial Groundwaters, <https://doi.org/10.1007/s10666-020-09731-9>.
- Podgorski J.; Wu R. et al. (2020), Groundwater Arsenic Distribution in India by Machine Learning Geospatial Modeling, <https://doi.org/10.3390/ijerph17197119>.
- Sumdang N.; Chotpantarat S. et al., (2023), The risk assessment of arsenic contamination in the urbanized coastal aquifer of Rayong groundwater basin using the machine learning approach, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114665>.
- Velimir V.V.; Boian S.A.; O'Malley D. (2018), Contaminant source identification using semi-supervised machine learning, <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2017.11.002>.
- Yin J.; Tsai F.T. (2020), Bayesian set pair analysis and machine learning-based ensemble surrogates for optimal multi-aquifer system remediation design, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124280>.

## Acknowledgements

This work is funded by Base Funding – UIDB/04028/2020 and Programmatic Funding – UIDP/04028/2020 of the Research Center for Natural Resources and Environment, CERENA, funded by national funds through the FCT/MCTES (PIDDAC).

## Ein reaktives Transportmodell zur Vorhersage des ökologischen Fußabdrucks einer Urangewinnung in situ

Sofia Escario<sup>1,2</sup>, Nicolas Seigneur<sup>1</sup>, Antoine Collet<sup>1,2</sup>, Olivier Regnault<sup>1,2</sup>, H el ene de Boissezon<sup>2</sup>, Vincent Lagneau<sup>1</sup>, Michael Descostes<sup>1,2</sup>

### Erweitertes Abstract

Weltweit beruht der gr o te Teil der Uranproduktion auf der Extraktionstechnik "in situ recovery" (ISR). Diese besteht darin, das Erz mit einer Laugungslösung (sauer oder alkalisch) direkt in der Lagerstätte durch eine Reihe von Injektions- und Extraktionsbohrungen aufzulösen. Aufgrund der Art der injizierten ISR-Lösungen könnte die Wasserqualität des Aquifers beeinträchtigt werden. Reaktive Transportmodellierung ist ein leistungsfähiges Werkzeug zur Vorhersage von Flüssigkeitsströmungen und geochemischen Reaktionen in ISR-Reservoiren (Abb. 1).

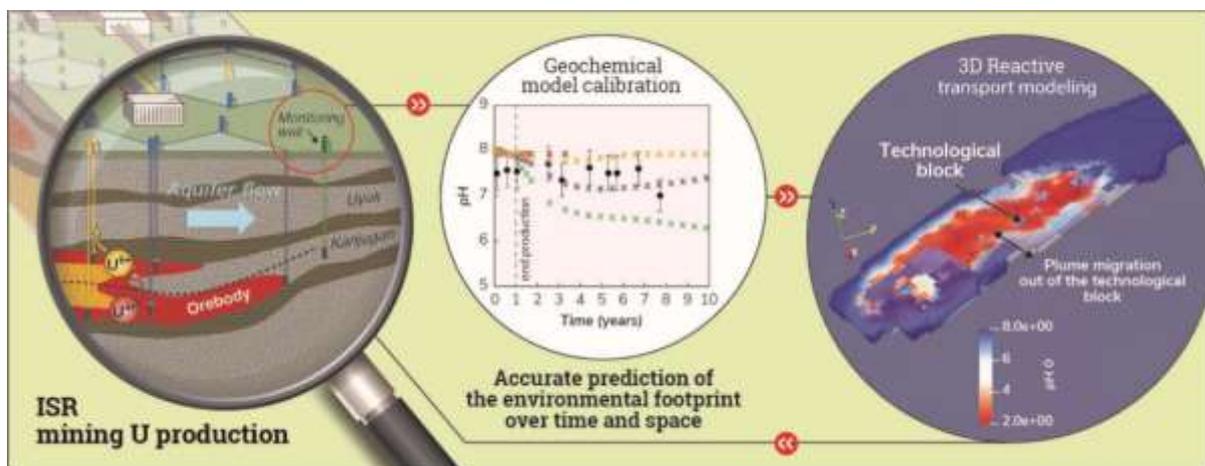


Abb.1. Schema des In-situ-Urangerbergbaus (Escario et al. 2023)

Fig.1. Schema of In-situ recovery uranium mining (Escario et al. 2023)

In dieser Studie präsentieren wir ein gekoppeltes geochemisches 3D-Umweltmodell (EGM) (basierend auf der reaktiven Transportsoftware von HYTEC), das in der Lage ist, die physikalisch-chemischen Bedingungen in einer s urelaugenden ISR-Urangerbergbau-Mine und ihren ökologischen Fußabdruck auf den Aquifer im Zeitverlauf vorherzusagen nach Schließung des Produktionsblocks (Escario et al. 2023). Das Modell wurde in der KATCO-Mine (Kasachstan) an zwei verschiedenen und unabhängigen Produktionsbl cken über 10 Jahre nach ihrer Schließung validiert. Das Modell zeigt, dass die Einbeziehung von zwei geochemischen Hauptprozessen, (1) kationischer Sorption auf Tonoberfl chen (Smektit-Beidellit) und (2) Ausf llung von Gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), die gemessenen Bohrdaten (pH, Säuregehalt und  $\text{SO}_4$ ) erfolgreich reproduziert haben, sowohl für kurz- als auch langfristige Zeitskalen.

Tonoberfl chenstellen bleiben während der Produktionsphase gr o tenteils mit Protonen gesättigt. Simulationen zeigen, dass der Vorrat an sorbierten Protonen auf den Tonoberfl chen die sauren Bedingungen über einen längeren Zeitraum aufrechterhält. Wie erwartet, wurden sowohl für die U-Produktion als auch für die Aufprallabst nde (Abb. 2) Unterschiede zwischen den Umwelt- und bereits bestehenden Produktionsmodellen (z. B. Collet et al. 2022, Lagneau et al. 2019) beobachtet, auf Grund von

<sup>1</sup> PSL University/Mines ParisTech, Centre de G osciences, 35 rue Saint-Honoré, 77305, Fontainebleau, France

<sup>2</sup> ORANO Mining, 135 avenue de Paris, 92320 Ch tillon, France

Unterschieden in der betrachteten reaktiven mineralogischen Paragenese. Daher sollte die Wahl des geochemischen Modells unter Berücksichtigung der angestrebten Ziele erfolgen.

Diese Arbeit wird den Minenbetreiber unterstützen, indem es ein Werkzeug bereitstellt, mit dem sowohl die kurz- als auch die langfristigen ökologischen Fußabdrücke der ISR-Produktionsbedingungen bewertet und die beste Sanierungsstrategie gewählt werden können.

## Verweise

- Collet, A., Regnault, O., Ozhogin, A., Imantayeva, A., Garnier L. (2022). 3D reactive transport simulation of Uranium In situ Recovery. Large scale well-field application in Shu Saryssu Bassin, Tortkuduk deposit (Kazakhstan), Hydrometallurgy.138109957. DOI:10.1007/978-3-319-11059-2\_83
- Escario, S; Seigneur, N; Collet, A; Regnault, O; de Boissezon, H ; Lagneau, V ; Descostes, M. (2023) : A reactive transport model designed to predict the environmental footprint of an 'in-situ recovery' uranium exploitation. Journal of Contaminant Hydrogeology, 104106. DOI://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2022.104106
- Lagneau, V., Regnault, O., Descostes, M. (2019). Industrial deployment of reactive transport simulation: an application to uranium in situ recovery. Mineral. Geochem. 85. DOI://doi.org/10.2138/rmg.2019.85.16.

## A reactive transport model designed to predict the environmental footprint of an ‘in-situ recovery’ uranium exploitation

Sofia Escario<sup>1,2</sup>, Nicolas Seigneur<sup>1</sup>, Antoine Collet<sup>1,2</sup>, Olivier Regnault<sup>1,2</sup>, H el ene de Boissezon<sup>2</sup>, Vincent Lagneau<sup>1</sup>, Michael Descostes<sup>1,2</sup>

### Extended abstract

Worldwide, most uranium production relies on the ‘in situ recovery’ (ISR) extraction technique. This consists of dissolving the ore using a leaching solution (acid or alkaline) directly within the deposit through a series of injection and extraction wells. Due to the nature of the injected ISR solutions, the water quality of the aquifer could be affected. Reactive transport modeling is a powerful tool for predicting fluid flow and geochemical reactions in ISR reservoirs (Fig.1).

In this study we present a coupled 3D environmental geochemical model (EGM) (based on the HYTEC reactive transport software), capable of predicting the physico-chemical conditions in an acid-leaching ISR uranium mine and its environmental footprint on the aquifer in the years following the closure of the production block (Escario et al. 2023). The model was validated at the KATCO mine (Kazakhstan) on two different and independent production blocks, over 10 years after their closure. The model shows that incorporating two main geochemical processes, (1) cationic sorption on clay surfaces (smectite-beidellite) and (2) precipitation of gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), successfully reproduces the measured well data (pH, acidity and  $\text{SO}_4$ ) over short- and long-term time scales.

Clay surface sites remain mostly saturated in protons during the production phase. Simulations show that the stock of sorbed protons on the clay surfaces maintains the acid conditions for a longer period of time. As expected, differences between the environmental and pre-existing production models (e.g., Collet et al. 2022, Lagneau et al. 2019) were observed, both for the U-production and also for the impact distances (Fig.2), due to differences in the considered reactive mineralogical paragenesis. Thus, the choice of geochemical model should be made with due regard for the desired objectives.

This work will assist the mine operator by providing a tool capable of assessing both the short- and long-term environmental footprints of the ISR production operation conditions and of adopting the best remediation strategy.

---

<sup>1</sup> PSL University/Mines ParisTech, Centre de G eosciences, 35 rue Saint-Honor e, 77305, Fontainebleau, France

<sup>2</sup> ORANO Mining, 135 avenue de Paris, 92320 Ch atillon, France

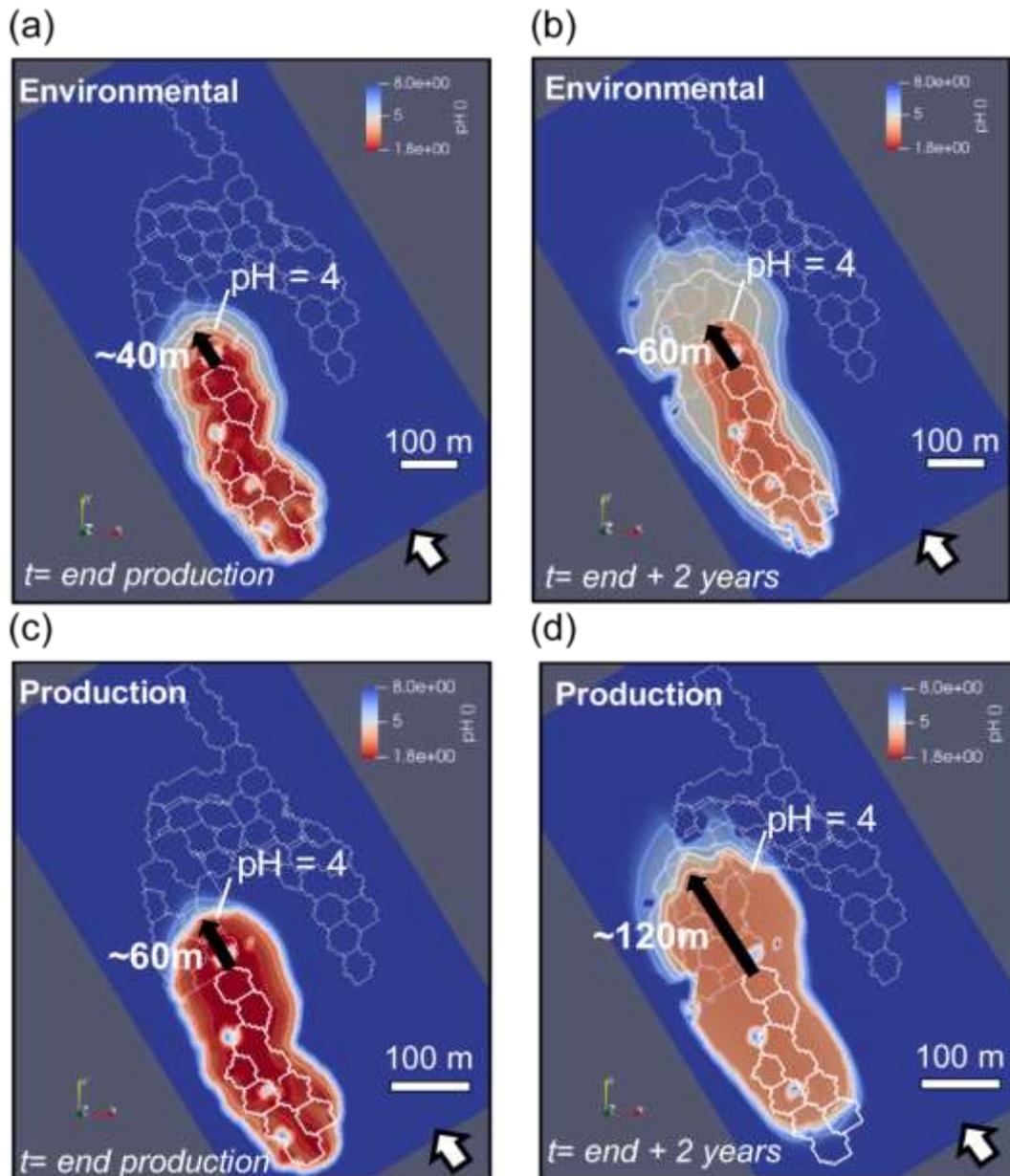


Abb.2. 2D-Dias der Migration der Schadstofffahne unter Verwendung des geochemischen Umwelt- und Produktionsmodells für Block F3. (a-c) Detail am Ende der U-Produktion, (b-d) Detail 2 Jahre nach Ende der U-Produktion.

Fig.2. 2D slides of the migration of the contaminant plume using the environmental and production geochemical model for block F3. (a-c) Detail at the end of U-production, (b-d) Detail at 2 years after the end of U-production.

## References

- Collet, A., Regnault, O., Ozhogin, A., Imantayeva, A., Garnier L. (2022). 3D reactive transport simulation of Uranium In situ Recovery. Large scale well-field application in Shu Saryssu Basin, Tortkuduk deposit (Kazakhstan), Hydrometallurgy.138109957. DOI:10.1007/978-3-319-11059-2\_83
- Escario, S; Seigneur, N; Collet, A; Regnault, O; de Boissezon, H ; Lagneau, V ; Descostes, M. (2023) : A reactive transport model designed to predict the environmental footprint of an 'in-situ recovery' uranium exploitation. Journal of Contaminant Hydrogeology, 104106. DOI://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2022.104106
- Lagneau, V., Regnault, O., Descostes, M. (2019). Industrial deployment of reactive transport simulation: an application to uranium in situ recovery. Mineral. Geochem. 85. DOI://doi.org/10.2138/rmg.2019.85.16.

## **Feldtest zur Steuerung der hydrochemischen Bedingungen im Grubengebäude des Uranbergwerkes Königstein durch Injektion einer reaktiven Lösung**

Felix Bilek<sup>1</sup>, Ulf Jenk<sup>2</sup>, Uli Uhlig<sup>3</sup>

### **Hintergrund – Ausgangssituation – Zielstellung**

Im Uranbergwerk Königstein wurde bis 1990 Uran durch In-situ-Laugung mit Schwefelsäure gewonnen. Die ursprünglich anoxischen Bedingungen im Erzkörper wurden durch den Laugungsprozess und die Sumpfung des Grubengebäudes oxisch. Unter diesen Bedingungen wurde durch Sulfidverwitterung Sulfat, Eisen und Azidität freigesetzt, was wiederum zur Mobilisierung von einer Vielzahl von weiteren Metallen in das Flutungswasser führte. Bisher wird die Stoffmobilisierung durch eine fortgesetzte Sumpfung und Aufreinigung des gehobenen Flutungswassers sowie dessen anteilige Reinfiltration effektiv kontrolliert. Um jedoch die weitere Flutung des Grubengebäudes zu ermöglichen und die dann zunehmende Gefahr des Stoffaustrages in benachbarte Grundwasserleiter zu minimieren, wurde ein Feldversuch zur Immobilisierung der gelösten Stofffracht durchgeführt. Ziel war es, die ursprünglichen reduktiven Bedingungen in einem begrenzten Bereich des Grubengebäudes mit niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten wiederherzustellen.

### **Durchführung des Feldtests und Ergebnisse**

Der Feldtest in Form eines Push-pull-Tests (Abb 1) unter Einsatz einer reduktiv wirkenden reaktiven Lösung zeigte, dass es möglich ist, eher reduktive geochemische In-situ-Bedingungen wiederherzustellen und aufrechtzuerhalten. Unter diesen Bedingungen gelang es, sulfidische Feststoffe zu fällen und hierdurch die Azidität und Metallkonzentrationen im Flutungswasser zu mindern. Die reduktive Zone im Untergrund konnte im Rahmen von insgesamt 17 Infiltrations- und Förderzyklen über mehrere Monate aufrechterhalten werden. Die Konzeption, technische Umsetzung und Durchführung des hydrochemischen Versuchs war damit erfolgreich. Der Test zeigte auch, dass es möglich ist, eine In-situ-Reaktionszone von der Tagesoberfläche aus zu steuern.

Die Konzentrationsentwicklung während der einzelnen Förderungen sowohl der reaktiven als auch der konservativen Wasserinhaltsstoffe lieferte Informationen über die Beschaffenheit und Geometrie der Reaktionszone. Mittels eines Mischmodells konnte die Entwicklung der hydrogeochemischen Verhältnisse in der Reaktionszone abgeschätzt werden (Abb 2).

Die Ergebnisse des Feldtests zeigten jedoch auch, dass die unter oxischen Bedingungen gebildeten vermutlich hydroxidischen Feststoffe im Grubengebäude ein nicht zu vernachlässigendes Stoffpotenzial darstellen, das bei der Bemessung der zukünftig zuzuführenden Reduktionsmittel und der Zeitdauer der Milieumstellung zu berücksichtigen ist. Ein Teil dieser eher oxischen Phasen wird sich nach Einstellung eines reduktiven Milieus wieder auflösen und schließlich andere Phasen bilden, die unter den zukünftig vorherrschenden reduktiven Bedingungen stabiler sind. Es ist damit zu rechnen, dass die rückgelösten Stoffe vorübergehend in begrenzten Konzentrationen in der aquatischen Phase nachweisbar sein werden.

Insgesamt waren die Versuchsergebnisse eine wesentliche Grundlage für die Genehmigung des nächsten Schrittes, der Flutung der Schachanlage Königstein bis auf 150 m NHN.

---

<sup>1</sup> Grundwasser-Consulting-Institut GmbH Dresden

<sup>2</sup> Wismut GmbH

<sup>3</sup> Grundwasser Ingenieurbau Planung GmbH Dresden



**Abb. 1** *Feldversuchsanlage – Luftbild mit Lagertanks und Aufgabebohrloch sowie Blick in den Technik-Container*  
**Fig. 1** *Experimental plant – Aerial view: Storage tanks, infiltration-and-pumping-well and look inside the container.*

## Field test to control the hydrochemical conditions in the Königstein uranium mine by injecting a reactive solution

Felix Bilek<sup>1</sup>, Ulf Jenk<sup>2</sup>, Uli Uhlig<sup>3</sup>

### Background – Current Situation – Objective

In the Königstein uranium mine, uranium was extracted by in-situ leaching with sulfuric acid until 1990. The original anoxic conditions in the ore body became oxic due to the leaching process and the dewatering of the mine workings. Under these conditions, sulphide weathering released sulphate, iron and acidity, which in turn led to the mobilization of a variety of other metals into the mine water. Until now the mobilization of substances is effectively controlled by ongoing pumping and purification of the mine water, and its reinfiltration thereafter. However, in order to enable further flooding of the mine workings and to minimize the then increasing risk of the contamination of neighboring aquifers, a field test was carried out to partially immobilize dissolved metals and acidity. The aim was to restore the original reductive hydrochemical conditions in a limited volume of the mine workings characterized by low flow velocities.

### Field Test and Results

The field test was performed as a push-pull test (Fig. 1). Using a reductive solution for infiltration it was demonstrated that it is possible to restore and maintain reductive geochemical conditions in a limited volume of the mine workings. Under these conditions it was possible to precipitate sulphide solids and thereby reduce the acidity and metal concentrations in the mine water. The reductive zone in the underground could be maintained by 17 extraction-and-infiltration cycles over several months. The conception, technical implementation and execution of the hydrochemical test proved to be successful. The test also showed that it is possible to control an in situ reaction zone from the ground level.

The concentration of the reactive and the conservative dissolved substances in the pumped groundwater during the subsequent extraction-and-infiltration cycles provided information about the water quality and the geometry of the reaction zone. The hydrogeochemical conditions in the reaction zone could be estimated using a mixed model (Fig. 2).

However, the results of the field test also showed that the presumably hydroxide solids formed under oxic conditions in the mine represent a relevant pool of reagents which must be taken into account when calculating the amount of the reducing agents to be added and the duration of the change of the geochemical environmental conditions. Some of these more oxic phases will dissolve again after a reductive environment has been reestablished in the aqueous phase. New solids will eventually form that are more stable under the reductive conditions that will prevail in the future. It is to be expected that the redissolved substances will be temporarily detectable in limited concentrations in the aquatic phase.

Overall, the test results were an essential basis for the approval of the next step by the authorities, which is the flooding of the Königstein mine up to 150 m above sea level.

---

<sup>1</sup> Grundwasser-Consulting-Institut GmbH Dresden

<sup>2</sup> Wismut GmbH

<sup>3</sup> Grundwasser Ingenieurbau Planung GmbH Dresden

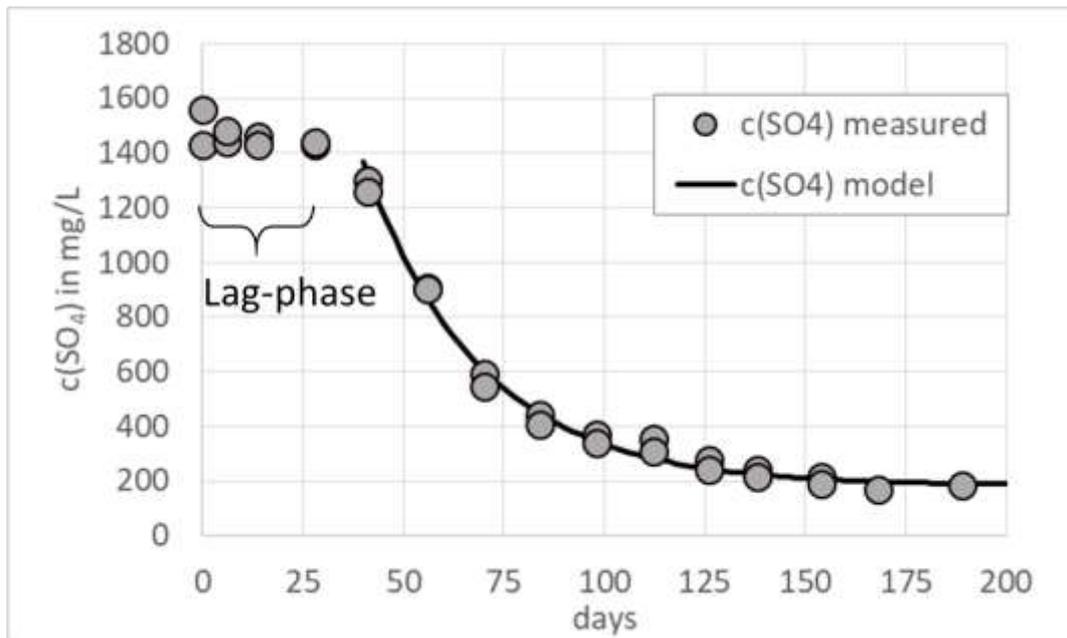


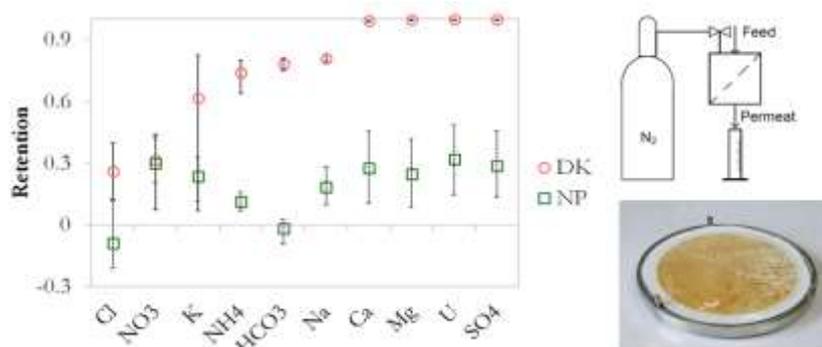
Abb. 2 Gemessene und modellierte Abnahme der Sulfatkonzentration  
Fig. 2 Measured and modelled sulphate concentration decline

## Verfahrensentwicklung zur Salzabtrennung aus Bergbauwässern mit Membranfiltration

Andrea Kassahun<sup>1</sup>, Jan Laubrich<sup>1</sup>, Thomas Metschies<sup>1</sup>

Die meisten Gruben- und Tailingsickerwässer der Wismut GmbH weisen hohe Salzkonzentrationen auf. Die Konzentrationen von Calcium, Magnesium und Sulfat liegen im Bereich von mehreren hundert bis mehreren tausend mg/l. Die bei Wismut bestehenden Wasserbehandlungsanlagen beruhen auf Kalk-Fällung bzw. Sorptionsverfahren und sind zur Salzabtrennung nicht geeignet. Vor dem Hintergrund zunehmender Wasserknappheit infolge des Klimawandels gewinnen das Salzlastmanagement und die technische Salzabtrennung bei der Wasserbehandlung an Bedeutung. Deshalb wird seit einigen Jahren die Nutzung von Membranfiltrationsverfahren zur Wasserbehandlung bei Wismut untersucht.

Zur Applikationsvorbereitung von Wasserbehandlungsverfahren werden Labor- und Technikumsuntersuchungen und der Betrieb einer Pilotanlage kombiniert. Im Labor- und Technikumsmaßstab erfolgte zunächst der Test verschiedener Nanofiltrationsmembranen (in Kooperation mit TU Bergakademie Freiberg, Institut für Thermische Verfahrenstechnik, Umwelt- und Naturstoffverfahrenstechnik). Für Polyamidmembranen wurden dabei besonders gute Abtrennleistungen für Uran und Salze u. a. aus Sickerwässern der IAA Culmitzsch bei guten Permeabilitäten nachgewiesen (Abb. 1: Rückhalt verschiedener Tailingsickerwasserinhaltsstoffe an Polyethersulfon- (NP) und Polyamid-nanofiltrationsmembranen (DK) in einer dead-end Laborapparatur). Als wesentlich für die weitere Verfahrensentwicklung stellte sich die Verminderung des Membranfoulings (Abb. 1: Foto einer Foulingschicht) durch Entfernung von Foulants in geeigneten Vorbehandlungsschritten heraus.



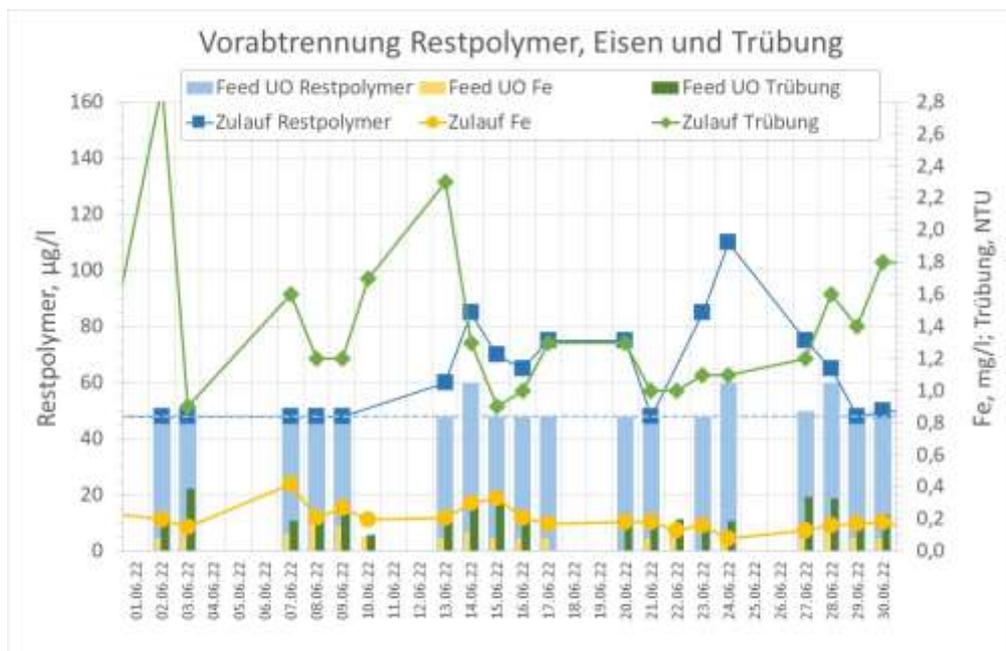
**Abb. 1** Rückhalt von Tailingsickerwasserinhaltsstoffen (links: DK – Polyamidmembran, NP – Polyethersulfonmembran) beim Membranscreening in einer dead-end Laborversuchsapparatur (rechts oben) und Foto einer Foulingschicht auf einer NF-Membran nach Versuchsende (rechts unten) nach (Hoyer 2016) und (Hoyer et al. 2013)

Fig. 1 Retention of tailings leachate constituents (left: DK – polyamide membrane, NP – polyethersulfone membrane) during membrane screening in a dead-end laboratory test apparatus (top right) and photo of a fouling layer on a NF membrane after the end of the test (bottom right) according to (Hoyer 2016) and (Hoyer et al. 2013)

Membranfouling wird durch weniger lösliche Salze, gelöste organische Stoffe, Kolloide, Feinpartikel und mikrobielle Aktivität hervorgerufen (MEND 2008). Aus Bergbauwässern müssen vor einer Nanofiltration bzw. Umkehrosiose vor allem Eisen, Aluminium und Mangan entfernt werden, wobei insbesondere Kolloide und Feinpartikel zu Prozessstörungen führen. Das entwickelte Verfahrenskonzept für die Pilotanlage beinhaltet deshalb neben dem Polyamidmembranmodul zur Salzabtrennung (UO-Modul TML 10D, Toray) die Behandlungsmodule Vorfiltration (Medienfilter, wahlweise als Aktivkohle- oder Sandfilter) und Ultrafiltration (Liqui-Flux W06-08N, 3M) zur Partikel- und Kolloidabtrennung. Die Filterelemente

<sup>1</sup> Wismut GmbH

müssen regelmäßig rückgespült, gereinigt bzw. regeneriert werden, was den aufwändigsten Teil des Behandlungsverfahrens darstellt. In Kooperation mit TU Dresden, Institut für Siedlungs- und Industrie-wasserwirtschaft, wurde die Vorbehandlung des Abstromwassers der Kalkfällanlage WBA Ronneburg konzipiert, das gegenwärtig im Pilotversuch mittels Membranverfahren entsalzt wird. Das zu behandelnde Wasser weist mit einem Silt Density Index (SDI<sub>15</sub>) von 4,8 ein moderates bis hohes Foulingpotential auf (ASTM 2007), das durch die Abtrennung von Resten des Flockungshilfmittels (anionisches Polyacrylamid, gemessen als Restpolymer, Burkert 1970), von Trübstoffen und von Eisenkolloiden auf Werte von SDI<sub>15</sub> = 2,5 (geringes Foulingpotential) gesenkt wird. Abb. 2 zeigt die Vorabtrennung der Foulants im Betrieb der vollautomatisierten Pilotanlage für den Monat Juni 2022. Die Salzabtrennung am UO-Modul beträgt bei einem Feeddruck von 10 – 15 bar und einem Anlagendurchsatz von 700 l/h im Jahresdurchschnitt 95 %. Derzeit erfolgen die Vorbereitungen zur Umsetzung der Pilotanlage an die WBA Seelingstädt, wo ab 2024 die Verfahrenstestung zur Reinigung des Sickerwassers der IAA Culmitzsch erfolgen soll.



**Abb. 2** Rückhalt von Foulants in den Vorbehandlungsmodulen der Pilotanlage (Hydroanthrazitfilter, Ultrafiltrationsmodul), Monat Juni 2022 (Linien: Konzentrationen im Anlagenzulauf, Säulen: Konzentrationen im Zulauf zur Umkehrosiose)

Fig. 2 Retention of foulants in the pretreatment modules of the pilot plant (hydroanthracite filter, ultrafiltration module), month June 2022 (lines: concentrations in the plant feed, columns: concentrations in the feed to reverse osmosis)

## Literatur

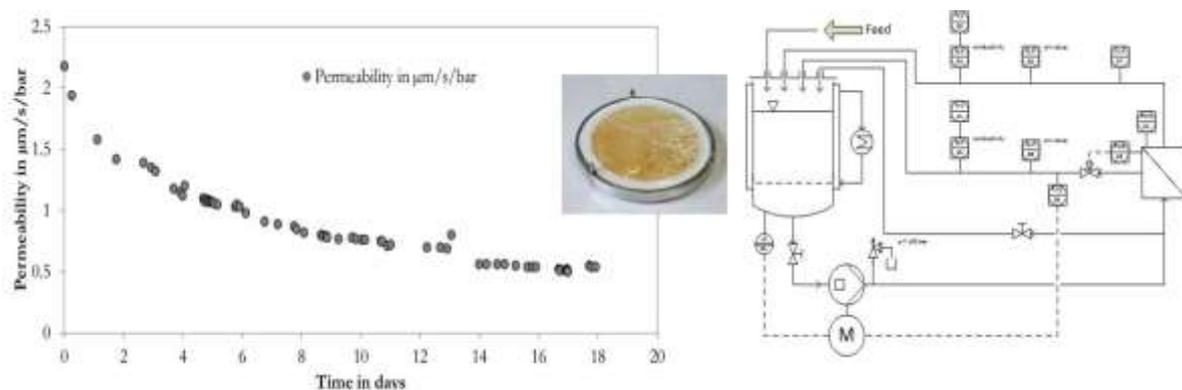
- ASTM (2007): Standard Test Method for Silt Density Index (SDI) of Water, ASTM D 4189:2007, Beuth-Verlag, 3 pp.
- Burkert, H. (1970): Die Bestimmung von Spuren Polyacrylamid im Wasser, gwf-wasser/abwasser 111, H. 5, S. 282 – 286
- Hoyer, M., Haseneder, R., Repke, J.-U. (2013): Membrane filtration of uranium contaminated water – focus on speciation. – In: Proceedings Mine Water Symposium 26./27.09.2013, Wissenschaftliche Mitteilungen des Institutes für Geologie der TU Bergakademie Freiberg (ISSN 1433-1284)
- Hoyer, M. (2016): Post-mining water treatment: Nanofiltration of uranium-contaminated drainage – Experiments and Modelling, PhD thesis, TU Bergakademie Freiberg, 161 pp.
- MEND (2008): Application of Membrane Separation Technology to Mitigation of Mine Effluent and Acidic Drainage, MEND report 3.15.1, 97 pp.

## Membrane technology process adaption to salt separation from mine water

Andrea Kassahun<sup>1</sup>, Jan Laubrich<sup>1</sup>, Thomas Metschies<sup>1</sup>

Most of the mine and tailings seepage waters of Wismut GmbH have high salt concentrations. The concentrations of calcium, magnesium and sulfate are in the range of several hundred to several thousand ppm. The existing water treatment plants at Wismut are based on lime precipitation or sorption processes and are not suitable for salt separation. Against the background of increasing water scarcity due to climate change, salinity load management and technical salt separation in water treatment are gaining in importance. Therefore, the use of membrane filtration processes for water treatment at Wismut has been investigated for several years.

Laboratory tests and the operation of a pilot plant are combined for the application preparation of water treatment processes. Initially, various nanofiltration membranes were tested on a laboratory scale (in cooperation with the Technical University Bergakademie Freiberg, Institute of Thermal-, Environmental- and Resources' Process Engineering). For polyamide membranes, particularly good separation efficiencies for uranium and salts, among others, from leachates from the tailings pond Culmitzsch were demonstrated with good permeability. During cross-flow experiments, the decrease in permeability due to fouling was observed (Fig. 1: permeability drop during a three-week test without intermittent membrane cleaning in a cross-flow apparatus). The reduction of membrane fouling (Fig. 1: photo of a membrane fouling layer) by removing foulants in suitable pretreatment steps turned out to be essential for further process development.



**Abb. 1** Permeabilität während Membrantests an Tailingsickerwässern ohne intermittierende Membranreinigung (links) in einer cross-flow Laboranlage (rechts) und Foto einer Foulingschicht auf einer NF-Membran nach Versuchsende (Mitte) nach (Hoyer 2016) und (Hoyer et al. 2013)

Fig. 1 Permeability during membrane tests on tailings leachates without intermittent membrane cleaning (left) in a cross-flow apparatus (right) and photo of a fouling layer on a nanofiltration membrane (center) according to (Hoyer 2016) and (Hoyer et al. 2013)

Membrane fouling is caused by less soluble salts, dissolved organic matter, colloids, fine particles and microbial activity (MEND 2008). In particular, iron, aluminum and manganese must be removed from mining waters prior to nanofiltration or reverse osmosis, with colloids and fine particles leading to process problems. The process concept developed for the pilot plant therefore includes, in addition to the polyamide membrane module for salt separation (UO module TML 10D, Toray), the treatment units prefiltration (media filter, optionally as activated carbon or sand filter) and ultrafiltration (Liqui-Flux W06-

<sup>1</sup> Wismut GmbH

08N, 3M) for particle and colloid separation. The filter elements have to be regularly backwashed, cleaned or regenerated, which is the most complicated part of the entire treatment process. Currently, the effluent water of the lime treatment plant WBA Ronneburg is desalinated with the membrane pilot plant. The pretreatment process was designed in cooperation with the Technical University of Dresden, Institute for Urban and Industrial Water Management. The water to be treated has a Silt Density Index (SDI<sub>15</sub>) of 4.8, indicating a moderate to high fouling potential (ASTM 2007). Separation of flocculant residues (anionic polyacrylamide, measured as residual polymer, Burkert 1970), turbidity, and iron colloids prior to reverse osmosis reduces the Silt Density Index to values of SDI<sub>15</sub> = 2.5 (low fouling potential). Fig. 2 shows photos of the three filtration modules of the membrane pilot plant: hydroanthracite prefiltration (equipped for fully automated backwash), ultrafiltration (equipped for fully automated backwash, chemical enhanced backwash and cleaning-in-place installation), and reverse osmosis. During the approximately one-year operation of the plant, the salt removal at the UO module averages 95 % at a feed pressure of 10 – 15 bar and a plant flow rate of 700 L/h. Preparations are currently underway for the implementation of the pilot plant at WBA See-lingstädt, where process testing for the purification of the seepage water of the IAA Culmützsch is to take place from 2024.



**Abb. 2** Fotos der drei Filtrationseinheiten der Pilotanlage Membranfiltration: Vorfiltration über zwei Hydroanthrazit-Filter (links), Ultrafiltrationseinheit (Hohlfasermodule Liqui-Flux W06-08N, 3M) mit Zulauf- und Rückspülpumpen (Mitte) und Umkehrosmoseeinheit (rechts: drei Wickelmodule TML 10D, Toray)

Fig. 2 Photos of the three filtration units of the membrane pilot plant: prefiltration via two hydroanthracite filters (left), ultrafiltration unit (hollow fiber module Liqui-Flux W06-08N, 3M) with feed and backwash pumps (center) and reverse osmosis unit (right: three spiral-wound modules TML 10D, Toray)

## References

- ASTM (2007): Standard Test Method for Silt Density Index (SDI) of Water, ASTM D 4189:2007, Beuth-Verlag, 3 pp.
- Burkert, H. (1970): Die Bestimmung von Spuren Polyacrylamid im Wasser, gwf-wasser/abwasser 111, H. 5, S. 282 – 286
- Hoyer, M., Haseneder, R., Repke, J.-U. (2013): Membrane filtration of uranium contaminated water – focus on speciation. – In: Proceedings Mine Water Symposium 26./27.09.2013, Wissenschaftliche Mitteilungen des Institutes für Geologie der TU Bergakademie Freiberg (ISSN 1433-1284)
- Hoyer, M. (2016): Post-mining water treatment: Nanofiltration of uranium-contaminated drainage – Experiments and Modelling, PhD thesis, TU Bergakademie Freiberg, 161 pp.
- MEND (2008): Application of Membrane Separation Technology to Mitigation of Mine Effluent and Acidic Drainage, MEND report 3.15.1, 97 pp

**POSTERBEITRÄGE**  
**POSTER CONTRIBUTIONS**



## From flooding of the former Ronneburg uranium mine to the long-term management of the Ronneburger Horst groundwater body

Dr. D. Baacke<sup>1</sup>, T. Metschies<sup>1</sup>

The impacts to local groundwater bodies caused by former uranium ore mining have been significantly reduced by Wismut GmbH over the last three decades of remediation. However, changes in the hydraulic properties of the mined geological formations due to the exploitation of the deposit and the development of the mine are irreversible in the long term. The hydrogeochemical processes induced by mining and the mobilisation of environmentally harmful substances have a long-lasting effect.

The area influenced by the former Ronneburg underground mine extends over about one third of the distribution area of the Ronneburger Horst groundwater body in eastern Thuringia, west of Gera (Fig. 1). The flooding of the Ronneburg mine workings from the second half of the 1990s until 2006 was the selected remediation option for the site. Substantial additional measures and multiple strategic adjustments have been required since 2006 to complete the flooding. Since 2018, the flooded mine has been managed in compliance with defined boundary conditions within a range of mine water level between 246 and 248 m a.s.l.. The drainage and pumping of the groundwater decant from the mine and the subsequent water treatment are the key processes here. The quality and quantity of the groundwater in the Ronneburger Horst body depend on active and sustainable interventions by Wismut GmbH.

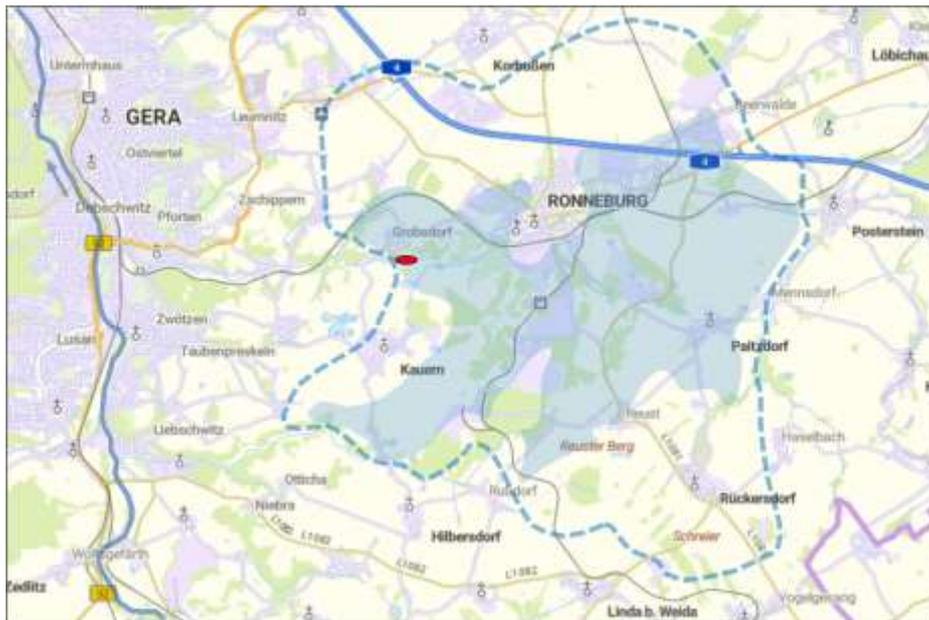


Fig. 1: Generalised Map of the cone of groundwater depression (blue dashed line) and the extend of the levelled out mine water potential (blue area) caused by the decant in the Gessen valley (red oval), left side: the main receiving stream Weiße Elster

Wismut GmbH's long-term strategy for the management of groundwater influenced by mining activities is linked to the aim of continuously improving the status of the groundwater body and protecting unaffected groundwater compartments and local surface water bodies from adverse impacts. In order to achieve this efficiently and in a way that conserves resources, long-term monitoring is pursued, technical assessment is ensured and all options for procedural and strategic adaptation of mine water management are regularly reviewed.

<sup>1</sup> Wismut GmbH



## Strahlenschutzrechtliche Anforderungen an die radondichte Sanierung von Halden aus dem Uranbergbau bei haldennaher Wohnbebauung

Constanze Bach<sup>1</sup>

In Folge des Uranerzbergbaus in Sachsen und Thüringen gab es viele durch erhöhte natürliche Radioaktivität belastete Betriebsflächen, Aufbereitungsbetriebe, Abraumhalden und Absetzanlagen. Aufgabe der Wismut GmbH war und ist es, diese Bereiche langfristig zu sichern bzw. zu sanieren. Das LfULG hat diesen Prozess bezüglich der Umsetzung der strahlenschutzrechtlichen Anforderungen für Sanierungsvorhaben in Sachsen begleitet.

Eine Herausforderung dabei ist die langfristige Einhaltung der Sanierungsziele. Im Weiteren soll hierzu die Sanierung von Halden aus dem Uranbergbau bei haldennaher Wohnbebauung betrachtet werden. Ein Beispiel für eine solche Halde ist in Abb. 1 gezeigt.



**Abb. 1** Luftbild der Halde 38neu in Aue-Bad Schlema, Quelle: Wismut GmbH

**Fig. 1** Aerial photo of the heap 38neu in Aue-Bad Schlema, source: Wismut GmbH

Bei Haldensanierungen wurde und wird unter strahlenschutzrechtlichen Aspekten angestrebt, die Strahlenexpositionen für die Bevölkerung im Umfeld zu mindern. Ziel dabei ist es, gemäß § 149 Abs. 2 StrlSchG (StrlSchG 2017) in Verbindung mit § 136 Abs. 1 StrlSchG (StrlSchG 2017), den Referenzwert von 1 mSv/a für die Bevölkerung nach der Sanierung langfristig zu unterschreiten. Im Zuge von Alterung oder sich ändernden Umgebungsbedingungen (z.B. Klimaveränderungen) kann es an sanierten Halden zu Veränderungen kommen, welche sich negativ auf die Funktionsfähigkeit von Haldenabdeckungen hinsichtlich des Radonaustrags auswirken. Erfahrungen zeigen, dass nicht alle Prognosen zur langfristigen Wirkung der Haldenabdecksysteme eingetreten sind, wie es bei der Planung vor 15- 20 Jahren erwartet wurde. Es ist deshalb wichtig, die bereits gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen zu langfristigen Prozessen an Halden, die Einfluss auf die Radonrückhaltung haben, auszuwerten. Auf Grundlage des fortgeschrittenen Kenntnisstandes in relevanten Fachbereichen sollte nach Einschätzung des LfULG eine Bewertung der relevanten Prozesse und möglicher neuer Lösungsansätze stattfinden, um fundiert entscheiden oder reagieren zu können.

Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes (F&E) wurde geprüft, mit welchen Maßnahmen das Sanierungsziel an Halden, an denen die Funktionsfähigkeit der Haldenabdeckung hinsichtlich des Radonrückhalts nachgelassen hat, nachträglich erreicht werden könnte. Außerdem erfolgte

---

<sup>1</sup> Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

eine theoretische Betrachtung, wie diese ggf. auch bei neu zu sanierenden Objekten, welche sich in der Nähe von Wohngebäuden befinden, angewendet werden können (LfULG 2022).

Im Rahmen der strahlenschutzrechtlichen Bewertung von (Sanierungs-) Maßnahmen an Halden aus dem Uranbergbau wird die Strahlenexposition einer Einzelperson an der jeweils ungünstigsten Einwirkstelle bestimmt. Für den Aufenthalt im Freien werden dafür die in den Berechnungsgrundlagen Bergbau (BglBb 2010) aufgeführten Expositionspfade äußere Exposition durch Gammastrahlung des Bodens, Exposition durch Inhalation von Staub, Exposition durch Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten, Exposition durch Ingestion von Muttermilch und lokal erzeugten Lebensmitteln sowie Exposition durch Direktingestion von Boden betrachtet.

Diese Herangehensweise stellt sicher, dass die tatsächliche Exposition an dem jeweiligen betrachteten Objekt ausreichend konservativ nachgebildet wird.

Bei Nutzungen in der unmittelbaren Umgebung von Halden ist die Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten häufig der Expositionspfad, der nach Abschluss der Sanierungsarbeiten weiterhin für die Bevölkerung relevant ist.

Das Haldenmaterial enthält in unterschiedlichem Maße Uran und Radium. Beim Zerfall entsteht Radon, welches sich im Haldenkörper ausbreitet und in die Freiluft austritt. Unter bestimmten lokalen und meteorologischen Gegebenheiten können, bedingt durch Strömungsprozesse im Haldenkörper sowie durch Kaltluftabflüsse an der Oberfläche, Radonkonzentrationen auftreten, die zu einer erhöhten Strahlenexposition der Bevölkerung oberhalb des Referenzwertes führen (BfS).

Insbesondere, wenn sich die sanierten Objekte in der Nähe von Wohn- oder anderweitig genutzten Gebäuden befinden, sollte der Radonaustrag daher nach Möglichkeit unterbunden oder hinreichend reduziert werden. Im Fazit der F&E Studie (LfULG 2022) zeigte sich, dass sich bei mineralischen Abdeckungen durch Alterungsprozesse die Radonrückhaltung verschlechtert. Es wurde eingeschätzt, dass sowohl Asphaltabdichtungen, als auch Kunststoffdichtungsbahnen geeignet sein können, um Halden langfristig gasdicht abzudecken. Dabei ist die wesentliche Komponente beider Verfahren die konvektiv wirksame Dichtungsschicht. Die Einkapselung der Radonquelle bewirkt eine Unterbrechung des Emissionspfades zum Schutzgut (LfULG 2022). Dadurch kann der Radonaustrag minimiert und in diesem Zuge ggf. der Referenzwert von 1 mSv/a erreicht werden. Im Rahmen der Studie wurde anhand einer Modelhalde die Wirksamkeit der abgeleiteten Lösungsvarianten in der Praxisanwendung analysiert und hinsichtlich der bautechnischen Realisierbarkeit, der bodenmechanischen, wasserhaushaltlichen und radonfachlichen Fragestellungen, insbesondere hinsichtlich der Langzeitstabilität, beurteilt.

Der Anwendungsbereich der entwickelten Lösungsansätze wird speziell für solche Situationen gesehen, in denen haldenbedingt an naheliegender Bebauung der Referenzwert durch den Radonaustrag überschritten ist oder perspektivisch überschritten werden kann. Ob diese Sanierungs- bzw. Nachsanierungslösungen realisiert werden, ist im Einzelfall für jedes Objekt zu prüfen.

## Literatur

- StrlSchG (2017): Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung vom 27. Juni 2017 (BGBl. 2017 I S. 1966).
- LfULG (2022): Schriftenreihe Heft 27/2022, „Langzeitstabilität sanierter Uranbergbauhalden“, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, 1. Auflage, 113 Seiten.
- BglBb (2010): Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen – Bergbau). BfS-SW-07/10, Salzgitter, März 2010.
- BfS: <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/karten/boden.html>, 12.04.2023.

## Requirements for the radiation protection for radon tight remediation of heaps of the uranium mining lying close to living areas

Constanze Bach<sup>1</sup>

Due to the uranium mining in Saxony and Thuringia there were many areas like processing companies, heaps and tailing ponds with increased amounts of natural radioactivity. Responsibility of the Wismut GmbH was and is, to protect or rather to remediate those areas long-term. The LfULG accompanied this process according to the implementation of radiation protection requirements for remediation projects in Saxony. Thereby a challenge is the long-term achievement of the remediation goal. Hereafter the remediation of heaps of the uranium mining that are located next to living areas are considered.

During remediation of heaps, the reduction of the radiation exposure for the surrounding population was and is aspired under radiation protections aspects. Thereby the goal is, according to § 149 section 2 StrlSchG (StrlSchG 2017) in conjunction with § 136 section 1 StrlSchG (StrlSchG 2017), to be long-term below the reference value of 1 mSv/a for the population after remediation. Due to aging or the change of environmental conditions (e.g. climate change), remediated heaps can show alteration with negative effects on the function of the heaps cover according to radon release. Experience show that not all long-term effects predicted for heap cover systems occur like planned 15 to 20 years before. Therefore, it is important to evaluate gotten findings and experiences for long-term processes at heaps that effect the radon retention. As estimated by the LfULG, an assessment of the relevant processes and possible new approaches based on the advanced state of knowledge in the relevant departments should be done to be able to decide established and to react.

In the context of a research and development project (R&D) it was investigated with the help of new approaches which procedures can be used to achieve the remediation goal for heaps where the function of the heap cover with regard to radon retention has declined. Moreover a theoretical consideration took place, how these techniques could be used even for objects located next to living areas that should be remediated the first time (LfULG 2022).

The radiation exposure of a single person is determined at the worst location within the scope of the radiation protection assessment of remediation procedures at heaps of the uranium mining. The following exposure paths are defined in the Calculation Bases Mining ("Berechnungsgrundlagen Bergbau") for the stay outdoors (BglBb 2010): Outer exposition due to gamma radiation of the soil, Exposition due to inhalation of dust, Exposition due to inhalation of radon and its short-lived decay products, Exposition due to ingestion of mother's milk and local produced food, as well as Exposition due to direct ingestion of soil.

This approach ensures that the real exposition at each object that has to be determined is depicted sufficiently conservative.

In the surroundings of remediated heaps, inhalation of radon and its short-lived decay products is often the most relevant exposure path for the population.

Heap material contains uranium and radium in different amounts. Their decay produces radon that spreads in the heap body and escapes into outdoors. Under special local and meteorological conditions, i.e. due to flow processes in the heap and cold air flow at the surface, radon concentrations can occur

---

<sup>1</sup> Saxon State Office for the Environment, Agriculture and Geology

that lead to a higher radiation exposure of the population exceeding the reference value (BfS). An example where radon is measured at a heap is shown in Fig. 1.



