

Dr. F. Balck

28. Nov. 1995

Bericht über Verformungsmessungen im
Feuergezáher Gewólbe im Rammelsberg bei Goslar
vom Mai bis November 1995

Überblick

Das Feuergezäher Gewölbe gehört zum historischen Teil des Rammelsberger Bergbaus. Es handelt sich um eine ausgemauerte Radstube aus dem 13. Jahrhundert mit einer leicht trapezförmigen Grundfläche von 5 m x 7,5 m und einem gotischen Gewölbe mit einer Firsthöhe von 7,5 m. Seine Lage ist in Abbildung 1.1 gezeigt. In unmittelbarer Nähe führt der Raths-Tiefste Stollen vorbei. Abbildung 1.2 zeigt die Struktur der Radstube und gestrichelt angedeutet auch die vermutliche Lage des Rades.

Die Hauptachse des Gewölbes ist um 40 Grad gegen die Nord-Süd-Richtung gedreht. (Abb. 1.3). Die Seitenwände stehen nicht parallel zueinander, sodaß die Kämpfer auf der nordöstlichen Seite bei einer Höhe von 4,7 m beginnen und auf 6,2 m ansteigen. Auf der südwestlichen Seitenwand befinden sich die Kämpfer in einer Höhe von 4,7 m. (Abb. 1.2)

Quer zum First soll sich früher die Radachse befunden haben. Heute sind auf jeder Seite zwei Nischen von etwa 1 m Breite und 1,5 m Höhe zu sehen, deren Mittelpunkt etwa 3,2 m über der heutigen Sohle liegt. Der maximale Abstand der Rückwände der Nischen (lichte Weite für die Radachse) beträgt 7,5 m.

Das Gewölbe ist im Bereich der Nischen - in Firstrichtung gesehen - rechts und links um ca. 0,7 m verbreitert. Zwei gemauerte Bögen mit einer Breite von 3,5 m und einer Firsthöhe von 4 m stützen die Seitenwände ab. In südwestlichen Teil befindet sich ein weiterer kleinerer Gewölbebogen mit einer Breite von 2 m und einer Firsthöhe von ebenfalls 2 m. Die hier entstandene Nische hat eine Tiefe von ca. 1 m. In der Wand sind zwei Öffnungen gezeichnet, die den Anschein erwecken, daß die Bergleute ihre Lampen hier aufgestellt hätten. (In den Zeichnungen und Beschreibungen von BORNHARDT 1931 befand sich hier keine Öffnung sondern gewachsener Schiefer.)

Im Boden ist die Lage des ehemaligen Schachtes gestrichelt gezeichnet. Der heutige Untergrund besteht aus verhältnismäßig locker liegendem Abraum (Schiefer).

Es gibt vier Öffnungen in den Wänden, in jeder Stirnwand zwei. Der untere Durchgang (Breite 1 m, Höhe 2,5 m) in der südöstlichen Wand ist zugemauert und die kleine Öffnung am First (Breite 0,6 m, Höhe 1 m) führt zu einem Gang, der nach wenigen Metern endet.

In der nordwestlichen Wand wird die untere Öffnung heute als Hauptzugang benutzt. Die obere Öffnung hat Verbindung zum Grubengebäude, in ihr hängt der Scheinwerfer für die Beleuchtung.

Bis auf zwei Stellen ist das Gewölbe komplett ausgemauert. Lediglich in der Süd-Ost-Wand (Abb. 9.1 linker Bildrand) und in der südwestlichen Nische ist der gewachsene Schiefer zu erkennen.

Beschreibung des Gewölbes

Für die Beschreibung des geometrischen Aufbaus und die Kartierung der Schäden wurde das Gebäude mit einem reflektorlosen Tachymetersystem vermessen und kartiert.

Die folgenden Abbildungen 1.3 bis 4.6 zeigen die Ergebnisse.

