Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 58 (1875)

Artikel: Beobachtungen über die Gesteins-, Wasser- und Temperatur-Verhältnisse des Gotthardtunnels in den Jahren 1872-1875

Autor: Stapff

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-90001

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

II.

Beobachtungen über die Gesteins-, Wasser- und Temperatur-Verhältnisse des Gotthardtunnels

in den Jahren 1872—1875

von

Dr. Stapff, Chef der geolog.-mont. Abtheilung bei der Central-Bauleitung der Gotthardbahn.

Das gesammelte geologische Material hat noch nicht erschöpfend bearbeitet werden können, theils aus Mangel an Zeit, theils weil die Lagerungsverhältnisse in der Profilebene des Tunnels von der Art sind, dass eine unbefangene und systematische Bearbeitung des Materiales überhaupt erst denkbar ist, wenn die Tunnelarbeiten so weit fortgeschritten sind dass die Schichtenkomplexe südlich und nördlich von Altekirche unter sich und mit jenen südlich vom Gotthardmassiv verglichen werden können. Durch die Liberalität der Gotthardbahn-Gesellschaft und das lebhafte Interesse, welches deren Verwaltung, Direktion und technische Oberleitung an den Fortschritten der Wissenschaft nehmen, ist es möglich geworden beim Betrieb des Gotthardtunnels wissenschaftliche Beobachtungen systematisch anzustellen und nebst Belegstücken der wissenschaftlichen Welt zur beliebigen weiteren Bearbeitung zugänglich zu halten.

A.

Gesteins-Verhältnisse.

1. Nordseite des Gotthardtunnels.

Augenblicklich liessen sich nur die geologischen Beobachtungen in der mit dem *nördlichen* Tunnelort bisher durch-

fahrenen Gebirgszone zu einer systematischen Darstellung bringen; denn diese Gebirgszone stellt ein in sich abgeschlossenes Ganzes dar; sie ist die zum Finsteraarhornmassiv gehörige *Gneissgranitpartie,* welche durch das Urserntal vom eigentlichen Gotthardmassiv topographisch und geologisch getrennt wird.

In dieser Zone durchfuhr der Tunnel zwischen 0 à 2000 m. vom Portal *Gneissgranit* (Alpengranit) und *grauen Gneiss,* beide mit Einlagerungen von *Eurit* und *Glimmerschiefer.* Die petrographischen Eigenschaften der genannten Gesteine sind in den Monatsberichten des eidgenössischen Inspektors der Gotthardbauten vielfach geschildert worden, ebenso in den Tabellen, welche sammt geologischen Durchschnitten durch die Quartalsberichte des Bundesrathes veröffentlicht werden.

Hinsichtlich der Lagerungsverhältnisse genannter Gesteine aber ist anzuführen, dass der *Alpengranit* von 0 bis 1100 m., der *graue Gneiss* mit Zwischenlagen des vorigen von 1100 bis 1537 m., *Alpengranit* mit deutlicher *Gneissstruktur* von 1537 bis 2000 m. sich erstreckte, wo eine 10 m. dicke *Contaktschicht* die Finsteraarhorngesteine von den Urserngesteinen trennt. In den *Schöllenen,* wo das geologische Tunnelprofil vielorts zu seiner halben Tiefe natürlich aufgeschlossen ist, lassen sich diese Gesteinswechsel auch am Tage wahrnehmen.

Die in der Regel undeutliche *Parallelstruktur* des Gneissgranites und die sehr deutliche des Gneisses verlief überhaupt *N* 70 *E* ⊢ 81 *SE*, doch mit Abweichungen, welche z. B. zwischen 80 und 160, 450 und 480, 620 und 650, 878 und 1030, 1467 und 1550 m. eine Art Fächerstellung im Horizontalplan hervorbringen. An manchen dieser Punkte wird das Einfallen mitunter *nördlich,* und die Schichten sind *gefältelt.* Ausser der Parallelstruktur und wirklichen Schieferung ist vielfach noch eine *sekundäre* oder *falsche* Schie-

ferung wahrnehmbar, hervorgebracht durch mit *häutigem Glimmer überzogene,* dicht auf einander folgende *Klüfte,* meist *W* 45 à 60 *E* ⊢ *SE*, seltener *N* 37 à 61 *W* ⊢ *SW* verlaufend. Diese falsche Schieferung lässt sich auch am Tage wahrnehmen, sowohl in den Schöllenen, als im Tunnelportal. Sie scheint übrigens eine in den Alpen nicht ungewöhnliche Erscheinung zu sein, lässt sich z. B. vielfach zwischen *Göschenen* und *Amsteg,* am deutlichsten aber vielleicht am *Monte Piottino* (Alte Platifer, Plattenberg) zwischen *Airolo* und *Faido* wahrnehmen. Die Parallelstruktur des häufig feingefältelten Gneisses verläuft an letzterem Ort überhaupt fast *E W* mit steilem Einfallen in *N*; die viel deutlichere falsche Schieferung, welche jene Plattenabsonderung veranlasst, der der Berg seinen Namen verdankt, verläuft dagegen *N W* mit Einfallen in *S W*, d. h. völlig konkordant der Schichtung der *auf* dem Piottino*gneiss* aufliegenden Straten von Glimmerschiefergneiss, Glimmerschiefer, Quarzit, dolomitischem Kalk.