**Abb. 1** Radonmessungen an der Halde 38 neu in Aue-Bad Schlema

**Fig. 1** Measurements of radon at the heap 38neu in Aue-Bad Schlema.

Particularly if the remediated objects are close to living buildings or buildings used in another way, the radon exposure should be as far as possible eliminated or reduced sufficiently. The conclusion of the R&D project (LfULG 2022) shows that mineral covers due to alteration processes show a degradation of the radon retention potential. It was estimated that asphaltic sealing as well as flexible membrane liner can be suitable to cover heaps gastight long-term. Thereby is the convective effective confining layer the substantial component of both methods. The encapsulation of the radon source interrupts the emission path to the subject of protection (LfULG 2022). This can minimize the radon emanation and with this the reference value of 1 mSv/a could be achieved. During the R&D project, a model heap was used to analyse the applicability of the effectivity of the developed approaches and it was evaluated due to construction feasibility, soil-mechanical, water balance and radon questions, particularly with regard to long-term stability.

The scope of application of the developed approaches is in special for such situations where the reference value exceeds or may exceed due to radon of heaps next to living areas. If such remediation or post-remediation solutions are realisable, has to be surveyed for each object individually.

## References

- StrlSchG (2017): Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung vom 27. Juni 2017 (BGBl. 2017 I S. 1966).
- LfULG (2022): Schriftenreihe Heft 27/2022, „Langzeitstabilität sanierter Uranbergbauhalden“, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, 1st edition, 113 pages.
- BglBb (2010): Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen – Bergbau). BfS-SW-07/10, Salzgitter, March 2010.
- BfS: <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/karten/boden.html>, accessed 12 April 2023.

## Passive Behandlung von HCH-kontaminiertem Bergbauwasser

Petr Brůček<sup>1</sup>, Miroslav Černík<sup>2</sup>, Jan Němeček<sup>2</sup>, Pavel Hrabák<sup>2</sup>

### Einleitung

Auf der Deponie Hájek (Tschechische Republik) wurden in den späten 1960er Jahren etwa 5.000 Tonnen HCH-Rückstände entsorgt. Aus den Drainagesystemen der Deponie Hájek flossen etwa 1 – 3 l/s Grubenwasser mit einem durchschnittlichen Gehalt von 100 µg/l HCH und 600 µg/l Chlorbenzole (CIB), die Zwischenprodukte der HCH-Umwandlung, ab. Diese Schadstoffe flossen durch einen Kanal in den Ostrovský-Bach und verseuchten das umliegende Ökosystem. Im September 2021 wurde eine passive Wasserbehandlung (Wetland+®) in Hájek in Betrieb genommen und läuft seither im Testbetrieb. Der Betrieb des Wetland+® führte zu einem erheblichen Rückgang des HCH-Frachteintrags in den Ostrovský Bach von ursprünglich 24 g/Tag auf 0,8 - 0,9 g/Tag (ca. 97 % Reduzierung).

### Methodik

Die Behandlung der Wässer basiert auf der Anwendung einfacher passiver Sanierungsverfahren, die auf der chemischen Reduktion auf Fe-Chips und anschließenden biologischen Prozessen beruhen. Der Vorteil dieser Technologie besteht darin, dass sie keinen Energieeinsatz oder zusätzliche Chemikalien benötigt und der gesamte Prozess auf Oxidations-/Reduktions- und Biosorptionsmethoden basiert. Diese robuste, wartungsarme und nachhaltige Behandlung kann an entlegenen Orten eingesetzt werden, wo der Zugang zu notwendiger Infrastruktur begrenzt ist. Sie ist auch wirtschaftlicher als herkömmliche Behandlungsanlagen.

Das Behandlungsverfahren basiert auf vier Einheiten: (A) ein Belüftungs- und Sedimentationsmodul zur Entfernung von gelöstem Eisen im Abfluss, (B) durchlässige reaktive Module mit einer Füllung aus nullwertigem Eisen, um HCH zu Chlorbenzolen zu reduzieren, (C) ein Biosorptionsmodul zur biologischen Reduktion von Schadstoffen und (D) ein aerobes Feuchtgebiet für die Endreinigung. Vor dem Bau des Behandlungssystems wurde die Wirksamkeit der einzelnen Verfahrensschritte separat getestet. Jeder Teilschritt hatte seine Stärken und Schwächen, die wir in der endgültigen Form zu nutzen versuchten, indem wir die Teilschritte zu dem System kombinierten, das auf dem Gelände gebaut wurde. Die Bedingungen am Standort ändern sich im Laufe des Jahres in Abhängigkeit vom Wasseranfall und der variablen Schadstoffkonzentration im Wasser. Der Einfluss von gelöstem Eisen und das Vorhandensein von Karbonaten im Wasser, die die Wirksamkeit von nullwertigem Eisen als Hauptprozess im System verringern, ist ebenfalls von wesentlicher Bedeutung.

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Im September 2021 wurde das Wetland+®-System in Hajek auf einer Fläche von 130 x 70 m in Betrieb genommen. Seitdem läuft der Testbetrieb, wobei sich die Effizienz der einzelnen Stufen schrittweise verbessert. Die Pflanzen in den Feuchtgebieten wachsen, womit deren Beitrag zur gesamten Schadstoffdemobilisierung zunimmt. Der Behandlungsprozess wird mit Drainagewasser mit einem Durchfluss von 1-3 l/s und HCH- und CIB-Konzentrationen von 50-260 µg/L bzw. 100-1300 µg/L gespeist. Heute hat der Betrieb des Wetland+® zu einer deutlichen Verringerung der HCH-Frachteinleitung in den Ostrovský Bach von ursprünglich 24 g/Tag auf 0,8-0,9 g/Tag geführt (ca. 97 % Entfernung). Die Entfernung von CIB liegt bei nahezu 100 %. Probleme mit der Verstopfung des ZVI

---

<sup>1</sup> DIAMO, state enterprise

<sup>2</sup> Technische Universität Liberec

durch Eisenoxide werden durch Modifikationen gelöst, die zur Aufrechterhaltung einer anoxischen Umgebung im ZVI führen und den Kontakt des kontaminierten Wassers mit dem ZVI erhöhen.



*Abb. 1 Übersicht des Behandlungssystems (October 2022). Die 4 Behandlungsstufen von rechts nach links entlang der Fließrichtung des Wassers: Sedimentation, reaktive Module mit nullwertigem Eisen in geschlossenen Tanks, Biosorption und Bioreduktion im aeroben Wetland (Meander).*

*Fig. 1 Overview of the remediation system (October 2022). The four elements of the system from right to left in the direction of flow and treatment – sedimentation, permeable reactive modules with zerovalent iron in covered tanks, biosorption and bioreduction in the aerobic wetland (meanders).*

## Schlussfolgerung

Während der ersten 14 Betriebsmonate stieg die Effizienz der Schadstoffentfernung durch die Einstellung des Systems schrittweise auf fast 100 % für CIB und 97 % für HCH. Das künftige Ziel besteht darin, das System so einzustellen, dass es langfristig den höchstmöglichen Wirkungsgrad erreicht, wobei der geringstmögliche Wartungsbedarf und die geringsten materiellen und finanziellen Aufwendungen erforderlich sind. Zudem sollen auch längere Datenreihen ermittelt werden, so dass die erzielten Ergebnisse eine größere Belastbarkeit haben.

## Danksagung

Die Wetland+®-Technologie wurde im Rahmen des europäischen Projekts LIFEPOPWAT installiert, das sich auf innovative Technologien auf der Grundlage von Pflanzenkläranlagen für die Behandlung von mit Pestiziden belasteten Gewässern konzentriert (LIFE18 ENV/CZ/000374).

## Schlüsselwörter

Hexachlorcyclohexan, Lindan, Behandlung, Feuchtgebiet, ZVI

## Passive Remediation System for the Treatment of HCH-Contaminated Mining Water

Petr Brůček<sup>1</sup>, Miroslav Černík<sup>2</sup>, Jan Němeček<sup>2</sup>, Pavel Hrabák<sup>2</sup>

### Introduction

At the Hájek site dump (the Czech Republic), approximately 5,000 tons of HCH residue were disposed of in the late 1960s. The drainage systems of the Hájek dump discharged approximately 1 - 3 l/s of mining water with an average content of 100 µg/l of HCH and 600 µg/l of chlorobenzenes (ClB), which are intermediates of HCH transformation. These pollutants flowed through a channel into Ostrovský Creek and contaminated the surrounding ecosystem. In September 2021, the full-size remediation system (Wetland+<sup>®</sup>) was commissioned at Hájek and since then, it has been running in test mode. The operation of the Wetland+<sup>®</sup> led to a significant decrease, in HCH mass discharge to the Ostrovský Creek, from initial 24 g/day to 0.8 – 0.9 g/day (approximately 97% decrease).

### Methodology

System is based on the use of simple and passive remediation approaches, based on chemical reduction on Fe chips and subsequent biological processes. The advantage of the technology is that it does not require any energy source or additional chemicals, and the whole process is natural, based on oxidation-reduction and biosorption methods. This robust, low-maintenance, and sustainable treatment can be deployed in remote locations where access to infrastructure may be limited. It is also economically more viable than conventional WWTP.

The remediation system is based on four steps: (A) aeration and sedimentation module for removal of dissolved iron in the outflow, (B) permeable reactive modules with zerovalent iron fill to reduce HCH to chlorobenzenes, (C) biosorption module for bioreduction of contaminants, and (D) aerobic wetland module for the final cleaning. Several years before the construction of the remediation system, the effectiveness of the individual elements was tested separately. Each element had its strengths and weaknesses, which we tried to use in the final form by combining the elements into the system that was built on the site. The conditions at the site change throughout the year depending on the flows and the variable concentration of pollutants in the waters. The influence of dissolved iron and the presence of carbonates in the water, which reduce the effectiveness of zero-valent iron, as the main cleaning element in the system, is also essential.

### Summary of results

In September 2021, the full-size Wetland+<sup>®</sup> system was commissioned at Hajek on an area of 130 x 70 m. Since then, it has been running in test mode, where the efficiency of each stage is gradually improving. The wetland plants are growing and the contribution of the wetland remediation step to the overall contaminant removal is increasing. The input to the system is drainage water with a flow of 1-3 l/s, and HCH and ClB concentrations of 50-260 µg/L and 100-1300 µg/L, respectively. Nowadays, the operation of the Wetland+<sup>®</sup> led to a significant decrease in HCH mass discharge to the Ostrovsky Creek from an initial 24 g/day to 0.8 – 0.9 g/day (approximately 97% removal). The removal of ClB is close to 100%. Problems with the clogging of the ZVI by precipitates of iron hydroxide and oxyhydroxide are solved by modifications leading to the maintenance of an anoxic environment in the ZVI and increase the contact of contaminated water with ZVI.

---

<sup>1</sup> DIAMO, state enterprise

<sup>2</sup> Technical University in Liberec

## Conclusion

During the first 14 months of operation, due to the system's tuning, the contaminant removal efficiency gradually increased to almost 100% for CIB and 97 % for HCH. The future goal is to tune the system to its highest possible long-term efficiency with the necessity of the lowest possible service requirements and material and financial costs. A necessary condition is also to obtain a longer time series of results, so that the obtained results have greater validity.

## Acknowledgement

The Wetland+<sup>®</sup> technology was installed in the frame of LIFEPOPWAT European project focuses on innovative technology based on constructed wetlands for the treatment of pesticide-contaminated waters (LIFE18 ENV/CZ/000374).

## Keywords

hexachlorocyclohexane, lindane, treatment, wetland, ZVI



Abb. 2 Pflanzenbecken zur Filtration und Erhöhung der Biodiversität. Algae Chara sp., den größten Teil des aquatischen Bewuchses bildend und die weiß blühende, geschützte und gefährdete Art Menyanthes trifoliata.

Fig. 2 Wetland plants that help filter water from contaminants and increase the biodiversity of the site. Algae Chara sp., forming the largest part of the growth below the water surface, and the white-flowering, protected and endangered Menyanthes trifoliata.

## Ein Überblick über die aktive und passive Behandlung von Grubenwasser in der Uran-Altmine Urgeiriça (PORTUGAL)

Catarina Diamantino<sup>1</sup>, Edgar Carvalho<sup>2</sup>, Carlos Martins<sup>3</sup>

### Resümee

Die EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro, ein staatliches Unternehmen, führt seit 2001 Umweltsanierungen an alten Bergbaustandorten in Portugal durch, darunter auch an radioaktiven und sulfidischen polymetallischen Minen. Einer der Schwerpunkte der Sanierungsprojekte ist die Kontrolle und Behandlung des Grubenwassers durch kombinierte aktive und passive Behandlungssysteme.

In diesem Beitrag werden die Verfahren der Grubenwasseraufbereitung und die Überwachung vorgestellt, die in der Uran-Altlast Urgeiriça eingesetzt werden (Abb. 1). Das Aufbereitungssystem gliedert sich in zwei Linien, die aktive und die passive Aufbereitung. Die aktive Behandlung umfasst die pH-Neutralisierung mit Calciumhydroxid und die Zugabe von Bariumchlorid, gefolgt von einer Sedimentation zur Fest-Flüssig-Trennung. Das System der passiven Zweitbehandlung umfasst mehrere Schritte wie Belüftung, Sedimentation, Filtration in adsorbierenden Medien und Phytoremediation in aeroben Feuchtgebieten.



**Abb. 1** Aufbereitungsanlage für Grubenwasser am Altstandort der Uranmine Urgeiriça  
**Fig. 1** Mine water treatment station at Urgeiriça uranium mine legacy site

Beide Systeme werden vor, in den Zwischenschritten und am Ende der Behandlung überwacht, und das Programm zur Kontrolle der Wasserqualität umfasst In-situ-Parameter (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Temperatur, Redoxpotenzial, Gesamtmenge der gelösten Feststoffe und Durchflussmenge) sowie Laboranalysen chemischer und radiologischer Parameter wie Gesamturan, U238, U234, Ra-226, Sulfate, Chloride, Mangan, Kalzium und Natrium. Diese Elemente wurden in früheren Studien als die besten Indikatoren für hydrogeochemische Verunreinigungen im Zusammenhang mit den alten Urana-bbaustätten in der Region Centro, Portugal, ermittelt.

<sup>1</sup> EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A., catarina.diamantino@edm.pt

<sup>2</sup> EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A., edgar.carvalho@edm.pt

<sup>3</sup> EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A., engenhar@edm.pt

In diesem Beitrag wird ein Überblick über die Entwicklung der Qualität und des behandelten Volumens des Grubenwassers seit 2001 gegeben, einschließlich einer kritischen Bewertung der Auswirkungen der Sanierung von zwei Abraumhalden, der Halden, der Uranmühle und anderer betroffener Gebiete in der alten Bergbaustätte Urgeiriça sowie der daraus resultierenden Verbesserung der Wasserqualität, der spezifischen Entfernraten und der Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte für die Wasserableitung. Außerdem werden die Mengen der verwendeten chemischen Reagenzien sowie die Betriebs- und Wartungskosten der Grubenwasseraufbereitung dargestellt und es wird aufgezeigt, wie diese Prozesse weiter optimiert werden können.

## An overview of active and passive treatment mine water treatment at Urgeiriça uranium legacy mine (PORTUGAL)

Catarina Diamantino<sup>1</sup>, Edgar Carvalho<sup>2</sup>, Carlos Martins<sup>3</sup>

### Abstract

Environmental remediation of legacy mining sites in Portugal has been done since 2001 by EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro, a state-owned company, including radioactive and sulfide polymetallic mines. One of the main focuses of the remediation design projects is the control and treatment of mine water using combined active and passive treatment systems.

This paper presents the mine water treatment processes and monitoring that are implemented at Urgeiriça uranium legacy site (Fig. 1). The treatment system is divided into two lines, active treatment and passive treatment. The active treatment includes pH neutralization with calcium hydroxide and addition of barium chloride followed by and sedimentation for solid-liquid separation. The secondary passive treatment system, includes several steps such as aeration, sedimentation, filtration in adsorbent media and phytoremediation in aerobic wetlands.



**Abb. 1** Aufbereitungsanlage für Grubenwasser am Altstandort der Uranmine Urgeiriça  
**Fig. 1** Mine water treatment station at Urgeiriça uranium mine legacy site

Both systems are monitored before, in the intermediate steps and at the end of the treatment, and the water quality control programme includes in situ parameters (pH, electrical conductivity, temperature, redox potential, total dissolved solids and flow rate) and laboratory analysis of chemical and radiological parameters as total uranium, U238, U234, Ra-226, sulphates, chlorides, manganese, calcium and sodium. These elements were identified in previous studies as the best indicators of hydrogeochemical contamination related to the legacy uranium mining sites in Centro Region, Portugal.

This paper will present an overview on the evolution of the mine water quality and treated volume since 2001, including a critical assessment on the effects of the implementation of the remediation of two

<sup>1</sup> EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A., catarina.diamantino@edm.pt

<sup>2</sup> EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A., edgar.carvalho@edm.pt

<sup>3</sup> EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A., engenharia@edm.pt

tailings dams, waste rock piles, uranium mill and other affected areas in the Urgeiriça legacy mining site and the resulting water quality improvement, specific removal efficiency rates and compliance with regulatory limits for water discharge. Also, it will present the quantities of used chemical reagents and operation and maintenance costs of mine water treatment and how these processes can be further optimized.

## Die Konzeption von MINDER – ein gemeinsamer Erasmus-Mundus-Masterstudiengang für Stilllegung und Umweltsanierung

Maria de Lurdes Dinis<sup>1</sup>, Bieke Abelshausen<sup>2</sup>, Deborah Oughton<sup>3</sup>, Eliana Amaral<sup>4</sup>, Horst Monken Fernandes<sup>5</sup>, Karen Smith<sup>6</sup>, Kenji Nanba<sup>7</sup>, Laís Alencar de Aguiar<sup>4</sup>, Leonel Lagos<sup>8</sup>, Mariza Ramalho Franklin<sup>4</sup>

### Einführung und Methodik

Viele Tätigkeiten im Zusammenhang mit dem Kernbrennstoffkreislauf und anderen nichtnuklearen Tätigkeiten haben zu Situationen geführt, die Stilllegungseinrichtungen und die Sanierung kontaminierter Standorte weltweit erfordern. Solche Standorte wurden auch durch nukleare und radiologische Unfälle und nichtnukleare Industrien (z. B. Bergbau, NORM) geschaffen (Dinis et al. 2019). Viele Länder haben bereits umfangreiche Programme für die Stilllegung und Umweltsanierung (Decommissioning and Environmental Remediation, D&ER) durchgeführt. In mehreren Fällen berichteten die Länder jedoch über erhebliche Schwierigkeiten bei der Umsetzung solcher Programme, da es an qualifizierten Fachkräften mit soliden technischen und wissenschaftlichen Kenntnissen mangelt (Dinis et al. 2019; NEA, 2020). Horizont 2020 und das Euratom-F&T-Programm betonten nachdrücklich die Bedeutung der Entwicklung nuklearer Fähigkeiten und Kompetenzen auf europäischer Ebene, einschließlich Stilllegung, Abfallentsorgung und Umweltsanierungsmaßnahmen. Allerdings gibt es in Europa und darüber hinaus kein internationales Lehrprogramm auf Master-Ebene, das sich speziell mit D&ER befasst. Daher wurde ein Vorschlag für einen gemeinsamen Masterstudiengang in nuklearer Stilllegung und Umweltsanierung (MINDER) entwickelt und dem Erasmus Mundus Programm der Europäischen Kommission vorgelegt. Der Vorschlag wurde gut bewertet (93 %) und wird nun mit dem Ziel weiterentwickelt, eine hochwertige und breit gefächerte multidisziplinäre Ausbildung in D&ER anzubieten: Aufbau von Wissen, Fähigkeiten und Einstellungen zum Klimawandel und zur nachhaltigen Entwicklung, sowohl innerhalb der Europäischen Union als auch darüber hinaus, durch die Anwendung eines ganzheitlichen Ansatzes und ein Gleichgewicht zwischen den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen von D&ER-Aktivitäten, um einen Gesamtnettonutzen zu erzielen.

Das MINDER-Konsortium besteht aus fünf vollwertigen Partnern, die den Grad verleihen werden: Universität Porto (Koordinator), Vrije Universiteit Brussel, Norwegische Universität für Biowissenschaften, Universität Fukushima, Florida International University, Institut für Strahlenschutz und wird von der Industrie (Wismut), internationalen Organisationen, Forschungslabors und anderen Universitäten als assoziierte Partner unterstützt. Diese Partner werden den Zugang zu einer Infrastruktur von Weltrang für Forschung und Entwicklung ermöglichen und den Absolventen die Möglichkeit geben, ihr Studium fortzusetzen. Das Programm wird auch externe Spezialisten einbeziehen, um bestimmte Themen abzudecken. Die Zielgruppen von MINDER sind Studenten am Ende ihres ersten Ausbildungszyklus, junge Fachleute am Anfang ihrer Karriere, Fachleute aus öffentlichen Einrichtungen (Aufsichtsbehörden, politische Entscheidungsträger) und privaten/öffentlichen Unternehmen

---

<sup>1</sup> CERENA-FEUP, Faculty of Engineering, University of Porto

<sup>2</sup> Vrije Universiteit Brussel, Faculty of Psychology and Educational Sciences

<sup>3</sup> Norwegian University of Life Sciences, Faculty of Environmental Sciences

<sup>4</sup> Institute of Radiation Protection and Dosimetry

<sup>5</sup> International Atomic Energy Agency

<sup>6</sup> Pacific Northwest National Laboratory

<sup>7</sup> Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University

<sup>8</sup> College Engineering and Computing, Florida International University

sowie erfahrene Fach- und Führungskräfte, die ihre berufliche Orientierung in Richtung Stilllegung von Kernkraftwerken und Umweltsanierung ändern.

## **Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

MINDER ist als viersemestriges Studienprogramm für zwei Jahre konzipiert, bei dem die Studierenden in jedem Semester 30 Punkte (ECTS) erreichen müssen. Das erste Semester wird gleichzeitig an drei Hochschulen angeboten: der Norwegischen Universität für Biowissenschaften (NMBU, Norwegen), dem Institut für Strahlenschutz und Dosimetrie (IRD, Brasilien) und der Universität Fukushima (FU, Japan). Das 2. Semester wird an der Vrije Universiteit Brussel (VUB) angeboten. Das 3. Semester ist in zwei Tracks unterteilt: Decommissioning Track, angeboten an der Florida International University (FIU), und Environmental Remediation Track, angeboten an der Universität Porto (UPORTO). Das 4. Semester ist der Forschung der Dissertation gewidmet, und die Gastinstitution wird unter den Universitäten des Konsortiums und den assoziierten Partnern je nach dem zu entwickelnden Forschungsthema ausgewählt.

MINDER wird einen wichtigen Beitrag zur Steigerung der Exzellenz der europäischen Universitäten im Bereich D&ER leisten, sowohl aus Sicht der Forschung als auch aus akademischer Sicht. Es wird auch einen Beitrag zu den in der Agenda 2030 festgelegten SDGs leisten, und zwar durch eine hochspezialisierte Aus- und Weiterbildung in D&ER, die sich auf zwei Bereiche mit dem höchsten technologischen Gehalt und den höchsten beruflichen Anforderungen konzentriert. Die transnationale Komponente des MINDER-Programms hat einen besonderen Charakter, da sie ein besonderes Augenmerk auf multikulturelles Lernen legt, ein Schlüsselmerkmal der globalisierten Arbeitswelt. Von den MINDER-Absolventen wird erwartet, dass sie die Fähigkeit erlangen, interdisziplinär zusammenzuarbeiten, problemlos mit Menschen aus verschiedenen Ländern in verschiedenen Sprachen zu kommunizieren und die Fähigkeiten zu erwerben, um in verschiedenen Weltszenarien effektiv zu sein, einschließlich kultureller Kompetenz und Sensibilität, was besonders wichtig ist, wenn man mit vielschichtigen Interessengruppen zu tun hat. Für die Partner wird es eine Gelegenheit sein, die Lehrstrategien an unterschiedliche soziokulturelle Hintergründe anzupassen und die Internationalisierungsfähigkeiten zu verbessern.

## **Literatur**

**Maria de Lurdes Dinis, Karen P. Smith, Horst Monken-Fernandes, Vladimir Michal, Jing Zhang (2019): Management of Knowledge Transfer for Capacity Building to Promote Successful Decommissioning and Environmental Remediation Projects, Proceedings of the International Mining Symposium WISSYM19, Chemnitz, Germany, 9-11 October 2019.**

**Nuclear Energy Agency (2020): Challenges in Nuclear and Radiological Legacy Site Management: Towards a Common Regulatory Framework, OECD Publishing, Paris.**

## **Danksagung**

Dieses Projekt wird von der Europäischen Union im Rahmen des Erasmus Mundus Joint Masters – ERASMUS-EDU-2022-EMJM-DESIGN, Art der Maßnahme, finanziert: ERASMUS-LS, Vorschlagsnummer: 101082655.

Basisfinanzierung – UIDB/04028/2020 und Programmatische Finanzierung – UIDP/04028/2020 des Forschungszentrums für natürliche Ressourcen und Umwelt – CERENA – finanziert durch nationale Mittel über die FCT/MCTES (PIDDAC).

## The Design of MINDER – an Erasmus Mundus Joint Master Degree in Decommissioning and Environmental Remediation

Maria de Lurdes Dinis<sup>1</sup>, Bieke Abelshausen<sup>2</sup>, Deborah Oughton<sup>3</sup>, Eliana Amaral<sup>4</sup>, Horst Monken Fernandes<sup>5</sup>, Karen Smith<sup>6</sup>, Kenji Nanba<sup>7</sup>, Laís Alencar de Aguiar<sup>4</sup>, Leonel Lagos<sup>8</sup>, Mariza Ramalho Franklin<sup>4</sup>

### Introduction and Methodology

Many activities associated with the nuclear fuel cycle and other non-nuclear operations have generated situations that require decommissioning facilities and remediation of contaminated sites worldwide. These industrial activities were developed when appropriate laws and regulations did not exist, or if they did, they were not sufficiently comprehensive. Such sites have also been created by nuclear and radiological accidents and non-nuclear industries (e.g. mining, NORM) (Dinis et al., 2019). Therefore, even countries without nuclear energy and related programmes may also face issues involving artificial or naturally occurring radioactive material.

The existence of a considerable number of radioactively contaminated sites worldwide and nuclear and non-nuclear facilities that need to be decommissioned is a situation that poses a significant challenge to our society. Many countries have already implemented extensive Decommissioning and Environmental Remediation (D&ER) programmes. However, in several cases, countries reported facing significant difficulties in progressing in such programmes due to the need for more skilled professionals with solid technical and scientific backgrounds who grasp the complexities and multidisciplinary character of D&ER programmes (Dinis et al., 2019; NEA, 2020). The Horizon 2020 and the Euratom R&T Programme strongly emphasised the importance of developing nuclear skills and competencies at the European level, including decommissioning, waste management and environmental remediation activities. However, there is no international teaching programme in Europe and beyond at the Master level devoted specifically to D&ER. Therefore, a proposal for a Joint Master in Nuclear Decommissioning and Environmental Remediation (MINDER) was developed and presented to the European Commission Erasmus Mundus Programme. The proposal has been well evaluated (93 %). It is now under further development with the vision of providing top-quality and broad multidisciplinary education in D&ER: building knowledge, skills and attitudes on climate change and sustainable development, both within the European Union and beyond, through the application of a holistic approach and a balance between the environmental, social, and economic impacts of D&ER activities to provide an overall net benefit.

The MINDER Consortium is composed of five full partners that will be conferring the degree: Porto University (coordinator, Portugal), Vrije Universiteit Brussel (Belgium), Norwegian University of Life Sciences (Norway), Fukushima University (Japan), Florida International University (USA), Institute of Radiation Protection (Brazil) and will have the support of Industry (e.g. Wismut), International Organisations (e.g. IAEA), Research Laboratories (e.g. PNNL) and other Universities (e.g. OSU) as Associated Partners. These partners will provide access to world-class infrastructure for research

---

<sup>1</sup> CERENA-FEUP, Faculty of Engineering, University of Porto

<sup>2</sup> Vrije Universiteit Brussel, Faculty of Psychology and Educational Sciences

<sup>3</sup> Norwegian University of Life Sciences, Faculty of Environmental Sciences

<sup>4</sup> Institute of Radiation Protection and Dosimetry

<sup>5</sup> International Atomic Energy Agency

<sup>6</sup> Pacific Northwest National Laboratory

<sup>7</sup> Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University

<sup>8</sup> College Engineering and Computing, Florida International University

and development and opportunities for graduating students to continue their studies. The Programme will also incorporate external specialists to cover specific topics. The target groups for MINDER are students at the end of their 1<sup>st</sup> cycle of education, young professionals at the start of their careers, professionals from public bodies (regulators, policy-makers) and private/public enterprises, and experienced professionals and managers who change their career orientation towards nuclear decommissioning and environmental remediation.

## Results and Conclusions

The MINDER is being designed as a four-semester study programme for two years where students must achieve 30 points (ECTS) each semester. The 1<sup>st</sup> semester is offered simultaneously in three High Education Institutions (HEI): the Norwegian University of Life Sciences (NMBU, Norway); the Institute of Radiation Protection and Dosimetry (IRD, Brazil); and Fukushima University (FU, Japan). The 2<sup>nd</sup> semester is offered at Vrije Universiteit Brussel (VUB). The 3<sup>rd</sup> semester is divided into two tracks: Decommissioning Track, offered at Florida International University (FIU), and the Environmental Remediation Track, offered at the University of Porto (UPORTO). The 4<sup>th</sup> semester is dedicated to the development of the dissertation, and the host Institution will be selected between the consortium universities and associate partners according to the research topic to be developed.

MINDER will make a relevant contribution to increasing European university excellence in the field of D&ER, both from the research and academic point of view. It will also contribute to the SDGs set in the 2030 Agenda through highly specialized education and training in D&ER, focusing on two areas of the highest technological content and professional requirements. The study programme combines theoretical teaching, research activities and advanced evidence-based practice with access to advanced technologies. The Joint Masters also aspire to encourage students to open up to other working and living styles through exposure to other countries and cultures. Due to its nature, the transnational component of the MINDER introduces a distinctive character as it pays particular attention to multicultural learning, a key feature in globalized work. It is expected that the MINDER graduates will achieve the ability for interdisciplinary cooperation, to communicate easily with people from different countries in different languages and the qualification to be effective in different world scenarios, including cultural competence and sensitivity, particularly important when dealing with multifaced stakeholders. For the partners, it will be an opportunity to adapt teaching strategies in different socio-cultural backgrounds improving internationalization competencies.

## References

- Maria de Lurdes Dinis, Karen P. Smith, Horst Monken-Fernandes, Vladimir Michal, Jing Zhang (2019), Management of Knowledge Transfer for Capacity Building to Promote Successful Decommissioning and Environmental Remediation Projects, Proceedings of the International Mining Symposium WISSYM19, Chemnitz, Germany, 9-11 October 2019.
- Nuclear Energy Agency (2020), Challenges in Nuclear and Radiological Legacy Site Management: Towards a Common Regulatory Framework, OECD Publishing, Paris.

## Acknowledgements

This project is funded by the European Union under the Erasmus Mundus Joint Masters – ERASMUS-EDU-2022-EMJM-DESIGN, Type of action: ERASMUS-LS, Proposal number: 101082655.

Base Funding – UIDB/04028/2020 and Programmatic Funding – UIDP/04028/2020 of the Research Center for Natural Resources and Environment – CERENA – funded by national funds through the FCT/MCTES (PIDDAC).

## Nachhaltige Nutzung bereits vorhandener Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen als Förderbrunnen zur Fassung kontaminierter Sickerwässer in der Culmitschaue

Manja Haupt<sup>1</sup>, Niclas Einert<sup>1</sup>

### Einleitung

Der Fokus der Sanierung der Industriellen Absetzanlagen (IAA) Culmitsch und Trünzig am Standort Seelingstädt der Wismut GmbH liegt neben der Verwahrung der kontaminierten Tailings vor allem auf dem Wassermanagement. Ziel ist es, den Abstrom von kontaminierten Poren- und Grundwässern aus den IAA in die umliegenden Vorfluter soweit wie möglich zu verringern. Neben Sickerwasserfassungen und Drainagen wurden dafür mehrere Brunnen am Standort errichtet. Weiterhin wurden sowohl im Umfeld der beiden IAA, als auch in den Becken selbst eine Vielzahl an Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen (GWBM) errichtet, um die Entwicklung der Wasserstände sowie die Beschaffenheit des Grundwassers überwachen zu können.

Der Hauptabstrom der kontaminierten Grund- und Porenwässer des Beckens A der IAA Culmitsch verläuft in süd- südöstlicher Richtung hin zur Culmitschaue und dem Vorfluter Culmitsch. Zur Verringerung des Abstroms existieren in den sandigen Tailings des Beckens A fünf Porenwasserbrunnen. Im Zeitraum von 2018 bis 2022 wurden drei, bereits vorhandene und hydraulisch ergiebige GWBM, im südlichen Vorland der IAA Culmitsch für die Entnahme des kontaminierten Grundwassers umgerüstet. Diese drei GWBM bilden eine zusätzliche Brunnengalerie, welche die Fassung kontaminierter Wässer durch die Porenwasserbrunnen im Becken A unterstützt. Eine Errichtung neuer Grundwasserentnahmebrunnen ist aus naturschutzfachlicher Sicht, aufgrund der Vielzahl der in der Culmitschaue vorhanden geschützten Biotope, zu vermeiden um die baulichen Eingriffe zu minimieren.

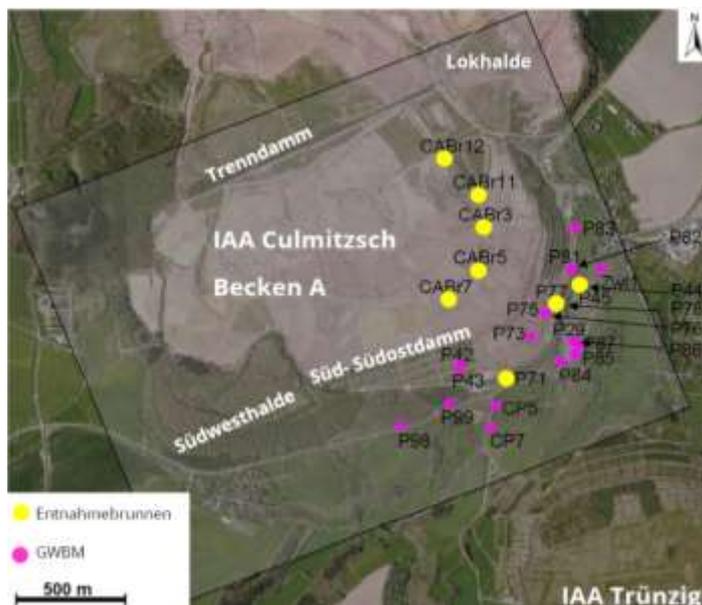


Abbildung 3: Entnahmebrunnen und GWBM in der Culmitschaue und dem Becken A der IAA Culmitsch

Figure 1: pumping wells and measurement wells in the area of Culmitschaue and basin A of the tailings pond Culmitsch

<sup>1</sup> Wismut GmbH

## Methodik

Vor der Umrüstung erfolgte an jeder GWBM ein dreimonatiger Dauerpumpversuch (DPV) in dessen Zeitraum an der GWBM selbst, sowie an zuvor ausgewählten, umliegenden Beobachtungs-GWBM eine regelmäßige Messung des Wasserspiegels, der In-Situ Parameter und der Wasserchemie durchgeführt wurde (Tabelle 1 und 2). War der durchgeführte DPV an der jeweiligen GWBM erfolgreich, so erfolgte die Umrüstung zum Grundwasserentnahmebrunnen. Auch nach der Umrüstung erfolgt weiterhin eine regelmäßige Überwachung des Wasserspiegels sowie der chemischen Parameter (Tab. 1 und Tab. 2).

Um den Einfluss der Grundwasserentnahme auf den Vorfluter Culmitzsch überprüfen zu können, werden die Parameterkonzentrationen und Durchflüsse im Vorfluter monatlich überwacht.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Entwicklung der Grundwasserstände in den umliegenden GWBM seit der Umrüstung und Inbetriebnahme der Förderbrunnen P45, P77 und P71 sowie die regelmäßigen Abflussmessungen im Vorfluter Culmitzsch selbst, zeigen eine Frachtreduzierung im Grundwasser. Seit Inbetriebnahme wurden dem System 888 kg Uran über die umgerüsteten GWBM entzogen (Tab. 1).

*Tabelle 1: Bilanzierung der ausgetragenen Wasser- und Uranmenge an den umgerüsteten GWBM*

	Zeitraum	Q [m³]	MW U [mg/l]	U [kg]
P45	29.01.2018 – 31.03.2023	217 955	1,88	409,8
P77	15.04.2019 – 31.03.2023	241 635	1,79	433,3
P71	24.02.2022 – 31.03.2023	26 848	1,7	44,9
Summe U-Fracht				888

## Zusammenfassung

Die seit 1995 (P45) bzw. 1997 (P71, P77) bestehenden GWBM wurden ursprünglich zur hydrogeologischen Erkundung der Culmitzschau und des südlichen Abstrombereiches der IAA Culmitzsch errichtet. Aufgrund der Ergebnisse der langjährigen Überwachung der hydrogeologischen und hydrochemischen Verhältnisse sowie der Ergebnisse der durchgeführten DPV wurden die GWBM für eine Entnahme von Grundwasser als geeignet eingestuft und sich aktiv für eine Umrüstung anstatt einer Brunnenneubohrung entschieden. Diese nachhaltige Nutzung bereits bestehender GWBM, bringt nicht nur eine Kosteneinsparung an Material und Bohrleistung mit sich, sondern reduziert auch den Genehmigungsaufwand für Neubohrungen. Auch aus naturschutzfachlicher Sicht trägt der Umbau der GWBM zu Brunnen zur Nachhaltigkeit infolge der Minimierung/Verhinderung von baulichen Eingriffen in geschützte Biotope bei.

Die Ergebnisse der Überwachung der Grundwasserentnahme zeigen den Erfolg der durchgeführten Maßnahmen.

## Sustainable use of existing groundwater monitoring wells as extraction wells for the collection of contaminated seepage water in the Culmitschaue area

Manja Haupt<sup>1</sup>, Niclas Einert<sup>1</sup>

### Introduction

The focus of the remediation of the Culmitsch and Trünzig industrial tailings ponds at the Seelingstädt site of Wismut GmbH lies, in addition to the storage of the contaminated tailings, primarily on water management. The aim is to reduce the discharge of contaminated seepage water and groundwater from the tailings ponds into the surrounding receiving waters as much as possible. In addition to leachate catchments and drainage systems, several pumping wells were constructed at the site for this purpose. Furthermore, a large number of groundwater monitoring wells were installed in the vicinity of the two tailings ponds as well as on the tailings themselves in order to monitor the development of water levels and the quality of the groundwater.

The main outflow direction of contaminated groundwater and seepage water from Basin A of the tailings pond Culmitsch is in a south-southeasterly direction towards the area Culmitschaue and the receiving stream Culmitsch. Five porewater wells exist in the sandy tailings of Basin A to reduce runoff. Between 2018 and 2022, three existing and hydraulically productive measurement wells, located in the southern foreland of the tailings pond Culmitsch, were converted to pumping wells to extract contaminated groundwater. These three pumping wells form an additional well gallery, which supports the pumping of contaminated ground- and seepage water by the porewater wells in basin A. The construction of new groundwater extraction wells is to be avoided from a nature conservation point of view, due to the large number of protected biotopes in the Culmitschaue, in order to minimize the constructional interferences.

### Methods

Prior to the conversion, a three-month continuous pumping test was carried out at each measurement well, during which regular measurements of the water level, in-situ parameters and water chemistry were carried out at the well itself and at previously selected, surrounding observation wells (Tab. 1 and Tab. 2). If the conducted pumping test at the respective measurement well was successful, the conversion to a groundwater pumping well took place. Even after the conversion, regular monitoring of the water level and chemical parameters continue (Tab. 1 and Tab. 2).

In order to be able to check the influence of the groundwater extraction on the receiving stream Culmitsch, the parameter concentrations and flows in the stream are monitored monthly.

*Tabelle 1: Messintervall des Wasserspiegels während des DPV und nach der Umrüstung der jeweiligen GWBM zum Brunnen  
Table 1: measurement intervals of water level during the pumping test and after the conversion to a pumping well*

measurement of water level	measurement interval pumping test	measurement interval after conversion
1st and 2nd week	daily	daily
3rd and 4th week	3 x per week	weekly
from 5th week	3 x per week	monthly

*Tabelle 2: Messintervall der chemischen Parameter während des DPV und nach der Umrüstung der jeweiligen GWBM*

<sup>1</sup> Wismut GmbH

Table 2: measurement interval of chemical parameters during the pumping test and after the conversion to a pumping well

chemical parameters	measurement interval pumping test	measurement interval after conversion
In-Situ parameters (1st. until 4th. week)	3 x per week	weekly
In-Situ parameters (from 5th. week)	3 x per week	monthly
main ions: Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Cl, SO <sub>4</sub> , CO <sub>3</sub> , GH, HCO <sub>3</sub>	monthly	monthly
trace metals/heavy metals: As, Cd, Co, Cu, Ni, Zn		
radionuclides : U, Ra-226		

## Results and discussion

The development of the groundwater levels in the surrounding monitoring wells since the conversion and commissioning of the pumping wells P45, P77 and P71, as well as the regular discharge measurements in the receiving stream Culmitsch itself, show a load reduction in the groundwater. Since commissioning, 888 kg of uranium have been removed from the system via the converted pumping wells (Tab. 3).

Table 3: total amount of extracted groundwater and Uranium through the converted pumping wells

	Time period	Q [m <sup>3</sup> ]	U [mg/l]	U [kg]
P45	29.01.2018 – 31.03.2023	217 955	1,88	409,8
P77	15.04.2019 – 31.03.2023	241 635	1,79	433,3
P71	24.02.2022 – 31.03.2023	26 848	1,7	44,9
Sum of removed U				888

## Conclusion

The pumping wells, which have been in place since 1995 (P45) and 1997 (P71, P77), respectively, were originally constructed for hydrogeological exploration of the Culmitschaue and the southern downstream area of the tailings pond Culmitsch. Based on the results of the long-term monitoring of the hydrogeological and hydrochemical conditions as well as the results of the conducted pumping tests, the measurement wells P45, P71 and P77 were considered suitable for groundwater abstraction and an active decision was made to convert them instead of drilling new wells. This sustainable use of existing measurement wells not only saves material and drilling costs, but also reduces the time and effort required to obtain permits for new wells. Also from a nature conservation point of view, the conversion of measurement wells to pumping wells contributes to sustainability as a result of minimizing/preventing constructional interferences in protected biotopes in the Culmitschaue area.

The results of the monitoring of the groundwater extraction show the success of the implemented measures.

## DYNOSORT: Dynamische Sortierung Polymetallischer Halden

Jonathan Engelhardt<sup>1</sup>, Ladislav Pašek<sup>2</sup>, Laura Tusa<sup>3</sup>, Jakub Progorowicz<sup>4</sup>, Cecilia Contreras<sup>3</sup>, Barbora Dostálová<sup>2</sup>, Igor Ďuriška<sup>5</sup>, Martin Sisol<sup>5</sup>, Christian Christesen<sup>3</sup>, Jacek Kolacz<sup>4</sup>

### Ein starkes Team, das anwendungsorientiert arbeitet

Mitglieder des DYNOSORT-teams testen einen speziellen Ansatz der sensorgestützten Sortierung von Haldenmaterial aus dem tschechischen Příbram (Abbildung 1a). Der Ansatz wurde am Helmholtz-Institut Freiberg (HIF) und von Mitgliedern seiner jüngsten Ausgründung THEIAX (TX) entwickelt. Mit einem simulations-basierten Ansatz ist es möglich, optimale Sensoren durch quantitative Analysen der Mineralogie und durch eine Datenverwertung in Kombination mit Maschinellem Lernen gezielt zu bestimmen (Kern et al. 2020). DYNOSORT testet und validiert den Ansatz gemeinsam mit den Unternehmen COMEX Polska und DIAMO State Enterprise sowie der Technischen Universität Košice (TUKE). COMEX ist ein Hersteller von Sortieranlagen und DIAMO führt die Beseitigung der Folgen des Abbaus von Uran- und polymetallischen Erzen durch. TUKE testet die Verarbeitung der einzelnen Konzentrate der Sortierung. DIAMO wendet bereits sensorgestützte Sortierung auf Haldenmaterial an, indem es die Sortierung mithilfe von Röntgen-Transmission (XRT) anwendet. Die derzeitige Sortierung trennt eine Fraktion von Material hoher Dichte ab. Material geringer Dichte wird für den Bau einer Tragschicht beim Ausbau einer örtlichen Schnellstraße (Abbildung 1b) genutzt.

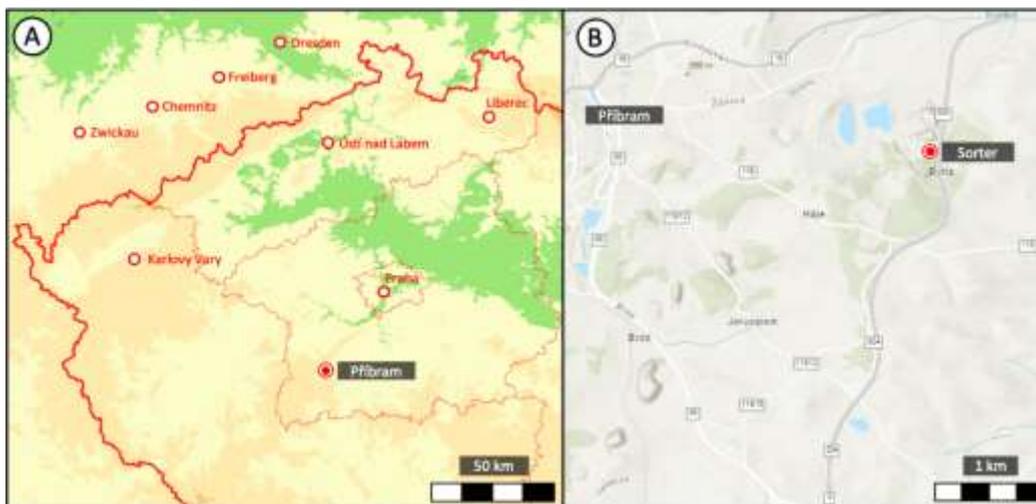


Abbildung 1: Die Lage des Ortes Příbram wird in (A) gezeigt. Der Standort derzeitiger Sortierung wird in (B) hervorgehoben. Die Karte in (B) zeigt ein eingefärbtes Hillshade-Modell. Die örtlichen Halden sind durch mächtige Schattenkonturen gut zu erkennen. Auch die Schnellstraße, die derzeit umgebaut wird, ist in (B) zu sehen. Quellen zur Kartenerstellung: USGS ©, ČÚZK ©, ESRI ©.

Figure 1: Location of the Příbram mining district in Czech Republic is given in (A). Location of the current sorting activities are labeled in (B). The latter figure is a colored hillshade model that shows stockpiles with thick hillshades and the highway that is currently under reconstruction. Map sources: USGS ©, ČÚZK ©, ESRI ©.

<sup>1</sup> Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie

<sup>2</sup> DIAMO státní podnik

<sup>3</sup> TheiaX GmbH

<sup>4</sup> Comex Polska Sp. z o.o.

<sup>5</sup> Technical University of Košice

## Simulation der Sortierung von Material komplexer Zusammensetzungen

Im Rahmen des DYNOSORT-Projekts sortierte DIAMO die dichte Fraktion zusätzlich mit einem radiometrischen Sensor und erzeugte Teilproben mit hoher und niedriger Radioaktivität. Nicht strahlende Teilproben wurden am HIF hyperspektral (HS) gescannt (Abb. 2a und 2b), wobei die Bereiche VNIR-SWIR, MWIR und LWIR abgedeckt wurden. Die gewonnenen Daten wurden von TX verarbeitet und geclustert. Petrologische Domänen vergleichbarer Materialeigenschaften wurden erfolgreich identifiziert (Abb. 2c). Eine Teilmenge von 100 Proben wurde zusätzlich in zwei Hälften geschnitten und an ihren Grenzflächen mit  $\mu$ -RFA und HS analysiert. Die beiden Datensätze ( $\mu$ -RFA und HS) wurden einzeln analysiert und gemeinsam registriert. Die potenziellen Sortierprozesse werden derzeit auf der Grundlage der Daten von  $\mu$ -RFA und HS-Sensoren numerisch simuliert. Bei den Simulationen werden Techniken des maschinellen Lernens angewandt, um spektrale Merkmale für bestimmte Mineralparagenesen zu identifizieren, die vom Sortiergerät verarbeitet werden können. Zusätzlich zur Simulation führt COMEX Pilotanlagenexperimente durch, um die Ergebnisse der Simulation zu validieren.

TUKE verifiziert die Weiterverarbeitung der einzelnen Konzentrate des Pilotversuchs und der feinkörnigen Fraktion. Bei der Aufbereitung und Gewinnung von Material aus der Halde reichert sich die Feinfraktion aufgrund des selektiven Bruchverhaltens von Sulfiden mit Erzen an. Dementsprechend prüft TUKE die Eignung für eine weitere Aufbereitung der Feinfraktionen als auch der Konzentrate aus der Sortierung.

Gängige Ansätze zur Erprobung von sensorgestützter Sortierung konzentrieren sich auf empirische Testläufe von Sortiersystemen. Bei diesen Ansätzen werden möglicherweise Sensoren empfohlen, ohne dass eine Optimierung der Sensoranordnung erfolgt. Eine gezielte Sensorauswahl auf der Grundlage des DYNOSORT-Ansatzes erfordert einen reduzierten empirischen Aufwand und bietet eine verlässliche Basis für die Identifizierung einer optimierten Anordnung. Diese Information kann entscheidend bei der Ermittlung der Durchführbarkeit eines Re-Mining-Projekts für Halden sein.



Abbildung 2: Beispiel einer Probenanordnung in einem Träger für Bohrkerne (A). Hyperspektraler Bohrkernscanner SisuROCK der Firma Specim (B). Beispiel für Domänen als Resultat des Scans eines Trägers mit Proben aus Příbram (C).

Figure 2: Example of a bulk sample arrangement from Příbram stockpiles in drill-core tray (A). Laboratory setup for hyperspectral data acquisition includes a Specim SisuROCK hyperspectral drill core scanner (B). Example for domain mapping / clustering results for a series of sample trays from a stockpile in Příbram is given in (C).

## Literatur

Kern, M.; Tusa, L.; Khodadazadeh, M; Leißner, T.; Gloaguen, R.; van den Boogaart, G.; Gutzmer, J. (2020): Rethinking ore sorting: AT Mineral Processing, Vol. 61, S. 54-64

## DYNOSORT: Dynamic Ore Sorting of Polymetallic Stockpiles

Jonathan Engelhardt<sup>1</sup>, Ladislav Pašek<sup>2</sup>, Laura Tusa<sup>3</sup>, Jakub Progorowicz<sup>4</sup>, Cecilia Contreras<sup>3</sup>, Barbora Dostálová<sup>2</sup>, Igor Ďuriška<sup>5</sup>, Martin Sisol<sup>5</sup>, Christian Christesen<sup>3</sup>, Jacek Kolacz<sup>4</sup>

### A strong team working application-oriented

Members of the DYNOSORT project team test a novel approach in sensor-based sorting (SBS) with waste rocks from the Příbram mining district (Fig. 1a). The SBS approach was developed at the Helmholtz Institute Freiberg (HIF) and by members of its spin-off THEIAX (TX). Simulations allow to specifically determine the optimal sensor based on quantitative analyses of the mineralogy and data utilization in combination with machine learning (Kern et al. 2020). DYNOSORT tests and validates the approach together with the companies COMEX Polska and DIAMO State Enterprise as well as the Technical University Košice (TUKE). COMEX is a manufacturer for sorting equipment and DIAMO carries out the elimination of the consequences from mining uranium and polymetallic ores. TUKE tests processing of individual outputs from the DYNOSORT sorting line. DIAMO already applies SBS on waste rocks from the Příbram mining district by applying sorting via x-ray transmission (XRT). Current sorting separates a fraction of high-density material from a low-density fraction. The latter serves as material for the construction of an unbound subbase of a local expressway (Figure 1b) that is currently under reconstruction and expansion.



Abbildung 3: Die Lage des Ortes Příbram wird in (A) gezeigt. Der Standort derzeitiger Sortierung wird in (B) hervorgehoben. Die Karte in (B) zeigt ein eingefärbtes Hillshade-Modell. Die örtlichen Halden sind durch mächtige Schattenkonturen gut zu erkennen. Auch die Schnellstraße, die derzeit umgebaut wird, ist in (B) zu sehen. Quellen zur Kartenerstellung: USGS ©, ČÚZK ©, ESRI ©.

Figure 1: Location of the Příbram mining district in Czech Republic is given in (A). Location of the current sorting activities are labeled in (B). The latter figure is a colored hillshade model that shows stockpiles with thick hillshades and the highway that is currently under reconstruction. Map sources: USGS ©, ČÚZK ©, ESRI ©.

<sup>1</sup> Helmholtz Institute Freiberg for Resource Technology

<sup>2</sup> DIAMO státní podnik

<sup>3</sup> TheiaX GmbH

<sup>4</sup> Comex Polska Sp. z o.o.

<sup>5</sup> Technical University of Košice

## Simulating the sorting of complex waste rock compositions

Within the course of the DYNOSORT project DIAMO additionally sorted the dense fraction with a radiometric sensor and produced subsamples of high and low radioactivity. Non-radiating subsamples underwent hyperspectral (HS) scanning covering ranges of VNIR-SWIR, MWIR and LWIR at HIF (Figures 2a and 2b). Gained data was processed and clustered by TX. According petrologic domains with mutual material properties have successfully been identified (Figure 2c). A subset of 100 specimen was additionally cut in halves and analyzed at their interfaces by  $\mu$ -XRF and HS. The two datasets ( $\mu$ -XRF and HS) were analyzed individually and co-registered. The potential sorting processes are currently simulated numerically based on the data from  $\mu$ XRF and the HS sensors. Simulations apply machine learning techniques to identify spectral characteristics for certain mineral paragenesis that can be processed by the sorter. A processing routine will be defined based on the simulation by TX. In addition to the simulation, COMEX sets up pilot plant experiments in slightly modifying setups that have the purpose to validating results from the simulation.

TUKE verifies the further processing of individual outputs from the DYNOSORT sorting line and fine-grained ore fractions. During the processing and extraction of material from the stockpile, the fine fraction enriches with raw materials due to the selective crushability of sulfides. Accordingly, TUKE verifies the possibility of producing selective concentrates of individual minerals suitable for further processing from both, fine fractions and concentrates from SBS of waste rock.