Für die Art dieser Darstellung gilt:

Es handelt sich um maßstabsgerechte Skizzen, d.h. die Linien verbinden Originalmeßpunkte, sie wurden nicht geglättet und es wurden keine fehlenden Stücke per Hand ergänzt. Die Linien stellen jeweils die direkte Verbindung zwischen zwei Meßpunkten dar. Die Legende (Abb 1.4) zeigt die bei der Datenaufnahme verwendeten Linientypen. Schnittlinien (grün gestrichelt) wurden frei Hand festgelegt, sie bilden in der Regel keine exakte Ebene.

In den Abbildungen 2.1 bis 2.4 wurde das Gewölbe isometrisch in vier Richtungen dargestellt. Es handelt sich um die Darstellung als Drahtmodell, d.h. es sind gleichzeitig alle aufgenommenen Messlinien sichtbar. Die Abbildungen 3.1 bis 3.3 zeigen das Gewölbe ebenfalls als Drahtmodell in seinen Hauptrichtungen (senkrecht, parallel zum First und als Durchsicht von oben).

Die Radstube weist an vielen Stellen Risse und Verschiebungen auf, die teilweise bis zu 15 cm und mehr betragen. Der kleine Gewölbebogen in der SW-Wand wurde mit einem Holzstempel abgestützt, um weitere Schäden zu vermeiden (Abbildung 3.1, blau).

Von der Nord-West-Wand ragt nahezu die obere Hälfte der nördlichen Ecke ca. 20 cm nach innen. Sie wird von einem U-förmigen Profileisen auf einer Länge von ca. 3 m getragen (Abbildung 3.2, rot). Das Eisen wurde mit einem Holzstempel (blau) abgestützt.

Die Kartierung der Risse wurde durch Handaufmaße ergänzt (Diplomarbeit Rainer Wolf, TU-Clausthal 1995). In den Abbildungen 5.1 bis 5.4 sind die Risse dargestellt und mit Nummern gekennzeichnet.

Die Fotos in Abb. 7.1 bis 7.5 ergänzen die Beschreibung.

Schwerwiegende Risse und Verformungen sind:

- in Abbildung 5.1 1-6
- in Abbildung 5.2 30,31,28,27 ,26,22
- in Abbildung 5.3 38
- in Abbildung 5.4 16

und in Abbildung 7.5 der Riss in der Firste des Gewölbes mit einem Versatz von 6 cm.

Verformungsmessungen

Für die Verformungsmessungen wurden drei Ebenen parallel zu den Stirnwänden festgelegt (Ebene A,B,C mit den Punkten A1 bis A8, B1 bis B10 und C1 bis C8 in Abbildung 4.1 bzw 4.2), in denen in unterschiedlichen Höhen Meßbolzen in den Wänden angebracht wurden. Daraus ergaben sich parallel zum Boden verlaufende Meßstrecken (Abbildung 4.3, 4.4, 4.5 und 4.6). Die Meßbolzen aus Edelstahl wurden mit Zweikomponenten-Dübel (UPAT)

in den Bohrlöchern eingeklebt. Der Abstand der Bolzen wurden anfangs per Hand mit einem Extensiometer (gelochtes Edelstahlmaßband mit Feder für die

Zugspannung und Meßschieber für die Feinablesung) und später mit festinstallierten Invardrähten (Gewicht für die Zugspannung und Meßuhr für

die Feinablesung) abgelesen. (Abb. 8.1 und 8.2)

Zusätzlich wurden sechs Meßstrecken A,B,C,D,E und F eingerichtet, die mit einer permanenten elektronischen Ablesung ausgerüstet waren. (Die Bezeichnung A,B,C steht hier für drei elektronische Wegaufnehmer und nicht

für die Meßebenen.) A,B,C und F waren mit Invardraht und Gewicht für die Zugspannung aufgebaut. (Abb. 8.3 und 8.4)

Bei der Auswahl der Anordnung der permanent überwachten Strecken wurde ein

Kompromiß gesucht, mit der geringen Anzahl von Geräten einerseits das Gewölbe und andererseits die anscheinend am stärksten beschädigte Süd-West-Wand zu erfassen.

Da die Stirnwände das Gewölbe nicht tragen, wurden dort keine Aufnehmer befestigt. Der Riß in der Nord-Ost-Wand, ein kompletter Teil der Wand hat sich gelöst, scheint sich seit der Reparatur mit den Granitsteinen (Abb. 7.3 rechts am Bildrand) vor vielen Jahren nur gering zu bewegen.

Die Strecke A (Abbildung 4.2) war senkrecht in der südöstlichen Ecke angebracht.

Die Strecke B (Abbildung 4.2) beobachtete die Diagonale in der Süd-West-Wand. Der Längenmessung erfolgte über einen Umlenkhebel und eine kurze senkrechte Strecke ebenfalls aus Invardraht.

Die Strecke C (Abbildung 4.5) erfasste eine horizontale Strecke in der Ebene C und über einen Umlenkhebel eine senkrechte Strecke in der Nord-Ost-Wand.

Die Strecke D (Abbildungen 4.2, 8.3 und 8.4) bestimmt die Bewegung des Risses in der Firste und zwar die Bewegung der beiden Hälften in Firstrichtung gegeneinander.

Die Strecke E (Abbildung 4.2) mißt die Bewegung der Firsthälften aufeinander zu.

Eine zusätzlich an der Halterung befestigte Meßuhr hat die dritte Komponente der Bewegung der Rissufer ermittelt. (Nach der Fotoaufnahme nachträglich montiert)

Die Strecke F (Abbildung 4.3) war in der Ebene A angebracht. Über einen Umlenkhebel erfolgte die Messung in der Süd-West-Wand.

Die elektronischen Aufnehmer hatten eine Auflösung von 2/1000 (A und F) bzw. 1/1000 mm.

Wegen der hohen Luftfeuchtigkeit wurde die Elektronik mit Silikagel (in den blauen Plastikflaschen) trockengehalten.

Ein Meßrechner sammelte die Daten und übertrug sie per Telefonleitung alle 2 Sekunden nach Übertage, von wo sie täglich automatisch per Modem nach Clausthal gelangten. Auch die Temperatur über dem Eingang wurde erfaßt und aufgezeichnet.

Bis auf die Strecken D, E, A1-A8, B1-B10 und C1-C8 waren alle Längenaufnehmer mit einem Invardraht mit Durchmesser 1 mm ausgestattet. Für die erforderliche Zugspannung sorgte ein Eisengewicht von etwa 2 kg. Die bei den mechanischen Strecken verwendeten Meßuhren hatten eine Skala mit 1/100 mm Teilung.

Damit die Gewichte die Invardrähte spannen konnten, obwohl einige Meßstrecken horizontal verliefen, wurden die Kraft dort mit kugelgelagerten Umlenkhebeln übertragen.

Zur Kontrolle der Höhenbewegung des Gewölbes wurde in der Nähe des Raths-Tiefsten Stollen in der Firste ein Referenzbolzen im Mauerwerk befestigt (Abb. 1.1). Von ihm aus war das Gewölbe mit zwei Zwischenpunkten an dessen Höhe anschließbar. Zur Vermessung der Höhen der Meßbolzen A1, A2, A7, A8, B1, B10, C1, C2, C7 und C8 wurde eine Messingkappe aufgeschraubt, die allerdings wegen der Schrägstellung einiger Wände und mancher Bolzen nur an den Bolzen A1, B1 und C1 exakte Nivellierungen erlaubte.

Die Anordnung der Meßbolzen mit ihren Koordinaten ist in der Tabelle 1 dargestellt. Desweiteren sind auch Paßpunkte aufgeführt, die bei der Vermessung der Geometrie benötigt wurden. (Siehe auch Panoramafotos Abb. 9.1 bis 9.3.)

Ergebnis der Extensionsmessung:

Permanente Überwachung

Die Ergebnisse der permanenten Überwachung sind in den Abbildungen 6.1 bis 6.7 grafisch dargestellt.

Abbildung 6.7 zeigt den Temperaturverlauf. Es ergeben sich Schwankungen zwischen 12,0 und 11,5 Grad. Die thermische Ausdehnung der Invardrähte ist daher vernachlässigbar.

Bei allen Meßaufnehmern zeigt die Beobachtung Veränderungen, die kleiner als 5/100 mm sind.

Die Meßuhr für die dritte Komponente der Bewegung der Rißufer (ergänzend zu den Aufnehmern D und E) zeigte eine Änderung von weniger als 2/100 mm.

Die anderen Meßstrecken, Tabelle 2

(Die Längen wurden grob aus den Tachymeterdaten bestimmt.)

A1-A8:

Länge der Meßstrecke : 4,9 m
Extensiometer mit Bandmaß 21.4.95 bis 9.11.95, Schätzfehler 0,3mm
konstant innerhalb 0.3 mm

A2-A7

Länge der Meßstrecke : 4,7 m
Extensiometer mit Bandmaß 21.4.95 bis 9.11.95, Schätzfehler 0,3mm
konstant innerhalb 0.3 mm
Invardraht mit Meßuhr 20.7.95 bis 9.11.95, Schätzfehler 0,1mm
Abnahme der Strecke um 0.2 mm

A3-A6

Länge der Meßstrecke : 4,4 m
Invardraht mit Meßuhr 15.6.95 bis 9.11.95, Schätzfehler 0,02mm
konstant innerhalb 0.03 mm

A4-A5

Länge der Meßstrecke : 2,0 m
Invardraht mit Meßuhr 15.6.95 bis 9.11.95, Schätzfehler 0,02mm
konstant innerhalb 0.07 mm

B1-B10

Länge der Meßstrecke : 6,6 m
Extensiometer mit Bandmaß 21.4.95 bis 9.11.95, Schätzfehler 0,3mm
konstant innerhalb 0.3 mm

B2-B9

Länge der Meßstrecke : 7,3 m

Extensiometer mit Bandmaß 21.4.95 bis 9.11.95, Schätzfehler 0,3mm
Abnahme der Strecke um 0.5 mm

Invardraht mit Meßuhr 15.6.95 bis 9.11.95, Schätzfehler 0,04mm
Abnahme der Strecke um 0.5 mm

B3-B8

Länge der Meßstrecke : 4,8 m

Invardraht mit Meßuhr 20.7.95 bis 9.11.95, Schätzfehler 0,1mm
Abnahme der Strecke um 0.16 mm

B4-B7

Länge der Meßstrecke : 4,1 m

Invardraht mit Meßuhr 15.6.95 bis 9.11.95, Schätzfehler 0,02mm
Abnahme der Strecke um 0.23 mm

B5-B6

Länge der Meßstrecke : 2,0

Invardraht mit Meßuhr 15.6.95 bis 9.11.95, Schätzfehler 0,02mm
konstant innerhalb 0.06 mm

C1-C8

Länge der Meßstrecke : 4,4 m

Extensiometer mit Bandmaß 21.4.95 bis 9.11.95, Schätzfehler 0,3mm
Abnahme der Strecke um 0.6 mm

C2-C7

Länge der Meßstrecke : 4,6 m

Extensiometer mit Bandmaß 21.4.95 bis 9.11.95, Schätzfehler 0,3mm
konstant innerhalb 0.3 mm

Invardraht mit Meßuhr 20.7.95 bis 9.11.95, Schätzfehler 0,08mm
Abnahme der Strecke um 0.12 mm

C3-C6

Länge der Meßstrecke : 4,4 m

Invardraht mit Meßuhr 20.7.95 bis 9.11.95, Schätzfehler 0,08mm
konstant innerhalb 0.10 mm

C4-C5

Länge der Meßstrecke : 2,7 m

Invardraht mit Meßuhr 15.6.95 bis 9.11.95, Schätzfehler 0,03mm
konstant innerhalb 0.05 mm

Höhenbestimmung

Für das Nivellement wurde mit einem Präzisionsgerät mit planparallelen Platten für die Skalenverschiebung verwendet.

Der Gesamtfehler bei der Hin- und Rückmessung betrug
am 5. 5.95 -0.3 mm und
am 15.11.95 -0.5 mm.

Für die Meßbolzen A1, B1 und C1 ergeben sich bezüglich des Referenzpunktes folgende Verschiebungen in der Zeit vom 5.5.95 bis 15.11.95 :

Bolzen A1	Anstieg um 5,2 mm	Schätzfehler für A1,B1,C1
0,3mm		
Bolzen B1	Anstieg um 5,0 mm	
Bolzen C1	Anstieg um 5,2 mm	

Fehlerbetrachtung

Bei den Meßstrecken mit der elektronischen Aufzeichnung und der hohen Auflösung von 2/1000 und besser wurde die Hysterese überprüft. Es zeigte sich, daß bei den Strecken B,C und F, die mit Umlenkhebel ausgerüstet waren, Hysterese in der Größenordnung der gemessenen Verschiebung vorhanden war. Bei den Strecken A, D und E waren die Effekte unter 1/100 mm.

Für die Strecken mit den mechanischen Meßuhren gilt, daß bei einigen Aufnehmern eine Hysterese von bis zu plus/minus 1/5 mm auftrat. In solchen Fällen wurde der Mittelwert genommen. Bei gut justierten Systemen war die Hysterese kleiner als 2/100 mm. Vor jeder Ablesung wurde die Leichtgängigkeit überprüft bzw. mit Sprühöl und leichtem Klopfen wieder hergestellt.

Bei den Messungen mit dem Extensiometer mit gelochtem Stahlband ist von einer Unsicherheit in der Ablesung von mindestens 0,3 mm auszugehen.

Für die Ermittlung der Koordinaten mit dem Tachymeter gilt, daß die Punkte bezüglich ihrer Lage im Raum auf 2 cm genau angegeben sind.

Zusammenfassung und Deutung

Über einen Zeitraum von einem halben Jahr wurden Beobachtungen im Feuergezäher Gewölbe angestellt. Obwohl erhebliche Risse und Versetzungen in den Wänden zu sehen sind, scheint keine große Bewegung innerhalb des Gewölbes vorzugehen. Wesentliche Änderungen liegen im Bereich von unter einem Millimeter im halben Jahr.

Hierzu gehören die Strecken C1-C8 mit -0,6 mm

C2-C7	mit	-0,12 mm
B4-B7	mit	-0,23 mm
B3-B8	mit	-0,16 mm
B2-B9	mit	-0,5 mm
A2-A7	mit	-0,2 mm

Insgesamt ist eine leichte Annäherung der zum First parallelen Wände zu verzeichnen.

Über die Bewegung der Stirnwände können keine Angaben gemacht werden, da keine Messungen vorliegen.

Obwohl die Süd-West-Wand sehr starke Schäden aufweist, haben die Wegaufnehmer A und B keine starken Bewegungen gezeigt.

Ob allerdings die scheinbare Ruhe im Gewölbe auch in Zukunft anhalten bleibt, ist zweifelhaft.

Die Mauern der süd-westlichen Wand stehen in der Nähe des ehemaligen Schachtes ohne Fundament direkt auf dem gewachsenen Schiefer, wie eine Grabung dort ergeben hat. Wenn der Wasserstand im ehemaligen Schacht weiterhin ansteigt, könnte die verfüllte Schachtsäule absacken und weitere

Veränderungen an der Süd-West-Wand zur Folge haben.

Die nachgewiesene Höhenverschiebung gegenüber dem Referenzpunkt am Raths-Tiefsten von 5 mm scheint für die Stabilität des Gewölbes nicht kritisch zu sein.

Literatur, Quellen für die Abbildungen

- BORNHARDT, W. (1931) Geschichte des Rammelsberger Bergbaus - Bd. 52
- MERZ, V (1985) Erzbergwerk Rammelsberb bei Goslar
Zs. f. Technikgeschichte 2, Brugg (CH)
- WOLF, Rainer (1995) Diplomarbeit, Institut für Ingenieurgeologie
TU-Clausthal
(Abbildung 1.2, Quelle MERZ)
- ROSENECK, R. (1992) Der Rammelsberg, Arbeitshefte zur Denkmalpflege
Institut für Denkmalpflege Hannover
(Abbildung 1.1 Quelle PREUSSAG AG Metall, Goslar)