

Wärmezunahme

nach dem

Inneren von Hochgebirgen.



Von

Dr. **F. M. Stapff.**



Geol. B.-A. Wien



Bern.

J. Dalp'sche Buch- und Kunsthandlung (K. Schmid).

1880.

Wärmezunahme nach dem Inneren von Hochgebirgen.



Auf der letzten Versammlung schweizerischer Naturforscher in *Brieg* las Herr *Lommel* ein Schriftstück über die Wärmezunahme nach dem Erdinneren vor, welches sich so vielfach mit meinen Arbeiten in gleicher Richtung beschäftigte, dass mir eine Antwort geboten schien. Die «*Archives des sciences physiques et naturelles, octobre 1880*», enthalten *Auszüge* unserer Mittheilungen. Obwohl das Manuskript meiner Antwort, welches allerdings erst Wochen *nach* der *Brieger* Versammlung aufgesetzt und der Redaktion der «*Archives*» zugestellt wurde, in dem betreffenden Auszug sehr kurz wegkommt, so würde ich es doch dabei haben bewenden lassen, wenn nicht eine kürzlich erschienene Broschüre: «*Etude de la question de chaleur souterraine et de son influence sur les projets et systèmes d'exécution du grand tunnel alpin du Simplon, présentée à la réunion de la Société helvétique des Sciences naturelles à Brigue, le 13 septembre 1880; par Georges-Thomas Lommel, Ingénieur, Directeur de la Compagnie du Simplon*», mich dazu nöthigte, diese Antwort in extenso zu veröffentlichen.

Im Interesse der Wahrheit muss ich vorausschicken, dass die Verwaltungsbehörden der Gotthardbahn meine Studien über den Einfluss der Erdwärme auf die Ausführbarkeit von Hochgebirgstunneln (z. B. Simplon) und deren Veröffentlichung *nicht* veranlasst haben. Insinuationen, welche ihren Ausdruck in Strophen wie: «les

écrits officiels des Gothardistes » (L. l. c. p. 20) u. a. finden, lassen sich leicht auf ihr *Nichts* zurückführen. Als Geologen der Gotthardbahngesellschaft (Herr Lommel spricht gerne im Plural von « *les Géologues de la Compagnie du Gothard* ») lag es mir u. a. dienstlich ob, während des Baues des Gotthardtunnels systematische Beobachtungen über Gesteins- Luft- und Wassertemperatur anzustellen, sowie ein Profil in der Tunnellinie zwischen Göschenen und Airolo aufzunehmen. Die bisher veröffentlichten fragmentarischen *Bearbeitungen* dieser Beobachtungen (Verhandlungen der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft 1874/75. — Studien über die Wärmevertheilung im Gotthard; I. Theil; Bern 1877) sind aber *Privatarbeiten*, mit Ausnahme eines Resumés: Répartition de la Température dans le grand tunnel du St-Gothard; Annexe XIV au volume VIII des Rapports trimestriels du Conseil fédéral sur la marche des travaux du Chemin de fer du St-Gothard (rapport n° 30). Das gleiche gilt von meinen Beobachtungen und Studien über den Einfluss hoher Temperaturgrade auf die Ausführbarkeit unterirdischer Arbeiten (Etude de l'influence de la chaleur de l'intérieur de la terre sur la possibilité de construction des Tunnels dans les hautes montagnes, in der « *Revue universelle des mines* » etc. 1879 und 1880. — Studien über den Einfluss der Erdwärme auf die Ausführbarkeit von Hochgebirgstunneln, im Archiv für Anatomie und Physiologie von His, Braune und E. du Bois-Reymond, 1879. — Wärmegrad, bei welchem in den Comstockgruben (Nevada) gearbeitet wird, in « *Eisenbahn* », Band XIII, Nr. 10 und 11). Wie wenig die Verwaltungsbehörden der Gotthardbahn an *diesen* Publikationen beteiligt sind, dürfte am deutlichsten aus folgendem Brief von mir an Herrn Oberingenieur *Bridel*, d. d. Airolo 2. Oktober 1879, hervorgehen:

« Hochverehrter Herr! Anbei erlaube ich mir Ihnen den Anfang einer Arbeit zu übersenden, welche Sie viel-

leicht in der letzten Nummer der «Eisenbahn» erwähnt gefunden haben. Das Manuskript derselben habe ich der Centralbauleitung *nicht vorgelegt*; weniger weil die Arbeit eine ausserdienstliche ist, ausgeführt in meinen ledigen Stunden und auf eigene Kosten, mit Benutzung von Daten (betreffend die natürlichen Verhältnisse des Gotthardtunnels), welche der Centralbauleitung successive einberichtet und von dieser (resp. dem hohen Bundesrath) grösstentheils schon veröffentlicht sind, — sondern weil die ganze Arbeit vielleicht als eine Polemik gegen den Simplon aufgefasst werden könnte, in welche ich die Verwaltungsbehörden der Gotthardbahn nicht einmal scheinbar verwickeln mochte durch Vorlegen meines Manuskriptes, dessen Veröffentlichung *nun* auf keine Weise als «beeinflusst» betrachtet werden kann. Genehmigen Sie die Versicherung meiner vorzüglichen Hochachtung.

F. M. Stapff.»

Beilage: Separatabdruck aus «Revue universelle».

Persönlich habe ich am Nichtzustandekommen des *Simplontunnels* kein Interesse. Ich kann nicht absehen, dass dadurch der Werth der Gotthardaktien beeinflusst werden könnte; ich glaube nicht, dass das Verkehrsgebiet der Gotthardbahn durch die Simplonbahn beeinträchtigt wird, sobald der Simplontunnel in solche Höhenlage kommt, dass seine Ausführbarkeit überhaupt garantirt werden kann; ich gönne den Bahnen der Westschweiz aufrichtig alle Vortheile, welche ihnen eine *fertige Simplonbahn* gewähren muss; und glaube endlich so fest an deren Zustandekommen, binnen kurz oder lang, dass mir ein Agitiren gegen dieselbe ganz zwecklos scheint. In der That hätte es kein sichereres und grausameres Mittel gegeben die *Simplonbahn* zu ruiniren, als *Schweigén* über die unabsehbaren Schwierigkeiten, welche der im Erdinneren einmal herrschende Temperaturzustand jenen Tief-Tunnelprojekten entgegenstellt, die Herr *Lommel* 1878 zu Paris ausstellte und zum Gegenstand von Vorträgen

machte, in welchen u. a. die Baukosten der 18,507^m langen Tunnelstrecke *Brieg-Iselle* auf Fr. 77,160,000 veranschlagt werden, in welchen *über die Temperaturfrage aber noch kein Licht aufgesteckt wird* (um an Herrn *Lommel's* Ausdrucksweise l. c. p. 15 anzuknüpfen). (Siehe «Eisenbahn» 1879, Bd. X, p. 18, 19.) Der einfache Grund, weshalb ich den Simplontunnel als Beispiel für den Einfluss hoher Temperaturgrade auf die Ausführbarkeit von Hochgebirgstunneln wählte, waren die über selbigen vorliegenden Profile und Daten. Hätte ein Tunnelprojekt durch den Blocksberg mit zugehörigen Profilen vorgelegen, so würde es ebensogut zur Demonstration der da drunten zu gewärtigenden Hitze haben dienen können.

Die Ausführungen des Herrn *Lommel* über die Einflüsse, welche eine gesetzmässige Temperaturzunahme nach dem Erdinneren perturbiren (l. c. 14—19), übergehe ich hier, weil das *wahre* an denselben so *alt* ist, dass es schon vor Jahrzehnten in elementaren geologischen Lehrbüchern viel besser als nun durch Herrn *Lommel* mitgetheilt wurde. (Siehe z. B. *Naumann*, Lehrbuch der Geognosie, I. Bd., 3. Kap., Geothermik; *C. Vogt*, Lehrbuch der Geologie, I. Kap., §§ 24—42.) Hinreichendes Beobachtungsmaterial zur Eliminirung einiger dieser perturbirenden Einflüsse haben aber allerdings erst die Gotthardbeobachtungen geliefert, und deshalb werden sie auch von Physikern, welche sich speziell mit der schwierigen Frage der Temperaturzunahme nach dem Erdinnern beschäftigt haben, mehr gewürdigt als von Herrn — *Georges-Thomas Lommel*.

