

Der Flutungsprozeß ehemaliger Uranerzgruben in Ostdeutschland als Sanierungsschwerpunkt der Wismut GmbH

Manfred Hagen
Gerhard Lange



M. Hagen (1940) absolvierte das Studium der Physik und war anschließend mehrere Jahre wissenschaftlich auf dem Gebiet der Kernphysik tätig. Von 1973 bis 79 als Leiter des Referats Nuklearer Brennstoffkreislauf/Entsorgung im BMFT eingesetzt, war er von 1979 bis 82 Wissenschaftsreferent in Brasilien und von 1984 bis 88 Wissenschaftsreferent in Frankreich. In den Jahren 1988 bis 92 als Abteilungsleiter im Hessischen Umweltministerium tätig, ist er seit 1992 bei der WISMUT GmbH beschäftigt, ab IV/94 als Technischer Geschäftsführer.



G. Lange (1935) absolvierte sein Geologiestudium an der Universität Greifswald von 1953 bis 1958 und promovierte 1968 zum Dr. rer. nat. 1958 nahm er eine Tätigkeit bei der ehemaligen SDAG Wismut auf, bei der er zunächst als Grubengeologe, dann als Leiter einer geologischen Abteilung im Ronneburger Gebiet und ab 1982 als stellvertretender Hauptgeologe beschäftigt war. Seit 1990 ist er Fachbereichsleiter für Geologie in der Unternehmensleitung der Wismut GmbH.

Nach Einstellung des Uranbergbaus in Sachsen und Thüringen sind die Gruben zu verwahren und zu fluten. Die Flutungskonzeptionen für die einzelnen Lagerstätten sehen die Entsorgung wassergefährdender Stoffe an dem Grubengebäude, die Klärung der technischen Abfolge des Auflassens der Grubenfelder und Schächte, eine begrenzte Wasserhaltung zur Steuerung der Flutung, die Flutung bis zu einem maximal möglichen Niveau, die Installation eines Monitoringsystems und die Behandlung übertretender kontaminierter Wässer nach Abschluß der Flutung vor.

The flooding of former uranium mines in eastern Germany as a major rehabilitation strategy implemented by Wismut GmbH

By the closing of uranium mining on December 31, 1990, five deposits were mined. Safe rehabilitation of mines by flooding is a major element of remedial strategies implemented by Wismut GmbH. In comparison with "dry" rehabilitation this approach offers both economic and ecological advantages. Independently of varying geological and hydrogeological conditions, the following principles apply in principle to all mine flooding operations: removal of materials potentially contaminating the incoming water, e.g. grease, acid, explosives and of their storage facilities from mine workings; sequencing of abandoning mine sections and levels depending on backfilling of workings and shafts, construction of dams and hydraulic barriers and of other measures to avoid future surface subsidence; continued partial mine dewatering to control flooding progress in preparing new ventilation routes, controlling rock mechanic effects and creating desired hydrochemical conditions; flooding predictions and modeling of hydrodynamic and hydrochemical conditions during and after completion of flooding; flooding up to maximum water level to reduce thickness of aeration zone with permanent contaminant release following oxidation processes and to establish preoperational hydrological conditions to the possible extent; deployment of a monitoring system to monitor hydrodynamic and hydrochemical conditions during and after completion of flooding; treatment of contaminated waters flowing out after completion of flooding to reduce concentrations and loadings of uranium, radium, arsenic, iron, and possibly neutral salts and hardness-producing substances. These principles are specified in site-specific conceptual flooding plans submitted for approval to mine inspectorates following independent review.

Procès de immersion d'anciennes mines d'uranium en Allemagne de l'Est comme une des principales stratégies de réhabilitation de la Wismut GmbH

El proceso de inmersión en las antiguas minas de uranio en la Alemania Oriental como punto esencial de saneamiento de la Wismut GmbH

Vortrag beim Berg- und Hüttenmännischen Tag am 15. Juni 1995 in Freiberg.

Von 1946 bis Ende 1990 wurde in Sachsen und Thüringen durch die ehemalige Sowjetisch-Deutsche Aktiengesellschaft Wismut intensiv Uranbergbau betrieben. Aus vorwiegend niedrighaltigen Erzen wurden etwa 220000 Tonnen

Uran erzeugt. Das bedeutet für den Vergleichszeitraum den dritten Platz nach den USA und Kanada in der Liste der Uran produzierenden Länder.

Mit Inkrafttreten des Wismut-Gesetzes vom 12. Dezember 1991 wurde die SDAG Wismut in die Wismut GmbH umgewandelt. Ihr Gesellschaftszweck ist die Stilllegung ihrer Anlagen sowie die damit verbundene Sanierung und Rekultivierung. Als Sanierung wird dabei die grundsätzliche Wiedernutzbarmachung der Ressourcen Boden, Wasser und Luft definiert. Dabei ist der Sanierungsnutzen konsequenterweise mit dem Nettogewinn für die Umwelt in Bezug auf den Aufwand zu optimieren [1, 2].

Die Wismut GmbH wird vom Bund als institutioneller Zuwendungsempfänger finanziert. Im Finanzstatut sind die Grundsätze des Haushalts- und Zuwendungsrechtes des Bundes verankert [3]. Insgesamt wurden seit 1990 für die Sanierung der Altlasten des früheren Uranbergbaus und der -aufbereitung ca. 3,5 Mrd. DM verausgabt. Für 1995 verfügt die Wismut GmbH in ihrem Wirtschaftsplan über Mittel in Höhe von 605 Mio. DM. Damit können alle an den 4 Sanierungsstandorten geplanten Arbeiten durchgeführt und weitere sichtbare Sanierungsfortschritte erreicht werden.

Bis zum Zeitpunkt der Einstellung der Uranerzgewinnung und dem Beginn der Arbeiten zur Stilllegung, Verwahrung und Sanierung unter- und überflüssiger Anlagen am 31. 12. 90 wurde noch aus 5 Lagerstätten Uran gewonnen [4] (Abb. 1). Das offene Grubengebäude in diesen Lagerstätten umfaßte u. a. noch 1400 km horizontale Grubenbaue und 49 Schächte bis max. 1000 m Teufe [5].

Dr. rer. nat. M. Hagen, Dr. rer. nat. G. Lange,
Wismut GmbH, Jagdschänkenstraße 29, D-
09117 Chemnitz.

