

Christian Kunze*, Peter Schmidt**

* WISUTEC Wismut Umwelttechnik GmbH
Jagdschänkenstr. 33
09117 Chemnitz

** Wismut GmbH
Jagdschänkenstr. 29
09117 Chemnitz

Internationale Erfahrungen in Sanierungsprojekten: Lermontov (Rußland), Mailuu Suu (Kirgistan), Kitwe (Zambia)

1. Einführung: Sanierungsprojekte im Entwicklungs- und Schwellenländern

In diesem Beitrag werden Erfahrungen aus Sanierungsprojekten in ausgewählten Entwicklungs- und Schwellenländern geschildert. Dabei geht es um Interventionsmaßnahmen im Zusammenhang mit Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus bzw. der Uranerzaufbereitung. Es werden Projekte an den Uranerzbergbau- bzw. Aufbereitungsstandorten Lermontov (Rußland), Mailuu Suu (Kirgistan) und Kitwe (Zambia) vorgestellt.

Die WISUTEC Wismut Umwelttechnik GmbH (WISUTEC) ist eine Tochtergesellschaft der Wismut GmbH, die 2002 mit dem Ziel gegründet wurde, das bei der Sanierung der Wismut-Hinterlassenschaften in Sachsen und Thüringen erworbene Wissen international zu verwerten. Die vorgestellten Projekte wurden durch WISUTEC, teilweise in Zusammenarbeit mit Wismut und anderen Partnern, bearbeitet. Über die gemeinsamen Aktivitäten von WISUTEC und Wismut zur Anwendung von Sanierungs-Know-how mit radiologischem Bezug in internationalen Projekten ist bereits an anderer Stelle berichtet worden [1].

Bei den zu sanierenden Hinterlassenschaften handelt es sich um verlassene Standorte, d.h., es sind keine Eigentümer mehr vorhanden, denen unmittelbar eine Sanierungsverpflichtung auferlegt werden könnte. In aller Regel liegt die Sanierungsaufgabe bei der Regierung, einer Gebietskörperschaft (Gemeinde, Gebietsverwaltung) oder einer zur Verwaltung der öffentlichen Sanierungsmittel eingerichteten "Project Management Unit" (PMU).

Wenn in den betroffenen Ländern keine eigenen Mittel zur Sanierung nichtakzeptabler Umweltsituationen vorhanden sind, wird häufig internationale Unterstützung bereitgestellt. Bedeutende Organisationen in diesem Zusammenhang sind beispielsweise die Weltbank bzw. Institutionen der Weltbankgruppe, die Asiatische Entwicklungsbank (ADB), das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP), die Europäische Union über die Programme PHARE, TACIS und IPA, sowie die Nordic Environment Finance Corporation (NEFCO) [2]. Die Mittel werden als nichtrückzahlbare Zuwendungen ("grants") bzw. als Darlehen ("loans") gewährt, teilweise werden von den Empfängerländern Eigenbeiträge in Form von finanziellen oder Sachleistungen erbracht.

Internationale Geberorganisationen finanzieren im Rahmen von Sanierungsprojekten vorrangig die Technische Zusammenarbeit ("Technical Assistance"), d.h., Standortuntersuchungen, Planung, Begleitung und Beratung der Empfängerländer bei der Durchführung von Ausschreibungsverfahren für die physischen Sanierungsleistungen, Bauüberwachung und weitere vergleichbare Consultingleistungen. Eine wichtige Komponente der meisten Consulting- und Engineeringprojekte bilden Training, Ausbildung und Know-how-Transfer sowie der Aufbau von entsprechenden

Kapazitäten im Empfängerland („Capacity Building“). Darüber hinaus können in Technical-Assistance-Projekten in Ausnahmefällen auch Investitionen z.B. in Ausrüstungen, Meßgeräte und Laborausstattungen finanziert werden. Mitgliedsstaaten der IAEA erhalten ebenfalls Unterstützung im Rahmen von Regionalprogrammen (siehe z.B. [3]).

Die in den Zielländern angetroffene Situation ist in der Regel gekennzeichnet durch

- seit vielen Jahren verlassene Standorte, oft in entlegenen Regionen, mit schlechter oder fehlender Infrastruktur,
- keine (bzw. kaum vorhandene) lokale Kapazitäten bei Behörden und Besitzern der Hinterlassenschaften (sofern überhaupt Besitzer bzw. Betreiber zu identifizieren sind).

Lokale Kapazitäten, die bei der Sanierung unterstützend wirken könnten, sind teilweise nie vorhanden gewesen, da bislang kein Bedarf an Standorterkundung, Sanierungsplanung und begleitenden Ingenieurleistungen bestand. In vielen Fällen, insbesondere in Ost- und Mitteleuropa und den Ländern der ehemaligen Sowjetunion, sind viele Fachleute nach politischen und wirtschaftlichen Umwälzungen abgewandert, oder pensioniert. Ebenso besteht ein Mangel an Konstruktionsunterlagen der bergbaulichen Hinterlassenschaften (Tailings, Halden, untertägige Grubenbaue), die in den Jahren bzw. Jahrzehnten seit Einstellung des aktiven Betriebs verlorengegangen sind. Die für eine belastbare Einschätzung des Istzustandes und eine verlässliche Sanierungsplanung erforderlichen Umweltmonitoringdaten insbesondere des Luft- und Wasserpfad sind in der Regel unvollständig oder fehlen ganz.

Zuverlässige lokale Subauftragnehmer, die für die Standortuntersuchungen und Durchführung bzw. Begleitung von Sanierungsmaßnahmen vor Ort unerlässlich sind, sind aus den gleichen Gründen wie bereits oben beschrieben schwer zu finden. Mangelnde Erfahrung lokaler Unternehmen in der Bearbeitung komplexer Sanierungsprojekte, in Verbindung mit unzureichender und veralteter Ausrüstung, das Fehlen von Versicherungen und der Möglichkeit, Bürgschaften oder andere Garantien zu stellen, müssen bei der Planung von Projekten in Schwellen- und Entwicklungsländern zusätzlich beachtet werden.

Ein in unserer Erfahrung besonders kritischer Aspekt ist der mangelnde Erkundungs- und Monitoringvorlauf. Für die Ableitung einer belastbaren Sanierungslösung sind mehrjährige Datenreihen des Umweltmonitorings erforderlich, Testfelder für Abdecksysteme auf Halden und Tailings benötigen für brauchbare Aussagen eine Laufzeit von einigen Jahren, für die Dimensionierung verschiedener hydraulischer Systeme sind mindestens tagesgenaue meteorologische Zeitreihen unverzichtbar. Ausbreitungsrechnungen für Radon und Staub benötigen statistisch gesicherte Windrosen und Staub- sowie Radonmessung über ausreichend lange Zeiträume. Liegen solche Angaben des "Pre-closure Monitorings" [4], [5] nicht vor, erschwert dies die Entwicklung optimierter Sanierungslösungen und zwingt zu robusten Annahmen hinsichtlich des Istzustandes und der davon abgeleiteten Sanierungslösungen.

