

Klimatisierung KKH

Auftraggeber:

Kreiskrankenhaus Freiberg

Auftragnehmer:

TU Bergakademie Freiberg
Akademiestr. 6
09596 Freiberg

Ausführende Stelle: **Institut für Bergbau**
Prof. Dr.-Ing. P. Sitz
Dr.-Ing. J. Weyer

Prof. Dr.-Ing. P. Sitz

Dr.-Ing. J. Weyer

Freiberg, der 27. 09. 1999

1 Aufgabenstellung

Entsprechend der Vorabsprache wurde mit Fax vom 30. Juni 1999 vereinbart, folgende drei Teilaufgaben zu bearbeiten:

- Ermittlung des Temperaturganges unter Tage in Abhängigkeit vom Temperaturgang über Tage. Dazu sind zwei Meßpunkte unter Tage festzulegen, an denen die Temperaturen und Luftfeuchten mittels Aspirationspsychrometer bestimmt werden.
- Unterstützung bei der Klärung der Wetterführung zwischen Hauptstolln-Umbruch und Geharnischt-Männer-Tagesschacht. (Die verbindliche Zusage von Varianten muß direkt zwischen dem KKH und dem Entscheidungsverantwortlichen der Lehrgrube erfolgen.)
- Stellungnahme zur Ausführung des Ansaugbereiches des Lüfters.

2 Ermittlung der Temperatur und Feuchte

2.1 Einführung, Grundlagen

Die Temperatur der Grubenwetter ist vor allem von folgenden Faktoren abhängig:

- der Temperatur der einziehenden Wetter
- der ursprünglichen Gebirgstemperatur
- der Wärmeleitfähigkeit des Gebirges
- dem Wärmefluß aus dem Gebirge
- der Teufendifferenz
- der Feuchte
- dem Volumenstrom der Wetter
- dem Querschnitt und Umfang der Grubenbaue.

Auf Abhängigkeiten und Wechselwirkungen wird nicht im Detail eingegangen. Prinzipiell kann für den vorliegenden Fall von folgendem Ablauf ausgegangen werden:

Die ursprüngliche Gebirgstemperatur auf dem Niveau des Haupstollenenumbruches beträgt nach Messungen im Bohrloch 9.891 °C. Die durchschnittliche überjährige Jahrestemperatur für Freiberg liegt bei 8 °C /mündl. Mitteilung Außenstelle DWD, Dresden/. Der durchschnittliche Unterschied beträgt also nur etwa 2 K. Die höchsten monatlichen Durchschnittswerte (Mittelwerte werden über einen Zeitraum von 30 Jahren bestimmt, Mittelwerte für einzelne Monate schwanken von Jahr zu Jahr) lagen nach [/USATODAY.com/weather/climate/wberlin.htm](http://USATODAY.com/weather/climate/wberlin.htm) für die Monate Juli-August bei 73 °F = 22.7 °C, die geringsten Durchschnittswerte für Januar-Februar betrugen 26 °F = -3.3 °C.

Bezogen auf die ursprüngliche Gebirgstemperatur auf Stollenniveau ergibt sich somit eine Differenz von +13 K im Sommer und – 13 K im Winter.

Neben Schwankungen der Durchschnittstemperaturen für den jeweiligen Monat im Laufe verschiedener Jahre, schwankt die Temperatur ebenfalls von Tag zu Tag sowie im Laufe des Tages (sog. Tagesgang).

Diese Temperaturschwankungen der einziehenden Wetter setzen sich unter Tage fort, werden aber durch Wärmeübertragungsprozesse (Wärmeleitung, Konvektion, Strahlung) inclusive der Aufnahme oder Abgabe von Wasserdampf (Wärmeinhalt, Verdampfungswärme) gedämpft.

Zieht im Sommer warme Luft über den Stollen ein, wird sie im Kontakt mit dem Gebirge abgekühlt. Unter definierten Verhältnissen kann diese Abkühlung unter Berücksichtigung der oben genannten Faktoren berechnet werden. Diese Berechnungen haben aufgrund der unsicheren Ausgangsbedingungen einen sehr großen Streubereich, so daß den Berechnungen Messungen vorgezogen werden.

2.2 Bisherige Messungen

Bereits im Jahre 1960 wurden Messungen in den Freiberger Gruben durchgeführt. Diese sind aber nur in gewissen Grenzen verwendbar. Gründe dafür sind

- Die Messungen fanden im Ludwig-Schacht statt, die saigere Teufe betrug rund 460, bzw. 540 m.
- Der Schacht und die Grubenbaue werden als „für den Erzbergbau trocken“ bezeichnet.
- Die Wettervolumenströme im Schacht betragen – je nach Jahreszeit – bis über 4000 m³/min.
- Die folgenden Meßabschnitte auf den Sohlen 11 und 13 waren nur 520, bzw. 315 m lang.

- Die Wettermengen in diesen Abschnitten betrugen etwa 500 – 750 m³/min.
- Die ursprünglichen Gebirgstemperaturen wurden zu 23.4, bzw. 25.8 °C bestimmt, bezogen auf die durchschnittlichen Monatsmitteltemperaturen mußte daher immer eine Wettererwärmung stattfinden; die absolute Temperaturdifferenz war somit im Winter etwa doppelt so groß, wie in dem hier betrachteten Fall.

Trotz der hohen Wettervolumenströme im Schacht wurden an den Füllörtern durchschnittliche Amplituden (Betrag der Temperaturschwankungen) von nur 13, bzw. 12.6 K, bei einer durchschnittlichen Amplitude auf der Rasensohle von 17.4 K angegeben. Am Meßpunkt V (315 m vom Schacht entfernt) wurde nur noch eine Amplitude von 10 K gemessen. Die Extremwerte während des Jahres betrugen +28.5 °c, bzw. –10.4 °C auf der Rasensohle mit 20.2 °C, bzw. 5 °C am Meßpunkt V.

Trotz der sehr hohen Volumenströme im Schacht, den vergleichsweise kurzen Wetterwegen auf den Sohlen und dem Umstand, daß die Grube als trocken bezeichnet wurde (in nassen Gruben findet der Wärmeaustausch schneller statt), läßt sich eine deutliche Dämpfung der Jahres-, Monats- und Tagesschwankungen zeigen.

Ein weiterer wichtiger Anhaltspunkt ist in /Tegtmeier: Abschlußbericht zur Studie über die Untersuchung der Überlagerungswirkung von erzwungener und natürlicher Konvektion..., Freiberg, 1997, Institut für Bergbau, unveröff./ gegeben. Anhand von Berechnungen und Messungen konnte nachgewiesen werden, daß im Jahre 1995 bei einer Temperaturamplitude über Tage von 40 K die Amplitude unter Tage nach 1700 m nur noch 1.6 K betrug. Das entspricht einer Dämpfung auf 4 %. Kurzzeitige Temperaturschwankungen (Kaltlufteinbrüche) erfuh-

ren eine noch stärkere Dämpfung und waren nach 1700 m nicht mehr nachweisbar. Die einziehenden Wettermengen lagen dabei zwischen 750 und 850 m³/min.

2.3 Meßprogramm und ausgewählter Meßabschnitt

Da es nicht möglich ist, auf den geplanten Wetterwegen Versuche mit dem vorgesehenen Wetterstrom durchzuführen, mußte ein repräsentativer, leicht zugänglicher Abschnitt der Lehrgrube ausgewählt werden, der Analogieschlüsse auf den späteren Wetterweg ermöglicht. Ein Bereich mit möglichst großen Wettermengen ist anzustreben.

Die Hauptwetterströme auf der Lehrgrube ziehen im Schacht der „Alte Elisabeth“ Fundgrube ein und verteilen sich hauptsächlich auf die 2. und 3. Gezeugstrecke (1. und 2. Sohle nach Sohlenzählung der „Reichen Zeche“ (vgl. Anlage 1). Erst über die Überhauen des „Wilhelm Süd“ zieht ein Teilwetterstrom auf die Stollensohle. Die Wetter der 3. Gezeugstrecke ziehen über das Wilhelm Wetterüberhauen auf die 1. Sohle. An dieser Stelle ist der größte Volumenstrom auf der ersten Sohle gegeben. Ab der Rolle 8 teilen sich die Wetter der 1. Sohle auf, strömen aber vor Kreuzung mit dem Querschlag zum Schacht „Reiche Zeche“ wieder zusammen. Durch Wettertüren wird geregelt, daß über den Querschlag zur „Reichen Zeche“ nur ein geringer Volumenstrom zieht. Ein anderer Teil strömt über den „Wilhelm Nord“ in Richtung „Riemer Spat“ / „Schwarzer Hirsch“ und von dort über ein Stufenüberhauen zur Stollensohle.

Aus diesem Grunde wurden als Meßorte gewählt:

- „Reiche Zeche“ über Tage zur Ermittlung von Temperatur und Feuchte an der Tagesoberfläche. Es wird angenommen, daß der Unterschied zum

Einziehschacht „Alte Elisabeth“ vernachlässigbar gering ist, beide Schächte befinden sich auf einer Halde.

- Rolle 8, ca. 700 m vom Schacht „Alte Elisabeth“ entfernt (auf der 1. Sohle). Hier tritt der größte Volumenstrom auf.
- Geomechanisches Meßort, etwa 100 m vom Schacht „Reiche Zeche“ entfernt, damit ca. 1600 m vom Einziehschacht. Hier haben die Wetter den weitesten Weg zurückgelegt.

Der Wettervolumenstrom an Rolle 8 beträgt etwa $360 - 380 \text{ m}^3/\text{min}$ (zwei Messungen). Die Querschnitte auf dem Weg zur Rolle 8 schwanken zwischen 2 bis über 5 m^2 , mit Einzelabschnitten (Bahnhofsreich), die deutlich größer sind. Der Umfang der meisten Streckenabschnitte liegt damit im Bereich von 6 – 8 m. Die Wettergeschwindigkeiten betrugen 70 - 100 m/min im Querschnittsbereich $3.5 - 4.8 \text{ m}^2$. Die Strecken sind im ersten Abschnitt (ab Schacht „Alte Elisabeth“ bis etwa in Höhe Kreuzung mit dem Haupstollenumbruch) trocken. Es folgt ein Abschnitt von wenigen Metern mit Traufwasser, danach wechseln sich trockene Abschnitte mit Abschnitten ab, bei denen die Firste feucht ist (Wassertropfen an der Firste, direkte Traufstellen finden sich, bis auf zwei punktförmige Stellen zwischen Rolle 8 und Schacht „Reiche Zeche“, nicht).

2.4 Geplante Wetterweg für die Klimatisierung des KKH

Nach /Projektstudie, Phase IV, März 1999/ sollen die erforderliche Wetter über ein Ansaugrohr DN 1000 – 1500 vom Lüfter angesaugt werden. Dazu ist die Auffahrung eines 10 m tiefen Schachtes notwendig, den Anlagen der Projektstudie ist zu entnehmen, daß die Gesamtstrecke in dieser Rohrtour etwa 20 m

beträgt. Die Wetter sollen über einen 2650 m langen Abschnitt bis zu einem Ge- senk vom „Alten Tiefen Fürstenstolln“ geleitet werden. In den Unterlagen des Institutes für Markscheidewesen ist dieser Grubenbau mit „Glückauf Flacher“ bezeichnet, der mit „Alter Tiefer Fürstenstolln“ bezeichnete Grubenbau befindet sich ca. 50 m weiter westlich. Unter Tage findet sich die Bezeichnung GhM Sp. / 1808 / U. G. bzw. Geharnischt Männer Spat. In allen Fällen ist der gleiche Grubenbau gemeint, der ca. 7 m über dem Hauptstollenumbruch weiter in Rich- tung Schacht „Alte Elisabeth“ bzw. „Geharnischt Mann Schacht“ führt (vgl. auch Anlage 2). In diesem Grubenbau strömen die Wetter über ca. 160 m bis zum Geharnischt Männer Schacht mit einer nochmaligen Länge von ca. 91 m (davon 25 m im Hermser Stollen).

Als Querschnitte werden angegeben:

- durchschnittlich 6 m^2 für den Hauptstollenumbruch
- durchschnittlich 2 m^2 für den Geharnischt Männer Spat, bis 1.5 m^2 herun- ter gehend
- durchschnittlich 4.5, bzw. 5 m^2 für die erste Hälfte (21 + 25 m Schacht und Hermser Stollen) der Verbindung nach über Tage
- keine Angaben über die fehlenden ca. 45 m bis zur Tagesoberfläche.

Entscheidend für den Wärmeaustausch ist der längste Abschnitt im Hauptstol- lenumbruch. Hier ergeben sich Wettergeschwindigkeiten um 166 m/min oder 2.77 m/s.

2.5 Vergleich mit dem ausgewählten Meßabschnitt

Die folgende Tabelle gibt einen Vergleich der Zustände im Meßabschnitt „Alte Elisabeth“ bis Rolle 8 und im geplanten Wetterweg vom Mundloch bis zum Ge- senk von „Glückauf Flacher“:

Position	Meßabschnitt bis Rolle 8	Geplanter Wetterweg (nur Abschnitt Hauptstollenumbruch)
Querschnitt	$2 - 4 \text{ m}^2$	6 m^2
Umfang	$6 - 8 \text{ m}$	$10 - 10.5 \text{ m}$
Länge	700 m	2650 m
Wettergeschwindigkeit	$70 - 100 \text{ m/min}$	166 m/min
Wettervolumenstrom	$360 - 380 \text{ m}^3/\text{min}$	$1000 \text{ m}^3/\text{min}$
Nässe	Trocken, nur eine wenige Meter lange Traufstelle	Freie Wasseroberfläche im gesamten Bereich

Es ist zu erkennen, daß der Querschnitt und damit der Umfang sowie Wettergeschwindigkeit und Wettervolumenstrom des Meßquerschnittes geringer sind, als im geplanten Wetterweg im Hauptstollenumbruch.

Ein größerer Querschnitt (damit auch Umfang) führt bei gleichen Wettervolumina zu einer größeren Kontaktfläche und kleinerer Wettergeschwindigkeit. Das heißt, zur Dämpfung der Temperaturamplitude (Temperaturangleichung an Gebirgstemperatur) ist ein kürzerer Weg ausreichend als bei kleineren Querschnitten und höheren Wettergeschwindigkeiten. Bei alleinigen Betrachtung diese Kriteriums wäre der ausgewählte Meßabschnitt konservativ, würde also größere Temperaturunterschiede liefern, als später im Realfall zu erwarten sind.

Da allerdings für den späteren Realfall der etwa 2.5-fache Wettervolumenstrom geplant ist, ergibt sich für den Hauptstollenumbruch keine geringere, sondern eine um das 1.5 bis 2-fach höhere Wettergeschwindigkeit. Da der Wärmefluß aus dem Gebirge konstant ist, wird die Temperaturamplitude entsprechend weniger gedämpft. Das bedeutet, daß die Messungen günstigere Bedingungen, sprich eine stärkere Dämpfung (Angleichung) der Temperatur ergeben. Um für den Planfall die gleiche Temperaturdämpfung bei höherer Wettergeschwindigkeit zu erhalten, müßte der Wetterweg deutlich länger als im Meßabschnitt sein. Dies trifft in dem geplanten Wetternetz auch zu. Der Meßabschnitt bis zur Rolle 8 hat eine Länge von etwa 700 m. Die Länge des durchstrichenen Bereiches in Hauptstollenumbruch beträgt 2650 m. Allein durch diese fast 4-fach große Länge sind die Unterschiede in der Temperaturdämpfung unbedeutend.

Daneben gibt es weitere Faktoren, die einen Wärmeaustausch im Hauptstollenumbruch begünstigen so daß die Meßergebnisse auf der sicheren Seite liegen.

Das sind:

- der Einfluß der Reste des Tragwerkes, die zu zusätzlichen Verwirbelungen (Turbulenzen) der Wetter und damit zur schnelleren Durchmischung führen
- das Vorhandensein einer freien Wasseroberfläche über die gesamte Stollenlänge und damit ein besserer Wärmeaustausch (Verdampfung und Kondensation des Wassers)
- die Fließbewegung des Wassers aus dem „gesamten“ Grubengebäude in den betreffenden Stollenabschnitt entgegen der Wetterrichtung und damit einem ständigen „Nachschub“ von Wässern konstanter Temperatur.

Zusammenfassend wird eingeschätzt, daß der gewählte Meßabschnitt brauchbare Ergebnisse zur Einschätzung der Temperurdämpfung liefert. Ähnliches trifft für die relative Feuchte der Luft zu. Allerdings ist hier in den Sommermonaten durch die Abkühlung der Wetter auf ihrem Weg durch die Grube sowieso mit einer gewissen Aufsättigung zu rechnen. Im Winter würde die Erwärmung kalter einziehender Wetter zu einer Verringerung der relativen Feuchte führen. Da die einziehenden Wetter aber über einer freien Wasseroberfläche einziehen, wird auch hier wieder eine Aufsättigung eintreten.

2.6 Ergebnisse

Die Messungen in der Grube fanden im Zeitraum vom 05. Juli 1999 bis 26. August 1999 statt. Zur den Messungen wurden eingesetzt:

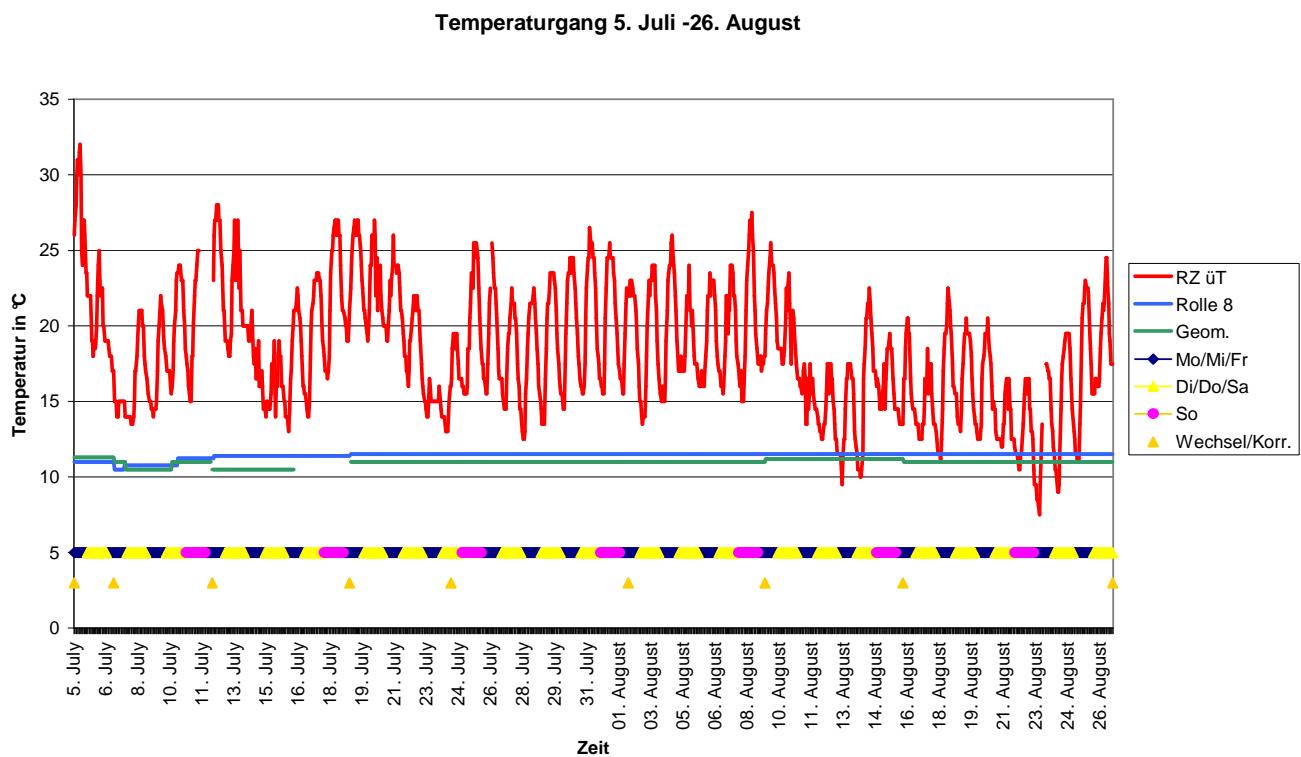
- Aßmannsches Aspirationspsychrometer (Normalausführung) zur Bestimmung von Trocken- und Feuchttemperatur
- Barolux (nur kurzfristig zur Kontrolle des Luftdruckes)
- h-x Diagramm für 1000 hPa zur Berechnung der Feuchte aus den Psychrometerdaten
- Flügelradanemometer (Normalausführung bis 6m/s, neu geeicht) zur Ermittlung der Wettergeschwindigkeit
- Hygrographen und Thermographen der Firmen Feingerätewerk Drehbach und Junkalor, Meßbereiche 0 – 100 % rel. Feuchtigkeit, bzw. -15 - +65°C.

Bei jedem Meßstreifenwechsel wurden am jeweiligen Aufstellungsort die Temperaturen und die Feuchtigkeit mit dem Psychrometer bestimmt. Damit waren sichere Ausgangswerte für den Abgleich der Thermo- und Hygrographen ge-

geben. Schon einige Tage vor dem Beginn der Messungen wurden Probeabgleichmessungen über Tage vorgenommen. Trotzdem zeigte es sich, daß ein Abgleich der Meßwerte auch später unabdingbar ist.

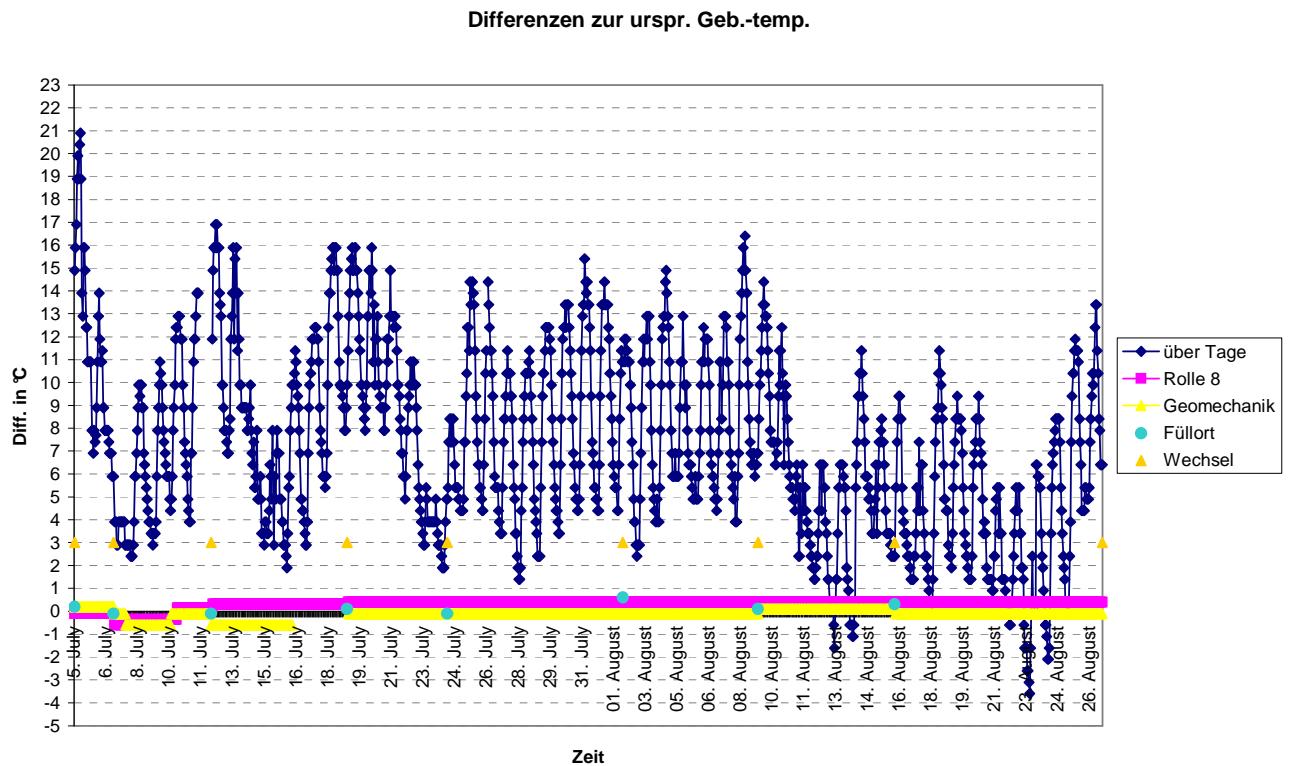
Die ca. 7600 Meßwerte (Abnahme der Meßwerte jede Stunde) wurden in einer Excel-tabelle zusammengestellt, die Korrekturen aufgrund des Abgleiches eingefügt und die Ergebnisse in Form von Diagrammen ausgegeben.

Für den Vergleich der Temperaturwerte an den Meßstellen über Tage, an Rolle 8 (ca. 700 m Wetterweg) und Geomechanik-Meßort (ca. 1600 m Wetterweg) ergeben sich folgende Werte:



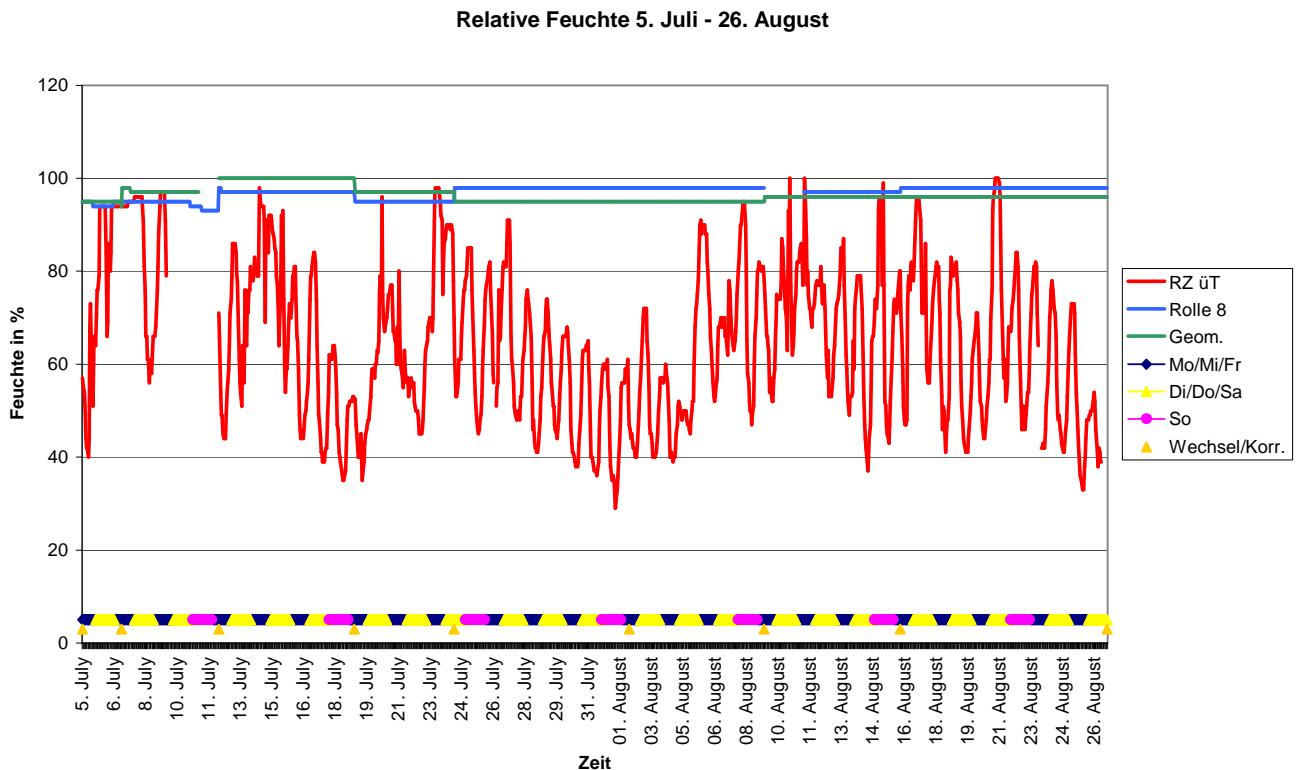
Es ist zu erkennen, daß die Temperatur an den Meßstellen unter Tage weitestgehend konstant bleibt und weder den täglichen, noch den monatlichen Schwankungen folgt. Sie gleicht sich weitestgehend der ursprünglichen Gebirgstempe-

ratur an. Diese beträgt auf dem Niveau der 1. Sohle rund 11.1°C . Noch besser stellen sich die Ergebnisse dar, wenn nicht die absoluten Temperaturen, sondern die Differenzen zur ursprünglichen Gebirgstemperatur dargestellt werden:



Es ist zu erkennen, daß es kaum Unterschiede der Temperatur an den Meßorten unter Tage zur ursprünglichen Gebirgstemperatur gibt. Insbesondere fällt aber auf, daß es Abweichungen in den negativen Bereich gibt, obwohl die Tagestemperaturen in den Bereichen fast immer über der Gebirgstemperatur liegen! Allerdings betragen die Abweichungen nur Bruchteile eines Grades und liegen durchaus im Fehlerbereich der Meßgeräte. Erst durch Messungen über einen größeren Zeitraum, wie ausgeführt, lassen sich diese Ungenauigkeiten ausgleichen. Überdies liegt die Spannweite der Abweichungen unter 1 K. Damit ist die Forderung nach einer Spannweite von 2 K ($10^{\circ}\text{C} +/- 1\text{ K}$ für die Stollensohle) eingehalten. Von Extremfällen abgesehen, kann somit gefolgert werden, daß auch für den vorgesehenen Planfall die Grenzwerte von $10^{\circ}\text{C} +/- 1\text{ K}$ (eigentlich 9.9°C) eingehalten werden.

Die Aufzeichnung der relativen Feuchte an den genannten Meßorten brachte folgendes Ergebnis:



Es ist gut zu erkennen, daß trotz großer Unterschiede an der Tagesoberfläche, kaum Unterschiede an den Meßstellen unter Tage zu verzeichnen sind. Auch hier sind wieder kleine Sprünge bei den Meßwerten unter Tage zu verzeichnen, deren Ursache bereits erläutert wurde.

Im Diagramm wird sichtbar, daß offenbar auch eine Aufsättigung der Wetter erfolgt, die nicht temperaturbedingt ist. Das ist an Tagen zu erkennen, an denen die Temperatur um 20 °C liegt oder geringer ist und die Ausgangsluftfeuchtigkeit 40 % oder weniger beträgt. Bei Abkühlung auf 11 °C läßt sich aus dem h-x Diagramm eine Aufsättigung der Luft auf ca. 70 % ablesen. An den Meßpunkten unter Tage werden aber immer 93 – 100 % gemessen. Aus den Vergleichen der beiden untertägigen Meßstellen ist zu erkennen, daß offensichtlich eine Ungenauigkeit (Messung, Papierlage, Abgleichung) von maximal 3 % auftritt, da es

im Normalfall nicht wieder zu einer Reduzierung der Luftfeuchte von Rolle 8 (nach 700 m Wetterweg) zum Geomechanikort (nach 1600 m Wetterweg) kommen sollte. Allerdings kann der Einfluß der Beleuchtung der in der Nähe befindlichen Ladestation nicht berechnet werden. Es wird eingeschätzt, daß die Werte der Luftfeuchtigkeit in der Realität zwischen 95 und 98 % schwanken.

Damit wird die Vorgabe (90 % +/- 5 %) zur relativen Feuchte in jedem Falle nicht eingehalten !

Es ist zu beachten, daß eine Kondensation des Wasserdampfes im aufsteigenden Schacht auftreten kann, da die Luft schon zuvor annähernd wasserdampfgesättigt ist. In Abhängigkeit von der Wettergeschwindigkeit kann es weiterhin zu Schwankungen des Wetterwiderstandes im Schacht kommen. Ungünstige Geschwindigkeitsbereiche werden von McPherson /Subsurface Ventilation and Environmental Engineering, Chapman & Hall, 1993/ zwischen 7 und 12 m/s angegeben. Diese Schwankungen des Widerstandes beeinflussen die Arbeit der Hauptgrubenv ventilatoren bis hin zur Zerstörung der Lüfterblätter. Im vorliegenden Fall wird es aber nicht zu solchen Extrempfällen kommen, der Einfluß auf die Lüfter wird sehr gering sein.

Schlußfolgernd kann eingeschätzt werden, daß die Feuchte der Luft auf Stollen niveau Werte um 95 % +/- 5 % annehmen wird. Im Winter könnte die relative Feuchte theoretisch unter 90 % fallen. Da aber während des Meßzeitraumes schon extrem trockene Luft¹ aufgesättigt wurde, ist auch hier davon auszugehen, daß im Winter ebenfalls eine Aufsättigung stattfinden wird

Im ausziehenden Schacht kann es zur Kondensation kommen.

¹ Allerdings wurde die Feuchte durch die Abkühlung der warmen Luft auf ca. 11 °C schon weiter auf beispielsweise 75 – 80 % gesättigt, die weitere Aufsättigung fand alleine durch Wasseraufnahme statt.

2.7 Zusammenfassung und Schlußfolgerung der Temperatur- und Feuchtemessungen

Da eine rechnerische Ermittlung der sich einstellenden Temperatur- und Feuchtwerte schwierig ist, wurde ein repräsentativer Meßabschnitt in der Himmelfahrt Fundgrube ausgewählt, der eine Vergleichbarkeit mit den Projektbedingungen gewährleistet. Im Resultat der Langzeitmessungen (über 8 Wochen) wurde festgestellt, daß sich die Wettertemperatur weitestgehend der ursprünglichen Gebirgstemperatur angleicht. Die vorgegebenen Toleranzbereiche wurden eingehalten. Die Vorgaben zur Feuchte konnten nicht eingehalten werden. Auch für den Planungsfall ist eine Einhaltung der geforderten relativen Feuchten von 90 % +/- 5 % nicht möglich.

Schlußfolgernd wird vorgeschlagen, die veränderten Ausgangswerte der relativen Feuchte nochmals mit der Planungsgruppe M & M AG zu diskutieren, bzw. eigene Vorgaben zu überdenken. Geht man beispielsweise von einer relativen Feuchte von 100 % aus und erwärmt die Wetter dann über Tage auf z. B. 21 °C, so ergibt sich eine relative Feuchte von 50 %. (Selbst bei einer Ausgangsfeuchtigkeit von 80 % würde sich noch eine Feuchte von 40 % nach Erwärmung ergeben.) Da der angestrebte Bereich in Wohnhäusern mit 40 bis 60 % relativer Feuchte angegeben wird, dürfte eine Änderung der Ausgangsforderung möglich sein. Fragen der Korrosionsempfindlichkeit möglicher direkt nachgeschalteter Einrichtungen sind ebenfalls mit der Planungsgruppe zu diskutieren. Sobald die Wetter erwärmt werden, sinkt die relative Feuchte unter 100 % und Korrosionswirkungen aufgrund kondensierenden Wassers sind nicht zu befürchten.

3 Wetterführung im Bereich des Geharnisch Mann Spates

3.1 Ausgangsbedingungen

Vom Auftraggeber wird ein Wettervolumenstrom von 60000 m³/h gefordert, dies entspricht 1000 m³/min oder 16.66 m³/s (rund 17). Der Hauptstollenumbruch hat nach /Projektstudie, Phase II, GLU, Freiberg, Januar 1999/ einen freien Querschnitt von 6 m². Damit ergibt sich eine Wettergeschwindigkeit von 2.8 m/s. Dieser Wert liegt im zulässigen Bereich. Im Bereich des Geharnisch Mann Spates auf der Stollensohle gehen die Grubenbauquerschnitte aber auf unter 1.5 m² zurück. Berücksichtigt man weiterhin einen Menschen mittlerer Statur mit einem Querschnitt in der Strecke von etwa 0.75 m², so ergibt sich um den Körper eine Wettergeschwindigkeit von etwa 23 m/s. Dieser Wert überschreitet die behördlich zugelassenen Werten. Über die Regelung der Lüfter ist nichts bekannt, normalerweise werden Grubenlüfter nur in größeren Etappen durch Laufradverstellung, Drallregelung, Drehzahländerung, o.a. angepaßt. Eine Anpassung an die Temperatur zuströmender Wetter wird nicht vollzogen. Es ist anzunehmen, daß das auch im vorliegenden Fall nicht vorgesehen ist. Aus diesem Grunde sind die jahreszeitlichen Volumenänderungen der Wetter nach Passieren des Hauptgrubenlüfters zu berücksichtigen. (Überschlag: bei 1000 hPa = mbar hat die Luft bei -20 °C eine Dichte von etwa 1.37 kg/m³, bei +30 °C hat sie eine Dichte von etwa 1.14 kg/m³. Der Volumenunterschied beträgt demnach rund 20 %.)

Demnach ist festzustellen, daß die Querschnitte im Bereich der Stollensohle zwischen Hauptstollenumbruch und Geharnisch Mann Schacht viel zu gering sind.

Die Richtwert für die Wettergeschwindigkeit in einer Strecken beträgt 4 m/s. Er ist bei der Planung anzusetzen. Der Grenzwert für Strecken liegt bei 6 m/s.

Im vorliegenden Fall werden aber auch die 6 m/s nicht eingehalten. Eine Querschnittserweiterung oder Neuauffahrung sind erforderlich.

3.2 Möglichkeiten zur Realisierung des Mindestquerschnittes

Theoretisch gibt es folgende Alternativen:

1. Erweiterung des Querschnittes durch Strossen oder Verlegen einer Luttenleitung in der Sohle,
2. Erweiterung des gesamten Querschnittes, vorwiegend aber in der Breite,
3. Neuauffahrung.

Die Erweiterung alleine durch Strossen scheidet aus, da die resultierenden Höhen mit der vorhandenen Beraubetechnik nicht, bzw. nur mit Mehrkosten beherrschbar wären. Weiterhin erfordert die Bewältigung des Höhenunterschiedes mit Besuchergruppen Zusatzmaßnahmen. Außerdem gibt es auf dem jetzigen Höhenniveau eine Reihe von Sachzeugen (Tafeln, Gedingezeichen).

Das Einbringen einer Luttenleitung in die aufgeschüttete Sohle würde nicht zu einem ausreichenden Querschnitt führen, es sei denn, in der Luttenleitung wird eine sehr hohe Geschwindigkeit in Kauf genommen. Diese kann aber nur durch einen Zusatzlüfter oder der Drosselregelung in oder vor der Strecke (Wetterschleusen statt Wettertüren) erreicht werden. Würde die gesamte Wettermenge durch die Luttenleitung gehen, ergeben sich - neben sehr hohen Verlusten - bei einer 500 mm Wetterlutte Geschwindigkeiten von ca. 300 km/h in der Lutte. Selbst bei einem Einbau einer 800 mm Lutte ergeben sich fast Orkanstärken in der Lutte mit rund 30 m/s oder fast 110 km/h. (Bei einer Aufteilung des Wetterstromes auf Strecke und Lutte ergeben sich in der Lutte noch Wettergeschwindigkeiten von ca. 21 m/s.) Aus energetischer Sicht ist diese Variante zu verwerfen. Bei der Berechnung der Nutzleistung aus Druckverlust und Volumenstrom und Einbeziehung eines Wirkungsgrades von 75 % würden die Energiekosten,

die alleine zur Überwindung des Wetterwiderstandes erforderlich sind, bei einer 500 mm Luttenleitung rund 908000 DM/a und bei einer 800 mm Luttenleitung rund 87000 DM/a betragen. (Eingesetzt wurde ein günstiger Reibungsbeiwert f von 0.0035 für eine spiralförmig verschweißte, sehr glatte Stahl-Luttenleitung.)

Die Erweiterung des gesamten Querschnittes hätte unter Berücksichtigung der vorhandenen Sachzeugen des Bergbaues zu erfolgen. Auf beiden Seiten der Strecke, vorwiegend jedoch am südlichen Stoß, befinden sich Tafeln und Gedenkzeichen (vgl. Anlage 3). Der nördliche Stoß mündet teilweise in alte Abbaue. An einigen Stellen sind Reste von Schlägel und Eisenarbeit zu finden. Es wird bezweifelt, daß das Bergamt, bzw. Denkmalsschutzamt einer Zerstörung dieser Sachzeugen zustimmen würde. Selbst wenn einer vorsichtigen Erweiterung der Strecke, unter Schutz der Tafeln (abdecken, schonendes Sprengen) zugestimmt werden sollte, so ergeben sich weitere Probleme mit der Abförderung des Haufwerkes, Mehrkosten durch die Schutzmaßnahmen, Ausbauprobleme im Bereich des abgebauten und nichtabgebauten Erzganges.

Eine Neuauffahrung hätte den Vorteil, daß die Strecke dann nicht dem Besucherverkehr dient. Sie könnte als reine Wetterstrecke gestaltet werden. Damit gilt ein Höchstwert für die Wettergeschwindigkeit von nun 10 m/s! Der rechnerische Querschnitt brauchte also "nur" um die 2 m² liegen. Weiterhin könnte eine solche Strecke gerade, d.h. ohne strömungstechnisch ungünstige Kurven, aufgefahren werden. Konventionelle Auffahrungen in diesem kleinen Querschnitt sind aufwendig (begrenzter Raum, kaum oder keine Mechanisierung möglich). Ein horizontales Bohren in diesem Durchmesserbereich in diesem extrem harten Gestein ist ebenfalls problematisch. Für die Abförderung gilt das ebenfalls. Daher ist die Auffahrung eines größeren Querschnittes zu empfehlen. Der Mehraufwand in den Auffahrungskosten wird teilweise durch später geringere Bewetterungskosten wieder ausgeglichen. So werden bei Vergrößerung des

Querschnittes von 2 auf 4 m² rund 10000 DM/a an Bewetterungskosten gespart. Gegenüber der Variante der Erweiterung des Querschnittes ergeben sich Einsparungen von etwa 1200 DM/a (für 4 m²).

Da auch eine Beräumung und Sicherung des Geharnisch Mann Schachtes (incl. aller dazugehörigen Grubenbaue vom Geharnisch Mann Spat bis zur Tagesoberfläche = 21 + 25 + 45 = 91 m) erforderlich ist, stellt sich die Frage, ob es vielleicht kostengünstiger wäre, ein Großbohrloch von über Tage direkt auf den Hauptstollenumbruch zu bohren. Der Auffahrung, bzw. Sicherung von 160 + 91 m = 251 m Grubenbauen stehen dann die Kosten von ca. 100 m Großbohrloch gegenüber. Natürlich kann eine solche Verbindung auch konventionell durch Bohr- und Sprengarbeit hergestellt werden. Dazu müßte geklärt werden, ob im Bereich des Geländes des Krankenhauses ein Bohransatzpunkt auf den Hauptstollenumbruch gefunden werden könnte.

3.3 Gegenüberstellung der Varianten

Es wird die (nicht realisierbare) Basisvariante der Bewetterung über die bestehenden Grubenbauquerschnitte mit den oben aufgeführten Varianten der Verlegung einer Luttenleitung (800 mm), der Erweiterung des Querschnittes, der Neuauffahrung parallel zum Geharnisch Mann Spat und dem Abteufen eines Bohrloches von über Tage aus wettertechnischer Sicht gegenübergestellt. Die Basisvariante wird nochmals dargestellt, da in den vorhandenen Unterlagen nicht zu ersehen ist, daß die Bewetterungskosten (Energiekosten) berücksichtigt wurden. Zur Berechnung der Energiekosten wurde generell die Nutzleistung des Lüfters aus Druckverlust und Volumenstrom berechnet. Weiterhin wurde ein Lüfterwirkungsgrad von 75 % eingesetzt.

Die Berechnung mit 800 mm Luttenleitung geht davon aus, daß $16 \text{ m}^3/\text{s}$ in der Lutte strömen müssen, um in den nichtnachgerissenen Querschnitten von 1.5 m^2 auf dem Geharnisch Mann Spat um einen Körper mit Normalstatur die Wettergeschwindigkeit von 4 m/s nicht zu überschreiten. Daraus ergäben sich maximal $3 \text{ m}^3/\text{s}$ zulässiger Volumenstrom im Geharnisch Mann Spat. Der Wert in Klammern zeigt die Werte, falls die kompletten $19 \text{ m}^3/\text{s}$ in der Lutte strömen würden. Wie auch weiter oben, sind nur zwei fast rechtwinklige Abknickungen, nicht jedoch kleinere Richtungsänderungen berücksichtigt. Die äquivalente Länge des Grubenbaues beträgt so 260 m!

Der Wetterwiderstand und die Bewetterungskosten im 2650 m langen Hauptstollenumbruch sind in allen Varianten gleich. Da in den vorliegenden Gutachten (GLU) von einem freien Querschnitt von 6 m^2 ausgegangen wird, wird dieser Querschnitt angesetzt und ein Reibungsbeiwert für unausgebaute, rauhe, unregelmäßige Strecken von 0.027 angesetzt. Damit ergibt sich ein Druckverlust von 717 Pa, ein Widerstand von 1.99 Wsb, eine Leistungsaufnahme des Lüfters von anteilig 13.6 kW, was zu Energiekosten von rund 16000 DM/a führt (angenommener Strompreis für Großabnehmer 0.10 DM/kWh.).

Der vorhandene, zu sanierende Schacht incl. Hermser Stollen wird durchgängig mit nur 2 Abwinkelungen (Hermser Stollen) gerechnet. Die jeweiligen Verbindungen zwischen Schacht und Geharnisch Mann Spat sowie auch Hauptstollenumbruch und Geharnisch Mann Spat werden zunächst nicht in die Überschlagsrechnung einbezogen.

Position	Basisvar.	800 mm L.	Erweitern 5 m ²	Neuauff. 4 m ²	BL v. ü.T. d=2 m
Länge in m	160 + 91	160 + 91	160 + 91	160 + 91	ca. 100
Wetter- techn. äqu. Länge in m	260 + 190	260 + 190	260 + 190	160 + 190	ca. 100
Widerstand R in Wsb	2.34+0.16	(10.8+0.16) 105+0.16	0.224+0.16	0.24+0.16	0.24
Druckver- lust in Pa	844+57	(3900+57) 1825+57	81+57	86+57	88
Anteil. E- nergie- bedarf in kW/h	16+1.1	(74+1.1) 5.5+24+1.1	1.5+1.1	1.65+1.1	1.66
Energie- kost. DM/a	18746+ 1262	25557+ 1262	1799+ 1262	1922+ 1262	1948
Energie- kost. Mio. DM/20 a	0.4	(1.7) 0.536	0.061	0.0637	0.039
Energiek. incl. Hauptst. Mio. DM/20 a	0.72	(2) 0.856	0.38	0.3837	0.359

Es sollte nochmals betont werden, daß die Basisvariante aufgrund zu hoher Wettergeschwindigkeiten nicht realisierbar ist. Die vermeintlich höheren Werte in den einzelnen Positionen der Variante mit paralleler Luttenleitung treten auf, da eine 800 mm Luttenleitung einen viel größeren Widerstand hat und damit zu einem höheren Druckverlust und höheren Energiekosten führt. Eine reine Parallelschaltung zum Geharnisch Mann Spat würde zu einem insgesamt geringeren Widerstand führen. Da aber in diesem Grubenbau, wie oben bereits ausgeführt,

nur $3 \text{ m}^3/\text{s}$ Volumenstrom zugelassen ist, muß der Volumenstrom durch Einbau eines Widerstandes von fast 203 Wsb im Geharnischt Mann Spat reguliert werden. (Die Alternative wäre der Einbau eines Zusatzlüfters, was ebenfalls zu einer Erhöhung der Energiekosten führt.)

3.4 Schlußfolgerung zur Wetterführung zwischen Haupstollenumbruch und Tagesoberfläche

Betrachtet man alleinig die Bewetterungskosten, so schneidet die Variante Bohrloch von über Tage am günstigsten ab, dicht gefolgt von den Varianten Verbreiterung des Querschnittes auf 5 m^2 und Neuauffahrung. Setzt man voraus, daß die Auffahrung eines 100 m langen seigeren Wetterschachtes (Bohrloch) deutlich billiger ist, als die Rekonstruktion von 71 m Schacht (Geharnischt Mann Schacht, siehe Studie GLU) + Sicherung 25 m Hermser Stollen + Sicherung 21 m Schacht + Erweiterung oder Neuauffahrung von 160 m Strecke, so schneidet die Variante der Auffahrung eines Wetterbohrloches deutlich günstiger, als alle anderen Varianten ab. Zusätzlich ist dann auch keine Beeinflussung des Wetternetzes der Himmelfahrt-Fundgrube gegeben (bei Neuauffahrung der Strecke ebenfalls nicht), was zur Einsparung von mindestens einer Wettertür und der Nachrechnung des Wetternetzes durch die TU Bergakademie führt. Damit sind auch keine Folgekosten für Maßnahmen durch eventuelle Beeinflussungen der Wetternetze zu erwarten. (Solche Beeinflussungen könnten bei Ausfall des Lüfters der Himmelfahrt-Fundgrube oder der Lüfter am Hauptstollenumbruch eintreten, da sich dann die Druckbeaufschlagung auf die Wettertüren umkehrt und andere Wettertüren oder -schleusen eingebaut werden müßten.)

4 Gestaltung des Stollenmundloches

Grubenlüfter dienen der Erzeugung einer künstlichen Wetterbewegung. Der Aufstellungsort ist so zu gestalten, daß die Richtlinien für Bauten unter Tage eingehalten werden. Dazu ist die entsprechende technische Anlage vom Bergamt (in diesem Falle Chemnitz) genehmigen zu lassen.

Die Luft atmosphärischer Zusammensetzung wird durch den (die) Hauptgrubenlüfter angesaugt und in die Grubenbaue gedrückt. Auf ihrem Weg ändert die Luft ihr Zusammensetzung. Beim Durchtritt durch den Lüfter findet eine Druckerhöhung und eine Temperaturerhöhung statt. Auf dem weiteren Weg wird - je nach Ausgangszustand der Luft im Sommer oder Winter - Wasserdampf aufgenommen oder abgegeben und die Temperatur der ursprünglichen Gebirgstemperatur weitestgehend angeglichen.

Eine gewollte oder ungewollte Beschädigung der technischen Anlagen ist durch geeignete Maßnahmen auszuschließen.

Im vorliegenden Fall wurde in der Projektstudie der GLU (in Abstimmung mit der Planungsgruppe M+M AG) die Installation eines Ansaugrohres vorgesehen. Für die Installation von klimatechnischen Anlagen in Bauten ist diese Anordnung (Umzäunung und Mindesthöhe über Rasensohle) erforderlich.

Im vorliegenden Fall ist der Lüfter aber nicht direkter Bestandteil der klimatechnischen Anlage. Der Lüfter dient der Bereitstellung und zum Transport der Wetter. Die Entnahme der Wetter, d. h. der physikalisch und chemisch veränderten Luft, erfolgt erst am Geharnischt Mann Schacht oder einem neu aufzufahrenden Wetterschacht.

Aus diesem Grunde wird vorgeschlagen, den Lüfter in einem festzulegenden Abstand vom Mundloch im Hauptstollenumbruch (z. B. 100 m) zu installieren und auf das Ansaugrohr zu verzichten. Der Vergleich beider Varianten bezüglich nachstehender Positionen lässt diese Variante auch günstiger erscheinen zu lassen:

Mit Ansaugrohr	Ohne Ansaugrohr
Mechanische Beschädigung des Zaunes möglich	Nicht erforderlich
Mutwillige mechanische Beschädigung des Ansaugrohres beim Eindringen in umzäunten Bereich möglich	Nicht vorhanden
Mutwillige mechanische Beschädigung des Verschlusses des Stollenmundloches möglich, aufgrund der Massivheit der Ausführung unwahrscheinlich (verzinkte Blechtür)	Mutwillige mechanische Beschädigung des Verschlusses des Stollenmundloches möglich, aufgrund der Massivheit der Ausführung unwahrscheinlich (Stahlgitter)
Beschädigung der Lüfter durch Steinwurf theoretisch möglich	Beschädigung durch Wurf nicht möglich
Mutwillige Beschädigungen nur durch Explosivstoffe (z. B. Handgranate) möglich	Ernste mutwillige Beschädigungen nur durch Geschosse möglich
Anschläge mit gefährlichen oder giftigen Flüssigkeiten führen zum direkten Transport in den Wetterstrom	Anschläge mit gefährlichen oder giftigen Flüssigkeiten landen im abfließenden Wasser und werden herausgetragen
Anschläge mit gasbildenden Substanzen führen zum direkten Transport im Wetterstrom	Anschläge mit gasbildenden Substanzen erschwert, da sie im Wasser landen und abtransportiert werden
Installation aufwendiger, Grundstückserwerb erforderlich	Installation günstiger

Die oben aufgeführten Punkte sprechen eindeutig für die Variante ohne Ansaugrohr. Die Qualität der Wetter ist bei beiden Varianten als gleichwertig anzusehen. Während bei klimatechnischen Anlagen an Gebäuden eine Mindestansaughöhe zur Verminderung der Belastung mit Staub und vielleicht Abgasen zu er-

folgen hat, erfolgt hier die Zufuhr aus einem Flußtal ohne Verkehrsbeeinträchtigung. Aufgrund des Bewuchses und der Lage gibt es viel weniger Staub und keine Abgase. Darüber hinaus wird einziehender Staub sowieso durch Trauwasser und die freie Wasseroberfläche (2650 m) gebunden. Die Belastung mit Pollen ist zwar theoretisch durch den Bewuchs gegeben, wäre aber auch im gewissen Maße bei der Variante mit Ansaugrohr gegeben.

Da gegenwärtig das Ansaugen der Wetter auf dem Niveau der Rasenohle des Schachtes Alte Elisabeth erfolgt und die Wetter im Heilstollen schon jetzt aufgrund ihres geringen Gehaltes an Keimen und Pollen genutzt werden, kann eingeschätzt werden, daß bei einem Weg über 2650 m freie Wasseroberfläche sich tendenziell noch günstigere Verhältnisse einstellen.

5 Zusammenfassung

Zur Einschätzung der sich einstellenden Temperatur und relativen Feuchte der ausziehenden Wetter in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchte der einziehenden Luft von über Tage wurden Messungen in einem repräsentativen Teilstück der Lehrgrube durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, daß die Temperatur Werte erreicht, die innerhalb der geforderten Toleranz von $10\text{ }^{\circ}\text{C} +/- 1\text{ K}$ liegen. Die Werte der relativen Feuchte weichen allerdings mit 5 % relativer Feuchte von den Maximalwerten der Vorgabe ab. Die Forderung nach 90 % +/- 5 % relativer Feuchte kann nicht erfüllt werden. Es wird vorgeschlagen, die Toleranzgrenzen der Vorgabe für die relative Feuchte nach oben zu erweitern, da selbst bei Werten zwischen 85 und 100 % relativer Feuchte und $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ nach Erwärmung auf $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ohne Aufnahme von Wasserdampf Endfeuchten zwischen 43 und 50 % erreicht werden. Diese liegen im angestrebten Bereich für Wohnhäuser.

Die Wettergeschwindigkeiten im Bereich des Geharnischt Mann Spates (zwischen Haupstollenumbruch und Geharnisch Mann Schacht) würden die bergamtlich zulässigen Grenzwerte überschreiten und zu hohen Elektroenergiekosten führen. Bei Einhaltung der Grenzwerte für Wettergeschwindigkeit, ist die Variante des Abteufens eines vertikalen Großbohrloches direkt auf den Hauptstollengang am günstigsten, dicht gefolgt von den Varianten der Verbreiterung der bestehenden Strecke und der Streckenneuauffahrung. Zur Entscheidungsfindung sind hier Kostenbetrachtungen anzustellen und die Genehmigungsfähigkeit zu prüfen. Dabei ist zu beachten, daß bei den Varianten Verbreiterung der bestehenden Strecke und Streckenneuauffahrung der bestehende verbrochene Geharnischt Mann Schacht wieder aufzuwältigen ist.

Bei der Gestaltung des Stollenmundloches wird vorgeschlagen, die Lüfter direkt in den Hauptstollenumbruch zu stellen und über den freien Querschnitt des Stollens anzusaugen. Aus sicherheitstechnischen und ökonomischen Überlegungen ist diese Variante günstiger, als die Variante mit Ansaugrohr. Bei der Installation der Lüfter handelt es sich um eine Luftzufuhr in Grubenbaue, nicht um eine Klimatisierung. Die Klimatisierung (gewollte Änderung des Zustandes der Luft durch technische Mittel) erfolgt erst über Tage. Damit können die fast 3 km entfernt unter Tage stehenden Lüfter nicht als Bestandteil der klimatechnischen Anlage betrachtet werden.

Inhaltsverzeichnis

1	AUFGABENSTELLUNG	1
2	ERMITTlung DER TEMPERATUR UND FEUCHTE	2
2.1	EINFÜHRUNG, GRUNDLAGEN	2
2.2	BISHERIGE MESSUNGEN	3
2.3	MEßPROGRAMM UND AUSGEWÄHLTER MEßABSCHNITT	5
2.4	GEPLANTE WETTERWEG FÜR DIE KLIMATISIERUNG DES KKH.....	6
2.5	VERGLEICH MIT DEM AUSGEWÄHLTEN MEßABSCHNITT	7
2.6	ERGEBNISSE.....	10
2.7	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUßFOLGERUNG DER TEMPERATUR- UND FEUCHTEMESSUNGEN.....	15
3	WETTERFÜHRUNG IM BEREICH DES GEHARNISCHT MANN SPATES	16
3.1	AUSGANGSBEDINGUNGEN.....	16
3.2	MÖGLICHKEITEN ZUR REALISIERUNG DES MINDESTQUERSCHNITTES	17
3.3	GEGENÜBERSTELLUNG DER VARIANTEN.....	19
3.4	SCHLUßFOLGERUNG ZUR WETTERFÜHRUNG ZWISCHEN HAUPSTOLLENUMBRUCH UND TAGESOBERFLÄCHE	22
4	GESTALTUNG DES STOLLENMUNDLOCHES	23
5	ZUSAMMENFASSUNG.....	26