Für erstere schreibe ich hier nicht. Denjenigen aber, welche die Frage interessirt und denen ein eingehendes Studium der betreffenden Literatur ferne liegt, dürfte ein kurzgefasstes Résumé der *Gotthardresultate* willkommen sein. Selbst Herr *Lommel* scheint meine einschlägigen

Arbeiten nicht zu kennen oder nicht zu verstehen, obwohl er sich bemüht dieselben zu misscreditiren. Ohne diese Annahme wäre schwer verständlich, wie er aus denselben einzelne Resultate herausreissen, andere weglassen, einige Ziffern und Daten (ohne Quellenangabe) für seine Zwecke sich aneignen, andere ignoriren oder gar lächerlich zu machen suchen könnte. Ich fühle mich solidarisch verantwortlich für meine mühseligen Arbeiten, beanspruche aber auch den Credit für selbige und bin mir schuldig, unbefugten Bemängelungen derselben entgegenzutreten.

Den letzten Theil (p. 26 ff.) von Herrn *Lommel's* Broschüre habe ich nur flüchtig durchblättert. Ich ersehe daraus, dass er meine schon früher ausgesprochenen Ansichten (vide z. B. «*Revue universelle*»; «*Eisenbahn*» 1880, Bd. XIII, Nr. 10, 11) betreffend die *Vortheile* des *Sohlenstollenbetriebes* für grosse Hochgebirgstunnel und betreffend die Nothwendigkeit, *in heissem Gebirge* den Richtstollen durchzuschlagen vor ernstlicher Inangriffnahme der rückwärtigen Arbeiten, theilt; glaube aber nicht, dass je ein grosser Tunnel nach dem System *Lommel* zur Ausführung kommen wird.

Die Frage von der Wärme im Inneren von Hochgebirgen scheint ein ebenso neues als fremdes Feld für Herrn *Lommel's* Studien; sonst hätte er wohl nicht viele Seiten über *Humboldt's* und *Arago's* einschlägige Arbeiten vorgelesen (deren wissenschaftlicher Werth zwar unvergänglich ist, welche aber in dem uns hier *speziell interessirenden Theil* der Frage so gut wie *keine* Aufschlüsse geben) und die späteren, viel umfassenderen und genaueren, Beobachtungen unerwähnt gelassen, für deren Sammlung und Bearbeitung die *British Association* ein besonderes Committee: «*On the investigation of underground temperature etc.*» niedergesetzt hat.

Als die bei weitem hervorragendsten Beobachtungsreihen über die Wärmezunahme nach dem Erdinneren will ich nur jene von *Reich* in *Sächsischen* Gruben und von

sehr in Betracht kommen, als die Temperaturen im Inneren).

Seite 37 und 41 habe ich zunächst auf die grossen, von *Wasserzuflüssen, coupirtem Terrain, Massenvertheilung des Gebirges, physikalischen Eigenschaften des Gesteins, langsamer Zersetzung gewisser Schichten* abhängigen Differenzen in der Temperaturzunahme an verschiedenen Tunnelpunkten *hingewiesen* ¹⁾ (Herr *Lommel* zählt diese Einflüsse auf, als seien sie von mir *übersehen* worden!) und fahre dann fort: «Es würde zu einer unübersehbaren Arbeit führen, wenn man die hier angedeuteten Umstände *gleichzeitig* als Variable *neben* einander in eine gemeinsame Gleichung einführen und ver-

¹⁾ Dieselben Umstände sind auch in dem schon erwähnten Aufsatz der „*Revue universelle*“ hervorgehoben, und besonders noch in dem Résumé: „*Répartition de la température dans le grand tunnel du St-Gothard*“, welches als Annexe XIV zum VIII. Band der *Rapports trimestriels du Conseil fédéral sur la marche des travaux du chemin de fer du St-Gothard* veröffentlicht wurde. Dasselbst heisst es u. A.: „Il saute aux yeux dès l'abord qu'au-dessous des crêtes escarpées ou des sommets proprements dits, l'élévation de température est relativement plus faible qu'au-dessous des vallées et des plateaux. La courbe de température de la roche accuse du reste, en outre, de nombreuses fluctuations de détail et de brusques écarts, qui paraissent singuliers, mais s'expliquent d'eux mêmes lorsque l'on compare le profil des températures avec une coupe géologique détaillée. C'est ainsi que la rapide élévation de température vers les profils 2550 et 2750 N. doit être attribuée à la rencontre des couches de calcaires etc., d'Altenkirch (percées dans le tunnel entre 2582 et 2723 mètres); ces couches non seulement possèdent une conductibilité et un pouvoir calorifique différents de ceux du gneiss avoisinant, mais forment en même temps un foyer de chaleur distinct par la décomposition de la pyrite et la formation de gypse, d'anhydrite et de kaolin (dans les couches extrêmes). Les élévations de température locales entre les profils 5000 et 6000 N. sont le fait des eaux *chaudes* qui circulent dans la serpentine et au Sud de ces couches, tandis que la faible augmentation que l'on remarque entre les profils 0 et 2800 S., environ, est évidemment causée par les importantes venues d'eau *plus froide* que la roche elle même,“ etc.

