

Technische Universität Bergakademie Freiberg

Graduiertenkolleg

„Geowissenschaftliche und Geotechnische Umweltforschung“

Interdisziplinäres Ökologisches Zentrum

Lehrstuhl für Hydrogeologie

Bericht zur geologisch-geotechnisch-ökologischen Exkursion
nach

Slowenien

vom 18. September - 3. Oktober 2000

Leitung:

Dr. Ch. Wolkersdorfer
Prof. Dr. J. Matschullat

27.09.00 Uranbergwerk Žirovski Vrh

Leitung:

Dipl. Ing. Geol. I. Gantar
Dipl. Ing. L. Zmago

Bereicht von:

Gunnar Lehmann

1. Einleitung/ Lage

Die Uranlagerstätte Žirovski Vrh liegt etwa 30 km westlich der slowenischen Hauptstadt Lubljana im Tal des Fließchens Brebovščina, in einer Höhe zwischen etwa 400 und 600 m ü. NN. Zwischen dem Žirovski Vrh Höhenrücken (960 m ü. NN) im Südwesten und den Črna Gora Bergen (611 m ü. NN) im Nordosten entwässert die Brebovščina das Lagerstättengebiet in Richtung Nordwesten. Unter dem Žirovski Vrh Höhenrücken selbst erstreckt sich das Grubengebäude in einer Höhe von 430 m ü. NN am Stollenmundloch bis in eine Höhe von 580 m ü. NN auf der 1. Sohle („Gantar“ 2000). Direkt vor dem Stollenmundloch befindet sich die wichtigste Halde des Bergwerkes. Im Tal der Brebovščina befanden sich die zum größten Teil bereits schon wieder abgerissenen Aufbereitungsanlagen. Am gegenüberliegenden östlichen Talhang, dem Südwesthang der Črna Gora Berge, in einer Höhenlage von 530 m ü. NN - 560 m ü. NN, wurden die Aufbereitungsrückstände der Lagerstätte deponiert („Gantar“ 2000).

2. Geschichte des Uranabbaus in Žirovski Vrh

Entdeckt wurde die Lagerstätte im Jahre 1960 auf Grund einer radioaktiven Anomalie im Brebovščina Tal. Bei ersten Untersuchungen konnten auch sekundäre Uranminerale an der Erdoberfläche gefunden werden („Pavčević & Goresy“ 1987). Während der anschließenden Exploration von 1961 bis 1968 wurde eine Uranvererzung in einem Abbaublock von 2000 m Länge, 180 m Höhe und 150 m Breite erkundet („Gantar“ 2000).

Im Jahre 1981 konnte der Erzkörper erstmals bergmännisch erschlossen werden. 1982 erfolgte der erste Uranabbau in der Lagerstätte und 1984 wurde die volle Produktionsleistung des Bergwerkes erreicht. Ebenfalls 1984 konnte mit der Produktion von yellow cake (Ammoniumdiuranat) in der Aufbereitungsanlage im Brebovščina Tal begonnen werden.

Das Uran der Mine diente in aufbereiteter Form im Kernkraftwerk Krško als Brennstoff zur Energiegewinnung.

Zum Zwecke der Vorrichtung des Erzkörpers wurden zwischen 430 m ü NN und 580 m ü. NN insgesamt fünf Sohlen sowie mehrere Schächte und Rampen aufgefahren. Während der gesamten Betriebszeit wurden insgesamt 60 km Strecken angelegt („Gantar“ 2000). Das Erz wurde zuerst mittels Kammer-Pfeiler-Bau von oben nach unten, später durch Kammer-Pfeiler-Bau mit Versatz von unten nach oben abgebaut („Gantar“ 2000).

Ökonomisch möglich war der Abbau der Uranerze nur wegen der Autarkiebestrebungen im ehemaligen Jugoslawien (Weltmarktpreis: ca. 20 bis 25 \$/kg U_3O_8 ; Produktionskosten in Žirovski Vrh: 60 \$/kg U_3O_8). Nach Erlangung der Unabhängigkeit Sloweniens im Jahre 1990 wurde die Erzförderung sofort eingestellt.

Während der Betriebszeit von 1984 bis 1990 wurden insgesamt 620.000 Tonnen Erz mit einem durchschnittlichen Urangehalt von 0,7 kg/t gefördert. Daraus wurden 450 t yellow cake produziert („Gantar“ 2000). Erkundet sind nach „Gantar“ 2000 noch 1.880.000 t Erz als sichere Vorräte mit einem Gehalt von 0,14 % U, 8.770.000 t Vorräte der Kategorie I mit einem Gehalt von 0,13 % U und 1.260.000 t Vorräte der Kategorie II mit einem Gehalt von 0,11 % U („Gantar“ 2000). Die derzeitigen Arbeiten auf dem Gelände des Uranbergwerkes dienen ausschließlich der Sicherung und dem Abriß der über- und untertägigen Produktionsanlagen. Bis ins Jahr 2005 sollen die Arbeiten zur Schließung des Bergwerkes abgeschlossen sein. Um gegebenenfalls weitere notwendige Sanierungsmaßnahmen einleiten zu können soll in den darauffolgenden Jahren die Umweltbeeinflussung weiter beobachtet werden.

