

本資料は2000年3月31日付けで登録区分
変更する。

東濃地科学センター 研究開発グループ

ビスムート社 ウラン生産・製錬施設における 浄化・修復の調査

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1993年3月

日商岩井株式会社

本文の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184
Japan

©核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
1993

限定資料

PNC 7J7064 93-002

1993年3月



ビスムート社 ウラン生産・生産施設における浄化・修復の調査

日商岩井株式会社
原子燃料部

要 旨

過去40年にわたり旧東独で開發生産が行なわれたビスムート社のウラン生産・製錬施設によりもたらされた環境汚染の実体が1990年の東西両ドイツの統合によって明らかにされた。この汚染は現在知られているかぎり単独の企業体によってもたらされた世界最大級の規模のものであり、ドイツ政府は先進諸国の助力を得て今後長期にわたることが確実なその浄化・修復作業を開始しようとしている。

こうした大規模な汚染の実体を把握するため1992年5月には現地を訪問し、短期間の調査を実施した。

本調査はこの現地調査以降明確になりつつある浄化修復計画の細部を資料面から把握することを目的とするものである。

こうした大規模な汚染とその浄化・修復計画双方の実体を把握することにより、これからの動燃ひいては日本の環境保全対策に関する技術開発や安全管理を進めるうえでの基本的な方針を決定するうえに重要な意義を持っている。

本報告書は、日商岩井株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した業務の成果である。

契約番号 04C1079

事業団担当部課室 : 中部事業所鉸床解析室

目 次

1.	はじめに — ザクセン州、チューリンゲン州の ビスマート社旧ウラン生産地域の浄化・修復計画の現状	1
2.	ビスマート鉍害復旧・環境再生事業の法的基盤と 事業の違憲性をめぐる訴え	20
3.	ゼーリングシュテート製錬施設	24
3.1	概要	24
3.2	鉍害復旧事業	26
3.2.1	差し迫った危険に対処するための短期的鉍害復旧作業	26
3.2.2	環境モニタリング（「環境評価台帳」）	27
3.2.2.1	放射能汚染の評価	27
3.2.2.2	地下水および地表水による汚染物質の排出	28
3.2.2.3	大気汚染監視	29
3.2.3	中長期的鉍害復旧事業	30
3.2.3.1	クルミチュおよびトリュンツィヒの 事業用鉍滓池の鉍害復旧	30
3.2.3.2	ボタ山の鉍害復旧	34
3.2.3.3	瓦礫、剝土、スラリの処理および処分	36
3.2.3.4	ゼーリングシュテート事業区の浄化	38
3.2.3.5	ゼーリングシュテート事業区周辺の排水路および川の浄化	39
3.2.3.6	ゼーリングシュテート処理施設に隣接する汚染区域の浄化	39
3.2.3.7	ゼーリングシュテート粗製錬・処理場浄化計画の スケジュール	39

4.	クロッセン製錬施設	6 2
4.1	概要	6 2
4.2	鉍害復旧事業	6 3
4.2.1	差し迫った危険に対処するための短期的鉍害復旧作業	6 3
4.2.2	環境モニタリング	6 4
4.2.2.1	放射性汚染物質の評価	6 4
4.2.2.2	地下水および地表水による汚染物質の排出	6 5
4.2.2.3	大気汚染監視	6 6
4.2.3	中長期的鉍害復旧作業	6 7
4.2.3.1	ヘルムスドルフおよびデンクリツの 事業用鉍滓池の鉍害復旧	6 7
4.2.3.2	ボタ山の鉍害復旧	7 0
4.2.3.3	廃水の浄化	7 3
4.2.3.4	クロッセン事業区の浄化	7 4
4.2.3.5	クロッセン事業区周辺の汚染された土地 および排水路の浄化	7 6
4.2.3.6	クロッセン粗製錬・処理場の浄化スケジュール	7 6
5.	アウエ鉍山	9 3
5.1	概要	9 3
5.2	鉍害復旧事業	9 4
5.2.1	差し迫った危険に対処するための短期的鉍害復旧作業	9 4
5.2.1.1	地下における作業	9 4
5.2.1.2	地上での作業	9 4
5.2.2	環境モニタリング	9 5
5.2.2.1	放射性汚染物質の評価	9 5
5.2.2.2	地下水および地表水による汚染物質の排出	9 5

5.2.2.3	大気汚染監視	96
5.2.3	中長期的鉍害復旧作業	96
5.2.3.1	立坑および坑内施設の浄化および封止	97
5.2.3.2	鉍山の水没	99
5.2.3.3	水処理と水処理廃棄物の処分	101
5.2.3.4	ボタ山の鉍害復旧	103
5.2.3.5	沈殿池の鉍害復旧	103
5.2.3.6	アウエ事業区および汚染された排水路の浄化	104
5.2.3.7	アウエ鉍山の浄化スケジュール	104
6.	ケーニヒシュタイン鉍山	118
6.1	概要	118
6.2	環境モニタリング	118
6.2.1	地下水および地表水による汚染物質の排出	118
6.2.2	大気汚染監視	119
6.3	鉍害復旧事業	119
6.3.1	鉍山の水没	120
6.3.2	水処理と水処理廃棄物の処分	122
6.3.3	ボタ山の鉍害復旧	122
6.3.4	ケーニヒシュタイン鉍山の浄化に必要な資金および労働力	123
7.	展望	130

1. はじめに — ザクセン州、チューリンゲン州のビスムート社旧ウラン生産地域の浄化・修復計画の現状

第2次世界大戦後の1946年6月、のちにドイツ民主共和国（東ドイツ）となるソ連占領地域内におけるウラン採鉱を目的に、ソ連が100%支配する企業としてソビエト株式会社ビスムート（SAGビスムート）が設立された。1954年、SAGビスムートはソビエト・ドイツ株式会社ビスムート（SDAGビスムート）に変わり、東ドイツ政府がSDAGビスムートの株式の50%を保有するようになった。この独ソ合弁会社の法的根拠となっていたのは、ソ連、東ドイツ両国政府間で1953年に交わされた協定であった。その後、1962年に改定された協定がこの協定に取って替わった。

1990年10月3日のドイツ統一に伴い、SDAGビスムートにかつての東ドイツ政府が保有していた50%の株式をドイツ連邦共和国（旧西ドイツ）が引き継いだ。旧東ドイツの領土内におけるウラン採鉱が市場経済のもとでは全く経済性を持たないものであることは、既にその時点で明らかであった。そのため、当時のソ連と西ドイツの間の1990年10月9日付の移行条約に基づいて、現在はザクセン、チューリンゲンと呼ばれる新しい2つの州の域内における本格的なウランの採鉱および製錬は中止されることになった。同時に、汚染されたビスムート関連のサイトの環境再生作業の実施が決まった。

1991年5月16日、旧東ドイツの正式な後継国としての統一ドイツと当時のソ連の両国政府間の取決めの条件に基づいて、ソ連はビスムートに保有していた50%の株式を放棄した。そして、それと同時に、1962年のソ連と東ドイツの政府間協定では損害賠償に関する規定がなかったことから、ソ連は必要な環境再生計画に資金的な貢献を行う義務から解放された。その結果、鉱害復旧事業のための資金を負担する責任は専ら連邦経済相に代表されるドイツ連邦政府のみに帰するということになった。

1991年12月12日のいわゆるビスムート法の規定により、SDAGビスムートは、1991年12月20日のドイツ連邦の法律に基づく会社へと組織替えが行われた。社名は新たにビスムート社（GmbH）となった。ビスムート法では、ビスムートを独立して運営される以下の2つの会社に分割することが定められた。

- 使われなくなったウラン採鉱・製錬施設のデコミッションングと鉱害復旧・環境再生事業を担当するビスムート社。
- ウラン採鉱・製錬事業とは直接かかわりのないビスムートの在来技術関連のすべての資産からなるDFA製造・プラント建設GmbH。

分割は1992年1月1日をもって発効した。

ドイツ連邦政府と旧東ドイツ政府の間の統一条約では、連邦放射線防護局（BfS）が、ドイツ連邦の新生各州におけるかつてのウラン採鉱・製錬事業による放射線関連の影響の実態調査を担当することになっている。この実態調査で特に対象とされるのは、既に何年も前にビスムートから地方自治体に引き渡されている地域、地方、区域における採鉱や処理による放射線関連の影響である。

BfSがその「過去の鉱害に関する放射線学的実態調査、分析および評価」というプロジェクトの中で行った調査は、34か所、面積にして約1,500km²のいわゆる「疑わしい地域」を中心に実施された。これには以下のような様々な地域が含まれている。

- エルツ山地の中世に銀の採掘が行われていた地域
- マンスフェルトの含銅頁岩採掘地区
- SAGビスムート／SDAGビスムートのかつてのウラン採鉱・製錬地区で、既に過去に地方自治体に引き渡されている地域
- 在来鉱物資源の採掘が行われていたその他の地域

既存のデータや情報に対する評価と解釈を行うプロジェクトの第1段階は既に完了している。その結果によれば、「疑わしい地域」のうち、今後さらに詳細な分析を必要とする地域はわずかに250 km²を残すだけである。また、既に実施されている予防的な対策は、潜在的な危険による短期的な影響を防ぐのに十分なものであると判断された。しかし、ここまでのプロジェクトの成果からは、中長期的に必要な鉱害復旧・環境再生のための対策を明確な形で決めることはまだできない。従って、そうした対策のための費用見積りもまだできていない。

一方、ビスムートの方は、いまだにビスムート社の資産となっている地区におけるウランの採鉱および処理による影響を調べ、環境浄化・再生対策の効果のほどを監視していく役割を果たさなければならない立場にある。現在、ビスムート社の事業区域の範囲は合計約32 km²となっている（表1. a参照）。ビスムート社が実施している「環境評価台帳」と呼ばれる調査プロジェクトのこれまでの結果では、これらの事業区域の約60%について環境再生の必要があるものとされている。さらに、ビスムートは今後、総延長約1,400 kmの樋押し坑道の浄化および部分的封止、50本以上の立坑および約30本の通洞などの封止、その他の汚染された事業区域、建物などの浄化といった作業を引き受けていかなければならない。

「環境評価台帳」プロジェクトでは、ビスムートが保有するすべての地所について、かつてのウラン採鉱・製錬事業によってもたらされた放射能汚染ないしその他の汚染について詳しく分析されることになっている。環境評価台帳作成のための実態調査では以下の作業が行われる。

- かつてのすべての事業区域、ボタ山、ボタ山周辺などにおける局所γ線量率の体系的な測定
- 重鉱物、薬剤、炭化水素およびその他の汚染物質による汚染に関する土壌サンプルの分析
- ラドン濃度の測定（表1. b、表1. c参照）
- 地表水および地下水の汚染・汚濁の測定（表1. d、表1. e参照）

実態調査の結果に対してはすべて詳細な分析と評価がなされ、それによって、
鉍害復旧・環境再生のために計画されている対策に微調整や変更が加えられる。
実態調査はその後も継続されるが、これは、かつてのウラン採鉍・製錬事業による
鉍害に対する全体的展望をより確かなものとするため（静的モニタリング）で
あると同時に、個々の浄化作業による直接的な放射線学的影響を明確にして、鉍
害復旧・環境再生活動を終えたあとで浄化作業の効果のほどを証明するため（動
的モニタリング）でもある。

環境評価台帳は、最終的に実施される環境浄化・再生対策にとって主要な決定
因のひとつとなるものであることから、本報告書には環境モニタリングに関する
表が数多く含まれている。ただし、本文中の数字と表中の数字には往々にして若
干の食い違いがあることにご留意頂きたい。これは、それぞれの出所で示されて
いる数字や使われている数字が同じでないという、単純な理由による。

B f Sとビスムート社のそれぞれによる実態調査は同じ指針に沿って行われる。
実態調査の結果はすべて、B f Sが用意している「鉍害台帳」と呼ばれる中央の
ファイルにまとめられる。

ビスムート法の第6条では、ビスムート社は、1990年6月30日の時点でビス
ムート社に属していた資産のみについて、その法的所有者であるものとされてい
る。そのため、ビスムート社は、1990年6月30日以前に地方自治体に引き渡され
ていたウラン採鉍・製錬地区に関しては法的な責任を持たないことになる。ドイ
ツ連邦政府は、現在、ビスムートのかつての事業区域の法的所有者となっている
地方自治体は、当該区域に関して必要とされる鉍害復旧・環境再生事業を行う責
任があるとしている。しかし、新しく誕生したザクセン、チューリンゲン両州の
政府は連邦政府とは法律的な考え方を異にしている。両州は、自ら委託して得た
専門家からの助言をもとに、1962年以前にビスムートから自

治体側に引き渡されたかつての事業区域すべての環境浄化・鉱害復旧の責任があると主張している。この責任は、1970年に当時の東ドイツ政府が、事業区域の浄化作業に対して追って東ドイツの国家予算から資金を提供するという決定を下していることがその根拠とされている。そして、統一条約によってドイツ連邦政府はこの保証を果たさなければならない立場となった、というのがザクセン、チューリンゲン両州側の主張である。しかし、専門家の助言では、1962年以降に自治体側に引き渡されたかつてのビスムートの事業区域の浄化については、両州に法的な責任があるとされている。

この原稿を書いている段階では、連邦政府とザクセン、チューリンゲン両州の間のこの問題はまだ解決していない。

ドイツ連邦政府は、ビスムートの浄化問題について、環境、社会、資金のそれぞれの局面で、その最適化を図ろうとしている。そこで意図されているのは主に以下のような事項である。

- 浄化事業は、かつてウランの採鉱や処理が行われていた地域の住民の環境条件を改善することを目的として行うものである。
- 関係地域の経済・政治機構を改善して、雇用情勢に新鮮な刺激を与える必要がある。
- 連邦政府は、ビスムートの浄化に関してなされる投資が最大限の利益を生むことを目指している。その目標は、浄化事業を終えた段階で、かつてのウラン採鉱・処理事業による放射線鉱害の名残にまでその原因をたどることのできる公衆の年間被曝が $1\text{ mSv} = 100\text{ mrem}$ を超えないというところまで持っていくというものである。その際、年線量の計算において、その被曝経路と見なされるのは以下の経路である。

- ・ 体外被曝
- ・ 屋外でのラドン吸入（屋内でのラドン吸入による被曝については、B f Sによる特別勧告が適用される）
- ・ 汚染された塵の吸入
- ・ 汚染された塵および飲料水の摂取

ドイツ連邦政府は、ビスムートの鉱害復旧・環境再生事業は国際的な基準に則って実施されるとしている。しかし、浄化問題の解決に先立って、まず様々な技術的側面で一層の研究開発作業が行われる必要があるものと思われる。現在のところ、主な具体的問題としては以下のような事項が挙げられる。

- － 沈殿池の鉱滓の安全確保
- － 中止されたケーニヒシュタインの原位置リーチング・プロジェクトの現場の地下水層の修復
- － 廃鉱となった露天掘り、坑内掘りそれぞれの鉱山の地下水の長期的な保護

ビスムート社は詳細な浄化計画を既にまとめている。その計画には以下のそれぞれの事項に関する詳細が盛り込まれている。

- － それぞれの場所固有の放射能汚染の種類および範囲に関する特徴
- － 想定される様々な浄化のシナリオ
- － 望ましい浄化のシナリオをたどるのに必要な要員、機材および資金に関する情報
- － 浄化事業を取り巻く法的環境

ビスムート社による浄化計画は1991年8月にドイツ連邦政府に提出された。経済省（BMW i）と環境・自然保護・原子炉安全省（BMU）の専門家がそれぞれ

個別に計画の審査を行い、浄化計画の改善のためかなりの数にのぼる勧告を出した。これと並行する形で、ビスムートは、鉱害の復旧や環境の再生に関する個々の問題について数多くの専門家に意見を求めた。こうして得られたすべての所見は、ビスムートによる浄化計画の改訂版として1992年10月にまとめられたものの中に生かされている。ドイツ連邦政府では、常に最新の経験を取り入れることができるように、浄化計画は引き続き改訂を重ねていく必要があると考えている。

ビスムート社は今日、西側世界の他のウラン採鉱会社と比較した場合、事業としては特異な状況にある。高い環境基準が設けられている西側世界の大半のウラン生産国においては、ウラン採鉱・製錬プロジェクトの建設申請と同時に、そのプロジェクトに関する詳細な浄化構想があらかじめ提出されていなければならない。しかし、ビスムートの場合、過去においてはウラン生産の環境面の問題に重きを置くということがまずなかったか、あったとしてもごくわずかでしかありえなかった会社全体が、殆ど一瞬のうちにウラン採鉱を行う身から、採鉱・製錬施設のデコミッションング、解体および浄化を行う立場へと組織改革を迫られたのである。そのため、浄化対策を綿密に立案し、チェックし、実施に移すという時間はあまり残されていなかった。従って、現状では、必要な短中期的な対策を実施する一方で、浄化計画の微調整を並行して行うことが求められる。

ここまでの経験からして、ビスムートの浄化計画には合計130億マルク（9230億円）の費用がかかるものと見られており、浄化作業の実施期間は10～15年に及ぶ見込みである。この費用見積りは、現在の物価、賃金、そして環境浄化・再生に関するノウハウの現状に基づいたものである。

ドイツ連邦政府はビスムートの浄化事業のために、1992年は9億6800万マルク（687億円）を投じる予定にしていた。しかし、技術的な計画立案の遅れや、浄化作業を妨げる法的手続のために、実際に使われたのは約9億マルク（639億円）に

とどまった。今年1993年の連邦政府による支出は総額7億7300万マルク(549億円)が見込まれている。それまでの投資計画と比べて1億5000万マルク(107億円)の減額となっているのは連邦政府の緊縮型の国家予算によるものである。1994年から1996年までの期間については、現在のところ、連邦政府はビスムートの浄化事業に年額で8億6000万マルク(611億円)を注ぎ込むことになるものと見られている。ビスムートでは、この資金を最大限経済的に利用するため、浄化事業の個々のロットごとに入札を募ることにしている。

浄化事業は、採鉱および放射線防護を担当する所管の州当局による規制を受ける。また、そうした当局者による要請があった場合には、その他の機関や市町村当局がビスムートによる個々の浄化作業に対する評価にかかわることになる。

1991年と1992年に許可を受けて実施された浄化事業は、差し迫った危険からの防護を狙って行われたもので、緊急対策的なものとして考える必要がある。そこで実施された対策は、特定された汚染や被曝経路に対処することを目指したものであるが、長期的な環境浄化・再生対策を損なうものとはなっていない。

これまでに地質学的、水文地質学的観点や、放射線および汚染の面から実施されてきた実態調査では、以下のようなことが明らかになっている。

- 事業用沈殿池に捨てられた鉱滓は、許容範囲を超える強い放射線源となっている。
- 鉱滓池周辺の大気は、発散されるラドンや浮遊する放射性塵によってかなり汚染された状態にある。
- 沈殿池からは汚染された浸出水がしみ出しており、沈殿池周辺の地表水や地下水を汚染、汚濁している。
- 一部の地域では、潜在的な被曝経路のすべてを考慮に入れた場合、公衆の年線量が1 mSv/年=100mrem/年を超えている。