Common approaches in testing SBS for re-mining stockpiles focus on empirical test runs of (semi-mobile) sorting systems. These approaches possibly recommend sensors without any optimization of the set-up due to the empirical nature of the testing. A deliberate sensor selection on the basis of the DYNOSORT approach requires a reduced empirical attempt, reduced project planning, and provides a warranty in identifying an optimized set-up. This extremely crucial information can be a decisive component for identifying the feasibility of a re-mining project for stockpiles.

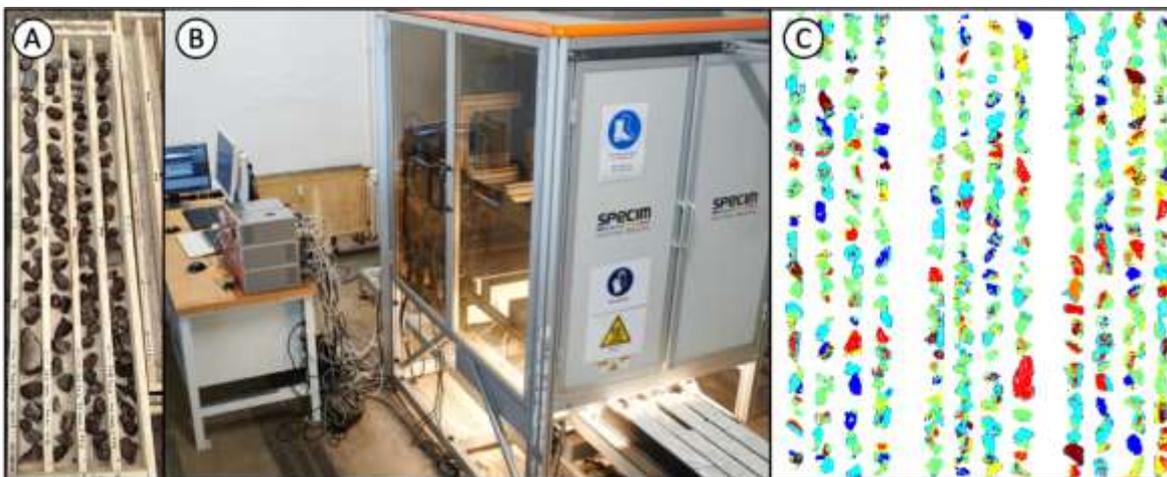


Abbildung 4: Beispiel einer Probenanordnung in einem Träger für Bohrkern (A). Hyperspektraler Bohrkernscanner SisuROCK der Firma Specim (B). Beispiel für Domänen als Resultat des Scans eines Trägers mit Proben aus Příbram (C).

Figure 2: Example of a bulk sample arrangement from Příbram stockpiles in drill-core tray (A). Laboratory setup for hyperspectral data acquisition includes a Specim SisuROCK hyperspectral drill core scanner (B). Example for domain mapping / clustering results for a series of sample trays from a stockpile in Příbram is given in (C).

## References

Kern, M.; Tusa, L.; Khodadazadeh, M.; Leißner, T.; Gloaguen, R.; van den Boogaart, G.; Gutzmer, J. (2020): Rethinking ore sorting: AT Mineral Processing, Vol. 61, S. 54-64

## Dezentrales Kommunikations- und Datenerfassungssystem für untertägige Anlagen (DECOMDA)

Max Friedemann<sup>1</sup>, Dr.-Ing. Tobias Krichler<sup>1</sup>, Prof. Dr. Helmut Mischo<sup>1</sup>

### Einleitung

Die Überwachung von untertägigen und teilweise übertägigen Anlagen ist in vielen Bereichen eine große Herausforderung. Vorhandene drahtlose Übertragungstechnologien stoßen in vielen Bereichen, beispielsweise an abgelegenen Orten oder Stellen mit größerer Überdeckung, an ihre Grenzen. Die Folge ist, dass viele Unternehmen ihre Daten noch nicht erfassen und für eine Produktivitätssteigerung nutzen können.

Das neu entwickelte dezentrale Kommunikations- und Datenerfassungssystem (DECOMDA) löst das Problem des Datentransports durch den Einsatz von Personal oder mobilen Maschinen als Übertragungsmedium für die bidirektionale Kommunikation. Es ermöglicht die Datenkommunikation auch in abgelegenen Bereichen eines Untertagebetriebes ohne jegliche Infrastruktur. Dieses System ermöglicht den Austausch nahezu aller Daten mit hoher Geschwindigkeit bei hoher Flexibilität und geringen Kosten für alle untertägigen Anlagen.

### Stand der Technik

Die Datenübertragung unter Tage stellt ein großes Problem dar, da die drahtlosen Übertragungstechnologien wie UMTS, LTE, WLAN, Internet über Satelliten usw., nicht im Rahmen ihrer Möglichkeiten genutzt werden können. Daher werden in erster Linie kabelgebundene Lösungen eingesetzt, wofür das gesamte Bergwerk mit Glasfaserkabeln oder anderen geeigneten kabelgebundenen Datenübertragungsmöglichkeiten ausgestattet werden muss. Allerdings sind bei dieser Lösung die Investitions- und Instandhaltungskosten enorm.

### Das dezentrale Kommunikations- und Datenerfassungssystem (DECOMDA)

Das neu entwickelte dezentrale Kommunikationssystem (DECOMDA) realisiert die Datenübertragung drahtlos, ohne dauerhafte Verbindung und ohne dass ein Netzwerk benötigt wird. Das System besteht aus 2 Einheiten, der Messstation (data logger) und dem Datenkollektor (data collector). Messstationen sammeln und speichern die Daten temporär. Sobald sich ein Datenkollektor (z. B. mit einem Datenkollektor ausgestattete Person oder Fahrzeug) in Reichweite einer Messstation befindet, werden alle Daten automatisch an den Datenkollektor übertragen und zwischengespeichert. Das Fahrzeug/der Steiger mit Datenkollektor übernimmt die Aufgabe des Kommunikationsmediums automatisiert neben seiner eigentlichen Tätigkeit. Sobald sich der Datenkollektor in Reichweite eines WLAN-Access-Points (z. B. an der Aufbereitung, am Brecher oder in der Werkstatt) befindet, werden die Daten an das übergeordnete Kommunikationssystem weitergeleitet. Die Datenkommunikation zwischen Messstation, Datenkollektor und Firmennetzwerk erfolgt ohne Verkabelung oder einer großen Anzahl von Access Points. Es wird lediglich ein Kommunikationspunkt im Bergwerk als Access Point oder auch als Basisstation über Tage benötigt, um die Daten vom Datenkollektor in das Intranet weiterzuleiten. Die **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** erläutert die Funktionsweise des Systems.

---

<sup>1</sup> TU Bergakademie Freiberg

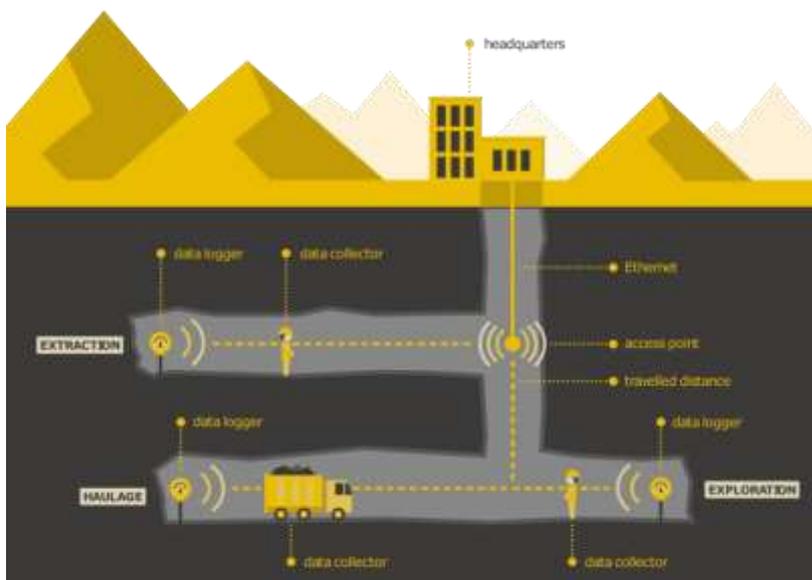


Abb. 1 Funktionsbeschreibung des dezentralen Kommunikations- und Datenerfassungssystems  
Fig. 1 Functional description of the decentralized communication and data acquisition system

Ein Datenkollektor kann mit beliebig vielen Messstationen nacheinander kommunizieren und deren Daten zwischenspeichern, diese werden durch eine interne Kennung und einen Zeitstempel immer genau zugeordnet. Ebenso kann sich jede Messstation mit jedem berechtigten Datenkollektor verbinden, um einen "kontinuierlichen" Datenstrom zu realisieren. Die Zeitverzögerung kann auf wenige Minuten reduziert werden und hängt in erster Linie von der Strecke ab, die das Fahrzeug oder die Person mit dem Datenkollektor zurücklegen muss. Dieser Ansatz verringert daher die notwendigen Infrastruktur- und Installationskosten bei gleichzeitiger Gewährleistung einer ausreichenden Daten- und Aktualisierungsrate.

### DECOMDA in der Erprobung

Im Rahmen verschiedener Projekte an der TU Bergakademie Freiberg wird DECOMDA weiterentwickelt und im realen Einsatz erprobt. Im Erzgebirge gibt es eine historisch hohe Radonbelastung. Die Messung der Radonkonzentration ist in vielen Bereichen notwendig und vorgeschrieben. In der Erprobung von DECOMDA werden mit Hilfe der Radon Sonde Tesla TSR4 untertägige Bereiche ohne

Infrastruktur

überwacht.

Wie

in



Abb. 4 (englisches Abstract) zu sehen ist, wird am Stoß lediglich die Messstation (mittig) inklusive Akku (rechts) und Sensor (links) an einer DIN-Schiene angebracht. Gemessen wird die Radon Konzentration einmal pro Stunde und der Messwert inklusive Zeitstempel in einem 16 Byte Datensatz auf der Messstation geloggt. Der Datenkollektor wird von den Bergleuten täglich mitgeführt und sobald dieser in Reichweite zur Messstation ist, werden die Daten automatisiert übertragen. Auf dem Datenkollektor gespeichert werden die Daten nach über Tage gebracht und mit dem eingebauten LTE-Modul auf den Datenbankserver übertragen. Auf dem Server finden die Auswertung und Visualisierung statt. Ende Januar 2023 wurde das System installiert und hilft seitdem untertägige Arbeitsbereiche zu überwachen.

### Literatur

- Jakovsky, J. J., et al; 1924; Factors Retarding Transmission of Radio Signals Underground, and Some Further Experiments and Conclusions. 2651, U.S. Bureau of Mines, Washington, D.C.
- Krichler, T (2021): Untersuchungen zur Echtzeitbetriebsüberwachung im untertägigen Bergbau, Dissertation; S. 40 ff; TU Bergakademie Freiberg, Professur für Rohstoffabbau und Spezialverfahren unter Tage; ISBN 978-3-86012-678-3

## Decentralized Communication and Data Acquisition System for Underground Operations (DECOMDA)

Max Friedemann<sup>1</sup>, Dr.-Ing. Tobias Krichler<sup>1</sup>, Prof. Dr. Helmut Mischo<sup>1</sup>

### Introduction

The monitoring of underground operations and partially above-ground facilities is a major challenge in many areas. Existing wireless transmission technologies are reaching their physical limits in many areas underground and above ground, in remote locations or locations with greater coverage. As a result, many companies are yet not able to capture their data and use it to increase their productivity.

The system presented in this paper describes a decentralized data acquisition and communication system for underground mines, tunnels and facilities. It enables data communication even in remote areas of an underground operation lacking infrastructure. Not only production or safety-relevant data can be transmitted bidirectional, but also all values that can be measured with a sensor. This system enables the exchange of almost all data at optimized speed with high flexibility. At the same time, it keeps costs low due to the fact that a complete communication network is not required and maintenance is minimized.

### State-of-the-Art

Since wireless transmission technologies like UMTS, LTE, WLAN, Internet via satellites, etc., cannot be fully utilized, underground data transmission is a significant issue. Therefore, wired solutions are the norm, necessitating the installation of fiber optic cables or equivalent suitable wired data transmission options. The investment and upkeep expenses for these solutions are significant.

Access points are installed at key locations, allowing communication at individual points in the mine. Wireless transmissions may be used as an alternative to wired systems. Therefore, the entire mine should be networked by a sufficiently large number of Access Points. The main disadvantages of these systems are high installation costs and maintenance costs. These arise due to two key characteristics of a mine, change of mining site and three-dimensionality. Due to the extraction process a mine continuously grows while other areas become abandoned. The whole infrastructure needs to follow that process.

### Decentralized Data Acquisition and Communication System

The newly developed decentralized data acquisition and communication system (DECOMDA) realizes data transmission wirelessly without any permanent connection. The system consists of two units, the data logger and the data collector. A data logger stores data temporarily. As soon as a person or a moving object (for example a vehicle) equipped with a data collector is within the transmission range of the data logger, data are transmitted automatically. The vehicle or person with a data collector takes over the task of the communication medium in an automated manner in addition to its actual activity. If the data collector is within range of a WIFI access point (e.g. at the processing plant or workshop), the data are transferred to a higher-level communication system and evaluated. Data communication takes place without wire-based communication network or a large number of access points. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** (German Abstract) is intended to illustrate the principle.

---

<sup>1</sup> TU Bergakademie Freiberg

A data collector can communicate with any number of measuring stations in succession and cache their data; these are always precisely assigned by an internal identifier and a time stamp. Likewise, every data logger can connect to each authorized data collector in order to realize a continuous data flow. The time delay can be reduced to a few minutes and depends primarily on the distance to be travelled by a vehicle or a person equipped with a data collector. Thus, this approach enables the reduction of the necessary infrastructure and installation costs while maintaining a sufficient and adequate data and update rate.

The system described is also suitable for bidirectional data transmission. For this purpose, production data can be transported from the processing plant to the mining site. The decentralized data acquisition and communication system is suitable for both increasing productivity and reducing downtime.

### **DECOMDA in Test Operations**

Included in a variety of projects at the TU Bergakademie Freiberg, DECOMDA is being further developed and tested in real-life applications. In the Ore Mountains there is a historically high radon exposure. The measurement of radon concentration is necessary and mandatory in many areas. In the DECOMDA test, the Tesla TSR4 radon probe is used to monitor underground areas without technical infrastructure. As shown in Fig. 2, only the data logger (centre) including battery (right) and sensor (left) is attached to a DIN rail. The radon concentration is measured once per hour and the measured value including time stamp is logged in a 16-byte data record in the data logger. The data stored on the data collector is brought to the surface daily by the miners and transferred to the database server using the built-in LTE module. The evaluation and visualization take place on a server. Since its first installation in January 2023 the DECOMDA system has successfully and reliably assisted in monitoring underground mines.



*Abb. 4 Erprobung der Messstation im untertägigen Bereich*

*Fig. 5 Testing of the data logger in the underground area*

### **References**

Jakovsky, J. J., et al; 1924; Factors Retarding Transmission of Radio Signals Underground, and Some Further Experiments and Conclusions. 2651, U.S. Bureau of Mines, Washington, D.C.

POSTERBEITRÄGE  
POSTER CONTRIBUTIONS

---

Krichler, T (2021): Untersuchungen zur Echtzeitbetriebsüberwachung im untertägigen Bergbau, Dissertation; S. 40 ff; TU Bergakademie Freiberg, Professur für Rohstoffabbau und Spezialverfahren unter Tage; ISBN 978-3-86012-678-3

## Schadstoffbilanzierung in bergbaugeprägten Einzugsgebieten – Einordnung der Sanierungsstandorte der Wismut GmbH entlang der Zwickauer Mulde

Annia Greif<sup>1</sup>, Mirko Martin<sup>2</sup>, Christine Stevens<sup>3</sup>

### Einführung

Sowohl der erzgebirgische (Alt-)Bergbau auf Silber, Blei, Zink, Zinn als auch der Bergbau auf Uran (SAG/SDAG Wismut) führten zu einer Freisetzung der Nutz- aber auch der Begleitelemente in die Umwelt. Die Fließgewässer werden primär von geogenen und nachfolgend von anthropogenen Einflüssen, wie dem Bergbau, der Erzaufbereitung und Metallverarbeitung geprägt. Dies ist ein wesentlicher Grund, weshalb viele Oberflächenwasserkörper (OWK) in Sachsen den guten Zustand gemäß EU-WRRL verfehlen.

Zur Untersuchung des Einflusses bergbaubedingter Quellen auf die OWK unterstützte die Wismut GmbH eine Studie des LfULG (Martin et. al. 2023) (siehe Beitrag Stevens et al.) mit Kenntnissen aus ihrer Sanierungstätigkeit, die seit 1991 stattfindet. Während sich viele Objekte, insbesondere die Halden, bereits in der Nachsorge befinden, wird die Sanierung der Industriellen Absetzanlagen (IAA) erst in den nächsten Jahren abgeschlossen. Demgegenüber unterliegen die Gruben weiterhin einer gesteuerten Flutung und ihre Flutungswässer langfristig einer Wasserbehandlung.

Die Ermittlung der Quellstärken ist ein wichtiger Ansatz, um Einzelquellen innerhalb des Fließgewässersystems zu wichten, bezüglich ihrer potentiellen Schadstoffminderungspotentiale zu bewerten und schließlich nach einer Kosten-Nutzung-Abwägung entsprechende Maßnahmen umzusetzen.

### Ableitung der Wasserstammbäume

Der Sanierungsstandort Schlema-Alberoda zeichnet sich durch seine ausgeprägte Haldenlandschaft aus. Weiterhin sind neben der gleichnamigen Grube und Wasserbehandlungsanlage (WPT) auch die Emissionen der Grube Schneeberg (Altbergbau) über den Markus-Semmler-Stollen sowie die Bäche zu berücksichtigen. Am Standort Crossen dominiert die IAA Helmsdorf/Dänkriz 1, deren Sicker- und teilweise auch Grundwässer eine Behandlung in den Wasserbehandlungsanlagen Helmsdorf durchlaufen. Die ufernahen Flächen des ehemaligen Werksgeländes und der Bergehalde Crossen wurden saniert und dienen jetzt vordergründig dem Hochwasserschutz. Beide Standorte befinden sich an der Zwickauer Mulde (ZM) und betreffen die OWK Schlema, Mulde-4 und Mulde-5. Für sie wurden Wasserstammbäume (Bsp. OWK Mulde-5 in Abb. 1) erstellt und mit den Ergebnissen aus dem Umweltmonitoring der Wismut GmbH untersetzt.

### Ergebnisse der Frachtbilanzierung

Für die relevanten Emissionen und Fließgewässer wurden die Jahresfrachten für ausgewählte Parameter berechnet. Da sich am Standort Schlema-Alberoda mit der Inbetriebnahme des Südumbruchs 2018 die Ableitungsbedingungen aus der Grube Schneeberg maßgeblich verändert haben, wird für die folgenden Betrachtungen der danach liegende Zeitraum 2019 bis 2022 gewählt.

Die Bilanzierung am Standort Schlema-Alberoda (bezogen auf OWK Mulde-4) bildet für Uran und Arsen die bekannten Punktquellen gut ab. Eine leicht negative Bilanz für Uran (-6 %) lässt auf einen

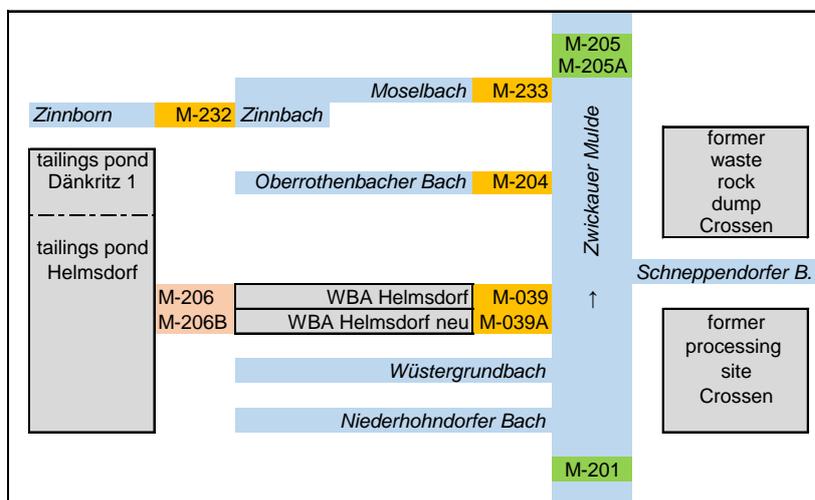
---

<sup>1</sup> Wismut GmbH

<sup>2</sup> G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH

<sup>3</sup> Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Übergang aus Wasserphase in das Sediment schließen, was bei Schwebstoffuntersuchungen nachgewiesen wurde. Am Standort Crossen (OWK Mulde-5) liegen demgegenüber höhere unbekannte, vermutlich diffuse Einträge für Uran (+18 %) vor. Dies ist durch die Beeinflussung durch die IAA Helmsdorf über den Grundwasserpfad und die verbliebenen Restkontaminationen im Bereich der abgetragenen Bergehalde sowie der sanierten Fläche des Aufbereitungsstandortes Crossen plausibel. Für Arsen ist die Bilanz nahezu ausgeglichen.



**Abb. 1** Wasserstammbaum für den Standort Crossen innerhalb des OWK Mulde-5.  
**Fig. 1** River flow diagrams of remediation site Crossen within the water body Mulde-5.

Bezüglich der Größenordnung der Einzelquellen wurden in den Diagrammen (Abb. 2) auch die Anteile einbezogen, die durch die Wasserbehandlung eliminiert und am jeweiligen Standort langzeitsicher eingebaut wurden (Abb. 2). Dies zeigt die enorme Leistung der Wasserbehandlungsanlagen. Die Teilströme der Haldensickerwässer, die nach untertage verstürzt und nachfolgend mit behandelt werden, führen zu einer weiteren Reduzierung der Schadstofffracht in der Zwickauer Mulde.

Für den Standort Schlema-Alberoda stammen die größten Arsen- und Uranmengen aus der gleichnamigen Grube. Die nach der Wasserbehandlung zurückbleibende Restkontamination stellt bezüglich Uran weiterhin den größten Frachtzuwachs für die Zwickauer Mulde dar, gefolgt von den summarischen Einträgen aus den Halden. Für Arsen ist dieser Einfluss im Vergleich zur Fracht aus den unbehandelten Grubenwässern der Grube Schneeberg dagegen gering. Werden nur die realen Ableitungen betrachtet, haben die über den Markus-Semmler-Stollen in die Zwickauer Mulde abgeleiteten Arsenfrachten einen relativen Anteil von ca. 75 % im Gewässerabschnitt. Daher sollte diese Einzelquelle bei der Priorisierung der Maßnahmen zur Schadstoffminderung berücksichtigt werden.

Für den Standort Crossen ist zuerst auf die wesentlich höhere Arsen- und Uranfracht im Anstrom hinzuweisen, die im Fall von Uran etwa so hoch ist wie die summarische Fracht in den kontaminierten Sickerwässern der IAA Helmsdorf. Aufgrund der hohen Reinigungsleistung der technischen Anlagen geht von der eingeleiteten Restkontamination kaum noch ein Einfluss auf die Zwickauer Mulde aus.

## Literatur

Martin, M.; Dittrich, S.; Eulenberger, S.; Greif, A. (2023): Ermittlung der Belastungsquellen und Maßnahmen zur Verminderung der Bergbaubelastung im Rahmen der Umsetzung der EG Wasserrahmenrichtlinie: Zwickauer Mulde.- Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

## Pollutant load balancing in catchments impacted by mining– Integration of the Wismut remediation sites along the Zwickauer Mulde

Annia Greif<sup>1</sup>, Mirko Martin<sup>2</sup>, Christine Stevens<sup>3</sup>

### Introduction

Legacies of the Erzgebirge silver, lead, zinc, tin as well as uranium mining significantly release heavy metals and arsenic into the environment. In combination with geogenic influences this is a major reason why many water bodies in Saxony fail to achieve the good status according to the EU WFD.

With regard to mining-related sources, Wismut GmbH supported a study by the LfULG (Martin et al. 2023) (see article Stevens et al.) with knowledge from its remediation activities, which have been taking place since 1991. While many objects, especially the waste rock dumps (WRD), are already undergoing aftercare, this goal will be achieved for the industrial tailings ponds in the next few years. In contrast, the mines remain subject to controlled flooding and water treatment for a long time.

Determining pollution loads from specific sources is an important approach to weighting individual sources within the river system and for evaluating their potential pollutant mitigation options. After a cost-benefit analysis, appropriate measures will be implemented.

### Derivation of river flow diagrams

The Schlema-Alberoda remediation site is characterized by its distinctive WRD landscape. In addition to the mine and the water treatment plant (WPT), emissions from the Schneeberg mine (old mining) via the Markus-Semmler-Adit (MSS) and streams must also be taken into account. At the Crossen site, the tailings pond Helmsdorf/Dänkritz 1 dominates. Its seepage and some groundwater undergo treatment in the Helmsdorf water treatment plants. The bankside areas of the former Crossen processing plant and the former waste dump have been remediated and are now primarily used for flood protection. Both sites are located on the river Zwickauer Mulde (ZM) and affect the water bodies Schlema, Mulde-4 and Mulde-5. For these, river flow diagrams were created (example in Fig. 1) and filled with data from the environmental monitoring of the Wismut GmbH.

### Results of load balancing

Regarding the emissions of concern for the receiving water bodies, annual loads were calculated for selected parameters. Since the discharge conditions from the Schneeberg mine have changed significantly with the commissioning of a new mine adit named “Südumbruch” at the Schlema-Alberoda site in 2018, the time period 2019 to 2022 is selected for the following observations.

The balance at the Schlema-Alberoda site (related to Mulde-4) represents the known point sources for uranium and arsenic well. A slightly negative balance for uranium (- 6 %) suggests a transition from the water phase into the sediment, which was underpinned by suspended matter investigations. In contrast, at the Crossen site (Mulde-5) there are higher unknown, presumably diffuse inputs for uranium (+ 18 %). This is plausible due to the diffuse influence of the IAA Helmsdorf via the groundwater pathway and the remaining contamination in the area of the removed waste rock

---

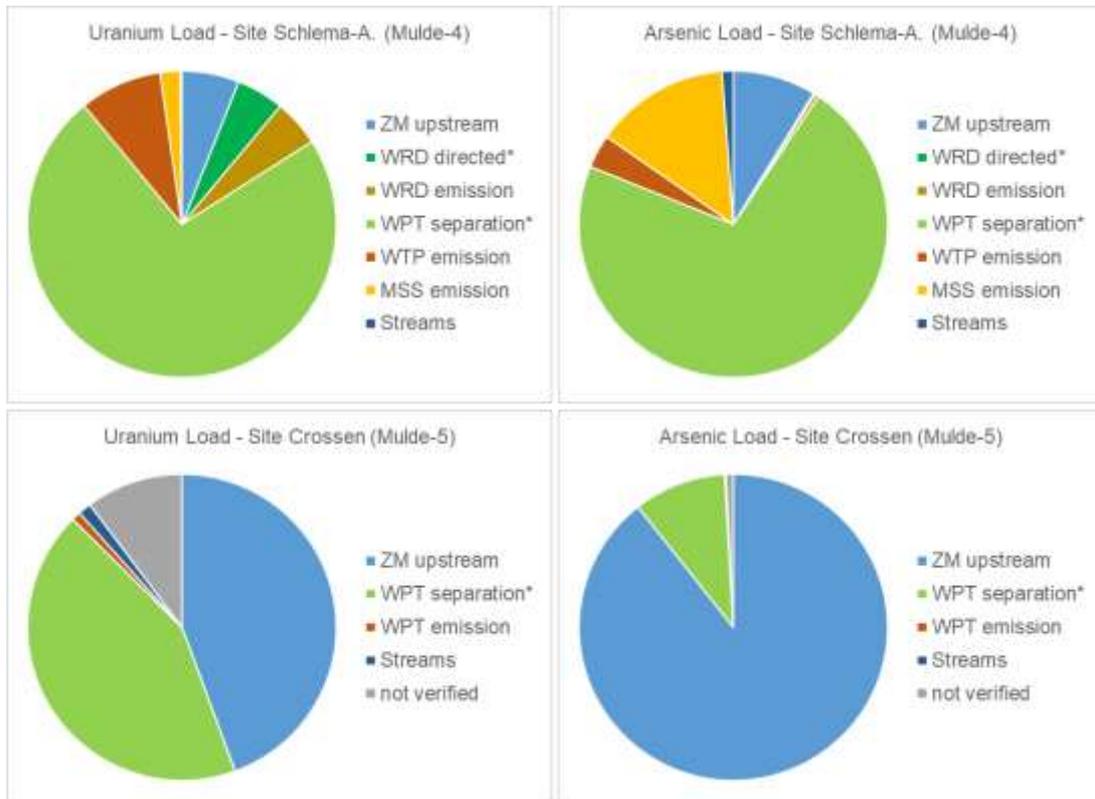
<sup>1</sup> Wismut GmbH

<sup>2</sup> G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH

<sup>3</sup> Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology

dump and the remediated area of the Crossen processing site. For arsenic the balance is almost even.

With regard to the magnitude of the individual sources, the following diagrams also include the portions that were eliminated by the water treatment and incorporated at the respective site with long-term safety (Fig. 2). This shows the excellent performance of the water treatment plants. The partial flows of the seepage waters from waste rock dumps, which are directed underground and subsequently treated as well, lead to a further reduction of the pollutant load in the river Zwickauer Mulde.



**Abb. 2** Anteil der Uran- und Arsenfrachten verschiedener Herkunft am Ausgang der Sanierungsgebiete Schlema-Alberoda (oben) und Crossen (unten) zwischen 2019 und 2022, \*nicht in die Umwelt gelangende Anteile: grün

**Fig. 2** Proportion of uranium and arsenic loads of various origins at the exit of the Schlema-Alberoda (top) and Crossen (bottom) remediation areas between 2019 and 2022, \*proportions not emitted to the environment: green

For the Schlema-Alberoda site, the largest arsenic and uranium loads originate from the mine. The residual contamination remaining after water treatment continues to be the largest load increase for uranium for the Zwickauer Mulde, followed by the combined inputs from the waste rock dumps. For arsenic, on the other hand, the load from the untreated mine waters of the Schneeberg mine dominates. If only actual discharges are considered, the arsenic loads discharged into the Zwickauer Mulde via the Markus-Semmler-Adit have a relative share of about 75% in the river section. Therefore, this single source should be considered in the prioritization of measures to reduce pollutants.

For the Crossen site, it should first be pointed out that the arsenic and uranium loads from upstream are considerably higher, which in the case of uranium is about as high as the combined load from the contaminated waters of the tailings pond Helmsdorf. Due to the high purification efficiency of the technical plants, the discharged residual contamination has hardly any influence on the Zwickauer Mulde.

## Sanierungsdokumentationen der Wismut GmbH – Ziele, Herausforderungen und Umsetzung

Axel Hiller<sup>1</sup>, Olaf Zeidler<sup>1</sup>, Jörg Voland<sup>1</sup>

Die Notwendigkeit der Erstellung von Sanierungsdokumentationen ergibt sich für die Wismut GmbH aus der Komplexität von gesetzlichen Rahmenbedingungen bei der Sanierung von Uranerzbergbau und Uranerzaufbereitung. Neben den bergrechtlichen und baurechtlichen Anforderungen im Betriebsplanverfahren und Raumordnungsverfahren spielen insbesondere strahlenschutz-, wasser-, naturschutz- und archivrechtliche Belange und deren Langzeitaspekte eine wesentliche Rolle.

Um diesen Belangen gerecht zu werden, wurde in der Wismut GmbH die Form von objektbezogenen Sanierungsdokumentationen gewählt, welche alle für eine Langzeitsicherung notwendigen Informationen und Dokumente enthalten. Für diese Dokumentationen wurde eine normierte Registerstruktur entwickelt, die für eine parallele Langzeitarchivierung sowohl analoger Dokumente als auch digitaler und digitalisierter Dokumente geeignet ist (Abb. 1). Zudem wurde neben der konventionellen Archivrecherche eine duale Recherchemöglichkeit im Informationsverbund AL.VIS/W geschaffen, um Dokumente nach inhaltlichen und/oder kartographischen Kriterien auffinden zu können (Kreyßig et al. 2019).

Seit 10 Jahren (und forciert seit 4 Jahren) wird die Erarbeitung von Sanierungsdokumentationen zur umfassenden Darstellung von derzeit 450 komplexen Objekten vorangetrieben. Sanierungsziele, Objektarten und -größen, Aufkommen und Art der Dokumente haben dabei eine große Schwankungsbreite.

Die Erarbeitung von Sanierungsdokumentationen ist mit zahlreichen Aufgaben und Herausforderungen verbunden:

- Dynamik der Entwicklung der gültigen Gesetzgebung,
- wiederkehrende Strukturanpassungen im Unternehmen,
- bestehende dezentrale Lagerung in Ablagen/Zwischenarchiven und deren Verzeichnungsgrad,
- technische Voraussetzungen wie Hardware, Basis- und Anwendersoftware,
- Probleme der analogen und digitalen Langzeitarchivierung,
- heterogenes Dokumentenaufkommen und lückenhafte Überlieferung,
- zeitlicher Kontext der Entstehung der Dokumente und örtlicher Bezug,
- wachsende Anforderungen an Digitalisate und deren Metainformationen,
- Wandlung von vorgangsbezogenen Unterlagen in objektbezogene Dokumentensammlungen
- mangelhafte Struktur der Dokumente, teilweise fehlende Originalität,
- inhaltliche Verknüpfung der Dokumente untereinander,
- Wissensstand der Bearbeiter.

Ziel ist es, mit dem derzeit vorhandenen Personalbestand und den technischen Voraussetzungen die wesentlichsten Teile der Sanierungsdokumentationen inklusive Abschlussdokumentationen und Risswerk bis zum Ende der Kernsanierung zu erstellen. Ausnahmen bilden hierbei die Sanierungsdokumentationen für Objekte mit Langzeitcharakter, bei denen ein dem Sanierungsfortschritt entsprechender Bearbeitungsstand erreicht werden soll. Im Endzustand wird eine multifunktional nutzbare Dokumentation entstehen, die den Nutzern langfristig zur Verfügung steht.

---

<sup>1</sup> Wismut GmbH



**Abb. 1** Zielformat für die analoge Sanierungsdokumentation mit archivgerechter Ablage  
**Fig. 1** Target format for analogue remediation documentation with archival filing

## Literatur

Kreyßig, E.; Hiller, A.; Götze, J.; Schröder, K. (2019): Entrance to the Past – Knowledge Transfer (KT) within the Wismut Environmental Rehabilitation Project. In: Zukunft gestalten: Langzeiterfahrungen und Innovationen in der Bergbausanierung.- Proc. Internat. Bergbausymposium WISSYM\_2019, Chemnitz, 09.-11. Oktober 2019, 385-388

## Wismut's remediation documentation – goals, challenges and implementation

Axel Hiller<sup>1</sup>, Olaf Zeidler<sup>1</sup>, Jörg Voland<sup>1</sup>

The responsibility of Wismut GmbH to elaborate remediation documentation results from the complex legal framework for the remediation of uranium mining and beneficiation of uranium ore in Germany. Beside the mining and building acts requirements implemented in operating plan process and spatial planning process, issues related to radiation protection, water, nature, conservation and archive laws and their long-term aspects play an important role.

To meet these demands, Wismut GmbH chose the form of object-related remediation documentation, which contains all the information and documents necessary for long-term preservation. A standardized register structure was developed for this documentation, which is suitable for long-term archiving of analogue records as well as digital and digitized documents (Fig. 1). In addition to conventional archival research, a dual search tool was created using the AL.VIS/W information network in order to enable document research by content and/or geographic criteria (Kreyßig et al. 2019).

The development of remediation documentation ensuring the comprehensive description of currently 450 complex objects has been promoted for 10 years (and intensified during the last 4 years). The gained experience shows that remediation goals, object types and sizes, volume and type of documents vary in a wide range.

The elaboration of remediation documentation is associated with numerous tasks and challenges:

- dynamic development of the valid legislation framework,
- frequent structural adjustments in the company,
- established decentralized storage in temporary archives/document filing and the degree of their description,
- technical requirements such as hardware, basic and user software,
- challenges of analogue and digital long-term archiving,
- heterogeneous document volume and incomplete preservation,
- temporal context of the creation of the documents and their local reference,
- growing demands to digital copies and their meta information,
- conversion of process-related records into object-related document collections
- poor structure of the documents, particular lacking in originality,
- content-related links between different documents,
- variable knowledge level of the recorders.

The goal of Wismut GmbH is to elaborate the most important parts of the remediation documentation, including final documentation and plans, by the end of the core remediation time-frame with the currently available staff and the technical requirements. The remediation documentation for objects with long-term character, shall achieve a processing status corresponding to the remediation progress. The final goal is to elaborate a multifunctional documentation that will be available to users in the long term.

---

<sup>1</sup> Wismut GmbH



**Abb. 1** Zielformat für die analoge Sanierungsdokumentation mit archivgerechter Ablage  
**Fig. 1** Target format for analogue remediation documentation with archival filing

## References

- Kreyßig, E.; Hiller, A.; Götze, J.; Schröder, K. (2019): Entrance to the Past – Knowledge Transfer (KT) within the Wismut Environmental Rehabilitation Project. In: Zukunft gestalten: Langzeiterfahrungen und Innovationen in der Bergbausanierung.- Proc. Internat. Bergbausymposium WISSYM\_2019, Chemnitz, 09.-11. Oktober 2019, 385-388

## In-situ online Watergenics-Sulfatsondenmessung in einem bergbaulich beeinflussten Fließgewässer des Lausitzer Braunkohlereviers – Benchmarking und erste Ergebnisse

Henning Jasnowski-Peters<sup>1</sup>, Dr. Sebastian Stolzenberg<sup>1</sup>, Dr. Liviu Mantescu<sup>1</sup>

### Die Spree im Lausitzer Braunkohlerevier

Im Lausitzer Braunkohlerevier ist die Spree im Raum Spremberg bis zur Talsperre Spremberg mit einer erheblichen Lösungsfracht aus Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) und Eisen ( $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ) belastet, die den Fluss regelmäßig braun-ocker einfärben. Diese Lösungsfrachten sind auf den Eintrag von bergbaubelasteten Grundwässern infolge des Grundwasserwiederanstiegs in den durch den ehem. Braunkohleabbau beeinflussten Gebieten zurückzuführen (MLUK 2022). Die Sulfidoxidation sowie die Mobilisierung der Produkte sind dabei die maßgebenden Prozesse.

Die Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) hat Watergenics GmbH im September 2022 gestattet, ihre *in-situ* Sondentechnik für eine Testphase von zwei Wochen am Pegel Spremberg-Wilhelmsthal an der Cantdorfer Brücke bei Spremberg (RW: 456529, HW: 5715645) zu testen. Der Watergenics in-situ Sulfatsensor wurde gemeinsam mit der Leitfähigkeits (Lf) -Elektrodenteknik der LMBV in der zentralen Fließrinne der Spree in einer Tiefe von ca. 2 m, ca. 20 cm über Grund fixiert.

Ziel dieser Studie ist es die Sulfatmessungen mittels des neuen Messverfahrens zu validieren, um im Jahresverlauf die Schwankungsbreiten der Sulfat- und zukünftig auch gelösten Eisenkonzentrationen besser zu verstehen und dementsprechend auch die Maßnahmen der LMBV zur Regulierung der Gewässergüte der Spree weiter zu optimieren.

### Watergenics-Sensor: Messmethodik, Resultate und Fazit

Der Watergenics Sensor (Abb.2) basiert auf dem Prinzip der konventionellen Raman-Spektroskopie.



Abb.1 Watergenics-Sensorsystem bestehend aus Messzelle und Spektrometer (li.); Watergenics-Sensor mit korrosionsresistentem Gehäuse und leichten Verockerungen am Gehäuse nach dem Einsatz am Pegel Spremberg-Wilhelmsthal (re.).  
Fig.1 Watergenics-probe consisting of measuring cell and spectrometer coupled by fibre optics (left); Watergenics-sensor system covered by corrosion resistant housing showing slight residues of iron ochre stainings after its usage at the water gauge Spremberg-Wilhelmsthal (right).

Der Raman Sulfat- Peak wird generell im Bereich  $979\text{-}981\text{ cm}^{-1}$  detektiert. Die Peakgeometrie und Höhe wurden alle 10 Minuten integriert und prozessiert. Generelle Verfahren der Hintergrundkorrektur und Normalisierung wurden angewandt. Als Kalibrierung diente eine automatisierte und stetig überwachte in-house Kalibration von Watergenics im Sulfat-Messbereich von 100 mg/L bis 2000

<sup>1</sup> Watergenics GmbH

mg/L. Nach dem Einsatz der Sonde wurde kein Performance-Abfall basierend auf der maximalen Lasersignal-Leistung festgestellt. Der Watergenics Sensor verfügt über ein Anti-Biofouling Selbstreinigungssystem, das die Messungen vor starker Verockerung aufgrund mikrobieller Aktivität schützt. Die in-situ online Sondendaten für Sulfat in [mg/L] wurden im Zeitraum vom 28.9.-9.10.2022 mit den aus in-situ Leitfähigkeitsmessungen abgeleiteten Sulfatkonzentrationen der LMBV sowie den täglichen auf DIN EN ISO 10304-1 basierenden Labormessungen verglichen. Als weitere unabhängige Messmethodik wurden täglich vor Ort von Watergenics Sulfatkonzentrationsmessungen spektrophotometrisch mit einem Hach DR 1900 durchgeführt.

Als Resultat dieser Testmessungsphase zeigt sich in Abb.2 eine sehr gute Übereinstimmung der in-situ spektroskopischen Sulfatkonzentrationsdaten von Watergenics mit den hauseigenen Hach-DR1900 Daten sowie mit den unabhängigen ionenchromatographischen Labordaten der LMBV und des Landesamtes für Umwelt Brandenburg (LfU). Die indirekt durch Leitfähigkeitskorrelation bestimmten Sulfatkonzentrationen der LMBV lagen im Mittel  $c(\text{SO}_4) = 38,2 \text{ mg/L}$  über den in-situ Daten von Watergenics. Die Abweichung ist vermutlich auf die im Messzeitraum ausgesetzte Sondenwartung der LMBV-LF-Sonde, für die die Watergenics-Sonde eingesetzt wurde, zurückzuführen.

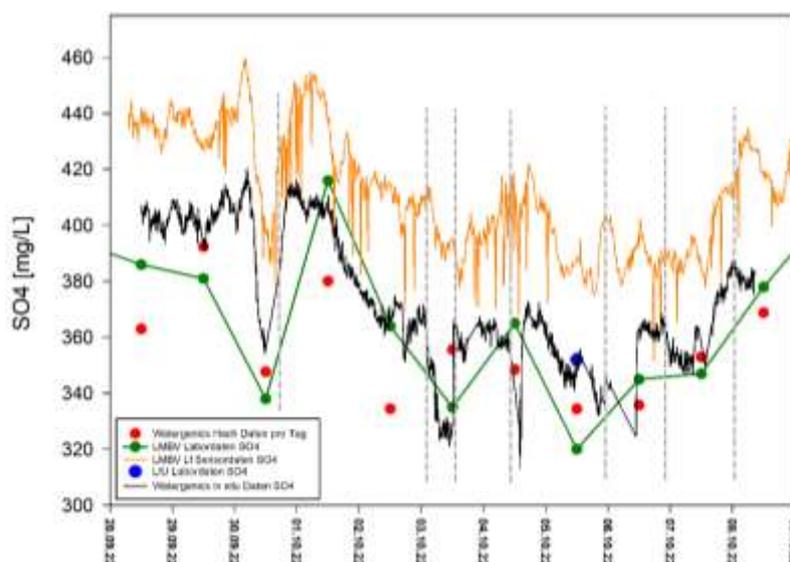


Abb.2 Watergenics-in-situ online Sensordaten im Vergleich mit den LMBV Lf-abgeleiteten Daten, den Labordaten von LMBV und LfU Brandenburg sowie den Vor-Ort-Messungen mit einem Hach Spektrophotometer DR 1900.

Fig.2 Watergenics-in-situ online probe data compared to LMBV EC derived data, lab data of LMBV and LfU Brandenburg as well as Watergenics conducted on site measurements using a Hach spectrophotometer DR 1900.

Der Watergenics Raman-Sensor ermöglicht es somit Sulfatkonzentrationen quantitativ, *in situ* und online mit einer Auflösung von 10 Minuten in einem unabhängig ermittelten Fehlertoleranzbereich von nur 3% im Vergleich zu den Standard-Labormessverfahren zu messen. Dies ermöglicht in Zukunft eine weitaus detailliertere Messtechnik für bergbaulich beeinflusste Fließgewässer und liefert Verbesserungen des Prozessverständnisses sowie eine Optimierung der Gewässersanierung.

## Literatur

MLUK (2022): Arbeitsprogramm 2022 zum „Strategiepapier zur Beherrschung bergbaubedingter Stoffbelastungen in den Fließgewässern Spree, Schwarze Elster und Lausitzer Neiße“. – Arbeitsgruppe "Flussgebietsbewirtschaftung Spree, Schwarze Elster und Lausitzer Neiße".- Bericht, 2022. Miller, R.; Taylor, S.; Smith, A. (1990): Geochemistry of rocks and ores of the Inner African Copper Belt.- In: Journal Mining Economics and Environmental Protection, 10, pp. 234-238

## In situ online sensing by Watergenics to measure sulphate in river course influenced by mining from the Lausitz lignite mining district – benchmarking and first results

Henning Jasnowski-Peters<sup>1</sup>, Dr. Sebastian Stolzenberg<sup>1</sup>, Dr. Liviu Mantescu<sup>1</sup>

### The river “Spree” in the Lausitz lignite mining area

In the Lausitz lignite mining area the river course Spree contains significant amounts of dissolved sulphate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) and iron ( $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ) ion species in between the town Spremberg and the reservoir Spremberg which results in obvious brown to ochre staining of the river. The dissolved ion compounds originate from the discharge of mining affected groundwaters which are related to the mine water rebound in the former lignite mines (MLUK 2022). Sulfide oxidation and mobilization of its products are the major processes affecting the river.

The Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) permitted Watergenics GmbH in September 2022 to install a demo of its in situ online sulphate sensor system at the water gauge of Spremberg-Wilhelmsthal adjacent to the Cantdorfer Bridge (RW: 456529, HW: 5715645) for two weeks. The Watergenics sulphate sensor was installed together with the electrical conductivity (EC) sensor of LMBV in the central part of the river Spree at a depth of approximately 2 meters, 20 cm above ground, during this time interval.

Aim of this study was to validate the sulfate measurements using the new measurement method in order to identify changes in sulphate concentration during an entire year. In the future, it is planned to include also dissolved and total iron concentrations for the in situ determination. This helps LMBV to better understand the ranges in dissolved sulphate concentrations and to enhance their water treatment facilities to remediate the river Spree.

### Watergenics sensor system: Methodology, Results and Conclusions

The Watergenics probe (Fig.1) relies on conventional Raman spectroscopy.



Abb.1 Watergenics-Sensorsystem bestehend aus Messzelle und Spektrometer (li.); Watergenics-Sensor mit korrosionsresistentem Gehäuse und leichten Verockerungen am Gehäuse nach dem Einsatz am Pegel Spremberg-Wilhelmsthal (re.).  
Fig.1 Watergenics-probe consisting of measuring cell and spectrometer coupled by fibre optics (left); Watergenics-sensor system covered by corrosion resistant housing showing slight residues of iron ochre stainings after its usage at the water gauge Spremberg-Wilhelmsthal (right).

The Raman  $\nu_1$  sulphate peak is detected around  $979\text{-}981\text{ cm}^{-1}$ . Peak geometry and height were recorded as average from the collected spectra every 10 minutes. Normalization and fluorescence background subtraction were routinely applied in post processing. For calibration an automated in-house

<sup>1</sup> Watergenics GmbH

calibration routine of Watergenics was applied in the range of 100 mg/L to 2000 mg/L with a precision better than  $R=0.98$ . After the usage of the probe no attenuation of the signal during the time interval was observed. The patented Watergenics probe contains an anti-biofouling self-cleaning device, which prevents iron ochre scaling and microbial growth.

The in situ online probe data for sulphate [mg/L] were collected during the time interval of 28.9. – 9.10.2022. During this time the Watergenics probe data was compared and benchmarked to the derived sulphate concentration data based on electrical conductivity data and the LMBV daily lab measurements using DIN EN ISO 10304-1 protocol. As second independent sulphate concentration measurement on site, a Hach spectrophotometer device, model DR 1900, was used by Watergenics.

As results during this testing period, Fig. 2 illustrates a very good comparison of the in-situ spectroscopy sulphate concentration data of Watergenics with the in-house Hach DR1900 data as well as the independent ion chromatography based lab data of LMBV and the Brandenburg State Office for Environmental Affairs (LfU). The indirectly correlated sulphate concentration based on electrical conductivity by LMBV is on average remarkably higher (ca. 38 mg/L) than the ones measured by Watergenics and Hach. This relates back to a longer period of non-calibrated Lf-sensor usage.

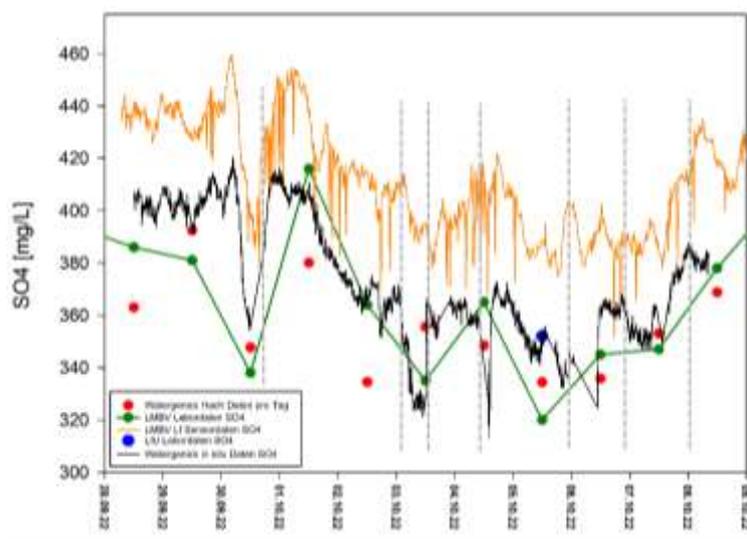


Abb.2 Watergenics-in-situ online Sensordaten im Vergleich mit den LMBV Lf-abgeleiteten Daten, den Labordaten von LMBV und LfU Brandenburg sowie den Vor-Ort-Messungen mit einem Hach Spektrophotometer DR 1900.

Fig.2 Watergenics-in-situ online probe data compared to LMBV EC derived data, lab data of LMBV and LfU Brandenburg as well as Watergenics conducted on site measurements using a Hach spectrophotometer DR 1900.

Hence, the Watergenics probe facilitates to measure quantitatively sulphate concentrations in situ and online at a resolution of 10 minutes or less verified by an independently measured tolerance of only up to 3% compared to standard lab measurements. In the future, the Watergenics probe system enables to enhance significantly the conventional measurement techniques for mine waters and leads to a much better system understanding and remediation potential.

## Literature

- MLUK (2022): Arbeitsprogramm 2022 zum „Strategiepapier zur Beherrschung bergbaubedingter Stoffbelastungen in den Fließgewässern Spree, Schwarze Elster und Lausitzer Neiße“. – Arbeitsgruppe "Flussgebietsbewirtschaftung Spree, Schwarze Elster und Lausitzer Neiße".- Bericht, 2022. Miller, R.; Taylor, S.; Smith, A. (1990): Geochemistry of rocks and ores of the Inner African Copper Belt.- In: Journal Mining Economics and Environmental Protection, 10, pp. 234-238

## **Vertiefung des Prozessverständnisses zur Entwicklung der Grubenwasserbeschaffenheit am Standort Schlema-Alberoda**

Nils Hoth<sup>1</sup>, Juliane Günther<sup>1</sup>, Andrea Kassahun<sup>2</sup>, Axel Hiller<sup>2</sup>, Andrea Schramm<sup>2</sup>

Geflutete Bergwerke (Tiefbau), wie die der WISMUT-Standorte, bedürfen zumeist einer sehr langfristigen Wasserbehandlung, um für spezifische Schadelemente (hier vor allem Uran, Arsen) Einleitgrenzwerte beim Übertritt in die Oberflächenwasserkörper einhalten zu können. Dabei ist es für die Strategie der Wasserbehandlungsanlage (WBA) wesentlich, langfristige Trends der Beschaffenheitsentwicklung zu erkennen bzw. ableiten zu können. Im Idealfall kann man deren Veränderung prognostizieren, auf Basis eines vertieften Prozessverständnisses am Standort.

Dieses Verständnis basiert auf dem komplexen Geflecht aus hydraulischem System der Grube und denen aus den ablaufenden hydrogeochemischen Prozessen resultierenden Wasserbeschaffenheiten. Letztendlich ist die Effizienz der technischen Wasserbehandlung auch deutlich geprägt von der Spezifik der zu behandelnden Wässer (Art der Uranspeziation – Carbonato-Komplexe/ Ladungszustand; Redoxzustand in Bezug auf As; Matrixeffekte, generelle Reduktionsfrage etc.). Deshalb ist diese Spezifik gut zu verstehen, gerade für die Adaption der Behandlungsverfahren.

### **Hydrogeochemische Modellrechnungen zur Entwicklung der Flutungswässer**

Die Untersuchung des Einfluss der Auswaschung auf die Beschaffenheitsentwicklung des Grubenwassers erfolgte mit Hilfe von PhreeqC Mix-Rechnungen, für zwei hydraulische Ansätze zur Charakterisierung der zuzitenden, unbeeinflussten Wässer zur Grube. Dabei basieren diese hydraulischen Ansätze, zum einen auf dem Kaskadenmodell (WISMUT STUDIE GEOTHERMIE [2011]) und zum anderen auf einer Teilstromanalyse (WISMUT [2018]). Das Kaskadenmodell fasst die mittleren Beschaffenheiten aus der aktiven Abbauphase zusammen, die in den verschiedenen Teufenkaskaden zutreten. Die Teilstromanalyse schätzt verschiedene Zutrittsbereiche in Menge und Beschaffenheit (verknüpft mit repräsentativen Messstellen) ab.

Für einen Großteil der Parameter wird die zeitliche Entwicklung durch die Auswaschungscharakteristik gut beschrieben (siehe Abb. 1). Vergleicht man beide Modell-Varianten, die ja jeweils auf anderer hydraulisch-hydrogeochemischer Herangehensweise und damit Datenbasis basieren, wird deutlich dass die Grundzüge des Messwertverhaltens durch beide gut repräsentiert werden.