3. Geologische Verhältnisse und Genese der Lagerstätte

Die Uranvererzungen der Lagerstätte Žirovski Vrh befinden sich in den Sandsteinen der Grödener Schichten, welche im mittleren Perm unter ariden Klimabedingungen in einem kontinentalen Ablagerungsraum sedimentiert wurden („Jokanovič et al.“ 1972). Diese Schichten lassen sich von den Südalpen in Norditalien über Südösterreich und Zentralslowenien bis nach Ungarn verfolgen. Sie bauen sich aus einer liegenden grauen Serie und einer hangenden roten Serie auf („Drovenik & Pleničar“ 1980).

Im etwa 200 bis 250 m mächtigen liegenden Teil der Schichtfolge überwiegen graue und grüne Grob- bis Mittelsandsteine gemeinsam mit Konglomeraten und konglomeratischen Sandsteinen. Rot gefärbte klastische Sedimente treten nur sehr selten auf. Die in den Sedimenten auftretenden Schichtungsphänomene und Rinnen zeigen eine fluviatile Entstehung dieser Abfolge an („Drovenik & Pleničar“ 1980).

Der hangende Teil der Grödener Schichten ist etwa 350 bis 400 m mächtig und wird vorwiegend aus roten Mittel bis Feinsandsteinen sowie Schluffsteinen gebildet. Graue und grüne Schichten sind in dieser Abfolge sehr selten. Aufgrund der sedimentologischen Merkmale werden diese Sedimente als Ablagerungen von Flutereignissen (flood plains) gedeutet („Drovenik & Pleničar“ 1980).

Liefergesteine für die klastischen Sedimente waren vor allem unterkarbone Rhyolithe sowie untergeordnet auch Sedimentite und Metamorphite („Pavčević & Goresy“ 1987 - „Drovenik & Pleničar“ 1980).

Anwachsungen an detritischen Quarz- und Plagioklaskörnern, authigene (neugebildete) Albitkörner und verschiedene Generationen von Quarz und Karbonatmineralen zeigen eine diagenetisch epigenetische und eine retrograde epigenetische Alteration an. Die vorhandenen Minerale belegen, daß bei dieser Überprägung Temperaturen von mindestens 200 °C erreicht worden sind („Drovenik & Pleničar“ 1980).

Die Erzkörper befinden sich in den grau-grünen klastischen Sedimenten der liegenden Abfolge. Diese Abfolge kann in vier Zyklen gegliedert werden. Der untere Zyklus liegt diskordant auf karbonischen und unterpermischen Schichten und besteht hauptsächlich aus einem basalen Konglomerat mit undeutlicher Schichtung. Im zweiten Zyklus, der sich aus teilweise gut geschichteten Sandsteinen und Konglomeraten aufbaut, finden sich Spuren von Uran und Sulfiden. Der dritte Zyklus besteht aus schräg geschichteten Sandsteinen und Konglomeraten. In diesem etwa 40 bis 60 m mächtigen Horizont liegen die Uranvererzungen die in Žirovski Vrh Gegenstand des Abbaus waren. Der vierte und letzte Zyklus dieser liegenden grauen Abfolge besteht aus Mittel- bis Grobsandsteinen, welche stellenweise Pechblende und Sulfide führen. In den roten klastischen Sedimenten, aus denen sich der hangende Teil der Grödener Schichten aufbaut, wurden keine Vererzungen angetroffen („Drovenik & Pleničar“ 1980). Der gesamte Schichtkomplex wurde von der Alpidischen Orogenese erfaßt, steilgestellt, gestört, überschoben und zu einer S-förmigen Struktur verfaltet.

Wichtigstes Erzmineral ist Pechblende. Es kommt meist im Zement der Sandsteine vor. Durchschnittlich erreicht das Erz eine Korngröße von 10 µm. In sehr reichen Erzpartien „schwimmen“ die detritischen Quarzkörner in einem Zement aus Pechblende. Teilweise werden die Uranvererzungen von Sulfiden begleitet. Maximal wurden 5% Sulfide angetroffen („Drovenik & Pleničar“ 1980). Diese Sulfidvererzung besteht vorwiegend aus Pyrit und untergeordnet auch aus Galenit, Sphalerit, Chalkopyrit, Arsenopyrit und Tennantit. Die Erzfällung erfolgte beim Umschlag der eH-Werte in den Lösungen zu reduzierenderen Bedingungen und ist oft gebunden an organisches Material. Deshalb wurden relativ häufig Pseudomorphosen von Pechblende und Pyrit nach organischem Material gebildet. Neben der Pechblende treten noch Coffinit als primäres sowie Autunit, Torbernit und Metatorbernit als sekundäre Erzminerale auf („Pavčević & Goresy“ 1987).