suchen wollte, aus den vorhandenen Beobachtungen den Bau der einzelnen Funktionen und die Constanten herzuleiten. Und wahrscheinlich würde ein so erzielter allgemeiner complicirter Ausdruck für jeden einzelnen concreten Fall eine Menge von verschiedenen gleichwerthigen Resultaten ergeben. Ich habe mir deshalb vorgenommen, im zweiten Theil (der Studien) die Wirkungen der erwähnten Ursachen *getrennt* von einander zu behandeln, um wo möglich zu einem Urtheil über die Grösse ihres jemaligen Einflusses auf das schliessliche Resultat zu gelangen. Zu dem Ende ist es nöthig, den Gang zu ermitteln zu suchen, welchen die Temperaturzunahme bei Eliminirung aller Nebenumstände in Folge einer *einzigsten Hauptursache* nehmen würde. Als diese Hauptursache betrachten wir die *zunehmende Tiefe*, mehr der allgemeinen Anschauungsweise nachgebend, als der durch die bisherigen Beobachtungen im *Gotthardtunnel* gewonnenen Erfahrung. Wir betrachten also *zunächst* die *vertikalen Tiefen* (h) als Urvariable, die entsprechenden Temperaturzunahmen (δ) als Abhängigvariable, den *Einfluss aller anderen Ursachen* aber wie den Einfluss *zufälliger Beobachtungsfehler*.»

Nach der kleinsten Quadrat-Methode berechnet ergibt sich für die Tunnelstrecken 0—4400 N. und 0—4100 S. die *Wärmezunahme im grossen Ganzen*:

$$\delta = 0,020679 h \text{ (Formel XII; l. c. p. 45}^1\text{)}.$$

¹⁾ Herr *Lommel* wortet viel von *Gotthard-Temperaturen*, welche nach dieser Formel „conjecturirt“ worden seien, theilt auf Pl. V sogar eine „*Comparaison graphique entre les températures réellement constatées dans l'intérieur du tunnel du St-Gothard et les températures conjecturées par les géologues de la compagnie du St-Gothard*“ mit. In dieser graphischen Darstellung ist aber alles von mir copirt *mit einziger Ausnahme* der als „*courbe des températures de la roche intérieure selon la formule de M. Stapff $\delta = 0,02068 h$* “ bezeichneten Linie, welche Herrn *Lommel's* Machwerk ist. Ich habe sie nicht revidirt, muss aber an ihrer Richtigkeit zweifeln, da Herr *Lommel*

Die in der Tabelle IV, p. 39—40, Col. 13, 14 der «Studien» etc. zusammengestellten Differenzen zwischen beobachteten und (nach dieser Formel) zurückberechneten Temperaturen sind keineswegs Folge von «formules inexactes et basées sur des données insuffisantes», etc., sondern sie allein können das Mittel bieten, den Einfluss der oben specificirten Umstände auf die Wärmezunahme festzustellen. Ohne Kenntniss dieser Differenzen und Ermittlung der Verhältnisse, unter denen sie eintrafen, bleibt alles Raisonniren über conductibilité, refroidissement des surfaces extérieures, forme du relief, etc. — vage Phrase. — Es war meine erste Aufgabe, diese Differenzen festzustellen. Dieselben in Procenten der resp. Temperaturzahlen auszudrücken, ist jedoch eine Absurdität, welche nicht mir zur Last fällt.

Die Gleichung XII sollte nicht verwendet werden, um für einzelne Punkte im Erdinneren, unter sehr coupirtem Terrain, die Wärmezunahme zu ermitteln; denn sie giebt für Einsenkungen zu niedrige, für Gipfel zu hohe Werthe. Aber sie ist von praktischer Bedeutung, sobald es sich darum handelt die mittlere Temperatur auf einer längeren Linie im Inneren eines Gebirges festzustellen, welches dem durchtunnelten Gotthard durch Höhe und Massenvertheilung ähnelt; vorausgesetzt, dass über dieser Linie Berg und Thal, Gesteins- und Wasserverhältnisse gleichfalls wechseln. Am schlagendsten wird dies bewiesen durch die grosse Uebereinstimmung der summarischen Wärmezunahme-Gradienten, welche ich seit 1877 für jede jährlich aufgefahrene Strecke des Gotthardtunnels aus den