Ideal wird durch das Modell vor allem der Verlauf der Chlorid-Messwerte nachvollzogen. Chlorid besitzt typischerweise eine Tracerfunktion. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass der gewählte hydraulische Ansatz sehr gut das hydraulische System beschreibt und die nicht-reaktive Komponente Chlorid im Flutungswasser vollständig durch Auswaschung beschreibbar ist.

Es ist jedoch auch festzuhalten, dass für beide Modelle der Messwertzeitverlauf anderer, wesentlicher Parameter, nicht durch Auswaschung allein begründbar ist! Dies gibt den Hinweis das weitere in-situ ablaufende hydrogeochemische Prozesse hierfür eine Rolle spielen.

Sulfat (Schwefel), Calcium, Magnesium zeigen von 1999 bis 2003 vermutlich zunächst eine Auflösung von Sekundär-Mineralphasen und anschließende Auswaschung, da die Messwerte den Mix-Rechnungen folgen. Für Sulfat ab Ende 2011 (nach Umstellung Entnahmepunkt für WBA) ergeben

---

<sup>1</sup> TUBAF

<sup>2</sup> WISMUT

sich jedoch Indizien für Sulfatreduktion, dies verknüpft mit dem Verlauf der Gehalte für Fe und Metalle (nicht dargestellt), mit etwas stärkerem Abfall der Messwerte, als im Modell, welches nur die reine Auswaschung nachvollziehen kann und will.

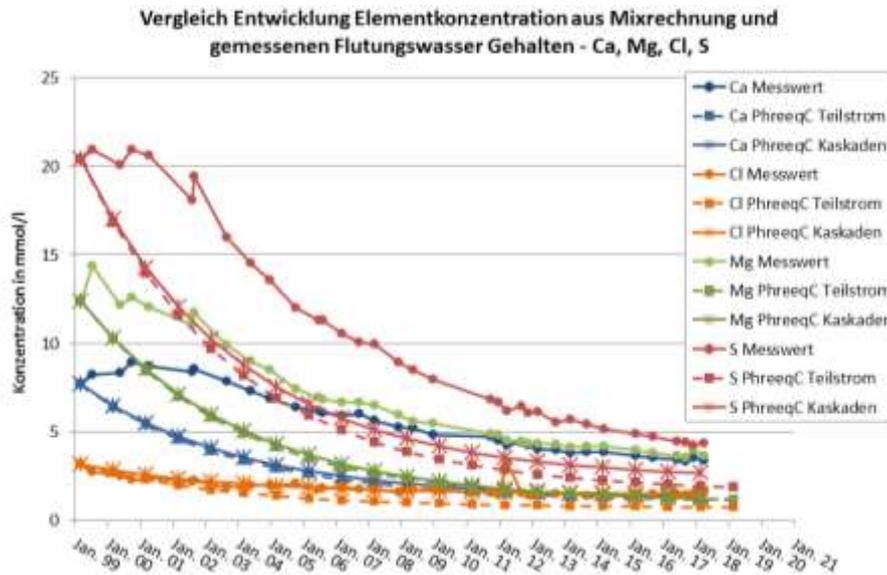


Abb. 1 Vergleich Mix-Rechnung für Kaskaden- und Teilstrommodell für S, Ca, Mg, Cl [mmol/l]  
 Fig. 1 Comparison of Mix-Calculations for the Kaskaden- and Teilstrommodell – Parameters S, Ca, Mg, Cl [mmol/l]

### Isotopenmessungen weisen Indizien für SO<sub>4</sub>-Reduktion aus

Für eine detailliertere Charakterisierung der Grubenwässer auch in Bezug auf ihre Isotopen-Zusammensetzung wurde eine Sonderprobenahme durchgeführt. Die Isotopenmessungen am <sup>34</sup>S des gelösten Sulfats weisen klar auf den Ablauf der mikrobiellen Sulfatreduktion hin (Abb. 2). Die Kreise repräsentieren die Ergebnisse der gemessenen Wässer (gelb Oberflächen-, lila Grubenwässer). Dabei zeigt sich deutlich, dass die Grubenwässer sich klar im Bereich stattfindender Sulfatreduktion befinden und sich in Ihrer Isotopensignatur deutlich von den zusinkenden Oberflächenwässern unterscheiden. Diese Ergebnisse wurden ebenfalls durch Sulfidmessungen in den Grubenwasserproben bestätigt und mit hydrogeochemischen Modellierungen untermauert.

### Ausblick – Lokalisierung der Hauptbereiche zusitzender Versinkungswässer

Zukünftig sollten Ergebnisse zu bewusst einfach und pragmatisch gehaltenen hydraulischen Gesamtbilanzmodellen, zur vereinfachten Entwicklung der Beschaffenheiten mittels hydrogeochemischer Modellierung erstellt werden. Bei allen Betrachtungen ist die immense Ausdehnung (gerade in die Tiefe) des gefluteten Grubenkörpers Schlemma-Alberoda und der extrem starke Durchbaugrad im Blick zu behalten. Weiterhin ist die Bedeutung, der zusinkenden Oberflächenwässer mit ihrem Einfluss auf eine Nichtetablierung stärker reduktiver Systeme im oberen Teil der Grube weiter zu untersuchen.

### Literatur

Knöller, K.: (2017): Revealing the details of water and matter cycling in aquatic systems – Insights from Light Stable Isotope Investigations, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung  
 Wismut Studie Geothermie (2011): Hiller, A.; Wallner O., Frenzel M.: „Datenrecherche/-auswertung zur Detailstrukturanalyse und hydrogeologischen Charakteristik des geothermischen Zielgebietes Schneeberg“  
 Wismut Flutungsbericht (2018): Wallner, O.; Kaden, R.; Meyer, J.; Schramm, A.: „Flutung der Grube Schlemma-Alberoda Jahresbericht 2018“

## Deepening of the process understanding for the development of the mine water quality at the Schlema-Alberoda site

Nils Hoth<sup>1</sup>, Juliane Günther<sup>1</sup>, Andrea Kassahun<sup>2</sup>, Axel Hiller<sup>2</sup>, Andrea Schramm<sup>2</sup>

Flooded mines (underground mining), such as those at the WISMUT sites, usually require very long-term water treatment in order to be able to comply with discharge limits for specific pollutants (mainly uranium and arsenic) when they enter surfacewater bodies. For the strategy of the water treatment plant (WTP) it is essential to recognize or to be able to derive long-term trends of the quality development. Ideally, one can forecast their change, based on an in-depth understanding of the process-network at the site.

This understanding is based on the complex web of the hydraulic system of the mine and the water properties resulting from the hydrogeochemical processes taking place. Ultimately, the efficiency of technical water treatment is also clearly influenced by the specifics of the waters to be treated (type of uranium speciation – carbonato complexes/charge state; redox state with respect to As; matrix effects, general reduction issue, etc.). So this specificity must be well understood, just for the adaptation of the treatment processes.

### Hydrogeochemical model calculations for the development of the flooded waters

The investigation of the influence of the flush out on the compositional evolution of the mine water was carried out using PhreeqC mix calculations, for two hydraulic approaches to characterize the incoming unaffected waters to the mine. This is on one hand the cascade model (WISMUT STUDIE GEOTHERMIE [2011]) and on the other hand the partial flow analysis (WISMUT [2018]). The cascade model summarises the average conditions from the active mining phase that occurred in the different depth-oriented cascades. Whereby the partial flow analysis estimates different access areas in terms of quantity and texture (linked to representative measuring points).

For a large part of the parameters, the temporal development is well described by the flush out characteristics (see Fig. 1). Comparing both model variants, which are each based on a different hydraulic-hydrogeochemical approach and thus data basis, it becomes clear that the basic features of the measured value behavior are well represented. Ideally, the model reproduces above all the course of the chloride measured values. Chloride typically has a tracer function. Thus, it can be concluded that the selected hydraulic approach describes the conditions very well and that the non-reactive component chloride in the flooded waters can be completely described by flush out.

However, it is also to be noted that for both models (and thus hydraulic approaches) the measured value time course cannot account for other, essential parameters, by flush out alone! The measured value course is not traceable by a difference in the hydraulic model approaches (cascades or partial flow analysis), but is due to in-situ hydrogeochemical processes.

Sulfate (sulfur), calcium, magnesium probably show dissolution of secondary mineral phases from 1999 to 2003 and subsequent flush out, when the measured values follow then the mix calculations. However, for sulphate from the end of 2011 (after the changeover to the extraction point for WBA), there are indications of sulphate reduction, which is linked to the development of the contents for Fe

---

<sup>1</sup> TUBAF

<sup>2</sup> WISMUT

and metals (not shown), with a somewhat stronger drop in the measured values than in the model, which only describes the pure flush out process.

### Isotope measurements – Indications for SO<sub>4</sub>-Reduction

For a more detailed characterization of the mine waters also with respect to their isotopic composition, a special sampling was performed. Isotopic measurements at the <sup>34</sup>S of dissolved sulfate clearly indicate the process of microbial sulfate reduction (Fig. 2). The circles represent the results of the measured waters (yellow surface, purple pit waters). This shows that the mine waters are in the direction of sulfate reduction and differ in their isotopic signature from the measured incoming waters. These results were also supported by confirmed sulfide measurements in the mine water samples and the hydrogeochemical modeling around.

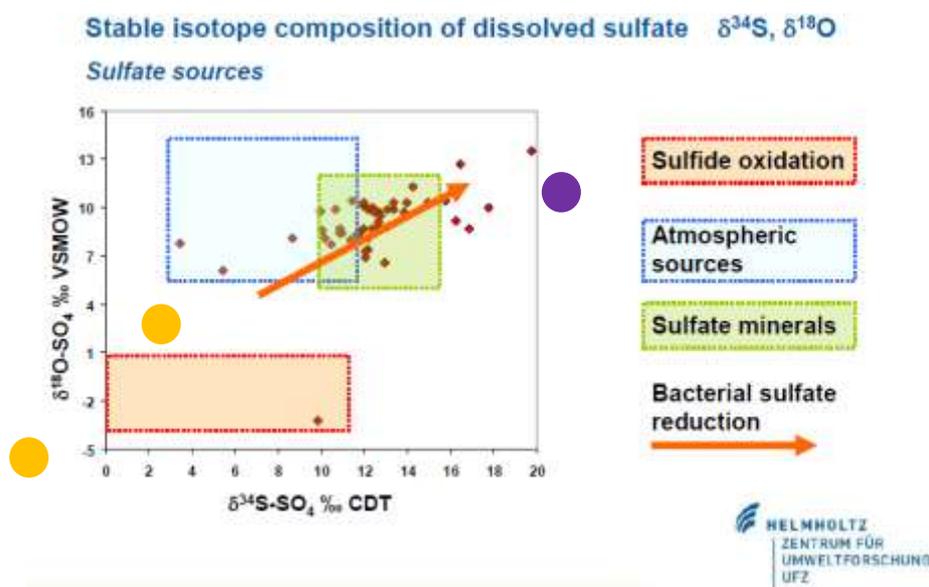


Abb. 2 Typische Isotopenverteilung nach Sulfatquelle (anderer Standorte) und Ablauf von Sulfatreduktion mit Pfeil-Richtung (Knöller, 2017); – hinzugefügt gelbe und lila Kreise der von uns bestimmten Messwertgruppen.

Fig. 2 Typical isotope distribution by sulfate source (other sites) and sequence of sulfate reduction (Knöller, 2017); added yellow and purple circles of the measured value groups we determined

### Outlook – Localization of the main areas of incoming waters

In the future, results of deliberately simple and pragmatic hydraulic overall balance models for the simplified development of the conditions should be produced by means of hydrogeochemical modeling. In all considerations, the immense extent (especially in the depths) of the flooded Schlema-Alberoda mine body and the extremely high degree of mining must be kept in mind. As well as the importance of the incoming surface waters with their influence on a non-establishment of stronger reductive systems in the upper part of the mine.

### References

- Knöller, K. (2017): Revealing the details of water and matter cycling in aquatic systems – Insights from Light Stable Isotope Investigations, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, 2017.
- Wismut Studie Geothermie (2011): Hiller, A.; Wallner O., Frenzel M.: „Datenrecherche/-auswertung zur Detailstrukturanalyse und hydrogeologischen Charakteristik des geothermischen Zielgebietes Schneeberg“
- Wismut Flutungsbericht (2018): Wallner, O.; Kaden, R.; Meyer, J.; Schramm, A.: „Flutung der Grube Schlema-Alberoda Jahresbericht 2018“

## **Rückbau der Prozessstufe Uranentsorgung in Königstein – Neue Herausforderungen vor dem Hintergrund des Natur- und Artenschutzes**

Dr. Ulf Jenk<sup>1</sup>, Thomas Albrecht<sup>1</sup>, Nadine Kleditz<sup>1</sup>, Thomas Vetter<sup>1</sup>, Thomas Beyer<sup>1</sup>

### **Außerbetriebnahme der Uranentsorgung**

Mit dem erfolgreichen Umbau der Aufbereitungsanlage für Flutungswasser (AAF) der ehemaligen Königsteiner Uranerzgrube erfolgte die Außerbetriebnahme der Prozessstufe Uranentsorgung. Bis zum Jahr 2020 wurde hier im Rahmen der Sanierung Uran mit Hilfe von Ionenaustauschern aus dem Flutungswasser gewonnen und als Zwischenprodukt zur Energiegewinnung verkauft. Damit wurde das Uran dem Rohstoffkreislauf zugeführt und musste nicht auf der betriebseigenen Halde eingelagert werden. Die Prozessstufe war jedoch veraltet und aufgrund sinkender Uran- und Schwermetallkonzentrationen im Flutungswasser für heutige Verhältnisse völlig überdimensioniert. Mit der Abschaltung der Anlage und dem letzten Urantransport im Jahr 2021 schied Deutschland von der Liste der uraniumproduzierenden Länder aus.

### **Rückbaukonzept**

Entsprechend dem Sanierungskonzept für den Standort Königstein waren die veraltete Uranabtrennung sowie die zugehörigen Uransilos, Rohrleitungen und die Beckenwirtschaft zurückzubauen. Auf Grundlage einer entsprechenden Planung durch die Fa. G.U.B. AG Zwickau, bei der der Rückbau in über 40 Teilobjekte strukturiert wurde, konnten 2021 die erforderlichen Genehmigungen beantragt werden. Durch das LfULG wurde am 06.12.2021 eine strahlenschutzrechtliche Teilgenehmigung erteilt. Diese beinhaltet den Abbruch und Rückbau aller Gebäude, Anlagen, Becken und Rohrleitungen bis zur Geländeoberkante. Die Strahlenschutzgenehmigung für die Sanierung der von diesen Objekten in Anspruch genommenen Fläche wird nach Übergabe der Ausführungsplanung für die Flächen-sanierung erteilt werden.

### **Herausforderung Natur- und Artenschutz**

Da sich in den Gebäuden, Anlagenteilen und auf den zu sanierenden Flächen geschützte Arten angesiedelt haben, wurde am 12.04.2021 die Ausnahmegenehmigung nach § 67 Absatz 1 BNatSchG für die Befreiung von Verbotstatbeständen gemäß § 44 BNatSchG bei der oberen Naturschutzbehörde beantragt. Diese Ausnahmegenehmigung der oberen Naturschutzbehörde ist eine Voraussetzung für die Erteilung der Zulassung des Sonderbetriebsplanes für den Rückbau.

Seit 2021 fanden diesbezüglich umfangreiche Befahrungen, Kartierungen und Beratungen statt. Auf deren Grundlage wurden Kompensationskonzepte für erforderliche Ersatzquartiere und -Maßnahmen erstellt (Firma ChiroPlan für Fledermäuse und Vögel; Firma SWECO für Reptilien und Amphibien) und eine Vielzahl von Kompensationsmaßnahmen umgesetzt.

Bisher wurden, unter Einbeziehung der Maßnahmen für weitere Abbruchobjekte (Verwaltungsgebäude, Heizhaus), in diesem Zusammenhang Ersatzquartiere für 1082 Fledermäuse und für 230 Vögel mit einem finanziellen Umfang von mehr als 430.000 € realisiert.

Ausgereicht wurde die artenschutzrechtliche Ausnahmegenehmigung für den Rückbau aller Rohrleitungstrassen, so dass die Teilzulassung des Sonderbetriebsplanes durch das Sächsische Oberbergamt im November 2022 erteilt werden konnte. Für den Rückbau der Beckenwirtschaft im

---

<sup>1</sup> Wismut GmbH

südlichen Bearbeitungsgebiet wurde die artenschutzrechtliche Ausnahmegenehmigung für April 2023 ausgestellt.

Für den Rückbau der Gebäude und Anlagen im nördlichen Bearbeitungsgebiet (Uransorption, Fällung) fordert die LDS weitere Kompensationsmaßnahmen. Aufgrund des Umfangs der bisher erbrachten Kompensationsmaßnahmen von mehr als 430.000 € und den auf Grundlage der vorgelegten Kompensationskonzepte von CHIROPAN zusätzlich geforderten Maßnahmen (580 Ersatzquartiere für Fledermäuse und 216 Ersatzquartiere für Vögel) beantragt Wismut bei der LDS mit Bezug zur Verhältnismäßigkeit die beantragten artenschutzrechtlichen Ausnahmegenehmigungen für den Nordteil der Uranentsorgung und das Heizwerk am Standort Königstein ohne die Schaffung weiterer Ersatzlebensräume für Fledermäuse und geschützte Vögel zu erteilen.

Für den Rückbau der Gebäude und Anlagen im nördlichen Bearbeitungsgebiet (Uransorption, Fällung) sind laut artenschutzfachlichem Gutachten der Firma CHIROPAN weitere Kompensationsmaßnahmen für Fledermäuse und geschützte Vögel (580 Ersatzquartiere für Fledermäuse und 216 Ersatzquartiere für Vögel) erforderlich. Aufgrund des Umfangs der bisher geschaffenen Ersatzlebensräume für 1082 Fledermäuse, 160 Mehlschwalben und 90 Singvögel am Standort Königstein im Kostenumfang von ca. 437.000 € hat die Wismut GmbH unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit die zuständige, obere Naturschutzbehörde gebeten die artenschutzrechtliche Ausnahmegenehmigung für den Nordteil der Uranentsorgung und das Heizwerk ohne die Auflage von weiteren Kompensationsmaßnahmen für Fledermäuse, Singvögel und Mehlschwalben zu erteilen.

Der bergrechtlich zugelassene Abschlussbetriebsplan des Sanierungsbetriebes Königstein sieht entsprechend dem BBergG die Wiedernutzbarmachung der vom Bergbau beanspruchten Flächen zur Nachnutzung als Grünland vor. Das beinhaltet auch den Rückbau aller technischen Anlagen und Gebäude. Mit der Schaffung von Ersatzquartieren an den Fassaden von Gebäuden, die damit bestehen bleiben müssen, verfolgen das Bundesbergrecht und das Naturschutzgesetz konkurrierende Zielstellungen.



**Abb. 1** Luftbild der Uranentsorgung am Standort Königstein

**Fig. 1** Aerial view of the uranium disposal at the Königstein site

## Literatur

Planungsunterlagen zum Vorhaben Rückbau Uranentsorgung (unveröffentlicht)

## **Dismantling the uranium removal facility at Königstein – challenges with regard to new legislative requirements of nature conservation and habitat protection**

Dr. Ulf Jenk<sup>1</sup>, Thomas Albrecht<sup>1</sup>, Nadine Kleditz<sup>1</sup>, Thomas Vetter<sup>1</sup>, Thomas Beyer<sup>1</sup>

### **Decommissioning of the uranium processing plant**

As part of the successful modification of the existing mine water treatment plant (AAF) at the former Königstein uranium mine, the uranium removal facility was decommissioned. Up until 2020, as part of the water treatment, uranium was extracted from the mine water using ion exchange and sold as an intermediate product in the nuclear energy chain. As uranium was extracted from the waste water stream there was no need for deposition at the local waste rock dump 'Halde Schüsselgrund'. However, continued operation of the facility was regarded uneconomical as the facility was outdated and completely oversized due to decreasing uranium and heavy metal concentrations in the mine water. With decommissioning of the uranium extraction facility and the last transport of uranium contracted leaving Wismut in 2021, Germany left the group of uranium-producing countries.

### **Dismantling concept**

In accordance with the rehabilitation concept for the Königstein site, the outdated uranium extraction facility and associated silos, pipelines and reservoir systems all had to be dismantled. On the basis of corresponding planning by G.U.B. AG Zwickau, where the dismantling process was divided into more than 40 sub-projects, the necessary licenses could be applied for in 2021. A partial license under the Radiation Protection Ordinance was issued by the regulator (LfULG) on 6th December, 2021. This license covers the demolition and dismantling of all buildings, facilities, basins and pipelines to the ground level. The radiation protection permit for the remediation of the area occupied by these objects will be issued after the plans for implementation have been submitted to the relevant authority.

### **Challenges relating to legislative requirements of habitat protection**

Owing to protected species inhabiting some parts of the facility in question an application was submitted to the Higher Nature Conservation Authority on April 12th, 2021 to grant an exemption under Section 44 of the Federal Nature Conservation Act. This exemption is a prerequisite for approving the special operating plan that was developed or the dismantling process.

Since 2021, extensive inspections, mapping and consultations have taken place in this regard. On this basis, compensation concepts for the necessary measures were drawn up (ChiroPlan office for bats and birds; SWECO GmbH for reptiles and amphibians) and a large number of compensation measures were implemented.

Finally, including the measures for further demolition objects (administrative building, boiler house), replacement quarters for 1.082 bats and 230 birds were found totalling a financial volume of more than 430,000 €.

The species protection exemption for the dismantling of all pipeline routes was sufficient for this, so that the partial approval of the special operating plan by the Saxon mining authority could be granted in November 2022. For the dismantling of the basins in the southern processing area, the species protection exemption was handed out in April 2023.

---

<sup>1</sup> Wismut GmbH

According to species conservation expertise provided by CHIROPAN further compensation measures for bats and protected birds-species were required. In view of extensive compensation measures carried out already (1.332 compensation quarters for birds and bats) amounting to €437.000 Wismut GmbH requested an exceptional species conservation permission from the relevant authority. If this permission is granted planned measures for the northern part of the uranium processing plant and the heat plant may no longer be required as expenses would be disproportionately high.

The operation plan of closure provides the rehabilitation of mining claimed areas and the usage for agricultural purposes in accordance with mining law. That includes the demolition of all of technical facilities and buildings. With the required establishment of compensation measurements, such as species conservation towers and compensation measures at the fronts of buildings that now have to be preserved instead of being demolished, mining law and conservation law pursue conflicting goals.



**Abb. 1** Sorptionskolonne (Ionenaustauscher) der Uranentsorgung

**Fig. 1** Sorption column (ion exchanger) for the uranium processing plant

## References

Planning documents for the project to dismantle the uranium processing plant (unpublished)

## Umbau der Wasserbehandlung in Königstein – Ende der Urangewinnung und Prozessoptimierung zur Gewährleistung des mittel- und langfristigen Wassermanagements

Dr. Ulf Jenk<sup>1</sup>, Nadine Kleditz<sup>1</sup>, Thomas Beyer<sup>1</sup>, René Pesth<sup>1</sup>

### Umbau Wasserbehandlungsanlage

Bei der Sanierung der Uranerzgrube Königstein durch gesteuerte Flutung fallen langfristig kontaminierte Flutungswässer mit sinkenden Uran- und Schwermetallkonzentrationen in einer Menge von mindestens 150 m<sup>3</sup>/h an. Für eine weiterhin technologisch sichere und betriebswirtschaftlich effektive Behandlung der am Standort anfallenden Flutungs-, Oberflächen- und Haldensickerwässer wurde die Aufbereitungsanlage für Flutungswasser (AAF) umgebaut, zentralisiert und technologisch angepasst.

Das Grundkonzept sah eine Optimierung der Prozessstufe Wasserbehandlung auf Grundlage der Kalkfällung mit Beibehaltung der Rückstandsentsorgung unter Wegfall der Prozessstufe Uranentsorgung vor. Die Kalkfällung wurde bezüglich des pH-Regimes optimiert und um zwei Prozessschritte (Eisen-III-Dosierung und Entmanganung) erweitert. Der ehemals vorgeschaltete Schritt der Uranabtrennung durch Ionenaustausch entfällt.



**Abb. 1** Luftbilder der umgebauten AAF (unterer und rechter Anlagenteil), sowie die außer Betrieb genommene Uranabtrennungsanlage (linker Anlagenteil)

**Fig. 1** Aerial view of the converted AAF (bottom and right part of the plant), as well as the decommissioned uranium separation plant (left part of the plant)

<sup>1</sup> Wismut GmbH

Nach knapp vier Jahren Planung durch die Firma Umwelt- und Ingenieurtechnik Dresden GmbH begann der Umbau der AAF im Mai 2018 durch die ARGE Fa. Krause & Co GmbH Neukirchen und Fa. WKS group Dresden. Wesentliche Teilprojekte waren der Bau eines neuen Betriebsgebäudes, einer neuen Trafostation mit Elektro-Werkstatt, einer Prozessstufe zur Entmanganung, die Errichtung eines zusätzlichen, kleineren Hochleistungseindickers, einer schwimmenden Pumpstation sowie die Anpassung der gesamten Infrastruktur der Anlage, einschließlich des Prozessleitsystems.

Die besondere Herausforderung dieses Projektes war der Umbau bei laufendem Betrieb der AAF und parallelen Arbeiten zur Neuausrichtung des Standortes, wie der Bau des Funktionalgebäudes (Büros, Kantine, Labor, Umkleiden, etc.), der Umbau der Flächenentwässerung und Betriebsstraßen sowie verschiedener Rückbaumaßnahmen.

### **Probetrieb der umgebauten AAF**

Nach Fertigstellung der Umbauten und der Anbindung an bestehende Anlagenkomponenten im Februar 2020 begann der Probetrieb 1 für den zukünftigen Regelbetrieb. Dabei wurden 150 bis 200 m<sup>3</sup>/h Flutungswasser und zusätzlich bis zu 100 m<sup>3</sup>/h kontaminiertes Oberflächenwasser behandelt. Nach der behördlichen Abnahme des ersten Probetriebes folgten der weitere Umbau und der Probetrieb 2 für den Ausnahmebetrieb (Behandlung von 500 m<sup>3</sup>/h Flutungswasser und zuzüglich bis zu 150 m<sup>3</sup>/h kontaminiertes Oberflächenwasser).

Die behördliche Abnahme des Probetriebes der umgebauten AAF erfolgte am 10.08.2021 durch das Sächsische Oberbergamt und die Landesdirektion Sachsen. Durch das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie wurde im September 2021 separat die strahlenschutzrechtliche Zustimmung für den Dauerbetrieb der Wasserbehandlung gegeben.

Mit dem Umbau der AAF wurde eine wesentliche Voraussetzung geschaffen, die Wasserbehandlung am Standort in den kommenden 2 Jahrzehnten sicherzustellen sowie die vollständige Flutung der Grube zu ermöglichen. Zudem endete mit Beginn des Probetriebes die separate Uranabtrennung. Damit konnte deutschlandweit die letzte Urangewinnungsanlage außer Betrieb genommen und für den Rückbau vorbereitet werden.

### **Fortlaufende Prozessoptimierung**

Auch nach erfolgreicher Überführung in den Dauerbetrieb bleibt die Aufgabe der stetigen Prozessoptimierung bezüglich der sich in Menge und Zusammensetzung ändernden Flutungs- und Oberflächenwässer sowie dem effizienten Einsatz von Betriebsmitteln bestehen.

Seit der Inbetriebnahme konnte die Eisen(III)-Dosierung sowie die zur Radiumfällung eingesetzte Menge an Bariumchlorid um 50 % reduziert werden. Dabei wurden sowohl die Einhaltung der Überwachungswerte am Ablauf der Wasserbehandlung vor der Abgabe in die Elbe als auch die chemische Beständigkeit der festen Rückstände (entwässerter, uran- und schwermetallhaltiger Eisenhydroxidschlamm) verdichtet überwacht. Aktuell erfolgt die Optimierung der Prozessstufe Entmanganung hinsichtlich der Chemikaliendosierung und Reaktionszeit zur Bildung größerer Braunsteinflocken und der Wirkung verschiedener Scheibenfiltertücher zur Erhöhung der Abtrennungsleistung.

### **Literatur**

Ulf Jenk, Thomas Beyer, Reinhard Raschke, Stephan Röder (2019) Umbau der Aufbereitungsanlage für Flutungswasser (AAF) – Grundlage für den Abschluss der Grubenflutung und Sanierung des Standortes Königstein. Proceedings des 4. Internationalen Bergbausymposiums WISSYM 2019

## Modification of the water treatment plant at the former Königstein uranium mining site – terminating uranium extraction and process optimization to ensure medium and long-term water management

Dr. Ulf Jenk<sup>1</sup>, Nadine Kleditz<sup>1</sup>, Thomas Beyer<sup>1</sup>, René Pesth<sup>1</sup>

### Modification of water treatment plant

As part of remediating the closed Königstein uranium ore mine by controlled flooding, contaminated water from the flooded mine void displaying declining concentrations of uranium and heavy metal will have to be treated at volumes of at least 150 m<sup>3</sup>/h for the next few decades. The existing treatment plant (AAF) had to be modified adapt to changing water chemistry and volumes in order to ensure reliable and economical future treatment of the mine water as well as surface runoff from contaminated areas and seepage from mine waste deposits.

The basic concept for modifying the existing water treatment plant included the continuation of lime precipitation together with the disposal of associated residues and the dismantling of the uranium extraction unit. The lime precipitation process was optimized with regard to the pH regime and two more process steps added (iron-III-addition and manganese removal). The previous step of extracting uranium by ion exchange is no longer necessary.



**Abb. 2** Neutralisationsstufe der Wasserbehandlungsanlage, im Hintergrund die beiden Kalksilos  
**Fig. 2** Neutralisation stage of the water treatment plant, with the two lime silos in the background

---

<sup>1</sup> Wismut GmbH

After almost four years of planning by Umwelt- und Ingenieurtechnik Dresden GmbH, the modification of the AAF began in May 2018 conducted by Krause & Co GmbH Neukirchen and WKS Group Dresden. Sub-projects also included the construction of a multipurpose office building for Wismut, a new transformer station together with a workshop for electrical repairs, the process stage for removing manganese, the construction of an additional, smaller thickener for sedimentation of iron sludge, a floating pump station and the adaptation of the entire infrastructure of the plant, including the process control system.

The special challenge was to implement the modifications while the AAF was in operation with construction work simultaneously being carried out to across the entire site including the construction of the multipurpose office building (offices, changing rooms, canteen and laboratory), the modification of the surface drainage systems and service roads as well as the demolition of various smaller objects.

### **Trial operation of the modified AAF**

After completion of the alterations and their connection to the existing system components in February 2020, the trial phase 1 to test routine operation began. During that phase, 150 to 200 m<sup>3</sup>/h of mine water and plus up to 100 m<sup>3</sup>/h of contaminated surface runoff were treated. After successful completion of the trial run and the regulatory approval, further modifications were implemented and a second trial run (no. 2) conducted to test the plant under exceptional loads (treatment of 500 m<sup>3</sup>/h of mine water and up to 150 m<sup>3</sup>/h of contaminated surface water).

The official approval of the modified AAF was granted 10<sup>th</sup> August 2021 by the Saxon Mining Authority and the Saxony State Directorate. In September 2021, the State Authority for the Environment, Agriculture and Geology issued a separate radiation protection permit for the continued water treatment.

By modifying the AAF the continuation of water treatment for next two decades was assured enabling to complete the flooding of the mine. Uranium extraction was terminated at the beginning of the trial runs by decommissioning the last operational uranium extraction plant in Germany and preparing it for dismantling.

### **Ongoing process optimisation**

After the successful transfer of the modified AAF into routine operation efforts continue to optimize the treatment process in response to changing volumes and quality of the treated mine and surface water to ensure cost-efficient operation.

Since commissioning the modified plant, the iron(III)-addition and the amount of barium chloride used for radium precipitation have been reduced by 50%. The compliance of associated monitoring values measured at the outlet of water treatment before the effluent is discharged into the Elbe river and the chemical inertness of the solid residues (dewatered iron hydroxide sludge containing uranium and heavy metals) were closely monitored. The manganese removal process stage is currently being optimised with regard to consumption of chemicals and reaction time for the formation of larger manganese dioxide flakes and improved efficiency of various disc filter cloths to increase the separation performance.

### **References**

Ulf Jenk, Thomas Beyer, Reinhard Raschke, Stephan Röder (2019) Umbau der Aufbereitungsanlage für Flutungswasser (AAF) – Grundlage für den Abschluss der Grubenflutung und Sanierung des Standortes Königstein. Proceedings des 4. Internationalen Bergbausymposiums WISSYM 2019

## **Einfluss von Mikroben auf die Uran-Reduktion in Grubenwässern ehemaliger Uranminen – eine Perspektive für die Sanierung**

Evelyn Krawczyk-Bärsch<sup>1</sup>, Antonio Newman-Portela<sup>2</sup>, Andrea Kassahun<sup>3</sup>, Mohamed L. Merroun<sup>2</sup>, Johannes Raff<sup>1</sup>

Die Kontamination der Umwelt durch Schwermetalle und Radionuklide ist eine der größten Herausforderungen, die es weltweit zu lösen gilt. Im ehemaligen Uran-Bergwerk der Wismut GmbH Schlema-Alberoda (Sachsen, Deutschland) wird das Uran-kontaminierte Grubenwasser an die Oberfläche gepumpt, wo es in einer konventionellen Wasseraufbereitungsanlage behandelt wird, da trotz der Sanierung durch Flutung noch gewisse Mengen an Uran (1 mg/L) und anderen Wasser-schadstoffen gefunden werden können.

Mikrobiologische Untersuchungen des Grubenwassers mittels 16S rRNA-Gen-Sequenzierung ergaben eine mikrobielle Gemeinschaft, die durch eine relative Häufigkeit einheimischer mikrobieller Gruppen mit U(VI)-Reduktionsvermögen (z. B. sulfat-, schwefel- und eisenreduzierende Bakterien) gekennzeichnet ist. Aus früheren Studien ist bekannt, dass mikrobielle Kreislaufprozesse einen erheblichen Einfluss auf die vollständige enzymatische Reduktion von löslichem U(VI) zu U(V) und U(IV) durch die Zugabe eines Elektronendonators in gering Uran-kontaminiertem Grubenwasser haben. In unseren Experimenten wurde eine Reihe von anoxischen Mikrokosmen mit Grubenwasser mit Glycerol (10mM) als Elektronendonator ergänzt. Die Überwachung des Redoxpotentials, des pH-Wertes und der Konzentration von Uran, Eisen, Arsen und Sulfat ergab nach vier Monaten einen erheblichen Rückgang der Uran-Konzentration um bis zu 98 % sowie von Eisen um bis zu 91 % und Sulfat um bis zu 88 %, begleitet von einer signifikanten Änderung des Redoxpotentials.

Ein mit Geochemist's Workbench berechnetes thermodynamisches Eh-pH-Dominanzdiagramm sagte die Reduktion von U(VI) und die Bildung eines festen Uran(IV)-Minerals voraus. Die schwarzen Präzipitate, die sich während der Experimente bildeten, wurden spektroskopisch analysiert. Die erweiterte Röntgenabsorptionsfeinstruktur (EXAFS) weist auf die Bildung von immobilem Uraninit als Uran(IV)-Festphase hin. Mit Hilfe der hochenergieauflösenden Fluoreszenz-detektierten Röntgenabsorptions-Nahkantenstrukturanalyse (HERFD-XANES) konnte sogar Uran(V) identifiziert werden, ein sehr instabiles Zwischenprodukt bei der Reduktion von Uran(VI) zu Uran(IV), über das in Umweltproben nur wenig bisher berichtet wurde. Experimente zur Kinetik der Uran-Reduktion zeigen eine vollständige Reduktion von Uran(VI) nach 4 Wochen nach Zugabe von 10 mM Glycerol bei Entstehung von Uran(V) und Uran(IV) mit einem Anteil von ca. 40%, bzw. 60%. Bei Untersuchungen der Präzipitate mit Elektronenmikroskopie und energiedispersiver Röntgenstrahlung (REM/EDXS) konnte die Bildung von Calcitkristallen und Uran-Nanopartikel auf der Oberfläche dieser Kristalle nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die einheimischen mikrobiellen Gemeinschaften im Grubenwasser in der Lage sind, die Speziation und den Redoxzustand des löslichen Uran(VI) in unlösliches Uran(V) und Uran(IV) umzuwandeln. Die *in-situ*-Biostimulation von Mikroorganismen könnte somit eine umweltfreundliche Strategie zur Sanierung von Uran-kontaminiertem Grubenwasser durch Bioreduktion darstellen und die chemische Behandlung von Grubenwasser vor Ort unterstützen.

---

<sup>1</sup> HZDR

<sup>2</sup> UGR Granada

<sup>3</sup> Wismut GmbH

## Impact of microbes on U reduction in mine water of former U mines – a remediation perspective

Evelyn Krawczyk-Bärsch<sup>1</sup>, Antonio Newman-Portela<sup>2</sup>, Andrea Kassahun<sup>3</sup>, Mohamed L. Merroun<sup>2</sup>, Johannes Raff<sup>1</sup>

Environmental pollution by heavy metals and radionuclides is one of the biggest challenges which have to be solved globally. In the former U mine of the Wismut GmbH Schlema-Alberoda (Saxony, Germany), mine water is pumped to the surface, where it is treated by a conventional water treatment plant since certain amounts of Uranium (1 mg/L) and other water pollutants can still be found despite remediation by flooding.

Microbiological studies of the mine water, using 16S rRNA gene sequencing, revealed a microbial community, which is characterized by a relative abundance of indigenous microbial groups with Uranium(VI)-reduction ability (e.g., sulfate-, sulfur- and iron-reducing bacteria). From previous studies it is known that microbial cycling processes have a significant impact on the complete enzymatic reduction of soluble Uranium(VI) to Uranium(V) and Uranium(IV) by the addition of an electron donor in low Uranium contaminated mine water. In our experiments, a set of anoxic microcosms with mine water were supplemented with glycerol (10mM) as electron donor. The monitoring of the redox potential, pH and the concentration of Uranium, Iron, Arsenic and Sulphate revealed a substantial decrease of the Uranium(VI) concentration of up to 98 %, as well as Iron with up to 91% and Sulphate up to 88% after four months, accompanied by a significant change of the redox potential.

A thermodynamic Eh-pH dominance diagram calculated using Geochemist's Workbench predicted the reduction of Uranium(VI) and the formation of a solid Uranium(IV)-mineral. The black precipitates, which were formed during the experiments, were analyzed spectroscopically. Extended X-ray absorption fine structure (EXAFS) indicates the formation of immobile uraninite as a Uranium(IV) solid phase. By means of high-energy-resolution fluorescence-detected X-ray absorption near-edge structure (HERFD-XANES) it was even possible to identify Uranium(V), a highly unstable intermediate in the reduction of Uranium(VI) to Uranium(IV) and poorly reported in environmental samples. Experiments on the kinetics of Uranium reduction show a complete reduction of Uranium(VI) after 4 weeks after the addition of 10 mM glycerol with the formation of Uranium(V) and Uranium(IV) with a proportion of about 40% and 60%, respectively. Examination of the precipitates by electron microscopy and energy dispersive X-ray (SEM/EDXS) showed the formation of calcite crystals and Uranium nanoparticles on the surface of these crystals.

The results reveal that the indigenous microbial communities in mine waters are able to modify the speciation and redox state of the soluble U(VI) to insoluble Uranium(V) and Uranium(IV). The *in-situ* biostimulation of microorganisms could thus offer an eco-friendly water remediation strategy for the management of Uranium contaminated mine water through bioreduction and could support chemical *on-site* mine water treatments.

---

<sup>1</sup> HZDR

<sup>2</sup> UGR Granada

<sup>3</sup> Wismut GmbH

## Innovative Ansätze auf dem Weg zu einem zukunftsfähigen Sanierungsbergbau

Frank Lange<sup>1</sup>

Während essenzielle Lebenspfade vom Trinkwasser bis zu arbeitsmedizinischen Anforderungen und darüber hinaus infolge Erkenntnisgewinn, aber auch infolge sinkender Nachweisgrenzen, zu immer weiterer Minimierung von Grenzwerten, Richtwerten, Handlungswerten tendieren, verharrt der radiologische Umweltsektor auf dem Niveau des vermeintlich Machbaren. Nach 35 Jahren Realisierung von Fachstellungnahmen und örtlichen Anhörungsverfahren zu den Sanierungsprojekten, der Begleitung der Strahlenschutzgesetzgebung und des Berichtswesens (zur REI-Bergbau u.a.); aus Petitionen, Widerspruchsverfahren, kleinen und großen Anfragen in Land- und Bundestag, Behördenanfragen von der Landkreisebene bis zum Bundeswirtschaftsministerium zieht der Kirchliche Umweltkreis Schlussfolgerungen zum Thema Nachnutzung und Nachhaltigkeit der Sanierung. Das BbergG aus dem Jahre 1982 (!) verhindert Innovation durch fehlende „klarstellende Schnittstellen zur Beachtung von umwelt- und naturschutzrechtlichen Anforderungen“ [1], die den Umwelt- und Ressourcenschutz so unzureichend berücksichtigen, dass Bergbau/Sanierungsbergbau in urbanen Gebieten durch die Kollision mit der in den letzten Jahrzehnten entstandenen Umweltgesetzgebung kaum wirtschaftlich sowie gesellschaftlich immer weniger akzeptabel geworden ist und ständiger juristischer Konfrontationen als „Regelglied“ bedarf. Berg- und Strahlenschutzrecht blockieren nachhaltige Sanierungsmaßnahmen u.a. durch restriktive, entweder zu wenige oder zu uneffektive Verfahrensbeteiligungen und ungeeignete Expositionsvorgaben.

Abb. 1: Schemata zur nachhaltigen Uranbergbausanie rung



Gefragt ist ein Prinzip des Ineinandergreifens von Berg- und Umweltrecht. Stellvertretend enthält die Tabelle 1 Vorschläge für den Uran-Sanierungsbergbau, die bewährte Strahlenschutzparameter für objektive (Alt)Standort-Bewertungen aktivieren [2]. Der Erfahrungsfundus des Kirchlichen Umweltkreises Ronneburg, geboren aus dem Widerstand gegen tödliche Langzeitfolgen der sogenannten natürlichen Radioaktivität, forciert weder rein umweltbewegte Minimierungen, noch die Reduzierung von Sanierungsberechtigungen auf „händlerbare“ Bevölkerungswerte der Strahlenexposition und auch nicht die Ausklammerung bzw. Vernachlässigung des Radonproblems.

<sup>1</sup> Kirchlicher Umweltkreis Ronneburg (Skript-Beitrag zum 5. Internationale Bergbausymposium WISSYM 2023)

## Nachhaltigkeit und Nachnutzung in Bergbaufolge, insbesondere der Uranbergbausanierung

Der nachhaltige Umgang mit natürlichen Ressourcen ist Bestandteil der 17 UN-Nachhaltigkeitsziele aus der Agenda 30 der Vereinten Nationen. Der sich aus der Komplexität anthropogener Einflussnahme ableitende Spagat zwischen Wirtschaftlichkeit, Langzeitsicherheit und Nachnutzung summiert sich zum zeitgemäßen Sanierungsziel für Bergbaufolgeprojekte. *Wettbewerb* und *Eigennutz* konkurrieren mit *Kooperation* und *Gemeinwohl*. Bisherige Sanierungsstrategien entwickelten sich von der einfachen örtlichen Gefahrenabwehr, diversen Verwahrungsvarianten über die Einbeziehung von Umgebungsbelastungen

*hin zu differenzierten Sanierungsgraden. Hier gilt es, einen Sanierungsbergbau auf das Ziel Kooperation und Gemeinwohl umzustellen. Dabei sind Entwicklung und Änderungen im technologischen, administrativen und gesetzlichen Zuständigkeitsbereich unerlässlich. Technologisch bildet die Langzeitsicherheit die größte Herausforderung, wobei unkomplizierte, stabile und energiearme Systeme gefragt sind. Administrative Defizite bestehen betreffs Verbleibs aus früherer Verwendung radioaktiver Bergbaumaterialien in der Bauwirtschaft und generell im Umgang mit bekannten und nachträglich bekanntwerdenden Uran-Altstandorten. Nicht sanierte oder nicht erfasste Flächen, beeinflussen zunehmend die Sanierungsergebnisse negativ. Verantwortliche Behörden und Verwaltungen auf Landesebene gehen davon aus, dass für auftretende Folgeprobleme der Sanierung oder der Altstandorte die gesetzlichen Vorgaben des Bundes nicht ausreichen. Der Spielraum der EURATOM 2023/59,*

*Referenzwerte zu schaffen, die sowohl Strahlenschutz als auch gesellschaftliche Anforderungen berücksichtigen, wurde in Deutschland negiert. Probleme, die sich aus der radioaktiven Vorbelastung von Grundstücken nach Rechtsträgerwechsel „neu“ ergeben, gehen zu Lasten der jeweiligen Eigentümer, juristisch sind das „Verhaltens- und Zustandsverantwortliche“. Die Uranbergbaufolgen werden im StrSchG auf dem gesetzlichen Niveau der VOAS der DDR gehandhabt, ja diesen Standard aus den 70iger Jahren des vorigen Jahrhunderts in Bezug auf die Bewertung der radioaktiven Potentiale gar noch unterschreiten. Handlungsbedarf leitet sich schon aus der Tatsache ab, dass in Sachsen seit 20 Jahren ein radioaktives Restpotential mit einem Gesamtvolumen von etwa 75 Mio. m<sup>3</sup> nachsaniert wird, während in Thüringen 120 Mio. m<sup>3</sup> „unbeanstandet“ der Vergessenheit anheimfallen. Aktuell bleiben auch Bachsedimente mit 3,3 Bq/g Radium-226 und mehr unbeanstandet. Da wurden schon Halden mit deutlich geringerem Potential saniert. Die obersten Boden-*

Tab.1: Empfehlung von Bewertungskriterien für alte Uranstandorte

Kriterium	Bewertungskriterien für Altlastgebiete des Uranbergbau
<b>spezifische Aktivitäten, Bodenaktivität</b>	> 0,2 Bq/g Bodenaktivität als Schwellen-/Handlungswert; im Rahmen der Gesamtbetrachtung einen spezifischen Grenzwert ≤ 1,0 Bq/g ortsbezogen festlegen; spezifische Bedingungen beachten (z.B. Pyrit)
<b>spezifische Aktivität Wasser/Sckerwasser</b>	sinnvolle Toleranzgrenzen: < 0,12 Bq/l Ra-226 < 1,7 Bq/l U-238 ≤ 10 µg/l U <sub>nat</sub> Summenformel aller Nuklide ≤ 1,0
<b>Ortsdosisleistung ODL (nSv/h)</b>	Für Bebauung und/oder intensiver Nutzungsart < 100 m: maßgebliches ODL-Niveau (z.B. 80%-ODL-Wert) oder ODL-Schwerpunkte der Altlast ermitteln.  Für Bebauung und/oder intensiver Nutzungsart > 100 m bzw. untergeordnete Nutzungsart < 100 m: ODL auf Altlast > 50%-Überschreitung gegenüber Hintergrund-ODL als Schwellen-/ Handlungswert
örtliche und gesellschaftliche Relevanz	Bedeutung für Infrastruktur, Erholungswesen, Wasserhaushalt u.a.; spezifische Anforderungen im Territorium; Zustand der Altlast (z.B. Abdeckung, rad. Potential u.a.)
Fläche/ Volumen des Altstandortes	flächen- und größenunabhängige Bewertung der Altlast
Nutzungsart	besonders relevant < 100 m im Umfeld sowie spezifisch Faktoren
Typ/Art der Altlast	Halden, Tailings alter IAA, Stollen etc.
<b>Radon Außenluft</b>	örtliche Belastung abzüglich geogenen Hintergrund ermitteln
<b>sonstige bergbaubedingte Belastung</b>	signifikante hydrologische and hydro-chemische Parameter (Schwermetall- und Salzbelastung des örtlichen Wasserhaushaltes) Biopfad < 1 Bq/kg Kulturpflanzen und < 10 Bq/kg Futterpflanzen, Gras
<b>Summe</b>	Belastungspfade zusammenfassen
<b>Schlussfolgerungen</b>	Festlegungen zum Handlungsbedarf und zulässige Aufenthaltszeiten ermitteln

POSTERBEITRÄGE  
POSTER CONTRIBUTIONS

---

schichten von Feldern im Umfeld früherer Grubenlüfter-Standorte weisen die doppelten Radionuklidkonzentrationen der Uranreihe gegenüber ihren Unterschichten auf. Moderner Sanierungsbergbau ist nicht auf das Umweltmonitoring atmosphärischer Radonmesspunkte und Urankonzentrationen an großen Vorfluteinleitungen zu begrenzen. Der Handlungsbedarf sprengt immer den Rahmen der möglichen Leistungsfähigkeiten, was zu einem Überwachungssystem führen sollte, das Stichproben und einfache Kriterien mit komplexer regionaler Überwachung dieser Standorte verbinden sollte und Prioritäten zulässt. Als zukunftsweisende Messlatte können die radiologisch, chemisch, hydrologisch, geochemisch und letztlich naturschutz- und landschaftskulturell einzubeziehenden Belange dienen, die die sächsische Sanierungskommission zur Prioritätensetzung der Altlaststandorte anwendet. In jedem Fall ist die Sensibilisierung der Prüf- und Bewertungskriterien erforderlich, die administrativen Praktiken z.B. der von der SSK wiederbelebten Radonnormalität von  $80 \text{ Bq/m}^3$  in atmosphärischer Luft entgegenzusetzen ist. Derartige Standards erhöhen keine Nachnutzung, sondern verhindern sie. Sinnvolle Standardkorrekturen zur Langzeitsicherung (Tabelle 1) bewirken noch keine Erweiterung bisheriger Nutzungsbeschränkungen, wären aber ein wichtiger Schritt in Richtung nachhaltiger innovativer Nutzung.

[1] „Entwicklung und Herausforderung aus Sicht des Umwelt- und Ressourcenschutzes“, UBA-Mitteilung vom 28.02.22

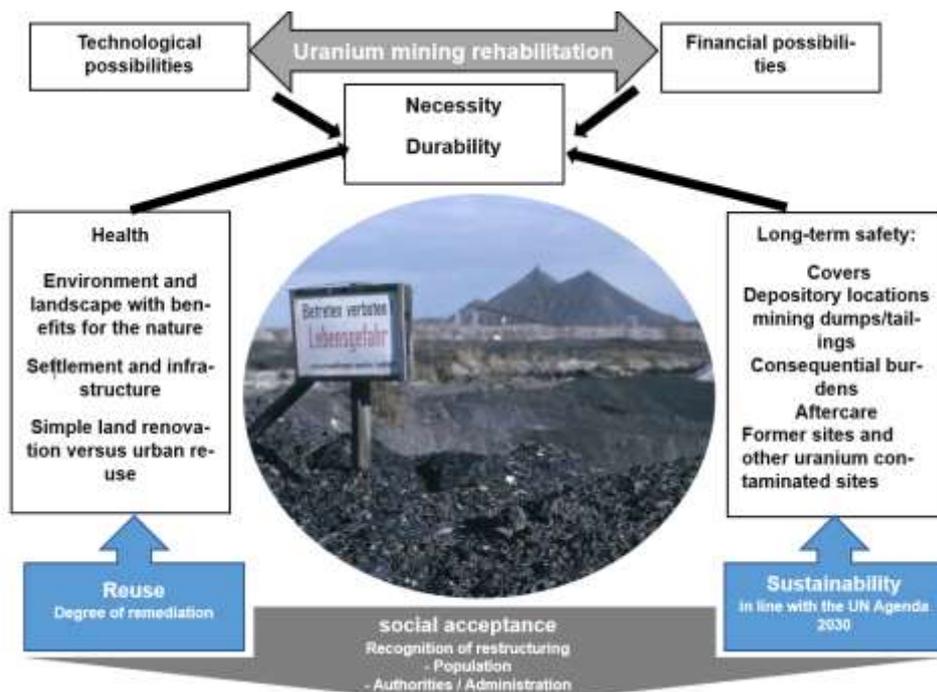
[2] Frank Lange (2016) „Konkretere Bewertungskriterien für Uranbergbaualllasten“ Strahlentelex Nr. 714-717 vom 06.10.2016, S. 3-14

# Innovative approaches on the way to sustainable remediation mining

Frank Lange<sup>1</sup>

While the essential life paths from drinking water to occupational health requirements and beyond tend to a continuous minimization of limiting values, guideline values and action values as a result of knowledge gains and decreasing detection limits, the radiological environmental sector remains at the level of what is supposedly feasible. After 35 years of implementing expert opinions and local consultation procedures on the renovation projects, observing radiation protection legislation and the reporting system (on REI mining, etc.); filing petitions, opposition proceedings, small and large inquiries in the state and federal parliament, inquiries from authorities from the district level to the Federal Ministry of Economic Affairs (BMWI), our association *Kirchlicher Umweltkreis* draws conclusions on the topic of reuse and sustainability of the renovation projects. The German legislation on mining (BbergG) from 1982 (!) prevents innovation through the lack of "clarifying interfaces for compliance with environmental and nature conservation requirements" [1], which neglects environmental and resource protection. The consequence is that mining/remediation mining in urban areas has hardly become economically and socially even less acceptable due to the collision with the environmental legislation that has emerged in

Fig. 1: Schemes for sustainable uranium mining rehabilitation



recent decades and requires constant legal confrontations as a "rule link". The German Mining and radiation protection law (StrSchG) blocks sustainable remediation measures, e.g. through restrictive, either too scarce or too ineffective procedural participations and unsuitable exposure requirements. The interlocking of mining and environmental law is imperative. The table 1 contains representative proposals for uranium remediation

mining, which activate proven radiation protection parameters for objective (old) site assessments [2]. The wealth of experience of our association stemming from of the resistance against deadly long-term consequences of so-called natural radioactivity, forces neither purely environmentally motivated minimizations, nor the reduction of remediation rights to "manageable" population values of radiation exposure and also not the exclusion or neglect of the radon problem.