Seitens der Empfängerländer bzw. -regionen sind über die in starren Budgetrahmen der Geberorganisationen festgelegten Mitteln kaum zusätzliche Ressourcen verfügbar, um beispielsweise unvorhergesehene Arbeiten wie dringend erforderliche zusätzliche Messungen und Standorterkundungen durchzuführen. Auch der durch die Finanzierungsbedingungen der jeweiligen Geberorganisationen vorgezeichnete Zeitrahmen erlaubt ebenfalls kaum längerfristige Messungen als Bestandteil einer Sanierungsentscheidung.

Soweit als finanziell und zeitlich möglich führen wir Standorterkundungen und Umweltmessungen für die als relevant identifizierten Expositionspfade durch, um die Einschätzung des Istzustandes und der Sanierungsentscheidung mit standortbezogenen Daten zu untermauern. Ggf. bereits vorliegende

historische Daten werden zur Plausibilitätsprüfung herangezogen. Häufig sind durch mangelnde Erfahrung bei der Probenahme und -behandlung, der Fehlinterpretation von Messergebnissen und durch sonstige Fehlerquellen lokal vorliegende Daten nur nach einer vorherigen Plausibilitätsprüfung und ggf. Korrektur (wiederum anhand von Erfahrungswerten oder Analogieschlüsse mit anderen Standorten) nutzbar. Es bleibt oft nur der Kompromiss, ausreichend robuste Sanierungskonzepte auf der Grundlage dieser Stichproben sowie von Erfahrungs- und Vergleichswerten zu entwickeln.

Für die Dosisabschätzungen wird in Fällen, in denen keine nationalen Richtlinien zur Dosisberechnung vorliegen, die Herangehensweise der Berechnungsgrundlagen Bergbau des BMU [6] herangezogen und ggf. an lokale Gegebenheiten (Verbrauchsdaten) angepasst. Dies war in den hier beschriebenen Fallstudien der Fall.

Oft werden die Sanierungskonzepte und konkreten Maßnahmen unter schwierigen genehmigungsrechtlichen Randbedingungen diskutiert und festgelegt. Fehlende bzw. veraltete Regularien sowie teilweise überambitionierte Umweltstandards in den Zielländern erschweren die Festlegung von praktikablen Sanierungsentscheidungen (siehe z.B. [7]).

Es sei angemerkt, dass in einigen Fällen die realen radiologischen Risiken durch einfache Abschätzungen als vernachlässigbar eingeschätzt werden können. Die Sanierungskonzepte konzentrieren sich dann auf nichtradiologische Faktoren wie beispielsweise die geotechnische Stabilität untertägiger Grubenbaue, von Halden oder Tailings, die Sicherung von Bergbauabfällen gegen Wind- oder Wassererosion oder die Abtrennung toxischer Schwermetalle aus Gruben- oder Sickerwässern. Obwohl die radiologische Situation nicht primär zu einem Sanierungserfordernis geführt hat, wird durch die Sanierungsmaßnahmen auch die Strahlenexposition für die Bevölkerung reduziert.

2. Beispiele

Im folgenden werden ausgewählte Beispiele aus unserer bisherigen Praxis vorgestellt, wobei auf die folgenden Punkte eingegangen wird:

- a) Ausgangssituation
- b) Hauptprobleme
- c) Situation aus Sicht des Strahlenschutzes
- d) Lösungen bzw. Lösungsansätze
- e) ggf. aufgetretene Probleme

2.1 Lermontov (Rußland)

Der ehemalige Uranerzbergbau- und Aufbereitungsstandort Lermontov befindet sich in der sogenannten Nordkaukasischen Mineralwasserregion in Russland, im Kreis Stavropol in unmittelbarer Nähe der Kurorte Kislovodsk und Pjatigorsk sowie, in weiterer Entfernung, der Stadt Mineralnye Vody. Uranerzbergbau und -aufbereitung im Werk "Almaz" begann in den 1950-er Jahren.

Der Standort Lermontov umfaßt

- zwei untertägige Bergwerke (Byk, Beshtau) mit mehreren Halden (Volumen ca. 4 Mio. m³), siehe Abbildung 1
- ein Aufbereitungswerk mit einem Schlammteich (ca. 12 Mio. m³ Tailings), siehe Abbildung 2.



Abbildung 1 Stollenmundloch des Bergwerkes Byk, Lermontov



Abbildung 2 Schlammteich des Aufbereitungsbetriebes "Almaz" am Standort Lermontov, mit Phosphogips-Abdeckung aus der Düngemittelherstellung

Die Gruben sind teilweise noch zugänglich und müssen gegen unbefugten Zutritt gesichert werden, an einzelnen Halden werden Rutschungen beobachtet, die zu stabilisieren sind.



Abbildung 3 Rutschungen an einer Halde in Lermontov

Die Wässer aus den gefluteten Bergwerken sowie die Sickerwässer aus den Halden und dem Schlammteich werden unbehandelt in die Vorflut abgegeben. Die Region ist bekannt für ihre reichen Mineralwasservorkommen, was die hohe Bedeutung von Sanierungsmaßnahmen insbesondere unter dem Aspekt eines befürchteten Imageverlustes für die Tourismusindustrie erklärt. Eine Beeinflussung durch den Bergbau sowie sonstige radiologische Konsequenzen des früheren Uranbergbaus in den Kurorten ist realistisch jedoch nicht zu erwarten. Das radonhaltige Wasser aus dem gefluteten Bergwerk Beshtau wird für den Kurbetrieb im nahegelegenen Pjatigorsk genutzt.

Die Europäische Union hat mit Mitteln aus dem TACIS¹-Programm eine Machbarkeitsstudie zur Sanierung des gesamten Standortes nach internationaler Best Practice finanziert [8], die von WISUTEC Wismut Umwelttechnik GmbH gemeinsam mit der Wismut GmbH, GEOS Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH und der C&E Consulting und Engineering GmbH (Chemnitz) bearbeitet wurde. Die methodischen Ansätze der Studie und die im Ergebnis gewählten Sanierungsvarianten wurden durch die Europäische Kommission und den Beneficiary Rosatom explizit als Pilotprojekt verstanden, dessen Ergebnisse auf andere ehemalige Uranerzbergbau- und Aufbereitungsstandorte übertragbar sind.