Manuskripteingang: 15. 9. 1995

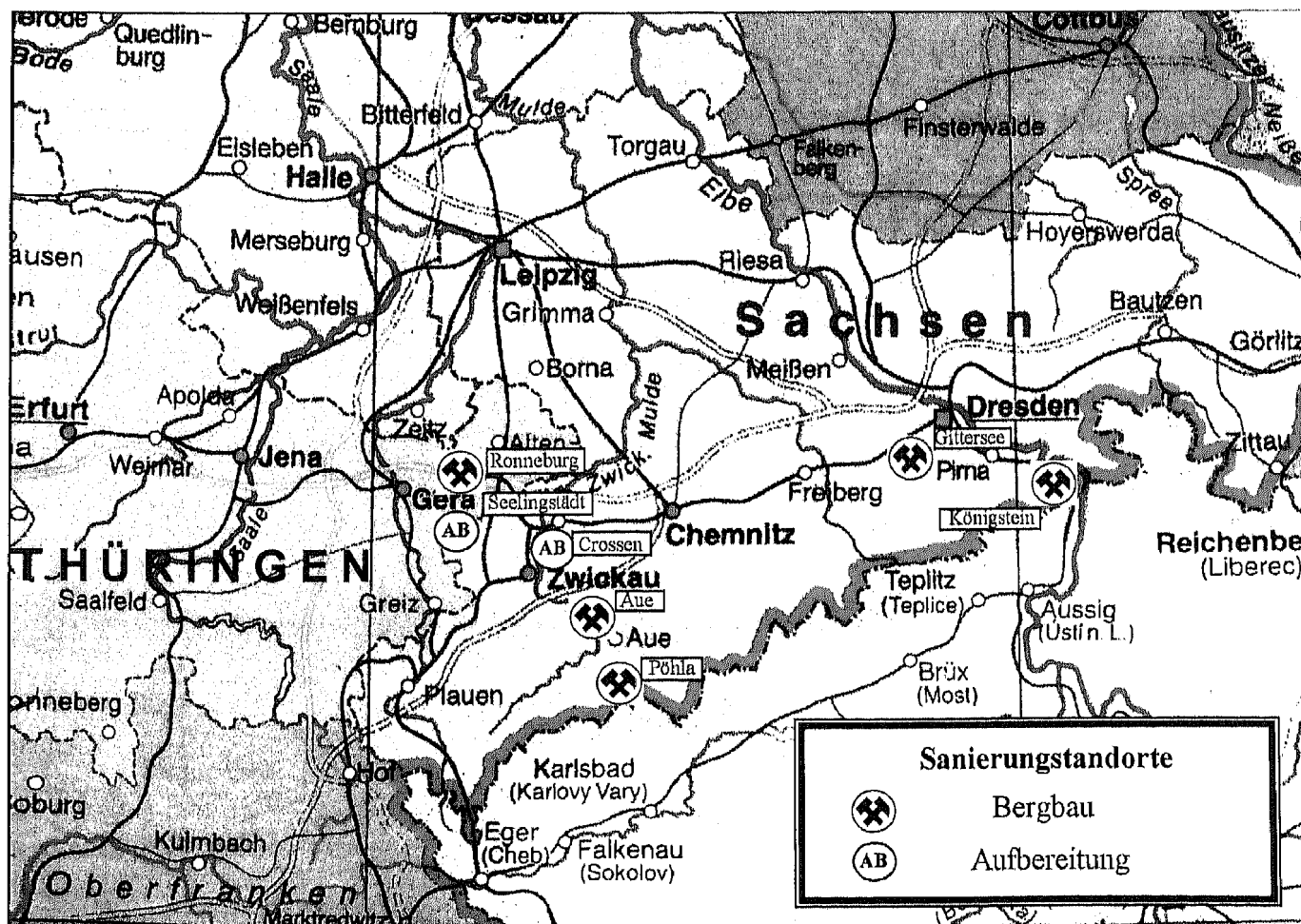


Abb. 1. Sanierungsstandorte

1 Hydrogeologie der Lagerstätten

Die Lagerstätte Ronneburg liegt im Bergaer Sattel des Ostthüringer Schiefergebirges.

Die Uranvererzung ist an eine ca. 200 m mächtige kompliziert gefaltete Abfolge von ordovizischen bis devonischen Schiefern, Kalken und Diabasen gebunden, die im Südteil der Lagerstätte übertage ausstreicht und im nördlichen Teil von flach lagernden Bildungen des Zechsteins und des Unteren Buntsandsteins überlagert wird [6].

Grundwasserführend sind die silurischen Unteren Graptolithenschiefer und die Ockerkalkgruppe, die gemeinsam einen komplexen Kluftgrundwasserleiter bilden. Die silurischen Gesteine sind vorwiegend in erzgebirgisch streichenden Mulden verbreitet. Die Basis wird von dem relativ undurchlässigen ordovizischen Lederschiefer gebildet. In den permotriassischen Plattform-sedimenten sind drei, z. T. wasserwirtschaftlich genutzte Grundwasserleiter (GWL) ausgebildet. Durch die bergbauliche Tätigkeit wurden die silurischen GWL auf einer Fläche von 50 km² bis in eine Teufe von 700 m entwässert, während die beiden unteren GWL in den Plattform-sedimenten nur relativ schwach abgesenkt wurden. Der obere GWL blieb unbeeinflusst (Abb. 2).

Die hydrothermalen Ganglagerstätten Niederschlema-Alberoda und Pöhla-Tellerhäuser liegen in metamorphen Gesteinen der Kontakthöfe spätvariskischer Granite des Westerzgebirges [7]. Die Festgesteine weisen an ihrer Oberfläche eine klüftige Verwitterungszone auf und werden von relativ geringmächtigen Lockerablagerungen überdeckt.

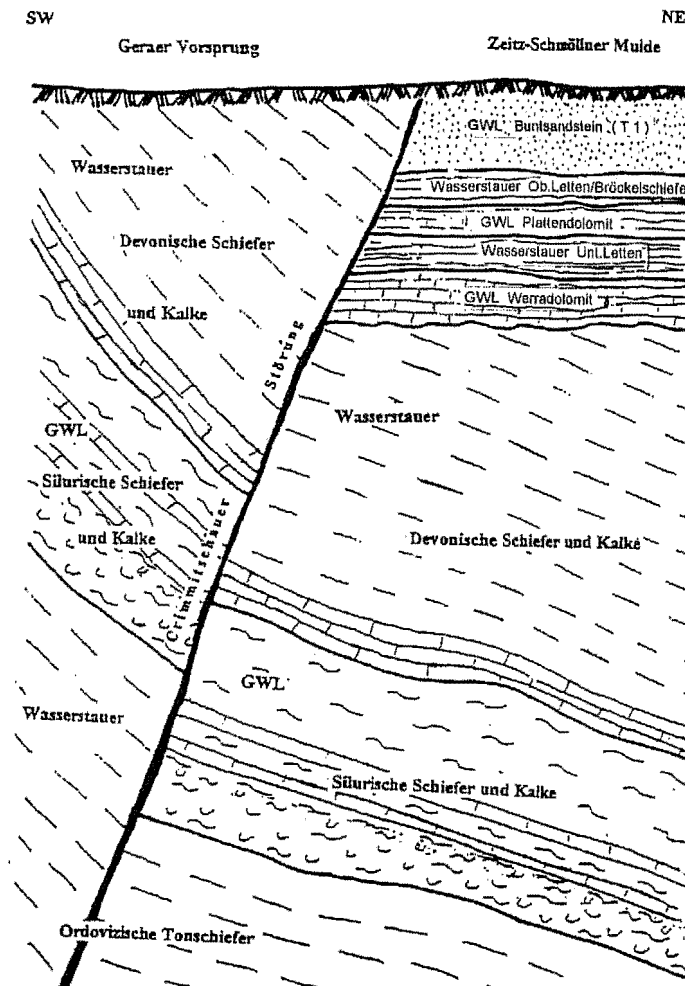


Abb. 2. Schematische Darstellung der Grundwasserleiter (GWL)



Die Grundwasserhorizonte in den Lockerablagerungen und in der Verwitterungszone stehen untereinander und über Klüfte mit dem Kluftgrundwasserleiter in den Festgesteinen in Verbindung. In der Lagerstätte Pöhla treten neben den Kluftwässern noch Karstwässer in den karbonatischen Gesteinen der Raschauer und Joachimstaler Serie auf. Die Hauptmenge des Grundwassers läuft auf den oberen Sohlen zu und ist deutlich niederschlagsabhängig (Abb. 3).

Die Lagerstätte Königstein liegt im südöstlichen Teil des Elbtalgrabens. Das kristalline Fundament der Lagerstätte wird von präkambrischen Granodioriten und permokarbonischen Graniten gebildet. Darüber folgen cenomane und turone Ton-, Silt-, und Sandsteine sowie Kalke (Pläner), die mit 2 bis 3 Grad nach NNE einfallen und von tertiären Basalten durchsetzt werden. In den Sandsteinen sind vier Grundwasserleiter ausgebildet, die durch die Pläner