表1. fはクルミチュとトリュンツィヒの事業用沈殿池（ゼーリングシュテート製錬場）の近くの住民の被曝線量を被曝経路別に示したものである。ここで注意をひくのは、ラドンの吸入が成人および子供の被曝線量の約85%を占めていることである。公衆の年線量を $1\text{ mSv} = 100\text{ mrem}$ 以下にまで減らすためには、鉱滓からのラドンの発散を最小限に抑えなければならない。そこで、鉱滓池を密封して、その安全管理を図る必要がある。

同様に、表1. gは、ヘルムスドルフとデンクリツの事業用沈殿池（クロッセン製錬場）の近くの住民の被曝線量を被曝経路別に示したものである。ここでも、ラドンの吸入が成人および子供の被曝線量のかなりの部分を占めていることが注目される。

ビスマート社では、以下のような目標を定めている。

- 浄化対策は、鉱滓池や被曝をもたらすその他の放射線源の長期的な密封と安全管理を効果的かつ環境面から受け入れられる形で達成するものでなければならない。
- かつてのウラン採鉱・処理事業の鉱害による公衆の年線量は、関係するすべての被曝経路を考慮に入れて $1\text{ mSv}/\text{年} = 100\text{ mrem}/\text{年}$ 未満に抑えられなければならない（上記参照）。

公衆に対する脅威として、仮に最大ではないにしても、極めて大きなもののひとつである鉱滓池の鉱害復旧に関しては、一般に以下のようなシナリオが考えられる。

- 鉱滓を坑内掘り鉱山の埋戻し用に使うことで処分し直す。
- 鉱滓を露天掘り鉱山跡に処分し直す。
- 鉱滓池を原位置で密封（隔離）し、安全管理する。

ビスマート社は、鉍滓の強制脱水とあわせた形での原位置密封を採ることを決めた。鉍滓池の原位置密封は以下のような3つの段階を踏んで行われる。

- 当面の段階としては、以下のような措置を取ることによって被曝経路を遮断し、環境面での差し迫った危険に対処することが目的とされる。
 - ・ 鉍滓池の乾燥したスラリと堤防に対する覆土（土が被覆物）。
 - ・ 浸出水の定量集水
 - ・ 浄水処理した浸出水の排水路への管理放流
 - ・ 堤防（ダム）の静的、動的安定性の確保

- 中期的な段階では、環境汚染の排除ないし低減を図り、鉍滓池の長期的な密封および安全管理に備えるための以下のような作業が必要となる。
 - ・ 鉍滓池の上層水（自由水）の排除
 - ・ 生じたクレータ部分に対する盛土
 - ・ 間隙水の排除

- 長期的な段階として、投棄物質の長期的な密封および安全管理のために行われるのは以下のような作業である。
 - ・ ダムの長期的安定性を高めるための堤防の覆土
 - ・ 鉍滓の表面形状の整形
 - ・ 浸出水の定量集水および浄水（脱水プロセスが完全に終わるまで）

Table 1.a: Current Area of the Wismut Operations According to Site and Type of Utilization

I. Uranium Mining

Deposit	Mine	Site	Dumps (ha)	Settling Ponds (ha)	Facilities (ha)	Total (ha)
Aue	Aue	Schlema	115	12	108	235
		Pöhl	32	3	24	59
Königstein	Königstein	Königstein	25	5	89	119
		Dresden-Gittersee	12	-	14	26
Ronneburg	Ronneburg/ Drosen	Schmirchau/ Paitzdorf	552	160 ¹⁾	328	1,040
		Beerwalde/ Drosen	53	-	265	318
Subtotal			789	180	828	1,797

1) Open pit

Table 1.a: Current Area of the Wismut Operations According to Site and Type of Utilization (Cont'd)

II. Uranium Processing

Site	Dumps (ha)	Settling Ponds (ha)	Facilities (ha)	Total (ha)
Crossen	22	230 ¹⁾	36 ¹⁾	288 ¹⁾
Seelingstädt	560 ¹⁾	370 ¹⁾	84	1,014 ¹⁾
Subtotal	582	600	120	1,302

1) Part of these areas were already released by Wismut to municipalities. They were, nevertheless, included into the overall cleanup and reclamation concept.

III. Uranium Mining and Processing

	Dumps (ha)	Settling Ponds (ha)	Facilities (ha)	Total (ha)
Subtotal Uranium Mining	789	180	828	1,786
Subtotal Uranium Processing	582	600	120	1,302
Total	1,371	780	948	3,099

1) 3,099 ha ≈ 31 km²

Table 1.b: Long-Term Monitoring of Radon Concentrations Performed by Wismut (in 1991)

Area of Mine Site/ Area of Mill Site	Surveyed Area (km ²)	Number of Measuring Points	Fluctuation of Radon Concentration (Bq/m ³)	Percentage of Measured Concentrations < 70 Bq/m ³
Drosen Mine	40	35	8 - 191	85
Ronneburg Mine	70	72	8 - 191	85
Aue Mine	100	147	6 - 400	80
Königstein Mine	50	46	15 - 78	95
Site Königstein	25	42	12 - 79	98
Site Dresden- Gittersee				
Seelingstädt Mill	80	66	15 - 125	91
Crossen Mill	80	81	7 - 224	91

Table 1.c: Annual Return Air Quantities, Average Radionuclide and Dust Concentrations of Selected Return Air Raises (Status: 1991)

Site/ Shaft or Return Air Raise	Return Air (million m ³)	Rn-222 (kBq/m ³)	Long-Lived Alpha Emitters (mBq/m ³)	Dust (mg/m ³)
Aue				
Shaft 208	1,859	267	80 ¹⁾	0.18
Shaft 373	6,212	4.4	13 ¹⁾	0.25
Return Air Raises 3, 4, 7	3,200	3.0	20	0.11
Return Air Raise 5	1,055	3.0	91	0.09
<hr/>				
Königstein				
Shaft 387	4,900	22.5	4.7	0.2
Shaft 392	5,200	11.5	0.5	0.2
Return Air Shafts 1 - 7	11,900	4.3	9.3	0.2
Shaft 402	300	1.2	10	0.15
Shaft 3	300	1.4	50	0.12

1) 1990 data

Table 1.d: Uranium and Radium Discharges of Uranium Mining and Milling Facilities into Surface Waters (in 1991)¹⁾

River	Discharge (10 ¹⁰ Bq)	
	U	Ra
Elbe	5.1 (16.25)	1.1 (2.14)
Zwickauer Mulde	24.2 (32.50)	0.5 (0.63)
Weißer Elster	27.8 (48.63)	0.7 (1.93)
Pleiße	1.0 (5.25)	0.03 (0.15)

1) In brackets upper limiting values licensed

Table 1.e: Concentration of Pollutants and Contaminants in Selected Main Drainage Ditches (in 1991)¹⁾

Location	River	pH-Value	Solid Component (mg/l)	Hardness (°dH)	Sulfate mg/l	Chloride mg/l
Western Ore Mountains Schlema	Mulde	8.1 (6.5 - 8.5)	8.6 (20)	32	400 (700)	42 (100)
Pöhl	Luchsbach	8.2 (6.5 - 8.5)	6.9 (30)	17	160 (200)	36 (100)
Eastern Saxony Königstein	Elbe	5.8 - 9.9 (6.0 - 8.5)	14 (90)	57	1,530 (2,000)	844 (2,000)
Eastern Thuringia Ronneburg	Wipse	4.3 (3.0 - 8.0)	39 (30)	105 (125)	1,740 (2,500)	106 (150)
Drosen	Sprotte	7.8	8 - 13	69 (70)	1,210	600
Seelingstädt	Lerchenbach	7.4 - 9.9	14	126	9,950	1,360

1) In brackets upper limiting values licensed

Table 1.e: Concentration of Pollutants and Contaminants in Selected Main Drainage Ditches (in 1991)¹⁾ (Cont'd)

Location	River	Iron mg/l	Arsenic mg/l	Uranium (Bq/l)	Radium (Bq/l)
Western Ore Mountains Schlema	Mulde	< 0.01 (2)	0.08 (0.30)	26.8 (60)	0.2 (0.8)
Pöhl	Luchsbach	< 0.01 (2)	0.03 (0.10)	2.5	0.28
Eastern Saxony Königstein	Elbe	4.8 (10)	< 0.01	8.8 (21.2)	1.98 (5.5)
Eastern Thuringia Ronneburg	Wipse	23 (35)		24 (49.3)	0.16 (2.2)
Drosen	Sprotte	0.1		9.3 (37.5)	0.41 (0.90)
Seelingstädt	Lerchenbach	0.3	0.09	13.5 (30)	2.9 (3.2)

1) Upper limiting value licensed

- 17 -

Table 1.f: Radiation Exposure of the Public According to Exposure Track in the Vicinity of the Industrial Settling Ponds Culmitzsch and Trünzig

Exposure Track	Exposure	
	Adults (mSv/year)	Children (mSv/year)
Inhalation of Radon	1.0	1.0
Ingestion of Food Contaminated via the Air	0.09	0.11
Ingestion of Food Contaminated by Ground Water	0.08	0.06
Inhalation of Dust	< 0.01	< 0.01
External Radiation Exposure due to Precipitation of Dust	< 0.01	< 0.01

Table 1.g: Radiation Exposure of the Public According to Exposure Track in the Neighborhood of the Industrial Settling Ponds Helmsdorf and Dänkrütz

Exposure Track	Exposure	
	Adults (mSv/year)	Children (mSv/year)
Inhalation of Radon	0.5	0.5
Ingestion of Food Contaminated via the Air	0.12	0.15
Ingestion of Food Contaminated by Ground Water	0.23	0.18
Inhalation of Dust	< 0.01	< 0.01
External Radiation Exposure due to Precipitation of Dust	< 0.01	< 0.01

2. ビスムート鉱害復旧・環境再生事業の法的基盤と事業の違憲性をめぐる訴え

ビスムート浄化計画の全般的な法的根拠は次の諸法規に置かれている。

- 1991年12月12日のビスムート法
- 連邦鉱業法
- 原子力法
- 放射線防護令
- 連邦放出防護法
- 環境損害賠償法

しかし、ドイツ連邦政府と東独政府の間の1990年8月31日の統一協定によれば下記の旧ドイツ民主共和国の法規も過渡期間の間、鉱山関連事業およびビスムート浄化計画に適用されることになっている。

- 1984年10月11日の原子力安全放射線防護施行令
- 1980年11月の廃棄物処分場及び産業処理池に関する放射線防護施行令

また、ドイツ放射線防護委員会の下記の勧告もビスムート浄化計画に適用されるだろう。

1. 産業規模ウラン採鉱によって汚染された地区の開放とその後の産業利用に関する放射線防護の基本（1991年6月27～28日）
2. ポタ山の浄化およびその後の利用に関する放射線防護の基本（1991年10月7～8日）
3. 産業規模ウラン採鉱によって汚染された地区の農業利用あるいは公園・居住地としての利用に関する放射線防護の基本（1991年10月7～8日）

4. 施設および設備の一般的再利用に関する放射線防護の基本（1991年12月12～13日）
5. 旧産業用建物の開放とその後の産業利用に関する放射線防護の基本（1991年12月12～13日）
6. ウラン採鉱・製錬施設から発生する瓦礫の処分に関する放射線防護の基本（1991年12月12～13日）
7. 採鉱・製錬施設のデコミッショニングおよび解体から発生するスクラップ鉄の放出に関する放射線防護の基本（1991年6月27～28日）

ドイツ連邦鉱業法によれば、ビスムートサイトにおける浄化事業は、「特別作業計画」を必要とし、それをチューリングゲン州ゲラ市鉱山検査局に申請しなければならない。

浄化事業に直接関係するいくつかの地方自治体の法律解釈によれば、現在の法的状況は旧ウラン採鉱・製錬地区に居住する住民の基本的人権を侵害している。ローネンブルク、オーバーロッテンバッハ、クロッセンの各市当局と多数の個人がカールスルーエのドイツ連邦憲法裁判所に対して憲法違反の訴えを起こした。これらの告訴人は次のように非難している。

- 統一協定に基づいて、放射性物質の探査・採鉱・処理に関する厳しいドイツ放射線防護令のいくつかの規定がまだ旧ドイツ民主共和国の領土に適用されていない。
- 旧東独領土内の立法機関はドイツ放射線防護令の規定に沿った規則を制定することができなかった。

従って、基本的権利が侵害されていると地方自治体が判断している場合にも、十分な法的保護が存在しないと告訴人は主張している。そして特に、現在の法体系は、憲法によって保証された基本的市民権を規定していないと主張している。

告訴人の主な主張点は次の通り。

- 個々の浄化措置の許認可は主として連邦鉱業法に基づいていることから、許認可手続に係わる公衆の参加に関しては十分な規定が存在しない。

告訴人は次のように非難している。

- ・ 特別作業計画がいつピスマートからゲラ市鉱山検査局に申請されるのかが公衆には知らされないだろう。
- ・ 申請された特別作業計画に関する鉱山検査局の技術的法的審査が公衆には知らされないだろう。
- ・ この件に関する鉱山検査局の最終決定が公衆には知らされないだろう。

従って、健康に被害を及ぼす可能性がある懸念される特定の浄化措置に対して、公衆は法的保護を請求することができないだろう。

- ピスマート浄化計画には、浄化計画の個々の措置に係わる健康へのリスクの正確な判定について十分な規定がない。浄化措置の許認可に公衆が十分に関与しない限り、実施される個々の措置は関係専門家の関心に沿った形のものとなり、公衆の関心と懸念に無縁のものとなるだろう。
- V O A Sの法規は公衆の健康の保障を十分に考慮していない。従って、V O A Sの法規に基づけば、旧ウラン採鉱地区の住民は、厳しい西ドイツの放射線防護令に規定されている最高許容放射線レベルよりもはるかに高い長期線量を被曝することになるだろう。

- 一 告訴人は、ビスムート浄化に関し公衆の参加を含む、規則に則った許認可手続きを要求する。告訴人は、許認可手続きへの公衆の参加の可否および参加の程度の判断を個々の当局あるいはビスムート幹部に任せるべきではないと断言する。

3. ゼーリングシュテート製錬施設

3.1 概要

ゼーリングシュテート・ウラン製錬施設は、ザクセン州との州境に近いチューリンゲン州東部にある。ゼーリングシュテート事業区の近くには、ゼーリングシュテート、トリュンツィヒ、ガウエルン、ポルフェースドルフ、スピルチェン、クラインクンドルフ、それにベルガ市がある。

現在のゼーリングシュテート製錬場の占有地域を用途別に区分けしたのが表3.1.aである。ウラン製錬場はゼーリングシュテートの北西約2 kmのところには位置している。そして、この製錬場の南西2 kmと南南西3 kmのところにはクルミチュとトリュンツィヒの2つの鉱滓池がある。いずれの沈殿池にも、この地区でかつて行われていたウランの露天採鉱によって生じた廃石や削り取られた表土による堤防が築かれている。

ゼーリングシュテート製錬施設が操業を開始する前には、クルミチュ、トリュンツィヒ、ガウエルン、ゾルゲ＝ゼッテンドルフで露天掘りによるウラン採掘が行われていた。

採掘された鉱石はクロッセン製錬施設に送られていた。発生したスラリは、クロッセン施設に隣接するデンクリツとヘルムスドルフの2つの鉱滓池に捨てられた。のちに廃鉱となったクルミチュとトリュンツィヒの露天掘り鉱山跡は、ゼーリングシュテート施設から生じる鉱滓の沈殿池として使われた。

ゼーリングシュテート製錬施設は1960年に操業を開始した。ゼーリングシュテートでは、主としてローネブルク系の鉱石が処理された。1989年末に至るまで、

炭素質鉍石を処理するためのソーダ・アルキン浸出法と、ケイ質鉍石を処理するための硫酸浸出法という2つの浸出法が並行して用いられた。硫酸浸出法による中和鉍滓（35% < 0.071 mm）はクルミチュAとトリュンツィヒAの2つの池に捨てられ、ソーダ・アルキン浸出法による中和鉍滓（70% < 0.071 mm）はクルミチュBとトリュンツィヒBの2つの池に捨てられた。1989年以降は、ソーダ・アルキン浸出法だけが標準的な浸出法としてすべての鉍石に適用されるようになった。そして、1989年からは、ソーダ・アルキン浸出法による鉍滓がクルミチュAにも捨てられるようになった。

ゼーリングシュテートでは、これまでに合計108,802,000トンの鉍石の製錬および処理が行われており、ウランの生産量は合わせて85,464トンにのぼっている。そして、表3.1.bを見ればわかるように、その操業期間中に1億トン以上の鉍滓がクルミチュとトリュンツィヒの2か所の事業用鉍滓沈殿池に捨てられた。大量の鉍滓が捨てられたのはクルミチュAおよびBの沈殿池の方で、これらの池に堆積したスラリの高さは70mに及ぶ。

トリュンツィヒB沈殿池には固有の問題がある。この沈殿池は1967年をもって鉍滓の処分には使われなくなった。その後、乾燥したスラリの上には約1mの厚さで覆土が施された。残った自由水は約15haの面積に広がっている。

1969年、この池はSDAGビスマートからゲーラ県議会の手に引き渡された。その後、ゲーラ郡がその法律上の責任主体となった。1980年代初め、ゲーラ県議会の助言を受けて、池は特殊廃棄物の処分場となった。処分場の運営者に対しては、危険廃棄物は処分場の水面下のスラリの中に送り込むように求められた。1980年代を通して、チューリングゲン東部の複数の企業が、極度に汚染された排水、掘削泥水、その他の汚染レベルの高い物質を池の中に処分した。しかし、危険廃棄物の処分が引き続き行われていることに対して住民から激しい苦情が寄せられたため、処分場は1989年に閉鎖された。

トリュンツィヒとクルミチュのそれぞれの事業用沈殿池に関する詳細は表3.1. bに示した通りである。表3.1. cには沈殿池の自由水に含まれる汚染物質のリストを示してある。表3.1. dには鉍滓中の重金属の含有量を示した。

3.2 鉍害復旧事業

3.2.1 差し迫った危険に対処するための短期的鉍害復旧作業*

1991年の第1四半期で、ゼーリングシュテート事業区における正規のウラン製錬事業はその期限が切れた。そして、事業プロセスの方向は、かつてのウラン鉍山現場の浄化によって生じる汚染された放射性物質の処理へと切り換えられた。浮遊選鉍プラント、鉍滓シクナ、大気浸出設備、粉碎機など、施設の一部が運転を停止した。しかし、ゼーリングシュテート製錬施設は、その現状として、汚染された固形物質（ボタ山の下地の盤、瓦礫など）の処理や汚染された液状物質（スラリなど）の処理を今でも行える状態にある。