sogar das Längenprofil so nachlässig wiedergiebt, dass z. B. auf der Andermattter Ebene Unebenheiten von 50 à 60^m vorkommen, entsprechend Temperaturdifferenzen von mehr als 1°! Welchen Sinn hätte es wohl gehabt, Temperaturen für die bereits durchfahrenen 4 à 5 Kil. jeder Tunnelseite zu „conjecturiren“, nachdem die daselbst beobachteten Temperaturen bereits in Berechnung eines generellen Wärmezunahme-Gradienten eingegangen waren!?

resp. Temperaturbeobachtungen von Neuem berechnet habe. Diese Gradienten (sie sind im *Jahresbericht der Direktion und des Verwaltungsrathes der Gotthardbahn pro 1879* zusammengestellt) weichen unter sich und von jenem der Formel XII erst in den letzten Decimalen ab. Deshalb wird diese Formel auch die Temperatur in der 2600^m langen *Mittelstrecke* des *Simplontunnels* (Projekte *Lommel* auf der Pariser Ausstellung) annähernd richtig ergeben; richtiges Längenprofil vorausgesetzt, und abgesehen von einem Umstand, welcher weiter unten zur Sprache kommen soll und welcher *höhere* Temperatur, als die nach *XII* berechnete, zur Folge haben dürfte.

Auf p. 45—49 der erwähnten « Studien über die Wärmevertheilung » etc. habe ich die *allgemeine* Beziehung zwischen *Temperaturzunahme* (δ) und *kürzestem Abstand* (n) zur Oberfläche entwickelt, nämlich:

$$\delta = 0,02159 n \text{ (Formel XV).}$$

Die hienach zurückberechneten Temperaturen weichen von den direkt beobachteten im Mittel ebensoviele ab, als die nach XII berechneten. Daraus müssen wir schliessen, dass die Aufgabe durch *Einführung kleinster Abstände* (oder der Radien eingeschriebener Halbkugeln) *in Einzelnen nicht besser gelöst wird, als durch Einführen vertikaler Abstände*, und der Grund ist auch leicht abzusehen. Ausser den *über* den Beobachtungspunkten liegenden Gebirgsmassen kommen nämlich auch die *seitlichen* in Betracht, wie? — werde ich zu zeigen suchen, sobald sich Gelegenheit bietet die Temperaturbeobachtungen im *Gotthardtunnel* *zusammenhängend* zu bearbeiten. Jetzt mag es genügen darauf hinzuweisen, dass sich Herr *Lommel* in grossem Irrthum befindet, wenn er meint dass zur korrekten Ermittlung des Wärmeszustandes (eines Punktes) in einer eventuellen *Simplontunnellinie* unter *Passo de l'Aurora*, nur der Abstand vom Tunnel zur Passhöhe (oder zu den Seitenabfällen des Passes) in

Rechnung zu ziehen sei; — die seitwärts vom *Passo de l'Aurora* liegenden Bergriesen wollen auch nicht übersehen sein.

Da ein Vergleich der nach XII und XV berechneten Werthe mit den direkten Beobachtungen ergibt, dass die Wärmezunahme (in dem gegebenen Terrain und zu den erreichten Tiefen) im einzelnen Fall *nicht* eine einfache geradlinige Funktion des vertikalen oder kürzesten Abstandes zur Oberfläche ist, so entwickelte ich (l. c. p. 38—49) noch zwei viel allgemeinere Gleichungen zwischen δ einerseits und h resp. n andererseits, nämlich:

$$X^b: \delta = \sqrt{41,6593 - 0,1517 h + 0,00011195 h^2} \\ + 6,45 + 0,0106 h$$

und

$$XIII: \delta = \sqrt{36,1682 - 0,1278 n + 0,000103 n^2} \\ + 6,01 + 0,0102 n.$$

Diese Formeln geben Werthe, welche von den beobachteten *viel weniger abweichen, als die nach XII und XV berechneten*; und die besten Resultate gibt XIII. Nach derselben berechnete ich 1877 und zu Anfang 1879 als in der Mittelstrecke (7000 N. bis 7000 S.) des *Gotthardtunnels* zu erwartende mittlere Gesteinstemperatur **30,41°** (siehe den schon erwähnten Aufsatz in *Revue universelle*, oder die deutsche Ausgabe desselben in *Archiv für Physiologie* etc.). Sechs auf dieser Strecke versenkte Gesteinsthermometer zeigten aber (1880) die Mitteltemperatur **30,43°** (siehe «Répartition de la température», etc. in Annexe XIV zu Band VIII der *Rapports trimestriels*¹⁾).