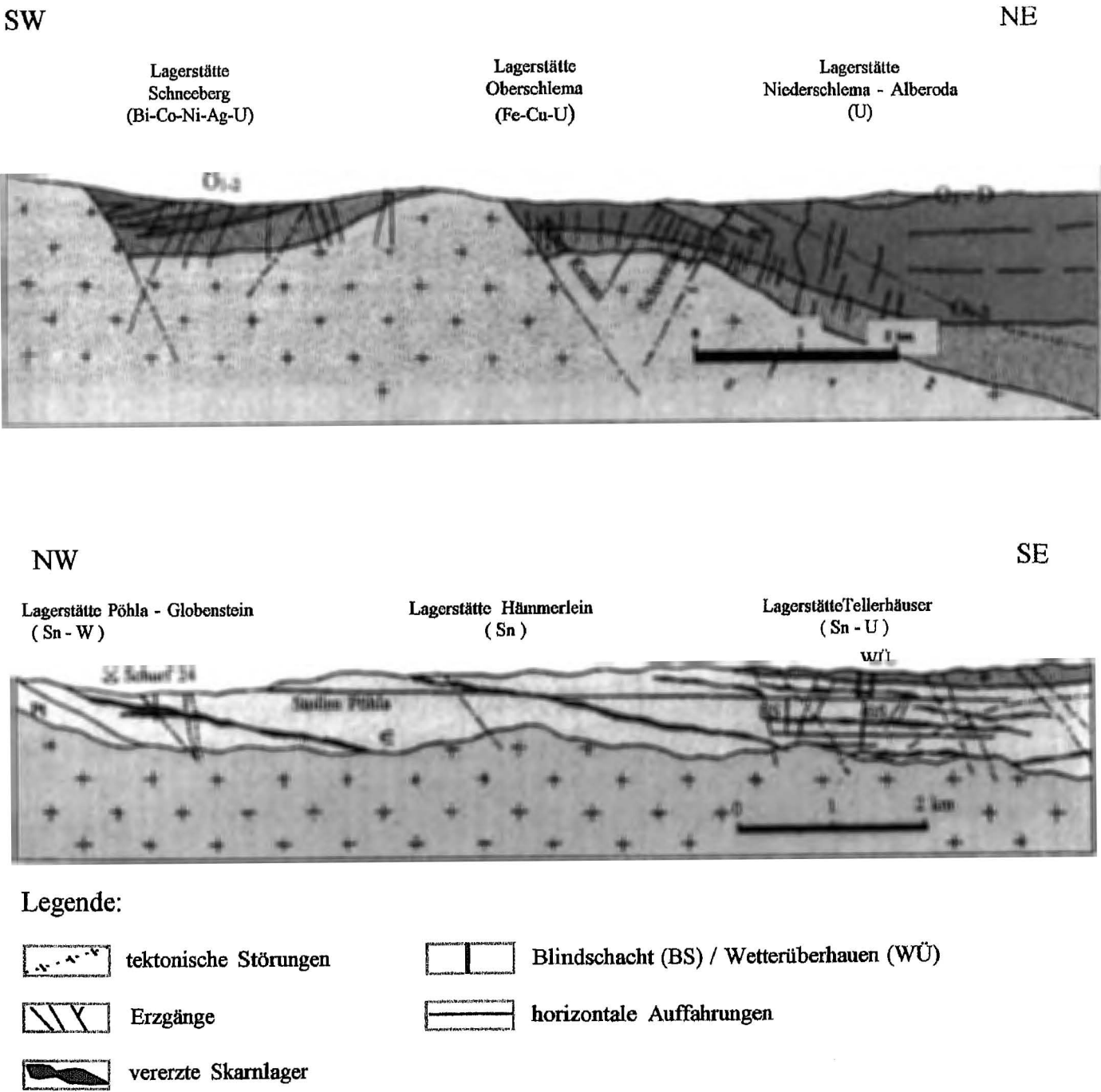


Abb. 3. Die Lagerstätten Niederschlema-Alberoda und Pöhla-Tellerhäuser

als Grundwassernichtleiter getrennt werden. In der Lagerstätte sind zahlreiche Störungen aufgeschlossen.

Die Uranvererzung ist an die unmittelbar über dem Fundament folgenden Sedimente gebunden, in denen auch der vierte GWL liegt. Durch den Bergbau ist dieser vollständig entwässert, es entstand ein ausgedehnter Absenkungstrichter. Der dritte Grundwasserleiter ist durch die Entnahme von Grundwasser ebenfalls beeinflusst (Abb. 4).

Die im Rotliegenden der Döhlener Mulde liegende Steinkohlenlagerstätte Freital wird seit dem 16. Jahrhundert abgebaut. Mit dem Vordringen in größere Teufen wurden zur Beherrschung der Wasserzuflüsse Stollensysteme angelegt, von denen der wichtigste der Elbstollen ist.

Nach 1945 wurde neben der Steinkohलगewinnung auch ein gezielter Bergbau auf Uran begonnen und mit Unterbrechungen bis 1989 fortgeführt. Im Lagerstättenbereich existieren zwei GWL, die durch 180 bis 220 m mächtige wasserstauende Schiefertone getrennt werden. Der Bergbau ging in dem unteren GWL um (Abb. 5).

2 Verwahrung und Flutung der Gruben

Die Zulassung von Abschlußbetriebsplänen durch die Genehmigungsbehörden wird nach § 55 (2) BBergG bestimmt. Damit werden Maßnahmen zum Schutz Dritter vor den durch den Betrieb verursachten Gefahren für Leben und Gesundheit auch nach Einstellung des Betriebes sowie zur Wiedernutzbarmachung der Oberfläche festgelegt. Die Wismut GmbH hat damit die rechtliche Verpflichtung, eine sichere Verwahrung und Sanierung der Urangruben zu gewährleisten. Im Rahmen dieser Verwahrung ist die Flutung der Gruben durch Abschalten der Wasserhaltungen und den Wiederanstieg des Grundwassers vorgesehen.

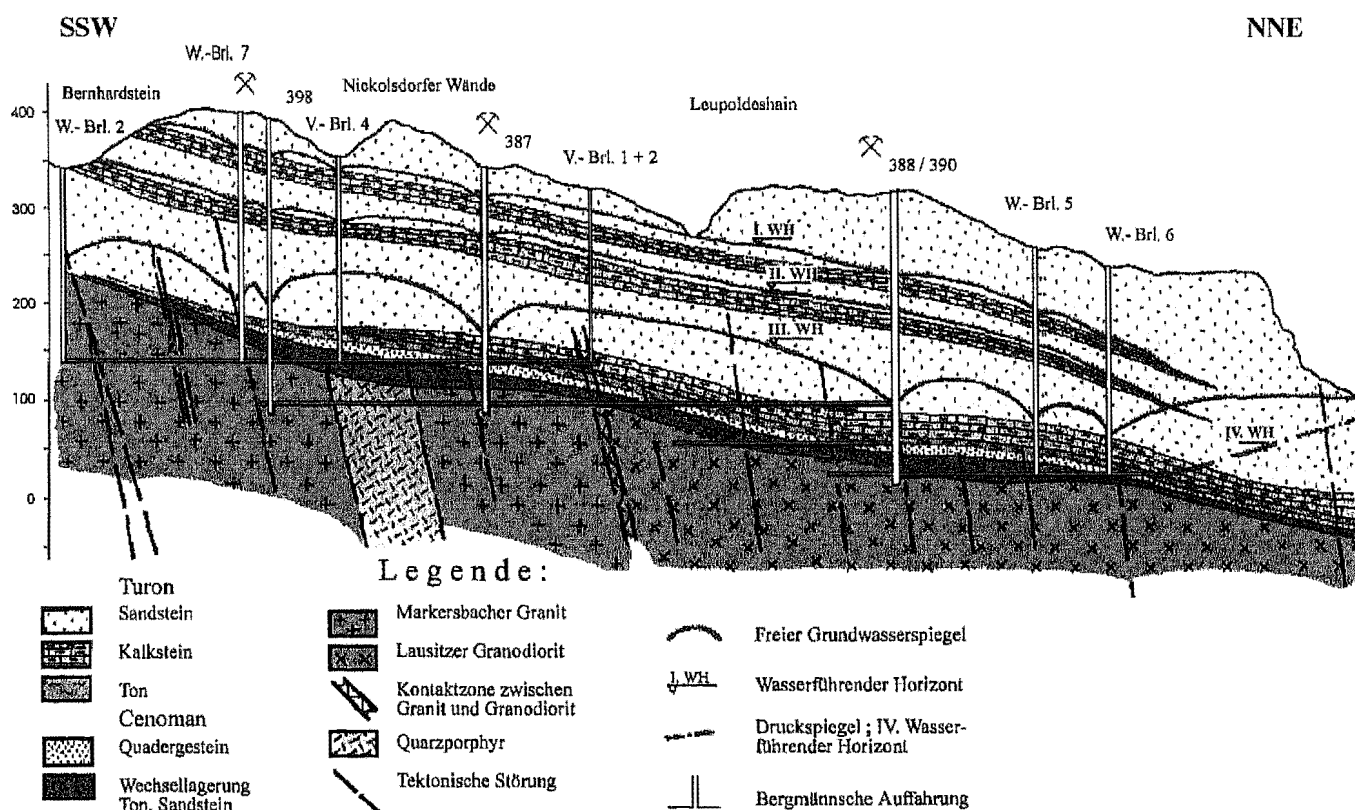
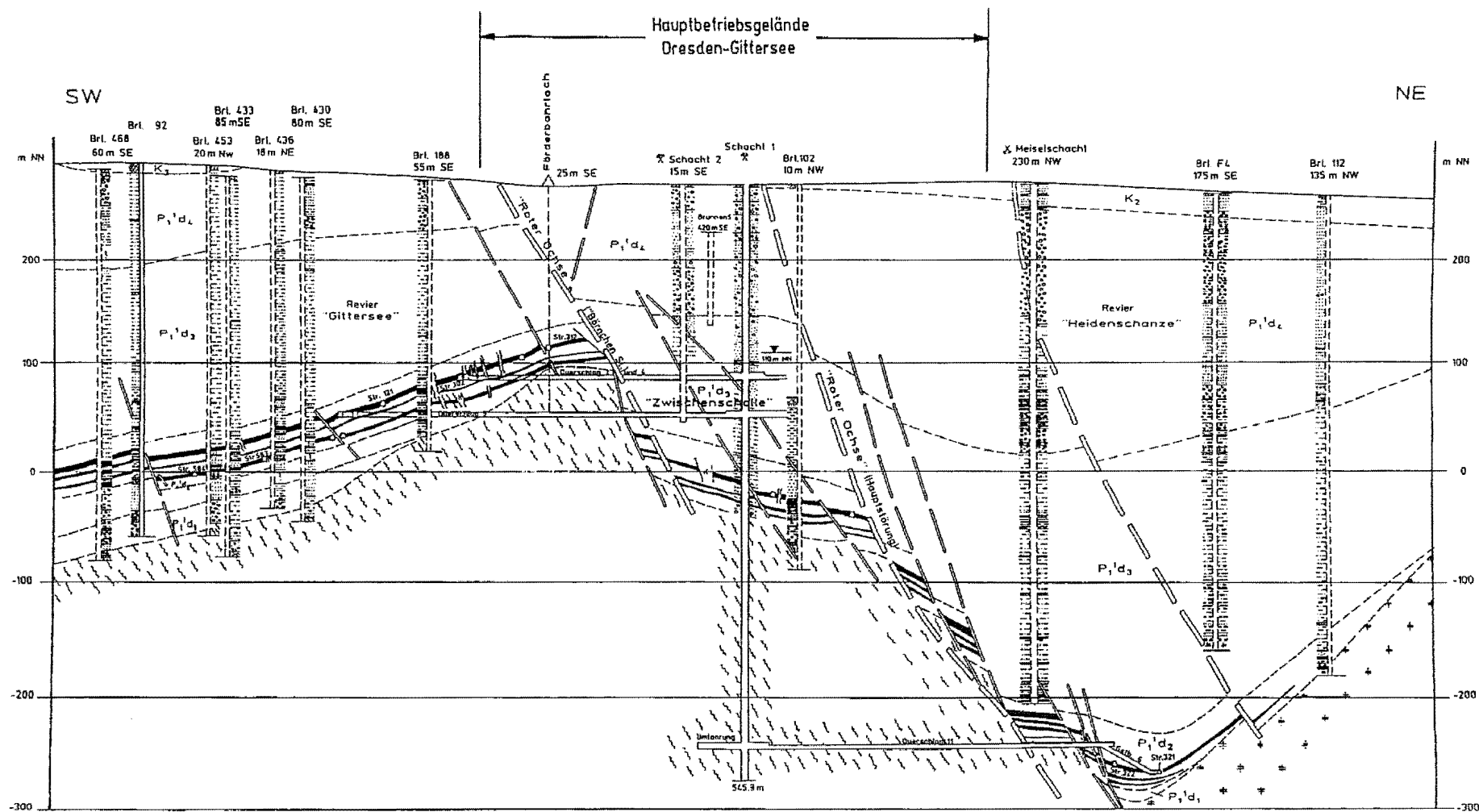