1991年には、差し迫った危険に効果的に対処するために、幾つかの緊急の鉍害復旧・浄化措置が講じられた。実施された対策は具体的には以下のようなものである。

- クルミチュおよびトリュンツィヒの鉍滓池の乾燥したスラリに対して、塵が舞い上がるのを抑え、ラドンの大量発生を防ぎ、雨水の浸透防止を図るために、部分的な覆土が施された（実施した作業の範囲は表3.2.1. a参照）。
- クルミチュの鉍滓池が一部フェンスで囲われた。
- 鋼材が800トン、瓦礫が2,000m³ にのぼる解体・破壊作業が行われた。
- トリュンツィヒの体育館周辺の2.1haの汚染区域の表土が削り取られた。削り取られた土砂はトリュンツィヒの鉍滓池（A池）の上に捨てられた。

- － 新たに地下水監視用井戸が何本か掘られ、鉍滓池の浸出水を集めるための揚水場が1か所追加された。
- － 捨てられた鉍滓の沈殿状態を調べるため、クルミチュの鉍滓池（B池）でボーリングが行われた。

* 本稿執筆の時点では、1992年の鉍害復旧事業に関する報告書はまだ出来上がっていない。

3.2.2 環境モニタリング（「環境評価台帳」）

3.2.2.1 放射能汚染の評価

ゼーリングシュテートでは、環境評価台帳（第1章参照）を作成するための作業の一環として、43か所の「疑わしい地域」、面積にして合計1,050haについて分析を行う必要があった。1991年には以下の作業が実施された。

- － 8,016地点における局所線量率の測定
- － 367点の表土サンプルの分析
- － 103点の川の堆積物サンプルの分析
- － 292本のボーリング
 - ・ ボーリングの総延長 3,441m
 - ・ 3,211点にのぼる岩芯サンプルの分析
 - ・ 4,125地点での γ 放射能測定

これらの作業は以下のような目的のもとに行われたものである。

- － 地中、鉍滓ダムなどに含まれる汚染物質の定量を行う。

- － それらの物質が環境に及ぼすことが考えられる影響を評価する。
- － 鉱害復旧・環境再生計画の微調整を目的とした結論を引き出す。

特に地質・地質水文学的調査には一般に次のような狙いがあった。

- － 地下の古地形学的な状態を調べる。
- － 汚染物質の潜在的な伝播経路としての地下水層および地体構造地質学のチェックを行う。
- － 地下水および地表水に含まれる汚染物質の濃度を調べる。
- － 浸出水の定量、ならびに浸出水によって環境中に広がる汚染物質の定量を行う。

また、鉱滓池やその周辺において実施したボーリングの狙いは次のようなところにあった。

- － 池に貯蔵された鉱滓の地質工学的な特徴を調べる。
- － 鉱滓、間隙水、浸出水に含まれる汚染物質の定量を行う。
- － 鉱滓池の地下への汚染物質の侵入について調べる。

3.2.2.2 地下水および地表水による汚染物質の排出

ゼーリングシュテートの北側における主な排水路となっているのはフクスバッハ川である。また、レルヒェンバッハ川はこの地域の南側の主な排水路となっている。2つの川はいずれもバイセ・エルスター川に流れ込んでいる（表1.d参照）。

これらの排水路の堆積物は、廃水や浸出水が川に流れ出たり、鉱滓パイプラインに破断や漏れが生じたりしたことによって何年もの間に汚染されてきており、

最高 300ppm までのウラン汚染が記録されている。一部においては、川の堆積物を削り取る必要もあるものと見られる。しかし、近年になって、浸出水の大半が系統的に集水され、製錬工程にリサイクルされるようになっていた。1991年には、クルミチュとトリュンツィヒの鉱滓池の一带で合計150万 m^3 の浸出水が発生しているが、そのうちの130万 m^3 が鉱滓池に戻されている。

残る約20万 m^3 を集めて戻すことが極めて重要であると考えられたことから、1991年には、クルミチュ鉱滓池（A池）の南のへりの部分に設けられた第2の揚水場の運転が開始された。

すべての浸出水を定量的に集水するための技術的な改良はなおも続けられている。中期的には、浸出水はすべて浄水処理された上で排水路に放流されることになる見込みである。

1991年にゼーリングシュテート地域から排水とともに地表水に放出されたウランおよびラジウムの総量は表3.2.2.2.aに示した通りである。

ゼーリングシュテート地域の水文地質条件に対する関心が極めて高くなっていることから、1991年には、鉱滓池の周辺で、地下水不純物を調べるために新たに50本の井戸が掘られた。

3.2.2.3 大気汚染監視

ゼーリングシュテートでは、1991年には以下の測定地点で大気汚染の監視が行われた。

- 67地点で地表近くの大気中のラドン222 濃度を調査

- 9 地点で降下した塵の中のラジウム226 の含有量を調査
- 3 地点で塵の中の長寿命 α 放出体の含有量を調査

調査結果は表3.2.2.3.aにまとめた通りである。

3.2.3 中長期的鉍害復旧作業

3.2.3.1 クルミチュおよびトリュンツィヒの事業用鉍滓池の鉍害復旧

鉍滓池を対象とした中長期的な鉍害復旧・環境再生作業は以下のような目的のもとに行われる。

- 大気や地下水および地表水の汚染の低減を図るとともに、鉍滓の近くの住民の直接被曝を減らす。
- 捨てられた鉍滓の長期的な特性を調べ、それによって環境への影響を最小限にとどめる。
- 一定の時間枠の中で所定の鉍害復旧・環境再生対策を実施し、完了する。

鉍滓処分場の浄化作業に関しては、様々な方策について分析がなされた。

- 第一の方策（オプション1）は、鉍滓を処分し直すというものである。そのための方法としては、鉍滓を坑内掘り鉍山またはローネブルクに近いリヒテンベルクにある露天掘り鉍山の埋戻し用に使うという方法が考えられた。このオプションでは、特別に建設したパイプラインを通して、総量1億トン以上の鉍滓を坑内掘り鉍山またはローネブルク地区のリヒテンベルク露天掘り鉍山まで約10kmの距離を運ばなければならないことになる。そして、鉍滓を取り除いたあとは、現在、沈殿池がある場所を浄化して再び開墾しなければ

ばならない。暫定的な予想では、必要なすべての作業を行うのに要する期間は20～25年とされている。

- 第二の方策（オプション2）は、鉱滓には基本的に手をつけないというものである。特に、スラリの沈殿を早めるという観点から、沈殿池の自由水（滯留水、表層水）や間隙水を取り除くための積極的な手段は一切講じない。そのため、ダムを通り抜けてくる浸出水や、鉱滓池の周辺にしみ出してくる浸出水の集水と浄水を相当長期にわたって確実にを行うための手筈が整えられる必要がある。

さらに、このオプションでは、堤防の長期的な安定性を確保するための備えも必要となる。特に、スラリーが環境中に漏れ出ることがないように、堤防は長い期間にわたって地震などの外的作用に耐えることができなければならない。より高い安定性を得るためには、堤防の傾斜は緩やかにすることが必要となろう。

オプション2には、鉱滓池からのラドンの発散を最小限に抑えるため、乾燥したスラリーに被覆を施すことも含まれる。

- 第三の方策（オプション3）は、鉱滓を現在的位置に残したまま、鉱滓を生物圏から最大限隔離するための適当な処置を講じるというものである。特に、スラリーを脱水するための対策や、ダムを通り抜けてくる浸出水や鉱滓池の周辺にしみ出してくる浸出水をすべて集めて浄化するための対策、さらには、乾燥したスラリーを密封してラドンの発散や雨水の浸透を食い止めるための対策が講じられなければならない。

オプション3の短所は、ビスムートの浄化計画の初期の段階で、効果的な脱水と浄水管理に必要な技術的基盤を整えるために膨大な投資がなされなければならないという点である。反対に、その長所として、脱水および浄水が必要となる期間が限られたものとなり、すべての鉱害復旧作業を終えたあとは、空気や地下水・地表水を媒介とした公衆の被曝が無視しうるレベルのものとなるという点が挙げられる。

様々な判断基準と必要な措置を通して見たそれぞれのオプションに対する評価は、表3.2.3.1.aに示した通りである。専門家によれば、以下のような幾つかの理由からオプション3が望ましいという。

- 環境浄化・再生対策を実施する間の環境への影響が限られている。
- 浄化作業を終えたあとの環境への影響が最小限のものとなる。
- 必要とされる投資額が許容しうる範囲のものである。
- 環境浄化・再生事業が限られた期間内で完了する。

オプション3を採用した場合に行われることになる中長期的対策は次のように分けて考えることができる。

中期的作業（1995年末まで）

1. 自由水および浸出水を排水路に放流する前に浄化するための効率的な水処理施設を設置する。

クルミチュおよびトリュンツィヒの鉍滓池の周辺に湧き出てくる年間約170万 m^3 の浸出水はほぼ定量的に集められ、クルミチュA事業用鉍滓池の自由水（滞留水）の中に戻されている。しかし、浸出水の集水の効率をさらに高めるために追加的な措置を講じる必要がある（関連施設の建設および運転のスケジュールについては表3.2.3.1.b参照）。年間100万 m^3 までの自由水がポンプで吸い出されて、年間約100万 m^3 の処理能力を持つ2段階方式の浄水プラントで処理されている（第1段階で硬度を下げ、硫酸塩を分離したのち、第2段階でウラン、ラジウム、ヒ素を沈澱させる）。現在、この浄水プラントの処理能力を年間約200～250万 m^3 に拡大するための計画が進行中である。新しいプラントが運転を開始すれば、自由水と浸出水の両方を排水路への放流に先立って処理することがで

きるようになる（表3.2.3.1.bには、新しい浄水プラントの設置と運転のスケジュールが含まれていないことにご注意願いたい）。

ビスマート法では、排水路への放水に対する現行の規制値は1996年中頃までにより厳しいものへと切り替わることになっている。今よりも厳しい新しい規制値が適用されることになれば、硫酸塩と塩化物を効率的に沈殿させることのできる別の施設を設置することが必要となることも考えられる。1年間に浄水処理を行わなければならない自由水と浸出水の量は時間の経過とともに減少するものと考えられることから、この追加プラントの処理能力は年間100m³で十分かも知れない。

2. 乾燥したスラリを密封する。

鉍滓池の脱水が進むのにあわせて、乾燥したスラリの表面をボタ（3.2.3.2項参照）または土で覆ってラドンの発散を最小限に抑える。

長期的作業（1996年～2005年）

1. 専用井戸の設置、芯システムの導入などによって、投棄された鉍滓の沈殿プロセスが終了するまで鉍滓の脱水を続ける。
2. 沈殿池の上に生じたクレータをボタまたは土で埋め戻し、鉍滓およびその堤防（ダム）の表面形状を整えて雨水の浸透を最小限に抑える。
3. 鉍滓が生物圏から完全に隔離されるまで、残りの浸出水の集水および浄化を続ける。

計画されている長期作業は、まだ今日の最先端技術を反映した内容のものとはなっていない。そのため、予定されている対策の有益性を証明するためには、今

後さらに広範な研究開発作業を行っていく必要がある。専門家は、ゼーリングシュテートとクロッセンの鉍滓池の隔離のための長期事業には最終的に最高30億マルク（2150億円）までの費用がかかる可能性があるものと見ている。ビスムートによるゼーリングシュテート製錬場の浄化作業に関する費用見積りについては表3.2.3.1.cを参照のこと。

3.2.3.2 ポタ山の鉍害復旧

ゼーリングシュテートのウラン製錬場周辺には数多くのポタ山がある（表3.2.3.2.a参照）。これらのポタ山は、ゼーリングシュテート地区におけるかつての露天採鉍に由来するものである。この露天掘り鉍山（ジュートベストハルデ、ヤースハルデ、バルトハルデ）はいずれも現在はクルミチュの事業用鉍滓池の堤防の下に埋もれている。

1991年、投棄物質に含まれる放射性核種と重金属同位体の含有量および分布を調べるための大規模な計画がスタートした。表3.2.3.2.bは、幾つかのポタ山におけるラジウムとウランの濃度を示したものである。幅をもって示されているのは、ポタ山の地下と投棄物質そのもの、そしてポタ山にすぐ隣合った場所とで濃度が違っていることによるものである。ポタ山ごとの平均局所 γ 線量率は表3.2.3.2.cに示した通りである。ここに示されている通り、「ゾルゲ・ゼッテンドルフ」ポタ山の表層と、トリュンツィヒの事業用沈殿池の東にあるポタ山の表層における平均 γ 線量率はその他のポタ山で記録されたレベルを大きく上回っている。表3.2.3.2.dには、幾つかのポタ山における汚染物質の濃度を示した。「ガウエルンハルデ」から出てくる浸出水の中のウランおよびRa-226の濃度が例外的に高いことがわかる。同じように、「バルトハルデ」の浸出水も極めて高いウラン濃度を示している。表3.2.3.2.eは、ポタ山の表層の上の大気中のラドン濃度の様子と、塵とともに降下するラジウムの様子を示したものである。

ビスムートの専門家によれば、ポタ山の汚染物質の濃度に関する現在の情報は、ポタ山が環境に及ぼす影響を正確に計算したり、被曝経路ごとに公衆の被曝を定量化したりするには、まだ十分なものとはなっていないという。そのため、ポタ山に関しては、いまだに包括的な環境再生構想が描かれるには至っていない（ただし、短期的な対策については下記を参照のこと）。

個々のポタ山の表面を覆い尽くしてポタを生物圏から隔離するためには膨大な量の土が必要となることが、試算によって示されている。しかし、ゼーリングシュテート周辺の地域に必要な量の適当な被覆物を見つけ出すことは、不可能ではないにしても、極めて難しいと思われる。そこで、ポタ山の体積を少しでも減らすために、投棄物質の一部が鉍滓池の乾燥したスラリの表面を覆う際の基礎部分として使われることになっている。しかし、それでも残ったポタ山を土で完全に覆い尽くすことはできない。そのため、専門家は、鉍害復旧対策が完了しても、ポタ山を無制限の用途に充てるということとはできないものと見ている。

予備調査の結果では、汚染度の高い浸出水の浸出を減らし、公衆の直接被曝を減らすためには、以下のような短期的鉍害復旧作業が必要かつ相応しいとされている。

- 「ガウエルンハルデ」および「バルトハルデ」の浸出水を定量的に集水し、浄化する。
- 「バルトハルデ」のポタ山の一部を撤去して、撤去したものを基礎被覆物としてクルミチュ沈殿池上部に被せる。
- トリュンツィヒ沈殿池の東にあるポタ山の一部を撤去して、撤去したものを被覆物としてトリュンツィヒ沈殿池に被せる。
- 「ゾルゲ＝ゼッテンドルフ」ポタ山を全面的に撤去し、撤去したものを被覆材料としてトリュンツィヒ沈殿池に被せる。

考えられるすべての被曝経路について詳細な評価がなされれば、ポタ山の最終的な鉱害復旧・環境再生作業のための様々な方策を包括的な形で描き出すことができるはずである。

3.2.3.3 瓦礫、剝土、スラリの処理および処分

ビスムート浄化計画の現状からすると、ゼーリングシュテート製錬施設の一部は、汚染された固形物質（ポタ山の下地盤、瓦礫など）や、かつての様々なウラン採掘・製錬現場から送られてくる汚染された液状物質（スラリなど）のための処理センターとして利用するため、2005年頃まで操業態勢が取り続けられることになる見込みである。ゼーリングシュテートにおける処理量として現在予想されているところを表3.2.3.3.aに示す。

これらの処理は対象物の除染やウランの化学抽出を狙って行うものではない。ゼーリングシュテートの鉱滓池までの輸送とそこでの最終処分に適した物理的形態（必要に応じて化学的形態も）に変えるというのがその目的である。この構想の基本的な考え方は、放射性物質を幾つかの場所だけにまとめるというものである。

しかし、外部の専門家らは、他の旧採鉱・製錬現場から送られてきたものをゼーリングシュテートで処理することの有益性や、ゼーリングシュテートの鉱滓池でそうした放射性物質を最終処分することについては懐疑的な見方をしている。専門家らは、汚染された固形および液状物質の取扱いをめぐる「集中管理構想」に代えて、汚染された瓦礫やスラリなどの処理、処分および安全管理をそれぞれの発生サイトまたはその近隣で行うという「分散管理構想」を採り入れる方が望ましいという意見である。この分散管理構想が採用されれば、ケーニヒシュタイン鉱体のフラッシングによって生じた中間生成物が、その後の処理のためにケー

ニヒシュタインからゼーリングシュテートに送られることはなくなる。そして、その代わりとして、ケーニヒシュタインの原位置リーチング（ISL）法によって生じた中間生成物を処理するための中核施設となる蒸発設備をケーニヒシュタインに建設しなければならないことになる。

この分散管理構想の利点のひとつとして、元来、産業規模での処理用に設計・建設されたゼーリングシュテートに現在残っている施設について、比較的少量の削り取られた汚染土やスラリなどの処理のためにその操業態勢を維持する必要がなくなるということが挙げられる。そのため、ゼーリングシュテート施設を閉鎖することが可能となって、かなりの操業費用の節減がもたらされることになる。専門家らは、ビスマート社が、そうして節約できた分をビスマート浄化計画全体の投資費用として活用するよう勧めている。

分散管理構想のもうひとつの利点は、ゼーリングシュテート事業サイトのデコミッションング、解体および浄化を、ビスマートのその他の事業跡地における個々の浄化計画の進行状況に配慮することなしに、適宜実施することができるというものである。

これに対して、分散管理構想の問題点としては、ケーニヒシュタインの原位置ブロック・リーチング地区には、中間生成物の乾燥工程によって生じる天然ウラン（ U_3O_8 ）を大量に保管するための許可が与えられていないということがあ
る。外部の専門家らは、この問題を切り抜けるための可能性のひとつの方法として、ゼーリングシュテートに小型の蒸発設備（乾燥設備）を建設することを提案している。専門家らによれば、こうした蒸発設備の建設および運転が、ゼーリングシュテートにある既存の産業規模の施設のデコミッションングや解体との間でお互いに障害となるようなことはないという。

ゼーリングシュテートの製錬施設の最終的なデコミッショニングおよび解体によって生じるその他の汚染物質、すなわち木材、ゴム、プラスチック、鋼材などについては、押しつぶすか、細かく切断するかしたあと、ローネブルクに近いリヒテンベルクの露天掘り鉱山の底に最終処分されることになっている。汚染されていない物質や、汚染の度合いが低く、規制値を下回っている物質については、経済的、技術的に魅力がある場合にはリサイクルする。