<sup>1</sup> Kirchlicher Umweltkreis Ronneburg (Environmental Society of the town of Ronneburg) (Script for the 5<sup>th</sup> International Mining Symposium WISSYM 2023)

## Sustainability and post-mining reuse, in particular uranium mining rehabilitation

The sustainable use of natural resources is part of the 17 UN Sustainable Development Goals from the Agenda 30 of the United Nations. The balancing act between economic efficiency, long-term safety and subsequent use, which results from the complexity of anthropogenic influence, adds up to the contemporary remediation goal for post-mining projects. *Competition* and *self-interest* compete with *cooperation* and the *common good*. Previous remediation strategies have developed from simple local hazard prevention, various storage variants to the inclusion of environmental pollution finally to differentiated degrees of remediation. *In this regard it is important to convert a remediation mine to the goal of cooperation and the common good. Development and changes in technological, administrative and legal responsibilities are essential. Technologically, long-term safety is the biggest challenge, whereby uncomplicated, stable and low-energy systems are required. Administrative deficits exist with regard to the whereabouts of the earlier use of radio-*

*active mining materials in the construction industry and generally in dealing with known and subsequently known uranium sites.* Areas that have not been rehabilitated or not recorded are increasingly having a negative influence on the results of remediation. The responsible authorities and administrations at the state level assume that the *legal* requirements of the federal government are not sufficient for any follow-up problems of remediation or old sites. Germany did refuse any leeway of EURATOM 2023/59 to create reference values that take into account both radiation protection and social requirements. Problems arising from the radioactive contamination of properties which are "new" after a change of legal entity are at the expense of the respective owners, since these are legally "responsible for behaviour and conditions". The uranium mining consequences are handled in the German legislation on the protection from radiation (StrSchG) at the legal level of the legislation from the German Democratic Republic (VOAS), even below this standard from the 70s of the last century with regard to the evaluation of radioactive potentials. The

fact that in the federal state of Saxony a radioactive residual potential with a total volume of about 75 million m<sup>3</sup> has been rehabilitated for the last twenty years, while in the federal state of Thuringia 120 million m<sup>3</sup> are prone to remain in oblivion accentuate the need for action. Currently, stream sediments with 3.3 Bq/g radium-226 and more remain unchallenged. Dumps with significantly lower potential have already been rehabilitated. The uppermost soil layers of fields in the vicinity of former ventilator sites have twice the radionuclide concentrations of the uranium series compared to their sublayers. Modern remediation mining cannot be limited to the environmental monitoring of atmospheric radon measuring points and uranium concentrations at large receiving water discharges. The need for action is always beyond the scope of possible capabilities, which should lead to a monitoring system that would combine the collection of samples and simple criteria with a complex regional monitoring of these sites and allow

Tab. 1: Recommendation of evaluation criteria for ancient uranium sites

Criterion	Assessment criteria of contaminated sites of uranium mining
Specific activity of the soil	> 0,2 Bq/g threshold/ action value with limit value or reference value ≤ 1,0 Bq/g
Specific activity water and leachate	possible tolerance limits: < 0,12 Bq/l Ra-226 < 1,7 Bq/l U-238 ≤ 10 µg/l U <sub>nat</sub> Sum all nuclids ≤ 1,0
Ambient dose rate (ADR) threshold/ action value (nSv/h)	direct near of utility/residential buildings and/or intensive type of use < 100 m: ADR 80% median value, problem areas utility/residential buildings > 100 m and/or low intensity of use < 100 m: ADR-value above 50% background exposure
local and social relevance	Infrastructure, recreation, water balance, specific requirements in the area, uranium contaminated sites
area/volume	independent of area and volume
Type of use	specific factors, especially in the case of < distance of 100m
Type of contaminated site	dumps, old tailings and others
Radon in outdoor air	Determine local radon exposure minus geogenic background
other mining-related burdens	Significant hydrological and hydro-chemical parameters Bio-path < 1 Bq/kg
Sum	Summarize stress paths
Inference	Specification of the need for action; Permitted period of stay

POSTERBEITRÄGE  
POSTER CONTRIBUTIONS

---

priorities. The radiological, chemical, hydrological, geochemical and ultimately nature conservation and landscape cultural concerns that the Saxon Remediation Commission applies to prioritise contaminated sites can serve as a forward-looking standard. In any case, it is necessary to raise awareness of the test and evaluation criteria to counter administrative practices, e.g. the radon normality of 80 Bq/m<sup>3</sup> in atmospheric air revived by the German Commission on the Protection from Radiation (SSK). Such standards do not increase reuse, but rather prevent it. Meaningful standard corrections for a long-term protection (see table 1) do not yet extend previous usage restrictions, but would be an important step towards sustainable innovative use.

[1] "Development and challenge from the perspective of environmental and resource protection", UBA press release of 28.02.22

[2] Frank Lange (2016) „More specific evaluation criteria for uranium mining sites" Strahlentelex Nr. 714-717 pp.03-14

## Wasserbehandlung im Zuge der Sanierung der Thüringer Absetzanlagen – Rückblick, Risiken und Restlaufzeiten

Dr. Jan Laubrich<sup>1</sup>, Sabine Wiesener<sup>1</sup>

Die Wasserbehandlungsanlage Seelingstädt wurde 2002 für die Sanierung der Absetzanlagen Culmitzsch und Trünzig neu errichtet. In einer Rückschau kann auf die mehr als 20jährige Betriebsdauer reflektiert werden. Änderungen in den Anforderungen und daraus abgeleitet notwendige technologische Anpassungen stehen dabei im Zentrum der Betrachtung.

Aus der Sanierung der Absetzanlagen ergaben sich die Anforderungen, anfallende Sickerwässer bzw. über Brunnengalerien gefasste Poren- und Grundwässer einerseits aufzubereiten, und andererseits schrittweise den Freiwasserspiegel auf den Absetzanlagen abzusenken. Um beide Aufgaben gleichermaßen zu bewerkstelligen, war eine permanent hohe Auslastung der Anlage notwendig. Hieraus rührten Maßnahmen zur Erhöhung der Betriebssicherheit und Erhöhung der Kapazität. Ab 2014 verschob sich der Schwerpunkt zunehmend in Richtung Behandlung saliner Porenwässer. Dieser Trend spiegelt sich besonders deutlich in den erhöhten Werten der Leitfähigkeit im Anlagenzulauf wider. Darüber hinaus galt es, sich auf einen prognostiziert erhöhten Anteil stark eisenhaltiger Porenwässer vorzubereiten. Anlagentechnisch wurde auf diese geänderte Anforderung durch die Errichtung einer Anlage zur Vorbehandlung zur Enteisung reagiert. Gegenüber den um 2000 gemachten Planansätzen sind avisierte Laufzeit und Behandlungsumfänge deutlich überschritten. Aktuelle Herausforderung ist es, auf den damit verbundenen hohen Anlagenverschleiß zu reagieren. Andere gegenwärtig in Vorbereitung bzw. in Umsetzung befindliche Maßnahmen (Umstellung auf Fernbedienung, Dünnschlammmitbehandlung in der WBA Ronneburg, Versuch Schlammrezyklierung) dienen vorrangig der Steigerung der Effizienz und Minimierung von Risiken in der Bestandsanlage.

Rückwirkend lassen sich folgende Meilensteine im Betriebsgeschehen der Anlage bzw. mit Auswirkungen auf Zulaufströme erkennen:

Jahr	Maßnahme	Erläuterung
2007	Inbetriebnahme WBA Ronneburg	Salzlaststeuerung Weiße Elster – Austeuerung Grenzwerte Weiße Elster ab 2007 unter Berücksichtigung beider Anlagen
2011	Umstellung auf Direktfahrweise	Senkung Energieverbrauch
2011	Beginn Abgabe Wasser Lokhalde über Scheibenfilter	Verkleinerung Einzugsgebiet, Schaffung Kapazitäten für Freiwasserabsenkung IAA Culmitzsch, Reduzierung der Behandlungsmengen
2012	Abgabe Oberflächenwasser Trünzig	Verkleinerung Einzugsgebiet, Reduzierung der Behandlungsmengen
2012	Versuch Durchsatzerhöhung	Erhöhung Behandlungskapazität
2012	Brauchwassereinspeisung Culmitzsch	Salzlaststeuerung – Stabilisierung und Auslastung der Anlage bei Niedrigwasserführung
2013	Genehmigung Durchsatzerhöhung	Erhöhung Behandlungskapazität
2013	Vorstrippung	Sicherstellung Anlagenkapazität in Wintermonaten
2015	Bau Enteisungsanlage	Vorbehandlung Eisenhaltiger Porenwässer – Stabilisierung Anlagenbetrieb

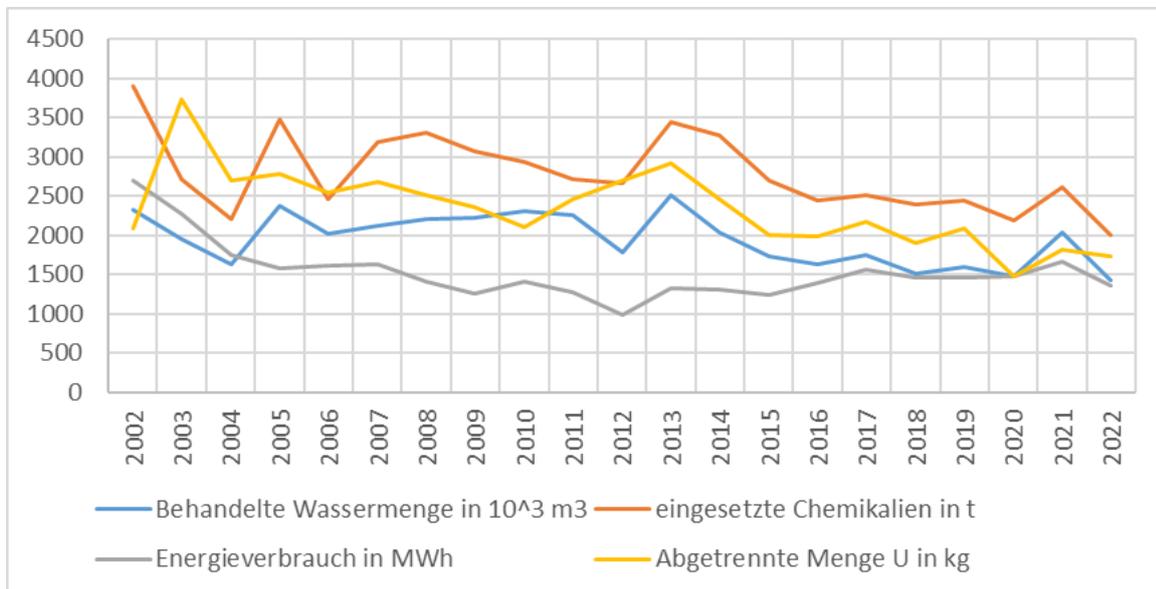
<sup>1</sup> Wismut GmbH, Projekt Hydroanlagen Bereich Sanierung Ronneburg

POSTERBEITRÄGE  
POSTER CONTRIBUTIONS

2017	Energiedatenerfassung und Versuche zur energetischen Optimierung	Senkung Energieverbrauch
2018	Generalinstandsetzung	Sicherstellung Anlagenbetrieb für verlängerte Nutzungsdauer
2022	Versuch Dünnschlammmitbehandlung in WBA Ronneburg	Sicherstellung Anlagenbetrieb – Test einer Rückfallvariante
2023	Versuch Schlammrezyklierung	Reduzierung Chemikalieneinsatz
2023/2024	Umstellung auf Fernbedienung	Optimierung Anlagenbetrieb

Bislang wurden in der Wasserbehandlungsanlage Seelingstädt 40.914.000 m<sup>3</sup> Wasser behandelt. Im Ergebnis wurden ca. 50 t Uran abgetrennt, hierbei sind 36.862 m<sup>3</sup> Immobilisat entstanden. Hierfür wurden bislang rund 59.000 t Chemikalien (rund 29.000 t HCl, rund 4.600 t Kalk, rund 19.000 t Zement, rund 6.300 t FeCl<sub>3</sub>-Lösung) und 32.100 MWh elektrische Energie eingesetzt. Insbesondere Zement und Kalk tragen erheblich zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck bei.

Gerade die Ergebnisse der letzten Jahre verdeutlichen das Risikopotential des Chemikalieneinsatzes sowohl in wirtschaftlicher Sicht (schwer kalkulierbare Preisentwicklung) als auch technischer Sicht (Lieferengpässe, sinkende Verfügbarkeit). Im Hinblick auf eine notwendige Langzeitwasserbehandlung und die Zielstellung Klimaneutralität zu erreichen, liegt einer der Schwerpunkte in der Reduzierung des Chemikalieneinsatzes und Energiebedarfs bei der Wasserbehandlung. Entsprechende Pilotprojekte und Untersuchungen sind derzeit schon im Gange. Ab 2035 soll die gegenwärtige Aufbereitungsanlage durch eine Nachfolgevariante abgelöst werden.



**Abb. 1** Entwicklung der von jährlichen Kenngrößen seit 2002 bis zur Gegenwart  
Fig. 1 Development of annual parameters since 2002 to the present day

## Water treatment in the course of the rehabilitation of the Thuringian tailings ponds – retrospective, risks and residual lifetimes

Dr. Jan Laubrich<sup>1</sup>, Sabine Wiesener<sup>1</sup>

The Seelingstädt water treatment plant was built in 2002 for the rehabilitation of the Culmitzsch and Trünzig tailings ponds. In retrospect, it is possible to reflect on the more than 20 years of operation. Changes in the requirements and the necessary technical adjustments derived from them are the focus of the review.

The rehabilitation of the tailings ponds resulted in the requirements to treat seepage water and pore and groundwater collected via well galleries on the one hand, and to gradually lower the supernatant water level on the tailings ponds on the other hand. In order to accomplish both tasks equally, a permanently high utilisation of the plant was necessary. This resulted in measures to increase operational safety and capacity.

From 2014 onwards, the focus increasingly shifted towards the treatment of saline pore waters. This trend is reflected particularly clearly in the increased conductivity values in the plant inlet. In addition, it was necessary to prepare for a predicted increase in the proportion of pore waters with a high iron content. To this changed requirement was reacted by installing a pre-treatment plant for deferrisation.

Compared to the plans made around 2000, the planned operating time and treatment volumes have been significantly exceeded. The current challenge is to react to the associated high level of plant wear. Other measures currently being prepared or implemented (conversion to remote control, thin-sludge co-treatment at the Ronneburg WTP, sludge recycling trial) primarily serve to increase efficiency and minimise risks in the existing plant.

In retrospect, the following milestones can be identified in the operation of the plant or with effects on inflow flows

Year	Measure	Explanation
2007	Commissioning of water treatment plant Ronneburg	Salt management river Weiße Elster – Control of Weiße limit values from 2007 taking into account both plants
2011	Changeover to direct drive mode	Reduction power consumption
2011	Start of discharge of water from the area Lokhalde via disc filter	Reduction of catchment area, creation of capacities for supernatant water drawdown IAA Culmitzsch, reduction of treatment quantities
2012	Discharge of surface water tailings pond Trünzig	Reduction of catchment area, reduction of treatment quantities
2012	Throughput increase test	Increase of treatment capacity
2012	Service water supply into the creek Culmitzsch	Salt management creek culmitzsch – Stabilisation and maximization utilisation of the plant during low water conditions
2013	Approval of throughput increase	Increase of treatment capacity
2013	Construction and commissioning Pre-stripping	Ensuring plant capacity in winter months

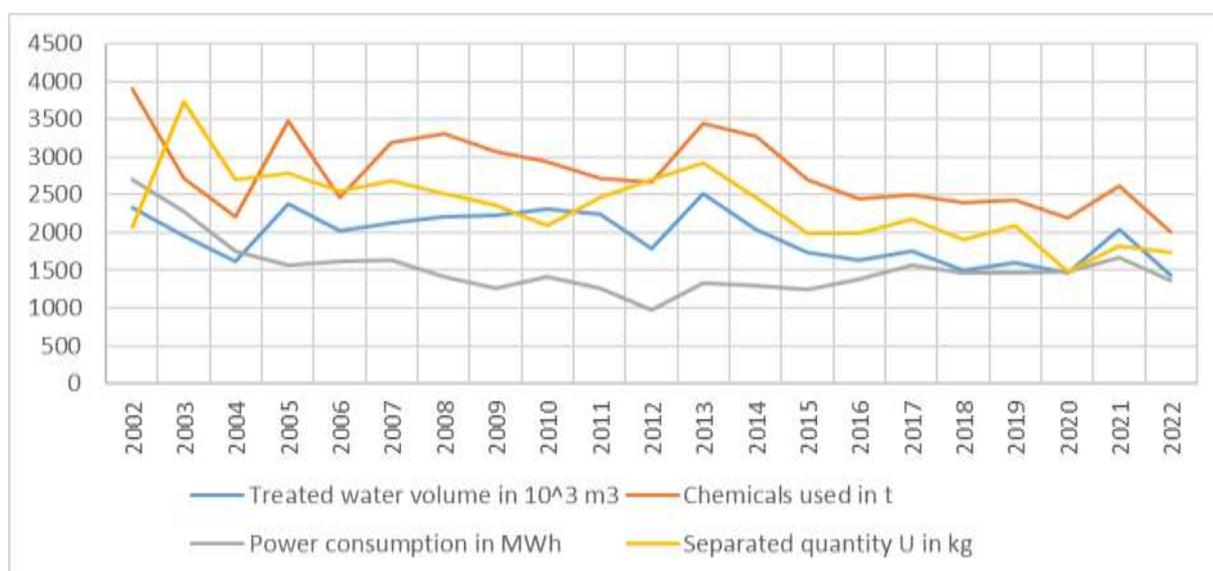
<sup>1</sup> Wismut GmbH, Projekt Hydroanlagen Department Ronneburg

## POSTERBEITRÄGE

### POSTER CONTRIBUTIONS

2015	Construction and commissioning pre-treatment plant for deferrisation.	Pre-treatment of ferrous pore waters – Stabilisation Plant operation
2017	Energy data collection and trials for energy optimisation	Reduction power consumption
2018	General repair	Ensuring plant operation for extended service life
2022	Test of thin-sludge co-treatment at the Ronneburg WTP	Ensuring plant operation – testing a fallback variant
2023	sludge recycling trial	Reduction in the use of chemicals
2023/2024	conversion to remote control	Optimisation of plant operation

So far, 40.914,000 m<sup>3</sup> of water have been treated at the Seelingstädt water treatment plant. As a result, about 50 t of uranium have been separated, producing 36.862 m<sup>3</sup> of immobilisate. About 59.000 t of chemicals (about 29.000 t of HCl, about 4.600 t of lime, about 19.000 t of cement, about 6.300 t of FeCl<sub>3</sub> solution) and 32.100 MWh of electrical energy have been used. Cement and lime in particular contribute significantly to the carbon footprint. The results of the last few years in particular illustrate the risk potential of the use of chemicals, both from an economic point of view (price development difficult to calculate) and from a technical point of view (supply bottlenecks, decreasing availability). In view of the need for long-term water treatment and the goal of achieving climate neutrality, one of the focal points is to reduce the use of chemicals and energy requirements in water treatment. Corresponding pilot projects and studies are already underway. From 2035, the current treatment plant is to be replaced by a successor variant.



**Abb. 1** Entwicklung der von jährlichen Kenngrößen seit 2002 bis zur Gegenwart

Fig. 1 Development of annual parameters since 2002 to the present day

## Auf dem Weg zur klimaneutralen Bergbausanierung Wo steht die Wismut GmbH?

Lars Mammitzsch<sup>1</sup>

### Einleitung

Die Wismut GmbH sieht sich als Umweltunternehmen in besonderer Weise den Forderungen in Bezug auf Klimaschutz verpflichtet. So will die Wismut GmbH bereits 2035 ihre gesamten Geschäftsprozesse klimaneutral gestalten.

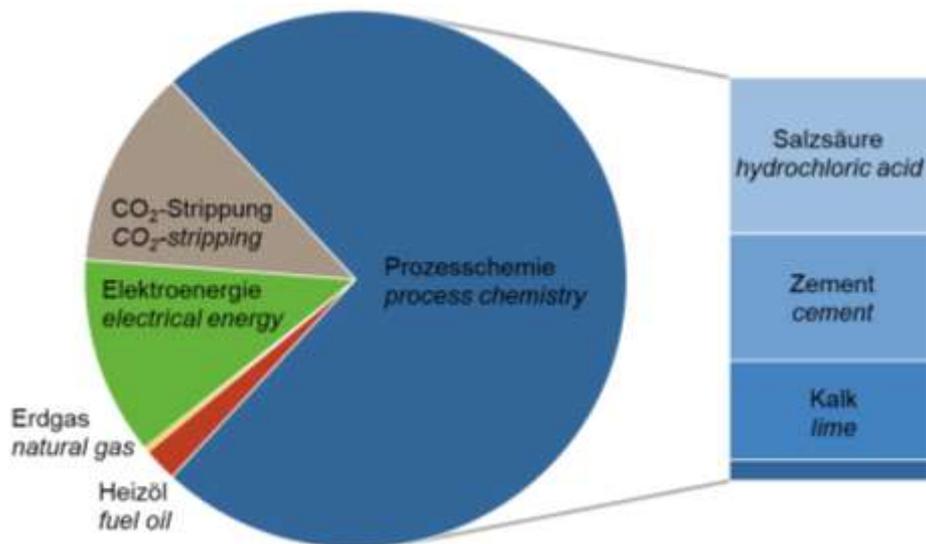
### Ausgangssituation

Das ist ein hochgestecktes Ziel, denn aktuell ist die Wismut GmbH für einen CO<sub>2</sub>e Fußabdruck von 43 000 t CO<sub>2</sub>e verantwortlich. Das entspricht dem durchschnittlichen jährlichen CO<sub>2</sub>e-Fußabdruck von 4 000 Personen in Deutschland.

Die Wismut GmbH stößt dabei ca. 10 000 t CO<sub>2</sub>e direkt durch ihre Arbeiten vor Ort aus. Neben dem Verbrennen von Diesel in den Baumaschinen und Fahrzeugen (50 %) entsteht CO<sub>2</sub> beim Heizen der Gebäude mit Gas und Heizöl (30 %). Zusätzlich wird bei der Wasserbehandlung teilweise CO<sub>2</sub> beim Strippen freigesetzt (20 %).

Weiterhin ist die Wismut für fast 7 000 t CO<sub>2</sub>e aus bezogenem Strom und Fernwärme verantwortlich.

Die restlichen 26 000 t CO<sub>2</sub>e entstehen vor allem durch die eingekauften Waren und Dienstleistungen sowie weiteren kleineren Kategorien wie dem entstandene Abfall oder dem Berufsverkehr der Mitarbeiter.



**Abb. 1** Aufteilung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks in der Wasserbehandlung  
Fig. 1 split of the carbon footprint in water treatment

Bezogen auf die Tätigkeiten der Wismut GmbH, sticht die Wasserbehandlung als Langzeitaufgabe mit einem Fußabdruck von etwa 18 000 t CO<sub>2</sub>e (43 % des unternehmensweiten CO<sub>2</sub>e-Fußabdruck) deutlich heraus. Vor allem die benötigten Prozesschemikalien wie Salzsäure, Kalk und Zement (siehe Abb. 1) führen zu dem hohen Fußabdruck.

<sup>1</sup> Wismut GmbH

## **Verbesserung**

Wie kann man nun in den kommenden Jahren von diesem hohen CO<sub>2</sub>e Fußabdruck herunterkommen? Hierfür wurde ein Maßnahmenplan über 50 Einzelmaßnahmen aufgestellt. Wobei die nachfolgenden Maßnahmen aufgrund ihres hohen Reduktionspotentials bereits begonnen wurden.

Unter anderem nutzt bzw. will die Wismut GmbH zukünftig folgende Potentiale die sich aus der der Bergbausanierung ergeben nutzen:

- Geothermie: Die Grubenwässer haben je nach Standort ganzjährig Temperaturen von 12 bis 26 °C. Dieses bisher nur am Standort Königstein genutzte thermische Potential sollen konsequent an allen Standorten für die Wärmeversorgung gehoben werden.
- Vorhandene und bereits sanierte Flächen sollen für die Errichtung und den Betrieb von Erneuerbaren Energien-Anlagen genutzt werden um klimafreundlichen Ökostrom vorrangig zur Eigennutzung zu generieren.

Aufgrund des hohen CO<sub>2</sub>e Fußabdruckes der Wasserbehandlung liegt ein weiterer Fokus auf der Entwicklung klimafreundlicher Wasserbehandlungstechnologien. Das solche Eigenentwicklungen erfolgreich sein können zeigt das Beispiel der neu errichteten Wasserbehandlungsanlage in Helmsdorf. Durch einen Technologiewechsel gegenüber der Altanlage können inzwischen 1 000 t CO<sub>2</sub>e pro Jahr eingespart werden.

## On the way to climate-neutral mining remediation Current state at Wismut GmbH

Lars Mammitzsch<sup>1</sup>

### Introduction

As an environmental company, Wismut GmbH is particularly committed to the requirements of climate protection. Wismut GmbH aims to make its entire business processes climate-neutral as early as 2035.

### Initial situation

This is an ambitious goal, as Wismut GmbH is currently responsible for a CO<sub>2</sub>e footprint of 43,000 t CO<sub>2</sub>e. This corresponds to the average annual CO<sub>2</sub>e footprint of 4,000 people in Germany.

Wismut GmbH emits about 10,000 t CO<sub>2</sub>e directly through its work on site. In addition to the burning of diesel in the construction machinery and vehicles (50 %), CO<sub>2</sub> is emitted by heating buildings with natural gas and fuel oil (30 %). In addition, some CO<sub>2</sub> is released during CO<sub>2</sub> stripping in the water treatment process (20 %).

Furthermore, Wismut GmbH is responsible for almost 7,000 t CO<sub>2</sub>e from purchased electrical energy and district heating.

The remaining 26,000 t of CO<sub>2</sub>e are mainly caused by purchased goods and services, as well as other smaller categories such as generated waste or commuter traffic.

In relation to the activities of Wismut GmbH, water treatment as a long-term task clearly stands out with a footprint of about 18,000 t CO<sub>2</sub>e (43 % of the company-wide CO<sub>2</sub>e footprint). Especially the required process chemicals such as hydrochloric acid, lime (see Fig. 1) and cement lead to the high footprint.

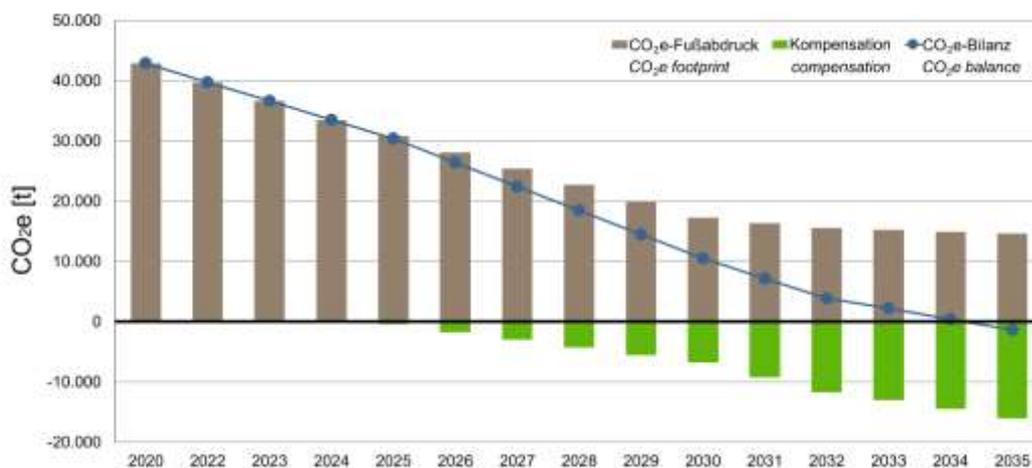


Abb. 2 *geplanter Decarbonisierungspfad für die Wismut GmbH*

Fig. 2 *Decarbonization path of Wismut GmbH*

### Improvement

Based on our analysis we developed a decarbonisation pathway (see Fig. 2) with a set of over 50 measures. Among others, Wismut GmbH uses or intends to use the following potentials arising out of mine remediation

<sup>1</sup> Wismut GmbH

## POSTERBEITRÄGE

### POSTER CONTRIBUTIONS

---

- Geothermal energy: Depending on the location, mine water has temperatures of 12 to 26 °C throughout the year. This thermal potential, which has so far only been used at Königstein site, has to be consistently exploited at all sites for heat supply.
- Investments in renewable energy plants in order to generate green electricity primarily for own use.

Another focus is on the development of climate-friendly water treatment technologies, due to their high CO<sub>2</sub>e footprint. The example of the newly built water treatment plant in Helmsdorf shows that such in house developments can be successful. By changing the technology compared to the old plant, we save 1,000 t CO<sub>2</sub>e per year.

## Nachhaltige Wasserbehandlung am Beispiel der neuen Wasserbehandlungsanlage Helmsdorf

Lars Mammitzsch<sup>1</sup>

### Einleitung

Seit 1991 ist die Wismut GmbH für die Sanierung der Uranbergbauhinterlassenschaften in Sachsen und Thüringen zuständig. Bis heute sind die Stilllegung von Bergwerken einschließlich der Flutung von Gruben, der Abriss der Grubeninfrastruktur, die Sanierung von kontaminierten Bergbau- und Aufbereitungsstandorten wie dem Tagebau Lichtenberg, Abraumhalden und Absetzanlagen nahezu abgeschlossen.

Neben der Umweltüberwachung und Nachsorge von sanierten Bergbauobjekten muss die Fassung und Aufbereitung von Gruben-, Poren-, Sicker- und Oberflächenwasser hinsichtlich folgender Hauptschadstoffe langfristig sichergestellt werden: U, Ra, As, Fe und andere Metalle. Das modifizierte Kalkfällverfahren ist das vorherrschende Behandlungsverfahren zur Schadstoffentfernung in der Wismut GmbH. Mit dem kontinuierlichen Sanierungsfortschritt verändern sich Qualität und Menge des kontaminierten Wassers. Hinzu kommt, dass nach mehr als 25 Betriebsjahren die meisten Wasseraufbereitungsanlagen der Wismut GmbH grundlegend gewartet oder modernisiert werden müssen.

Am Beispiel der neu errichteten Wasserbehandlungsanlage am Sanierungsstandort Helmsdorf soll das Optimierungspotential hinsichtlich Ressourceneffizienz (Energie, Chemikalien) und Klimafreundlichkeit durch eine gezielte Anpassung auf die sich ändernden Rahmenbedingungen aufgezeigt werden.

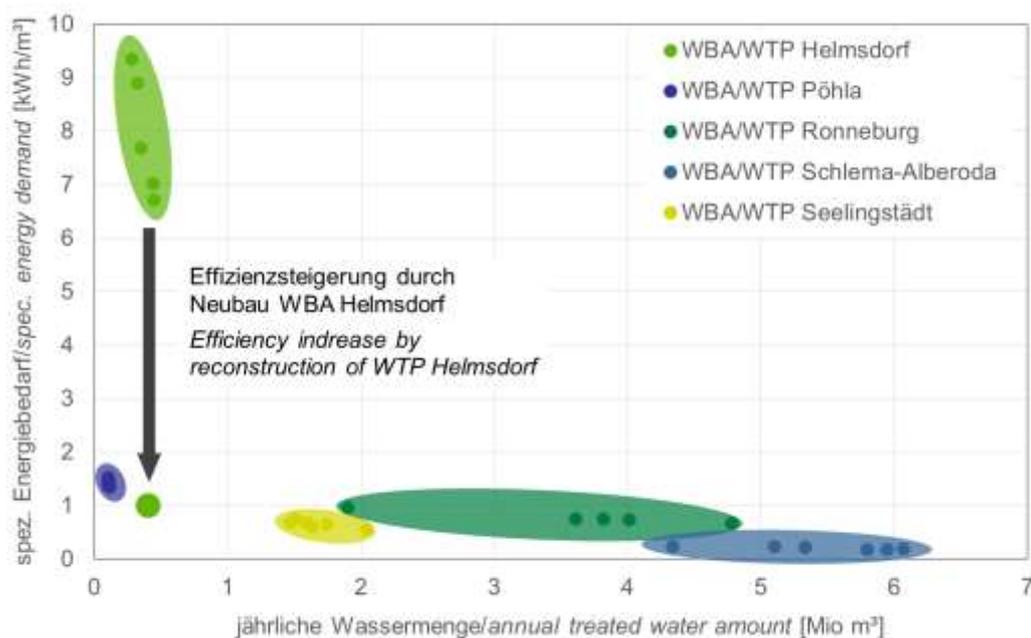


Abb. 1 spez. Energiebedarf der Wasserbehandlungsanlagen 2017 bis 2022

Fig. 1 spec. energy consumption of the water treatment plants 2017 till 2022

### Methodik

Eine neue Wasseraufbereitungsanlage (WBA) wurde mit Ionenaustausch- und Adsorptionstechnologien (siehe Abb. 2) entwickelt, um die bestehende Anlage basierend auf dem Kalkfällverfahren zu ersetzen.

<sup>1</sup> Wismut GmbH

POSTERBEITRÄGE  
POSTER CONTRIBUTIONS

---

Der Wasserzufluss wird in einem ersten Schritt mit Salzsäure (HCl) versetzt um den optimalen pH-Wert für die nachfolgenden Prozessschritte einzustellen. Anschließend wird das Uran an einem Anionenaustauscherharz aus den kontaminierten Wässern entfernt. Das Arsen und Radium wird schließlich durch Adsorption an einem Eisenhydroxid-Material gebunden. Die Anlage arbeitet mit einer durchschnittlichen Kapazität von 30 m<sup>3</sup>/h, ist aber für maximale Wassermengen von 80 m<sup>3</sup>/h ausgelegt.

Die neue und die bestehende WBA werden hinsichtlich ihrer Leistungsindikatoren wie Energiebedarf, Verbrauch an eingesetzten Chemikalien und den damit verbundenen Treibhausgasemissionen untersucht und verglichen.

### Ergebnisse und Zusammenfassung

Durch die auf die verringerten Mengen des zu behandelnden Wassers und der sinkenden Schadstoffbelastung angepasste neue WBA Helmsdorf, können im Jahr bis zu 2,5 GWh Energie gegenüber der Altanlage eingespart werden.

Energieträger	alte WBA	neue WBA	Einsparung
Elektroenergie	4.0 kWh/m <sup>3</sup>	0.35 kWh/m <sup>3</sup>	> 90 %
	(1,600,000 kWh/a)	(140,000 kWh/a)	
Heizöl	145,000 L/a	20,000 L/a	> 85 %
	(1,450,000 kWh/a)	(200,000 kWh/a)	

Die Ursachen für die enormen Energieeinsparungen sind unter anderem:

- Durch die kleinere Halle ist ein geringeres Volumen zu beheizen. Weiterhin kann eine kleinere Belüftungstechnik mit geringeren Verbräuchen verbaut werden.
- Eine auf dem Dach installierte Solarthermieanlage unterstützt die Ölheizung.
- Durch die geänderte Behandlungstechnologie werden verbrauchsintensive Komponenten wie z. B. Kompressoren für die CO<sub>2</sub>-Strippung nicht mehr benötigt.

Durch das Zusammenspiel an Energieeinsparung, Reduzierung der eingesetzten Chemikalien und Reduktion der direkten CO<sub>2</sub>-Bildung während des Prozesses ist man in der Lage den CO<sub>2</sub>e-Fußabdruck um 70 % auf 1,8 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> zu reduzieren. Bei einer jährlich zu behandelnden Wassermenge von etwa 240 000 m<sup>3</sup> können mehr als 1 000 t CO<sub>2</sub>e-Emission im Jahr eingespart werden.

Allerdings mussten hierfür zusätzliche CO<sub>2</sub>e-Emissionen durch den Bau der neuen Wasserbehandlungsanlage von 2 000 t CO<sub>2</sub> investiert werden. Diese könne bereits nach 2 Jahren durch die Einsparungen amortisiert werden, so dass die Anlage ab dem 3. Betriebsjahr effektiv zum Klimaschutz beiträgt.

## Sustainable water treatment technology – A case study on water treatment plant Helmsdorf

Lars Mammitzsch<sup>1</sup>

### Introduction

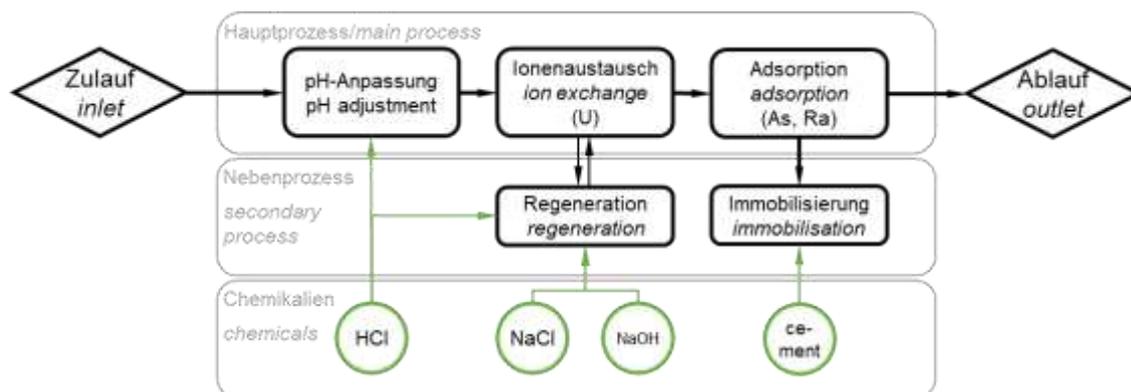
Since 1991, the state-owned Wismut company is responsible for the remediation of extensive uranium mining and milling legacies in Eastern Germany. Till to date, decommissioning of underground mines including mine flooding, demolition of mine infrastructure, remediation of contaminated mining and milling sites, such as Lichtenberg open pit, waste rock dumps and tailings management facilities (TMF) have almost been completed.

Beside environmental monitoring and after-care of remediated mining objects, the catchment and treatment of mine water as well as pore, seepage and surface water have to be ensured over the long-term regarding following main contaminants: U, Ra, As, Fe, and other metals. By now, modified lime treatment was the predominant treatment process in Wismut. With ongoing remediation progress, the quality and amount of contaminated water are changing. Additionally, after more than 25 years of operation, most of Wismut's water treatment systems require fundamental maintenance or modernization.

At the Helmsdorf remediation site, two TMF containing about 54 Mm<sup>3</sup> of uranium mill tailings from soda-alkaline leach operations have been remediated by dry in-situ encapsulation. The water treatment of contaminated seepage water from the TMF remains a challenging perpetual task. The objective of the presented case study is the optimization of water treatment in order to save energy, reduce the specific cost for the water volumes to be treated, and to remotely monitor and control the plant (see Fig. 1).

### Methodology

A new water treatment plant (WTP) was developed using ion exchange and adsorption technologies (figure 1) in order to replace the existing lime treatment plant. The water inflow is first acidified with hydrochloric acid to adjust an optimum pH for the following steps. Next, uranium is removed by ion exchange. Arsenic and radium are then adsorbed onto iron hydroxide material. The design capacity is 80 m<sup>3</sup>/h with an average capacity of 30 m<sup>3</sup>/h.



**Abb. 2** Schematische Darstellung des Behandlungsprozesses der WBA Helmsdorf  
 Fig. 2 Scheme of new water treatment process at Helmsdorf site

The new and the existing WTP are examined and compared with regard to their performance indicators including energy consumption, consumption of applied chemicals, and related greenhouse gas emissions.

<sup>1</sup> Wismut GmbH

## Results and Conclusions

In comparison to the predecessor plant at this site, in the new WTP, which is adapted to the reduced water amounts to be treated and to decreasing contaminant concentrations, up to 2.5 GWh energy can be saved per annum.

Energy source	old WTP	new WTP	Saving
Electrical energy	4.0 kWh/m <sup>3</sup>	0.35 kWh/m <sup>3</sup>	> 90 %
	(1,600,000 kWh/a)	(140,000 kWh/a)	
Fuel oil	145,000 L/a	20,000 L/a	> 85 %
	(1,450,000 kWh/a)	(200,000 kWh/a)	

The reasons for the vast energy saving are among others:

- Due to the smaller size of the building, a lower volume has to be heated, the air ventilation technique could be dimensioned smaller.
- Solar panels on the roof support oil heating.
- Consumption-intensive components are no longer required due to the changed treatment technology.

By the interaction of energy saving, reduction of applied chemicals, and prevention of direct CO<sub>2</sub> production, Wismut achieved cost savings but also a reduction of the process carbon footprint by 70 % to 1.8 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>. Related to a total water volume of approx. 240,000 m<sup>3</sup>, which had been treated in 2022, Wismut's greenhouse gas emissions could be dropped by more than 1,000 t CO<sub>2</sub>e per year compared to the old WTP.

However, additional emissions of about 2,000 t CO<sub>2</sub>e had to be accepted for the construction of the new WTP. These can be amortized already within 2 years of operation through the savings. From the third year of operation, the new WTP contributes effectively to climate protection.

## **Passive Wasserbehandlung als nachhaltige Lösung zur Verminderung der Folgen des Altbergbaus auf die Güte sächsischer Gewässer neu gedacht**

Mirko Martin<sup>1</sup>, Eberhard Janneck<sup>1</sup>, Christine Stevens<sup>2</sup>, Jürgen Meyer<sup>3</sup>, Axel Hiller<sup>3</sup>

### **Hintergrund**

In Sachsen überschreiten rund 20 % der Bäche und Flüsse die Umweltqualitätsnormen für Arsen, Kupfer, Zink, Cadmium oder Nickel. Die Belastung natürlicher Fließgewässer mit Metallen und Metalloiden aus dem Altbergbau der Erzgebirgsregion wurde in einer kürzlich vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Auftrag gegebenen Studie eingehend untersucht. Die Ergebnisse erlauben eine detaillierte Aufschlüsselung der Gesamtbelastung auf einzelne Teilquellen wie Grubenwässer, bergbauliche Halden und Absetzanlagen. Diese kleineren Quellen sind prädestiniert für die Behandlung mit naturnahen (passiven) Technologien. Eine konventionelle, technische Behandlung solcher Schadstoffquellen ist unter den gegebenen Umständen oft wirtschaftlich nicht leistbar, insbesondere dann, wenn kein Rechtsnachfolger vorhanden ist.

Passive Grubenwasserbehandlungsverfahren erfordern zwar einmalig relativ hohe Investitionen für den Bau, sind aber kostengünstig im Betrieb. Außerdem wird die Reinigungsleistung durch natürliche hydro-, bio- und geochemische Prozesse bestimmt, die sich nicht unmittelbar wie in einer technischen Anlage regeln lassen. Insbesondere die Schwierigkeit der Risikobewertung durch das Fehlen von anwendungsreifem Wissen erschwerte bisher die Umsetzung solcher Maßnahmen. Obwohl international vielfältige Erfahrungen mit dem Einsatz der passiven Grubenwasserbehandlung vorliegen (KLEINMANN et al. 2021), konnte deren Anwendung in Sachsen noch nicht erfolgreich eingeführt werden.

Die bisher in Deutschland durchgeführten Pilotvorhaben zur Passivbehandlung von Bergbauwässern (Schieferbruch Lehesten, Grube Straßberg sowie die Standorte der Wismut GmbH: Grube Pöhla-Tellerhäuser, Halde Paitzdorf und Halde Schacht 371 bei Hartenstein) konnten aus verschiedenen Gründen nicht in dauerhafte Vollstrombehandlungsanlagen überführt werden. Ausschlaggebend dafür waren (noch) zu hohe Schadstofffrachten, der damit verbundene relativ große Flächenbedarf, teilweise eine ungünstige Schadstoffspezifik und verbindliche Überwachungswerte, die nur durch zusätzliche Maßnahmen (z. B. nachgeschaltete Filter) eingehalten werden konnten. Durch den Anspruch zur innovativen Nachnutzung ehemaliger Bergbaustandorte mit Blick auf Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung gewinnen passive Verfahren wieder an Bedeutung und müssen auch unter dem Aspekt der Energiewende neu durchdacht werden.

Die Errichtung natürlicher passiver Systeme zur Behandlung belasteter Grubenwässer erfordert fundierte interdisziplinäre Kenntnisse in Geochemie, Hydrochemie, Mikrobiologie, Hydrologie und Botanik, die ein Projekt von der Planungsphase bis zur Errichtung begleiten müssen. Standortbezogene Pilotversuche sind für eine erfolgreiche Projektentwicklung unerlässlich. Ein solcher Pilotversuch wurde am St. Christoph Stolln (Breitenbrunn) zur Minderung des Austrages von Zink und Cadmium durchgeführt (Abb. 1 und 2). Wir danken Prof. Adam Jarvis für eine Diskussion über seine Erfahrungen mit vertical flow ponds und seine wertvollen Hinweise zur Auswahl von Substraten für den Pilotversuch.

---

<sup>1</sup> G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH

<sup>2</sup> Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

<sup>3</sup> Wismut GmbH

## Laboruntersuchungen

Zunächst wurden im Labor durch Säulenversuche geeignete Substrate und Substratmischungen getestet, die in einem vertikal durchströmten Festbettreaktor zur nachhaltigen Erzeugung reduzierender Bedingungen geeignet sind. Dabei erwies sich eine Mischung aus Travertin, Holzhackschnitzel (jeweils 22 Vol.%), Stroh (45 %) und handelsüblichem Kompost (11 %) (kurz genannt: Biomix) als sehr wirksam. Über einen Zeitraum von ca. 2 Jahren wurden stabile Abtrennraten für Zink > 95% erreicht. Parallel dazu wurden systematischere Untersuchungen über das Verhalten der Metalle, Cadmium, Kupfer, Nickel und Kobalt sowie Arsen durchgeführt. Die experimentellen Ergebnisse zeigten hohe Entfernungsraten im Bereich von 95 - 98 % für die genannten Elemente.

## Pilotversuch

Im Pilotversuch wurde das Prinzip des „vertical flow reactors“ (JARVIS et al. 2015; MAYES et al. 2021) um den Faktor 100 im Vergleich zu den Säulenversuchen vergrößert. Als Reaktor wurde ein IBC mit einem Volumen von 1 m<sup>3</sup> genutzt, welcher 0,5 m<sup>3</sup> Biomix enthielt. Das Substrat zeigte auch unter Feldbedingungen eine hohe biologische Aktivität und war effektiv bei der Schaffung stabiler chemischer Reduktionsbedingungen. Während des Feldversuches wurde die Abtrennrate für Zink regelmäßig bestimmt (Abb. 2). Dabei wurde auch ein Einfluss von Temperatur, Regen und Algenwachstum auf die Abtrennrate erfasst. Durch Variation der hydraulischen Beschickung konnte eine durchschnittliche Abtrennleistung für Zn (bei >95% Abtrennung) von 2,41 g/(m<sup>3</sup> × d), bezogen auf das Volumen des Biomixes, ermittelt werden. Die Ergebnisse werden in der nächsten Phase des Up-scaling verwendet, das im Rahmen eines EU-finanzierten Projekts geplant ist.

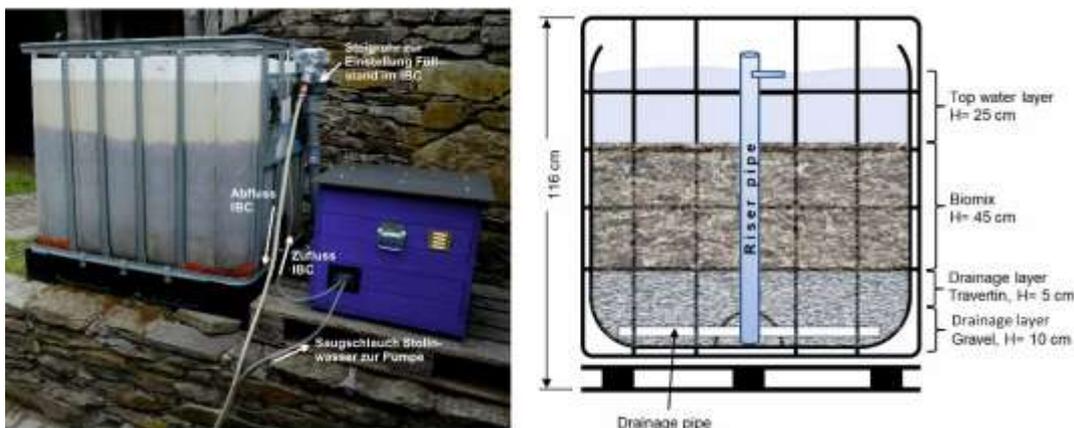


Abb. 1 Aufbau der Pilotanlage am St. Christoph Stolln in Breitenbrunn (links) und Substratschichten im IBC (rechts).

Fig. 1 Pilot plant setup at St. Christoph adit in Breitenbrunn (left) and substrate layers in the IBC (right)

## Literatur

- KLEINMANN, B.; SKOUSEN, J.; WILDEMAN, T.; HEDIN, B.; NAIRN, B.; GUSEK, J. (2021): The Early Development of Passive Treatment Systems for Mining-Influenced Water: A North American Perspective. *Mine Water and the Environment* 40:818–830
- JARVIS, A.P.; DAVIS, J.E.; ORME, P.H.A.; POTTER, H.A.B.; GANDY, C.J. (2015): Evaluating metal behavior and mine water treatment benefits in abandoned mine catchments with variable pollutant load inputs. *Proceedings IMWA/ICARD 2018*
- MAYES, W.M.; PERKS, M.T.; LARGE, A.R.G.; DAVIS, J.E.; GANDY, C.J.; ORME, P.H.A.; JARVIS, A.P. (2021): Effect of an extreme flood event on solute transport and resilience of a mine water treatment system in a mineralised catchment. *Science of the Total Environment* 750, 141693

## Re-thinking passive treatment options as sustainable solution for reducing surface water quality impacts from abandoned mines in Saxony

Mirko Martin<sup>1</sup>, Eberhard Janneck<sup>1</sup>, Christine Stevens<sup>2</sup>, Jürgen Meyer<sup>3</sup>, Axel Hiller<sup>3</sup>

### Motivation

In Saxony, broadly 20% of streams and rivers exceed their Environmental Quality Standards for Arsenic, Copper, Zinc, Cadmium or Nickel. The pollution of natural watercourses with metals from abandoned mines in the Ore Mountains region have been extensively examined in a recent study commissioned by the Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology. Results allow a detailed breakdown of the overall pollution to specific sub-sources including abandoned mines, spoil heaps and tailings. These smaller-scale sources are predestined for treatment using natural attenuation (passive) technologies, simply because technical treatment of such pollutant sources is not economically feasible, especially if there is no longer a legal successor at the mining site.

Whilst passive mine water treatment methods require relatively high investments to build, they are comparatively inexpensive to operate. They are also limited in terms of the pollutant load that can be treated. These factors have so far hampered their applicability in Saxony, especially due to the difficulty of risk assessment through the lack of ready-to-use knowledge for the implementation of such measures. Even though there is a wide range of international experience in using passive mine water treatment (KLEINMANN et al. 2021), its application has not yet been successfully introduced in Saxony.

Pilot projects for passive treatment of mine waters carried out so far in Germany (Lehesten slate quarry, Straßberg mine and the sites of Wismut GmbH: Pöhla-Tellerhäuser mine, Paitzdorf waste rock pile and shaft 371 near Hartenstein) could not be converted into permanent full-scale treatment plants for various reasons. The crucial factors were: pollutant loads (still) too high, the relatively large area required, in some cases unfavourable pollutant specifics and mandatory quality targets that could only be met by additional treatment stages (e.g. downstream filters). Due to the demand for innovative re-use of former mining sites with a view to sustainability and resource conservation, passive processes are gaining new importance and should also be rethought under the aspect of the energy revolution.

The construction of natural passive systems for the treatment of polluted mine waters requires well-founded interdisciplinary knowledge in geochemistry, hydrochemistry, microbiology, hydraulics and botany, which must accompany a project from its planning phase to construction. Site-specific pilot tests are indispensable for successful project development. Such a pilot test was carried out at the St. Christoph adit (Breitenbrunn) to reduce the discharge of Zinc and Cadmium. We thank Prof. Adam Jarvis for a discussion of his experience with vertical flow ponds and for his valuable advice on selecting substrates for the pilot test.

### Laboratory investigations

Initially, column experiments were conducted to test suitable substrates and substrate mixtures for the sustained generation of reducing conditions in a vertical flow reactor. A mixture of travertine,

---

<sup>1</sup> G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH

<sup>2</sup> Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology

<sup>3</sup> Wismut GmbH

wood chips (22% by volume each), chopped straw (45%) and commercial compost (11%) (so-called Biomix) proved to be very effective in this case. Stable separation rates for zinc > 95% were achieved over a period of approx. 2 years. In parallel, more systematic studies were carried out on the behaviour of the metals Cadmium, Copper, Nickel and Cobalt, as well as Arsenic. The experimental results showed high removal rates in the range of 95 - 98 % for all mentioned elements.

### Pilot test

In the field test the volume of the vertical flow reactor (JARVIS et al. 2015; MAYES et al. 2021) was increased by a factor of 100 compared to the column tests. The layer structure (Fig. 1) was the same as in the column tests. The field scale reactor was built as an intermediate bulk container (IBC) and had a total volume of 1 m<sup>3</sup> with 0.5 m<sup>3</sup> of Biomix substrate. This substrate showed high biological activity under field conditions and was quite effective in creating stable chemical reduction conditions. During the field test, the separation performance for zinc was determined (Fig. 2). Through varying the hydraulic load, an average separation efficiency (with >95% zinc removal) was determined as 2.41 g/(m<sup>3</sup> × d) based on the volume of the Biomix. Environmental factors (temperature, rain, algae growth) and their influence on the zinc removal rate were also determined. The design parameters determined in this pilot test will be utilized in the next stage of upscaling as part of a planned EU-funded project.