Abb. 4. Geologischer Schnitt der Lagerstätte Königstein



Zeichenerklärung

- | | | | |
|-------------|--|--|---|
| K_2 | Oberkreide | | Konglomerate |
| $P_1^1 d_4$ | Bannewitz-Hainsberger Schichten | | Arkosen bzw. Sandsteine |
| $P_1^1 d_3$ | Niederhäslich-Schweinsdorfer Schichten | | Schiefertone (Schluffstein) |
| $P_1^1 d_2$ | Döhleener Schichten | | Steinkohlflöze mit Kammstrukturen und bergmännischen Auffahrungen |
| $P_1^1 d_1$ | Unkersdorf-Polschoppler Schichten | | Altpaläozoisches Grundgebirge |
| | | | Tektonische Störung |
| | | | Horizont ("Syenit") |
| | | | Flutungsspiegel |

Abb. 5. Geologischer Schnitt der Lagerstätte Freital

Die Sanierungsziele für das Schutzgut „Wasser“ sind dabei:

- weitgehende Wiederherstellung der ursprünglichen hydrogeologischen Gegebenheiten
- Schutz wasserwirtschaftlich genutzter Grundwasserleiter
- Schutz der Vorfluter durch Behandlung der übertretenden Flutungswässer und
- Minimierung der austretenden belasteten Wassermengen.

Diese Ziele können nur durch die Flutung der Gruben erreicht werden. Eine „trockene“ Verwahrung würde die ständige Unterhaltung von Schächten, Grubenbauen und Betriebsflächen einschließlich Wasserhaltung und Bewetterung bedingen. Allein im Sanierungsbetrieb Ronneburg wären dafür jährlich ca. 5 Mio. DM erforderlich. Daneben hat diese Variante auch noch den ökologischen Nachteil der ständigen Belastung von Vorflutern und Atmosphäre. Im Laufe des Jahres 1994 wurden von den Gruben noch 15 Mio. m³ Wasser mit 8,5 t Uran, 9,5 GBq Radium und anderen Schadstoffen sowie 43 Mio. m³ Abwetter mit rund 1000 TBq Radon und 81 MBq langlebiger Alphastrahler abgegeben. Ohne Flutung würde diese Belastung annähernd beibehalten werden.

3 Grundprinzipien der Flutung

Trotz unterschiedlicher geologisch-hydrogeologischer Bedingungen in den Lagerstätten werden die Flutungen durch die gleichen Grundprinzipien bestimmt.

Es sind dies:

- Entsorgung von wassergefährdenden Stoffen aus dem Grubengebäude
- Klärung der technologischen Abfolge des Auflassens einzelner Grubenfelder und Sohlen
- begrenzte Wasserhaltung zur Steuerung der Flutung
- Flutungsprognose und Modellierung der hydrodynamischen und hydrochemischen Bedingungen während und nach der Flutung
- Flutung bis zu einem maximal möglichem Niveau
- Installation eines Monitoring-Systems
- Reinigung übertretender kontaminierter Wässer nach Abschluß der Flutung.

Zur Realisierung dieser Grundprinzipien werden für jede Lagerstätte Flutungskonzeptionen erarbeitet und nach Begutachtung Anträge zur Genehmigung an die Bergämter eingereicht.

3.1 Entsorgung wassergefährdender Stoffe

Die Entsorgung wassergefährdender Stoffe aus den Gruben ist inzwischen abgeschlossen. Zunächst wurden alle leicht demontierbaren Objekte wie Diesel-, Säure-, Öl- und Sprengstoffbehälter sowie Mechanismen aus den Gruben entfernt. Andere Ausrüstungen, wie z. B. Kabel, Schwellen, Spurlatten u. ä., wurden durch Eluatversuche bezüglich der Freisetzung von wassergefährdenden Stoffen untersucht. Zur Beurteilung wurden die Parameter CSB, AOX, TOC sowie einige Schwermetalle herangezogen. Aufgrund der geringen Freisetzungsrates ist eine generelle Demontage dieser Materialien nicht erforderlich.

Sichtbare Öl- und Fettverschmutzungen in Werkstätten und Tanklagern wurden mechanisch entfernt. Die Freisetzung aus Fundamenten und Fußböden wird durch Vorortblockierung in Form aufgetragener Betonschichten verhindert.

Die notwendige Verfahrensweise ist in den Abschlußbetriebsplänen festgelegt.

3.2 Technologische Abfolge der Flutungen

Die technologische Abfolge der Flutungen wird durch eine Reihe von geeigneten Präventivmaßnahmen, wie z. B. Verfüllung untertägiger Grubenbaue, Schachtverwahrungen, Einbau von Dämmen und Barrieren, bestimmt. Sie sollen die unzulässige Migration von Schadstoffen in Grundwasserleitern verhindern, geologisch-tektonische Strukturen stabilisieren, den Radonaustritt in besiedelten Gebieten minimieren und Bergschäden durch Senkungen und Tagessbrüche vermeiden. Von der Realisierung dieser Maßnahmen hängen Beginn und Abfolge der Flutung einzelner Grubenabschnitte ab.

Teilweise kann auch eine begrenzte Wasserhaltung während des Flutungsprozesses erforderlich sein. Dazu werden auf höheren Sohlen Wasserhaltungen betriebsbereit gehalten.

In der Grube Niederschlema-Alberoda sind z. B. Flutung und Bewetterung eng miteinander verbunden. Bisher erfolgte die zentrale Abwetterführung über den Schacht 373 außerhalb der umliegenden Ortschaften. Mit der Überflutung der -540 m Sohle entfällt diese Möglichkeit. Es könnten radonbelastete Wetter aus nicht überfluteten tagesnahen Grubenbauen unkontrolliert austreten und sich in den Tallagen der Ortschaft Schlema konzentrieren. Aus diesem Grund muß vor der Überflutung der -540 m Sohle ein neues Bewetterungssystem geschaffen werden, das im Niveau des Markus-Semmler-Stollens eine ständige Abwetterung über andere Schächte außerhalb Schlemas garantiert (Abb. 6).