¹⁾ Die Funktionen XII, XV, X^b, XIII *zusammengenommen* ergaben als zu erwartende mittlere Gesteinstemperatur der Tunnelscheitelstrecke **31,74°**, mit einer Unsicherheit von $\pm 2,55$. Die Abweichung zwischen Rechnung und Beobachtung ($31,74 - 30,43 = 1,31^\circ$) liegt also auch bei dieser Berechnungsweise *innerhalb* der vorausgesehenen Fehlergrenze.

Die Gleichungen X^b und XIII führen zu *imaginären Werthen* von δ für $h = 382,6 \dots 969,4$ und $n = 438,0 \dots 799,9$, womit folgendermaassen zusammenhängt: Die Beobachtungspunkte im Tunnel liegen *nicht über einander*, sondern in einer Linie *nach einander*; die in Rechnung gezogenen (vertikalen oder kürzesten) Abstände zur Oberfläche desgleichen, d. h. sie fussen abwechselnd unter Thälern oder Bergen. Es wurde aber schon erwähnt dass die Wärme unter Thälern rascher zunimmt, als unter Bergen. Denkt man sich eine Reihe gleich hoher Bergsättel und gleich tiefer Thalmulden so verlaufen die Geo-Isothermen unter ersteren in weiteren

Diese für die Scheitelstrecke des *Gotthardtunnels im voraus* berechneten Temperaturen liefern allerdings einen so schlagenden Beweis für die Richtigkeit der Beobachtungen und Berechnungen, dass sie ebensowohl die Anerkennung von kompetenter Seite, als Herrn *Lommel's* Aerger über dieselbe (l. c. p. 12, 40 u. a.) begründen mögen. In Studien über die Wärmevertheilung, p. 55, wurde 1877 berechnet:

| | | | |
|-------------------------------------------|---------|--------------|--------|
| nach X^b Temperatur der Scheitelstrecke | 88,63°; | Unsicherheit | + 2,6 |
| " XII " " " | 88,98°; | " | + 4,94 |
| " XIII " " " | 81,58°; | " | + 2,45 |
| " XV " " " | 34,04°; | " | + 4,96 |

Bei Berücksichtigung der Gewichte dieser Temperaturzahlen folgt als Mittel **32,8°**; „und ich will, *richtiges Profil in der Umgebung des Kastelhorns vorausgesetzt*, aus empirischen Gründen 1 gegen 1 wetten, dass dieser Werth mit nicht mehr als 2,55° unter- oder überstiegen werden wird“ etc. etc.

Die von der Dufourkarte abgegriffene Profillinie zeigte sich aber nach Beendigung der direkten Aufnahmen für das Gotthard-Längenprofil gegen 100^m zu hoch. Mit Zugrundelegung des *correcten* Längenprofils berechnete ich *nach genau denselben Formeln wie früher*, jahrelang vor dem Tunneldurchschlag:

| | |
|-------------------------------------------|--------|
| nach X^b Temperatur der Scheitelstrecke | 32,61° |
| " XII " " " | 33,06° |
| " XIII " " " | 30,41° |
| " XV " " " | 32,78° |

Mittelzahl (bei Berücksichtigung der Gewichte der Einzelberechnungen): **31,74.**

Abständen, als unter letzteren, und *in einer gewissen Tiefe muss sich eine nahezu horizontale Isotherme einstellen, trotz der ungleichen Höhe des überliegenden Terrains.* Für Punkte in dieser Horizontal-Isotherme, über welcher am *Gotthard* die Gebirgsdicke $969,4 - 382,6 = 586,8^m$ resp. $799,9 - 438 = 361,9^m$ schwanken kann, dürfen also die Gleichungen X^b und XIII gar keine reellen Werthe ergeben, sonst wären sie unrichtig entwickelt.