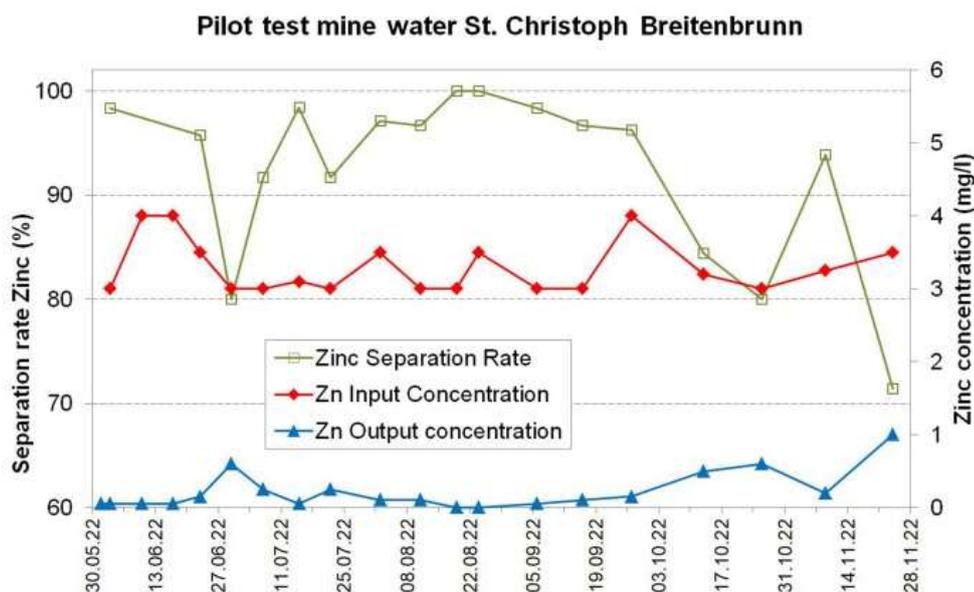


Abb. 2 Zu- und Ablaufkonzentration sowie Abtrennrte für Zink

Fig. 2 Inflow and outflow concentration of zinc during the pilot test and zinc removal rate

### References

- KLEINMANN, B.; SKOUSEN, J.; WILDEMAN, T.; HEDIN, B.; NAIRN, B.; GUSEK, J. (2021): The Early Development of Passive Treatment Systems for Mining-Influenced Water: A North American Perspective. *Mine Water and the Environment* 40:818–830
- JARVIS, A.P.; DAVIS, J.E.; ORME, P.H.A.; POTTER, H.A.B.; GANDY, C.J. (2015): Evaluating metal behavior and mine water treatment benefits in abandoned mine catchments with variable pollutant load inputs. *Proceedings IMWA/ICARD 2018*
- MAYES, W.M.; PERKS, M.T.; LARGE, A.R.G.; DAVIS, J.E.; GANDY, C.J.; ORME, P.H.A.; JARVIS, A.P. (2021): Effect of an extreme flood event on solute transport and resilience of a mine water treatment system in a mineralised catchment. *Science of the Total Environment* 750, 141693

## Erkenntnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage zum Thema Grubenwasser im Ruhrgebiet, Saarland und Ibbenbüren

Elke Mugova<sup>1</sup>, Christian Wolkersdorfer<sup>2</sup>, Stefanie Walter<sup>3</sup>

### Einführung

Flutungen von stillgelegten Untertagebergwerken laufen in der Regel „im Verborgenen“ ab, ohne weitere Involvierung der Bevölkerung. Ob die Bevölkerung Kenntnis über Grubenflutungen hat und welche Meinung dazu vorherrscht, wurde bisher nicht näher erforscht. Am Beispiel der Bergwerks-schließungen in den ehemaligen Steinkohlerevieren Ruhrgebiet, Saarland und Ibbenbüren wurde mittels einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage untersucht, inwiefern die Bevölkerung über das Thema Grubenwasser informiert ist, welche Begriffe und Emotionen damit assoziiert werden und welche Strategien anzuwenden sind, um die Bevölkerung besser zu informieren.

### Methoden

Die repräsentative Bevölkerungsumfrage wurde telefonisch und online mit einem Fragebogen mit Hilfe eines Befragungspanels durchgeführt. Dazu wurde im Ruhrgebiet, Saarland und Ibbenbüren über die Postleitzahlen der Bergbauregionen die Gesamteinwohnerzahl pro Erhebungsregion ermittelt. Darauf basierend wurde errechnet, wie viele Teilnehmer pro Gebiet für eine statistisch relevante Befragung ausgewählt werden müssen (502 Personen in Ibbenbüren, 532 Personen im Ruhrgebiet und 493 Personen im Saarland). Insgesamt umfasste die Umfrage 20 Fragen in den Kategorien Interesse und Involvement, Grad der Informiertheit, Akzeptanz und Meinungsbild, sowie personenbezogene Daten. Alle Fragen wurden einem Pre-Test unterzogen (Mayer 2013) und die eigentliche Umfrage übernahm ein Marktforschungsinstitut.

### Ergebnisse und Diskussion

Wie die Ergebnisse zeigen, ist das allgemeine Interesse am Thema „Bergbau“ bei 7,9% der Befragten sehr hoch und bei 34,2% der Teilnehmer hoch, jedoch haben 37,1% ein niedriges bzw. 13,6% ein sehr niedriges Interesse. Auch ist das Interesse am Thema „Grubenwasser in Deutschland“ mit 43,7% der Befragten niedrig, in den Regionen Ibbenbüren und dem Saarland jedoch leicht höher. Im Saarland gaben 33,3% der Befragten an, dass sie durch Ausbildung oder Beruf eine Verbindung mit dem Thema Grubenwasser haben.

Zusammen gaben 78,2% der Teilnehmer an, dass sie sich über Grubenwasser schlecht oder gar nicht informiert fühlen. Dies zeigt sich auch in der Frage „Welche Begriffe fallen Ihnen spontan bei dem Wort Grubenwasser ein?“, 23,5% der Teilnehmer konnten keine Begriffe mit dem Thema in Verbindung bringen. Begriffe, welche von den restlichen Teilnehmern am häufigsten aufgezählt wurden, waren „Bergbau“, „Wasser/Grundwasser“, „Pumpen“, sowie „Schaden/Verschmutzung“. Interessant sind auch bei dieser Frage die regionalen Unterschiede, denn im Ruhrgebiet assoziieren nur 6,7% Grubenwasser mit „Kontamination/Verschmutzung“, im Saarland und Ibbenbüren jedoch 20,0% bzw. 25,9% (Wolkersdorfer et al. 2022).

---

<sup>1</sup> Technische Universität Bergakademie Freiberg (Deutschland)

<sup>2</sup> Tshwane University of Technology (Südafrika)

<sup>3</sup> Hochschule Mittweida (Deutschland)



## Results of a representative survey about mine water in the Ruhr area, Saarland and Ibbenbüren

Elke Mugova<sup>1</sup>, Christian Wolkersdorfer<sup>2</sup>, Stefanie Walter<sup>3</sup>

### Introduction

Flooding of abandoned underground mines is usually carried out “in secret”, without further involvement of the population. Whether the population is aware of the mine flooding and what their prevailing opinion is about the flooding has not yet been researched in detail. Using the example of mine closures in the former collieries in the Ruhr area, Saarland and Ibbenbüren in Germany, a representative survey was conducted to find out to what extent the population is informed about the topic of mine water, what terms and emotions are associated with it and which strategies can be used to better inform the population.

### Methods

The representative survey was carried out by telephone and online using a survey panel. For this purpose, the total number of inhabitants per survey area in the Ruhr area, Saarland and Ibbenbüren was determined using the postcodes of the mining regions. This was used to calculate the number of participants needed per area for a statistically relevant survey (502 people in Ibbenbüren, 532 people in the Ruhr area and 493 people in Saarland). The survey consisted of 20 questions in the categories of interest and involvement, level of information, acceptance and opinion, and personal data. All questions were pre-tested (Mayer 2013) and the actual survey was conducted by a market research institute.

### Results and discussion

As the results show, the general interest in the topic “Mining” is very high for 7.9% of the respondents and high for 34.2% of them, but 37.1% have a low interest and 13.6% a very low interest. Interest in the topic “Mine water in Germany” is also low with 43.7% of respondents, but slightly higher in the regions of Ibbenbüren and Saarland. In the Saarland, 33.3% of the respondents stated that they had a connection to the topic of mine water due to their training or profession.

All in all, 78.2% of the participants stated that they felt poorly informed or not informed at all about mine water. This is also reflected in the question “What terms spontaneously come to mind when you think of the word mine water?”, where 23.5% of the participants could not associate any terms with the topic. The terms most frequently mentioned by the remaining participants were “mining”, “water/groundwater”, “pumping” and “damage/pollution”. Regional differences in this question are also interesting, as only 6.7% in the people in the Ruhr area associated mine water with ‘contamination/pollution’, but 20.0% and 25.9% in the Saarland and Ibbenbüren respectively (Wolkersdorfer et al. 2022).

---

<sup>1</sup> Technical University Bergakademie Freiberg (Germany)

<sup>2</sup> Tshwane University of Technology (South Africa)

<sup>3</sup> Mittweida University of Applied Sciences (Germany)



## **Die Rolle der Erstspülung (First Flush) für den Sanierungsbergbau – Untersuchungen an einem gefluteten Uranbergwerk in Sachsen und einem analogen Grubenwassermodell**

Elke Mugova<sup>1</sup>, Christian Wolkersdorfer<sup>2</sup>

### **Einführung**

In der Regel werden Untertagebergwerke nach deren Stilllegung und dem Rückbau geflutet. Dabei kommt es durch das aufsteigende Grubenwasser zu Wechselwirkungen zwischen Wasser und Gestein und somit zur Verwitterung von Primärmineralen und der Lösung von Sekundärmineralen (Alpers et al. 1994). Dies verändert die Wasserqualität des Flutungswasserkörpers. Beim Austritt des Grubenwassers in die Hydrosphäre verschlechtert sich zunächst dessen Qualität, um sich nach einem bestimmten Zeitraum zu verbessern, wobei sich dieser über Jahren bis Jahrzehnte erstrecken kann. Fast alle gefluteten untertägigen Bergwerke zeigen eine zeitliche Änderung der Wasserqualität, welche als First Flush oder Erstspülung bezeichnet wird. Ausgehend von der Dauer der Flutung lässt sich die Zeit bis zum Ende der Erstspülung abschätzen, also der Zeitpunkt, ab dem sich die Wasserqualität nur noch unwesentlich ändert, wobei die Dauer des First Flush etwa das Vierfache des Flutungszeitraumes beträgt (Younger 1997; 2000). Eine hohe Vorhersagegenauigkeit für die Entwicklung der Wasserqualität ist für gutes Grubenwassermanagement sowie die Planung und den Bau von Grubenwasserreinigungsanlagen essentiell (Wolkersdorfer 2008).

### **Methoden**

Bislang wurde der temporäre Verlauf der Erstspülung nur an der Stelle des Grubenwasseraustritts untersucht, jedoch nicht im gefluteten Bergwerk selbst. Mit einer fast 30-jährigen Messreihe von Tiefenprofilen in verschiedenen gefluteten Schächten eines ehemaligen sächsischen Uranbergwerks war es möglich, den Verlauf der Erstspülung genauer zu charakterisieren. Dazu wurden Tiefenprofile der elektrischen Leitfähigkeit und Temperatur von fünf verschiedenen Schächten zwischen 1992 und 2021 ausgewertet. Diese Profile konnten mit den Wasseranalysen am gemeinsamen Auslauf der Schächte verglichen werden (Wismut GmbH 2022).

Zusätzlich wurden Experimente zur Erstspülung am 6 × 4 m großen Analogbergwerk „Agricola Model Mine“ (AMM) an der Tshwane University of Technology, Pretoria, Südafrika durchgeführt. Mit einer peristaltischen Pumpe wurde ein ständiger, geringer Zufluss (15 mL/min) zum Bergwerk erzeugt. Durch Injektion eines Fluoreszenztracers (Eosin Y) kurz unterhalb des Zuflusses konnte die Ausspülung des Tracers und somit die Erstspülung des Bergwerks beobachtet werden.

### **Ergebnisse und Diskussion**

In allen untersuchten Schächten zeigen die Tiefenprofilkurven, dass sich die Wasserqualität im Verlauf der Zeit verbessert (Beispiel für einen Schacht Abb. 1). Hervorzuheben ist dabei, dass dieser typische Verlauf der Erstspülung im kompletten untersuchten Schachtwasserkörper auftritt. Da der Kurvenverlauf der unterschiedlichen Schächte sehr ähnlich ist, ist von einem hydraulisch gut miteinander verbundenen System und einem schnellen Austausch des Grubenwassers auszugehen. Zudem spiegeln die Messwerte im Schacht die Messwerte am Auslauf wider.

---

<sup>1</sup> Technische Universität Bergakademie Freiberg (Deutschland)

<sup>2</sup> Tshwane University of Technology (Südafrika)

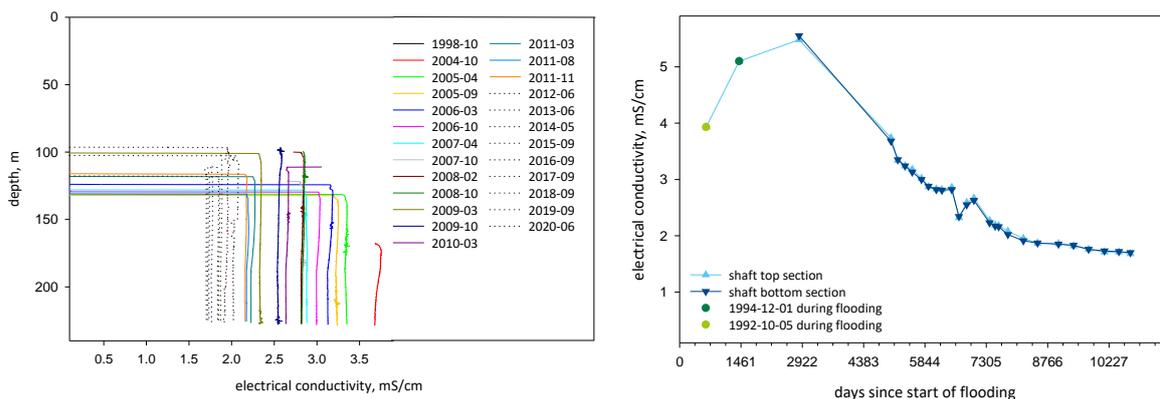


Abb. 1: Tiefenprofile und daraus abgeleitete First Flush Kurve eines ehemaligen sächsischen Uranbergwerks  
Fig. 1: Depth profiles and resulting first flush curve of a former uranium mine in Saxony, Germany.

Durch die Versuche am Analogbergwerk konnte gezeigt werden, dass es durch konstanten Wasserzufluss, ähnlich dem Zufluss von Sickerwasser, zur Erstspülung des Bergwerks kommt. Das AMM ist somit geeignet hydraulische Prozesse in gefluteten Bergwerken zu studieren.

### Schlussfolgerung und Ausblick

Die Tiefenprofiluntersuchungen in den gefluteten Schächten zeigen, dass die Erstspülung nicht nur am Auslauf des Bergwerks, sondern bereits im Grubenwasserkörper selbst stattfindet. Dies lässt wiederum schlussfolgern, dass der Grubenwasserkörper als chemischer Reaktor betrachtet werden muss und eine Störung dessen, beispielsweise durch Pumpaktivitäten, die Erstspülung stören könnte. Die Modellierung am analogen Bergwerksmodell lässt neue Möglichkeiten der Untersuchung der Erstspülung zu. Da Beobachtungen von realen Bergwerken auf das AMM übertragen werden können, sind genauere Untersuchungen unter Laborbedingungen möglich. Mit den neuen Erkenntnissen aus den Tiefenprofilen, als auch aus den Untersuchungen im AMM, soll eine bessere Formel für die Prognose der zu erwartenden Grubenwasserqualität entwickelt werden. Dazu müssen weitere Tiefenprofile evaluiert werden, um die dazugehörigen Kurven der Erstspülung zu erstellen.

### Literatur

- Alpers CN, Blowes DW, Nordstrom DK, Jambor JL (1994) Secondary minerals and acid mine-water chemistry. In: Jambor JL, Blowes DW (eds) Short Course Handbook on Environmental geochemistry of Sulfide Mine-Wastes. vol 22. Mineralogical Association of Canada, Waterloo, Ontario, p 247-270
- Wismut GmbH (2022) Jahresbericht 2021 zur Flutung der Grube Schlema-Alberoda, Internal Report (unpublished). In: Wismut GmbH (ed). Chemnitz
- Wolkersdorfer C (2008) Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines – Fundamentals, Tracer Tests, Modelling, Water Treatment. Springer, Heidelberg
- Younger PL (1997) The longevity of minewater pollution – a basis for decision-making. Sci Total Environ 194-195:457-466 doi:10.1016/S0048-9697(96)05383-1.
- Younger PL (2000) Predicting temporal changes in total iron concentrations in groundwaters flowing from abandoned deep mines: a first approximation. J Contam Hydrol 44:47-69 doi:10.1016/S0169-7722(00)00090-5.

## The Role of the First Flush for Mining Remediation – Research on a Flooded Uranium Mine in Saxony and on an Analogue Model Mine

Elke Mugova<sup>1</sup>, Christian Wolkersdorfer<sup>2</sup>

### Introduction

Underground mines are usually flooded after they cease operation and are decommissioned. Thereby, rising mine water causes interactions between water and rock and thus the weathering of primary minerals and the dissolution of secondary minerals (Alpers et al. 1994). Consequently, the water quality of the mine water pool changes. As the mine water is discharged into the hydrosphere, its quality deteriorates, and then improves after a certain period, which can range from years to decades. Almost all flooded underground mines show a temporal change in water quality, which is referred to as the first flush. Based on the flooding period, it is possible to estimate the time until the first flush ends. At this point in time the water quality changes are negligibly and, commonly, the duration of the first flush is about four times the flooding period (Younger 1997; 2000). A high prediction accuracy for the water quality development is essential for good mine water management as well as for the planning and construction of mine water treatment plants (Wolkersdorfer 2008).

### Methods

So far, the temporal development of the first flush has only been investigated at the mine water discharge locations, but not in the flooded mine itself. Based on a nearly 30-year series of depth profiles in various flooded shafts of a former uranium mine in Saxony, it was possible to characterise the development of the first flush more precisely. Depth profiles of electrical conductivity and temperature from five different shafts between 1992 and 2021 were evaluated for this purpose. These profiles were compared with the water analyses from the combined discharge point (Wismut GmbH 2022).

In addition, experiments about the first flush were carried out at the 6 × 4 m analogue “Agricola Model Mine” (AMM) at the Tshwane University of Technology, Pretoria, South Africa. A peristaltic pump was used to create a constant, low inflow (15 mL/min) to the mine. By injecting a fluorescent tracer (Eosin Y) just below the inflow, it was possible to observe the tracer flushing out and thus the first flush of the mine.

### Results and Discussion

In all the investigated shafts, depth profiles indicate that the water quality improves over time (example of one shaft in Fig. 1). What should be emphasised here is, that the typical first flush development appears in the entire investigated shaft water body. Since the curves of the different shafts are very similar, it can be assumed that the mine is hydraulically well connected and that the mine water is exchanged quickly. In addition, the measured EC values in the shaft reflect those measured at the point of discharge.

---

<sup>1</sup> Technische Universität Bergakademie Freiberg (Germany)

<sup>2</sup> Tshwane University of Technology (South Africa)

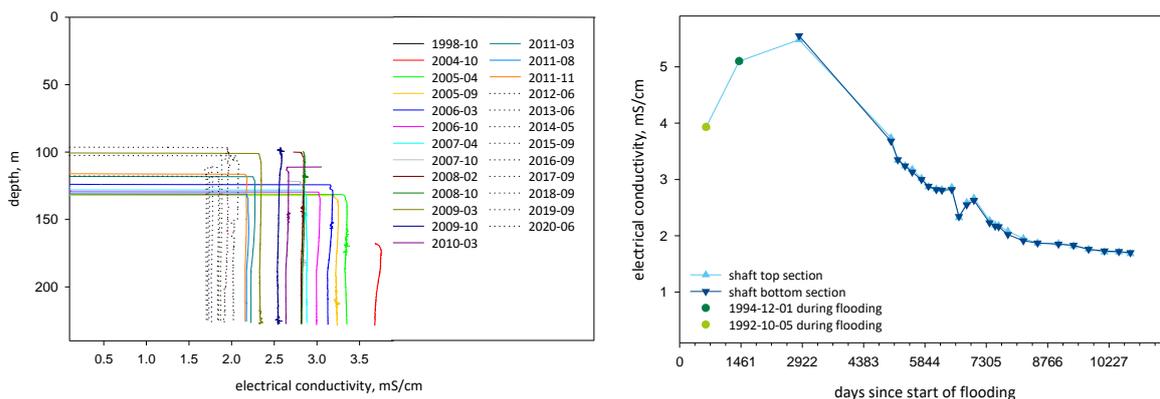


Abb. 1: Tiefenprofile und daraus abgeleitete First Flush Kurve eines ehemaligen sächsischen Uranbergwerks  
 Fig. 1: Depth profiles and resulting first flush curve of a former uranium mine in Saxony, Germany.

Based on the experiments at the analogue mine, it could be demonstrated that a constant inflow of water, similar to the inflow of seepage water to a mine, causes the mine's first flush. Thus, the AMM is suitable for studying hydraulic processes in flooded mines.

## Conclusion and Outlook

Depth profile investigations in the flooded shafts show, that the first flush not only takes place at the point of mine water discharge, but it also already occurs in the mine pool itself. This in turn allows to conclude that the mine water body has to be considered as a chemical reactor and that a disturbance of it, for example by pumping activities, could interfere with the first flush development. Using an analogue model mine allows new possibilities for the investigation of the first flush. Since observations from real mines can be transferred to the AMM, more precise examinations under laboratory conditions are feasible. Based on the new findings from the depth profiles, as well as from the AMM investigations, a more accurate method for mine water quality prediction will be developed. For this purpose, further depth profiles will be evaluated in order to generate more first flush curves.

## Literature

- Alpers CN, Blowes DW, Nordstrom DK, Jambor JL (1994) Secondary minerals and acid mine-water chemistry. In: Jambor JL, Blowes DW (eds) Short Course Handbook on Environmental geochemistry of Sulfide Mine-Wastes. vol 22. Mineralogical Association of Canada, Waterloo, Ontario, p 247-270
- Wismut GmbH (2022) Jahresbericht 2021 zur Flutung der Grube Schlema-Alberoda, Internal Report (unpublished). In: Wismut GmbH (ed). Chemnitz
- Wolkersdorfer C (2008) Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines – Fundamentals, Tracer Tests, Modelling, Water Treatment. Springer, Heidelberg
- Younger PL (1997) The longevity of minewater pollution – a basis for decision-making. *Sci Total Environ* 194-195:457-466 doi:10.1016/S0048-9697(96)05383-1.
- Younger PL (2000) Predicting temporal changes in total iron concentrations in groundwaters flowing from abandoned deep mines: a first approximation. *J Contam Hydrol* 44:47-69 doi:10.1016/S0169-7722(00)00090-5.

## Künftige Nutzung von Standorten nach Beendigung des Braunkohleabbaus in der Tschechischen Republik

Robert Šimůnek<sup>1</sup>, Václav Švec<sup>1</sup>, Petr Kubiš<sup>1</sup>

### Transformation der Region, der Landschaft und der Industrie

Der Trend einer allmählichen Abkehr vom Braunkohleabbau wirft die Frage nach folgenden Lösungen für die Rekultivierung und die Nutzung von Standorten auf, die vom Tagebau betroffen sind.

Der Regierungsbeschluss der Tschechischen Republik ordnete die Entwicklung eines Vorschlags für die optimale Lösung für die geplante hydrische Rekultivierung von Restkohlebergwerken in der Region Ústí in Nordböhmen an, insbesondere in Bezug auf die Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft und den Energieverbrauch sowie unter dem Gesichtspunkt des Natur- und Landschaftsschutzes.

Es ist die wasserwirtschaftliche Sichtweise, die für die richtige Wahl der Methode der Wasserrekultivierung und die anschließende Nutzung der Wasserflächen zukünftiger Seen von entscheidender Bedeutung ist.



Abb. 1 Bestehende und zukünftige Fundorte für die Wassergewinnung.  
Fig. 1 Existing and future hydric reclamation localities.

Die Standorte der rekultivierten großflächigen Kohlebergwerke bieten die Möglichkeit, Energie durch die Zuteilung eines Pumpspeicherkraftwerks mit einer installierten Leistung von 644 MW zu erzeugen, wenn der durch die hydrische Rekultivierung entstandene See ein niedrigeres Nivellierungsreservoir bildet. Auf großen Flächen ist es möglich, Erd- und schwimmende Photovoltaikanlagen mit einer Gesamtleistung von Solarparks im Bereich von mehreren Gigawatt zu bauen.

<sup>1</sup> Staatsbetrieb DIAMO

An ausgewählten Standorten einiger großer Kohlebergwerke besteht die Möglichkeit, kleinere Gebiete mit Natur- und Schutzpotenzial zu erhalten, die sich derzeit in einem frühen Entwicklungsstadium befinden.

### **Vielfältiger Einstellung zu der zukünftigen Rekultivierung der Abbauflächen**

In den letzten Jahren wurden von PKÚ (seit 2022 Teil von DIAMO) zwei bedeutende Rekultivierungsprojekte durchgeführt – der See Most und der See Milada mit dem Ziel, die Bergbaulandschaft wiederherzustellen und den umliegenden Bewohnern ein Erholungsprogramm zu bieten. In den kommenden Jahren werden in ganz Nordwestböhmen neue Landschaften entstehen. DIAMO ist der Ansicht, dass die zukünftigen Rekultivierungsprojekte konzeptionell für die gesamte Region entwickelt werden sollten, mit klaren formulierten Zielen und einer gemeinsamen Vision der zukünftigen Nutzung. Es besteht ein großes Potenzial darin, eine vielfältigere Umgebung zu schaffen, bei der auch andere Rekultivierungstechniken als nur die Überflutung von Restgruben verwendet werden, mit dem primären Ziel, Erholungsgebiete zu schaffen. Die Schaffung so großer neuer Territorien ist einzigartig in der Größenordnung der Tschechischen Republik und bietet ein riesiges Potenzial. Die Entwicklung wird sehr sorgfältig, verantwortungsbewusst und strategisch geplant.

Es war wichtig, die Interessen der einzelnen Akteure aus dem öffentlichen Sektor, klar zu definieren, deren Erfüllung im Einklang mit nationalen und regionalen Strategien und Zielen stehen muss, deren Erreichung die Tschechische Republik in ihren Strategiedokumenten dargelegt oder zu deren Erreichung sie sich innerhalb der Europäischen Union verpflichtet hat. Die Ziele erstrecken sich auf die Bereiche Naturschutz, Wasserwirtschaft, Energetik, Wirtschaft und Gesellschaft und umfassen das gesamte Spektrum der Interessen, die an der Erneuerung der Bergwerke beteiligt sind. Die Ziele wurden anschließend als Bewertungsparameter innerhalb der multikriteriellen Analyse verwendet, und das Maß ihrer Erfüllung war entscheidend für das Endergebnis.

Insgesamt waren alle 4 Standorte der aktuellen aktiven Braunkohletagebaue Gegenstand der Analysen. Es handelt sich um die Lokalitäten ČSA und Vršany, wo das Bergbauunternehmen Bergbauaktivitäten auf staatlichem Grund (DIAMO) verrichtet, sowie Libouš und Bílina, die sich im Besitz eines privaten Bergbaubetriebs mit beschränkter staatlicher Kontrolle befinden.

## Future use of sites after the termination of brown coal mining in the Czech Republic

Robert Šimůnek<sup>1</sup>, Václav Švec<sup>1</sup>, Petr Kubiš<sup>1</sup>

### Transformation of the region, landscape and the industry

The trend of a gradual shift away from brown coal mining brings the issue of subsequent solutions for reclamation and the use of sites affected by surface mining.

The resolution of government of the Czech Republic ordered the development of a proposal for the optimal solution for the planned hydric reclamations of residual surface coal mines in the Ústí Region in North Bohemia, especially in relation to the impact on water management and energy use, and from the point of view of nature and landscape protection.

It is the water management point of view that is absolutely essential for the appropriate choice of the method of hydric reclamation and the subsequent use of the water areas of future lakes.

The sites of reclaimed large surface coal mines offer the possibility to produce energy by allocation of a pumped-storage water power plant with the installed capacity of 644 MW, when the lake created by hydric reclamation will form a lower levelling reservoir. On large areas, it is possible to build ground and floating photovoltaic installations with a total output of solar parks in the range of several gigawatts.

At selected sites of some large surface coal mines, there is an opportunity to preserve smaller areas with nature and conservation potential that are currently in the early stages of development.

### Diverse approach for the future recultivation of the mining areas

In recent years, two significant reclamation projects have been implemented by PKÚ (since 2022 part of DIAMO) – lake Most and lake Milada with the aim of restoring the mining landscape and providing a recreational program for the surrounding residents. In the coming years, new landscapes will be created in the whole Northwest Bohemia basin region. DIAMO believes that future reclamation projects should be conceptually developed for the whole region, with clearly stated goals and a shared vision of the future use. There is a great potential in creating a more diverse environment using also other reclamation techniques than just flooding the residual pit with primary goal of creating recreation areas. The creation of such large new territories is unique in the scale of the Czech Republic and offers enormous potential. The development is planned very carefully, responsibly, and strategically.

It was important to clearly define the interests of individual participants from the public sector, the fulfilment of which must be in line with national and regional strategies and goals, the achievement of which the Czech Republic has set out in its strategic documents or committed to within the European Union. The goals cover the areas of nature protection, water management, energy, economy and society and include the entire spectrum of interests involved in the restoration of the mines. The goals were subsequently used as evaluation parameters within the multicriteria analysis, and the degree of their fulfilment was key to the final result.

---

<sup>1</sup> Staatsbetrieb DIAMO

A total of all 4 locations of current active brown coal mines were the subject of the analyses. These are the localities of ČSA and Vršany, where the mining company carries out mining activities on state land (DIAMO), and Libouš and Bílina, which are owned by a private mining company with limited state control.



Abb. 2 *Zukunft des Tagebaus ČSA im Most-Chomutov-Becken.*  
Fig. 2 *Future of ČSA open pit mine in the Most-Chomutov basin.*

## Charakterisierung des Einflusses der Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus anhand der Verhältnisse der natürlichen Radionuklide Beryllium-7 und Blei-210 in Weidegras

Jens Regner<sup>1</sup>, Kristina Brottka<sup>1</sup>

Im Beitrag wird eine neuartige Methode vorgestellt, die das Verhältnis der natürlichen Radionuklide Beryllium-7 (Be-7) und Blei-210 (Pb-210) in Weidegras nutzt, um den Einfluss der Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus zu charakterisieren. Auf der sanierten Industriellen Absetzanlage (IAA) Trünzig am Standort Seelingstädt der Wismut GmbH wird seit dem Abschluss der Sanierung auf der Grundlage eines Bescheides der zuständigen Strahlenschutzbehörde eine Weidenutzung durchgeführt. Der Bescheid enthielt die Auflage, dass die Erzeugung von Milch- und Fleischprodukten aus dieser Weidenutzung unzulässig ist. Die Wismut GmbH hatte in den Jahren 2018/2019 erste Untersuchungen der spezifischen Aktivitäten im Weidegras auf der sanierten IAA Trünzig vorgenommen. Dabei wurden spezifische Pb-210-Aktivitäten in Weidegras festgestellt, die mit maximal 14,2 Bq/kg bis zu zwei Größenordnungen über dem in den Berechnungsgrundlagen Bergbau [BglBb-2010] angegebenen Hintergrundwert von 0,15 Bq/kg lagen. Die formale Berechnung der effektiven Dosis entsprechend [BglBb] bei einer Weidenutzung unter der Annahme des Verzehrs von Milch und Fleischprodukten ergab effektive Dosen von bis zu 2,9 mSv/a. Damit wäre in Bezug auf den Zusatzbeitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung der Richtwert der effektiven Dosis der Bevölkerung [StrlSchG] von 1 mSv/a überschritten gewesen. Die berechnete effektive Dosis wird durch den Beitrag des Radionuklides Po-210 dominiert, für das konservativ radioaktives Gleichgewicht mit Pb-210 unterstellt wurde.

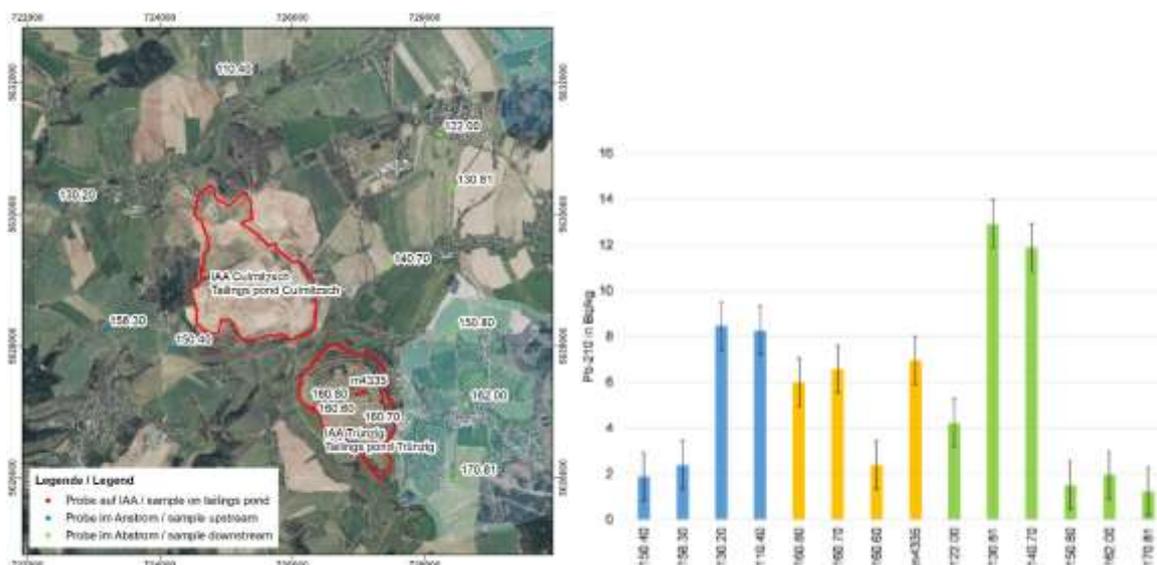
Vor dem Hintergrund, dass die Weidefläche auf der IAA eine mindestens 1,5 m mächtige Bodenschicht aus nichtkontaminiertem Material an der Oberfläche aufweist, war eine Kontamination des Weidegrases durch einen Radionuklidtransfer „Boden-Weidepflanze“ sehr unwahrscheinlich.

Zur Klärung der Ursachen der festgestellten Pb-210-Aktivitäten im Weidegras wurden 2020 Grasproben von der IAA Trünzig und der näheren und weiteren Umgebung entnommen und analysiert (Abb. 1). Die Probenahme des Weidegrases erfolgte manuell, um eine Beimengung von Bodenmaterial zu vermeiden. Es wurde etwa 1 kg Probematerial von einer 1-2 m<sup>2</sup> großen Fläche gewonnen. Das Probematerial wurde umgehend nach der Probenahme zerkleinert, in Marinelli-Probenbecher mit einem Fassungsvermögen von 0,45 l eingefüllt und bis zur Messung gekühlt. Die Messdauer pro Probe lag bei etwa 24 Stunden. Die Messung erfolgte auf einem Low-Level-Gammaspektrometer. Die Bestimmung der spezifischen Aktivitäten erfolgte mit Bezug auf die Frischmasse. Es erfolgte eine gleichzeitige Probenahme des Bodens und eine Bestimmung der Radonaktivitätskonzentration in der bodennahen Atmosphäre. In den Bodenproben wurde die spezifische Aktivität der Radionuklide der Uran-Radium-Zerfallsreihe mittels Gammaspektrometrie bestimmt.

Die spezifischen Pb-210-Aktivitäten im Gras wiesen starke Schwankungen sowohl auf der IAA als auch in der Umgebung auf. Die spezifischen Aktivitäten zeigten Abhängigkeiten vom Alter des Grases, der Pflanzenart und dem Einfluss von Abschattungen des Niederschlags durch Bäume. Selbst an Orten in größerer Entfernung von den Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus, für die eine relevante Beeinflussung über den Luftpfad ausgeschlossen werden konnte, traten spezifische Pb-210-Aktivitäten bis in den Bereich von 10 Bq/kg auf. Abbildung 1 zeigt die Probenahmepunkte und die gemessenen spezifischen Pb-210-Aktivitäten einer Messkampagne aus 2020. Alle Proben einer Messkampagne wurden jeweils am selben Tag genommen.

---

<sup>1</sup> Wismut GmbH



**Abb. 1** Probenahmepunkte und spezifische Blei-210-Aktivitäten der Messkampagne vom 15.07.2020  
 Fig. 1 Sampling points and specific Pb-210 activities of the measurement campaign on August, 15th, 2020

Es zeigte sich, dass allein anhand des Pb-210 keine Beurteilung erfolgen konnte, ob ein bergbaulicher Einfluss vorlag. Es waren keine Korrelationen der spezifischen Aktivitäten der Bodenproben und der Radonaktivitätskonzentrationen mit den ermittelten Pb-210-Aktivitäten im Weidegras nachweisbar. Erst die Einbeziehung des unabhängig vom Uranerzbergbau vorhandenen kosmogenen Be-7 und dem Ergebnis, dass das Verhältnis zwischen Be-7 und Pb-210 im Weidegras keine Unterschiede zwischen der IAA und der unbeeinflussten Umgebung aufwies, lies die Beurteilung zu, dass kein bergbaulicher Einfluss vorliegt. In einer weiteren Messkampagne 2021 wurden Proben von Orten mit Entfernungen von Hinterlassenschaften des Uranbergbaus > 10 km einbezogen. Anhand dieser Messkampagne konnte der 2020 beobachtete Zusammenhang zwischen Be-7- und Pb-210-Aktivitäten in Gras- und Pflanzenproben bestätigt werden. Abbildung 2 zeigt die Korrelation zwischen der spezifischen Be-7- und der Pb-210-Aktivität. Im Diagramm sind die Ergebnisse aller Messkampagnen 2020 und 2021 enthalten. Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von Be-7 zu Pb-210 lag 2020 bei  $10,6 \pm 2,5$  und 2021 bei  $9,5 \pm 1,6$ . Im Vergleich dazu betrug das Verhältnis der Aktivitätskonzentrationen beider Radionuklide in der Luft an der Referenzmessstelle an der ASSE [BGE] im Zeitraum 2009 bis 2015 bei Betrachtung der dritten Quartale  $9,5 \pm 1,4$ .

Mit den Untersuchungsergebnissen konnte eine Aufhebung der bestehenden Einschränkungen der Beweidung der IAA Trünz erreicht werden. Die festgestellten, deutlichen Abweichungen der gemessenen Hintergrundwerte für Pb-210 in Weidegras von den in den Berechnungsgrundlagen Bergbau [BglBb] angegebenen Hintergrundwerten bedürfen einer weiteren Diskussion.

## Literatur

- [BGE] [https://archiv.bge.de/archiv/www.asse.bund.de/Asse/DE/themen/was-passiert/umgebungsueberwachung/aerosole/referenzmessstelle/referenzmessstelle\\_node.html](https://archiv.bge.de/archiv/www.asse.bund.de/Asse/DE/themen/was-passiert/umgebungsueberwachung/aerosole/referenzmessstelle/referenzmessstelle_node.html)
- [BglBb] Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität, Berechnungsgrundlagen-Bergbau, BfS-Berichte BfS-SW-07/10, Salzgitter, März 2010.
- [StrlSchG] Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), das zuletzt durch Artikel 11 des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2510) geändert worden ist.

## Characterising environmental impacts of uranium mining legacy sites using the ratio of natural occurring Beryllium-7 and Lead-210 in pasture grass

Jens Regner<sup>1</sup>, Kristina Brottka<sup>1</sup>

The paper presents a novel method using the ratio of the natural occurring radionuclides beryllium-7 (Be-7) and lead-210 (Pb-210) in pasture grass to characterise residual environmental impacts of remediated uranium mining legacy sites. In order to ensure that the soil cover layer on the remediated tailings ponds of Trünzig at the Seelingstädt site of Wismut GmbH remains open grassland, grazing by animals has been used since remediation was completed as stipulated by the responsible radiation protection authority. This decision further stipulated that the consumption of milk and meat products from grazing animals is not permitted. In 2018/2019, Wismut GmbH carried out initial investigations to determine specific activities in pasture grass growing on the soil cover of the remediated tailings pond detecting maximal Pb-210 activities of up to 14.2 Bq/kg, which is two orders of magnitude above the natural background value of 0.15 Bq/kg specified in the federal guideline [BglBb]. Applying the prescribed method of calculating the effective dose associated with pasture use and consumption of milk and meat products up to 2.9 mSv/a, thus exceeding the legislative limit of 1 mSv/a for additional radiation exposure of the population [StrlSchG]. The main contributor to this relatively high effective dose was found to be Po-210, for which a radioactive equilibrium with Pb-210 was assumed.

Considering that the remediated tailings pond has a top-layer of soil of at least 1.5 m thickness consisting of non-contaminated material, contamination of the pasture grass by a radionuclide transfer path "soil - plant" seemed very unlikely.

In order to clarify the possible origin of the elevated Pb-210 activities in the pasture grass other than the underlying uranium tailings grass samples were analysed in 2020 from the tailings pond as well as from the surroundings (see Fig. 1). The sampling of the pasture grass was done manually to carefully avoid an inadvertent co-sampling of soil. About 1 kg of grass (fresh weight) was collected from a 1-2 m<sup>2</sup> area. The specific activities were determined in fresh samples and are based on wet weight. The sample material was chopped up immediately after sampling, compacted and filled into Marinelli-beakers with a capacity of 0.45 l per beaker. The samples were kept cool until being analysed in a low-level gamma spectrometer with a measuring time of about 24 hours.

The specific Pb-210 activities in the grass showed strong variations for both sites, the tailings pond as well as the surrounding area. On further inspection of specific characteristic of the various sampling sites dependencies of the specific activities were detected from the age of the grass, the type of grass or plant and the proximity of trees shielding the grass from precipitation. The highest Pb-210 activities (up to 10 Bq/kg) were found not on the tailings cover but well outside of it at distances, large enough to exclude impacts of airborne transport. Figure 1 shows the sampling points and the Pb-210 activities of a measurement campaign from 2020. All samples were taken at the same day. Simultaneously, soil samples were taken and the radon activity concentration in the near-ground atmosphere determined. In soil samples, the specific activity of the radionuclides of the uranium-radium decay series was determined by gamma spectrometry.

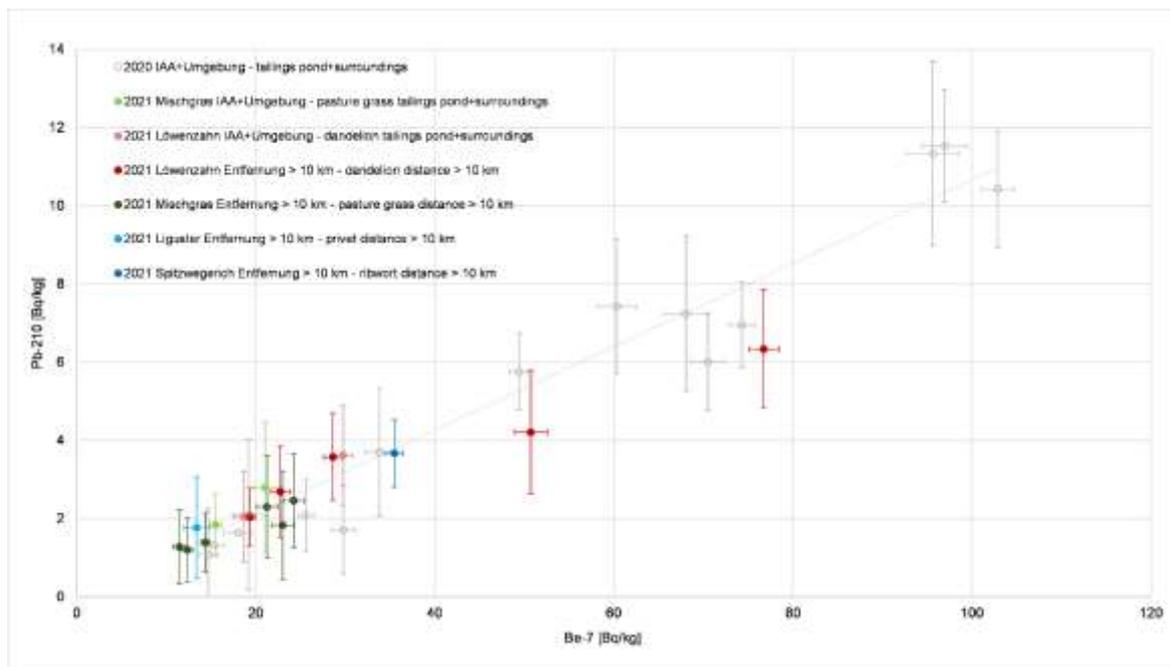
The specific activities of the soil samples and the radon activity concentrations showed no correlation with the Pb-210 activities determined in the pasture grass. Thus Pb-210 on its own cannot be

---

<sup>1</sup> Wismut GmbH

reliably used to ascertain environmental impacts of former mining. By additionally analysing the sampled grass for activity levels of Be-7, a natural cosmogenic radionuclide that is not associated with uranium mining, consistent ratios to Pb-210 were found, independent from where the sample was taken. This suggests that the observed Pb-210 levels are caused by natural background rather than by the influence of uranium mining legacy sites. In a measurement campaign in 2021, samples from locations that are of over 10 km away from remediated uranium legacy sites were also analysed confirming the established correlation between Be-7 and Pb-210 activities grazing vegetation. Figure 2 shows the correlation between the specific Be-7 and Pb-210 activities for all samples taken in 2020 and 2021. The correlation appears to be linear indicating a ratio between the specific activities of Be-7 and Pb-210 of  $10.6 \pm 2.5$  (for 2020 samples) and  $9.5 \pm 1.6$  (for 2021 samples). In comparison, the ratio of activity concentrations of both radionuclides in air at the reference measuring point at the former high-level radioactive waste repository site ASSE [BGE] from 2009 to 2015 was  $9.5 \pm 1.4$  for the months July to September.

As a result of these findings, it was possible to lift the restrictions on land use for the remediated tailings pond. Given the significant deviations of the measured results from the background value of Pb-210 given for pasture grass in federal calculation guideline for mining [BglBb] may warrant a review of the latter.



**Abb. 2** Spezifische Be-7- und Pb-210-Aktivitäten der Gras- und Pflanzenproben der Messkampagnen 2020/21, Nah- und Fernbereich der IAA Trünzig

Fig. 2 Specific Be-7 and Pb-210 activities of the grass and other grazing plant samples of the measurement campaigns 2020/21, in close proximity and well away from the remediated tailings pond Trünzig

## Literature

- [BGE] [https://archiv.bge.de/archiv/www.asse.bund.de/Asse/DE/themen/was-passiert/umgebungsueberwachung/aerosole/referenzmessstelle/referenzmessstelle\\_node.html](https://archiv.bge.de/archiv/www.asse.bund.de/Asse/DE/themen/was-passiert/umgebungsueberwachung/aerosole/referenzmessstelle/referenzmessstelle_node.html)
- [BglBb] Calculation Guide for the determination of radiation Exposure due to Environmental Radioactivity resulting from, Calculation Guide Mining, BfS-Berichte BfS-SW-07/10, Salzgitter, März 2010.
- [StrlSchG] Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), das zuletzt durch Artikel 11 des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2510) geändert worden ist.

## **Sanierung der IAA Dänkritz 2 aus dem Blickwinkel des Natur- und Artenschutzes**

Marcel Roscher<sup>1</sup>, Mirko Köhler<sup>1</sup>, Matthias Bauroth<sup>1</sup>, Claudia Preißler<sup>1</sup>, Andreas Barth<sup>2</sup>, Michael Hüttl<sup>2</sup>, Dr. H. Sängler<sup>3</sup>

### **Kennzahlen und Historie der IAA Dänkritz 2**

Südlich/südöstlich der Ortschaft Dänkritz, regional dem Landkreis Zwickau in Sachsen zugeordnet, befindet sich die mit ca. 11 ha eher kleine industrielle Absetzanlage (IAA) Dänkritz 2 aus der Uranerzaufbereitung der Wismut. Im Zeitraum von 1955 bis 1958 wurden hier, in einer ehemaligen Kiesgrube, ca. 800.000 m<sup>3</sup> Tailings aus dem Uranerzaufbereitungsbetrieb Crossen eingespült.

Mit dem Ende der aktiven Einspülphase entwickelte sich aus dem Absetzbecken über mehrere Jahrzehnte sukzessive ein Biotop für zahlreiche Pflanzen- und Tierarten. Über 150 Arten an Farn- und Blütenpflanzen konnten auf oder um die IAA Dänkritz 2 beobachtet werden. Der ausgeprägte Schilf-Röhricht-Gürtel von ca. 3,5 ha stellte einen Lebensraum für zahlreiche Vögel (ca. 100 Vogelarten), u.a. auch für besonders geschützte Arten wie z.B. der Großen Rohrdommel, dar. Weiterhin fanden hier auf der IAA Dänkritz 2 auch zahlreiche Arten (teilweise streng geschützt) aus den Gruppen der Säugetiere, Amphibien, Reptilien, Libellen oder Fische optimale Lebens- und Fortpflanzungsbedingungen.

### **Natur- und Artenschutz im Rahmen der Sanierung**

Mit Beginn der Projektbearbeitung im Rahmen des Verwaltungsabkommens zu den sächsischen Wismut-Altstandorten im Jahr 2004 zeigte sich, dass der Natur- und Artenschutz eine wichtige Rolle bei der Sanierung der IAA spielen wird. Im Ergebnis behördlich beauftragter naturschutzfachlicher Kartierungen ergab sich, dass vor Beginn der eigentlichen Sanierung der Absetzanlage vorgezogene Kompensations- und Ausgleichsmaßnahmen auf Grundlage des BNatSchG und des SächsNatSchG durchzuführen sind.

In einem 1. Schritt wurde im Jahr 2012 ein avifaunistisches Ersatzgewässer westlich der IAA Helmsdorf angelegt. Dessen Entwicklung wurde in den Folgejahren durch zahlreiche Ertüchtigungsmaßnahmen, wie z.B. Düngung des Gewässers oder Fischbesatz forciert. Während des Baus und der Entwicklung des Ersatzgewässers wurde das eigentliche Genehmigungsverfahren sowie die Planungsleistungen zur Sanierung der IAA Dänkritz 2 ruhend gestellt.

Nach der Wiederaufnahme des Genehmigungsverfahrens im Jahr 2015 und der Ausreichung des Planfeststellungsbeschlusses in 2018 wurden weitere artenschutzrechtliche Maßnahmen erforderlich, welche vor oder im Rahmen der Sanierung der IAA Dänkritz 2 durchzuführen waren.

Eine dieser natur- und artenschutzrechtlichen Maßnahmen beinhaltete die Umsetzung von Amphibien, wie z.B. Kröten, Frösche oder Molche. Über einen Zeitraum von sechs Jahren wurden über 10.000 Amphibien eingefangen und in geeignete Habitats im Umfeld des neu errichteten avifaunistischen Ersatzgewässers westlich der IAA Helmsdorf umgesetzt.

Weiterhin wurden Ersatzhabitats bzw. Nistmöglichkeiten für verschiedene Arten, u.a. Vögel, Libellen und Reptilien im Umfeld der IAA Dänkritz 2 neu geschaffen.

---

<sup>1</sup> Wismut GmbH, Abteilung Bergbausanierung/Geotechnik

<sup>2</sup> Wismut GmbH, Projektträger Sächsische Altstandorte

<sup>3</sup> BIOS-Büro für Umweltgutachten Crimmitschau

Vor Beginn der Abförderung des Freiwassers im Dezember 2022 wurde die IAA abgefischt. In drei Durchgängen wurden, mittels Elektrofischung, ca. 21.000 Fische aus der IAA Dänkritz 2 entnommen und ebenfalls in das avifaunistische Ersatzgewässer umgesiedelt.

Im Rahmen der Baufeldfreimachung für die späteren Erdarbeiten erfolgte, unter Beachtung naturschutzfachlicher Aspekte, ein Schnitt der ca. 3,4 ha großen Schilffläche mit einem Mähboot.



Abb. 1.1 Avifaunistisches Ersatzgewässer westlich der IAA Helmsdorf, 2019 (M. Roscher); Abb. 1.2 Erstsichtung der schützenswerten Vogelart „Große Rohrdommel“ am Ersatzgewässer (J. Halbauer, 25.04.2016); Abb. 1.3 Libellenart „Große Moosjungfer“ (*Leucorrhinia pectoralis*): Erstsichtung im Gebiet des Ersatzgewässers am 18.06.2018 (M. Roscher).

Fig. 1.1 compensation habitat for avifauna west of the tailings pond Helmsdorf, 2019 (M. Roscher); Fig. 1.2 first sighting of the endangered and protected bird species “great bittern” (*Botaurus stellaris*) at the compensation habitat (25.04.2016 by J. Halbauer); Fig. 1.3 dragonfly species “yellow-spotted whiteface” (*Leucorrhinia pectoralis*): 18.06.2018 – first sighting in the area of the compensation habitat (M. Roscher).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich die Erfüllung der Anforderungen aus Natur- und Artenschutz erheblich auf die Dauer und den Inhalt des Planungs- und Genehmigungsprozesses zum Vorhaben ausgewirkt hat. Auch im gegenwärtig andauernden aktiven Sanierungsprozess der IAA Dänkritz 2 waren bzw. sind die Belange des Natur- und Artenschutzes ein wesentlicher Bestandteil. Bis zum Abschluss der Sanierung werden sämtliche Arbeiten durch eine ökologische Bauüberwachung begleitet und von den zuständigen Behörden aus dem Blickwinkel des Natur- und Artenschutzes überwacht.

## Remediation of the tailings pond Dänkritz 2 in perspective of nature and species protection

Marcel Roscher<sup>1</sup>, Mirko Köhler<sup>1</sup>, Matthias Bauroth<sup>1</sup>, Claudia Preißler<sup>1</sup>, Andreas Barth<sup>2</sup>, Michael Hüttl<sup>2</sup>, Dr. H. Sängler<sup>3</sup>

### Facts and history of the tailings pond Dänkritz 2

The small tailings pond Dänkritz 2 with an area of 11 hectares is located in the south of the village Dänkritz which is associated with the county Zwickau in Western Saxony. About 800.000 cubic meter of tailings from the former uranium milling site Crossen were pumped into this former gravel pit in the time period between 1955 and 1958.

In the decades after this period of active illuviation, the tailings pond gradually developed into a habitat for many plant and animal species. About 150 species of ferns and flowering plants were monitored on or around the tailings pond Dänkritz 2. The bold reed bed belt with an area of 3.5 hectares is a habitat for many birds (about 100 bird species) like the highly protected “great bittern”. Also many other animal species from the groups of mammals, amphibian, reptiles, dragonflies or fish found ideal conditions for living and reproduction at the tailings pond Dänkritz 2

### Nature and species protection during the remediation

In 2004 the planning of the remediation of Dänkritz 2 started under the contract for remediation of abandoned Wismut sites in Saxony. From the start of the project it was predictable that the nature and species protection will play a decisive role in this project. In consequence of determinations by the authorities early compensatory measures had been executed before the actual remediation of the tailings pond could be started.