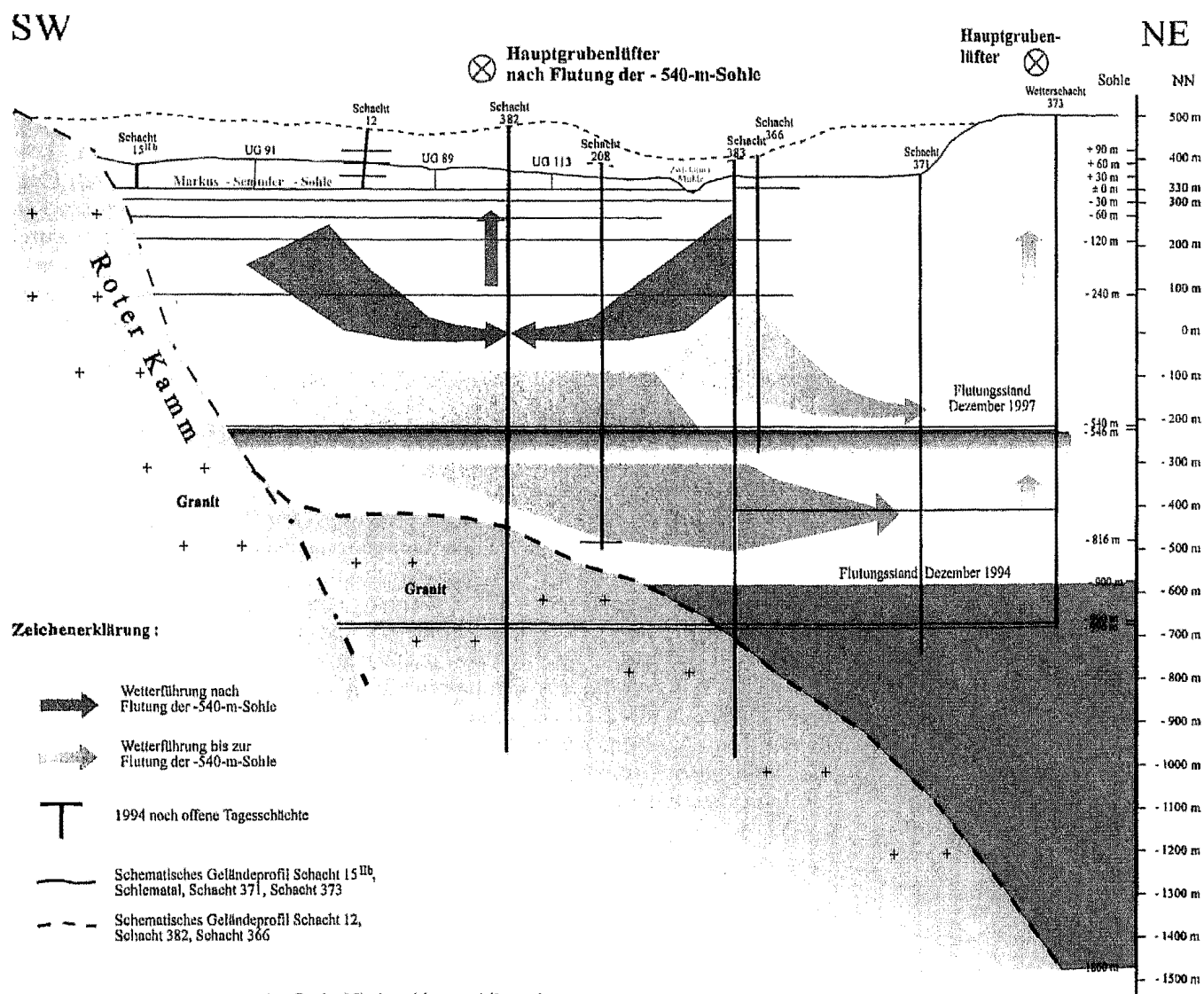


Abb. 6. Bewetterungssystem der Grube Niederschlema-Alberoda

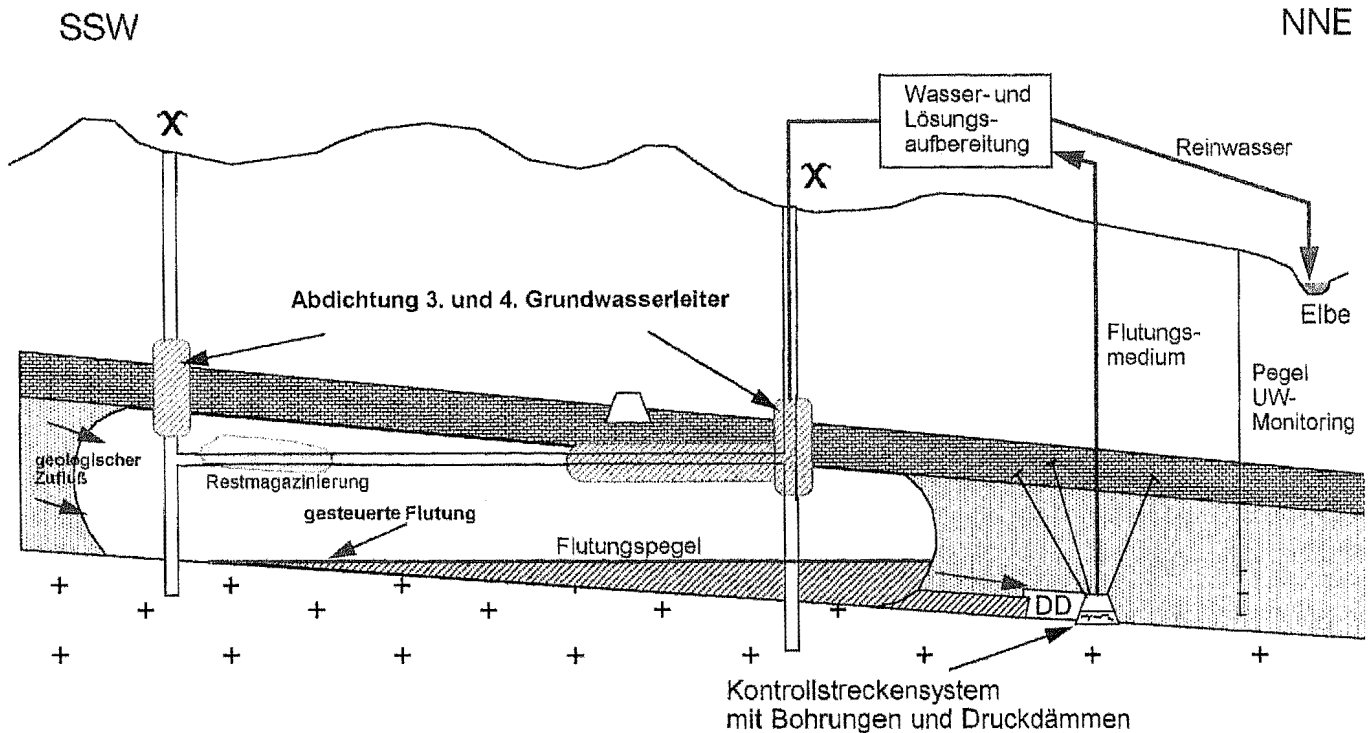


Abb. 7. Grobschema Sanierung SB Königstein

Hauptziel: Erhaltung Trinkwasser im 3. GWL. Zwei Sanierungsaufgaben: Erhaltung und Abdichtung Schutzschicht; Erreichung einer Wasserqualität im 4. GWL, die den Umweltauforderungen entspricht

Der Bergbau hat gravierende gebirgsmechanische Auswirkungen in Form von Senkungströgen und lokalen Einbrüchen der Tagesoberfläche über Grubenbauen sowie seismischen Ereignissen in Teufen über 1000 m durch Entspannungsprozesse im Gebirge hervorgerufen. Diese Auswirkungen sind in der Gegenwart weitestgehend abgeklungen. Eine eventuelle Aktivierung durch die Flutung wird zur Zeit untersucht. Als mögliche Präventivmaßnahmen sind u. a. die Anpassung des Flutungsregimes an gebirgsmechanische Erfordernisse durch Regelung der Flutungsgeschwindigkeit oder einen zeitlich begrenzten Flutungsstopp unterhalb des natürlichen Überlaufniveaus vorgesehen.