Die Uranlagerstätte Žirovski Vrh ist mit großer Wahrscheinlichkeit eine sedimentäre Erzlagerstätte vom „Roll Front Typ“ („Pavčević & Goresy“ 1987 - „Drovenik & Pleničar“ 1980). Die Vererzungen können aufgrund der geochemischen Paragenese auf Sedimente zurückgeführt werden. Wegen der Isotopenzusammensetzung des Schwefels ist eine biogene Schwefelquelle (bakterielle Sulfatreduktion) anzunehmen. Während der Diagenese, bei der Druck- und Temperaturbedingungen erreicht wurden, die bereits den Übergang zu einer niedriggradigen Regionalmetamorphose bilden, konnten Teile der Pechblende und der Sulfide noch einmal mobilisiert und umgelagert werden. Auf Grund dieser Remobilisation und den damit verbundenen hohen Gehalten an nichtradioaktivem Blei in den Uranmineralen war eine Datierung der Erze über die Uran-Blei Methode nicht möglich („Pavčević & Goresy“ 1987). In der Umgebung von Škofia Loka befinden sich weitere Uranerzvorkommen dieses Typs. Bei Škofje treten in den Grödener Schichten ebenfalls während der Diagenese gebildete Kupfererze auf („Drovenik & Pleničar“ 1980).

4. Umweltprobleme und Sanierungsmaßnahmen

Im Gebiet der Lagerstätte Žirovski Vrh beträgt der mittlere Jahresniederschlag etwa 1800 mm/m² und die Verdunstung etwa 500 mm/m² („Gantar“ 2000). Der überwiegende Anteil des Niederschlagswassers wird also durch das Flößchen Brebovščina in Richtung Sava abgeführt. In der Brebovščina fließen im Mittel 2650 m³/h (740 l/s) („Gantar“ 2000).

Auf Grund der meist geringen Permeabilität der anstehenden Festgesteine und der relativ geringen Lockergesteinsüberdeckung fließt ein relativ großer Teil des Niederschlagswassers überirdisch ab oder hat nur sehr geringe Verweilzeiten in oberflächennahen Grundwasserleitern. In den Bereich der Uranvererzungen kommt so nur ein relativ kleiner Anteil des Grundwassers. Trotzdem fließen dem noch offenen Grubengebäude mit 70 bis 85 m³/h (20 bis 24 l/s) beträchtliche Mengen Wasser zu („Gantar“ 2000).

Das Abwasser der Grube ist mit Radon und Uran belastet. Eine weitere chemische Kontamination neben den erhöhten Uran- und Radonwerten liegt nicht vor.

Während der gesamten Betriebs- und Sanierungszeit führte das Grubenwasser 200 bis 400 µg/l Uran und war mit 50 bis 250 Bq/m³ durch Radon belastet („Gantar“ 2000). Derzeit beträgt die Belastung mit Uran etwa 290 µg/L und mit Radon 50 Bq/m³. Mit bis zu 6000 µg/L U sind vor allem die Zuflüsse aus Erkundungsbohrungen und alten Abbauen sehr hoch belastet („Gantar“ 2000). Eine Verringerung der Kontamination der Grubenwässer soll durch ein Entwässern des Gebirges um den eigentlichen Erzkörper herum erfolgen, so daß das Grundwasser gar nicht erst bis zum Erzkörper gelangt und dort Uranminerale lösen kann. Um diese Drainage durchzuführen, ist es geplant, gezielte Entwässerungsbohrlöcher von Untertage aus anzulegen („Gantar“ 2000).

Da der Entwässerungsstollen unterhalb der tiefsten Sohle angelegt werden konnte, ist das Grubengebäude nicht geflutet. Das Grubenwasser fließt direkt über eine mechanische Reinigungsanlage zur Entfernung von Schwebstoffen in die Brebovščina. Das so in den Fluß abgegebene Wasser enthält weniger als 5 mg/l an Schwebstoffen („Gantar“ 2000).