In a first step a compensation habitat for avifauna was established to the west of the tailings pond Helmsdorf. In the following years the development of the avifaunal compensation habitat was supported by active arrangements, e.g. fertilization of the habitat or add of fish into the habitat. During the construction and active development of the compensation habitat the approval procedure and the planning process were paused.

After the restart of approval procedure in 2015 the permission to remediate Dänkritz 2 was granted in 2018. The permission included more measures for species protection before the start and during the remediation activities of Dänkritz 2.

One of these measures was catching and relocation of amphibians like toads, frogs and newts into the compensation habitat. During a period of 6 years about 10000 amphibians were caught and relocated to suitable habitats surrounding or in the compensation habitat for avifauna west of the tailings pond Helmsdorf.

Furthermore compensation habitats or new places for nesting for different species, e.g. birds, dragonflies or reptilians, were built in the surrounding area of Dänkritz 2.

Before the removal of the surface water in Dänkritz 2 could be started, all fish had to be removed out of the tailings pond in December 2022. In three steps about 21000 fish were caught and relocated to the avifaunal compensation habitat by electrofishing.

---

<sup>1</sup> Wismut GmbH, Department of mining remediation and geotechnics

<sup>2</sup> Wismut GmbH, promotor for remediation of abandoned Wismut sites in Saxony

<sup>3</sup> BIOS – Engineering office of environmental expertise, Crimmitschau

The reed on tailings pond Dänkritz with an area of 3.5 hectares was cut by an amphibious water vehicle as a mowing machine during the preparatory activities for the groundworks in the later remediation steps.



Abb. 2.1 Mähboot in Form eines Amphibienfahrzeuges zum Schneiden des Schilfes auf der IAA Dänkritz 2, 2022 (H. Sängner); Abb. 2.2 (links) Kammolch während seiner Umsetzung von der IAA Dänkritz 2 in das Ersatzgewässer westlich der IAA Helmsdorf; Abb. 2.3 aus dem Freiwasser der IAA Dänkritz 2 gefangene Fische, 2022 (H. Sängner)

*Fig. 2.1* mowing machine as an amphibious water vehicle for cutting the reed on the tailings pond Dänkritz 2, 2022 (H. Sängner); *Fig. 2.2 (left)* crested newt during the relocation from tailings pond Dänkritz 2 to the compensation habitat west of the tailings pond Helmsdorf, 2017 (M. Roscher); *Fig. 2.3 (right)* caught fish from the surface water of the tailings pond Dänkritz 2, 2022 (H. Sängner)

In summary, it can be stated that the time period and the content of the planning and approval process for the remediation of Dänkritz 2 were depended on the completion of the requirements for nature and species protection. These requirements are also an important component during the current process of the remediation activities. All activities for remediation will be actively monitored by an ecological specialist and the responsible authorities in the perspective of nature and species protection.

## **Ermittlung eines hydrogeochemischen Hintergrundwertes für Uran im Bereich des 4. Grundwasserleiters der ehemaligen Uranerzgrube Königsstein in Sachsen**

Sebastian Schramm<sup>1</sup>, Traugott Scheytt<sup>1</sup>, Melanie Melchisedech<sup>2</sup>, Birgit Niebuhr<sup>2</sup>, Markus Wilmsen<sup>2</sup>, Mark Mücklich<sup>3</sup>, Thomas Voigt<sup>3</sup>

### **Einleitung – Untersuchungsgegenstand**

Zwischen 1967 und 1990 wurde aus der Uranerzgrube Königsstein Uran bergbaulich abgebaut, wobei ab 1984 das Uran durch Laugung mittels Schwefelsäure gewonnen wurde (Tonndorf 2000). Die Uranerzlagerstätte Königsstein befindet sich nach Tonndorf (2000) im 4. und 5. Grundwasserleiter, welche lithostratigraphisch dem Cenoman zuzuordnen sind. Die Hauptvererzungen lagen dabei flözartig im 4. Grundwasserleiter vor, welcher im Top aus dem Werksandstein des Unterquaders und im unteren Bereich meist aus dem Wurmsandstein bestehen. Die bergbauliche Tätigkeit sorgte für eine erhebliche Beeinflussung der hydrochemischen Situation im Grundwasser. Der Einsatz der Schwefelsäure ließ den pH-Wert stark sinken bei Anstieg des Redoxpotenzials, was dazu führte, dass das vorher an die Festsubstanz gebundene Uran mobilisiert wurde. Um die Kontaminationen des zu schützenden 3. Grundwasserleiters und der Elbe zu vermeiden, wird der Grundwasserspiegel des 4. Grundwasserleiters durch Abpumpen des Grubenwassers aus der horizontalen Kontrollstrecke abgesenkt. Das langfristige Ziel der Wismut GmbH ist der Wiederanstieg des Wassers. Da dabei das hydraulische Potenzial im 4.GWL ansteigt, könnte es bei möglicherweise vorhandenen Verbindungen zwischen 3. und 4. Grundwasserleiter zu Übertritten des noch immer anthropogen uranbelasteten Wassers in den als schützenswert geltenden 3. Grundwasserleiter kommen. Um eine mögliche Verschlechterung der Grundwasserleiter nachzuvollziehen, ist es notwendig, den geogenen Hintergrund hinsichtlich Uranführung im 4. Grundwasserleiter näher zu untersuchen. Diese Arbeiten erfolgen im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG).

### **Zielstellung**

Ziel dieser Arbeit ist, den natürlichen Gehalt an Uran im 4. Grundwasserleiter auf Basis des hydrogeochemischen Prozessverständnisses abzuleiten. Dazu stehen Kernmaterialien aus 34 Bohrungen des LfULG zur Verfügung, mit denen die Interaktion von der Gesteinssubstanz des 4. Grundwasserleiters und des Grundwassers aus dem Zeitraum vor 1967 abgeleitet werden soll. Im Zuge der Arbeit werden auch die Stratigraphie des Cenomaniums und des Turoniums anhand der Bohrkerne untersucht. Dem Cenoman-Turon Übergang, der lithologisch zumeist aus feinkörnigeren Silt- und Tonsteinen (Plenus-Ton und Lohmgrundmergel sowie hangende, unterturone Pläner) besteht, ist hierbei eine besondere Bedeutung zuzuordnen, da dieser als Grundwasserstauer zwischen 3. Und 4 GWL anzunehmen ist.

---

<sup>1</sup> TU Bergakademie Freiberg

<sup>2</sup> Senckenberg Naturhistorische Sammlung Dresden

<sup>3</sup> Universität Jena

## Hypothesen zur Ableitung des hydrogeochemischen Hintergrundes von Uran aus Feststoffproben von Bohrkernen

In diesem Projekt wird der 4. Grundwasserleiter betrachtet. Dabei wird vereinfacht von einem gespannten Porengrundwasserleiter ausgegangen, in welchem das Uran sich in einer redox-chemischen Rollfrontvererzung akkumulierte (Tonndorf 2000). Da nicht alle hydrochemischen Eigenschaften aus der Festsubstanz abgeleitet werden können, sind Messdaten vor Ort, historischen Messdaten der Wismut GmbH und Analogien von vergleichbaren Uranerzlagerstätten in gespannten Sandsteingrundwasserleitern einzubeziehen. Dazu gehören der pH-Wert, Redoxpotential und der Gehalt von Anionen in Lösung. Zur Vereinfachung und Umgehung von kinetischen Überlegungen wird die Hypothese aufgestellt, dass sich das Grundwasser zum Zeitpunkt vor dem anthropogenen Eingriff im chemischen Gleichgewicht mit der Festsubstanz befand.

### Methodik und Ergebnisse

Es erfolgte die Kalibrierung der von der Wismut GmbH verwendeten Gliederung der Lagerstätte Königstein mit der neuen integrierten Stratigraphie des Cenomaniums der Elbtal-Gruppe (Niebuhr & Wilmsen 2023). Dabei zeigte sich, dass die von der Wismut GmbH verwendete Gliederung mit den neuen stratigraphischen Erkenntnissen kompatibel ist und die bereits von Tonndorf erkannten wesentlichen Diskordanzen den eustatisch erzeugten (d.h., globalen) cenomanzeitlichen Sequenzgrenzen (SB) im Wesentlichen entsprechen.

Es zeigt eine retrograde Verfüllung mit zunächst fluviatilen Sedimenten der Ablagerungssequenzen DS Ce 1+2 und DS Ce 3 (Untercenomanium, Niederschöna-Formation), gefolgt vom brackisch-ästuarinen Wurmsandstein der oberen Niederschöna-Formation (Mittelcenomanium, DS Ce 4) und den flachmarinen Sandsteinen der Oberhäslich-Formation (DS Ce 5, unteres Obercenomanium). Die feinkörnigen Sedimente der Pennrich-Formation (transgressiver Systemtrakt von DS Ce-Tu 1) schließen die Abfolge ins Hangende ab.

Unter Zuhilfenahme von Literaturdaten wurde die Speziierung von Uran unter erwarteten hydrochemischen Bedingungen abgeleitet. Ein Prädominanzdiagramm, das mit dem R-Package RedModRphree (De Lucia und Kühn 2021) erstellt wurde, zeigt, dass Uran unter oxidierenden Bedingungen als Karbonat-Komplexe ( $\text{UO}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$ ) vorliegt, welche nur wenig durch die Festsubstanz retardiert werden. Erste RFA-Analysen und die einzelne Analyse mittels Röntgendiffraktometrie liefern Informationen über Element- und Mineralbestand. Der Werksandstein des Unterquader besteht bei einer Einzelprobe zu mindestens 95% aus Quarz und nur zu kleinen Anteilen aus Eisen-Verbindungen oder Kaolinit oder Dickit. Je nach beprobter Lithofazies könnten die Gehalte jedoch variieren. Dies muss in Zukunft überprüft werden.

### Literatur

- Tonndorf, H.; (2000); Die Uranlagerstätte Königsstein- In: Bergbau in Sachsen, Jg. 7, 210 pp.  
De Lucia, M.; Kühn; (2021): Geochemical and reactive transport modelling in R with the RedModRphree package, In: Advances in Geosciences, Jg. 56, S. 33-34.  
Niebuhr, B.; Wilmsen, M.: The transgression history of the Saxonian Cretaceous revisited or: the imperative for a complete stratigraphic reappraisal (Cenomanian, Elbtal Group, Germany)- In: Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Jg. 174(1), S. 69-118.

## **Determination of a hydrogeochemical background value for uranium in the area of the 4th aquifer of the former Königsstein uranium ore mine in Saxony**

Sebastian Schramm<sup>1</sup>, Traugott Scheytt<sup>1</sup>, Melanie Melchisedech<sup>2</sup>, Birgit Niebuhr<sup>2</sup>, Markus Wilmsen<sup>2</sup>, Mark Mücklich<sup>3</sup>, Thomas Voigt<sup>3</sup>

### **Introduction – Object of study**

Between 1967 and 1990, uranium was mined from the Königsstein uranium ore mine, with uranium being extracted by leaching using sulphuric acid from 1984 onwards (Tonndorf 2000). According to Tonndorf (2000), the Königsstein uranium ore deposit is located in the 4th and 5th aquifers, which lithostratigraphically belong to the Cenomanian. The main ore deposits were located in seams in the 4th aquifer, which consists in the top of the sandstone of the “Unterquader” and in the bottom mostly of the “Wurmsandstein”. The mining activity had a considerable influence on the hydrochemical situation in the groundwater. The use of sulphuric acid caused the pH value to drop sharply and the redox potential to rise, which led to the mobilisation of the uranium that had previously been bound to the solid matter. To avoid contamination of the 3rd aquifer to be protected and the Elbe River, the groundwater level of the 4th aquifer is lowered by pumping the mine water out of the horizontal control section. The long-term goal of Wismut GmbH is to restore the water level. Since the hydraulic potential in the 4th GWL increases in the process, any connections between the 3rd and 4th aquifers could lead to spills of the still anthropogenically uranium-contaminated water into the 3rd aquifer, which is considered worthy of protection. In order to understand a possible deterioration of the aquifer, it is necessary to investigate the geogenic background with regard to uranium transport in the 4th aquifer in more detail. This work is being carried out as part of a research and development project commissioned by the “Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie” (LfULG).

### **Objective of stud**

The aim of this work is to derive the natural content of uranium in the 4th aquifer on the basis of hydro-geochemical process understanding. For this purpose, core materials from 34 boreholes of the LfULG are available, with which the interaction of the rock substance of the 4th aquifer and the groundwater from the period before 1967 is to be derived. In the course of the work, the stratigraphy of the Cenomanian and the Turonian will also be investigated on the basis of the drill cores. The Cenomanian-Turonian transition, which lithologically consists mostly of fine-grained siltstones and mudstones (Plenus clay and “Lohmgrund”-Marl as well as hanging, sub-turonic plains), is of particular importance, as it is assumed to be the groundwater dam between the 3rd and 4th aquifer.

### **Hypotheses for deriving the hydrogeochemical background of uranium from solid samples from drill cores**

In this project, the 4th aquifer is considered. The simplified assumption is a confined pore aquifer in which the uranium accumulated in a redox-chemical roll-front mineralisation (Tonndorf 2000). Since not all hydrochemical properties can be derived from the solid substance, on-site measurement data, historical measurement data of Wismut GmbH and analogies of comparable uranium ore deposits in confined sandstone aquifers must be included. This includes the pH value, redox potential and the content of anions in solution. To simplify and circumvent kinetic considerations, the hypothesis is

---

<sup>1</sup> TU Bergakademie Freiberg

<sup>2</sup> Senckenberg Naturhistorische Sammlung Dresden

<sup>3</sup> Universität Jena

made that the groundwater was in chemical equilibrium with the solid matter at the time before anthropogenic intervention.

### **Methodology and Results**

The Wismut GmbH used an outline of the Königstein deposit that was calibrated with the new integrated stratigraphy of the Cenomanian of the Elbe Valley Group (Niebuhr & Wilmsen 2023). This showed that the outline used by Wismut GmbH is compatible with the new stratigraphic findings and that the essential unconformities already recognised by Tonndorf essentially correspond to the eustatically generated (i.e., global) Cenomanian sequence boundaries (SB). It shows a retrograde backfilling with initially fluvial sediments of the depositional sequences DS Ce 1+2 and DS Ce 3 (Lower Cenomanian, Niederschöna Formation), followed by the brackish-aestuarine worm sandstone of the Upper Niederschöna Formation (Middle Cenomanian, DS Ce 4) and the shallow-marine sandstones of the "Oberhäslich" Formation (DS Ce 5, Lower Upper Cenomanian). The fine-grained sediments of the Pennrich Formation (transgressive system tract of DS Ce-Tu 1) complete the sequence towards the slope end. Using literature data, the speciation of uranium under expected hydrochemical conditions was derived. A predominance diagram generated with the R-package RedModRphree (De Lucia and Kühn 2021) shows that uranium under oxidising conditions exists as carbonate complexes ( $\text{UO}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$ ), which are only slightly retarded by the solid substance. First XRF analyses and the single analysis by X-ray diffraction provide information about element and mineral content. In a single sample, at least 95 % of the Unterquader's working sandstone consists of quartz and only small proportions of iron compounds or kaolinite or dickite. Depending on the lithofacies sampled, however, the contents could vary. This has to be checked in the future.

### **Literature**

- Tonndorf, H.; (2000); Die Uranlagerstätte Königstein- In: Bergbau in Sachsen, Jg. 7, 210 pp.
- De Lucia, M.; Kühn; (2021); Geochemical and reactive transport modelling in R with the RedModRphree package, In: Advances in Geosciences, Jg. 56, S. 33-34.
- Niebuhr, B.; Wilmsen, M.: The transgression history of the Saxonian Cretaceous revisited or: the imperative for a complete stratigraphic reappraisal (Cenomanian, Elbtal Group, Germany)- In: Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Jg. 174(1), S. 69-118.

## Sorptionsverhalten von Antimon an Eisenoxidverbindungen

Franz-Georg Simon<sup>1</sup>, Sophie Frieling<sup>2</sup>

### Einführung

Aschen und Schlacken aus der thermischen Abfallbehandlung enthalten eine Vielzahl von Schwermetallverbindungen. Für Antimon, Chrom, Kupfer, Molybdän und Vanadium werden in der neuen Ersatzbaustoffverordnung (Bundesregierung, 2021) Eluatgrenzwerte für die Verwertung festgelegt. Aschen und Schlacken werden aus der Abfallverbrennungsanlage nass ausgetragen und vor einer Verwertung in der Regel mehrere Wochen gelagert. Dabei finden hydraulische Reaktionen statt und enthaltenes CaO wird zu einem Großteil in Calciumcarbonat umgewandelt. Während wässrige Eluate von frischen Aschen pH-Werte von 12 und höher aufweisen, sind die Eluate nach einigen Wochen weniger stark alkalisch. Die gemessenen Schwermetallkonzentrationen sind daher dann auch deutlich niedriger, mit Ausnahme von Antimon (Sb) und Vanadium (V). Hier steigen die Konzentration mit der Lagerungsdauer. Grund sind sinkende Konzentrationen von Ca-Ionen, die sonst zu einer Ausfällung von Antimonaten und Vanadaten führen (Kalbe und Simon, 2020; Simon et al., 2021). Zu hohe Eluatwerte von Sb und V können jedoch durch Sorption an Eisenoxidverbindungen gemindert werden. Dazu wurden Sorptionsexperimente mit verschiedenen Eisenoxidverbindungen durchgeführt.

### Material und Methoden

Folgende Sorptionsmaterialien wurden untersucht: 1.) Hämatit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (abcr GmbH, Karlsruhe), 2.) Schwertmannit (Eisen(III)-oxyhydroxysulfat) (zur Verfügung gestellt durch G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft, Halsbrücke) sowie 3.) getrockneter und gemahlener Schlamm aus der Belüftung von Grundwasser im Wasserwerk Tiefwerder (Berlin).

Zur Untersuchung der Kinetik und Aufnahme der Sorptionsisothermen wurden die genannten Eisenoxidverbindungen mit Lösungen unterschiedlicher Sb-Konzentrationen in Kontakt gebracht. Die Abnahme der Sb-Konzentrationen wurde mithilfe einer ICP-OES (I-CAP 7000, Thermo Fisher) ermittelt. Die Probenahmezeitpunkte bei den kinetischen Untersuchungen waren im Bereich von 30 Minuten bis 48 Stunden. Für die Bestimmung der Adsorptionsisothermen wurden Antimonlösungen mit Konzentrationen zwischen 2,5 und 40 mg/L und jeweils 10 mg der Eisenoxidverbindung eingesetzt. Zudem wurden die beladenen Sorbentien mithilfe der Elektronenmikroskopie (XL30 ESEM von FEI mit EDX-System Quantax 200 von Bruker) untersucht.

### Resultate und Diskussion

Die experimentellen Ergebnisse bei der Untersuchung der Kinetik ließen sich am besten mit einer Kinetik zweiter Ordnung modellieren, Modellierung nach (pseudo-)erster Ordnung lieferte aber auch brauchbare Ergebnisse und ermöglicht eine einfache Berechnung von Halbwertszeiten  $\tau$  (mit  $\tau = \ln 2/k$  mit  $k$  der Geschwindigkeitskonstante erster Ordnung in  $\text{h}^{-1}$ ). Danach liegen die Halbwertszeiten bei der Sorption mit Hämatit bei 9-15 Minuten, bei Schwertmannit bei 4-9 Minuten. Somit waren zum ersten Probenahmezeitpunkt (30 Minuten) bereits mindestens 2 Halbwertszeiten vergangen, die Sb-Konzentration somit bereits um mindestens 75% reduziert. Für den Schlamm aus dem Wasserwerk konnte keine einfache Reaktionskinetik ermittelt werden, was vermutlich durch die Anwesenheit von

---

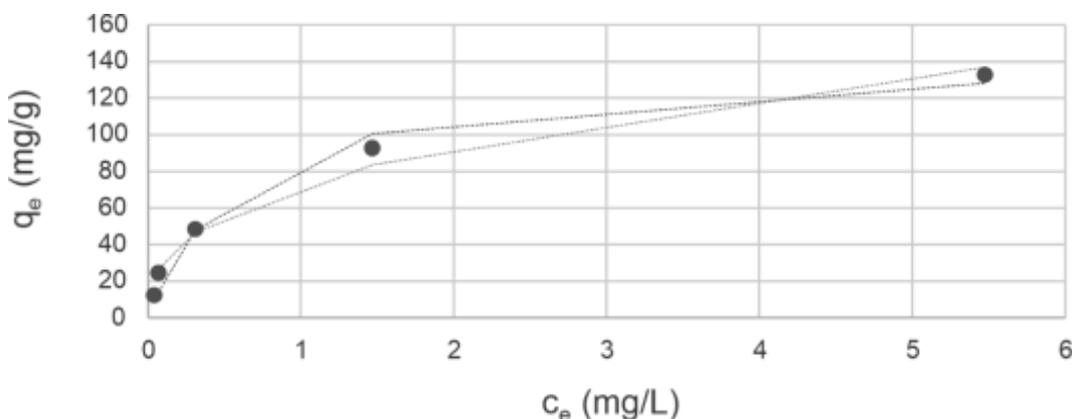
<sup>1</sup> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

<sup>2</sup> Freie Universität Berlin

Mangan ( $\text{MnO}_2$  mindestens 1,6%) und dadurch stattfindende Redoxreaktionen begründet ist (Bai et al., 2020).

Die Ergebnisse zur Bestimmung der Adsorptionsisothermen lassen sich durch die Modelle von Langmuir und Freundlich (Stumm und Morgan, 1996) modellieren. Als besonders wirkungsvoll hat sich Schwertmannit (Eisen-Oxyhydroxysulfat) erwiesen. Es entsteht durch Oxidation von pyrit-haltigem Material durch Mikroorganismen und wird deshalb in Gebieten gefunden, in denen Braunkohle abgebaut wurde, z.B. in der Lausitz (Schwertmann und Cornell, 2000). Die Auftragung der auf Schwertmannit sorbierten Menge Sb gegen die Restkonzentration von Sb in der Lösung ist in Abb. 1 dargestellt. Legt man das Model von Langmuir zu Grunde ( $q_e = K_L c_e N_{\max} / (1 + K_L c_e)$ ) mit  $q_e$  der Sb-Gehalte auf dem Sorptionsmittel in mg/g,  $K_L$  der Langmuir-Konstante in L/g und  $c_e$  der verbliebenen Sb-Konzentration in der Lösung in mg/L) erhält man für  $K_L$  einen Wert von 1,6 L/g und für  $N_{\max}$  142 mg/g.

Die halbquantitativen EDX-Untersuchungen ergaben punktuelle Sb-Konzentrationen von bis 3,2%. Die ESEM-Aufnahmen sind in Fig. 2 dargestellt.



**Abb. 1** Auftragung der sorbierten Sb-Menge in mg/g gegen die Gleichgewichtskonzentration in der Lösung in mg/L für das Sorptionsmittel Schwertmannit. Die gestrichelten Linien zeigen die Ergebnisse der Modellierungen.

**Fig. 1** Plot of the sorbed amount of Sb in mg/g against the equilibrium concentration in the solution in mg/L for the sorbent Schwertmannite. The dotted lines display the modelling results.

## Literatur

- Bai, Y.; Wu, F.; Gong, Y. (2020): Oxidation and adsorption of antimony(III) from surface water using novel  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -supported Fe–Mn binary oxide nanoparticles: effectiveness, dynamic quantitative mechanisms, and life cycle analysis.- In: Environmental Science: Nano, Jg. 7(10), S. 3047-3061
- Bundesregierung (2021): Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung.- In: Bundesgesetzblatt, Jg. Teil I(43), S. 2598-2752
- Kalbe, U.; Simon, F.-G. (2020): Potential Use of Incineration Bottom Ash in Construction: Evaluation of the Environmental Impact.- In: Waste and Biomass Valorization, Jg. 11(12), S. 7055–7065
- Schwertmann, U.; Cornell, R.M. (2000): Schwertmannite.- In: Iron Oxides in the Laboratory, Wiley-VCH, Weinheim, S. 147-152
- Simon, F.G.; Vogel, C.; Kalbe, U. (2021): Antimony and vanadium in incineration bottom ash – leaching behavior and conclusions for treatment processes.- In: Detritus, Jg. 16, S. 75-81
- Stumm, W.; Morgan, J.J. (1996): Chapter 9.3: Adsorptionsisotherms.- In: Aquatic Chemistry, Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters, Wiley, New York, S. 521-533

## Sorption behavior of antimony on iron oxide compounds

Franz-Georg Simon<sup>1</sup>, Sophie Frieling<sup>2</sup>

### Introduction

Ashes and slags from thermal waste treatment contain a large number of heavy metal compounds. For antimony, chromium, copper, molybdenum and vanadium, eluate limits for recycling are specified in the new Secondary Building Materials Ordinance (Bundesregierung, 2021). Ashes and slags are ejected from the waste incineration plant via wet discharge systems and are usually stored for several weeks before being recycled. In the course of the storage, hydraulic reactions take place and contained CaO is converted to a large extent into calcium carbonate. While aqueous eluates of fresh ashes show pH values of 12 and higher, the eluates are less strongly alkaline after several weeks. The measured heavy metal concentrations are then also significantly lower, with the exception of antimony (Sb) and vanadium (V). Here, the concentrations increase with storage time. This is due to decreasing concentrations of Ca ions, which otherwise lead to precipitation of antimonates and vanadates (Kalbe and Simon, 2020; Simon et al., 2021). Excessive eluate levels of Sb and V can be mitigated by sorption onto iron oxide compounds. For this purpose, sorption experiments were carried out with various iron oxide compounds.

### Material and methods

The investigated sorption materials were 1.) hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (abcr GmbH, Karlsruhe), 2.) Schwertmannite (iron(III) oxyhydroxysulfate) (provided by G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft, Halsbrücke) and 3.) dried and milled sludge from the aeration of groundwater at the Tiefwerder waterworks (Berlin).

To investigate the kinetics and evaluation of sorption isotherms, the above-mentioned iron oxide compounds were brought into contact with solutions of different Sb concentrations. The decrease in Sb concentrations was determined using an ICP-OES (I-CAP 7000, Thermo Fisher). Sampling times for the kinetic studies were in the range of 30 minutes to 48 hours. Antimony solutions with concentrations between 2.5 and 40 mg/L and 10 mg of each iron oxide compound were used for the determination of adsorption isotherms. Furthermore, the loaded sorbents were examined using electron microscopy (XL30 ESEM from FEI with EDX system Quantax 200 from Bruker).

### Results and discussion

The experimental results in the kinetics study were best modeled with second-order kinetics, but modeling according to (pseudo)first order also gave useful results and allows a simple calculation of half-lives  $\tau$  (with  $\tau = \ln 2/k$  with  $k$  the first-order rate constant in  $\text{h}^{-1}$ ). According to these results, the half-lives for sorption with hematite are 9-15 minutes, and 4-9 minutes for Schwertmannite. Thus, at least 2 half-lives had already completed by the first sampling time (30 minutes), and the Sb concentration had thus already been reduced by at least 75%. No simple reaction kinetics could be determined for the sludge from the waterworks, which is probably due to the presence of manganese ( $\text{MnO}_2$  content at least 1.6%) and redox reactions taking place as a result (Bai et al., 2020).

The results for determining adsorption isotherms can be modeled by the models of Langmuir and Freundlich (Stumm and Morgan, 1996). Schwertmannite (ferric oxyhydroxysulfate) has been shown to be particularly effective. It is formed by oxidation of pyrite-bearing material by microorganisms and is therefore found in areas where lignite has been mined, e.g., Lausitz, Germany (Schwertmann and

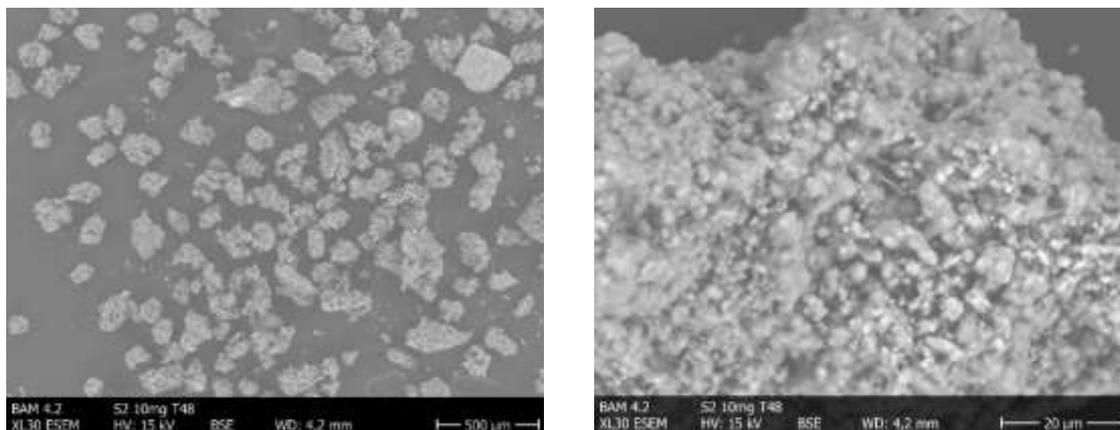
---

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

<sup>2</sup> Freie Universität Berlin

Cornell, 2000). The plot of the amount of Sb sorbed onto Schwertmannite against the residual concentration of Sb in solution is shown in Fig. 1. Using Langmuir's model ( $q_e = K_L c_e N_{max} / (1 + K_L c_e)$ ) with  $q_e$  the Sb content on the sorbent in mg/g,  $K_L$  the Langmuir constant in L/g, and  $c_e$  the remaining Sb concentration in solution in mg/L, a value of 1.64 L/g is obtained for  $K_L$  and 142 mg/g for  $N_{max}$ .

The semi-quantitative EDX investigations gave point Sb concentrations of up to 3.2%. The ESEM images are shown in Fig. 2.



**Abb. 2** Elektronenmikroskopische Aufnahmen von Schwertmannite nach Sorption von Sb.

**Fig. 2** Electron-microscopy images of Schwertmannite with sorbed Sb.

## References

- Bai, Y.; Wu, F.; Gong, Y. (2020): Oxidation and adsorption of antimony(III) from surface water using novel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-supported Fe–Mn binary oxide nanoparticles: effectiveness, dynamic quantitative mechanisms, and life cycle analysis.- In: Environmental Science: Nano, Jg. 7(10), S. 3047-3061
- Bundesregierung (2021): Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung.- In: Bundesgesetzblatt, Jg. Teil I(43), S. 2598-2752
- Kalbe, U.; Simon, F.-G. (2020): Potential Use of Incineration Bottom Ash in Construction: Evaluation of the Environmental Impact.- In: Waste and Biomass Valorization, Jg. 11(12), S. 7055–7065
- Schwertmann, U.; Cornell, R.M. (2000): Schwertmannite.- In: Iron Oxides in the Laboratory, Wiley-VCH, Weinheim, S. 147-152
- Simon, F.G.; Vogel, C.; Kalbe, U. (2021): Antimony and vanadium in incineration bottom ash – leaching behavior and conclusions for treatment processes.- In: Detritus, Jg. 16, S. 75-81
- Stumm, W.; Morgan, J.J. (1996): Chapter 9.3: Adsorption isotherms.- In: Aquatic Chemistry, Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters, Wiley, New York, S. 521-533

## Priorisierung bergbaulicher Sanierungsmaßnahmen – Ermittlung punktueller und diffuser Belastungsquellen sowie Quellstärken in komplexen Flusssystemen im Rahmen einer ganzheitlichen Flussgebietsbewirtschaftung

Christine Stevens<sup>1</sup>, Mirko Martin<sup>2</sup>, Eberhard Janneck<sup>2</sup>, Annia Greif<sup>3</sup>

### Altbergbaubelastungen im sächsischen Einzugsgebiet der Elbe

In Sachsen sind mehr als 1300 km (20 %) der Bäche und Flüsse mit Arsen, Kupfer, Zink, Cadmium oder Nickel aus dem Altbergbau belastet (Abb. 1). Die Umweltbelastung durch den Bergbau stellt eine der 5 wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen dar und führt dazu, dass die Ziele der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie im grenzüberschreitenden Flusseinzugsgebiet der Elbe nicht erreicht werden.

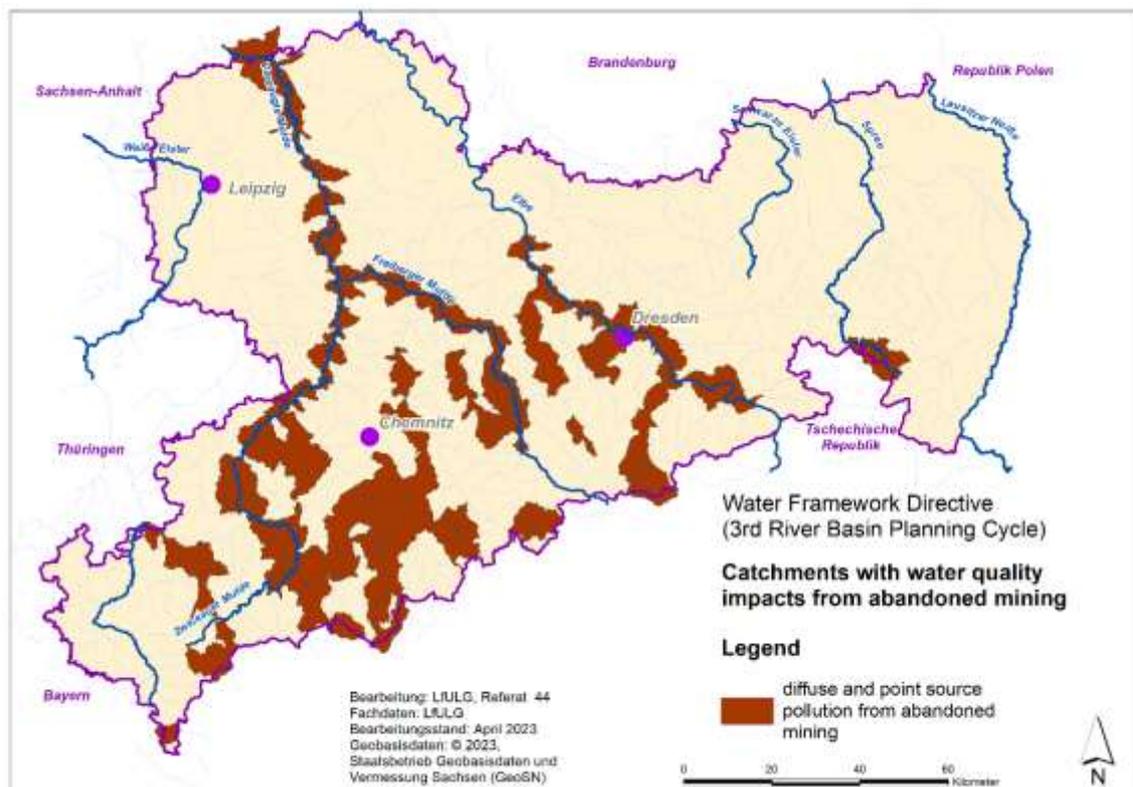


Abb. 1 Vom Altbergbau belastete Oberflächenwasserkörper in Sachsen

Fig. 1 Water quality impacts from abandoned mines on surface water bodies in Saxony

Während eine Reihe von Hotspots der Altbergbaubelastungen in Sachsen gut dokumentiert sind, sind die spezifischen Quellen der Gewässerbelastung durch die Folgen des Altbergbaus für die Mehrzahl der sächsischen Gewässer nach wie vor unbekannt. Um dies zu klären, führt das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie ein Untersuchungsprogramm durch. Ziel

<sup>1</sup> Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

<sup>2</sup> G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH

<sup>3</sup> Wismut GmbH

der Untersuchungen ist es, nicht nur die Belastungsquellen zu identifizieren, sondern auch den relativen Anteil der einzelnen Quellen an der Gesamtbelastung des jeweiligen Gewässers sowie des regionalen Flussgebietes abzuschätzen. Zu den Quellen gehören geogene Quellen, anthropogene Punkt- und diffuse Quellen sowie Quellen aus Oberliegern.

### **Zuordnung von Quellen und Quellstärken auf Einzugsgebietsebene**

Für die Zwickauer Mulde konnte für den Großteil der Wasserkörper eine plausible Zuordnung von Belastungsquellen über deren Frachtbeiträge innerhalb des Gewässersystems erreicht werden (Martin et al. 2023). Zur Veranschaulichung der Untersuchungsergebnisse wurden Fließdiagramme entwickelt, welche die konstruktive Diskussion der Ergebnisse mit Interessengruppen in Workshops ermöglichten. Fachliche Erfahrung und Ortskenntnis der Einzugsgebiete spielen eine wertvolle Rolle bei der Plausibilisierung der Untersuchungsergebnisse. Insgesamt konnten etwa 40 % der Gewässerbelastungen spezifischen Grubengewässern, bergbaulichen Halden und Absetzanlagen zugeordnet werden. Weitere 40 % der Schadstoffe in Bächen und Flüssen stammen aus geogenen Quellen und/oder flussaufwärts gelegenen Einzugsgebieten. Zu den sonstigen Quellen gehören nicht-bergbauliche Industrien, Steinbrüche, Tongruben und Straßenentwässerung. Insgesamt wurden 41 Punktquellen und 165 diffuse Quellen identifiziert. Davon üben 9 Punktquellen eine anteilige Belastung von mehr als 10% und bis zu 100% im gesamten Gewässersystem aus. Detaillierte Informationen zu den konkreten Belastungsquellen der überschrittenen Stoffe sind für jeden der 30 untersuchten Wasserkörper in Steckbriefen zusammengefasst.

### **Bewirtschaftungsplanung der Flussgebiete**

Die Untersuchungsergebnisse ermöglichen eine detaillierte Aufschlüsselung der Gesamtbelastung auf spezifische Teilquellen. Die Priorisierung dieser Belastungsquellen bezüglich ihrer Frachtbeiträge, der Länge der jeweils belasteten Gewässerabschnitte, der Höhe der Überschreitung sowie dem Vorhandensein von multiplen stofflichen Belastungen bilden die Grundlage für eine Bewertung der Sanierungsmöglichkeiten und –kosten, die in ihrer Gesamtheit zur Entscheidungsfindung einer nachhaltigen Bewirtschaftungsplanung der Flusseinzugsgebiete im Rahmen der europäischen Wasserrahmenrichtlinie führen soll.

Nachhaltige Maßnahmen zur Verringerung der Gewässerbelastungen durch bergbauliche Gruben- und Haldensickerwässer werden bereits, z.B. durch die Wismut GmbH, umgesetzt, müssen jedoch dringend für Sachsen ausgeweitet werden. Punktquellen mit kleinerem Abfluss sind hierbei prädestiniert für die Behandlung mittels natürlicher Rückhalteprozesse (passive Technologien, „natural attenuation“). Dabei kommt es nicht auf eine Reduzierung der Belastung „auf Null“ (bis zum Erreichen der Umweltqualitätsnorm) an, sondern es geht vordergründig um eine kostenverträgliche signifikante Verminderung der Gewässerbelastung mit dem Ziel der Erreichung des bestmöglichen Zustandes nach Wasserrahmenrichtlinie für die betroffenen Wasserkörper.

### **Literatur**

Martin, M.; Dittrich, S.; Eulenberger, S.; Greif, A. (2023): Ermittlung der Belastungsquellen und Maßnahmen zur Verminderung der Bergbaubelastung im Rahmen der Umsetzung der EG Wasserrahmenrichtlinie: Zwickauer Mulde.- Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

[www.bergbaufolgen.sachsen.de](http://www.bergbaufolgen.sachsen.de)

## **Prioritizing mining remediation – Identifying and scaling multiple point and diffuse water pollution sources in complex river systems as part of a holistic approach to river basin management**

Christine Stevens<sup>1</sup>, Mirko Martin<sup>2</sup>, Eberhard Janneck<sup>2</sup>, Annia Greif<sup>3</sup>

### **Pollution from abandoned mines in the Saxon River Elbe Basin**

In Saxony, more than 1300 km (20 %) of streams and rivers suffer from pollution with Arsenic, Copper, Zinc, Cadmium or Nickel from abandoned ore mines (Fig.1). Environmental pressures from mining present one of the 5 significant water management issues which contribute to the failure of reaching the environmental objectives of the European Water Framework Directive in the transboundary river basin of the river Elbe.

Whilst a number of hotspots for pollution from abandoned mines in Saxony are well documented, the specific sources of water pollution from mining sites remain unknown for the majority of Saxon waterbodies. To resolve this, a programme of investigations is being carried out by the Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology. Investigations aim to not only identify the sources of pollution but also to apportion the relative contribution from each source to the overall pollution load for each waterbody. Sources include geogenic sources, anthropogenic point and diffuse sources and sources from upstream waterbodies.

### **Source apportionment on a catchment scale**

Results for the River Zwickauer Mulde show a good degree of apportionment for most of its waterbodies. River flow diagrams were used to visualise the monitoring data for each waterbody in order to aid the discussion of the results with a wide range of stakeholders in workshops. Local catchment knowledge has played an invaluable part in verifying monitoring results. In summary, broadly 40 % of water pollution could be allocated to specific mine waters, spoil heap leachate and tailings ponds. Circa another 40 % of stream and river pollutants originate from geogenic sources and/or upstream catchments. Other sources include non-mining industries, quarries, clay pits and road runoff. A total of 41 point sources and 165 diffuse sources were identified. Of these, 9 point sources exert a proportionate load of more than 10% and up to 100% in the whole river system. For each of the 30 waterbodies investigated, detailed information on the specific pollution sources for the elements exceeded has been summarised in fact sheets.

### **River Basin Management Planning**

Results from this work allow for a detailed breakdown of the overall pollution load to specific sub-sources. The prioritisation of these sources with regard to their load contributions, the length of waterbody affected, the level of exceedance as well as the presence of multiple pollutants (elements) together with an assessment of remediation options and costs will form the foundation for decision making for a sustainable River Basin Management under the European Water Framework Directive.

Sustainable measures to reduce water pollution from mine waters and tailings pond leachates are already being implemented, e.g. by Wismut GmbH, but urgently need to be expanded for Saxony. Point sources with smaller discharge are predestined for treatment by means of natural retention processes (passive technologies, 'natural attenuation'). Thereby it is not a matter of reducing the load

---

<sup>1</sup> Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology

<sup>2</sup> G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH

<sup>3</sup> Wismut GmbH

"to zero" (to meet the environmental quality standard), but rather of significantly reducing the pollution load in a cost-effective manner with the goal of achieving the best possible status according to the Water Framework Directive for these water bodies.

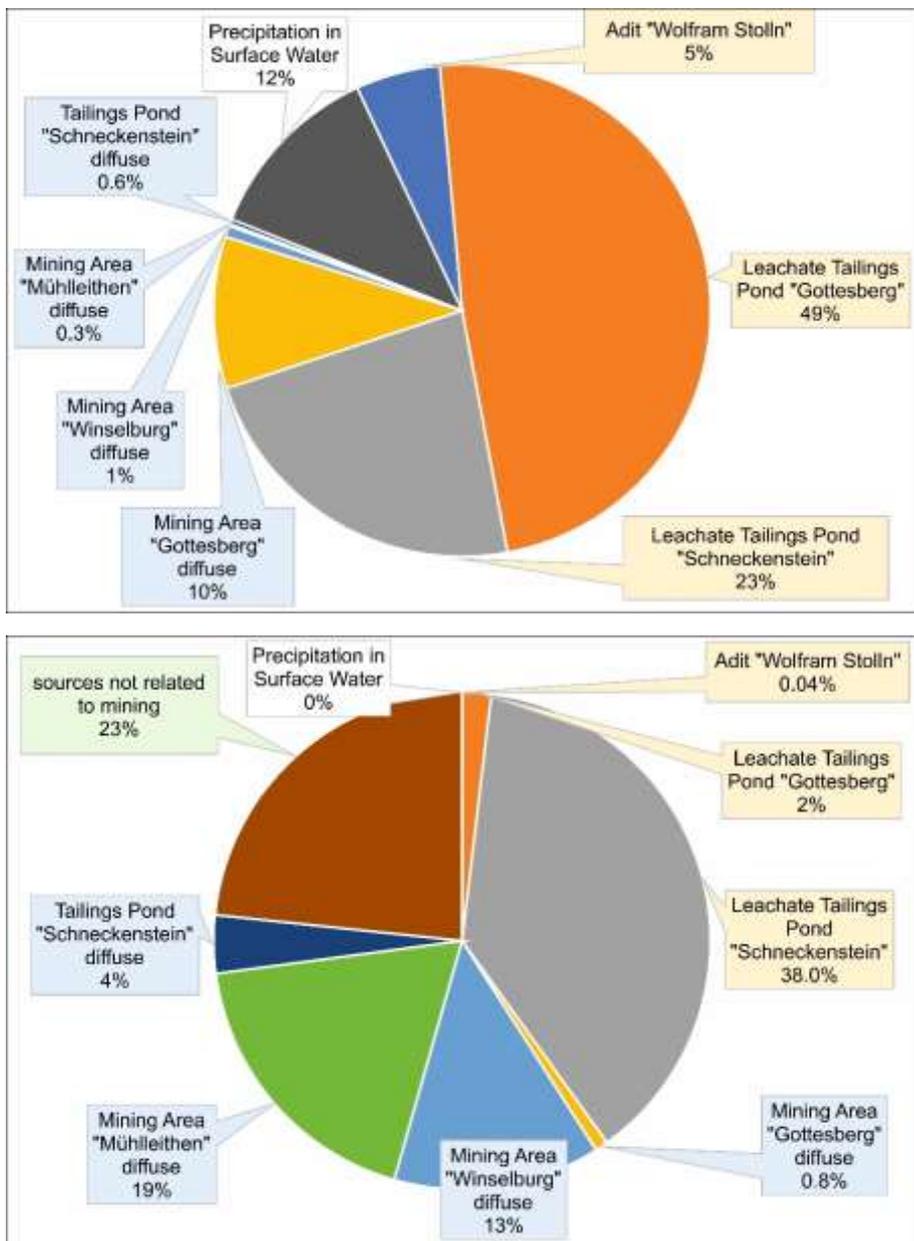


Abb. 2 Frachtanteile der Bergbauobjekte für Cadmium (oben) bzw. Arsen (unten) im Wasserkörper Kleine Pyra  
 Fig. 2 Pollutant loads from mining sources for cadmium (top) and arsenic (bottom) in the waterbody "Kleine Pyra"

## References

Martin, M.; Dittrich, S.; Eulenberger, S.; Greif, A. (2023): Ermittlung der Belastungsquellen und Maßnahmen zur Verminderung der Bergbaubelastung im Rahmen der Umsetzung der EG Wasserrahmenrichtlinie: Zwickauer Mulde.- Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

[www.bergbaufolgen.sachsen.de](http://www.bergbaufolgen.sachsen.de)

## **Verwendung von Gesteinsmaterial aus Abraumhalden nach dem Abbau von Uranerzen in der Region Příbram für Verkehrsbauwerke**

Ing. Václav Šustr

### **Einleitung**

Das Uranvorkommen in der Region Příbram befindet sich im südwestlichen Teil von Böhmen und zählt zu den größten Uranerzvorkommen der Welt. Es wurde Ende der 1940er Jahre durch Erkundungen entdeckt. Der eigentliche Abbau fand über einen relativ kurzen Zeitraum von 1948 bis 1991 statt. In Zahlen ausgedrückt umfasste dies 23 Kilometer Schächte, 2.188 Kilometer Stollen und Gänge, mit etwa 6.000.000 Kubikmetern Gestein, das abgebaut wurde, und 48.432 Tonnen Uran, die gewonnen wurden. Die Abraumhalden, insgesamt 26, enthielten etwa 28 Millionen Kubikmeter Material. Das derzeit geschätzte potenziell nutzbare Volumen liegt bei rund 14 Millionen Kubikmetern.

Das Erz wurde in der Mühle 1. Mai verarbeitet, die in den 1950er Jahren errichtet wurde. Die Technologie wurde nach und nach erweitert und umfasste neben der Verarbeitung von Uranerzen auch die Behandlung von Buntmetallen. Die Geschichte der Verwendung von Abraumhalden als Baumaterial reicht bis in die 1960er Jahre zurück, als die Produktion von sortiertem Gestein in der Mühle begann. Schlammrückstände aus der Erzverarbeitung und später aus der Nassaufbereitung des Gesteins wurden in einem Rückstandsteich abgelagert. Diese Aufbereitungsanlage wurde in den 1990er Jahren privatisiert und ist bis heute in Betrieb.

### **Aktuelle Nutzung des Gesteinsmaterials durch das Staatsunternehmen**

Da DIAMO s. p. über keine stationäre Aufbereitungslinie verfügt, wurde die Aufbereitung direkt an den Abraumhalden geplant. Die Sortierung des Gesteins begann 2021, wobei der Hauptgrund der geplante Bau der Autobahn D4 mit einer Gesamtlänge von 32 Kilometern war. Da sich die Abraumhalden Nr. 11 und 19 direkt am Anfang des D4-Baus befinden, bot sich eine einzigartige Gelegenheit zur Nutzung des Gesteinsmaterials. Neben dem Probelauf der Gesteinsaufbereitung waren das Erlangen von Bergbaugenehmigungen von der Bergbauverwaltung, Genehmigungen vom Staatlichen Amt für nukleare Sicherheit (SÚJB) und die Bewertung des gesamten Projekts aus Sicht der Umweltauswirkungen notwendige Voraussetzungen für die Produktion und Verteilung von Gesteinsmaterial. Die größte Herausforderung bestand jedoch im Kampf gegen die öffentliche Meinung und das Stigma, das mit dem Vorhandensein von Radionukliden in den Abraumhalden verbunden ist.

Die Sortierung des Gesteins begann im Mai 2022. Der Vorteil der Verwendung von Abraummaterial besteht darin, dass keine weitere Aufbereitung erforderlich ist und wir mit Hilfe eines mobilen Grobstufensiebs Produkte herstellen können, die den geforderten Qualitätsstandards entsprechen. Das mobile Grobstufensieb Finlay 883+ mit zwei Maschengittern erzeugt 3 Fraktionen. Je nach den Anforderungen des Bauprojekts werden hauptsächlich die Fraktionen 0/32 und 0/63 an die D4-Baustelle geliefert, wobei geringe Mengen der Fraktionen 32/63, 63/125 und 63+ geliefert werden. Tabelle 1 zeigt den prozentualen Anteil jeder Fraktion. Daraus lässt sich ableiten, dass die ungenutzte Menge nur 4% beträgt, die durch weiteres Zerkleinern weiterverarbeitet werden soll.

POSTERBEITRÄGE  
POSTER CONTRIBUTIONS

Fraktionen	0/32	0/63	32/63	63/125	63+	125+
Prozentsatz (±2%)	64%	86%	19%	10%	17%	4%

Tabelle 1 Prozentsatz der Zusammensetzung der Fraktionen im Abraum Nr. 19.

Table 1 Percentage composition of fractions in the mine dump No. 19.

### Fazit

Die Produktion von sortierten Gesteinskörnungen aus Abraummaterial nach der Uranerzgewinnung bringt zweifellos erhebliche Vorteile, da keine primären Quellen für Bausteine erschlossen oder betrieben werden müssen. Dies stellt einen unbestreitbaren Umweltvorteil für die Region dar. Darüber hinaus bedeutet die schrittweise Beseitigung der Abraumhalden für diesen Zweck eine fortschreitende Beseitigung alter Umweltbelastungen in der Region und hat auch einen positiven Einfluss auf die Landschaft. Daher kann realistisch erwartet werden, dass diese Aktivität – die Produktion von sortierten Gesteinskörnungen aus Abraumhalden nach der Uranabbau – auch in Zukunft fortgesetzt wird.



Foto 1 Verarbeitungsprozess auf der Krone der Abraumhalde Nr. 19. (Autor 2022)

Foto 1 Processing process on the crown of mine dump No. 19. (Author 2022)

## Use of aggregate from rock dumps after uranium ore mining in Příbram region for transport constructions

Ing. Václav Šustr

### Introduction

The uranium deposit in the Příbram region is located in the southwest part of central Bohemia and is among the largest uranium ore deposits in the world. It was discovered through exploration in the late 1940s. The actual mining took place for a relatively short period, from 1948 to 1991. In terms of numbers, it involved 23 kilometers of shafts, 2,188 kilometers of galleries and drifts, with approximately 6,000,000 cubic meters of rock extracted and 48,432 tons of uranium obtained. The mine dumps, totaling 26, contained around 28 million cubic meters of material. The current estimated potentially usable amount is around 14 million cubic meters.

The ore was processed at the 1st of May Mill, which was established in the 1950s. The technology gradually expanded, and besides processing uranium ores, it also included the treatment of non-ferrous metals. The history of using mine dumps as construction stone dates back to the 1960s when the production of sorted aggregates commenced at the mill. Sludge residues from ore processing and later from wet aggregate processing were deposited in a tailings pond. This processing facility was privatized in the 1990s and remains operational to this day.

### Current utilization of aggregates by the state enterprise

Due to the fact that DIAMO s. p. does not have a stationary processing line, the processing was planned directly at the mine dumps. Aggregate sorting commenced in 2021, with the main reason being the planned construction of the D4 highway with a total length of 32 kilometers. Since mine dumps No. 11 and 19 are located right at the beginning of the D4 construction, it presented a unique opportunity for the utilization of aggregates. In addition to the trial operation of aggregate processing, obtaining mining permits from the mining administration, permits from the State Office for Nuclear Safety (SÚJB), and assessing the entire project from an environmental impact perspective were necessary conditions for production and distribution of aggregates. However, the greatest challenge was the struggle with public opinion and the stigma associated with the presence of radionuclides in the mine dumps.

Aggregate sorting began in May 2022. The advantage of using mine dump material is that no further processing is required, and with the help of a mobile coarse screener, we are able to produce products that meet the required quality standards. The mobile coarse screener, Finlay 883+, with two mesh decks, produces 3 fractions. Depending on the construction requirements, the main products delivered to the D4 construction are fractions 0/32 and 0/63, with minor deliveries of fractions 32/63, 63/125, and 63+. Table 1 displays the percentage composition of each fraction. It can be inferred that the unused quantity amounts to only 4%, which will be utilized in further processing through crushing.

Fraction	0/32	0/63	32/63	63/125	63+	125+
Percentage (±2%)	64%	86%	19%	10%	17%	4%

Tabelle 1 Prozentsatz der Zusammensetzung der Fraktionen im Abraum Nr. 19.

Table 2 Percentage composition of fractions in the mine dump No. 19.