Ein besonderes Problem stellt die Flutung der Lagerstätte Königstein dar. Die Urangewinnung erfolgte hier ab 1984 durch untertägige schwefelsaure Laugung [8]. Bei Einstellung der Produktion im Jahre 1990 befanden sich noch 750000 m³ Laugungslösung im Umlauf. Sie werden nach Neutralisation und Fällung des Radiums mit Bariumchlorid bis auf Reste, die sich noch in den Laugungsmagazinen und in den Reinigungsanlagen befinden, bis zum Beginn der Flutung im Jahr 1997 abgebaut.

Wesentlich schwieriger ist die Entfernung von ca. 2 Mio. m³ Laugungslösung, die in den Gesteinsporen verblieben sind. Bei der Flutung der Lagerstätte wird diese Lösung durch das zusitzende Flutungswasser verdrängt und vermischt sich mit diesem. Deshalb wird das Flutungswasser über ein Drainagesystem im Nordteil der Lagerstätte gefaßt, gereinigt und solange wieder in den Flutungsraum zurückgeführt, bis die Schadstoffkonzentrationen unter den zulässigen Grenzwerten liegen. Die Dauer dieses Prozesses wird auf ca. 20 Jahre geschätzt (Abb. 7).

3.3 Prognose des Flutungsverlaufes

Die Prognose des Flutungsverlaufes erfordert die Modellierung der hydrodynamischen und hydrochemischen Bedingungen während und nach der Flutung. Die wichtigsten Probleme dabei sind die Flutungsdauer und die Entwicklung der Wasserqualität.

Die Abschätzungen zur Flutungsdauer beruhen auf Betrachtungen des zu flutenden Hohlraumes und der zuzitzenden Wassermenge. Zur Hohlraumbilanz tragen die bergmännischen Auffahrungen sowie das zusätzlich entwässerte Poren- und Kluftvolumen bei. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren und der Maßnahmen zur Steuerung der Flutung wurde für die einzelnen Lagerstätten die voraussichtliche Flutungsdauer ermittelt.

Sie beträgt für die Lagerstätte Ronneburg ca. 12 Jahre, für die Lagerstätte Niederschleima-Alberoda ca. 10 Jahre, für die Lagerstätte Pöhla-Tellerhäuser ca. 2 Jahre und für die Lagerstätte Freital-Gittersee ca. 1,5 Jahre. Für die Lagerstätte Königstein hängt die Flutungsdauer vom Erreichen der vorgegebenen Schadstoffwerte ab.

Die bergmännischen Auffahrungen sind relativ exakt bekannt. Wesentlich ungenauer sind dagegen die Kenntnisse über das entwässerte Poren- und Kluftvolumen sowie über die zuzitzende Wassermenge.

Bisher durchgeführte Teilflutungen haben gezeigt, daß in den Lagerstätten in paläozoischen Gesteinen des Erzgebirges und Ostthüringens das entwässerte Gebirge in den tieferen Grubenbereichen kaum einen Beitrag zu den Hohlraumbilanzen und zu den Zuflüssen bringt. In den oberflächennahen Bereichen kann der Anteil des Poren- und Kluftvolumens den des bergmännischen Hohlraums übersteigen. Schwer einzuschätzen ist auch der Auflockerungsgrad des Gebirges infolge von Sprengarbeiten, insbesondere in der Umgebung des großen Tagebaues Lichtenberg in der Lagerstätte Ronneburg.

Die zuzitzende Wassermenge unterteilt sich in infiltrative und randliche Zuflüsse. Für letztere wird angenommen, daß sie linear mit der Spiegeldifferenz abnehmen. Die Genauigkeit dieser Aussage ist jedoch umstritten. Die Grundwasserneubildung kann entweder aus den Zuflüssen in das Grubengebäude oder über das Einzugsgebiet und die üblichen Schlüsselkurven, z. B. nach *Kraft/Schröder* oder andere, ermittelt werden [9].

Die Unsicherheit des ersten Verfahrens besteht in der exakten Trennung des Anteils von infiltrativen und randlichen Zuflüssen am gehobenen Grubenwasser. Die Schwierigkeit beim zweiten Verfahren liegt vor allem in der Ermittlung der tatsächlichen Fläche des Einzugsgebietes.

Für die Lagerstätte Pöhla/Tellerhäuser wurden z. B. nach *Kraft/Schröder* eine Grundwasserneubildungsrate von ca. 100 mm/a und aus den oberirdischen Wasserscheiden ein potentiell Einzugsgebiet von 20 km² ermittelt. Daraus müßten sich mittlere Grubenwasserzuflüsse von 230 m³/h ergeben. Die tatsächlichen Grubenwasserzuflüsse betragen jedoch weniger als 30% dieser Wassermenge. Daraus kann geschlossen werden, daß ein großer Teil der Grundwasserneubildung den oberen Grundwasserleiter der Verwitterungszone speist und nur ein geringer Teil in den darunter liegenden Kluftgrundwasserleiter gelangt und daß der hydraulisch beeinflusste Bereich der Tagesoberfläche wesentlich kleiner als 20 km² ist und vor allem das nähere Umfeld der Grube betrifft.

Aufgrund der genannten Probleme ist die Vorhersage der Flutungsdauer nur mit einer gewissen Schwankungsbreite möglich. Bisherige Erfahrungen aus der Flutung der Grube Pöhla-Tellerhäuser, aus Teilflutungen in der Lagerstätte Ronneburg sowie aus tschechischen Urangruben zeigen, daß die Flutungsdauer meist unterschätzt wurde.

3.4 Schadstoffbelastung

Die wichtigsten Schadstoffe in den zur Wasserhaltung abgepumpten Grubenwässern sind Uran, Radium, Arsen, Sulfat, Chlorid und Eisen. Andere Schwermetalle und organische Stoffe spielen keine Rolle. Während und nach der Flutung löst das in der Grube aufsteigende Flutungswasser verschiedene chemische Substanzen aus den in der Grube verbliebenen Lockergesteinen, dem Anstehenden und aus den eingesetzten technischen Materialien, wie z. B. Beton und Grubenholz, heraus. Gelaugt werden insbesondere solche geogenen und technischen Materialien, die durch das vielfach jahrzehntelange Einwirken

von Luftsauerstoff und -feuchtigkeit Oxidationsprozessen unterworfen waren. Durch diese Prozesse kommt es z. B. zur natürlichen Bildung von Schwefelsäure aus sulfidischen Mineralien, insbesondere aus Pyrit, sowie von Kohlensäure aus dem Kohlendioxidgehalt der Grubenwetter. Durch das Einwirken der gebildeten Säuren auf die Gesteine und Mineralien in der Grube werden weiter Uran und andere Schwermetalle sowie Alkalien und Erdalkalien mobilisiert.

Die in der Produktionsphase durch die Infiltrationswässer nur teilweise abtransportierten wasserlöslichen Oxidationsprodukte gehen während der Flutung als Folge der umfassenden Kontaktierung der Gesteinsoberfläche mit dem Flutungswasser vollständig in diesem auf und bedingen damit eine Aufmineralisation des zum Fluten verwendeten Infiltrationswassers. Es werden deshalb Urangelhalte bis zu 6 mg/l, Radiumgehalte bis zu 5 Bq/l, Eisengehalte bis zu 20 mg/l, Arsengehalte bis zu 10 mg/l und in Ronneburg bis zu 300° dH erwartet [10].

3.5 Flutungsniveau

Zur Reduzierung dieser Oxidationsprozesse wird ein maximal hohes Flutungsniveau und damit eine Verringerung der Mächtigkeit der Aerationzone angestrebt. Es wird, wie in Ronneburg und Königstein, durch den natürlichen Grundwasserspiegel oder, wie in Dresden-Gittersee, Niederschlema-Alberoda und Pöhla-Tellerhäuser, durch vorhandene Stollen bestimmt, die z. T. schon dem historischen Bergbau zur Entwässerung dienten. Gleichzeitig sollen damit der ursprüngliche hydrologische Zustand und die ehemaligen Wasserscheiden möglichst wieder hergestellt werden.

Nach Erreichen des Flutungsendniveaus kann eine rückläufige Entwicklung der Stoffkonzentration im Wasser einsetzen, wie die Beispiele der abgeworfenen Gruben Johanngeorgenstadt, Zobes/Vogtland, Schneeberg, Menzenschwand und Freiberg zeigen. Bedeutungsvolle Wirkungsmechanismen hierfür können sein:

- Abklingen schadstoffgenerierender Prozesse
- Verdünnungseffekt durch gering mineralisierte Infiltrationswässer
- natürliche chemisch-physikalische Fällungs- und Adsorptionsreaktionen
- Separation des Flutungswassers in bestimmten Grubenbereichen aufgrund von Unterschieden in der spezifischen Wasserdichte.