3.2.3.4 ゼーリングシュテート事業区の浄化

ゼーリングシュテート事業区の一部は最終的にゼーリングシュテート村に引き渡されることになっている。現在の計画では、ゼーリングシュテート事業区のうちこの部分については、在来産業施設団地（「西産業パーク」）のための用地に生まれ変わることになっている。事業区のうち、最終的にブラウニクスバルデ村に引き渡される区域については、まだ確定した計画はない。

跡地を無条件で産業用途に当てることができるようにするために実施すべき個々の浄化対策については、まだはっきりとした決定は何も下されていない。しかし、方法として好ましいのは、汚染された土を取り除き、地下水の浄化に備えるというものである。試算では、汚染を除去したり、汚染の伝播を防止するために、約70万 m^3 の土を削り取って入れ替えるとともに、約17万 m^3 の地下水を浄化する必要があるものとされている。

3.2.3.5 ゼーリングシュテート事業区周辺の排水路および川の浄化

ゼーリングシュテート地区におけるウランの採鉱や処理によって相当数の川や排水路に汚染や汚濁が生じている。環境モニタリング（「環境評価台帳」）では、合計8本の川の汚染について分析が加えられている。浄化のためにどのような段階を経ながら作業を進めるべきかについてはまだ決まっていないものの、現在、差し迫った危険に対処するための以下のような個別的な対策が既に講じられているところである。

- 「ペルチュバツハ」川の堆積物の一部を削り取って、その汚染された土砂を鉱滓池に捨てる。
- 「ブラウハウスタイヒ」池の一部を削り取って、池の環境再生を図り、削り取った土砂は事業用沈殿池に捨てる。

3.2.3.6 ゼーリングシュテート処理施設に隣接する汚染区域の浄化

ビスムートのゼーリングシュテート処理施設や事業用鉱滓池以外の一部地域も長年の間に汚染を被っている。原因となっているのは、例えば、汚染された水を運ぶパイプラインに生じた漏れや、道路建設に使用したボタなどであるが、これらによって、面積で16万m²、体積にして約145,000m³にのぼる汚染が生じている。現在、こうした汚染にどのように対処するかをめぐって様々な方策が検討されているところである。実施すべき浄化対策に関する決定は近いうちに下されるものと見られる。

3.2.3.7 ゼーリングシュテート製錬場浄化計画のスケジュール

表3.2.3.7は、ゼーリングシュテートのサイトの浄化計画における主要な段階

についてのスケジュールを示したものである。しかし、このスケジュールには、公衆による事業への介入やその他の不確定要素による遅れの可能性は考慮に入られていない。今後は、主要な段階のすべてについて、一定期間にわたって、必要な科学的、技術的準備、計画の微調整、そして実際の鉞害復旧・環境再生対策の立案を並行して進めていく必要がある。このことは、現在の構想については、経験を重ねていく中で常にその適正化が図られることになるということを意味する。表3.2.3.7.aは、浄化計画が21世紀に入ってもなお続けられることを示している。

-

Table 3.1.a: Current Area of the Seelingstädt Milling Site According to Utilization

Utilization/ Characteristic of Site	Area (ha)
Main Operating Site	84
Mill Tailings Pond Culmitzsch	
* Pond A	150
* Pond B	100
* Surrounding Embankments, Dumps Sites, etc.	370
Mill Tailings Pond Trünzig	
* Pond A	65 ¹⁾
* Pond B	55
* Surrounding Embankments, Dump Sites etc.	190 ¹⁾
Total	1,014

1) These sites were already released from Wismut to the municipalities. They were, nevertheless, included into the overall cleanup and reclamation concept.

Table 3.1.b: Specifics of the Industrial Settling Ponds Culmitzsch and Trünzig

Parameter	Unit	IAA Trünzig ¹⁾²⁾		IAA Culmitzsch ¹⁾	
		Pond A	Pond B	Pond A	Pond B
Dumped Material	million tonnes	13	6	61.3	23.6
Thereof:					
Uranium Content	tonnes	1,500	700	4,700	2,200
Ra-266 Content	10E14 Bq	1.4	0.4	7.6	2.3
Total Volume	million m ³	13	6	63.1	26.9
Total Water Quantity	million m ³	6.5	4	36.2	14.4
Thereof:					
Free Water	million m ³	0.03	0.9	7.8	1.0
Interstitial Water	million m ³	6.5	3.0	28.4	13.4
Maximum Dewatering of Interstitial Water	million m ³	2.5	1.0	13.4	6.7
Total Surface	ha	65	43	150	77.5
Surface of Dried Slurries	ha	56	11.6	70.8	23.8

- 1) IAA = Industrielle Absetz-Anlage = Industrial Settling Pond
 2) Quantities are rounded estimates only

Table 3.1.c: Analysis of Free Water of Industrial Settling Ponds Culmitzsch and Trünzig

Parameter	Unit	IAA Culmitzsch		IAA Trünzig	
		Pond A	Pond B	Pond A	Pond B
pH-Value	°dH ¹⁾	7.4 - 9.9	7.8 - 9.2	5.0 - 7.0	5.8 - 8.0
Total Hardness	°dH ¹⁾	125	35	135	220
Carbonate Hardness	g/l	5.4	35	2	3.6
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	g/l	10	8.5	2.9	12
Chloride (Cl ⁻)	g/l	1.4	1.4	0.1	4.5
Carbonate (HCO ₃ ⁻)	mg/l	40	180	0	0
Bicarbonate (CO ₃ ²⁻)	mg/l	40	1,100	48	< 100
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	20	< 10	< 20	600
Arsenic	mg/l	0.06	0.62	< 0.01	0.01
Radium	mBq/l	2,100	2,500	< 1,000	110
Uranium	mg/l	0.5	6.9	0.5	2.2

1) °dH = German Degree of Hardness

Table 3.1.d.: Heavy Metals Contained in Dumped Mill Tailings
Ponds Culmitsch and Trünzig

Component	Content in ppm
Pb	60 - 800
Zn	250 - 800
Cu	250 - 300
Co	15 - 40
Ni	25 - 500
Mo	20 - 70
As	68 - 168
Bi	5 - 30
V	200 - 800
Cd	10 - 30
Cv	30 - 580

Table 3.2.1.a: Reclamation of Milling Site Tailings Ponds at Seelingstädt in 1991

Parameter	Tailings Pond Culmitzsch		Tailings Pond Trünzig		Total
	Pond A	Pond B	Pond A	Pond B	
Installed Cover Material (mio m ³)	538	258	73	216	1,086
Covered Surface Area of Dried Slurries (ha)	15.4	21.3	13.9	11.2	61.8
% of Total Surface Area of Dried Slurries					87.4
Yet Uncovered Dried Slurries	3.5	0.8	4.6	-	8.9
% of Total Surface Area of Dried Slurries					12.6

Table 3.3.2.2.a: Pollutants and Contaminants of Waste Water of the Seelingstädt Milling Site in 1991

	Uranium	Radium	Solid Components
Average Concentration ¹⁾	11 - 55 Bq/l	117 - 2,866 mBq/l	15 mg/l
Licensed Concentration ¹⁾	30 - 90 Bq/l	1,100 - 3,200 mBq/l	50 mg/l
Total Licensed Annual Discharge	204 GBq	11,700 GBq	
Total Effective Annual Discharge	95.3 GBq	5,810 GBq	
% of Total Licensed Annual Discharge	47%	50%	

1) Ranges are due to different licensed concentrations for different partial waste water streams

Table 3.2.2.3.a: Pollutants and Contaminants of the Air in Residences Adjacent to the Seelingstädt Milling Site (Measurements in 1991)

Location/Site	Measuring Point No.	Pollutant/Contaminant	Measured Value
Letzendorf	118.0	Radon-222 in the atmosphere near the ground	25 Bq/m ³
Sorge	180.7		55 Bq/m ³
Braunnichswalde Großkundorf	113.3	Radium-226 in precipitated dust	104 mBq/g
	175.1		395 mBq/g (Maximum permissible level: 200 mBq/g)
Braunichswalde Großkundorf	133.3	Dust precipitation	4.63 g/m ² . 30 days
	175.1		1.79 g/m ² . 30 days (Maximum permissible level: 10.5 g/m ² . 30 days)
Friedmannsdorf	153	Long-lived alpha emitters in dust	0.21 mBq/m ³ (Maximum permissible level: 5.0 mBq/m ³)

Table 3.2.3.1.a: Assessment of Different Cleanup and Rehabilitation Concepts for Mill Tailings

Criteria to be Considered/ Measures to be Taken	Option 1 ¹⁾	Option 2 ²⁾	Option 3 ³⁾
<u>Starting Conditions</u>			
Selection of Alternative Sites incl. Geological and Hydrogeological Explorations	Necessary	Not necessary	Not necessary
Analysis of Exposure Tracks; Assessment of Environmental Impacts of Tailings at Current Sites	Necessary	Necessary as Basis for Decisions to be taken.	Necessary as Basis for Decisions to be taken.
Radiological and Chemical Analysis of Dumped Tailings	Necessary only to a Certain Degree	Not absolutely necessary	Necessary
Repair/Improvement/Back-fitting of Embankments (Dams)	Not necessary	Necessary. Potentially only Repair of outer Surface of Embankments (Dams) necessary.	Necessary. Potentially only Repair of outer Surface of Embankments (Dams) necessary.

148

Table 3.2.3.1.a: Assessment of Different Cleanup and Rehabilitation Concepts for Mill Tailings (continued)

Criteria to be Considered/ Measures to be Taken	Option 1 ¹⁾	Option 2 ²⁾	Option 3 ³⁾
<u>Environmental Impact via Different Exposure Tracks</u>			
Impacts due to Ongoing Reclamation Measures	Extensive Measures to be taken in order to cope with negative Impacts of Re-deposition of Tailings.	Little Impacts. Reduction of Impacts by Immediate Countermeasures Possible.	Measures Necessary. Reduction of Impacts by Immediate Countermeasures Possible.
Impacts After Reclamation and Rehabilitation	Minimal Impacts at the new Site.	Substantial Impacts. Long-term Countermeasures necessary.	Minimal Impacts
<u>Necessary Engineering</u>			
Measures to be taken During Preparation of Reclamation	Very high Efforts needed. Main Areas of Engineering: * Technologies concerning Redeposition of Tailings * Environmental Impacts	Main Efforts to be concentrated on Long-term Stability of Embankments.	Substantial Efforts necessary

Table 3.2.3.1.a: Assessment of Different Cleanup and Rehabilitation Concepts for Mill Tailings (continued)

Criteria to be Considered/ Measures to be Taken	Option 1 ¹⁾	Option 2 ²⁾	Option 3 ³⁾
During Actual Performance of Cleanup Measures	Substantial Efforts necessary	Most likely minimal Efforts necessary. Substantial Efforts, however, if long-term Counter- measures become necessary.	Substantial Efforts necessary
After Finalizing Cleanup Measures	Minimal Efforts Related to New Site. Special Investigations to be made concerning Old Site.	Extremely high Efforts necessary.	Minimal Efforts necessary
<u>Funds Needed</u>			
Funding of Actual Cleanup Measures	Very high	Minimal	High
After Finalizing Cleanup Measures	High	Very high	Minimal

NUKEM

Table 3.2.1.a: Assessment of Different Cleanup and Rehabilitation Concepts for Mill Tailings (continued)

Criteria to be Considered/ Measures to be Taken	Option 1 ¹⁾	Option 2 ²⁾	Option 3 ³⁾
<u>Flexibility to Adjust to Improved Technical Know-how or Changed Conditions</u>	Minimal	Very high Flexibility	Minimal for individual Measures, however, Flexibilities substantial concerning the overall Clean-up Concept.
<u>Necessary Leadtime Prior to Start of Cleanup Measures</u>	Very long Leadtime	Minimal Leadtime	Minimal Leadtime for individual Measures, however, comparatively long Leadtime for Realisation of overall Cleanup.

Legend:

- 1) Option 1: Redeposition of Tailings at Different Appropriate Sites
- 2) Option 2: Cleanup and Rehabilitation of Tailings at Given Site Without Measures to Accelerate the Settling of the Slurries
- 3) Option 3: Reclamation of Existing Site Including Measures to Accelerate the Settling and Dewatering of the Slurries and Installation of Cover Materials (Liner)

— 51 —

Table 3.2.3.1.b: Schedule of Major Activities Concerning Cleanup and Rehabilitation of the Industrial Settling Pond Culmitzsch and Trünzig (Status: July 31, 1992)

Measures/Activities	Calendar Year								
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	> 2000
1. Improvement/Increase of Efficiency of Catchment of Seepage Waters									
- Construction	XX	XX							
- Operation		XX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XX
2. Purification of Seepage Waters and Free Water 9)									
- Construction of 2nd Stage	1) XX	2) ////	////				2) ////		
- Operation of 2nd Stage				////	////	////	////	////	////
3. Dewatering	3) XX	4) XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XX
4. Settlement of Fine-Grained Mill Tailings	5) XX	6) XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XX
5. Shaping of Embankments (Dams) (for Reduction of Erosion)					7) XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XX
6. Installation of Cover Material for Radon Retention; Sealing against Penetration of Rainfall	XX				8) XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XX

- 52 -

NUKEM

Table 3.2.3.1.b: Schedule of Major Activities Concerning Cleanup and Rehabilitation of Industrial Settling Ponds Culmitzsch and Trünzig (Status: July 31, 1992)

Legend:

- 1) Project Study
- 2) Potential Timeframe for Construction and Operation; Actual Timeframe
Dependent on Date of Decision of Responsible Authorities on Limiting Values for
Contaminants and Pollutants
- 3) Test Runs
- 4) Start of Dewatering
- 5) Tests
- 6) Phasing-in of Settlement of Fine-Grained Mill Tailings According to Progress of
Dewatering Measures
- 7) To be Performed According to Progress of Dewatering Measures
- 8) Start after Finalization of Settlement of Fine-Grained Mill Tailings
- 9) Plant for Separation of Sulfates, Chlorides, etc.

Table 3.2.3.1.c.: Funds and Wismut Staff Required for the Cleanup of the Site of the Seelingstädt Milling and Processing Facilities (Status: September 1992)

	1991 ¹⁾	1992 ²⁾	1993	1994	1995	1996	1997	1988	1999	2000
Funds Needed										
million DM	72.8	72.9	81.0	124.5	120.5	121.5	194.5	145.0	129.0	115.0
billion Yen	5.1	5.1	5.8	8.8	8.6	8.6	13.8	10.3	9.2	8.2
Staff Needed	1,167	786	660	580	555	510	470	420	390	350

1) Actual

2) Planned

Table 3.2.3.2.a: Overview over Dumps at the Seelingstädt Milling and Processing Site

Location	Name of Dump	Area (ha)	Maximum Thickness (m)
Kleinkundorf	"Südwesthalde"	40.7	70
Zwirtschen	"Lokhalde"	80.5	30
Gauern	"Gauernhalde"	47.6	30.5
Wolfersdorf	"Jashalde"	21.1	55
Wolfersdorf	"Waldhalde"	73.3	45
Friedmannsdorf	Dumps east of IAA Trünzig	68.2	20.4
Friedmannsdorf	Dumps north of IAA Trünzig	19.5	n.a.
Großkundorf	Western Dump of IAA Trünzig	89.1	32.7
Sorge-Settendorf	Dump "Sorge-Settendorf"	76.3	13.8

— 55 —

NUKEM

Table 3.2.3.2.b: Uranium and Radium Concentration According to Dump Site

Location	Name of Dump	Radium (Bg/q)	Uranium (ppm)
Kleinkundorf	"Südwesthalde"	0.25 - 1.36	14 - 95
Zwirtschen	"Lokhalde"		
Gauern	"Gauernhalde"		
Wolfersdorf	"Jashalde"		
Wolfersdorf	"Waldhalde"	0.25 - 1.65	16 - 62
Friedmannsdorf	Dumps east of IAA Trünzig		
Friedmannsdorf	Dumps north of IAA Trünzig		
Großkundorf	Western Dump of IAA Trünzig		
Sorge-Settendorf	Dump "Sorge-Settendorf"		

— 56 —

NUKEM

Table 3.2.3.2.c: Average Local Gamma-Dose Rate According to Dump Site

Location	Name of Dump	nGy/h
Kleinkundorf	"Südwesthalde"	156
Zwirtschen	"Lokhalde"	148
Gauern	"Gauernhalde"	156
Wolfersdorf	"Jashalde"	188
Wolfersdorf	"Waldhalde"	156
Friedmannsdorf	Dumps east of IAA Trünzig	270
Friedmannsdorf	Dumps north of IAA Trünzig	196
Großkundorf	Western Dump of IAA Trünzig	202
Sorge-Settendorf	Dump "Sorge-Settendorf"	319

Table 3.2.3.2.d: Contaminants and Pollutants of Seepage Water According to Dump Site

Location	Name of Dump	Uranium (mg/l)	Radium-226 (Bg/l)	Sulfate (mg/l)
Kleinkundorf	"Südwesthalde"	0.21	0.019	1,197
Zwirtschen	"Lokhalde"	1.1	0.016	521
Gauern	"Gauernhalde"	2.71	0.254	1,044
Wolfersdorf	"Jashalde"	0.06	0.14	408
Wolfersdorf	"Waldhalde"	6.06	0.06	1,173
Friedmannsdorf	Dumps east of IAA Trünzig			
Friedmannsdorf	Dumps north of IAA Trünzig			
Großkundorf	Western Dump of IAA Trünzig			
Sorge-Settendorf	Dump "Sorge-Settendorf"			

Table 3.2.3.2.e: Radon Concentration and Radium precipitation According to Dump Site

Location	Name of Dump	Rn-222 ²⁾ (Bq/m ³)	Ra-226 Precipitation ¹⁾ (Bq/m ²)
Kleinkundorf	"Südwesthalde"	35	1.96
Zwirtschen	"Lokhalde"	32	1.96
Gauern	"Gauernhalde"	40	5.13
Wolfersdorf	"Jashalde"	48	21.09
Wolfersdorf	"Waldhalde"	50	3.63
Friedmannsdorf	Dumps east of IAA Trünzig	52	n.a.
Friedmannsdorf	Dumps north of IAA Trünzig	62	n.a.
Großkundorf	Western Dump of IAA Trünzig	38	0.58
Sorge-Settendorf	Dump "Sorge-Settendorf"	48	0.58

1) Precipitation over 30 consecutive days

2) Average value: 45 Bq/m³

Table 3.2.3.3.a: Materials to be Processed at the Seelingstädt Milling and Processing Facilities According to Current Status of Wismut Cleanup Concept

Material	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001 - 2005	Total
Rubble (m ³)	-	7,700	7,700	7,700	7,800	7,700	7,700	8,425	-	54,725
Excavated Contaminated Soil (1,000 m ³)	9	24	34	56	66	110	110	110	220	739
Slurries; Residues from Cleaning Activities (t)	37,500	31,000	31,000	30,500	30,500	30,500	300	300	-	191,600
Intermediate Products from the Königstein ISL Process	270	250	190	150	130	110	90	70	-	1,260