Als Randbedingungen bei der Erarbeitung der Sanierungslösung waren die regionalen Mineralwasservorkommen zu beachten sowie die Tatsache, dass die Betriebsanlagen der ehemaligen Aufbereitung sowie der zugehörige Schlammteich gegenwärtig und auch noch in absehbarer Zukunft zur Produktion von Düngemitteln auf Phosphatbasis genutzt werden. Der dabei anfallende Phosphorgips wird vom Betreiber der Düngemittelproduktion in die Schlammteiche eingespült und deckt dort die Tailings aus der Uranerzaufbereitung ab, so dass eine Staubabwehr unterbunden wird. Auf die erhöhte Radioaktivität des Phosphorgipses selbst wird an dieser Stelle nicht eingegangen.

¹ TACIS: Technical Assistance for the Commonwealth of Independent States

In den als Grundlage der Machbarkeitsstudie durchgeführten radiologischen Untersuchungen und Dosisabschätzungen wurden zunächst Referenzpersonen definiert, für welche unter realistischen bis realistisch-konservativen Annahmen die in der folgenden Tabelle zusammengefassten effektiven Dosen ermittelt wurden:

Tabelle 1 Ergebnisse der Dosisabschätzungen für Referenzpersonen, Lermontov (Russland)

	Expositionsszenario	Relevante Expositionspfade	Effektive Dosis (mSv/a) für...	
			Kinder (2-7 Jahre)	Erwachsene
P1	Bewohner des Dorfes Bykogorka, dauerhafter Aufenthalt nahe der Halde Nr. 9, 250 h/a auf der Halde	Äußere Gammastrahlung, Radon	0,58	0,53
P2	Aufenthalt im Stollen Nr. 9 oder am Stollenmundloch, 20 h/a	Äußere Gammastrahlung, Radon	16,6	16,5
P3	Spielende Kinder, 250 h/a Aufenthalt auf der Halde Nr. 9	Äußere Gammastrahlung, Radon, Direktingestion von Haldenmaterial	0,35	-
P4	Bewohner von Wochenendhaus in der Nähe der Halden Nr. 16 bzw. 32, 250 h/a Aufenthalt auf den Halden	Äußere Gammastrahlung, Radon, langlebige Alphastrahler, Direktingestion und Ingestion von Lebensmitteln	2,3	1,7
P5	Sanierungsarbeiter auf Schlammteich	Äußere Gammastrahlung, Radon, langlebige Alphastrahler	-	0,9...10
P6	Trinkwassernutzung von kontaminiertem Grubenwasser	Ingestion von Trinkwasser	0,2...4,1	0,2...4,8
P7	Verzehr von Garten- und Feldfrüchten nach Bewässerung mit kontaminiertem Grubenwasser	Ingestion (Garten- und Feldfrüchte)	0,2...7,9	0,1...5,8
P8	Verzehr von Fisch aus lokalen Flüssen und Teichen	Ingestion (Fisch)	0,1...2,9	0,1...1,9

Die im Rahmen der Machbarkeitsstudie vorgeschlagenen Sanierungsmaßnahmen umfassen

- die Stabilisierung und Abdeckung der Halden,
- den Verschluss der Stollenmundlöcher (Sicherung gegen unbefugtes Betreten bei gleichzeitiger Sicherung des Wasserabflusses),
- das Wassermanagement einschließlich
 - Fassung der kontaminierten Wässer,

- Wasserbehandlung (teilweise unter Nutzung passiver bzw. passiv-biologischer Verfahren, wie sie im Uranerzbergbau erprobt sind, sie z.B. [9]),
- Beräumung von Sedimentationsbecken,
- Reparatur einer Rohrleitung, mit der zu Heilzwecken Radon in den nahegelegenen Kurort Pjatigorsk geleitet wird,
- Abdeckung der Tailings (wobei kurz- bis mittelfristig der Interessenkonflikt mit der Nutzung des Schlammteiches für die Düngemittelproduktion zu beachten ist),
- Abbruch von nicht benötigten Gebäuden der ehemaligen Aufbereitungsfabrik,
- Umweltmonitoring
 - vor und während der Sanierungsmaßnahmen,
 - langfristig nach Abschluss der Sanierungsmaßnahmen.

Mit der Umsetzung der Sanierungsmaßnahmen und der Einführung dauerhafter Nutzungsbeschränkungen für die Halden und Tailings (z.B. keine landwirtschaftliche Nutzung) können die effektiven Dosen für die Bevölkerung (siehe Tabelle 1) auf vernachlässigbare Werte reduziert werden.

Die oben angesprochene Machbarkeitsstudie bildet die Grundlage für die Ausschreibung der Detailplanung und Ausführung, die gemeinsam aus Mitteln des EU-TACIS-Programms und der russischen Regierung finanziert werden. Das Ausschreibungsverfahren war zum Zeitpunkt der Manuskripterstellung wegen einer unter Wettbewerbsgesichtspunkten unzureichenden Anzahl qualifizierter Bieter abgebrochen worden; es wird durch die Europäische Union wiederholt [10].

2.2 Mailuu Suu (Kirgistan)

In der Ortschaft Mailuu Suu am gleichnamigen Fluss, im südkirgisischen Verwaltungsbezirk Dzhalalabat, befinden sich Hinterlassenschaften des sowjetischen Uranerzbergbaus und der dazugehörigen Erzaufbereitung. Neben den untertägigen Grubenbauen und den Resten einer Aufbereitungsfabrik, die entweder nicht mehr zugänglich sind bzw. über die kaum noch Informationen vorliegen, sind

- 13 Halden mit einem Volumen von ca. 0,9 Mio. m³ auf einer Fläche von ca. 10 ha
- und 23 Tailings Ponds mit einem Volumen von ca. 2 Mio. m³ auf einer Fläche von ca. 50 ha

die sichtbaren Zeugen der bergbaulichen Aktivitäten im Zeitraum von 1946 bis ca. 1968. Ein Tailings Pond (TP 3) ist in Abbildung 4 gezeigt.



Abbildung 4 Tailings Pond (TP) 3 im engen Tal des Flusses MailuuSuu, Kirgistan

Die bergbaulichen und Aufbereitungsrückstände wurden größtenteils unmittelbar an den Ufern des Mailuu Suu und seiner zahlreichen Nebenflüsse abgelagert. Dadurch kommt es in Hochwasserperioden, z.B. während der Schneeschmelze, zur Erosion von kontaminiertem Material und in der Folge zum weiteren Eintrag von radioaktivem Material in das Flussbett (siehe Abbildung 5).



Abbildung 5 Erosion von Tailingsmaterial, welches in unmittelbarer Nähe zum Flussbett (bzw. darin) abgelagert wurde

Ein weiterer kritischer Faktor sind die Rutschungen und Schlammlawinen in den engen Flusstälern und von den steilen Berghängen, die in Zeiten starker Niederschläge sowie bei den für diese Region relativ häufigen seismischen Ereignissen besonders begünstigt werden, siehe Abbildung 6. Erdbeben und Schlammlawinen stellen sowohl für die Infrastruktur (v.a. Straßen) und privates Eigentum als auch für die Stabilität der Halden und Tailings ein dauerhaftes und technisch nur mit großem Aufwand zu beherrschendes Risiko dar.



Abbildung 6 Schlammlawine in der Nähe der zu sanierenden Halden 1 und 2 im Tal des Flusses Kulmen Sai. Links: 2005, rechts: 2007

Basierend auf einer Veröffentlichung im New Scientist [11] wurden die bergbaulichen Hinterlassenschaften in Mailuu Suu durch das Blacksmith Institute in die Liste der zehn Standorte mit der weltweit stärksten Umweltverschmutzung eingeordnet ([12], siehe auch [13] für die jüngste unkritische Übernahme durch deutsche Medien). Eine solche Einordnung ist im Lichte der durchgeführten Bewertung keinesfalls gerechtfertigt, hat aber im Zusammenhang mit dem Begriff der Radioaktivität zur Bereitschaft der Weltbank beigetragen, die Sanierungsmaßnahmen finanziell zu unterstützen.

Durch das TACIS-Programm der Europäischen Kommission wurde bereits 2002-2003 ein umfangreiches Erkundungsprogramm sowie eine Pre-feasibility-Studie finanziert und durch ein Konsortium unter Führung von SCK-CEN (Mol, Belgien) bearbeitet [14]. Das Ziel des durch die International Development Agency (IDA, Weltbank-Gruppe) finanzierten Projektes besteht vorrangig in der Sicherung bzw. Sanierung der Halden und Tailings [15]. Der durch WISUTEC/Wismut gemeinsam mit der Geoconsult ZT GmbH (Salzburg) bearbeitete Auftrag umfasst die

- Erfassung und ggf. Nacherkundung der Halden und Tailings sowie eine Risikoanalyse, in deren Ergebnis eine Prioritätenliste der erforderlichen Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen steht,
- Planung und Erstellung von Ausschreibungsunterlagen für die prioritären Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen, gegliedert in
 - einfache und schnell umzusetzende Maßnahmen zur Gefahrenabwehr bzw. Verbesserung des Strahlenschutzes für die Bevölkerung
 - mittelfristig angelegte wasserbauliche Stabilisierungsmaßnahmen entlang der Flussbetten zur Verminderung der Erosion von Halden- und Tailingsmaterial
 - langfristige Sanierungsmaßnahmen zur Stabilisierung der Halden und Tailings
 - die Erstellung eines geotechnischen Monitoringsystems zur Überwachung der Rutschungen, auf dessen Basis weitere Schutzmaßnahmen für Tailings Ponds abgeleitet werden können,

- der Bau einer Zufahrtsstraßen zum Transport von umzulagerndem Halden- und Tailingsmaterial, die später auch durch die Bevölkerung genutzt werden kann, sowie
- die Reparatur einer ebenfalls für die Umlagerung von Halden- und Tailingsmaterials genutzten Brücke über den Fluß Mailuu Suu.
- Bauüberwachung der Ausführung einschließlich die Überwachung der Einhaltung aller notwendigen Strahlen-, Umwelt- und Arbeitsschutzvorkehrungen,
- Schulungen der nationalen und lokalen Behörden sowie ausgewählter Nachauftragnehmer zur Einführung internationaler Standards bei der Bewertung und Sanierung von Hinterlassenschaften des Uranbergbaus.

Um zu einer belastbaren Bewertung des Istzustands und Sanierungsentscheidungen zu gelangen, wurde zusätzlich zu den aus früheren Erkundungsprojekten, insbesondere [14], vorliegenden Daten ein umfangreiches Untersuchungsprogramm mit den folgenden Komponenten durchgeführt:

- Wasserbeprobung, insbesondere von Sickerwässern aus Tailings und entlang des Flusses Mailuu Suu,
- Sedimentbeprobung entlang des hydrographischen Netzes,
- Radonmessungen im Freiland und in Wohnhäusern,
- ODL-Messungen auf Halden und Tailings,
- Gammasspektrometrische Analysen von Tailings- und Haldenmaterial,
- Kernbohrungen zur Charakterisierung der Tailings und Halden sowie des Untergrundes,
- Geotechnische Untersuchungen der Tailingskörper durch manuelle Drehflügelsondierungen.

Der Radionuklidvektor im Haldenmaterial und den Tailings ist in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2 Radionuklidvektor von Halden- und Tailingsmaterial in Mailuu Suu

	U-238	U-234	Th-230	Ra-226	Po-210	Pb-210	U-235	Pa-231	Ac-227
Halden*	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	0,08	0,08	0,08
Tailings**	2,86	2,86	32,6	35,8	35,3	35,3	0.129	1,6	1,6

* Mittelwert des Haldenmaterials (Annahme des radioaktiven Gleichgewichtes)

** Beispiel: Schlammteich TP 3

Während die Tailings größtenteils vollständig mit einer inerten Bodenschicht abgedeckt sind, so dass die Ortsdosisleistung in der Größenordnung des lokalen Hintergrundes (ca. 200 nSv/h) liegt, ist dies bei den meisten Halden nicht der Fall. Punktuell ist auch die Abdeckung auf den Tailings schadhaft, was wahrscheinlich auf Erosionsprozesse zurückzuführen ist. An diesen Stellen sind die Ortsdosisleistungen relativ hoch, wie in Abbildung 7 beispielhaft gezeigt ist.

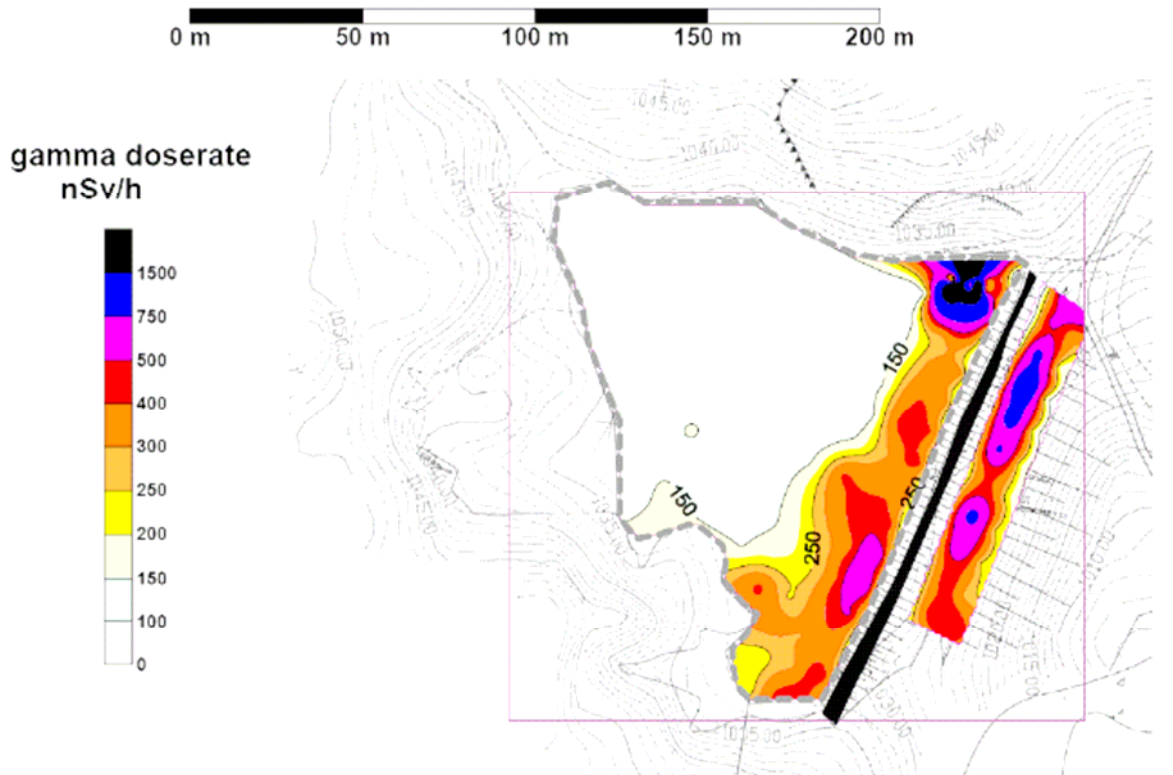


Abbildung 7 Hot-spot der Ortsdosisleistung auf einem Tailings Pond (TP 5) aufgrund schadhafter Abdeckungen

Die Analyse der radiologischen Situation hat an nur sehr wenigen Halden und Tailings Ponds, teilweise auch nur sehr punktuell, unmittelbaren Sanierungsbedarf aus Sicht des Strahlenschutzes ergeben. Die folgenden Sofortmaßnahmen wurden zwischen Projektbeginn 2005 und 2008 geplant und umgesetzt:

- Abdeckung von Hot-Spots (kleinräumige unabgedeckte Bereiche auf Tailings Ponds) mit einer einige Dezimeter dicken Schicht aus inertem Erdmaterial,
- Herstellung neuer bzw. Reparatur bestehender, aber defekter Wasserabführungssysteme, Verrohrung von Drainagekanälen zur Verhinderung der direkten Nutzung des Sicker- und Oberflächenwassers,
- Aufstellen von Warnschildern und Zäunen,
- Verteilung von Informationsmaterial an die Bevölkerung zur Umweltsituation in Mailuu Suu und geplanten Sanierungsmaßnahmen.

An der in der Ortslage Kara Agach gelegenen Halde 5 wurde ein Wohnhaus am bzw. auf dem Haldenkörper errichtet, was zu einer Radonbelastung der Wohnung und einer effektiven Dosis über diesen Pfad von mehr als 1 mSv/a führen kann, wie die Ergebnisse mehrmonatiger Radonmessungen zeigen:

Tabelle 3 Ergebnisse der Radon-Konzentrationsmessungen an Halde 5, Mailuu Suu

Messpunkt	Lage	Winterwert [Bq/m ³]	Sommerwert [Bq/m ³]
		Mittelwert aus Detektor 1 und 2	Mittelwert aus Detektor 1 und 2
1	Haus im SW-Bereich auf der Halde; ul. Kutscherbajeva 12, Kinderschlafzimmer	> 2000 *)	91
2	Haus im SW-Bereich auf der Halde; ul. Kutscherbajeva 12, Küche	> 2000 *)	100
3	Haus im SW-Bereich auf der Halde; ul. Kutscherbajeva 12, Hausflur	> 2000 *)	136
4	auf der Halde, nördlich der Fahrstrasse, nahe dem Heuschober	Detektoren wurden entwendet	168
5	Auf der Halde, nördlich der Fahrstrasse, nahe dem Heuschober	211	67
6	Garten nahe dem Haus im SW-Bereich der Halde, ul. Kutscherbajeva 12	127	48
7	Haus am Westrand der Halde, ul. Kutscherbajeva 19a,	133	57
8	Schuppen nahe dem Haus im SW-Bereich der Halde, ul. Kutscherbajeva 12	139	74
9	auf der Halde, nördlich der Fahrstrasse, nahe dem Heuschober	261	56
10	Am nordöstlichen Haldenfuß	129	58

*) Überexposition der verwendeten Festkörperkernspurdetektoren

Im Ergebnis eines Variantenvergleiches erwies sich die Umlagerung der Halde 5 (einschließlich des Abrisses des darauf stehenden Wohnhauses) als beste Variante, die trotz oder gerade wegen der Umsiedlung der Bewohner in ein neues Haus schnell akzeptiert wurde. Aufgrund seiner geotechnischen und hydraulischen Eigenschaften ist das Material der Halde 5 als Dammbaumaterial für den neuen Standort des umgelagerten Tailings Ponds 3 (siehe unten) geeignet.

Die unkontrollierte Erosion von Halden- und Tailingsmaterial durch den saisonal stark wasserführenden Fluss Mailuu Suu und seine Nebenflüsse führt zwar nicht unmittelbar zu einer Überschreitung des Dosisrichtwertes von 1 mSv/a für die Bevölkerung, ist aber aufgrund der langfristigen Deposition radioaktiven Materials flussabwärts und über die nahegelegene Grenze zu Usbekistan nicht mit der internationalen Best Practice vereinbar. Maßnahmen zur mittelfristigen Sicherung bzw. Stabilisierung der Halden und Tailings gegen Erosion bestehen deshalb im wesentlichen im Einbau von Gabionen entlang der Flussläufe in Bereichen mit besonders starker Erosionswirkung. Die Haltbarkeit dieser technischen Maßnahmen war bewusst auf einen Zeitraum von nur wenigen Jahren ausgelegt, da in der Zukunft die Umlagerung der erosionsgefährdeten Tailings und Halden geprüft und umgesetzt werden soll.

Langfristige Maßnahmen umfassen die Reprofilierung, Umlagerung und Abdeckung besonders instabiler bzw. erosionsgefährdeter Halden und Tailings. Im Rahmen des Projektes wurde zunächst die Umlagerung der stark durch den Bach Kulmen Sai erodierten Halde 1 auf die Halde 2 sowie die nachfolgende Profilierung des so entstandenen Haldenkomplexes und die Errichtung von langfristigen Schutzmaßnahmen gegen Erosion und Schlammlawinen (siehe Abbildung 6) geplant und umgesetzt.

Die Strahlenschutzmaßnahmen für Arbeiter und die Bevölkerung während dieser Sanierungsarbeiten können sich aufgrund der geringen Ausmaße der Haldenkörper und der spezifischen Aktivität des Haldenmaterials (siehe Tabelle 2) auf die üblichen Regeln der Arbeitshygiene, Staubbekämpfung und Säuberung der Arbeitsgeräte vor Verlassen der Baustelle auf öffentliche Straßen beschränken.

Die Situation in Mailuu Suu ist gekennzeichnet durch eine hohe seismische Aktivität, was bei einigen wenigen Schlammteichen (Tailings Ponds, TP) zur strukturellen Instabilität führt. Betroffen davon ist jedoch insbesondere der sogenannte TP 3, dessen Tailings teilweise wassergesättigt und aufgrund ihrer geringen Scherfestigkeit fließfähig sind. Im Ergebnis eines plötzlichen Dammbrochs würden einige 10.000 m³ radioaktiven Materials in den Fluss Mailuu Suu gelangen und sich stromab auf Überschwemmungsflächen ablagern. Der Eintrag dieser Menge radioaktiven Tailingsmaterials in die Vorflut ist sowohl unter Strahlenschutzgesichtspunkten als auch unter dem Aspekt guter bergbaulicher Praxis unbedingt zu vermeiden, so dass nach eingehendem Variantenvergleich die Umlagerung von TP 3 auf einen höher gelegenen, logistisch gut zu erreichenden und geotechnisch stabilen Schlammteich (TP 6) beschlossen wurde.

Während und nach Abschluss der Umlagerungsarbeiten ist die effektive Dosis für die Bevölkerung als vernachlässigbar anzusehen, wenn die vorgeschriebenen Maßnahmen der Staubbekämpfung und Reinigung der Fahrzeuge vor jedem Verlassen der Baustellen eingehalten werden. Jedoch ergeben sich während der Sanierungsmaßnahmen durchaus beträchtliche Dosen für die Sanierungsarbeiter, wie Tabelle 4 zeigt:

Tabelle 4 Abschätzung der effektiven Dosis für verschiedene Referenzpersonen (Arbeitnehmer) während der Umlagerung des Tailings Ponds 3

Expositionspfad	Annahmen, Parameter, Anmerkungen	Effektive Dosis [mSv bei 1000 Stunden*]			
		Geräteleiter (RP1)	LKW-Fahrer (RP2)	Vorarbeiter (RP 3)	Wachpersonal (RP 4)
Äußere Gammastrahlung	20 µSv/h	2,40	1,56	2,40	0
Staubinhalation (LL-α)	Leitnuklid: Ra-226; Nuklidvektor siehe Tabelle 2	3,82	1,91	1,53	16,5
Inhalation von Radon und kurzlebige RFP	Rn-Konzentration auf TP 3: 400 Bq/m ³ ; Gleichgewichtsfaktor F = 0,2 Auf öffentlichen Straßen: 30 Bq/m ³ ; F= 0,4	0,624	0,343	0,125	1,3
Direktgestung von kontaminiertem Material	Zufälliges Ereignis oder bei ungenügender Hygiene; Nuklidvektor siehe Tabelle 2	0,315	0,173	0,063	0
Total		7,16	3,98	4,12	17,8

* Eine Arbeitszeit von 1000 Stunden wird für eine Saison angenommen (ca. 6 Monate/Jahr)

Die Arbeiter sind deshalb als strahlenexponierte Arbeitnehmer der Kategorie A einzuordnen. Die wesentlichen Expositionspfade sind die Ortsdosisleistung sowie der Staubbpfad. Deshalb wurde bei der Erstellung der Planungsunterlagen und der in diesem Zusammenhang ebenfalls durchzuführenden ausführlichen Umweltverträglichkeitsstudie dem Aspekt des Strahlenschutzes für die Arbeiter und den logistischen Aspekten (Schwarz-Weiß-Trennung, Arbeitszeitbegrenzung, Staubbekämpfung, Reinigung der Arbeitsgeräte und LKW und Abdeckung der Lademulden vor jedem Verlassen des Arbeitsbereiches) besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Im Rahmen der Planung wurden verschiedene Umweltverträglichkeitsstudien (einschließlich der radiologischen Umweltbewertungen) für die Einzelvorhaben erstellt, die in ihrem Umfang der Komplexität der jeweils auszuführenden Maßnahmen entsprechen. Teil dieser Unterlagen sind Umweltmanagement- und Sicherheitspläne, die auch detaillierte Anweisungen einzelner Arbeitsschritte bis hin zur Erstellung von "Fact Sheets" mit den wichtigsten Informationen zum Arbeits-, Umwelt- und Strahlenschutz für Sanierungsarbeiter und die Bevölkerung enthalten.

Eine weitere wichtige Komponente des Projektes besteht im Training und Know-how-Transfer für kirgisische Behörden und Ingenieure ("Capacity Building"). Kirgisische Experten wurden zu mehreren Workshops, Standortbefahrungen und Erfahrungsaustauschen nach Deutschland (Sanierung der Wismut-Standorte) und Österreich (wasserbauliche Erfahrungen in stark erosionsgefährdeten alpinen Regionen) eingeladen. Durch das Umweltbundesamt wird parallel zu dem von der IDA/Weltbank finanzierten technischen Projekt ein Vorhaben gefördert, mit dem ein intensiver Wissenstransfer an kirgisische Behörden und weitere für das Sanierungsprojekt wichtige Experten sowie Nichtregierungsorganisationen (NGOs) erfolgt, der langfristiger angelegt ist als es die Möglichkeiten des Weltbankprojektes erlauben [16].

Nicht unerwähnt bleiben soll an dieser Stelle, dass alternativ zu den Sanierungsarbeiten im Ergebnis des steigenden Uranpreises auch die Rückgewinnung von Uran aus den Bergbau- und Aufbereitungsabfällen wieder eine betrachtenswerte Option ist [17], die jedoch im Ergebnis der Krise an den Finanz- und Rohstoffmärkten zunächst zurückgestellt wurde [18].

2.3 Kitwe (Zambia)

In den 50iger Jahren wurde zur Gewinnung des Urans für die ersten britischen Kernwaffenversuche in der sogenannten AMCO-Siedlung am Stadtrand von Kitwe, einer traditionsreichen Bergbauregion im Nordosten Zambias, Uranerz abgebaut und aufbereitet. Es handelte sich bei einer Produktion von 100.000 t Uranerz mit Gehalten um 0,19% um die einzige Uranproduktion in Zambia in dieser Zeit [19], wovon 2 Tailings Dumps (relativ trockene, flach aufgeschichtete Tailings) mit jeweils ca. 30 Tm³ Volumen erhalten sind. An diesem Standort gewinnt heute die Mopani Copper Mines Plc Kupererz.

Das von der Weltbank finanzierte Sanierungsprojekt ist in das Copperbelt Environmental Program (CEP) eingebunden, bei dem die AMCO-Siedlung aufgrund von Senkungen des untertägigen Grubengebäudes umgesiedelt wird [20]. Die Tailings Ponds befinden sich in unmittelbarer Nähe zur AMCO-Siedlung, siehe Abbildung 8.



Abbildung 8 AMCO-Siedlung in unmittelbarer Nähe zu den Urantailings (flache Böschungen der Tailings Dumps sind im Hintergrund sichtbar)

Die Ergebnisse der Radionuklidanalysen der beiden Tailings sind in Tabelle 5 gezeigt.

Tabelle 5 Radionuklidvektoren des Materials auf den Tailings Dumps (TD) 11 und 13

Nuklid	Spezifische Aktivität (Bq/g)	
	TD 11	TD 13
U-238	1,3	1,2
U-234	1,3	1,2
U-235	0,065	0,06
Th-230	16,0	15,4
Ra-226	18,9	17,8
Pb-210	17,3	14,8
Po-210	17,3	14,8
Ac-227	0,78	0,78

Das Hauptproblem am Standort besteht in der extremen Armut der lokalen Bevölkerung, woraus unter anderem die landwirtschaftliche Nutzung der Tailings in unmittelbarer Nähe der Wohnbebauung durch die Bevölkerung und damit eine erhebliche radiologische Belastung resultieren. Aktuell wird die Oberfläche der weitgehend unabgedeckten Tailings landwirtschaftlich genutzt (siehe Abbildung 9). Um den Einfluss der Radioaktivität der Tailings auf die angebauten Lebensmittelpflanzen zu untersuchen, wurde Biomasse entnommen und radiochemisch untersucht.



Abbildung 9 Landwirtschaftlich genutzter Bewuchs auf der Tailingsoberfläche

Dass aus der landwirtschaftlichen Nutzung erhebliche Dosisbeiträge über den Nahrungsmittelpfad resultieren, ist in Abbildung 10 für ein Kleinkind beispielhaft dargestellt. Aber auch die Ingestion des unabgedeckten Materials, insbesondere durch Kleinkinder, trägt erheblich zur Strahlenexposition der Bevölkerung bei. Eine Sanierung der Tailings ist damit unter Strahlenschutzgesichtspunkten unumgänglich.

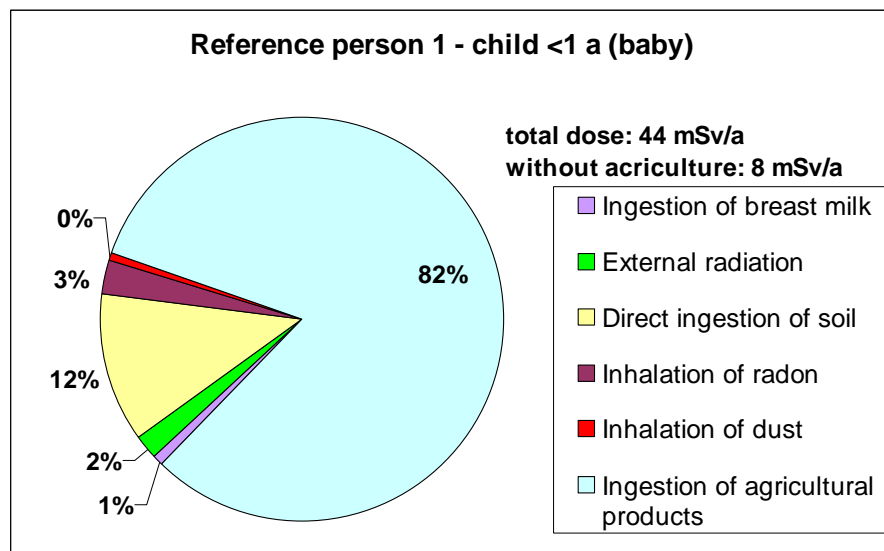


Abbildung 10 Dosisbeiträge zur effektiven Dosis der Referenzperson "Säugling"

Nach eingehender Prüfung verschiedener Sanierungsvarianten und Diskussion mit den lokalen Behörden und Entscheidungsträgern bei Mopani Copper sowie ZCCM-ICH wurde die Umlagerung

der Uranaufbereitungsrückstände in einen Tailings Pond von Mopani, der in den nächsten Jahren überspült wird, als Vorzugsvariante herausgearbeitet. Damit können die Dosisbeiträge über den Nahrungsmittelpfad vollständig beseitigt werden. Dosisbeiträge über den Grundwasserpfad können auch zukünftig aufgrund der hydraulischen Verhältnisse im Tailingskörper sowie der lokalen hydrogeologischen Bedingungen weitestgehend ausgeschlossen werden.

3. Zusammenfassung

In Entwicklungs- und Schwellenländern existieren zahlreiche bergbauliche Altlasten mit radiologischer Relevanz, insbesondere aus früheren Uranbergwerken und -aufbereitungsfabriken. Eigentümer, die zur Sanierung herangezogen werden könnten, sind in der Regel nicht mehr greifbar, so dass die Verantwortung für Umweltsanierung und Strahlenschutzmaßnahmen letztlich bei den nationalen Regierungen bzw. lokalen Behörden liegt. Die Sanierung dieser Hinterlassenschaften erfolgt häufig mit Hilfe von Mitteln internationaler Organisationen.

Die Bewertung von bergbaulichen Hinterlassenschaften zeigt, dass in vielen Fällen nicht oder nicht ausschließlich aufgrund der Strahlenbelastung Sanierungsmaßnahmen geboten sind, sondern sich eine Sanierungsnotwendigkeit häufig aus anderen (geotechnischen, chemisch-toxischen etc.) Risiken ableiten lässt. Dies bestätigt die Erfahrungen aus Sanierungsprojekten wie dem Wismut-Projekt in Sachsen und Thüringen.

Die Vorlaufzeiten zwischen dem geplanten Beginn von Planungsprojekten und dem erwarteten Beginn von Sanierungsmaßnahmen häufig sind sehr kurz, so dass nicht ausreichend Daten und Informationen für eine detaillierte Optimierung der Sanierungsvarianten gewonnen werden können. Deshalb erfolgen die Bewertung, Sanierungsentscheidung und Planung häufig auf bruchstückhaften Informationen, gestützt durch die Erfahrung aus vergleichbaren Standorten und stichprobenartige Erhebungen. Sofern möglich, werden zusätzliche Standortuntersuchungen durchgeführt.

Dosisabschätzungen dienen unter diesen Randbedingungen in der Regel nicht der genauen Quantifizierung von radiologischen Risiken, sondern der Eingrenzung der wesentlichen Expositionspfade und der Ermittlung der Größenordnung der jeweiligen Dosisbeiträge.

Die in vielen Sanierungsprojekten in Schwellen- und Entwicklungsländern starke Betonung von Ausbildung und Know-how-Transfer in den Empfängerländern muss langfristig und mit der Möglichkeit einer praktischen Nachnutzung des erhaltenen Wissens angelegt werden. Fehlen Nachfolgeprojekte (z.B. zur Sanierung weiterer Standorte) aufgrund mangelnder finanzieller Ressourcen, ist die Motivation in den Empfängerländern gering.

In letzter Zeit wurden deshalb diverse Netzwerke und Arbeitsgruppen auf internationaler Ebene ins Leben gerufen, z.B. das von der IAEA initiierte Netzwerk "ENVIRONET" [21], dem auch WISUTEC angehört und dessen Ziel die Bereitstellung und der Austausch praktischer Sanierungserfahrungen zwischen entwickelten und Schwellen-/Entwicklungsländern ist.

Um die Erfahrungen der Bergbausanierung in den entwickelten Ländern Europas, Nordamerikas und Australiens unter den finanziell wesentlich bescheideneren Bedingungen von Entwicklungs- und Schwellenländern dennoch nutzbringend einzusetzen, wurde eine Arbeitsgruppe IAEA Arbeitsgruppe initiiert, die sich mit Strategien für die Sanierung unter Bedingungen beschränkter Ressourcen beschäftigt. WISUTEC/Wismut arbeitet in diesem IAEA-Expertenteam mit.

In den in diesem Beitrag behandelten Ländern wird der Uranbergbau in den nächsten Jahren wahrscheinlich eine zunehmende Rolle spielen. Es bleibt deshalb zu hoffen, dass die Erfahrungen

aus den Sanierungsprojekten an ehemaligen Uranbergbau- und Aufbereitungsstandorten bei Planung, Betrieb und Schließung neuer Bergwerke Berücksichtigung finden und damit die Fehler der Vergangenheit vermieden werden können.

Literatur

- [1] P. Schmidt, C. Kunze, U. Walter: Anwendung von Strahlenschutz-Know-how der Wismut bei der Sanierung an Uranbergbaustandorten in Osteuropa und Mittelasien. In: Strahlenschutz-Aspekte bei natürlicher Radioaktivität. 38. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V., Dresden, 18.-22. September 2006. Hrsg. des Bandes: E. Ettenhuber, R. Giessing, E. Beier, A. Bayer
- [2] Einen guten Überblick über internationale Geberorganisationen vermittelt die Website der Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils (FIDIC)
www.fidirect.com/international_market_information_funding_organisations.htm
- [3] P. Waggit: Cleaning up from the Past - Preserving the Future. IAEA Bulletin 49-2, March 2008, p. 25-27
- [4] C. Florea-Gabrian, N. Turdean: Closing Baia de Aries Mine in Romania: A New Challenge. Proc. Int. Seminar on Mine Closure (Mine Closure 2008), Johannesburg, 13-17 October 2008
- [5] WISUTEC: "Recommendations on Pre-closure monitoring, Use of quantitative predictive models, Negotiation of realistic remediation targets". Internal report for the PMU, 8 p., 2006 (zitiert in [4])
- [6] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen - Bergbau), 30.07.1999
- [7] Economic Commission for Europe, Committee on Environmental Policy: Environmental Performance Reviews - Kazakhstan, Second Review. United Nations, New York and Geneva, 2008, Environmental Performance Reviews Series No 27
- [8] Europäische Kommission: TACIS Nuclear Safety Action Programme 2006 Project Description Sheet - R4.02/06. Verfügbar unter ec.europa.eu/europeaid/where/worldwide/nuclear-safety/documents/action_programme_2006_part2_en.pdf
- [9] C. Kunze, G. Kießig, A. Küchler: Management of Passive Biological Water Treatment Systems for Mine Effluents. In: N. Marmiroli et al (eds.), Advanced Science and Technology for Biological Decontamination of Sites Affected by Chemical and Radiological Nuclear Agents. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2007, pp. 177-195
- [10] Projektreferenz EuropeAid/127730/D/WKS/RU, verfügbar unter <http://ec.europa.eu/>
- [11] R. Edwards: Flooding of Soviet uranium mines threatens millions. New Scientist, 16. Mai 2002
- [12] Blacksmith Institute: „The World's Most Polluted Places - The Top Ten of the Top Thirty". One of World's 10 most polluted places“, New York, 2007. Verfügbar unter www.blacksmithinstitute.org
- [13] Der Spiegel: Uranschlamm aus Kirgisien bedroht Zentralasien. Spiegel Online 05.12.2008
- [14] TACIS Project SCRE1/N°38: Remediation of Uranium Mining and Milling Tailing in Mailuu-Suu District of Kyrgyzstan, Consortium SCK-CEN, Mol (Belgium); Belgatom, Brussels (Belgium), Holger Quarch (Germany), 2001-2003, Final Report, May 2003.
- [15] Detaillierte Informationen zu dem Projekt sind u.a. verfügbar unter www.worldbank.org
- [16] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Umweltbundesamt: Projektinformation "Training und Beratung kirgisischer Experten bei der Uranbergbausanierung", 07.01.2008, verfügbar unter www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/projekt_uranbergbausanierung_zentralasien.pdf

- [17] Nimrodel Resources Ltd.: 2008 Annual General Meeting Presentation, Sydney, 26 November 2008
- [18] Nimrodel Resources Ltd.: ASX Release, Sydney, 22 October 2008
- [19] OECD Nuclear Energy Agency (NEA)/International Atomic Energy Agency (IAEA): Uranium Resources, Production and Demand, 1989
- [20] Golder Associates: Resettlement Action Plan for the AMCO Community, Kitwe, Copperbelt Province, Republic of Zambia. Draft Report. ohne Datum, verfügbar unter www.worldbank.org
- [21] H. Monken-Fernandes: ENVIRONET - Network of Centres of Excellence on Environmental Remediation. IAEA, Wien 7.-10.10.2008, verfügbar unter www.iaea.org