Die Zeitdauer bis zum Absinken der Schadstoffkonzentration auf ein Niveau, das die Einstellung der vorgesehenen Wasserreinigung ermöglicht, wird grundlegend von der Wirksamkeit der o. g. Prozesse bestimmt. Besondere Bedeutung kommt hierbei dem Grad und dem Umfang einer langfristigen natürlichen Wasserrückführung im gefluteten Grubenraum zu. In der Lagerstätte Ronneburg wird versucht, diesen Prozeß durch die hydraulische Trennung von Grubenfeldern mit unterschiedlicher Schadstoffbelastung des Wassers prophylaktisch zu beeinflussen.

3.6 Flutungsmodellierung

Die geohydraulischen Bedingungen sowie die chemisch-physikalischen Wechselwirkungen zwischen den Gesteinen und Mineralien im Grubenraum und dem aufmineralisierten Flutungswasser sind komplexer Natur. Ihre Klärung ist von Bedeutung für die Prognostizierung der Gehalte an gelösten Substanzen während und nach der Flutung und zur Konzipierung der Wasserreinigungstechnologien.

Zur Beschreibung dieser Prozesse werden seit 1990 international angewandte Simulationsverfahren, wie z. B. MODFLOW/MT3D, TRAMIS und PHREEQE eingesetzt. Probleme für die Anwendung von Modellierungsverfahren ergeben sich aus den tektonisch stark gestörten Lagerungsverhältnissen

und den daraus resultierenden Anisotropieeffekten, den bergmännischen Auf-
fahrungen und der Bewertung ihrer Permeabilität, dem Auftreten von Kluft-
grundwasserleitern und der Ermittlung ihrer hydraulischen Parameter.

Auch wenn die Simulationsverfahren daher kritisch bewertet werden müs-
sen, sind folgende Anforderungen an die Modelle zu stellen:

- Systematisieren der Datenbasis für die Modelle
- Richtiges Widerspiegeln des Gesamtwasserhaushaltes
- Identifizieren von Entlastungspunkten und -mengen
- Sensitivitätsbetrachtungen zur Lage der GW-Stände nach der Flutung
- Modellierung des Stofftransportes, Abschätzung von Schadstofflasten und
Ausbreitungsdynamik.

Zur Erweiterung der Datenbasis werden in einigen Grubenbereichen Experi-
mental- bzw. Teilflutungen durchgeführt. Eine exakte Kalibrierung der Mo-
dellansätze kann jedoch erst in der Flutungsphase erfolgen und muß in den
nächsten Jahren intensiv fortgesetzt werden.

3.7 Monitoring

Die Überwachung des Grundwassers im gesamten vom Bergbau beeinflussten
Gebiet beinhaltet bis zur Einstellung der Produktion im wesentlichen die
Kontrolle der erforderlichen Grundwasserabsenkung. In Vorbereitung der
Flutungen wurde ab 1991 mit dem Aufbau eines umfangreichen Monitoring-
systems durch Sanierung und Erweiterung des vorhandenen Grundwasser-
meßnetzes begonnen, um von über Tage eine ausreichende Kontrolle und
Überwachung des Wiederanstiegs zu gewährleisten.

Das konzipierte Meßnetz gewährleistet die Kontrolle und Bewertung der
hydrodynamischen Verhältnisse vor, während und nach Abschluß des Flu-
tungsprozesses im Bereich der Absenkungstrichter sowie in möglichen Tran-
sitgebieten. Auch die Permeabilität von Störungszonen, mögliche Grundwas-
seraustritte am Flutungsende und die hydrochemischen Verhältnisse während
und nach der Flutung können bewertet und kontrolliert werden. Nach Ab-
schluß der geplanten Arbeiten werden z. B. in der Lagerstätte Ronneburg
101 Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen zur Überwachung der Grund-
wasserbeschaffenheit und 184 Grundwassermeßstellen zur Kontrolle des
Grundwasserstandes verfügbar sein.

Die Erfassung der chemisch-physikalischen Parameter aus Grundwasser-
meßstellen mit Wasserspiegellagen > 100 m unter Gelände ist derzeit noch
nicht völlig geklärt. Während die Beprobung von Gütepegeln mit ober-
flächennahem Wasserspiegel (< 100 m) durch Einsatz eines mobilen Meß-
systems mit einer GRUNDFOS Pumpe MP 1 erfolgt, müssen für die Para-
meterbestimmung aus Grundwassermeßstellen mit einer Wasserspiegellage
 > 100 m noch Erprobungsarbeiten durchgeführt werden.

Für die Erfassung der Parameter sollen zwei Systeme eingesetzt werden,
und zwar in-situ-Messungen von chemisch-physikalischen Summenpara-
metern durch Sensorik und Probenahmesysteme, die eine teufenorientierte
Beprobung der Grundwassermeßstellen ermöglichen und als Mobilsysteme
mit Probenehmer oder Pumpsystem ausgebildet sind.

In den Lagerstätten Niederschlema-Alberoda und Pöhla-Tellerhäuser er-
folgt die Flutungskontrolle durch periodische Messungen des Flutungs-
wasserstandes und durch Probenahme mit Bestimmung von bis zu 45 physika-
lisch-chemischen Parametern in verschiedenen, je nach Flutungsfortschritt zu-
gänglichen Blind- und Tagesschächten.

In den bisher zur Flutung der untertägigen Grubenbaue erarbeiteten Gut-
achten wird allgemein davon ausgegangen, daß im Zuge der sich verändern-
den geomechanischen Bedingungen eine Aktivierung der abgeklungenen Sen-
kungsprozesse zu erwarten ist. Die zusätzlichen Senkungsbeträge können in
Schlema z. B. zwischen 0,8 und 2,0 m liegen. Ursachen dafür sind veränderte
Reibungsbedingungen und Entfestigung von Versatzmassiven durch saure

Grubenwässer. Zur Überwachung dieser Prozesse wird das bisher existierende Feinnivellementnetz an der Tagesoberfläche fortgeführt und durch Vermarkung zusätzlicher Meßpunkte erweitert.

In der Lagerstätte Niederschlema–Alberoda wurden außerdem zwei seismische Überwachungsanlagen mit 26 Geophonen installiert, die an der Tagesoberfläche und im Grubenraum über dem Flutungswasserspiegel seismische Ereignisse aus Spannungsvorgängen im Kontaktbereich des Granits registrieren.

3.8 Wasserbehandlung

Trotz aller Präventivmaßnahmen muß heute davon ausgegangen werden, daß die nach Abschluß der Flutung austretenden Wässer behandelt werden müssen. Ziel der Wasserbehandlung ist die Absenkung der Konzentrationen und Lasten von Uran, Radium, Arsen, Eisen und eventuell auch von Neutralsalzen und Härtebildnern.

Dazu wurden von der WISMUT GmbH Untersuchungen zur Anpassung bekannter und technisch erprobter Verfahren zur Wasserreinigung und sicheren Verwahrung der Reststoffe an die konkreten Bedingungen und Reinigungsziele der einzelnen Sanierungsstandorte in Auftrag gegeben.

Die erste Behandlungsanlage für kontaminiertes Grubenwasser wurde im Bereich der Lagerstätte Pöhl–Tellerhäuser errichtet. In ihr wird das in Abbildung 8 dargestellte Verfahrensschema angewendet.

In einer ersten Stufe wird nach Ansäuern mit Salzsäure und durch Zugabe von Bariumchlorid das Radium ausgefällt. In der zweiten Stufe erfolgt über ein Ionenaustauscherharz (GoPur) die Abtrennung des Urans. In einer dritten Stufe wird dann durch Zugabe von Eisenchlorid Arsen abgetrennt.

Das gereinigte Wasser wird in die Vorflut abgegeben. Der Fällungsschlamm wird entwässert und in Fässern zunächst im Grubengebäude zwischengelagert.

Für die anderen Standorte werden ähnliche Konzepte entwickelt.