## Conclusion

The production of sorted aggregates from mine dump material after uranium ore mining undoubtedly brings significant benefits by eliminating the need to open or operate primary sources of construction stone, which is an undeniable environmental advantage for the region. Furthermore, the gradual removal of mine dumps for this purpose represents the progressive elimination of old environmental burdens on the area, including a positive impact on the landscape. Therefore, it can be realistically expected that the mentioned activity – the production of sorted aggregates from mine dumps after uranium mining – will continue in the future.



*Foto 2 Verarbeitungsprozess auf der Krone der Abraumhalde Nr. 19. (Autor 2022)*

*Foto 3 Processing process on the crown of mine dump No. 19. (Author 2022)*

## Waldbaulich-ertragskundliche Untersuchung der Aufforstung auf der Halde Beerwalde – Diskussion geeigneter und angepasster Inventurverfahren

Joey Lee Taylor<sup>1</sup>, Anka Nicke<sup>1</sup>, Karina Kahlert<sup>2</sup>, Mirko Köhler<sup>3</sup>

### Einleitung & Methode

Die Wismut GmbH als Nachfolger der sowjetisch-deutschen Aktiengesellschaft Wismut saniert seit 1990 die Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus in Sachsen und Thüringen (Arenhövel et al. 2009). Ein 32 Hektar großes 2002/2003 mit Forstpflanzen saniertes Objekt stellt dabei die Halde Beerwalde in Ostthüringen dar (Abb. 1).



Abb. 1 Luftbild der Halde Beerwalde bei Ronneburg (Fischer, 2022)  
Fig. 1 Aerial view of the slag heap Beerwalde (Fischer, 2022)

Der Erhalt der technischen Funktionalität hat oberste Priorität. Daher werden methodische Ansätze geprüft, um den komplexen Ansprüchen der Wismut GmbH an eine Waldinventur (Forsteinrichtung) gerecht zu werden.

Durch die erstmalige Aufnahme von Wald-Daten mit Hilfe von Inventuren sowie die Entnahme von Bohrspanproben können Aussagen über die Eignung der vorhandenen Baumarten auf dem Extremstandort Beerwalde getroffen werden. Von Bedeutung sind insbesondere der Schutz der Halde Beerwalde vor Denudation und Deflation

### Ergebnisse – Wachstum – Standort

Die Hauptbaumarten wie Stiel- und Traubeneiche, Douglasie und Europäische Lärche verzeichnen auf der Halde Beerwalde ein sehr gutes Wachstum und liegen in den ersten Bonitäten ihrer jeweiligen Ertragstafel. Vorkommende Mischbaumarten wie Winterlinde oder Roteiche stagnieren im Wachstum und können nicht an die Wuchskraft der Hauptbaumarten im Oberstand anknüpfen. Für die Baumartenmischung und die Entwicklung eines günstigen Humuszustandes, welcher auf der

---

<sup>1</sup> FH Erfurt

<sup>2</sup> FFK Gotha-ThüringenForst

<sup>3</sup> Wismut GmbH

Halde Beerwalde in den meisten Fällen ein typischer F-Mull ist, sind sie jedoch von großer Bedeutung.

### **Ergebnisse – Jahrringanalyse – Klimawandel**

Durch ein Detrending, bei dem die baumindividuellen Radialzuwachskurven mithilfe einer polynomischen Funktion zweiten Grades geglättet wurden, entstand der Tree Ring Index (TRI). Erkennbar sind die geringen Schwankungen der klimastabilen Baumart Douglasie, die nach Jahren mit geringem Wachstum (Weiserjahren) im Folgejahr mit positivem Wachstum (2018 zu 2019, 2020 zu 2021) reagiert. Die Europ. Lärche hingegen verzeichnet hohe Schwankungen (Max. und Min.). Ihre Wachstumseinbußen reichen oftmals über mehrere Jahre (2010 zu 2012; 2016 zu 2018). Die Eiche kann mehrere wachstumshemmende Jahre überstehen und darauf mit stärker ansteigenden Jahrringen (2020 u. 2021) reagieren. Im Trockenjahr 2018 liegt der TRI bei allen drei Hauptbaumarten unter eins. Die Eichen reagierten jedoch mit einem durchschnittlichen TRI von 0,86 am wenigsten auf die Trockenheit.

### **Waldbauliche Schlussfolgerung**

Die Bewirtschaftung der Halde zielt prioritär auf den Erhalt der pedologischen und wasserhaushaltlichen Funktion ab. Die höheren Kosten sind aus diesem Grund als Ergebnis der zusätzlichen Schutzleistung zu verstehen (Köhler, 2022). Pflegeeingriffe sollten daher als eine Art der Mindestpflege betrachtet werden, um den Erhalt der vertikalen Stufigkeit und die Förderung der Naturverjüngung zu gewährleisten. Dabei sollte in den Eingriffen versucht werden den hohen Nadelholzanteil von 56 % auf der Halde Beerwalde zugunsten von klimastabilen Laubbaumarten gesenkt werden.

Die dendrochronologischen Untersuchungen zeigen, dass besonders die Europäische Lärche, welche das dominierende Nadelholz ist, die meisten negativen Weiserjahre aufweist. Um die Etablierung von weiteren Bestandesschichten sowie klimastabilen Baumarten zu ermöglichen, gehören insbesondere die Nadelholzbestände aufgelichtet. Um Schäden an der Abdeckung bei der Bewirtschaftung zu vermeiden, sind teilmechanisierte Holzernteverfahren und Pflegeeingriffe notwendig.

### **Literatur**

- Arenhövel, W.; Köhler, M.; Ott, A.; Schenk, H. (2009) Begrünung der Halde Beerwalde. In: AFZ Der Wald (10)  
Fischer, A. (2022) Luftbilder der Halde Beerwalde  
Köhler, M. Wismut GmbH (2022) Halde Beerwalde (E-Mail)

## Silvicultural-yield analysis of the afforestation on the Beerwalde slag heap – discussion of suitable and adapted inventory procedures

Joey Lee Taylor<sup>1</sup>, Anka Nicke<sup>1</sup>, Karina Kahlert<sup>2</sup>, Mirko Köhler<sup>3</sup>

### Introduction and method

Wismut GmbH, the successor to the Soviet-German public company Wismut, has been rehabilitating the legacy of uranium ore mining in Saxony and Thuringia since 1990 (Arenhövel et al. 2009). The Beerwalde waste rock pile in East Thuringia, which was rehabilitated with forest plants in 2002/2003, covers an area of 32 hectares (Fig. 1).



Abb. 2 Luftbild der Halde Beerwalde bei Ronneburg (Fischer, 2022)

Fig. 1 Aerial view of the slag heap Beerwalde (Fischer, 2022)

Maintaining technical functionality has top priority. Therefore, methodological approaches are being examined in order to meet the complex requirements of Wismut GmbH for a forest inventory (forest orientation).

By recording forest data for the first time with the help of inventories and taking drill chip samples, statements can be made about the suitability of the existing tree species at the Beerwalde extreme site. Of particular importance is the protection of the Beerwalde slag heap from denudation and deflation.

### Results – Growth – Location

The main tree species such as pedunculate and sessile oak, Douglas fir and European larch show very good growth on the Beerwalde slag heap and are in the first grades of their respective yield tables. Occurring mixed tree species such as littleleaf lime or red oak stagnate in growth and cannot match the vigour of the main tree species in the upper stand. However, they are of great importance for the mixture of tree species and the development of a favourable humus condition, which is a typical F-mull on the Beerwalde slag heap in most cases.

---

<sup>1</sup> FH Erfurt

<sup>2</sup> FFK Gotha-ThüringenForst

<sup>3</sup> Wismut GmbH

### **Results – Tree ring analysis – Climate change**

The Tree Ring Index (TRI) was created by detrending the tree-individual radial growth curves using a second-degree polynomial function. The slight fluctuations of the climate-stable tree species Douglas fir can be seen, which reacts after years with low growth (wise years) in the following year with positive growth (2018 to 2019, 2020 to 2021). The European larch, on the other hand, shows high fluctuations (max. and min.). Their growth losses often extend over several years (2010 to 2012; 2016 to 2018). Oak can survive several growth-inhibiting years and react to this with more strongly increasing annual rings (2020 and 2021). In the dry year 2018, the TRI is below one for all three main tree species. However, the oaks reacted least to the drought with an average TRI of 0.86.

### **Silvicultural conclusion**

The management of the slag heap is primarily aimed at preserving the pedological and hydrological function. For this reason, the higher costs are to be understood as the result of the additional protection (Köhler, 2022). Maintenance interventions should therefore be considered as a kind of minimum maintenance to ensure the preservation of the vertical gradation and the promotion of natural regeneration. The interventions should try to reduce the high coniferous share of 56 % on the Beerwalde slag heap in favour of climate-stable deciduous tree species.

The dendrochronological examinations show that especially the European larch, which is the dominant coniferous wood, has the most negative growth years. In order to enable the establishment of further stand layers and climate-stable tree species, the coniferous stands in particular need to be thinned. In order to avoid damage to the cover during management, partially mechanised timber harvesting methods and maintenance interventions are necessary.

### **References**

- Arenhövel, W.; Köhler, M.; Ott, A.; Schenk, H. (2009) Begrünung der Halde Beerwalde. In: AFZ Der Wald (10)  
Fischer, A. (2022) Luftbilder der Halde Beerwalde  
Köhler, M. Wismut GmbH (2022) Halde Beerwalde (E-Mail)

## **Grube Königstein: 25 Jahre Sanierungsbegleitung durch das GWZ**

Uli Uhlig<sup>1</sup>, Frank Börner<sup>2</sup>, Felix Bilek<sup>3</sup>, Ludwig Luckner<sup>2</sup>

### **Die Uranerzgrube Königstein – von der Erkundung bis zur Stilllegung**

Die bergbauliche Tätigkeit an der Grube Königstein begann 1961 mit den ersten Erkundungsarbeiten durch die SDAG Wismut. Die Uranlagerstätte befindet sich im tiefsten von 4 vier stockwerkartigen Grundwasserleitern (GWL), wobei im Bereich der Grube der hangende 3. GWL teilweise entwässert und der 4. GWL vollständig trockengelegt wurden. Die Vererzung ist in verschiedenen Sandsteinen der Kreideformation des 3. GWL verbreitet und hat sich durch reduktive Fällung von Uraninit gebildet. Der untertägige Grubenbau wurde der natürlichen Lagerstätte folgend nach Süden aufgefahren. Insgesamt wurde eine Fläche von ca. 6 km<sup>2</sup> erschlossen. Die maximale Ausdehnung in der Länge beträgt ca. 4 km.

Bereits ab 1967, gerade einmal 6 Jahre nach der Erkundung, begann der konventionelle Uranerzabbau. Aufgrund niedriger Urangehalte in den Sedimentgesteinen wurde nach einer vorausgegangenen Testphase seit 1984 vollständig auf Laugungsbergbau umgestellt. Die dafür verwendete Schwefelsäure wurde mit Wasser verdünnt und über Bohrlöcher direkt in Laugungsblöcke eingepresst oder in magazinierte Grubenbereiche aufgegeben. Das so geschaffene schwefelsaure Milieu bewirkte die Bildung von Uranylionen. Bei der gängigsten Laugungstechnologie wurde die Festgesteinformation in sogenannten Magazinen zusätzlich durch Sprengung größerer Areale untertägig zerkleinert. Nach dem Laugungsprozess wurde die so hergestellte Lösung über Tage gefördert und das Uran mittels Ionenaustauschern gewonnen.

Die Einstellung des aktiven Bergbaus erfolgte 1990, nach 33 Jahren. Aus der Lagerstätte waren bis dahin ca. 19.000 t Uran gewonnen und über 55 Millionen Tonnen Gestein mit schwefelsäurehaltiger Lösung in Kontakt gebracht worden. Zudem wurden durch die mit dem Grubenbetrieb erforderliche Wasserhaltung große Gesteinsareale belüftet. Unter den so geschaffenen oxischen Milieubedingungen bewirken Verwitterungsprozesse der anstehenden Minerale eine zusätzliche Schadstofffreisetzung. Mit der im Porenraum verbliebenen Menge an saurer, uranhaltiger Lösung ist auch nach Beendigung des aktiven Laugungsbergbaus noch ein erhebliches Schadstoffinventar in der Grube verblieben. Solange die sauren und oxischen Milieubedingungen andauern, laufen zudem die Prozesse der Mobilisierung von Uran, Schwermetallen und anderen Schadstoffen weiter. Bei einer ungesteuerten Flutung des Bergwerkes können auch diese Schadstoffe unkontrolliert in das Grundwasser und über diesen Wirkungspfad in die Elbe gelangen.

### **Der lange Weg zur Sanierung der Grube**

Ab 1991 wurde durch die Wismut GmbH (WISMUT), mit dem Ziel der Schaffung weitgehend vorbergbaulicher Zustände, ein Konzept zur Flutung der Grube Königstein entwickelt. Neben der beschriebenen stofflichen Problematik stellt die geringe Entfernung zur Elbe eine genehmigungsrechtliche Herausforderung dar. Übertage ist das Gebiet am Rand des Nationalparks „Sächsische Schweiz“ nicht nur Teil eines sensiblen Ökosystems, sondern zudem auch durch eine starke touristische Nutzung geprägt. Der Abschlussbetriebsplan zur Sanierung der Grube sieht deshalb die Flutung bis zu einem natürlichen Einstauniveau vor.

---

<sup>1</sup> GIP GmbH,

<sup>2</sup> DGFZ e.V.

<sup>3</sup> GFI GmbH

Im Januar 2001, zehn Jahre nach Beendigung des aktiven Bergbaus, konnte nach intensiver Vorbereitung mit der gesteuerten Flutung des Bergwerkes in einem ersten Teilschritt begonnen werden. Die Flutung ist bis heute nicht abgeschlossen. Im vierten Quartal 2023, weitere 22 Jahre später, soll nun mit dem Hydraulischen Test 2 ein weiterer wesentlicher Teilschritt zur finalen Flutung der Grube beginnen. Die Beendigung des aktiven Bergbaus ist inzwischen genauso lange her, wie der aktive Bergbau angedauert hat. Allein dies zeigt die Dimension des Vorhabens für alle Beteiligten.

Zur Bewältigung der vielfältigen Aufgaben hat die WISMUT als bergbaulich Verantwortliche auf die fachliche Unterstützung durch unterschiedliche Partner, unter anderem am Grundwasser-Zentrum Dresden, zurückgegriffen. So auch bei der wissenschaftlichen Auswertung des Flutungsexperimentes. In Vorbereitung der geplanten Flutung wurden dabei ein abgeschlossener kleiner Grubenbereich kontrolliert geflutet und im Sinne eines Black-Box-Experimentes die Zu- und Abläufe detailliert untersucht. Ziel dieser Arbeiten war die Bestimmung der Freisetzungskarakteristik, der Prognose von erwartbaren Laugungskurven für die relevanten Schadstoffe und die Ermittlung wichtiger hydrogeologischer Parameter für die bevorstehende kontrollierte Flutung.

Im Ergebnis der ersten Flutungsschritte zeigte sich schnell, dass das Schadstoffinventar gewaltig groß und die Prozesse zum reinen hydraulischen Waschen sehr langsam sein werden. Spätere Arbeiten galten daher der gemeinsamen Entwicklung von neuartigen Sanierungstechnologien bzw. -strategien zur langzeitlichen Minimierung des Schadstoffaustrages durch Schaffung reduktiver Milieubedingen im Grubenraum und einer Immobilisierung durch sulfidische Feststoffphasen. Hierfür wurde im Rahmen des KORA-Themenverbundes Bergbau und Sedimente auch ein vom BMBF gefördertes Forschungsvorhaben durchgeführt. Dieses Vorhaben lieferte wichtige Erkenntnisse auf dem Weg zu dem jetzt vorliegenden Flutungskonzept. Ihre technische Umsetzung in der Grube konnte aber nicht getestet werden.

Im Ergebnis dieser und weiterer Untersuchungen wurde deshalb im Jahr 2010 ein realmaßstäblicher Feldversuch zur Schaffung pH-neutraler Milieubedingungen durch die großtechnische Injektion von Natronlauge von Übertage an mehreren Aufgabepunkten durchgeführt. Auf Grundlage dieser Versuchsergebnisse wurde unter Mitwirkung des Grundwasser-Zentrum-Dresden schließlich ein Konzept zur finalen Flutung erarbeitet und zur Genehmigung bei den zuständigen Behörden eingereicht. Insbesondere wegen der begründeten Sorge vor Übertritten von uranhaltigen Wässern in den 3. GWL und über diesen in die Elbe, konnten die genehmigungsrechtlichen Vorbehalte bisher jedoch nicht vollständig ausgeräumt werden.

Parallel dazu erfolgten durch die WISMUT in Zusammenarbeit mit dem Grundwasser-Zentrum-Dresden langfristige Laboruntersuchungen zu mikrobiellen Stoffwandelungsprozessen unter grubennahen Bedingungen. Hierfür wurde im Strahlenschutzbereich der Tagesanlagen ein eigens dafür ausgestatteter Laborcontainer angeschafft. Mit diesen Untersuchungen konnten der Nachweis von natürlichen mikrobiellen Prozessen zur Schadstoffdemobilisierung im Grubenraum erbracht und die technischen Möglichkeiten zur Beschleunigung dieser Prozesse entwickelt werden. In einem weiteren Feldversuch wurden die Laborergebnisse auch unter in-situ-Bedingungen im Randbereich der Grube reproduziert. Diese Arbeiten, haben einen wesentlichen Beitrag zur nunmehr erzielten aktuellen Genehmigung des nächsten Teilschrittes der finalen Flutung geleistet.

All diese vorstehend genannten Projekte haben zu dem heutigen Kenntnisstand beigetragen. Dafür erfordert es sowohl den Willen als auch die nötigen Finanzmittel. An diesem Beispiel zeigt sich sehr schön, dass nicht nur der aktive Bergbau, sondern auch der Sanierungsbergbau eine Generationenaufgabe sein kann.

## Königstein mine: 25 years of supporting decontamination by GWZ

Uli Uhlig<sup>1</sup>, Frank Börner<sup>2</sup>, Felix Bilek<sup>3</sup>, Ludwig Luckner<sup>2</sup>

### **Königstein uranium ore mine – from exploration to decommissioning**

Mining activity at the Königstein mine began in 1961 with the initial exploration work, which was carried out by SDAG Wismut. The uranium deposit is located in the deepest of four aquifers; in the area of the mine, the hanging third aquifer was partially drained and the fourth aquifer was completely drained. Mineralisation is widespread in various sandstones of the third SWA cretaceous formation and formed through the reductive precipitation of uraninite. The underground mine was excavated southwards, following the natural deposit. In total, an area of approx. 6 km<sup>2</sup> was developed. The maximum lengthwise extension is about 4 km.

Conventional uranium mining began in 1967, just six years after the initial exploration. Due to low uranium content in the sedimentary rocks, after a preceding test phase, mining was converted entirely to Leach Mining in 1984. The sulphuric acid used for this was diluted with water and injected directly into leach blocks via boreholes or fed into magazined mining areas. The sulphuric acid environment thereby created caused the formation of uranyl ions. Using the most common leaching technology, the solid rock formation was in-situ crushed in "magazines" by blasting larger areas. After the leaching process, the solution produced in this way was pumped above ground, and the uranium was extracted using ion exchangers.

Active mining was discontinued in 1990, after thirty-three years. By then, about 19,000 tonnes of uranium had been extracted from the deposit, and more than 55 million tonnes of rock had been brought into contact with sulphuric acid solution. In addition, large areas of rock had been ventilated by the dewatering required with the mine operation. Under the oxic environment conditions created in this way, weathering processes of the minerals present resulted in an additional release of pollutants. With the amount of acidic uranium-containing solution remaining in the pore space, a significant inventory of contaminants remained in the mine even after the end of active leach mining. Moreover, as long as the acidic and oxic environmental conditions persist, the processes of mobilisation of uranium, heavy metals and other pollutants continue. In the event of uncontrolled flooding of the mine, these pollutants could also enter the groundwater in an uncontrolled manner and reach the Elbe via this pathway.

### **The long road to decontamination of the mine**

From 1991 onwards, Wismut GmbH (WISMUT) developed a concept for flooding the Königstein mine, with the aim of creating conditions that largely corresponded to those before the mine was established. In addition to the geochemical problems described above, the short distance to the Elbe posed a challenge in terms of licensing law. Above ground, the area on the edge of the Saxon Switzerland National Park is not only part of a sensitive ecosystem but is also characterised by heavy tourist use. The final operations plan for the decontamination of the mine therefore provided for flooding to a natural damming level.

In January 2001, ten years after the end of active mining, the controlled flooding of the mine could be started in an initial partial step following intensive preparations. The flooding has still not been completed to this day. In the fourth quarter of 2023, another twenty-two years later, another important

---

<sup>1</sup> GIP GmbH,

<sup>2</sup> DGFZ e.V.

<sup>3</sup> GFI GmbH

step towards the final flooding of the mine is due to begin with Hydraulic Test 2. The same amount of time has now passed since the end of active mining as was the duration of active mining itself. This alone demonstrates the scale of the project for all involved.

In order to cope with the diverse tasks, WISMUT, as the party responsible for mining, has relied on the expert support of various partners, including at the Dresden Groundwater Centre. This also applies to the scientific evaluation of the flooding experiment. In preparation for the planned flooding, a small, closed-off area of the mine was flooded in a controlled manner and the inflows and outflows were investigated in detail through a black box experiment. The aim of this work was to determine the release characteristics, forecast expected leaching curves for the relevant contaminants, and determine important hydrogeological parameters for the upcoming controlled flooding.

As a result of the first steps in flooding, it quickly became apparent that the pollutant inventory would be huge and the pure hydraulic washing processes would be very slow. Subsequent work therefore focused on the joint development of new decontamination technologies and strategies for the long-term minimisation of contaminant discharge by creating reductive environmental conditions in the mine workings and immobilisation through sulphidic solid phases. For this purpose, a research project funded by the BMBF was also carried out within the framework of the KORA thematic network on mining and sediments. This project provided important findings on the path to the current flooding concept. However, it was not possible to test their technical implementation in the mine.

As a result of these and other investigations, a real-scale field test was therefore carried out in 2010 to create pH-neutral environmental conditions through the large-scale injection of caustic soda from above ground at several feed points. Based on these test results, a concept for the final flooding was finally developed in cooperation with the Dresden Groundwater Centre and submitted to the responsible authorities for approval. However, it has not yet been possible to completely dispel the reservations under licensing law, particularly due to justified concern about uranous water spilling into the third SWA and via this into the river Elbe.

Parallel to this, WISMUT, in cooperation with the Dresden Groundwater Centre, conducted long-term laboratory studies on microbial material transformation processes under near-mine conditions. To this end, a specially equipped laboratory container was purchased for use in the radiation protection area of the open-cast mines. These investigations provided evidence of natural microbial processes for pollutant demobilisation in the mine site and developed the technical possibilities for accelerating these processes. In a further field test, the laboratory results were also reproduced under in-situ conditions in the marginal area of the mine. This work has made a significant contribution to the ongoing approval process for the next stage of the final flooding.

All of the projects mentioned above have contributed to the current state of knowledge. This requires both the will and the necessary financial resources. This example shows very well that not only active mining, but also decontamination mining, can be a generational task.

## Managing mining legacies: ein neuer internationaler Standard

Corinne Unger<sup>1</sup>, Tania Laurencont<sup>1</sup>, Peter Goerke-Mallet<sup>1</sup>

Weltweit gibt es zahllose problematische Hinterlassenschaften des Bergbaus, aber nur wenige Nationen und noch weniger Standorte erhalten die Aufmerksamkeit, die sie benötigen, um die Schäden für die Allgemeinheit und die Umwelt rückgängig zu machen (Kretschmann et al. 2020; Laurencont 2014; Unger et al. 2015; Worrall et al. 2009). Die Notwendigkeit, die Transparenz der Lieferkette der Gewinnung von Rohstoffen zu gewährleisten, macht es erforderlich, dass die nachhaltige Entwicklung während des gesamten Lebenszyklus eines Bergwerks nachgewiesen wird. Dies gilt auch für die Verwaltung von bergbaulichen Hinterlassenschaften.

Trotz einer Reihe von Leitlinien für das Management von Bergwerksstilllegungen und Bergbauhinterlassenschaften auf der ganzen Welt, gab es keine Norm für den Umgang mit Bergbauhinterlassenschaften. Die Bedeutung dieses Problems wurde Ende 2018 erkannt, als der Unterausschuss "Mine Closure and Reclamation Management" des Technischen Komitees für Bergbau der Internationalen Organisation für Normung (ISO) einen neuen Arbeitsschwerpunkt vorschlug. Unter der Leitung der Erstautorin begann eine internationale Arbeitsgruppe mit der Entwicklung einer neuen Norm mit dem Titel "Managing Mining Legacies" (ISO 24419).

Der Standard "Managing Mining Legacies" besteht aus zwei Teilen. Teil 1 beschreibt, was zur Erfüllung des Standards durchgeführt werden muss, während Teil 2 ein technischer Bericht ist, der illustrative Fallstudien und eine Bibliographie enthält. Teil 2 bietet somit Anleitung und Unterstützung für Teil 1. Der Standard gilt für alle Interessengruppen, die mit der Bewirtschaftung von Bergbaualtlasten befasst sind. Die für die Bewirtschaftung verantwortlichen Parteien werden ermutigt, die Allgemeinheit und andere Interessengruppen, die von der Rekultivierung und Stilllegung betroffen sind und/oder davon profitieren, einzubeziehen. Der Standard gliedert sich in folgende Bereiche;

- Leitung und Führung,
- Beteiligung von Interessengruppen
- Managementplanung,
- Umsetzung, und
- Verantwortlichkeit, Leistung und Berichterstattung.

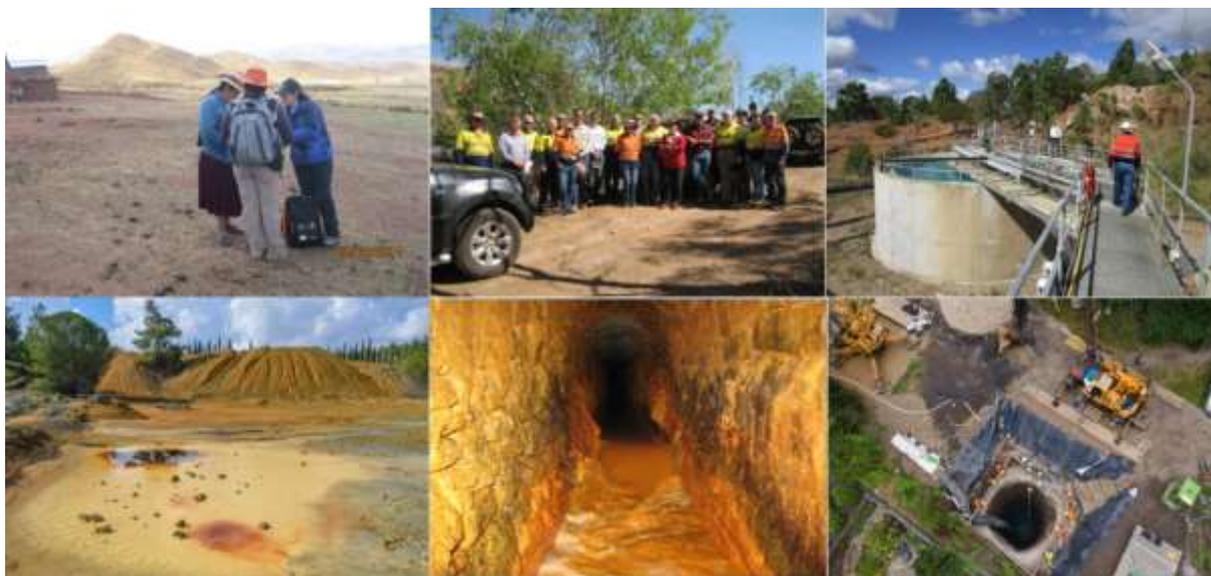
Der Standard integriert die 17 UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs), da davon ausgegangen wird, dass ihre Anwendung zur Verringerung von Ungleichheiten, Frieden, Gerechtigkeit und starken Institutionen beiträgt und gleichzeitig die Lebensbedingungen an Land und im Wasser verbessern hilft. Insbesondere soll die Rekultivierung die Ungleichheiten der marginalisierten Menschen, die in der durch den Bergbau geschädigten Umwelt leben, beseitigen (SDGs 1 und 10). Darüber hinaus wird die Wiederherstellung guter Lebensbedingungen an Land und im Wasser die Ökosysteme verbessern (SDGs 14 und 15) und die Rückkehr zu produktiven Lebensgrundlagen erleichtern, die durch die Hinterlassenschaften des Bergbaus zerstört wurden (SDG 2). Die Umkehrung der Auswirkungen der Kontaminationen wird Gesundheit und Wohlbefinden der Betroffenen verbessern (SDGs 3 und 6), was ein wesentlicher Bestandteil der Schaffung eines neuen und angemessenen Wirtschaftswachstums ist (SDG 8). Dabei ist die Gleichstellung der Geschlechter ein wesentliches Ziel (SDGs 5 und 10). Allen Betroffenen und Beteiligten soll die Möglichkeit geben werden, sich Gehör zu verschaffen und an der Rekultivierung von Bergbaualtlasten teilzunehmen, um den Übergang ehemaliger Bergbaualtlasten so zu gestalten, dass sie den lokalen und regionalen Bedürfnissen ent-

---

<sup>1</sup> ISO TC 82 SC 7 WG 3 "Managing Mining Legacies"

sprechen (SDG 7). Wichtig ist, dass Partnerschaften (SDG 17) sicherstellen, dass alle, die sich beteiligen wollen, einbezogen werden. Durch eine respektvolle Zusammenarbeit im Rahmen von sozialen Beziehungen wird Vertrauen aufgebaut. Damit jedes dieser Ziele erreicht werden kann, sind wirksame, rechenschaftspflichtige und integrative Institutionen erforderlich, die auch Bildung und Ausbildung umfassen, um die Kapazitäten derjenigen aufzubauen, die sich mit dem Rekultivierungsprozess oder neuen Nutzungen der Umwelt beschäftigen (SDG 16).

Die Entwicklung dieses Standards zur Bewältigung von Bergbauhinterlassenschaften war nur durch die freiwilligen Bemühungen von Experten aus Industrie- und Entwicklungsländern möglich, die bereitwillig ihr vielfältiges Fachwissen, ihre Kenntnisse und ihre Erfahrungen in diese Zusammenarbeit einbrachten. Wir hoffen, dass die Verabschiedung dieses Standards das Bewusstsein dafür schärft, wie wichtig der Umgang mit Bergbauhinterlassenschaften nicht nur als Aufgabe der Umweltsanierung ist, sondern auch als eine Aufgabe, die den Menschen und anderen Lebewesen ihr Leben in den ehemaligen Bergbaulandschaften zurückgibt. Die Verabschiedung dieses Standards ist ein integraler Bestandteil der Gewährleistung von Transparenz über den gesamten Lebenszyklus des Bergbaus, insbesondere in einer Zeit, in der die Gesellschaft danach strebt, den kritischen Rohstoffbedarf für eine grüne Energiewende zu decken.



**Abb. 1** Umgang mit bergbaulichen Hinterlassenschaften (im Uhrzeigersinn): Einbindung der Landbesitzer vor der Entnahme von Altlastenproben, Peru; Begrüßung des traditionellen Landbesitzers und Einweisung des technischen Teams, Australien; Wasseraufbereitungsanlage, Australien; Verwahrung eines Schachts; Wasserlöseestollen, mineralisiertes Grubenwasser; Absetzbecken und Halde, ungesichert. (© Unger, Goerke-Mallet, pixabay)

**Fig. 1** Managing mining legacies (clockwise): Landholder engagement before mining legacy sampling, Peru; Traditional landowner welcome to country and induction for technical team, Australia; Water treatment plant, Australia; abandoned shaft; abandoned uranium mine site; tailing pond and dump, unsecured. (© Unger, Laurencont, pixabay)

## Literatur

- Kretschmann, J., Goerke-Mallet, P., & Melchers, C. (2020). *Done for Good 2.0, results in post-mining research: A compilation of research papers*. [www.post-mining.org](http://www.post-mining.org)
- Laurencont, T. (2014). The Rum Jungle rehabilitation project – a progress report. *AusIMM Bulletin*, (2), 50, 52. <http://search.informit.com.au.ezproxy.library.uq.edu.au/fullText;dn=356272227062649;res=IELAPA>
- Unger, C. J., Lechner, A. M., Kenway, J., Glenn, V., & Walton, A. (2015). A jurisdictional maturity model for risk management, accountability and continual improvement of abandoned mine remediation programs. *Resources Policy*, 43, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2014.10.008>
- Worrall, R., Neil, D., Brereton, D., & Mulligan, D. (2009). Towards a sustainability criteria and indicators framework for legacy mine land. *Journal of Cleaner Production*, 17(16), 1426-1434. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.04.013>

## Managing mining legacies: a new global standard

Corinne Unger<sup>1</sup>, Tania Laurencont<sup>1</sup>, Peter Goerke-Mallet<sup>1</sup>

Globally there are innumerable negative mining legacies but only a few nations and fewer sites gaining the attention they require to reverse harm to communities and environments (Kretschmann et al. 2020; Laurencont 2014; Unger et al. 2015; Worrall et al. 2009). The need to ensure transparency of the supply chain of mineral extraction requires sustainable development to be demonstrated through the whole life cycle of a mine. This includes the management of legacy mines.

Despite an array of guidelines for managing mine closure and mining legacies globally, a standard for managing mining legacies did not exist. The significance of this was identified in late 2018 when the 'Mine Closure and Reclamation management' sub-committee of the Mining Technical Committee for International Organization for Standardisation (ISO) proposed a new work item. Under the leadership of the first author an international working group commenced development of a new standard entitled 'Managing Mining Legacies' (ISO 24419).

The Managing Mining Legacies standard comprises of two parts. Part 1 outlines what must be carried out to comply with the standard while Part 2 is a Technical Report comprising illustrative case studies and a bibliography. Thus, Part 2 provides guidance and support to Part 1. The Standard applies to all stakeholders with an interest in managing mining legacies and encourages the parties responsible for their management to engage community and other stakeholders affected by, and/or benefitting from reclamation and closure. The standard is structured around;

- governance and leadership,
- stakeholder participation
- management planning,
- implementation, and
- stewardship, performance and reporting.

The Standard integrates the 17 UN Sustainable Development Goals (SDGs) as it is anticipated that its application will work toward reducing inequalities, peace, justice & strong institutions while restoring life to land and water. Specifically it is intended that reclamation will reverse the inequalities of marginalised people living in the degraded environments of mining legacies (SDGs 1 & 10). Also, restoring land and water will enhance ecosystems (SDGs 14 & 15) and facilitate the return of productive livelihoods where they have been disrupted by mining legacies (SDG 2). Reversing the impacts of contamination will improve health and well-being (SDGs 3 & 6), an integral component of creating new and decent economic growth (SDG 8) where gender equality is a goal (SDGs 5 & 10). Giving all voices the opportunity to be heard and to participate in the management of mining legacies to shape the transitioning of former mining legacies to meet local and regional needs (SDG 7). Importantly, partnerships (SDG 17) ensure everyone seeking to be involved is included and that by working together with respect, trust is built through kinship governance arrangements. For each of these goals to be accomplished, effective, accountable and inclusive institutions are necessary that include education and training to build capacity of those engaging with the reclamation process or new uses of the environment (SDG16).

Development of this Managing Mining Legacies standard was only possible through the voluntary efforts of experts from developed and developing nations who willingly brought their varied expertise, knowledge and lived experience to this collaboration. We trust that the adoption of this standard

---

<sup>1</sup> ISO TC 82 SC 7 WG 3 "Managing Mining Legacies"

raises awareness of the importance of managing mining legacies not only as an environmental repair task but as one that returns human and other life back to former mined lands. The adoption of this standard is an integral part of ensuring transparency of the full life cycle of mining particularly timely as society strives to meet the critical raw material demands for a green energy transition.



**Abb. 1** Umgang mit bergbaulichen Hinterlassenschaften (im Uhrzeigersinn): Einbindung der Landbesitzer vor der Entnahme von Altlastenproben, Peru; Begrüßung des traditionellen Landbesitzers und Einweisung des technischen Teams, Australien; Wasseraufbereitungsanlage, Australien; Verwahrung eines Schachts; Wasserlösestollen, mineralisiertes Grubenwasser; Absetzbecken und Halde, ungesichert. (© Unger, Goerke-Mallet, pixabay)

**Fig. 1** Managing mining legacies (clockwise): Landholder engagement before mining legacy sampling, Peru; Traditional landowner welcome to country and induction for technical team, Australia; Water treatment plant, Australia; abandoned shaft; abandoned uranium mine site; tailing pond and dump, unsecured. (© Unger, Laurencont, pixabay)

## References

- Kretschmann, J., Goerke-Mallet, P., & Melchers, C. (2020). *Done for Good 2.0, results in post-mining research: A compilation of research papers*. [www.post-mining.org](http://www.post-mining.org)
- Laurencont, T. (2014). The Rum Jungle rehabilitation project – a progress report. *AusIMM Bulletin*, (2), 50, 52. <http://search.informit.com.au.ezproxy.library.uq.edu.au/fullText:dn=356272227062649;res=ILELAPA>
- Unger, C. J., Lechner, A. M., Kenway, J., Glenn, V., & Walton, A. (2015). A jurisdictional maturity model for risk management, accountability and continual improvement of abandoned mine remediation programs. *Resources Policy*, 43, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2014.10.008>
- Worrall, R., Neil, D., Brereton, D., & Mulligan, D. (2009). Towards a sustainability criteria and indicators framework for legacy mine land. *Journal of Cleaner Production*, 17(16), 1426-1434. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.04.013>

## Verdunstungsmessung als Beitrag zur Wasserhaushaltsbilanzierung von Halden und Deponien

Sebastian Westermann<sup>1</sup>, Wilhelm Georg Coldewey<sup>2</sup>, Julius Werner<sup>3</sup>

### Wasserhaushalt von Halden und Deponien

Landschaftsprägende Baumaßnahmen wie Halden und Deponien üben Einfluss auf den Wasserhaushalt aus, da der Oberflächenabfluss vergrößert sowie die Versickerungs- und Verdunstungsrate verändert werden. Ein beträchtlicher Teil des Niederschlags verdunstet. Oftmals sind die Größen der einzelnen Bilanzflüsse unbekannt.

Die Perkolation von Halden und Deponien führt zur Lösung, Mobilisierung und Austrag von Stoffen, die auf diesem Wege in das Ökosystem gelangen, sofern keine Abdichtungs- oder Abfangsystems vorgehalten werden. Die Kenntnis über das aktuelle Verdunstungsgeschehen ermöglicht gezielte Eingriffe, um die Verdunstungsrate zu erhöhen und folglich die Perkulationsrate zu reduzieren.

### Methode zur Messung der aktuellen Evapotranspirationsrate

Die Messung der aktuellen Evapotranspirationsrate (Verdunstung) gehört zu den am schwierigsten zu messenden Größen des Wasserhaushalts (Coldewey 2022). Eine zuverlässige Methode ist die Messung mittels des Tunnelverdunstungsmessers nach Werner (Abb. 1; Werner 2000; Weiß et al. 2002). Dieses mobil einsetzbare Gerät ermöglicht eine hochauflösende Direktmessung der aktuellen Evapotranspirationsrate von Grünland, nackten Böden und versiegelten Flächen (Abb. 2). Bei der Messung werden zwei gleichartige Messflächen alternierend und kurzzeitig von einem an beiden Enden offenen, luftdurchströmten und lichtdurchlässigen Plexiglas-Halbrohr abgedeckt (Abb. 1).



**Abb. 1** Aufbau des Tunnelverdunstungsmessers nach Werner auf einer Halde eines ehemaligen Steinkohlenbergwerks. Innerhalb des Tunnels sind Sensoren und Ventilatoren verbaut (Inlet oben rechts).

**Fig. 1** Set-up of the tunnel evaporation meter according to Werner on the dump of a former coal mine. Sensors and fans are installed inside the tunnel (inlet top right).

<sup>1</sup> Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum

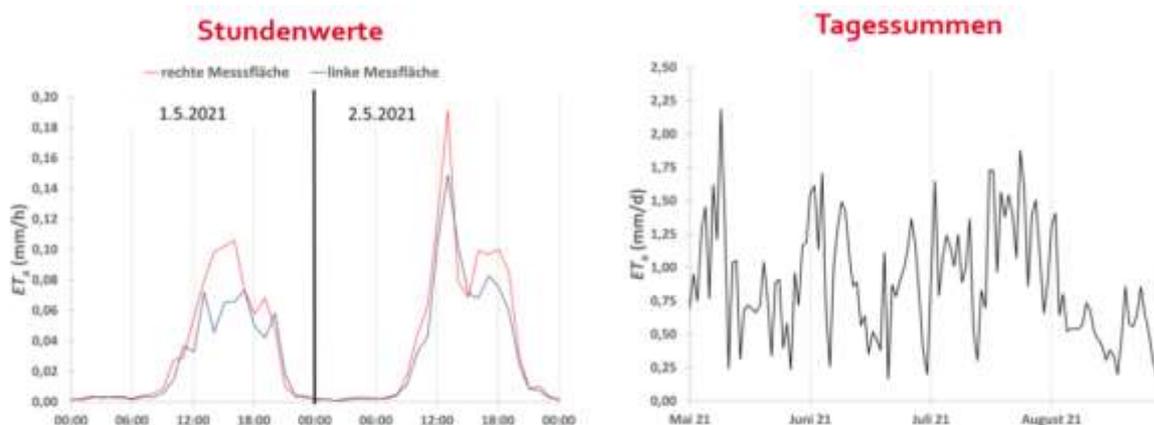
<sup>2</sup> Professor Dr. Coldewey GmbH, Dülmen

<sup>3</sup> Westfälische Wilhelms-Universität, Münster

Die Praxistauglichkeit dieses Gerätes wurde bereits auf Grünland (Weiß et al. 2002) und auf wasserdurchlässigen Belägen (Starke et al. 2011) bewiesen. Seit April 2021 erfolgt die erstmalige Messung der aktuellen Evapotranspirationsrate auf einer Bergehalde eines ehemaligen Steinkohlenbergwerks in Nordrhein-Westfalen. Die Messreihe umfasst somit bereits zwei volle Jahre.

## Messergebnisse

Der Tunnelverdunstungsmesser misst kontinuierlich die Parameter Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und die Windgeschwindigkeit. Mittels eines Algorithmus wird hieraus die aktuelle Evapotranspirationsrate in 12 Minuten-Intervallen berechnet. Hierdurch ergibt sich eine zeitlich hochaufgelöste und exakte Bestimmung des Verdunstungsgeschehens (Abb. 2).



**Abb. 2** Zeitreihe der aktuellen Evapotranspirationsrate auf Stunden- und Tagesbasis.

*Fig. 2* Time series of the current evapotranspiration rate based on hours and days

## Ausblick

Der Einsatz des Tunnelverdunstungsmessers leistet einen Beitrag, die Wasserhaushaltsbilanzierung (nicht nur) von Halden und Deponien noch exakter zu bestimmen, indem die aktuelle Evapotranspirationsrate als wesentlicher Parameter des Wasserhaushalts direkt und zeitlich hoch aufgelöst bestimmt wird. Dieses Gerät hat demnach Vorteile gegenüber anderen bewährten Methoden wie Lysimeter.

Die Ergebnisse dienen der Vertiefung des Verständnisses über die im Halden- und Deponiekörper ablaufenden Prozesse. So können Schlussfolgerungen über die Veränderung des Stoffaustrags und der Stabilisierung der Böschungen gezogen werden. Der Erfolg von Maßnahmen zur Optimierung des Halden- und Deponieaufbaus können unmittelbar evaluiert werden.

## Literatur

- Coldewey, W.G. (2022): Handbuch Hydrogeologie.- 1. Aufl. Vulkan, Essen, 764 S.  
Starke, P.; Göbel, P.; Coldewey, W.G. (2011): Effects on evapotranspiration rates from different water permeable pavement designs.- *Water Science & Technology*, 63, S. 2619-2627  
Weiß, J.; Werner, J.; Sulmann, P. (1990): Erfahrungen mit dem "Tunnel"-Verdunstungsmesser beim Einsatz auf Grünflächen.- In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 5, S. 201-207  
Werner, J. (2000): Die Erprobung einer neuen Messanordnung zur Verdunstungsbestimmung an Grünland.- In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 2, S. 64-69

## Evaporation measurement as a contribution to balancing water management at dumps and landfills

Sebastian Westermann<sup>1</sup>, Wilhelm Georg Coldewey<sup>2</sup>, Julius Werner<sup>3</sup>

### Water management at dumps and landfills

Landscape-shaping construction measures such as dumps and landfills influence the water balance as surface runoff is increased and the infiltration and evaporation rates are changed. A considerable part of the precipitation evaporates. The volumes of the individual balance flows are often unknown.

Percolation from dumps and landfills leads to the dissolution, mobilisation and discharge of substances that enter the ecosystem in this way unless sealing or interception systems are provided. Knowledge of the current evaporation process enables purposeful interventions to increase the evaporation rate and, consequently, reduce the percolation rate.

### Method for measuring the current evapotranspiration rate

The measurement of the current evapotranspiration rate (evaporation) is one of the most difficult quantities of the water balance to measure (Coldewey 2022). A reliable method is the measurement by means of the tunnel evapotranspiration meter according to Werner (Fig. 1; Werner 2000; Weiß et al. 2002). This mobile device enables a high-resolution direct measurement of the current evapotranspiration rate of grassland, bare soil and sealed surfaces (Fig. 2). During the measurement, two similar measuring surfaces are alternately and briefly covered by a plexiglass half-tube that is open at both ends; air flows through this tube, which is permeable to light (Fig. 1).

The practical suitability of this device has already been proven on grassland (Weiß et al. 2002) and on water-permeable surfaces (Starke et al. 2011). Since April 2021, the current evapotranspiration rate has been measured on a mine dump of a former coal mine in North Rhine-Westphalia for the first time. The measurement series thus already covers two full years.

### Measured results

The tunnel evaporation meter continuously measures the parameters temperature, relative humidity, and wind speed. Using an algorithm, the current evapotranspiration rate is calculated at 12-minute intervals. This process results in a temporally highly resolved and exact determination of the evaporation process (Fig. 2).

### Outlook

The use of the tunnel evapotranspiration meter contributes to determine the water balance (not only) of dumps and landfills more precisely by determining the current evapotranspiration rate as an essential parameter of the water balance directly and with high temporal resolution. Therefore, this device has advantages over other proven methods such as lysimeters.

The results serve to deepen the understanding of the processes taking place in the dump and landfill bodies. Accordingly, conclusions can be drawn about the change in material discharge and the stabilisation of the slopes. The success of measures to optimise the dump and landfill structures can be evaluated immediately.

---

<sup>1</sup> Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum

<sup>2</sup> Professor Dr. Coldewey GmbH, Dülmen

<sup>3</sup> Westfälische Wilhelms-Universität, Münster

## References

- Coldewey, W.G. (2022): Handbuch Hydrogeologie. – 1<sup>st</sup> ed. Vulkan, Essen, 764 p.
- Starke, P.; Göbel, P.; Coldewey, W.G. (2011): Effects on evapotranspiration rates from different water permeable pavement designs. – *Water Science & Technology*, 63, pp. 2619-2627
- Weiß, J.; Werner, J.; Sulmann, P. (1990): Erfahrungen mit dem "Tunnel"-Verdunstungsmesser beim Einsatz auf Grünflächen. – In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 5, pp. 201-207
- Werner, J. (2000): Die Erprobung einer neuen Messanordnung zur Verdunstungsbestimmung an Grünland. – In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 2, pp. 64-En69

## Vom Manhattan-Projekt zu Las Colonias – Die Umgestaltung des atomaren Erbes von Grand Junction zu einem wertvollen Gemeinschaftsgut

Sara Woods<sup>1</sup>

### Atomares Erbe

Der Las Colonias Park ist das Ergebnis einer gemeinsamen Vision des US-Energieministeriums (DOE), der Stadt Grand Junction sowie zahlreicher anderer kommunaler Organisationen, die in den bestehenden Herausforderungen eine Chance sahen. Durch eine Vielzahl von Partnerschaften, weitreichende Vorstellungen der Gemeinde und engagierte Interessenvertreter wurde die ehemalige Uranverarbeitungsanlage in Grand Junction, Colorado, in einen wunderschönen, stadteigenen Park verwandelt, der an den Colorado River grenzt und sich südlich der Innenstadt von Grand Junction, Colorado befindet.



**Abb. 1** Vor Stilllegung und Sanierung: Climax Uranerzaufbereitung in Grand Junction, CO, (nun Las Colonias genannt)

*Fig. 1* Before: Climax uranium mill at the Grand Junction, CO, Processing Site (now called Las Colonias)

Der Park wurde auf dem Gelände angelegt, auf dem sich früher die Aufbereitungsanlage der Climax Uranium Company befand. Das Werk, auf dem Gelände einer ursprünglichen Zuckerrübenfabrik, wurde zu einer Vanadium- und Uranaufbereitung umgebaut und war von 1950 bis 1970 in Betrieb. Während der 19 Betriebsjahre verarbeitete die Climax-Mühle Uranerz zu Uranoxid, dem so genannten "Yellow Cake", und verkaufte es während des Kalten Krieges an die US-Atomenergiekommission (Atomic Energy Commission). Das Werk wurde 1970 geschlossen. Mit der Aufbereitung entstanden

---

<sup>1</sup> United States Department of Energy Office of Legacy Management

auch 2,2 Millionen Tonnen radioaktiver Abfälle. Das DOE realisierte die Sanierung des Standorts gemäß dem Uranium Mill Tailings Radiation Control Act (UMTRCA) von 1978. Die Sanierungsarbeiten begannen Mitte der 1980er Jahre. Bis 1994 wurden etwa 4,4 Millionen Kubikmeter kontaminiertes Material vom Standort entfernt. Die Sanierung des Standorts wurde 1998 abgeschlossen.

### **Vorstellungen der Gemeinde**

Nach der Sanierung des Geländes wurde es eingeebnet, und das Eigentum im März 1997 an die Stadt Grand Junction übertragen. Das ehemalige Gelände wurde in einen 140 Hektar großen, gemischt genutzten Park entlang des Colorado River umgewandelt. Das Gebiet, das heute als "Riverfront Park" oder "Las Colonias" bekannt ist, umfasst ein 15 Hektar großes Gewerbegebiet, ein Amphitheater mit 5.000 Plätzen, einen Flusspark mit zwei stehenden Wellen, eine Bootsrampe, Wanderwege, Teiche, Naturgebiete, ein Arboretum und vieles mehr. Weitere Einrichtungen wie eine Seilrutsche über den Fluss und ein Platz mit großzügigen Einzelhandels- und Restaurantflächen sind in Planung.

Diese Transformation gilt als eines der besten Beispiele für die sinnvolle Wiederverwendung des Geländes einer ehemaligen Uranaufbereitung und wurde 2021 sogar mit dem Environmental Protection Agency National Federal Facility Excellence in Site Reuse Award ausgezeichnet. Die Sanierung des Standorts und seine Rückgabe an die Gemeinde zur sinnvollen Wiederverwendung ist das bestmögliche Ergebnis und dient als vorbildlicher Maßstab für andere Standorte. Dieses herausragende Ergebnis wäre nicht möglich gewesen ohne jahrelanges Engagement, Visionen und die enge Zusammenarbeit mit Gemeindeorganisationen und Entwicklern, um diesen erfolgreichen und geschätzten "Riverfront Park" zu schaffen.

## From the Manhattan Project to Las Colonias – Redevelopment of Grand Junction’s Atomic Legacy to Prized Community Asset

Sara Woods<sup>1</sup>

### Atomic Legacy

Las Colonias Park is the culmination of a collaborative vision shared by the U.S. Department of Energy (DOE), the city of Grand Junction, and numerous other community organizations who saw opportunity where challenge existed. Through a variety of partnerships, a grand community vision, and committed stakeholders, the Grand Junction, Colorado, Processing Site – a former uranium processing facility – has been transformed into a beautiful city-owned park, adjacent to the Colorado River, and just south of downtown Grand Junction, Colorado.

The park was established on land that was once home to the Climax Uranium Company mill. The mill, located on land that was originally home to a sugar beet factory, was converted to a vanadium and uranium mill and was used from 1950 to 1970. During 19 years of operation, the Climax mill crushed and processed uranium ore into uranium oxide, or “yellow cake,” and sold it to the U.S. Atomic Energy Commission during the Cold War era. The mill also produced 2.2 million tons of radioactive tailings. The mill was closed in 1970, and the site was left with residual uranium contamination from the milling process. DOE completed site cleanup according to the Uranium Mill Tailings Radiation Control Act (UMTRCA) of 1978. Cleanup activities began in the mid-1980s, and, by 1994, approximately 4.4 million cubic yards of contaminated materials had been removed from the site. Site cleanup was completed in 1998.

### Community Vision

After cleanup, the site was contoured, and the State of Colorado transferred property ownership to the City of Grand Junction in March 1997. The former processing site was redeveloped into a 140-acre mixed-use park along the Colorado River. The area, now known as “Riverfront Park” or “Las Colonias,” boasts a 15-acre business park, a 5,000-seat amphitheater, a river park with two standing waves, a boat ramp, trails, ponds, natural areas, an arboretum, and more. Other amenities, including a zipline across the river, and a plaza with ample retail and restaurant space are under development.

This transformation is considered to be one of the best examples of beneficial reuse of a legacy uranium mill site, even claiming an Environmental Protection Agency National Federal Facility Excellence in Site Reuse Award in 2021. The remediation of the site and giving it back to the community for beneficial reuse by the entire community is the best possible outcome and serves as an exemplary benchmark for other sites to follow. This spectacular outcome would not have been possible without years of dedication, vision and working closely with community organizations and developers to achieve this successful and treasured “Riverfront Park.”

---

<sup>1</sup> United States Department of Energy Office of Legacy Management



*Fig. 2 Nach Sanierung: Park Las Colonias*  
*Fig. 2 After: River Park at Las Colonias*



*Fig. 3 Nach Sanierung: Anwohner im River Park Las Colonias*  
*Fig. 3 After: Residents floating the River Park at Las Colonias*

## Impressum

Wismut GmbH  
Jagdschänkenstraße 29  
09117 Chemnitz

[www.wismut.de](http://www.wismut.de)



# WISMUT

in Zusammenarbeit mit | in cooperation with



Verband Bergbau, Geologie und Umwelt e.V.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages