

Ueber die Wärmeverhältnisse in der Osthälfte des Arlberg-Tunnels.

Von J. Wagner,

Oberingenieur und Sectionsleiter der Osthälfte des Arlberg-Tunnels.

Nicht um neue Formeln zu geben, unternehme ich es, in Folgendem die Beobachtungen, welche in der Osthälfte des Arlberg-Tunnels in Beziehung der Gesteins-, Quell- und Luftwärme gemacht wurden, der Oeffentlichkeit zu übergeben, sondern nur in der Absicht, das Gebiet der Erfahrungen zu erweitern, welches uns einst lehren dürfte, in speciellen Fällen die vorhandenen Verhältnisse sicherer von vornherein zu beurtheilen, als es jetzt möglich ist.

Wenn auch der Arlberg-Tunnel mit Rücksicht auf den durchsetzten Gebirgskamm keine zu grossen Contraste aufweist, so ist andererseits die Configuration eine derartige, welche die Einflussnahme der seitlich anlehnenden Gebirgsmassen vielleicht näher präcisirt. Die östliche Hälfte dürfte dann weiters auch aus dem Grunde eines besonderen Studiums werth sein, weil die aufgefahrenen Schichten bis auf zwei Quellen und partiell auftretenden Gebirgsschweiss und Wassertropf trocken zu nennen sind, somit keine besondere Beeinflussung in dieser Richtung vorauszusetzen ist.

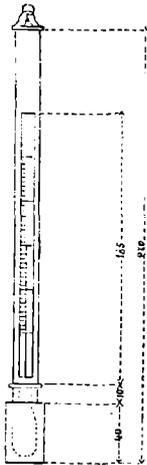
Andererseits will ich jedoch gleich hier hervorheben, dass die aufgefahrenen Gesteinsschichten im Ganzen, besonders jedoch von 2800 Stollenmeter an, sehr stark eisenkiesführend sind, sowie dass sie, vom genannten Stollenmeter an, sich in einem höheren Grade der Umwandlung befinden und ausser der mächtigen Trennungsspalte, welche zu Tage durch das Arlbachthal bei St. Christoph ausgeprägt ist, noch viele deren untergeordnete besitzen, die von zerdrückten, stark umgesetzten Fragmenten dieser dunklen Glimmerschiefer und Phyllite und ihrer Zersetzungsproducte erfüllt sind, welche durch weitere Bewegungen und deren Druckäusserungen eine den letzteren entsprechende selbstständige Lagerung erhalten haben.

Inwieweit diese Fragmente den geschilderten Verhältnissen ausgesetzt waren, geht aus den an denselben beobachteten Schlfen und Gleitflächen hervor, sowie aus dem Umstande, dass nur der Quarz in grösseren Knollen sich erhalten konnte, im Uebrigen jedoch auch zumeist nur mehr vollständig zerkleinert in Pulverform aus diesem Gemenge auszuscheiden kommt.

Nach dieser allgemeinen Charakteristik der Gebirgsverhältnisse, welche für den vorliegenden Zweck ausreichen dürfte, erlaube ich mir, noch den Vorgang bei den Messungen selbst einer kurzen Beschreibung zu unterziehen, damit Jene, welche diese gesammelten Beobachtungen im Weiteren einem Studium unterziehen wollen, den erreichten Grad der Genauigkeit beurtheilen können.

Als ich zu den Beobachtungen im Herbste 1880 schritt, versuchte ich vorerst zu eruire, welche Bohrlochtiefen für die vorliegenden Verhältnisse eine unbeeinflusste Messung zulassen und wie lange das Thermometer dem Einflusse der Gesteinswärme ausgesetzt sein muss, um dieselbe bei der verwendeten Construction vollkommen angenommen zu haben.

Es war nothwendig, diese Minimalerfordernisse zu kennen, um in einzelnen Fällen nicht unnöthigerweise lange Beobachtungsperioden zu schaffen und möglichst rasch den frisch aufgeschlossenen Partien des Sohlenstollens zu folgen, da bei dem forcirten Tunnelbetrieb unmittelbar hinterher durch die Firststollen, sowie die denselben folgenden Vollaubruchsarbeiten bereits eine grössere Zergliederung des Gebirges eingetreten war. Die Bohrlochtiefe ergab sich bei standfestem Gebirge mit 0·8 Meter als genügend sicher, desgleichen die Beobachtung im trockenem Gebirge, nachdem das Thermometer 24 Stunden versetzt war.



Für die Beobachtungen verwendete ich eine aus beigegebener Skizze ersichtliche Thermometer-Construction, mit welcher ich schon im Sonnstein-Tunnel arbeitete und welche ich sehr praktisch verwendbar fand. Die am Quecksilbergefäße angebrachte abschraubbare Hülse wurde zur Isolirung mit reinem Oel gefüllt und hielt dieselbe bei Beobachtung der nöthigen Vorsicht bis über eine Minute vollkommen den bereits angenommenen Temperaturgrad.

Der Vorgang, den ich bei den Beobachtungen wählte, war folgender:

Das Bohrloch wurde in einer trockenem, möglichst wenig alterirten Gebirgspartie angelegt und, nachdem dasselbe einen Tag vollendet war, das Thermometer an einer Schnur versenkt. Die Partie vom Ende des Thermometers nach aussen wurde mit vorgerichtetem Wergpfropfen fest verstopft und am letzten Pfropfen die Schnur befestigt, sodann das Loch noch mit Schlamm verschmiert, um dasselbe möglichst unkenntlich zu machen.

Bei Beobachtung der Temperatur wurden diese Pfropfen mit einem grösseren Schusszieher wieder entfernt, was möglichst rasch geschah, um sodann die Ablesung nach Entfernung des Thermometers aus dem Bohrloche vorzunehmen, wobei das Thermometer an dem oberen Ende gefasst wurde.

Bei dem ganzen Vorgange musste alle Vorsicht getroffen werden, um sowohl durch die Lampen, sowie eventuell in der Nähe befindlichen Lufthähne etc. keine Beeinflussung der Thermometer hervorzurufen, da nebstdem auch noch die Temperatur der Luft im Stollen abgelesen wurde.

Die Beobachtungen wurden im Sohlenstollen in Entfernungen von 100 zu 100 Meter gemacht und, sobald das Vordringen des Sohlenstollens es gestattete, die Beobachtungsstation nach vorne verlegt.

Ich lasse nun in folgender Tabelle die direct vorgenommenen Gesteinsbeobachtungen folgen.

Tabelle der Gesteinstemperaturen in der Osthälfte des Arlberg-Tunnels.

Distanz vom Portal	Höhe der den Tunnel überlagernden Gebirgsmasse in Meter		Temperatur in Celsius-Graden				Differenz der Höhen in Meter		Temperatur-Differenz von 100 zu 100 Meter			Bemerkung
	1. Radial kürzester Abstand von der Oberfläche	2. Vertikaler Abstand im Längenprofil	der Atmosphäre an der Beobachtungsstation	des Gesteines im Sohlstollen	Differenz der Gesteinstemperaturen	1	2	Höhe 2	Gesteinstemperatur	Differenz		
200	60	65	8.0	7.5	—							
300	100	110	9.0	9.1	1.6	40	45	100	8.9			
400	120	135	9.5	9.4	0.3	20	25					
500	135	150	10.6	10.4	1.0	15	15					
600	140	140	10.9	10.7	0.3	5	—10					2.9
700	145	150	12.1	11.1	0.4	5	10					
800	160	165	14.0	11.5	0.4	15	15					
900	175	180	16.1	12.2	0.7	15	15					
1000	190	200	11.9	11.8	—0.4	15	20	200	11.8			
1100	200	220	12.5	12.4	0.6	10	20					0.7
1200	220	250	12.8	12.5	0.1	20	30					
1300	235	275	12.7	12.5	0.0	15	25					
1400	230	270	13.5	12.5	0.0	—5	—5	300	12.5			0.5
1500	320	340	13.5	13.0	0.5	90	70					
1600	380	380	14.5	13.1	0.1	10	40	400	13.0			
1700	360	420	16.0	12.9	—0.15	30	40					0.3
1800	400	455	18.7	14.4	1.45	40	35					
1900	435	500	14.5	13.3	—1.1	35	45	500	13.3			1800 Gebirge brüchig, stark lettig *).
2000	500	535	17.0	14.2	0.9	65	35					
2100	530	570	15.0	13.3	—0.9	30	35					2.4
2200	640	590	17.0	14.7	1.4	10	20					
2300	560	580	16.5	15.6	0.9	20	—10	600	15.7			2100 Gebirge stark zerklüftet, nebenbei in der Nähe ein Lufthahn der Ventilationsleitung *).
2400	625	655	18.0	15.7	0.1	65	75					
2500	635	675	17.3	15.6	—0.1	10	20					0.9
2600	635	680	18.0	15.7	0.1	0	5					
2700	620	655	18.3	16.8	1.1	—15	—25					
2800	600	615	—	—	—	—	—	600	16.6			
2900	535	565	17.0	16.3	—0.3	—85	—90					—0.6
3000	475	515	18.6	16.5	0.05	—60	—50					
3100	490	505	17.5	16.0	—0.5	—15	—10					
3200	470	490	16.4	16.0	0.0	—20	—15	500	16.0			2800 Gebirge stark zerklüftet, daher Beobachtung unterlassen.
3300	460	480	17.6	15.6	—0.4	10	—10					
3400	460	470	17.4	15.8	0.2	0	—10					
3500	460	465	16.4	15.0	—0.8	0	—5					—0.9
3600	460	460	16.8	14.8	—0.2	0	—5					
3700	465	465	16.6	15.0	0.2	5	5					

*) Beide Beobachtungen wurden als besonders beeinflusst nicht in das Graphikon auf pag. 747 aufgenommen.

Distanz vom Portal	Höhe der den Tunnel überlagernden Gebirgsmasse in Meter		Temperatur in Celsius-Graden				Differenz der Höhen in Meter		Temperatur-Differenz von 100 zu 100 Meter		Bemerkung
	1. Radial kürzester Abstand von der Oberfläche	2. Verticaler Abstand im Längenprofil	der Atmosphäre an der Beobachtungsgestation	des Gesteines im Sohlstellen	Differenz der Gesteinstemperaturen	1	2	Höhe	Gesteinstemperatur	Differenz	
3800	480	480	17.2	15.0	0.0	15	15	500	15.1	0.9	4400 Gebirge stark zerklüftet, daher Beobachtung unterlassen.
3900	515	515	17.0	15.4	0.4	35	35				
4000	550	550	17.2	16.5	1.1	35	35				
4100	600	600	18.4	16.0	-0.5	50	50	600	16.0	1.1	
4200	650	650	18.6	16.5	0.5	50	50				
4300	680	680	19.2	16.5	0.0	30	30			1.3	4800 Gebirge stark zerklüftet, daher Beobachtung unterlassen.
4400	690	690	—	—	—	—	—				
4500	700	700	19.2	17.1	0.6	20	20	700	17.1		
4600	685	685	19.4	17.2	0.1	-15	-15			1.3	
4700	675	675	19.0	17.2	0.0	-10	-10				
4800	690	690	—	—	—	—	—			1.3	5300 Gebirge stark zerklüftet, daher Beobachtung unterlassen.
4900	690	690	20.2	17.9	0.7	15	15				
5000	680	680	20.0	18.3	0.4	-10	-10	700	18.4		
5100	715	715	19.6	18.5	0.2	35	35			1.3	
5200	720	720	19.0	17.8	-0.7	5	5				
5300	715	715	—	—	—	—	—				
5400	705	705	19.6	17.8	0.0	-15	-15				

Wie aus obiger Tabelle, sowie aus der graphischen Darstellung auf pag. 747 zu entnehmen ist, sind die beobachteten Temperaturgrade im Ganzen tiefer und erst nachträglich mit den Gebirgsformen zu- und abnehmende, was mit der seitlichen Entwicklung des Verlaufes des durchfahrenen Gebirges in einem gewissen Einklange steht. Vergleichen wir diese Beobachtungen mit anderen, welche uns bis jetzt vorliegen, so haben wir nur wieder um einen Fall mehr, der abweichende Erscheinungen von den früheren aufweist. Man hat schon früh gefunden, dass locale Einflüsse, wie Schichten von geringerer Wärmeleitung oder Zersetzungsprocesse in einzelnen Schichten, Wasserführungen etc. eine bedeutende Beeinflussung der Temperaturbeobachtungen hervorrufen können. Dies allein scheint mir jedoch nicht die Ursache zu sein, weil Beispiele vorhanden sind, in denen die Gesteine die gleiche Wärmeleitung besitzen, ohne dass selbe eine Unterbrechung in ungünstiger Weise voraussetzen und sich somit vergleichen lassen.

Es kann somit die Verschiedenheit in der Beobachtung, bei sonst annähernd gleichen Verhältnissen, auch in der Differenz der Entfernung von dem eigentlichen Wärmeherd liegen, der ja nach den neueren Forschungen ein sehr verschiedener sein kann.

Nur so scheinen mir die arg schwankenden directen Beobachtungen im letzten Falle erklärbar.

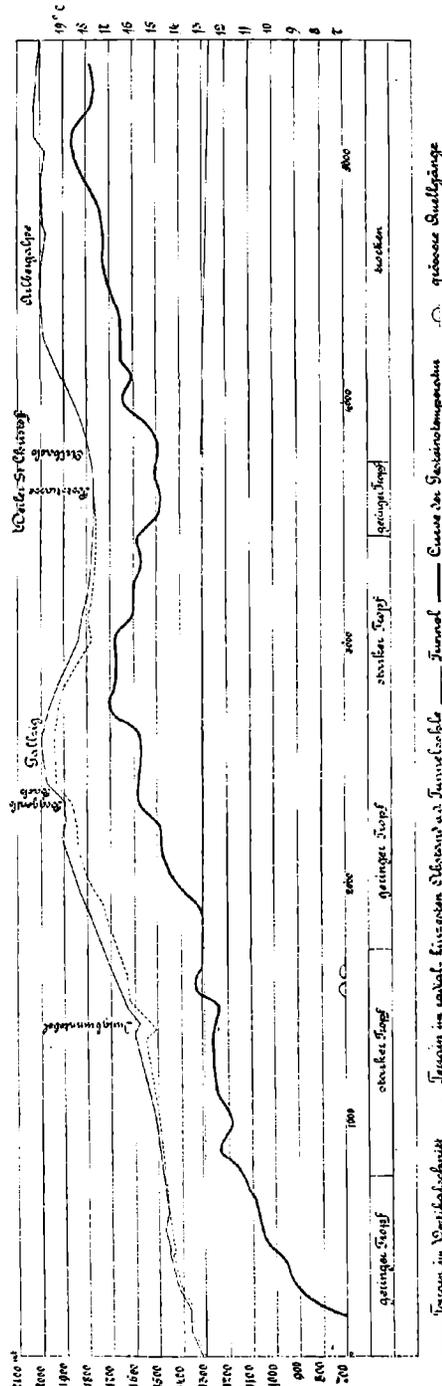
Es müssten somit erst durch die weiteren Beobachtungen jene Hauptzonen begrenzt werden, welche eine und dieselbe Constante aufweisen

und dann kann erst auf einen Rückschluss auf specielle Gebiete unter Berücksichtigung der weiteren localen Vorkommnisse eingegangen und mit der nothwendigen Sicherheit auf die Wärmeverhältnisse im Innern geschlossen werden.

Bei den wenigen Beobachtungen, die uns zu Gebote stehen, ist auf ein weiteres Eingehen in diese Verhältnisse wohl nicht zu denken, doch wäre es sehr wünschenswerth, die Beobachtung der Wärmeverhältnisse des Erdinnern auf grösseren, zusammenhängenden Gebieten kennen zu lernen, um endlich Klarheit in diese Beziehungen zu bringen, umsomehr, als sich direct hochwichtige praktische Fragen daran knüpfen.

Bei dem steten Kampf mit der Concurrrenz und dem hiedurch erwirkten Fortschritt im Verkehrswesen, welcher ja den Kreislauf des Lebens eines jeden Staates vermittelt, ist man schon bereits vor einigen Jahren an ein Project gelangt, welches mit Rücksicht auf die Möglichkeit der Ausführung hinsichtlich der zu erschliessenden Erdwärme angezweifelt wurde.

Ich will mich in kein pro und contra etwa einlassen, aber soviel wurde mir hiedurch klar, dass man auf keinem sicheren Boden steht, und dass man das oftgebrauchte Schlagwort: „ist nur begonnen, die Durchführung überlassen wir dem Scharfsinne der Ausführenden, wodurch bereits manch schöner Fortschritt erzielt wurde“, in solchen Fällen wohl



nicht wagen darf, indem die Bedingungen des Lebens des Menschen in Frage gestellt sind.

Nebstdem muss ich sagen, dass die bis jetzt gemachten Erfahrungen, unter welchen in einigen Bergwerken oder Heizräumen etc. von Einzelnen Arbeiten bei besonders hohen Temperaturgraden verrichtet wurden, keine Klärung der Verhältnisse oder irgend eine Anwendung zulassen, nachdem ein forcirter Tunnelbetrieb nicht mit diesen verglichen werden kann.

Es spricht diesem Vorgehen jede richtig gefasste Bauorganisation entgegen, denn es handelt sich nicht um die Bedingungen für die Existenz von zehn oder zwölf Menschen, die besonders exponirt sind, sondern um Tausende.

Es ist das stete Bestreben der Wissenschaft, vorbereitend voranzugehen oder durch die Erforschung des empirisch Gefundenen Neues zu schaffen. Hier wäre ein Gebiet noch offen, auf welchem, unterstützt durch die ausgedehnte Bergwerksindustrie, welche über die vorliegenden Verhältnisse Klarheit bringen könnte, wichtige Ergebnisse gewonnen werden könnten, indem meiner Ansicht nach nicht zu weitgehende Extreme nothwendig sind, um Fundamentalsätze zu entwickeln.

Möge dieses Gebiet reger erforscht werden, möge sich der Kreis der Beobachtungen erweitern und in ein Centrum zusammenfliessen, auf Grund dessen wir bald zur Erkenntniss der wirklichen Verhältnisse gelangen.

Gleichzeitig möchte ich jedoch die Frage anregen, ob die Mittel noch nicht vorhanden sind, welche auf rein experimentellem Wege die Frage klären könnten, inwieweit ein Einfluss auf eine bestimmte Form durch die sich seitlich anschliessenden Massen besteht?

Anschliessend an die Gesteinswärme, will ich im Folgenden die Beobachtungen über die Temperatur der aufgedeckten Quellen vorführen.

Wie schon bemerkt wurde, war das aufgeschlossene Gebirge, im Ganzen genommen, trocken, und wurden nur zwei grössere Quellgänge aufgefahren, die eine nähere Beobachtung zulassen.

Es scheint jedoch nach Allem, dass auch diese beiden von einem Gange aus gespeist werden.

Die erste Quelle, welche bei dem 1540 Stollenmeter liegt, wurde bei der Erweiterung der Calotte aufgedeckt und nahm bis zur Vollendung des Ausbruches zu, woselbst sie 20 Liter per Minute ergab. Die Temperatur des Wassers betrug 12° C., die der umgebenden Luft 14.5° C., die des Gesteines 13° C. Nachdem die Quelle durch die Profilmauerung vollkommen gesammelt an einer Stelle zum Austritt gelangte, konnte sie noch später einer Beobachtung unterzogen werden und ergab nach dem Durchschlage im December 1883 eine Temperatur von 12° C. und 9 Liter per Minute bei einer Temperatur der umgebenden Luft von 18° C.

Der zweitgrössere Quellgang wurde bei 1618 Metern durch den Firststollen aufgedeckt und zeigte gleich nach dem Aufschlusse eine Temperatur von 14.4° C. bei einer Lufttemperatur von 17.8° C. an der Beobachtungsstelle.

Der Wasserabfluss betrug bei der Aufschliessung 10 Liter per Minute, die Gesteinstemperatur 13·1° C.

Die weiteren Beobachtungen an dieser Quelle, welche in nachfolgender Tabelle zusammengefasst sind, zeigen eine Abnahme der Wassertemperatur.

Beobachtung am	Wassermenge Liter per Minute	Temperatur Celsius-Grade		
		der Luft	des Gesteines	der Quelle
15. December 1881	10·0	17·8	13·1	14·4
17. " 1881	10·9	16·0	13·1	12·4
20. " 1881	12·0	15·5	13·1	12·4
5. Jänner 1882	10·0	15·0	13·1	12·5
15. " 1882	10·0	15·0	13·1	12·5
4. December 1883	*)	18·0		12·0

*) Die Wassermenge konnte am 4. December 1883 nicht mehr bestimmt werden, nachdem der Austritt der Quelle aus dem Profilmauerwerk zerstreut erfolgte.

Die Zusammensetzung der Wässer, welche in dem Gebiete der krystallinischen Schiefer und Gneisse entspringen, ist im Allgemeinen gegeben durch die chemische Analyse des Wassers der Rosana am Wehr der unteren Rosanawasserleitung. Dieselbe ergab:

Fixer Rückstand	0·1020	} Gramme in einem Liter.
<i>SiO₂</i>	0·0020	
<i>CaO</i>	0·0320	
<i>MgO</i>	0·0146	
<i>FeO₃, Al₂O₃</i>	0·0011	
<i>Na₂O</i>	0·0063	
<i>SO₃</i>	0·0085	
<i>Cl</i>	0·0009	
<i>CO₂</i> gebunden	0·0390	

Die beobachteten Temperaturen der Atmosphäre in den einzelnen Arbeitsstellen lassen durch den Umstand, dass sie ausser der Gesteinswärme hauptsächlich von der Stärke der Ventilation wie von der Ansammlung von Arbeitskräften abhängt, einen bestimmten Vergleich mit der Gesteinswärme nicht zu, nachdem auch in dem gegebenen Falle die letztere eine geringe Intensität hatte, somit die Luft nicht vorherrschend beeinflusst.

Um ein Beispiel bezüglich der Einflussnahme der Ventilation vorzuführen, benütze ich den Sohlenstollen. Bei der Bohrung tritt die Luft in ziemlich constanten Mengen aus, bei der Schutterung nach der Sprengung der Minen jedoch sehr verschieden. Zu Beginn der Schutterung werden sehr starke Luftströme ausgelassen, sobald aber die Luft rein ist, nur ein geringer Luftstrom, um die Arbeiter, die im erhöhten Masse angestrengt beschäftigt sind, nicht den üblen Einflüssen der ausströmenden hochgespannten Luft auszusetzen.

Die in voriger Tabelle angegebenen Beobachtungen der Luft beziehen sich nur auf die Zeit der Ablesung des Gesteinsthermometers, es sind somit dieselben keine mittleren.

Die höchsten Lufttemperaturen, die im Sohlenstollen beobachtet wurden, betragen gegen 4° über der Gesteinswärme des betreffenden Ortes. In den anderen Arbeitsstollen stieg sie wohl noch höher, da die Ventilation daselbst oft eine geringere und die Ansammlung der Arbeitskräfte, wie Lampen, eine grössere war.

So wurde z. B. in dem Firststollenaufbruch bei 2397 Meter ein Maximum von 22.5° C. und ein Minimum von 13.6° C der Lufttemperatur beobachtet; im Aufbruchring bei 2704 Meter ein Maximum von 25.0° C., ein Minimum von 17.5° C.; im Aufbruchring bei 3004 Meter während der Mauerung ein Maximum von 20.5° C., ein Minimum von 17° C.

Die Messungen wurden vorherrschend mit Maximum- und Minimum-Thermometern vorgenommen.

Zum Schlusse erlaube ich mir noch hervorzuheben, dass mich bei den in sehr ausgedehntem Masse vorgenommenen Temperaturmessungen Herr H. Steininger, Ingenieur der k. k. Tunnelbausection, aufs werthtätigste unterstützte.