Um die Richtigkeit dieses theoretischen Schlusssatzes auch empirisch zu prüfen, habe ich die Temperaturbeobachtungen auf der ganzen im Jahr 1878 mit dem südlichen Richtstollen des *Gotthardtunnels* durchfahrenen Strecke (4600—5900^m v. Südportal) in Rechnung gezogen (siehe *Revue universelle* und *du Bois-Reymond's* Archiv). Auf dieser Strecke variiren die Meereshöhen (Mittelzahlen für je 100^m lange Stationen) zwischen 2410,5 und 2688,1^m; die Höhen des überliegenden Gebirges zwischen 1250,5 und 1528,4^m; die Gesteinstemperaturen zwischen 28,1° und 30,8°. Durch Einführung von 13 je zusammengehörigen Werthen für Θ , H , δ in die Gleichung¹⁾: $\tau + h \delta = H \delta + \Theta$ ergibt sich, dass *in der Tunnelebene, zwischen 4600 und 5900^m v. Südportal, in 1621,3^m Meereshöhe, eine Horizontal-Isotherme mit der Temperatur 19,8° liegt.* Vergleicht man die Temperaturen, welche an verschiedenen Punkten dieser Linie nach den Beobachtungen im Tunnel herrschen müssen, mit der so berechneten Temperatur 19,8°, so findet man Differenzen zwischen 0 und 0,7°, im Mittel $\pm 0,4^\circ$! Rechnung und Beobachtung stimmen also auch hier so wohl mit einander überein, als man vernünftiger Weise begehren kann.

¹⁾ In derselben bedeutet h die Meereshöhe der gesuchten Horizontal-Isotherme; τ die in ihr herrschende Gesteinstemperatur; Θ die Bodentemperatur der Oberfläche an je einem Profilpunkt; H dessen Meereshöhe; δ den für denselben beobachteten Wärmезunahme-Gradienten (zum Tunnel).

Die so bewiesene Existenz von Horizontal-Isothermen *unter sehr coupirtem* Terrain ist vom grössten praktischen Gewicht für die Beurtheilung der Wärmevertheilung im Inneren von Hochalpen. Ich habe die Consequenzen dieser Thatsache für Tunnelprojekte bisher nicht öffentlich besprochen und werde es auch sobald nicht thun, obwohl meine einschlägigen Untersuchungen fast abgeschlossen sind. Folgende Andeutungen mögen genügen. Man darf sich wohl vorstellen, dass *bis zu* einer Horizontal-Isotherme die Wärmezunahme (andere Einflüsse jetzt bei Seite gelassen) von der Form des überliegenden Terrains wesentlich modifizirt wird, dass aber *unter* dieser Horizontal-Isotherme *andere*, von den Terraindetails *unabhängige* Wärmezunahme-Gradienten eintreten. Nun haben die bisherigen besten Erdtemperaturbeobachtungen einen mittleren Zunahmegradien von (rund) 0,03 ergeben, für nahezu ebenes wenig über der Meeresfläche erhabenes Terrain. Die *Gotthard*beobachtungen führen aber zu einem mittleren Gradienten von (rund) 0,02 für eine Linie in 1109 à 1155^m Meereshöhe durch coupirtes Hochgebirge mit Gipfelhöhen von 2800 à 2900^m. Der Schlusssatz liegt sehr nahe dass für Linien, welche in Meereshöhen zwischen 0 und 1150^m durch ähnliches Gebirge gezogen werden, Wärmezunahme-Gradienten zwischen 0,03 und 0,02 eintreten; beispielsweise etwa 0,024 für eine Linie in 750^m Meereshöhe. Durch Einführung eines *solchen* Gradienten würde aber als Temperatur in der Mittelstrecke eines *tiefen Simplontunnels* etwa 53° folgen anstatt 46,9°, wie ich durch einfache direkte Applikation der Erfahrungen vom *Gotthard* früher ermittelt hatte.

Da Herr *Lommel's* Angaben über die Temperaturen, welche unterirdischen Arbeiten ein Ziel setzen, gleichfalls meinen Arbeiten in *Revue universelle, du Bois-Reymond's*