— 60 —

NUKEM

Table 3.2.3.7.a: Schedule of the Cleanup of the Seelingstädt Milling and Processing Site (Status: September 1992)

Activity	1992	1993	1994	1995	1996-2000	Beyond 2000
1. Cleanup and Rehabilitation of Industrial Mill Tailings Ponds						
- Scientific and Technical Preparations; Fine-Tuning of Cleanup Concept	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	
- Planning, Realisation		XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
2. Cleanup/Redeposition of Lean Ore Dumps						
- Scientific and Technical Preparations	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	ZZZZ	
- Planning, Realisation	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
3. Water Treatment						
- Scientific and Technical Preparations	XXXX	XXXX	ZZZZ			
- Planning, Realisation	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
4. Cleanup and Rehabilitation of Operation Site						
- Scientific and Technical Preparations Fine-Tuning of Cleanup Concept	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX		
- Planning, Realisation	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	ZZZZ
5. Monitoring						
- Scientific and Technical Preparations Fine-Tuning of Cleanup Concept	XXXX	XXXX				
- Planning, Realisation	XX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX

Legend:

XXXX Planned Timeframe

ZZZZ Potential Extension of Timeframe

NUKEM

4. クロッセン製錬施設

4.1 概要

クロッセン・ウラン製錬施設は、ザクセン州の南西部、ツピッカウ市の北約5 kmのところにある。

ヘルムスドルフとデンクリツ（A池（デンクリツ1）およびB池（デンクリツ2））の事業用鉍滓沈殿池は、山脈の頂にあるクロッセン事業区の北西約2～3 kmのところにある。クロッセン事業区の近隣には、オーバーローテンバッハ、デンクリツ、ラウエンハイン、モーゼルの各地方自治体がある。

クロッセン製錬施設は1950年に操業を開始した。この施設では、西エルツ山地の熱水鉍脈（シュレマ／アルペローダ鉍床）や二畳紀後期（ローネブルク鉍床）の炭酸塩堆積鉍床の鉍石が取り扱われてきた。クロッセンでは、過去、エルツ山地で採掘された鉍石合計2200万トンと、ローネブルク、ドレスデン＝ギッターゼー、ケーニヒシュタインの各鉍区から送られてきた合計約5200万トンの鉍石が処理された。デンクリツとヘルムスドルフの沈殿池には、過去に合わせて5670万トンの鉍滓が捨てられている（表4.1.c参照）。

デンクリツの沈殿池は1952年から1958年まで使用されていた。そこで生じたスラリは砂採取場跡に捨てられたが、そこには支持層となる地層はない。A池（デンクリツ1）は1952年から使用が開始された。B池（デンクリツ2）の使用開始は1955年秋である。ダムは鉍滓で作られたが、のちになって一部が土で覆われ、草や低木が植えられた。

ヘルムスドルフの沈殿池は1958年3月に使用が開始され、その後、沈殿池の容

量は徐々に拡大された。西ダムおよび中央ダムは浸透性のダムとして建設された。そのため、ダムを通り抜けて浸出水が出てきている。こうした浸出水や、ヘルムスドルフ沈殿池の北側周辺およびデンクリツ1沈殿池の東側にしみ出してくる浸出水は、集水した上で、ヘルムスドルフ沈殿池に戻されている。

現在のピスマート浄化計画によれば、クロッセンの旧製錬区域においては、主事業区（17ha）、露天鉍石貯蔵場（8ha）、その他の汚染区域の浄化が行われることになっている（表4.1.aおよび4.1.b参照）。また、ポタ山（22ha、ポタ400万トン）、デンクリツIおよびIIの2つの鉍滓池（それぞれ22haと8ha）、さらにヘルムスドルフ鉍滓池（200ha）についても、環境再生が必要となる。

デンクリツとヘルムスドルフの事業用沈殿池に関する詳細データは表4.1.cに示した通りである。さらに、沈殿池の自由水に含まれる汚染物質のリストを表4.1.dに示す。鉍滓中の重金属の含有量は表4.1.eに示した。また、ヘルムスドルフ沈殿池およびその周辺におけるラドン濃度と、ヘルムスドルフ沈殿池からの浸出水に含まれる汚染物質の濃度に関する情報については、表4.1.f、表4.1.gおよび表4.1.hを参照のこと。

4.2 鉍害復旧事業

4.2.1 差し迫った危険に対処するための短期的鉍害復旧作業

クロッセンでは、1991年には、主として直接的な危険に対処することを目的とした鉍害復旧作業が実施された。講じられた具体的な対策を以下に示す。

— ヘルムスドルフ鉍滓池の乾燥したスラリは面積で合計75.7haに及ぶが、そ

のうちの約71.2haについて、塵が舞い上がるのを抑えるなどの目的から、土（被覆物）で覆われた。これに使われた土の量は216,000m³にのぼった。従って、覆土の平均厚さは30cmということになる。

- － デンクリツ2鉱滓池がフェンスで囲われた。
- － 解体・破壊作業が行われ、7,492トンの鋼材と244m³の瓦礫が発生した。
- － クロッセンの運動場の汚染された土21,000m³が削り取られた。削り取った土は取り合えずポタ山に捨てられた。削り取った土に代えて14,000トンの玉石が敷かれた。
- － 主事業区の汚染された土約1,000m³が削り取られた。代わりに玉石が敷かれた。
- － オーバーローテンバッハ川で堆積物の浚渫が行われた。
- － 地下水汚染を調べるための井戸が掘られた。

4.2.2 環境モニタリング

4.2.2.1 放射性汚染物質の評価

クロッセンでは、環境評価台帳を作成するための作業の一環として、30か所の「疑わしい地域」、面積にして合計395haについて分析を行わなければならなかった。1991年には放射性汚染物質を調べるために以下の作業が実施された。

- － 3,860地点における局所線量率の測定
- － 750点の表土サンプルの分析
- － 14点の川の堆積物サンプルの分析
- － 250本のポーリング
 - ・ ポーリングの総延長 4,823m
 - ・ 2,690点にのぼる岩芯サンプルの分析

4.2.2.2 地下水および地表水による汚染物質の排出

クロッセン地区には、主要な排水路を構成するものとして、数多くの小さな川がある。例えば、ヘルムスドルフの事業用沈殿池の川としては、オーバーローテンバッハ、ツィンバッハ、ビュステングルントバッハ、パラディースバッハなどがあるが、これらはいずれもツピッカウアー・ムルデ川に注いでいる。また、ヘルムスドルフ沈殿池の西側にある川はいずれもプライセ川に流れ込んでいる（表 1. d 参照）。

クロッセン地区における正規のウラン製錬事業が1989年12月で終了してからは、排水路に放流されるべき排水が施設の操業によって発生することはなくなった。現在は、施設の解体作業によって生じるごく少量の排水があるのみで、そうした排水は集められ、濃縮された上で、既存のパイプラインを使ってヘルムスドルフの鉱滓池にポンプで送られている。

1991年には、ヘルムスドルフ鉱滓池の自由水を浄化するためのプラントの設計および建設に対する入札が募集された。

1991年には、ヘルムスドルフとデンクリツの鉱滓池の排水区域で採取された地下水と地表水のサンプル合計108点の分析が行われた。この分析によって、鉱滓池の様々な区域における浸出水の集水に関して以下のような提案がなされた。

- ヘルムスドルフ鉱滓池の主堤防
 - ・ 堤防の表面にしみ出してくる浸出水の集水
 - ・ しみ出してくる浸出水を汲み上げる吸上げポンプ・システムの設置
- デンクリツ 1 鉱滓池の周辺
 - ・ しみ出してくる浸出水を汲み上げる吸上げポンプ・システム 3 系統の設置

- ・ デンクリツ 1 鉱滓池の北東約450mのところに湧き出してくる汚染された泉の水の集水
 - ・ 汚染された浸出水の流路の役を果たすことになる可能性のあるクリミチャウ飲料水供給システムの古い集水パイプラインの閉鎖
- デンクリツ 2 鉱滓池の周辺
- ・ しみ出してくる浸出水を汲み上げる吸上げポンプ・システム 1 系統の追加設置

4.2.2.3 大気汚染監視

クロッセン地区では、1991年には以下の測定地点において大気汚染の監視が行われた。

- 90地点で地表近くの大気中のラドン222 濃度を測定
- 24地点で降下した塵の中のラジウム226 の含有量を測定
- 5 地点で塵の降下量を測定
- 1 地点で塵の中の長寿命 α 放出体の含有量を測定
- 2 地点で塵の中のヒ素の含有量を測定
- 2 地点で降下した塵の中のヒ素の含有量を測定

調査結果の一部を表4.2.2.3. a および表4.2.2.3. b にまとめた。

1992年9月からは、ラドン222 濃度の90の測定地点のすべてにおいて γ 線量率のモニタリングが行われるようになった。

4.2.3 中長期的鉍害復旧作業

4.2.3.1 ヘルムスドルフおよびデンクリツの事業用鉍滓池の鉍害復旧

ヘルムスドルフの鉍滓池の浄化に関しては、以下の2つの方策について分析がなされた。

- 第一の方策（オプション1）は、鉍滓を処分し直すというものである。そのための方法としては、鉍滓をローネブルク地区の坑内掘り鉍山またはリヒテンベルクの露天掘り鉍山の埋戻し用に使うという方法が考えられた。このオプションは、ゼーリングシュテート製錬地区に隣接するクルミチュおよびトリュンツィヒの鉍滓池に関する同様のオプションに沿ったものとして考えられたものであった。
- 第二の方策（オプション2）は、鉍滓はそのままにしておく一方で、池の自由水を取り除き、スラリの脱水を図り、浸出水を定量的に集水し、集水した地表水および地下水を浄化した上で排水路に流し、さらに池の表面を密封してラドンの発散と雨水の浸透を阻止するための対策を講じるというものである。要するに、オプション2は鉍滓を可能な限り生物圏から隔離することを目指すものである。

専門家の意見によれば、リヒテンベルクの露天掘り鉍山は、ヘルムスドルフの事業用沈殿池にいまだに貯蔵されている鉍滓の最終処分場所としては相応しくないという。リヒテンベルクの露天掘り鉍山には地質バリアが欠けているということに加えて、鉍滓に含まれる汚染物質の濃度が極めて高いというのがその理由である。つまり、鉍滓をリヒテンベルクの露天掘り鉍山に捨てれば、ローネブルク地区の地下水に許容範囲を超える高い汚染や汚濁が生じる可能性があるということである。

これと同じことは、鉍滓をローネブルク地区の坑内掘り鉍山に処分した場合にも言える。また、坑内掘り鉍山に実際に鉍滓を捨てる間、鉍山の水没も中断しなければならなくなる。こうした様々な欠点に加え、ヘルムスドルフに捨てられている鉍滓を削り取って長い距離を運び、それを最終処分地に埋めるという方法に伴う環境面、技術面での問題もあって、オプション1は取り下げられた。

オプション2には次のような利点がある。

- ヘルムスドルフとデンクリツの事業用沈殿池は帯水層よりも上にあり、地下水の汚染や汚濁を防ぐために利用できる有効な技術がある。
- 予備調査で、ヘルムスドルフ沈殿池の主堤防（「中央ダム」）の静的・動的安定性が確認されている。
- 自由水を除去し、スラリを脱水するための有効な技術が用意されている。

しかし、望ましいとされる第二の方策（オプション2）では、以下のような条件が前提となる。

- 脱水プロセスが長期にわたるため、他の堤防の長期的安定性も確保される必要がある。
- 汚染物質の移動や地下水へのその浸透につながる可能性のあるラドンの発散および雨水の浸透を防止するため、乾燥したスラリの表面を汚染されていない材料で覆う必要がある。
- 脱水プロセスが終了するまで、浸出水および地下水の定量的な集水および浄水を行っていく必要がある。

表4.2.3.1.aは、ヘルムスドルフ鉍滓池の環境浄化・再生のために計画されている主な作業のスケジュールを示したものである。適当な脱水方法の開発に関し

ては、現在、垂直に下ろした芯による方法と、真空掘削孔と表土圧を組み合わせた方法について試験が行われているところである。鉍滓の最終的な被覆材料の最適化に関しては、様々な材料について試験が行われており、いまだに幾つかの方策が検討中という段階である。

デンクリツ1および2の2つの鉍滓池の浄化に関しては3通りの方策が検討された。

- 第一の方策（オプション1）は、鉍滓を処分し直すというもので、ローネブルクの坑内掘り鉍山またはリヒテンベルクの露天掘り鉍山の埋戻し用に鉍滓を使うものとされていた。
- 第二の方策（オプション2）も、鉍滓を処分し直すというもので、ヘルムスドルフの鉍滓池の中に捨てるものとされていた。
- 第三の方策（オプション3）は、基本的に鉍滓には手をつけないが、鉍滓を長期的に生物圏から隔離するための措置を講じるというものであった。

オプション1は、ヘルムスドルフ沈殿池に関する同様のオプションと同じ理由から、最終的に取り下げられた。

また、オプション2も、再処分は環境に様々な影響を及ぼすことから、以下のような理由で退けられた。

- 鉍滓中に含まれる汚染物質が環境中に移行する危険性がある。
- 再処分の過程でラドンの放出量が増える。
- 舞い上がる塵が増える。

このため、採用されるのはオプション3ということになる。このことは、実施

される浄化対策が、ヘルムスドルフ鉍滓池で行われる個々の浄化作業と極めてよく調和したものとなることを意味する。

4.2.3.2 ボタ山の鉍害復旧

クロッセンのボタ山（「ハルデ・クロッセン」）はクロッセン製錬施設の北に位置しており、隣接する住宅地とはわずか50mしか離れていない。過去にここに捨てられたボタの量は合計1600万トンに達するが、1980年代末までに土木工事や道路建設のために合計1200万トンが使用されている。

現在、ボタ山が占めている面積は22 ha で、現在のその体積は230m³ となっている。1 m³ 当たり1.6～1.8トンというボタの平均密度からすると、現にボタ山にあるボタの重量は400万トンということになる。

ボタ山は以下のものによって構成されている。

- 厚さ3～4 mの下層。ウラン鉍の湿式冶金選別によって生じた細粒から中粒の廃石からなる。
- 最高で厚さ40mに達する上層。ウラン鉍の重力・放射線選別によって生じた粗粒の廃石からなる。

ボタに含まれる汚染物質の濃度や、環境に対するその影響については、浄化対策が必要な範囲を特定するために詳しく分析された。測定結果の一部を表4.2.3.2.aおよび表4.2.3.2.bに示す。ボタからのラドンの発散と、ボタ山およびその周辺における空気中のラドン濃度については、長期的な測定が行われた。ボタ山の北東地域では、60～180 Bq/m³ というラドン濃度の最高値が記録された。

これらの測定結果をもとに、ポタ山が公衆に及ぼす放射線の影響について、被曝経路ごとに計算された。

- ラドンの吸入による公衆の被曝は、ポタ山の近くの住宅に住む人々で最高2～8 mSv/年に達する可能性がある。しかし、クロッセン村の住民の平均被曝線量は高くても1 mSv/年程度と計算されている。
- 放射性核種を含む塵が降り注いだり、洗い流されたりしたために起こる被曝や、それによって汚染された野菜を摂取したために起こる被曝は、平均で10 μ Sv/年以下であると計算されている。
- 汚染された地下水で野菜や果樹のための灌漑を行ったために起こる被曝は、一般に0.1 mSv/年以下のレベルにとどまるものと計算されている。しかし、スポット的には、被曝が最高で1 mSv/年に達する可能性もある。
- 汚染された塵を吸入することによる被曝は0.1 mSv/年以下のレベルにとどまるものと予想されている。
- 体外被曝は10 μ Sv/年以下と計算されており、特に意味のあるものではないと見られている。

放射線の影響に関する計算では、空気および地下水を媒介とした公衆の被曝を減らすための鉱害復旧対策が必要であることが示された。

クロッセン・ポタ山の浄化をめぐっては、以下のような方策が検討された。

- 第一の方策（オプション1）は、ポタを処分し直すというものである。可能性のある方法としては、ローネブルクの坑内掘り鉱山またはリヒテンベルクの露天掘り鉱山の埋戻し用にポタを使うという方法が考えられた。
- 第二の方策（オプション2）は、ポタを削り取って、ヘルムスドルフ鉱滓池の上に被せるようにして処分するというものである。

- 第三の方策（オプション3）は、ボタを現在のままの場所に残し、長い期間にわたってボタを生物圏から最大限隔離するための適切な措置を講じるといふものである。

オプション1は、長い輸送距離、ボタを何度も積み卸しすることによる放射線の影響、埋戻しのための準備および実施にかかわる費用の膨大さといった理由とともに、そうした措置に対しては住民からの反対が予想されることも少なからず理由となって退けられた。

オプション2とオプション3に対する詳細な分析の結果、浄化作業の間に作業者の一部は、直接的な体外被曝と汚染された塵の吸入によって5 mSv/年の線量を被曝することが明らかになった。そのため、浄化作業の一部は専門の放射線作業者の手で行われるようにしなければならない。

現在の評価結果からすると、他のオプションと比べてオプション2が好ましいものとして考えられる。それは以下のような根拠による。

- 鉍害復旧作業を実際に行っている間の公衆の放射線被曝が現在の被曝とあまり変わらない。
- 浄化作業を終えたあとは、ボタ山のあった場所で何の補足的な作業も行う必要がない。
- 鉍害復旧作業を終えたあと、跡地は無条件で何の用途にでも当てることができる。
- ボタ山からヘルムスドルフ鉍滓池までボタを輸送することに関しては、環境面で問題がなく、技術的、経済的にも妥当な方途を用意することができる。現在のところ、水力輸送およびコンベヤ輸送が方法として最も魅力的であると考えられる。

最終的に取られる浄化対策についての最終決定は、鉍害復旧作業の個々の段階が環境に及ぼす影響や、ポタをヘルムスドルフ鉍滓池に処分することによる影響について、さらに詳しい評価を行った結果を見て下される予定である。また、以下のような調査や試験、評価などの結果も、浄化対策の決定に役立てられることになっている。

- ポタに含まれる汚染物質の移行についての調査
- ヘルムスドルフ鉍滓池の現場での投棄技術の試験（この際、ゼーリングシュテート施設に隣接する鉍滓池で進行中の同様の試験の経験を取り入れる）

4.2.3.3 廃水の浄化

ヘルムスドルフ鉍滓池の自由水の量は合計約480万 m^3 である。投棄されたスラリの間隙水は合計約1700万 m^3 である（表4.1.cも参照のこと）。この先数年の間に300～500万 m^3 の間隙水が排水される可能性がある。

現在、ヘルムスドルフ、デンクリツ1、デンクリツ2の各鉍滓池の周辺にしみ出してくる年間約21万 m^3 の浸出水はヘルムスドルフ鉍滓池に戻されている（4.1項も参照のこと）。また、降雨によってヘルムスドルフ鉍滓池の自由水に流入する水の正味量は年間約18万 m^3 である。