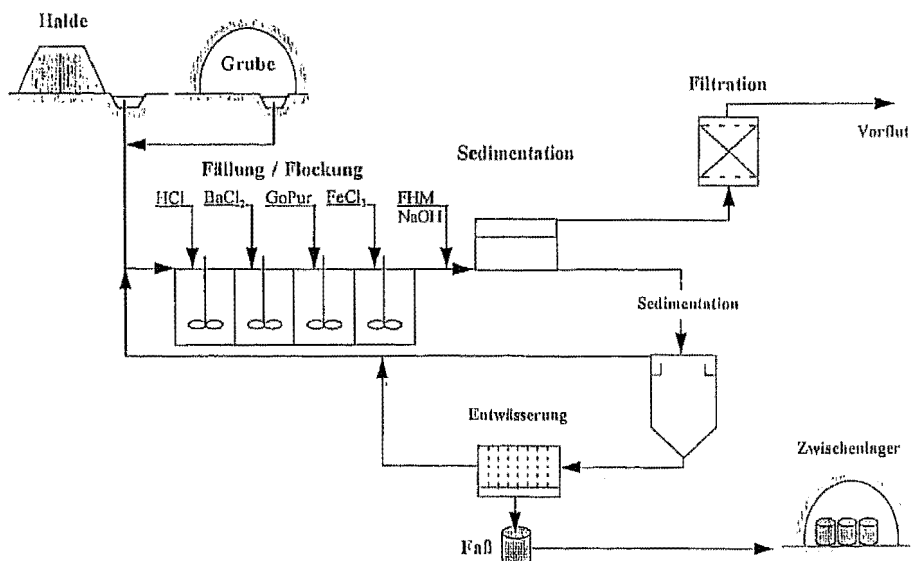


Abb. 8. Wasserbehandlung Pöhl

4 Gegenwärtiger Flutungsstand

Mit der Flutung der Gruben wird ein wichtiger Teil der Sanierungskonzeption der Wismut GmbH verwirklicht. Am weitesten fortgeschritten ist die Flutung z. Z. in der Grube Pöhl–Tellerhäuser. Der Flutungsstand betrug hier im Juni

1995 + 540 m NN. Bis zur Stollensohle und damit zum Überlauf fehlten noch rund 46 m.

In der Lagerstätte Niederschlema-Alberoda werden zum Fluten ausschließlich im Grubenraum zuzitzende Infiltrationswässer genutzt. Diese Wässer fallen überwiegend im tagesoberflächennahen Grubenraum oberhalb der -540 m Sohle an und können zum Teil auf dieser Sohle gefaßt werden. Dieser Wasseranteil von durchschnittlich 9000 m³/d wird vorläufig noch aus der Grube gepumpt. Der verbleibende Teil von durchschnittlich 6000 m³/d wird über Rohrleitungen des früheren Wasserhaltungssystems in die Teufe geleitet und dort unterhalb des aufsteigenden Flutungswasserspiegels ausgeschüttet. Bis Juni 1995 standen 980 Teufenmeter und ein Volumen an bergmännischen Hohlraum von 10,5 Mio. m³ (ca. 22% der Grube) unter Wasser. Der wöchentliche Wasseranstieg beträgt in Abhängigkeit vom schwankenden Wasserzulauf in die Grube und von der Hohlraumverteilung ca. 1 bis 10 m.

In der Lagerstätte Ronneburg wurden bisher nur drei kleinere hydrogeologisch isolierte Teilbereiche auf den tiefen Sohlen geflutet. Die Flutung des Lagerstättenteiles südlich der Autobahn A 4 bis in Höhe der -240 m Sohle ist beim Bergamt beantragt. Auf dieser Sohle befinden sich die letzten Wasserhaltungen und damit die letzte Möglichkeit eines Stoppens der Flutung.

In der Lagerstätte Gittersee hat die Flutung im Mai begonnen. Es wird erwartet, daß das Wasser bis auf das Niveau des Tiefen Elbstollens ansteigt und dann über diesen in die Elbe entlastet. Zur Zeit wird die Sanierung dieses Stollens vorbereitet.

In der Lagerstätte Königstein wurde bisher nur ein kleiner Abschnitt im Nordteil der Lagerstätte, der zum übrigen Flutungsraum abgedämmt wurde, zur Gewinnung zusätzlicher Daten für die Modellierung geflutet. Es ist vorgesehen, den restlichen Grubenraum in mehreren Etappen bis zu einer Höhe von +250 m NN zu fluten. Die Genehmigung für den ersten Abschnitt soll 1996 beantragt werden.

5 Ausblick

Die Flutung der Gruben ist eines der Hauptelemente des Sanierungskonzeptes der WISMUT GmbH. Von den eingangs erwähnten bis 1994 für die Sanierung aufgewendeten 3,5 Mrd. DM entfallen 850 Mio. DM allein auf die wissenschaftliche und praktische Vorbereitung der Flutung.

Erste Ergebnisse beweisen die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges. Die regelmäßige Beprobung der Emissionen sowie die Kontrolle der Immissionen in Oberflächengewässer ergaben seit 1989 eine Verringerung der Einleitung von Uran auf ca. 30% und von ²²⁶Ra auf ca. 40% der ursprünglichen Werte.

Diese Entwicklung, die Auswertung der Flutungsergebnisse anderer Gruben und die Resultate der durchgeführten Modellierungen zeigen, daß mit der Flutung der Urangruben die Belastung des Wasserpfades auf ein ökologisch vertretbares Maß reduziert wird und die vor dem Beginn des Uranbergbaus vorhandenen hydrologischen Bedingungen zwar nicht völlig wieder hergestellt, aber doch weitestgehend restauriert werden können.

Schrifttum

- [1] M. Hagen: Stand der Wismut-Sanierung; in: Deutsches Atomforum e. V. (Ed.): Kernenergie für den Standort Deutschland. – Inforum-Verlag, Bonn 1994 (S. 141–152).
- [2] M. Hagen: Objectives and main activities of the current Wismut remediation concept; in: R. G. Post (Ed.): Technology and Programs for Radioactive Waste Management and Environmental Restoration. – Proc. Waste Management Symposium at Tucson, Arizona, Feb. 27–March 3, 1994, Vol. I, pp. 51–53, Washington D.C.
- [3] Bundesministerium für Wirtschaft: Wismut – Stand der Stilllegung und Sanierung. – Reihe BMWi-Dokumentation Nr. 335, Bonn 1993 (34 S.).

- [4] *G. Lange, P. Mühlstedt, G. Freyhoff, B. Schröder*: Der Uranerzbergbau in Thüringen und Sachsen – ein geologisch-bergmännischer Überblick: *ERZMETALL* **44** (1991), 162–171.
- [5] *R. Gatzweiler, D. Mager*: Altlasten des Uranbergbaus. Der Sanierungsfall Wismut: *Die Geowissenschaften* **11** (1993) 164–172.
- [6] *G. Lange, G. Freyhoff*: Geologie und Bergbau in der Uranlagerstätte Ronneburg/Thüringen: *ERZMETALL* **44** (1991) 262–269.
- [7] *W. Büder, W. Schuppan*: Zum Uranerzbergbau im Lagerstättenfeld Schneeberg–Schlema–Alberoda im Westerzgebirge. Schriftenreihe der GDMB, H. 64, Clausthal-Zellerfeld 1992.
- [8] *G. Altmann*: Urangewinnung durch Lösungsbergbau im Elbsandsteingebirge: *ERZMETALL* **43** (1990) 498.
- [9] *W. Kraft, D. Schröder*: Grundwasserspendenschlüssel und ihre Anwendung bei der Ermittlung des Grundwasserdargebotes im Festgestein-Grundwasserleiter, *Z. f. angewandte Geologie* **28** (1982) 4, S. 153–161.
- [10] *M. Eckart*: Probleme bei der Flutung im Ronneburger Bergbauegebiet. – Veröff. Museum Gera, Naturwiss. Reihe 20, S. 74–81, Gera 1993.



**Die Bundesanstalt
für Geowissenschaften und
Rohstoffe (BGR)**

sucht zum frühestmöglichen Zeitpunkt
einen

wissenschaftl. Angestellten

(Verg.Gr. Ib BAT)

(Stellenausschreibung B 44/95)

mit

- abgeschlossenem Hochschulstudium der Fachrichtung Bergbau oder Aufbereitung und praktischen Erfahrungen in diesen Bereichen,
- Bereitschaft zu Tätigkeiten im Ausland,
- guten Sprachkenntnissen in der englischen und möglichst einer weiteren Fremdsprache (spanisch, französisch),
- Untertaugtauglichkeit

für das Management der Technischen Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern im Bereich mineralischer Rohstoffe bis zur Weiterverarbeitung zu Vorstoffen und für technisch-bergwirtschaftlichen Untersuchungen und Prüfungen.

Anerkannte Schwerbehinderte werden bei gleicher Eignung bevorzugt berücksichtigt.

Ihre aussagekräftige Bewerbung richten Sie bitte innerhalb eines Monats nach Erscheinen dieser Anzeige unter Angabe der Ausschreibungs-Nr. an die **Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) – Personalhaushalt** –, Stilleweg 2, 30655 Hannover.