Archiv, Eisenbahn entnommen sind, so darf ich mich wohl mit Recht über ungenaues oder tendenziöses Citiren beschweren. Herr *Lommel* hakt sich an eine « affirmation, d'après laquelle il n'existerait pas d'exemple pratique de travail souterrain continu à des températures supérieures à 39,9 degrés »¹⁾! In den schon mehrerwähnten Aufsätzen der *Revue universelle* und des *Archives* von *du Bois-Reymond* steht aber z. B., dass in *Falunkupfergrube* bei 52° « se firent les travaux de dégagement des deux chantiers »; ferner: « Monsieur *Quintino Sella* m'a dit d'avoir visité un chantier dans une mine de *Cornouailles* où la température de l'air, par suite de la décomposition des pyrites, pouvait s'élever à 40° », etc. ! (Notes, *Revue universelle*.) Aus den *Gotthardbeobachtungen* habe ich hergeleitet (l. c. Tab. V), dass unter atmosphärischen Verhältnissen, wie sie vor dem Durchschlag in der *Göschener Tunnelseite* herrschten, baldiger Tod durch eine Hitze von 76,9° eintreten würde, während die praktische Grenze der Arbeitsmöglichkeit bei 45,7° liegt; dass dagegen für *Airoleser* atmosphärische Verhältnisse die resp. Temperaturzahlen 60,3 und 37,7° wären.

Herr *du Bois-Reymond* fixirte als Grenztemperatur für anhaltende unterirdische Arbeit nicht 55° (wie Hr. *Lommel* angiebt), sondern sagt: « Et si l'air est saturé, je ne crois pas, à priori, qu'il soit possible que des créatures humaines y résistent avec une température de 50°. Il est presque sûr que dans une atmosphère saturée d'eau une température de 40° serait mortelle. » Dieser Ausspruch des berühmten Physiologen wird durch die That-

¹⁾ Erst nach dem Durchlesen von Herrn *Lommel's* Broschüre fällt mir ein, dass diese Ziffer allerdings in einem Bericht an die Centralbauleitung vom 8. Juni 1878 vorkommt. Um diese Zeit begann ich aber gerade Erfahrungsergebnisse über den Einfluss hoher Temperaturen auf Grubenarbeiten zu sammeln; auch entsinne ich mich nicht in meinen späteren einschlägigen Arbeiten von diesem Bericht Gebrauch gemacht zu haben.

sachen von *Comstock* in *Nevada* bestätigt. Aus einer Bearbeitung des einschlägigen, von *Amerika* zugeschickten, Beobachtungsmateriales in «*Eisenbahn*»; 1880, September, Nr. 10 und 11 (Exemplare wurden an die in *Brieg* versammelten Naturforscher vertheilt) folgt nämlich, dass in den *Comstock*gruben jetzt gewöhnlich bei 42,2—46,7° gearbeitet wird, dass aber bei 54,4—57,2° die Arbeit eingestellt werden musste, weil diese Temperatur ¹⁾ Geisteszerrüttung und baldigen Tod der Arbeiter zur Folge hatte. — Und dennoch ist die Luft der *Comstock*gruben trocken; die heissen Galerien erreichen *nie eine grössere Länge* als einige hundert Meter von den Hauptwetterstrecken; es liegen verhältnissmässig *kühle* Stellen nahe an den heissen; und die ganze Tendenz der dortigen *natürlichen* Ventilation ist *nicht* darauf gerichtet, die *Arbeitsräume* zu einem erträglichen Grad abzukühlen, sondern die Arbeiter selbst. Mit Nichtachtung ihrer Gesundheit lässt man sie copieuse Mengen Eiswasser trinken und bläst enorme Quanten relativ trockener Luft über ihre nackten Körper. *Wenigstens* 150 Liter frische Luft per Secunde braucht dort jeder Mann um aushalten zu können. Im *Gotthardtunnel* kam (vor dem Durchschlag) reichlich 3 Liter per Secunde auf den Mann. Wenn die *Gotthard*installationen 4 Millionen Franken gekostet haben, um dies Luftquantum durch *maschinelle Mittel* liefern zu können, was würden Tunnelinstallationen kosten, welche 50 mal so viel leisten und 150 Liter per Secunde und Mann liefern sollen?

Durch natürliche Ventilation, mittelst Schächten, könnte man eher zum Ziel kommen; vorausgesetzt dass es gelingt, nur durch comprimirte Luft die Arbeit *bis zum Durchschlag* von Stollen und Schacht zu ermöglichen.

¹⁾ Und in einzelnen Fällen eine **viel** niedrigere!

Ich bedaure dass im Vorhergehenden scharfe Ausdrücke vorkommen. Die bei der Naturforscherversammlung Anwesenden können jedoch bezeugen, dass Herr *Lommel* keine mildereren gegen mich gebraucht hat (ebensowenig in seiner Broschüre); dass er also nur seine eigene Aussaat erntet.

Airolo, November 1880.