設置が計画されている浄水プラントの処理能力は年間約175万 m^3 とされている（浄水対策のスケジュールに関しては、表4.2.3.1.aおよび表4.2.3.6.a参照）。そのため、現在ある480万 m^3 の自由水のうち、正味で約136万 m^3 が毎年、ポンプで吸い出されて浄化されることになる。従って、自由水の全量が吸い出されるのは3～4年後という計算になる。

4.2.3.4 クロッセン事業区の浄化

クロッセン事業区の浄化と、産業ないしその他の用途での跡地利用については、以下の2通りの方策が検討された。

- ー 建物および工学設備の除染
- ー デコミッションングおよび解体

最初のオプションは、以下のような理由から、大半の建物に関して退けられた。

- ー 一部の建物は1900年頃に旧製紙工場の一部として建設された古いものであり、従って、今では完全に老朽化した状態にある。
- ー 幾つかの建物は塵の堆積によってひどく汚染されている。
- ー 幾つかのケースでは、ボタが建設目的で使用されており、放射線が許容範囲を超える高いレベルとなっている。

このため、クロッセン事業区では、殆どの建物および設備を完全に廃用として、解体することになった。

解体によって生じるスクラップ鋼材は、汚染レベルに応じて以下のように取り扱われる。

- ー 全 α 放射能が 0.5Bq/cm^2 未満の無塗装のスクラップ鋼材はリサイクルする（溶解して再利用）。
- ー 表面 α 放射能が 0.5Bq/cm^2 を超える無塗装のスクラップ鋼材は敷地内で仮貯蔵する。塗装スクラップ鋼材については、すべてこれと同様とする。

現在のところ、塗装スクラップ鋼材、汚染レベルの高い無塗装スクラップ鋼材、木材、汚染されたゴム、プラスチックなどの取扱い方として好ましいのは、ローネブルクに近いリヒテンベルクの露天掘り鉱山の一番底の部分に最終処分するという方法であると思われる。

建物の解体によって生じた瓦礫はクロッセン・ポタ山に仮貯蔵されることになっている。現在の計画では、その後、この瓦礫はポタ山のポタと一緒にヘルムスドルフの沈殿池に処分される予定である。

現在の予定として、そのまま将来の用途に供されることになっているのは以下の建物だけである。

- 管理棟
- 消防隊の建物
- 各種研究室
- 作業場、など

クロッセン事業区の地盤の浄化に関しては、以下の2つのオプションが検討された。

- 事業区の地盤に含まれる汚染物質を原位置で不動化するとともに、移動性を与えられた汚染物質の伝播を阻止するために地表を密封し、さらに補助的な対策を講じる。あるいは、
- 汚染された地盤を削り取り、削り取った土を安全管理に配慮して最終処分し、削り取ったあとは汚染されていない土で埋め戻す。

第一のオプションは退けられた。現在利用できる浄化対策の技術は、汚染され

た土を極めて長い期間にわたって隔離しておくのには不十分と判断され、跡地を改めて産業用途に供することができなくなるためである。

そこで、第二のオプションが採られることになる。削り取られた土は、クロッセン事業区の建物の解体によって発生する瓦礫とともに、まずボタ山に仮貯蔵される。その後、削り取られた土はヘルムスドルフの沈殿池に最終処分される。ヘルムスドルフの沈殿池への土の処分を開始できるのは早くても1994年となる見込みである。

4.2.3.5 クロッセン事業区周辺の汚染された土地および排水路の浄化

パイプライン経路や鉄道路線など、クロッセン製錬施設に隣接する幾つかの土地、そして水路では、かつてのウラン製錬事業による汚染が見つまっている。Ra-226の比放射能が0.2Bq/gを超える汚染土については、削り取ってヘルムスドルフ沈殿池に処分することになっている。

同様に、幾つかの水路の汚染に関しても、堆積物の一部を浚渫する必要があるものと見られている。浚渫した堆積物はヘルムスドルフ沈殿池に処分される予定である。

4.2.3.6 クロッセン製錬場の浄化スケジュール

表4.2.3.6.aは、クロッセン事業区の浄化計画の主な段階について、そのスケジュールを示したものである。ゼーリングシュテート事業区に関する同様のスケジュールの場合と同じように、この計画では、公衆による事業への介入やその他の不確定要素による遅れの可能性は考慮に入れられていない。この表は、いずれにしても、鉱害復旧事業が21世紀にわたって行われることになることを示している。

計画に盛り込まれている作業段階の中には、技術的に見てまだ予備的な性格のものもある。これらについては、時間がたって経験を積み重ねる中で調整が加えられることになる。

現在計画されている構想の実現に必要な資金および労働力については、表4.2.3.6.bを参照のこと。

Table 4.1.a: Current Area of the Crossen Milling Site According to Utilization

Utilization/ Characteristic of Site	Area (ha)
Main Operating Site	17
Storage Site for Saxonian Uranium Ore	3
Waste Rock Dump	22
Mill Tailings Pond Dänkritz (Dänkritz I)	22
Mill Tailings Pond Dänkritz (Dänkritz II)	8
Mill Tailings Pond Helmsdorf	200
Pipeline Route	4.4
Open Air Ore Storage Site	8
Ore Unloading Facility	3.6
Total	288

Table 4.1.b: Selected Areas of Adjacent to the Crossen Milling and Processing Site According to Former and Planned Future Utilization

Former Utilization/Characteristic of Site	Area (ha)	Planned Future Utilization According to Cleanup Concept	Contaminated Material (m)
1. Operation Site	17.25	Industrial Settlements	274,500
2. Open Air Ore Storage Site	8.0	Unrestricted Usage	101,200
3. Conventional Storage Site	9.0	Unrestricted Usage	45,000
4. Pipeline Route between Operation Site and IAA Helmsdorf	4.4	Unrestricted Usage	22,000
5. Waste Rock Dump	16.5	Unrestricted Usage	2,000,000
6. Area Surrounding Waste Rock Dump	9.0	Unrestricted Usage	135,000
7. Operation Site (Department Logistics)	3.25	Industrial Settlements	48,750
8. Industrial Settling Pond Helmsdorf plus Periphery	~ 275	Long-Term Disposal of Mill Tailings and other Contaminated Materials	-
9. Industrial Settling Pond Dänkritz 1 plus Periphery	22.0	Long-Term Disposal of Mill Tailings	3,500,000 (Tailings) 704,000 (Underground)
10. Industrial Settling Pond Dänkritz 2 plus Periphery	8.0	Long-Term Disposal of Mill Tailings	500,000 (Tailings) 80,000 (Underground)

NUKEM

Table 4.1.c: Specifics of the Industrial Settling Ponds Helmsdorf and Dänkritz

Parameter	Unit	IAA Dänkritz		IAA Helmsdorf
		Pond A (Dänkritz 1)	Pond B (Dänkritz 2)	
Dumped Material	million tonnes	5.6	0.8	50.3
Thereof:				
Uranium Content	tonnes	1,064	145	5,030
Radium Content	billion Bq	32	4.8	320
Arsenic Content	tonnes	1,120	160	7,590
Total Volume	million m ³	3	0.85	41.6
Free Water	million m ³	0.25	0.05	4.8
Maximum Depth	m	2	2	14.1
Average Depth	m	2	1.8	3
Interstitial Water	million m ³	1.1	0.3	17
Surface of Free Water	ha	12.3	2.7	116.0
Surface of Dried Slurries	ha	7.2	4.3	75.7

Table 4.1.d: Analysis of Free Water of Industrial Settling Ponds Helmsdorf and Dänkritz

Parameter	Unit	IAA Dänkritz		IAA Helmsdorf
		Pond A (Dänkritz 1)	Pond B (Dänkritz 2)	
Total Hardness	° dH	15,100	24,900	4,100
Total Mineralization	g/l	1,000	1,040	20,185
Thereof:				
Sulfate (SO ₄ ⁻⁻)	g/l	0.560	0.630	6.107
Chloride (Cl ⁻)	g/l	0.024	0.011	1.583
Hydrogencarbonate (HCO ₃ ⁻)	g/l	0.119	0.085	2.940
Carbonate (CO ₃ ⁻⁻)	g/l	0.027	< NG ¹⁾	2.448
Natrium (Na ⁺)	g/l	0.222	0.134	7.000
Uranium	mg/l	0.980	0.670	7.010
Radium	Bq/l	0.300	0.300	1.399
Arsenic	mg/l	0.024	0.012	108

1) < NG: Below detection limit

Table 4.1.e: Heavy Metals Contained in Dumped Mill Tailings Ponds Helmsdorf and Dänkritz (in ppm)

Component	IAA Dänkritz		IAA Helmsdorf
	Pond A (Dänkritz 1)	Pond B (Dänkritz 2)	
U	110 - 307	23 - 92	49 - 270
Pb	10 - 300	200 - 1,000	40 - 1,000
Zn	500 - 2,000	40 - 200	100 - 2,000
Cu	200 - 600	200 - 400	100 - 400
Co	30 - 100	150 - 300	10 - 70
Ni	150 - 400	150 - 300	60 - 400
Mo	5 - 20	8 - 52	< 10
As	60 - 500	80 - 250	50 - 600
Bi	15 - 50	10 - 30	1 - 30
Th	10 - 19	12 - 19	7 - 19
Ra-226 (Bq/g)	2.7 - 9.6	2 - 9.8	3.0 - 10.2

- 82 -

NUKEM

Table 4.1.f: Radon Concentration on the Industrial Settling Pond Helmsdorf

Location	Measuring Point No.	Measured Value (Bq/m ³)
Northern Embankment	210	66
Main Embankment	219	40
	230	30
Western Embankment	231	36
Embankment "Wüstengrund"	238	29

Table 4.1.g: Radon Concentration in the Neighborhood of the Industrial Settling Pond Helmsdorf

Location/Municipality	Measuring Point No.	Measured Value (Bq/m ³)
Oberrothenbach	217	25
Hartmannsdorf	222	19
Niederhohndorf	247	15
Mosel	286	54
	287	32

Table 4.1.h: Concentration of Pollutants and Contaminants in Seepage Waters of the Industrial Settling Pond Helmsdorf

Measuring Point	Total Mineralisation (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻⁻ (mg/l)	As (mg/l)	U (mg/l)
Main Embankment ("Hauptdamm")	14,110	1,560	4,680	1.3	13.7
Western Embankment ("Westdamm")	18,850	1,383	6,830	67.0	19.6

Table 4.2.2.3.a: Radon Exhalation at the Crossen Milling Site (Status: 1991)

Measuring Point	Radon-222 Exhalation (Bq/m ² . sec)	
	Measurement 1	Measurement 2
Mill Tailings Pond Helmsdorf		
* Western Embankment	1.08	2.89
* Main Embankment (Northern Side)	1.44	6.76
* Main Embankment (Southern Side)	1.46	13.84
Waste Rock Dump	n.a.	0.40
Background Level	0.03	0.04

Note: The target of the reclamation activities is to limit the Ra-222 exhalation to 0.74 Bq/m²·sec., according to the US EPA-Norm.

Table 4.2.2.3.b: Pollutants and Contaminants of the Air in Residences Adjacent to the Crossen Milling Site (Measurements in 1991)

Location/Site	Measuring Point No.	Pollutant/Contaminant	Measured Value
Dänkritz	208.2	Radon-222 in the atmosphere near the ground	25 Bq/m ³
Mosel	285		65 Bq/m ³
Hartmannsdorf Oberrothenbach	222 206	Radium-226 in precipitated dust	154 mBq/g 474 mBq/g (Maximum permissible level: 200 mBq/g)
Schlunzig Oberrothenbach	281 206	Dust precipitation	3.22 g/m ² . 30 days 6.31 g/m ² . 30 days (Maximum permissible level: 10.5 g/m ² . 30 days)
Crossen; Entrance of main operation site	234	Long-lived alpha emitters in dust	0.11 mBq/m ³ (Maximum permissible level: 5.0 mBq/m ³)

- 87 -

NUKEM

Table 4.2.3.1.a: Schedule of Major Activities Concerning Cleanup and Rehabilitation of the Industrial Settling Pond Helmsdorf (Status: September 1992)

Measures/Activities	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
- Hydrogeological Analyses	XXXX	XXXX							
- Modelling of Geohydraulics	XXX	XXXX	XXXX						
- Assessment of Settling Pond as Final Disposal	XX	XXX							
- Assessment of Radioactive Inventory of Settling Pond	XXX	XXXX	X						
- Assessment of Environmental Impacts	X	XX							
- Assessment of Release of Contaminants and Pollutants During Cleanup Steps	X	XXXX							
- Modelling of the Settling of the Slurries	X	XXX							
- Development of Dewatering Measures	X	XXXX	XXXX	XXXX					
- Dewatering of Slurries				XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
- Water Purification Tests	XXX	X							
- Construction and Operation of Water Purification Facilities		XXX	XXXX						
- Installation of Final Cover (Liner)				XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
- Protection of Embankments Against Erosion				XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX

— 88 —

NUKEM

Table 4.2.3.2.a: Average Concentration of Contaminants and Pollutants in the Lean Ore Dump
"Halde Crossen"

Parameter	Unit	Residues from Hydro- metallurgical Separation	Residues from Gravimetric Separation
Uranium	ppm	85	135 ¹⁾
Radium	Bq/g	2.3	2.0
Arsenic	ppm	250	420
Local Dose Rate	nGy/h		520 - 950

1) Local peak value: 1,350 ppm

Table 4.2.3.2.b: Average Concentration of Contaminants and Pollutants in the Ground Water and Seepage Water of the Lean ore Dump "Halde Crossen"

Parameter	Unit	Groundwater in the Basement of the Dump	Groundwater Off-Stream	Seepage Water at Eastern Rim of Dump
Uranium	mg/l	10.3 - 12.6	0.58 - 8.6	11.3 - 16.5
Radium	mBq/l	200 - 400	30 - 45	< 30
Arsenic	mg/l	575 - 1,700	0.023 - 0.075	0.020 - 0.025
pH-Value		7.35 - 7.5	6.9 - 7.1	7.3 - 8.1

Table 4.2.3.6.a: Schedule of the Cleanup Concept of the Crossen Milling and Processing Site (Status: September 1992)

Activity	1992	1993	1994	1995	1996-2000	Beyond 2000
1. Sealing and Rehabilitation of Industrial Mill Tailings Ponds						
- Scientific and Technical Preparations; Fine-Tuning of Cleanup Concept	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	
- Planning, Realisation		XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
2. Redeposition of Lean Ore Dumps						
- Scientific and Technical Preparations; Fine-Tuning of Cleanup Concept	XXXX	XXXX	XXXX	ZZZZ		
- Planning, Realisation			XXXX	XXXX	XXXX	ZZZZ
3. Water Treatment						
- Scientific and Technical Preparations; Fine-Tuning of Cleanup Concept	XXX	XXZZ	ZZZZ			
- Planning, Realisation		XXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
4. Cleanup and Rehabilitation of Operation Site						
- Scientific and Technical Preparations; Fine-Tuning of Cleanup Concept	XXXX	XXXX	XXXX	ZZZZ		
- Planning, Realisation	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	ZZZZ	
5. Monitoring						
- Scientific and Technical Preparations; Fine-Tuning of Cleanup Concept	XXXX	XXXX				
- Planning, Realisation	XX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX

Legend:

XXXX Planned Timeframe

ZZZZ Potential Extension of Timeframe

Table 4.2.3.6.b: Funds and Wismut Staff Required for the Cleanup of the Crossen Milling and Reprocessing Site
(Status September 1992)

	1991 ¹⁾	1992 ²⁾	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Beyond 2000
Funds Needed											
million DM	50.0	59.2	43.5	72.0	106.0	92.0	92.0	91.0	94.0	71.0	208.0
billion Yen	3.6	4.2	3.1	5.1	7.5	6.5	6.5	6.5	6.7	5.0	14.8
Staff Needed	333	250	200	160	155	140	120	110	105	95	n.a.