Die größte Halde des Bergwerkes befindet sich im Tal des Baches Jazbec (1 bis 25 m³/h). Hier lagern etwa 50000 t Abraum des Bergwerkes und 15000 t Bauschutt der abgerissenen Aufbereitungsanlagen. Unter der Halde wurde vor deren Anlage eine Drainage installiert, welche die Sickerwässer der Halde auffängt. Durch die Oberflächenwässer des Jazbec werden die in geringer Menge anfallenden Sickerwässer aus der Halde sofort verdünnt. In diesen Sickerwässern konnte bei Maximalgehalten an Uran von 575 µg/l eine mittlere Urankonzentration von 310 µg/l gemessen werden („Gantar“ 2000). Problematisch ist das Vorhandensein von verkarsteten untertriassischen Karbonaten unter der Halde. Diese könnten ein unkontrolliertes Abfließen von kontaminierten Sickerwässern ermöglichen. Eine Verringerung der Kontamination durch Sickerwässer ist nach vollständiger Abdeckung der

Halde im Zuge der Sanierungsmaßnahmen zu erwarten, da dann kaum noch Wasser in die Halde einsickern und Uranminerale lösen kann.

Wegen des hohen Wassergehaltes und der erhöhten Radioaktivität mußten die Rückstände der Erzaufbereitung gesondert deponiert werden. Als Deponiestandort wurde eine Fläche östlich des Bergwerkes gewählt. In einer Höhenlage von etwa 550 m war auch bei Inversionswetterlagen eine geringe Radonbelastung der Luft im Tal garantiert. Die unterlagernden untertriasischen Schluffsteine versprachen eine gute Abdichtung der Halde nach unten. Als Basisabdichtung wurde zusätzlich eine 1 m mächtige Schicht Abraum der Grube und eine Kunststofflage eingebracht.

Zur Entwässerung zweier jetzt unter der Halde liegender Quellen wurde eine Drainage verlegt. Somit können die Wässer dieser Quellen keine Uranminerale in der Halde lösen. Durch Gerinne wird das Niederschlagswasser der höher am Hang gelegenen Gebiete um die Halde geleitet. Für die trotzdem anfallenden Haldensickerwässer wurde unterhalb der Halde ein Schlammteich angelegt. Durch die Halde sickern Regenwässer verursachen eine radioaktive Kontamination im Schlammteich unterhalb der Halde. Die hier dem Teich zufließenden Wässer besitzen eine Urankonzentration von 2200 µg/l. Durch biologische Aktivität können große Teile des Urans gefällt und im Sediment des Schlammteiches gebunden werden. Am Auslauf ist das Wasser nur noch mit etwa 42 µg/l Uran belastet.

Auf der Halde lagern jetzt insgesamt etwa 700.000 t Aufbereitungsrückstände und Bergematerial der Grube. Da aus den Erzen in der Aufbereitung nur etwa 90 % des Urans gewonnen werden konnten, besitzen die Rückstände auf der Halde immer noch eine etwa 20 mal höhere Radioaktivität als die umgebenden Gesteine. Abgedeckt ist die Halde zur Zeit nur teilweise durch eine dünne Bodenschicht. Im Zuge der weiteren Sanierungsmaßnahmen soll durch ein Abdecken der Halde die direkte Strahlung vermindert und ein Durchsickern von Oberflächenwässern verhindert werden.

Durch die Anlage der Halde wurde eine alte Gleitbahn in einer Tuffitlage unterhalb der Halde wieder aktiviert. Ein insgesamt 7.000.000 t schwerer Gesteinskomplex mit der Halde darauf begann sich in Richtung Tal zu bewegen. Am deutlichsten sind die Auswirkungen der Rutschung an der Zerstörung des Gerinnes, welches die Oberflächenwässer um die Halde leitet, sichtbar. Um diese Rutschung zu stoppen, wurde unter der Halde ein Stollen mit Seitenstrecken und Entwässerungsbohrungen angelegt, der den Tuffithorizont entwässern soll. Dieses Vorhaben gelang auch. Durch die Senkung des Grundwasserspiegels konnte die Rutschung nach etwa einem Meter zum Stillstand gebracht werden.

Im Jahre 2005 sollen die Sanierungsmaßnahmen abgeschlossen sein.

5. Literatur

DROVENIK, M. & PLENICAR, M. (1980): The origin of Slovenian ore Deposits. In: Geologija, **23**: S.: 1-165; Ljubljana.

GANTAR, I. (2000 A): Žirovski Vrh uranium mine geological description. S.: 1 – 23; Todraz (Eigenverlag).

JOKANOVIČ V., RADOŠEVIČ S., RISTIČ M. (1972): The Uranium Deposit of Žirovski Vrh. In: Geologija; **15**; S.: 91 – 92.

PAVČEVIĆ, M. & GORESY, A. (1987): Mineralogy of the Uranium Deposit of Žirovski Vrh, Slovenia/Yugoslavia. In: Monograph Series on Mineral Deposits; **27**: S.: 113 – 128.