- 1) Actual
2) Planned

5. アウエ鉱山

5.1 概要

アウエ鉱山の事業区および坑内掘り鉱山は、チューリンゲン州のツピッカウ、アウエ、シュバルツェンベルク、アンナベルクの各郡にまたがっている。

シュネーベルク＝シュレマ＝アルペロード地区における採鉱事業の起源は15世紀中葉までさかのぼる。19世紀末に至るまで、採鉱は銅、ビスマス、コバルト、ニッケル、鉄を中心に行われていた。そして、第2次世界大戦後までは、この地方におけるウラン採掘はあまり重要なものとはされていなかった。産業規模でのウラン採掘は1946年から始まり、1991年末をもって生産は中止されている。

その間にそれぞれの鉱区で採掘されたウランの量は以下の通りである。

－ シュネーベルク	200 トン
－ オーバーシュレマ	6,600 トン
－ ニーダーシュレマ＝アルペロード	73,100 トン

シュネーベルク＝シュレマ＝アルペロード地区の北東約20 kmに位置するペーラ＝テラーホイザー地区でも鉱床が形成されているのが見つかった。ペーラ＝テラーホイザー地区でのウラン採鉱は1957年に開始された。1979年には産業規模のウラン採鉱が始まったが、採鉱は1990年12月31日をもって終了している。その間にペーラ＝テラーホイザー地区で採掘されたのは、ウランが1,200トン、磁鉄鉱が31,300トンであった。

シュレマ＝アルペロード地区とペーラ地区の鉱山に関するデータを表5.1.aに示す。

5.2 鉾害復旧事業

5.2.1 差し迫った危険に対処するための短期的鉾害復旧作業

5.2.1.1 地下における作業

1991年に地下で実施された浄化作業は、坑内の水没のための準備を目的として行われたものである。シュレマ＝アルペロード地区とペーラ＝テラーホイザー地区では、具体的にそれぞれ以下のような措置が講じられた。

- － 26,500m³ にのぼる埋戻し
- － 延長202.8km（シュレマ＝アルペロード地区で153.6km、ペーラ＝テラーホイザー地区で49.2km）の坑内の浄化（設備・機材の撤去）
- － 鉾山の水没を調整するための247か所の坑内ダムの設置
- － 幾つかの立坑、排気立坑、地表近くの切羽の埋戻しおよび封止

1991年末までの段階で、シュレマ＝アルペロード地区では、-1,755mから-1,485mまでの間の採掘水準は既に水没させられており、ペーラ＝テラーホイザー地区では、+65mと+85mの採掘水準が既に水没させられている。

アウエ鉾山の脱水システムの廃止については表5.2.1.1.a 参照のこと。

5.2.1.2 地上での作業

地上での浄化作業は、古い建物の解体とかつての事業区域の除染を中心に行われた。具体的には以下のような措置が講じられた。

- 鋼材、瓦礫それぞれの量にして780トン、13,100m³ にのぼる解体・破壊作業が行われた。
- 298,400 m³ にのぼる地盤を削り取り、合計1,400,900m³ の埋戻し物を入れることによって、11.8haの事業区域の環境再生がなされた。埋戻し物の大半(1,234,900m³)はシュレマにある旧250号廃石処分場から持ってきたものである。

5.2.2 環境モニタリング

5.2.2.1 放射性汚染物質の評価

かつてのアウエ鉱山のうち、いまだにビスムート社が管理している土地は合計293.5haである(表5.2.2.1.a参照)。しかし、環境評価台帳作成のために分析が行われている地域はそれよりもはるかに広い範囲に及んでいる。1991年には、それぞれの地域に即した鉱害復旧構想の微調整に備えた第一歩として、調査対象面積の約90%について局所 r 線量率の測定が行われた。この測定結果も表5.2.2.1.bに示してある。

5.2.2.2 地下水および地表水による汚染物質の排出

ツビッカー・ムルデ川はアウエ鉱山一帯における主要な排水路となっている。ツビッカー・ムルデ川には、アウエ鉱山地区を流れる多数の小さな川が注ぎ込んでいる。

ポタ山からしみ出してくる浸出水は排水路に直接流れ込んでいる(ポタ山の浸出水の主な特徴については表5.2.2.2.aおよび表5.2.2.2.b参照)。アウエの複雑な地形条件のために、今のところ、こうした浸出水を系統的に集めることは難しい状況にある。

表5.2.2.2.cおよび表5.2.2.2.dは、それぞれシュレマ＝アルペローダ地区とペーラ地区で1991年に排出された廃水の様子を示したものである。

5.2.2.3 大気汚染監視

大半の排気立坑は1991年に使用が中止された。そのため、1991年に全排気立坑から排出されたラドン222は805TBqで、1990年と比べると22%減っている。1991年に排出された長寿命 α 放出体は合わせて160TBqで、これも1990年のレベルよりも88%少なくなっている。立坑ないし排気立坑ごとの排出物については表1.cを参照のこと。

環境評価台帳を作成するための作業の一環として、現在、およそ50km²の範囲の108の測定地点で地表近くのRa-222濃度が調べられている。表5.2.2.3.aにその典型的なデータを示す。

ボタ山のラジウム濃度およびアウエ鉱山におけるラドンの発散量については、表5.2.2.3.bを参照のこと。

5.2.3 中長期的鉱害復旧作業

現在のところ、しかるべき中長期的鉱害復旧作業に向けての主要な問題は以下のようなものであると考えられている。

- 坑内掘り鉱山の水没に伴う放射線学的、化学的危険についてのしっかりとした見極めと、そうした危険に対処するための洗練された対策の考案
- 地表への影響を最小限に抑えるための坑内施設の封止
- ボタ山、立坑、事業建屋などの浄化のための手順の規定

5.2.3.1 立坑および坑内施設の浄化および封止

シュレマ＝アルペローダ

1992年9月までに、「マルクス＝ゼミアー＝シュトーレン」（水準0 m*）と－540mの採掘レベルの間にある採掘水準はすべて浄化（設備・機材の撤去など）が完了している。しかし、－540mから－990mまでの間の採掘水準はまだ浄化を行わなければならない状況にある。1992年9月前後の時点で、－1,240m前後のところまで採掘水準の水没が完了している。

1992年9月までに、封止が終わっていない立坑は残り8本だけとなっている（表5.1.a参照）。これらの立坑はいまだに様々な用途で使用されている（1本は2つの目的に使われている）。

- － 作業員昇降用（3本）
- － 坑内排水用（2本）
- － 空気取入れ用（2本）
- － 排気用立坑（2本）

現在の計画では、残りの立坑の封止は2002年までに完了することになっている。しかし、実際の終了時期は、鉱山の水没の実際のスケジュールを始めとする幾つかのパラメータによって変わってくる公算が大きい。

立坑の封止は、現行のガイドラインに則って実施される。規定では、岩盤の安定性に応じて、立坑は完全に埋め戻すか、あるいは部分的に封止することになっている。ビスムート社によれば、シュレマ＝アルペローダでは、コンクリートによる立坑の部分的な封止が実施され、十分な成果を収めているという。

シュネーペルク＝シュレマ＝アルペローダには、地表に極めて近いとされる坑内施設が584を数える。こうした坑内施設の大半は地表から20m以内の深さのところにある。そのうちの160か所は1970年から1992年9月までの間に埋め戻された。残りの422か所のうち、338か所は封止の必要のないものである。しかし、ビスマート社では、86か所の坑内施設については、坑内を安定させるとともに、岩盤の表層亀裂などを通してラドンが地表に放出されるのを最小限に抑えるために埋め戻す必要があるものと見ている。

ビスマート社は、現在、86か所の坑内施設を封止するための最も効率的な技術について、外部の専門家と協議しているところである。これらの坑内施設を地上から埋め戻すのは難しいと見られている。そのため、埋戻し土は坑道を通して運ばなければならない、特に-540mの採掘水準を通り抜けることが必要となる。しかし、鉾山の水没を遅らせない（坑内水の揚水を行わない）限り、この水準は1995年7月にも水没することになる。しかし、それでは、地表に近い坑内空間の封止と時期的にぶつかり合うことになる。そこで、現在の水没作業を遅らせて、-540mの水準の水没は1996年9月以降となることになった。水没を遅らせることによって、計画されている坑内水浄化中央プラントの設計および建設にも時間的な余裕ができることになる。

ペーラ

ペーラ＝テラーホイザーの通洞はすべてコンクリート堰で封止されることになっているが、堰には排水のための備えも用意される。封止堰は砂利と土で覆い、その後、坑口跡に植栽する。

通気立坑は既にコンクリート、砂利および土で封止されている。径の大きな坑口については、同様にコンクリートと砂利で封止されることになっている。

- * マルクス＝ゼムラー＝シュトローレン (MSS) はシュレマ＝アルペローダ鉱山の水準 0 mとして定義されているが、MSSは実際には海拔330mの高さにある。

5.2.3.2 鉱山の水没

シュレマ＝アルペローダおよびペーラ＝テラーホイザーの坑内掘り鉱山については、地下水の自然流入によってすべて水没させるというのがビスムート浄化計画の基本的な考え方である。水没によって排気立坑からの排気量は次第に減り、従って、ラドンの放出も減少するものと見られている。しかし、水没は、岩石系の強度が失われることによる岩石の移動を招くことになると考えられる。

シュレマ＝アルペローダ

1992年9月の段階のビスムート浄化計画では、坑内掘り鉱山全体をマルクス＝ゼムラー＝シュトローレン (水準 0 m) まで時間をかけて水没させることになっている。どのような場合であれ、鉱山を完全に水没させるには少なくとも2000年までかかる見込みである。

2通りのシナリオが考えられた。

- － 水没を継続する (遅らせない) 。
- － 水没を遅らせる。

第一のシナリオには一般に以下のような利点がある。

- － 年を経るごとにラドンの放出量が減る。

- － 坑内の脱水のためにしなければならない作業が減る。
- － 経済的に魅力がある。

反対に、欠点としては以下のようなものがある。

- － 水没を遅らせないと、地表に近い坑内施設の封止スケジュールとぶつかり合
ことになる可能性がある（5.2.3.1項参照）。
- － 岩石の移動を招く（上記参照）。
- － 坑内水の流入によって浸出を起こす可能性のあるウラン、ラジウム、ヒ素の
ほぼ全量が実際に浸出を起こす。

こうした検討が進められる中、作業の進め方についてビスムート社と外部専門
家の間でさらに話し合いが行われるまでの間、水没を遅らせることが決まった
（上記参照）。

ペーラ＝テラーホイザー

現在、ペーラの坑内掘り鉱山全体の水没が進められているところで、水没プロ
セスは1993年末までに完了することになっている。

シュレマ＝アルペローダおよびペーラ＝テラーホイザーにおける水没プロセス
に対しては以下のような形で監視が行われている。

- － 定期的な水位の測定
- － 坑内水の物理的、化学的パラメータの定期的な分析
- － 地下および地上での地震観測

5.2.3.3 水処理と水処理廃棄物の処分

ツピッカウアー・ムルデ川（表1.d参照）はアウエ鉱山における主要な排水路となっている。廃水の排出量と水質を規制する現行規則は1993年12月31日で期限切れとなる。廃水中の汚染物質に対する新たな規制値はまだ決まっていないが、1993年末以降はより厳しい規則が適用されることになる公算が大きい。

シュレマ＝アルペローダ

これまで、坑内の脱水によって生じる坑内水や地上での作業によって発生する廃水に対しては機械的な浄化（固形物の分離）が行われてきただけである。しかし、一部には、事前に機械的な浄化を行うことなしに放流されていた水もあった。アウエ地区のポタ山から出た浸出水については、これまでに集水も浄水も行われたことはない。

中長期的には、坑内水の発生量や、予想される汚染物質および薬剤による坑内水の汚染によって、産業規模の浄水プラントの設置が必要となるものと見られる。このプラントは、アウエにおけるビスムートの事業によって発生するすべての坑内水および廃水の処理に利用されることになる見込みである。

現在、実験室規模で幾つかの浄水法について試験が実施されているところで、1993年5月頃には試験が終わる予定になっている。産業規模の浄水プラントの設計と許認可には1994年ないし1995年頃までかかる見込みである。現在のところ、浄水プラントの運転開始は1996年になるものと見られている。

アウエ鉱山に関するビスムート浄化計画によれば、ポタ山、スラリ池、ビスムートの事業区からそれぞれ発生する浸出水は、将来はほぼ定量的に集められ、

計画中の産業規模の集中浄水プラントで浄化されることになっている。しかし、外部の専門家によると、浸出水の分散（個別）浄水の構想についてもなお検討がなされているという。

鉾山の水没を終えたあと、1年間に浄水しなければならないと見られている水の量は以下の通りである。

- － 坑内水：600～700万 m^3
- － 浸出水：100～150万 m^3

ペーラ＝テラーホイザー

ペーラでは、廃水の化学的・物理的浄水を行うプラントが1989年から運転を開始している。ポタ山から発生する浸出水については、1991年末以降、集水および浄水が行われている。

鉾山の水没を終えたあと（1993年末以降）、1年間に浄化しなければならない水の量は以下の通りである。

- － 坑内水：50～100万 m^3
- － 浸出水：50～100万 m^3

水処理廃棄物の処分

将来は、シュレマ＝アルペローダやペーラで行われる浄水によって相当な量のスラリー、濃縮物などが発生するものと予想される。これらの水処理廃棄物については、別途、処理および処分を行う必要がある。現在、この水処理廃棄物の管理

について幾つかの方法が検討されているところである。その中のひとつとされているのは、ゼーリングシュテートまたはクロッセンの事業用鉍滓池のいずれかに水処理廃棄物を処分するというものである。

5.2.3.4 ポタ山の鉍害復旧

シュレマ＝アルペロード地区には42か所のポタ山があり、その体積は合計4510万 m^3 、面積は311.2haとなっている。この中には、いまだにビスムート社が管理しているものもあれば、既に地方自治体に引き渡されているポタ山もある。最大のポタ山は、体積が940万 m^3 、面積は45.0haに及んでいる。

ペーラには5か所のポタ山があり、体積は合計200万 m^3 、面積は31.7haとなっている。ビスムート浄化計画における全体的な考え方としては、大半のポタ山は現在のままの場所に残すものの、ポタ山の安定を図るとともに、侵食を抑え、さらにラドンの発散を抑えるための覆土に備えてポタ山の下準備を行うという目的から、傾斜勾配を緩やかに（1：3以下の勾配に）することになっている。この措置は、それぞれの地形的な条件が許す限り実施される予定である。

形状を整えたあとのポタ山は植林用に限定して利用される。

5.2.3.5 沈殿池の鉍害復旧

アウエ地区には、この地区における初期のウラン採鉍・処理事業に由来する小さな鉍滓池が幾つかある。これらの池はすべて現在の場所に残されることになっている。しかし、ビスムート浄化計画では、鉍滓池に捨てられたスラリをできる限り生物圏から隔離するための対策が用意されている。スラリを密封したあとの鉍滓池には草や低木が植えられることになっている。

5.2.3.6 アウエ事業区および汚染された排水路の浄化

ビスムート社の管理・事業用の建屋および施設、ウラン採鉱事業によって汚染された隣接地域、輸送経路、排水路などについては、以下のように、ゼーリングシュテートやクロッセンと同じ浄化対策が取られることになっている。

- － 汚染された建物は廃用として解体する。廃材は別途処理する。
- － 汚染された地面は削り取って、代わりに砂利や土を入れる。汚染された土は別途処理する。
- － 必要に応じて、汚染された排水路の堆積物を浚渫して処分する。

詳細な浄化作業については、現在、ビスムート社が外部の専門家の協力を得ながら考案中である。

5.2.3.7 アウエ鉱山の浄化スケジュール

表5.2.3.7. a にアウエ鉱山の浄化計画の主な段階を示す。前の章からもわかるように、計画の基礎は既に固まっているものの、まだ数多くの細かな部分を定める必要がある。いずれにしても、浄化対策は21世紀に入ってもなお続けられることになるのは間違いない。これは坑内水の浄化に関して特に言えることで、この作業は数世代にわたって続けられることになるかも知れない。

現時点においてアウエ鉱山の浄化に必要と考えられている資金およびビスムートの労働力については、表5.2.3.7. bを参照のこと。

Table 5.1.a: Specifics of the Mine Sites at Schlema-Alberoda and Pöhla

	Schlema-Alberoda	Pöhla
Maximum Depth of Mine	1,800 m	540 m
Number of Stopping Levels	48	12
Length of Underground Mine Openings	4,200 km	172 km
Openings	39 mio m ³	1.41 mio m ³
Outlets:		
- Shafts (total)	54	-
- Shafts (still opened)	8	-
- Addits	-	6
- Ventilation Raises	-	3
- Large-Diameter Holes	-	2

Table 5.2.1.1.a: Shafts with Turned-Off Dewatering Systems (Status: September 1992)

Number	Mine	Level (m)	Shaft	Date of Turning Off (Actual or Planned)
1	Ronneburg	- 345	Blind Shaft 4 Reust	1988
2	Aue	- 1,800	Blind Shaft 383 III b	1990
3	Ronneburg	- 525	Blind Shaft 6 Lichtenberg	1991
4	Aue	- 1,710	Blind Shaft 383 b	1991
5	Aue	- 1,485	Blind Shaft 1/1620	1991
6	Aue	- 1,312	Blind Shaft 372 b	1991
7	Aue	- 996	Blind 296 III b	1 Q 1992
8	Aue	+ 120	Blind Shaft 1	1 Q 1992
9	Aue	+ 240	Blind Shaft 2	1 Q 1992
10	Aue	+ 360	Blind Shaft 2	1 Q 1992
11	Dresden-Gittersee	+ 85	Blind Shaft 3, 2nd Level	3 Q 1992
12	Dresden-Gittersee	+ 92	Marienschacht, 1st Level	4 Q 1992
13	Ronneburg	- 570	Shaft 381	4 Q 1992
14	Ronneburg	- 570	Shaft 396	4 Q 1992

Table 5.2.2.1.a: Current Area of the Aue Mine According to Utilization

Utilization/ Characteristic of Site	Area			Remarks/ Concentration of Con- taminants and Pollutants
	Schlema/Alberoda Site (ha)	Pöhl a Site (ha)	Total (ha)	
22 Dumps	114.7	32.6	147.3	On average: 0.6 - 0.9 Bq/g Ra-226 60 ppm U
Settling Ponds and former Mill Sites	12.4	2.6	15.0	Volume about 0.25 mio m ³ On average: 1.4 - 6.2 Bq/g Ra-226 500 ppm U 700 ppm As
Deposits	0.9	0.1	1.0	Licensed storage of contaminated material
Settled Ground (Subsidence Trough)	21.5	-	21.5	Subsidence due to mining shallow below surface
Other Areas	85.2	23.5	108.7	
Total Area	234.7	58.8	293.5	

Table 5.2.2.1.b: Local Gamma Dose Rates on Present and Former Operation Sites of the Aue Mine

	Dump Sites in the Area of Aue	Areas Neighboring former Operation Sites in Schlema/Pöhl	Former Drilling Places in Pöhl/ Tellerhauser
Area analysed	971.8 ha	71.8 ha	37.1 ha
Areas according to Local Gamma Dose Rates			
< 200 nGy/h % of total Area	544.2 ha 56%	59.5 ha 83%	34.3 ha 92%
200 - 500 nGy/h % of total Area	398.4 ha 41%	11.8 ha 16%	1.5 ha 4%
> 500 nGy/h % of total Area	29.2 ha 3%	0.5 ha 1%	1.3 ha 4%

Table 5.2.2.2.a: Selected Characteristics of Seepage Waters of Lean Ore Dumps at Aue

Name of Dump	Seepage Water (l/h)	Measuring Point No.	pH Value	Hardness (°d H)	Uranium (Bq/l)	Radium (Bq/l)	Sulfate (g/l)	Arsenic (mg/l)
371 (North)	240	1	7.6	46	19.9	*)	0.2	0.27
296	600	3	7.8	350	40.7	n.a.	1.6	0.47
250	600	4	7.4	38	1.75	100	0.4	0.72
66/207	Stagnant water	5	7.35	470	72.5	800	2	0.47
382	900	6	7.8	296	125	n.a.	2.1	0.28
382	300	7	7.7	175	100	100	2.2	0.07
282	1,800	8	6.9	39	1.75	n.a.	n.a.	0.02
38	240	9	7.6	100	10	120	1.4	0.04
259/109/13	300	10	7.2	45	14.2	80	0.61	0.04

n.a.: not available

*) Value below detection limit

Table 5.2.2.2.b: Specific Characteristics of Dumps at Königstein and Aue

Mine Site/Name of Dump Site	Area (ha)	Seepage Water (m ³ /h)	Characteristics of Seepage Water				
			Uranium mg/l	Sulfate mg/l	Hardness (°d H)	pH-Value	Arsenic mg/l
<u>Königstein</u>							
Schüsselgrund Dump	24.2	4.4	800	3,000	130	2.3 - 3.3	0
<u>Aue/Schlema</u>							
Oberschlema (Northeast)	41	5	0.5	0.5	45	7.5	0.1
Oberschlema (Center)	75	5	1.5	1.5	130	7.5	0.1
Niederschlema	51	10	1.5	2.5	145	8.0	0.2
Niederschlema/Alberoda	58	25	2.0	2.5	130	8.0	0.4
Borbachtal Dumps	40	5	0.5	1.5	60	7.0	0.1
Dump Site No. 371	70	45	0.5	0.5	30	7.5	0.2
<u>Aue/Pöhla</u>	31	50	0.1	0.1	15	7.5	0.1

- 110 -

NUKEM

Table 5.2.2.2.c: Pollutants and Contaminants of Waste Water of the Aue Mine in 1991 (Area Schlemma/Alberoda)

	Uranium	Radium	Solid Components
Average Concentration ¹⁾	21 - 27 Bq/l	0.11 - 0.20 Bq/l	8.6 mg/l
Licensed Concentration ¹⁾	45 - 60 Bq/l	0.80 - 1.00 Bq/l	20.0 mg/l
Total Licensed Annual Discharge	231.3 GBq	3.50 GBq	
Total Effective Annual Discharge	126.0 GBq	0.97 GBq	
% of Total Licensed Annual Discharge	54%	28%	

1) Ranges are due to different licensed concentrations for different partial waste water streams

Table 5.2.2.2.d: Pollutants and Contaminants of Waste Water of the Aue Mine in 1991 (Area Pöhla)

	Uranium	Radium	Solid Components
Average Concentration ¹⁾	2.5 - 5.0 Bq/l	0.13 - 0.20 Bq/l	6 mg/l
Licensed Concentration ¹⁾	40 Bq/l	5.4 Bq/l	30 mg/l
Total Licensed Annual Discharge	20.5 GBq	1.85 GBq	
Total Effective Annual Discharge	4.8 GBq	0.10 GBq	
% of Total Licensed Annual Discharge	23%	6%	

¹⁾ Ranges are due to different licensed concentrations for different partial waste water streams

Table 5.2.2.3.a: Concentration of Radon-222 near the Surface
According to Site (Measurements in 1991)

Location/Site	Measuring Point No.	Measured Value
Schlema/Alberoda		
Schneeberg	508.22	35 Bq/m ³
Schlema	509.33	120 Bq/m ³
Schlema	511.36	400 Bq/m ³
Schlema	511.50	365 Bq/m ³
Alberoda	512.54	345 Bq/m ³
Schlema	511.53	310 Bq/m ³
Schlema	555.00	229 Bq/m ³
Hartenstein	535.00	218 Bq/m ³
Pöhla		
Pöhla	405.60	20 Bq/m ³
Pöhla	408.60	30 Bq/m ³

1) All sites with Radon-222 concentrations exceeding 200 Bq/m³ are located close to several waste rock dumps between Shaft No. 366 and Shaft No. 371 near the river Zwickauer Mulde

Table 5.2.2.3.b: Radium Concentration and Radon Emanation of Dumps

Mine Site	Radium Concentration (Bq/g)	Radon Emission (TBq/a)
Aue		
Schlerna/Alberoda	0.6 - 0.9	20 - 40
Pöhle	0.6 - 0.9	2 - 8
Königstein	0.6 (Poor rock: 40%) 3.2 (Leached muck pile: 53%) 5.5 (Filter cake: 1%) 4 - 11 (Slurry: 6%)	< 1 ^{*)} < 1 ^{*)} < 1 ^{*)} < 1 ^{*)}

^{*)} Low emission levels as part of the dump sites were covered already with soil

Table 5.2.3.7.a: Schedule of the Cleanup Concept of the Aue Mine Site (Status: September 1992)

Activity	1992	1993	1994	1995	1996-2000	Beyond 2000
1. Cleanup of Underground Mines						
- Scientific and Technical Preparations; Fine-Tuning of Cleanup Concept						
* Schlema-Alberoda	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX		
* Pöhla	XXXX					
- Planning, Realisation						
* Schlema	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	
* Pöhla	XXXX	XX				
2. Flooding of Underground Mines						
- Scientific and Technical Preparations; Fine-Tuning of Cleanup Concept						
* Schlema-Alberoda	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	ZZZZ	ZZZZ
* Pöhla	XXXX	XX				
- Realisation						
* Schlema-Alberoda	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	
* Pöhla	XXXX	XX				
3. Water Treatment; Disposal of Residues						
- Scientific and Technical Preparations; Fine-Tuning of Cleanup Concept						
* Schlema-Alberoda	XXXX	XXZZ	ZZ			
* Pöhla	XX	XXXX				
- Planning, Realisation						
* Schlema-Alberoda		XX	XXXX	XXZZ	ZZ	
* Pöhla		XXXX				
- Operation of Water Treatment and Disposal						
* Schlema-Alberoda				XX	XXXX	XXXX
* Pöhla		XX	XXXX	XXXX	XXXZ	ZZ

NUKEM

Table 5.2.3.7.a: Schedule of the Cleanup Concept of the Aue Mine Site (Status: September 1992) (continued)

Activity	1992	1993	1994	1995	1996-2000	Beyond 2000
4. Redeposition/Rehabilitation of Lean Ore Dumps						
- Scientific and Technical Preparations; Fine-Tuning of Cleanup Concept	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	X	
- Planning, Realisation		X	XXXX	XXXX	XXXX	
5. Cleanup and Reclamation of Surface Facilities						
- Scientific and Technical Preparations; Fine-Tuning of Cleanup Concept	XXXX	XXXX	XXXX	ZZZZ		
- Planning, Realisation	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XX	
6. Cleanup of Surface Waters						
- Scientific and Technical Preparations; Fine-Tuning of Cleanup Concept	XX	XXXX	XX			
- Planning, Realisation			XX	XXXX	XXXX	
7. Monitoring						
- Scientific and Technical Preparations; Fine-Tuning of Cleanup Concept	XXXX	XXXX	XXXX			
- Planning, Realisation	XX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX

Legend:

XXXX Planned Timeframe

ZZZZ Potential Extension of Timeframe

Table 5.2.3.7.b: Funds and Wismut Staff Required for the Cleanup of the Aue Mine Site (Status: September 1992)

	1991 ¹⁾	1992 ²⁾	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Beyond 2000
Funds Needed											
million DM	132.8	101.8	131.2	150.0	110.0	95.0	80.0	70.0	62.0	52.0	175.0
billion Yen	9.4	7.2	9.3	10.7	7.8	6.7	5.7	5.0	4.4	3.7	12.4
Staff Needed	1,420	950	800	700	650	600	500	450	400	350	n.a.

1) Actual

2) Planned

6. ケーニヒシュタイン鉱山

6.1 概要

ケーニヒシュタイン鉱山は、ザクセン州ドレスデン市の南東約30kmのところにある。ケーニヒシュタインにおける探鉱作業は1960年代初頭に開始された。1967年には、在来の坑内採掘法によるウラン探鉱が始まった。さらに1984年には、化学浸出法（在来採掘法で採掘した鉱石のヒープ・リーチング、原位置ブロック・リーチング、坑内水の浄化によって生じたスラリの浸出）によるウラン生産が導入された。ケーニヒシュタイン鉱山の主な特徴は表6.1.aおよび表6.1.bに示した通りである。

ケーニヒシュタインでの本格的なウラン生産がまだ中止される前に、それぞれの浸出法が年間のウラン生産量に占めていた割合は以下の通りである。

- 原位置ブロック・リーチング（個々の採掘区画を対象とした浸出）：85%
- 採掘した鉱石に対するヒープ・リーチング：10%
- スラリに対する浸出：5%

6.2 環境モニタリング

6.2.1 地下水および地表水による汚染物質の排出

ケーニヒシュタインでは、現在、年間に約500万m³の水が浄化されて環境中に放出されている。ケーニヒシュタイン地区の主な排水路となっているのはエルベ川（坑内水および地上作業による廃水を浄化したものを放流）である。また、それ以外の廃水や、「シュセルグルント」ポタ山から浸出する浸出水の放流に使

われているその他の排水路としては、ペクナ川、クネルスドルファー・バツハ川、トイフェルグルントバツハ川、シュセルグルント川がある。これらの川はいずれも直接または間接的にエルベ川に注いでいる。

ポタ山周辺の地表水および地下水やポタ山の浸出水に含まれる汚染物質の濃度を測定するための広範囲に及ぶモニタリング・システムが既に設置されている。また、エルベ川および上記のその他の小さな川の汚染や汚濁をチェックするために7つの測定地点も設置されている。汚染物質の平均濃度と排出許可量については表6.2.1.a 参照のこと。

既存の浄水プラントは、計画されている浄化対策が行われる間を通して運転を続ける必要があるものと見られる。そのため、地表水や地下水、そして浸出水を媒介とした排出に対するモニタリングは現在の水準のままさらに続けられることになっている。

6.2.2 大気汚染監視

ケーニヒシュタインでは、 50 km^2 の範囲に合計46か所のラドン測定地点が置かれている。さらに、現在、降下した塵に含まれる Ra-226 の濃度と空中塵の α 放射能のそれぞれの測定地点の設置準備が進められているところである。大気汚染監視システムは、環境浄化・復旧プロセスがすべて終わるまで運用が続けられることになっている。

6.3 鉍害復旧事業

ケーニヒシュタイン鉍山の環境浄化・再生構想の基本的な考え方は以下のよう
なものである。

- 一 設備や機材など、汚染源となりうるものすべてを坑内から撤去する。
- 一 鉱山全体を水没させるための以下のような準備作業
 - ・ 第3地下水層と第4地下水層の間の不透水層に人工的に作られた貫通孔の封鎖。2つの地下水層の間をつなぐものとなりうる軟弱な経路の封鎖。2つの地下水層の分離が必要なのは、汚染された水が第4層から第3層に浸透するのを確実に防止するためである。第3層の水は飲料水の供給用に使われている。
 - ・ 水没プロセスを管理するための坑内水のサンプリングおよび分析を目的とした地下モニタリング・システムの設置。
- 一 地上の浄水システムは、少なくとも、地下モニタリング・システムまでも完全に水没させることができるまでは運用を続ける。
- 一 汚染の度合の高い建物および施設のデコミッションングおよび解体、汚染された土地の浄化（汚染された地面を削り取って入れ替える）、汚染の度合の低い建物の除染。瓦礫および廃材は、汚染されたものも汚染されていないものも、「シュセルグルント」ボタ山に処分する。
- 一 「シュセルグルント」ボタ山の表面形状を整える。覆土および再開墾。

6.3.1 鉱山の水没

ケーニヒシュタイン鉱山の水没は、同鉱山の廃止のための方策として経済的に受け入れられる唯一のオプションであることが示されている。しかし、鉱床が地質学的、水文地質学的に複雑な構造をしていることから、環境に深刻な影響が及ぶのを防ぐために、実際に水没を行うのに先立って実施しておかなければならない評価や技術的準備がかなりある。

ケーニヒシュタイン鉱山に関する現在のピスマート浄化計画では、鉱床にいまだに含まれている汚染物質を取り出して処分するようにすることが第一とされて

いる。そして、第二に、その後の水没プロセスを監視し、必要に応じてプロセスの調整を行うものとされている。鉾山の水没に関する研究作業のスケジュールについては表6.3.1.a 参照のこと。

ウランの原位置リーチングにこれまでに使用された硫酸の量は合計100,000～125,000トンにのぼる。循環している浸出剤の硫酸濃度は約2～3 g/lで、1992年初めの段階では、まだ約80万m³の浸出剤が循環している状態にあった。ビスムート社によれば、1993年末までにはこの量はおよそ65万m³に減っているはずであるという。鉾床からの可溶性ウランの抽出を終えてからも（下記参照）、鉾体のフラッシングによって残った浸出剤を取り出すには、それからさらに2～3年が必要と見られている。

試算によれば、鉾床にはいまだに最高2,800トンのウランが含まれているものと見られるが、これは水没プロセスの間に洗い流される可能性があると考えられている。このうちの約500トンは鉾体の南側部分の発破をかけられた採掘区画に含まれているもので、従って特に溶解性の高いものとなっている。ビスムート社としては、鉾山全体を水没させる前に鉾体からできるだけ多くの可溶性ウランを抽出したい意向である。鉾体のフラッシングによって得られる中間生成物をさらに処理するための方法については、3.2.3.3項で取り上げた。

しかし、外部の専門家は、発破をかけた採掘区画の硫酸によるフラッシングを中止し、いまだに循環中の浸出剤を洗い流す作業をできるだけ早く始めるように強く提言しており、その上で鉾山の水没を徐々に行うようにすべきであるとしている。

ビスムートでは、上記の浸出剤のほかにも、ケーニヒシュタイン鉾床には最高100万m³の汚染された間隙水がいまだにあるものと見ている。ビスムートは、

表6.3.1. a に示した研究作業の一環として水没実験を計画している。水没させられる坑内空間は合計約115,000m³ にのぼる。水没プロセスはつぶさに監視されることになっており、技術的、経済的理由から必要となった場合には、水没プロセスを後戻りさせることもできるような準備がなされることになっている。水没試験は、本格的な水没プロセスや水没の調整システムの有効性について貴重な情報を与えてくれるものと期待されている。

6.3.2 水処理と水処理廃棄物の処分

効率的で信頼性のある浄水システムと、浄水プロセスから生じる廃棄物の最終処分のための計画を用意できることが、ケーニヒシュタイン鉱山の水没のための前提条件となる。既存の浄水施設の最適化のための研究は1992年から開始されている。必要になるものと見られる設備改善策の設計と実施は1995年末までに完了する見込みである。現在、水処理廃棄物の最終処分のための計画の原案をまとめる作業が行われているところである。

6.3.3 ボタ山の鉱害復旧

ケーニヒシュタインでは、ザクセン・スイス保護区の環境要件に従って、円錐形に積み上げられたボタ山は作られておらず、ボタはケーニヒシュタイン鉱山に隣接する丘の斜面に捨てられている。

1972年から1982年までの間に合計面積12.1haの5つのボタ山が既に再開墾されており、現在も使われているのは「シュセルグルント」ボタ山だけである。このボタ山の体積は330万m³で、そのうちの120万m³は貧鉱で、180万m³がヒープ・リーチング後のボタである。ボタ山の面積は24.5haに及んでいる。

「シュセルグルント」は現在の場所に残されることになっている。しかし、「シュセルグルント」には、ケーニヒシュタインにおける浄化作業の間にさらに77万m³の様々なもの（ヒープ・リーチング後のボタ、濾過ケーキ、廃材、汚染土、スラリなど）が処分されることになる予定である。

1995年ないし1996年頃からは、ボタ山を粘土、地盤用シート、砂利および土で封じ込める作業が始められることになっている。しかし、現在のところ、鉱害復旧作業が2000年以前に完了する見込みはない。

6.3.4 ケーニヒシュタイン鉱山の浄化に必要な資金および労働力

表6.3.4.aは、ケーニヒシュタインにおける環境浄化・再生作業に必要な資金と労働力をまとめたものである。2000年を過ぎてもなお必要とされる金額の大きさが目を引く。鉱山の水没後の浄水作業が21世紀に入ってもさらに続けられるということがその主な理由となっている。

Table 6.1.a: Current Area of the Königstein Mine According to Utilization

Utilization	Area (ha)
Main Operating Site	58.5
Lean Ore Dump "Schüsselgrund"	25.0
Sand Pit	17.7
Railway Station Rottwerndorf	4.8
Other Areas	12.7
Total Area	118.7

Table 6.1.b: Main Characteristics of the Königstein Mine

Area of Underground Mine	:	7.2 km ²
Maximum Depth	:	298 m
Length of Stoping Levels	:	80.9 km
Main Stoping Levels	:	25 m NN ¹⁾ 50 m NN 94 m NN 135 m NN
Number of Shafts	:	5
Number of Return Air Raises	:	7

1) NN $\hat{=}$ above sea level

Table 6.2.1.a: Pollutants and Contaminants of Waste Water of the Königstein Mine in 1991

	Uranium	Radium	Solid Components
Average Concentration	8.8 Bq/l	1,980 mBq/l	14 mg/l
Licensed Concentration	21.2 Bq/l	5,500 mBq/l	90 mg/l
Total Licensed Annual Discharge	162.5 GBq	21.3 GBq	
Total Effective Annual Discharge	45.5 GBq	11.0 GBq	
% of Total Licensed Annual Discharge	28%	51%	

Table 6.3.1.a: Schedule of Research Activities Concerning the Flooding of the Königstein Ore Body
(Status: September 1992)

Activity	1992	1993	1994	1995	1996	1997
1. Modelling of Hydrodynamics and Groundwater Transport of Pollutants	XXXX	XXXX	ZZZZ	ZZZZ		
2. Basic Research Activities						
- Chemistry of Interstitial Waters	XXXX	XXXX	XX			
- Oxidation of Pyrite	XXXX	XXZZ	ZZ			
- Self-Purification Effects	XXXZ	ZZZZ	ZZ			
- Data Research	Z	ZZZZ	ZZZZ			
- Mobilisation of Radionuclides		ZZZZ	ZZZ			
- Expert Assessments on Uranium Extraction with Sulfuric Acid	XXX					
3. Preparation, Performance and Assessment of Ore Body Flooding Experiments	XXX	ZZZZ	ZZZZ			
4. Analysis of Effectiveness of Geochemical and Biochemical Barriers		ZZ	ZZZZ			
5. Analyses of Stability of Host Rock and Effect of Ore Body Flushing		ZZ	ZZZZ			

Table 6.3.1.a: Schedule of Research Activities Concerning the Flooding of the Königstein Ore Body
(Status: September 1992) (continued)

Activity	1992	1993	1994	1995	1996	1997
6. Expert Opinion on Radiation Protection			////	////		
7. Examinations Concerning Sealing of Weak Zones between Ground Water Horizons	XXXX	////	////			
8. Examination of Reaction of Backfill Material on Ore Body Flushing	XXXX	////				
9. Assessment of Residual Health Risks, Environmental Hazards etc.			////	////	////	////
10. Application for Flooding			////	////		

Legend:

XXXX Commissioned Activities

//// Activities planned

- 128 -

NUKEM

Table 6.3.4.a: Funds and Wismut Staff Required for the Cleanup of the Königstein Mine Site (Status: September 1992)

	1991 ¹⁾	1992 ²⁾	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Beyond 2000
Funds Needed											
million DM	94.9	123.3	121.0	126.0	126.0	126.0	124.0	109.0	125.0	120.0	886.0
billion Yen	6.7	8.8	8.6	8.9	8.9	8.9	8.8	7.7	8.9	8.5	62.9
Staff Needed	1,243	1,180	1,050	920	910	820	770	760	760	740	n.a.

1) Actual

2) Planned

7. 展望

ピスマート社の個々の旧採鉱・製錬地区では、鉱害復旧・環境再生作業が着実に進められている。しかし、ピスマート社、当局、外部専門家の間でさらに細部を詰める必要のある手順上、技術上の問題がまだ数多く残されている。技術的な問題としては、汚染物質を相当に長い期間にわたって生物圏から効果的に遮断するための対策の微調整にかかわるものが中心となる。

既に見てきたように、この調査は、ピスマート浄化計画の現状について報告したものである。汚染物質の環境中への伝播の可能性や、計画が公衆に及ぼす影響をめぐって、今後、技術的な詳細が決まり、よりきめ細かな経験が積み重ねられていくに従って、遠からず計画に変更が加えられることになるはずである。