Sämmtliche auf der Nordseite des Gotthardtunnels wahrgenommenen Einlagerungen von *Glimmerschiefer* sind *gangartige* Bildungen, wie ihre *Discordanz* zu den umgebenden Gesteinsschichten, öfters wahrgenommene *Vertrümmerung* und gegenseitiges *Durchsetzen* beweist. Die Glimmerschiefergänge umschliessen oft *schollenartige Partien* des *Nebengesteins,* namentlich nahe ihrem Hangenden. In den Schöllenen verräth die oft gewundene Form der sich häufig verzweigenden Runsen gleichfalls die Gangnatur des Glimmerschiefers, in welchen die Runsen eingeschnitten sind. Im Tunnel zeigten sich die Glimmerschiefergänge besonders *vor und in* der Zone des grauen Gneisses entwickelt. Südwärts von demselben verschwinden sie fast völlig.

Die sogenannten *Eurite* sind gleichfalls ohne Ausnahme *Gangbildungen.* Man kann *gewöhnlichen dicht gemengten* Eurit, *graugebänderten, felsitischen* (der Grundmasse vieler Felsit-

porphyre gleichend), *grobspäthigen* unterscheiden. Letzteres Gestein wird doch nur wegen analoger Lagerungsverhältnisse zu den eigentlichen Euriten gerechnet.

Diese Eurite gehören 2, wo nicht 3 Bildungsperioden an. Der gewöhnliche feinkörnige bildet Streifen im Gneissgranit, welche dessen Parallelstruktur der Hauptsache nach folgen; der gebänderte folgt theils der Parallelstruktur des ungebundenen Gesteines, theils schneidet er unter sehr verschiedenen Winkeln durch. Hierher gehören auch die meisten Eurite, welche Sohlbänder der Glimmerschiefergänge bilden oder in letztere eingeflochten sind. 4 à 6 m. mächtig tritt Eurit bei 1223 und 1348 m. auf. Sehr entwickelt sind Euritgänge bei 517 à 670, 930 à 950, 990 à 1000, 1090 à 1160, 1200 m., vielfach unter sich und mit dem Nebengestein verflochten bei 1410 und 1420 m. Ausser den schon erwähnten *NE*- und *NW*-Klüften, welche das Gestein häufig verplatten und seine falsche Schieferung veranlassen, sind zunächst Klüfte hervorzuheben, welche die Parallelstruktur spitzwinklig schneiden und jene Plattenabsonderung veranlassen, welche sich z. B. an der Teufelsbrücke so deutlich wahrnehmen lässt und welche man bald als Schieferung bald als Schichtung gedeutet hat. Diesen Klüften folgen häufig die erst erwähnten Eurite. *NE*- und *NW*-Klüfte, meist südlich, selten nördlich einfallend, waren nicht selten mit *Chlorit*, zwischen 1650 und 2000 m. mit *Eisenoxyd*, zwischen 1780 und 1800 m. auch ganz dünn mit *Kaolin* überzogen. *Schwebende Klüfte* sind von grossem Interesse, weil *nur* in Erweiterungen der denselben häufig folgenden *Fettquarzgänge* Krystalldrusen vorgekommen sind. Diese Drusen führen *Bergkrystalle, Adular, Kalkspath, Flussspath, Apatit.* Die Bergkrystalle sind oft zerbrochen, wieder verkittet und in pulverigen *Chlorit* eingebettet. Die Drusen sind fast immer von sogenanntem *Drusengestein* umgeben, d. h. Gneissgranit, dessen schwarzer Glimmer durch Chlorit

verdrängt ist, welcher seine Parallelstruktur eingebüsst hat, lose und porös geworden ist. Es enthält mitunter *Flussspath* und *Kalkspath* und so viele lose miteinander verwachsene *Adularkrystalle*, dass er durch selbige ein zuckerkörniges Aussehen annimmt.

Altersfolge der genannten Gesteine:

a. *Grauer Gneiss*, schollenartig im Alpengranit (ob identisch mit dem grauen Gneiss von 1100 bis 1537 m.?).

b. *Alpengranit* und *grauer Gneiss* (ob letzterer nur glimmerreiche Strukturvarietät des ersteren?).

c. *Aelteste Euritgänge;* sie folgen fast der Parallelstruktur des Gneissgranites. *Glimmerschiefergänge* und *Eurite* mit ihnen verwachsen.

d. *Jüngere Euritgänge.*

e. *Schwebende Quarzgänge* mit *Krystalldrusen* (und umgebendes *Drusengestein*).

Folgende Verwerfungen dienen theils als Beleg für diese Successionsreihe, theils beweisen sie die aufeinander folgenden Bewegungen im Gebirge, welche die verschiedenen Klüfte veranlassten:

1690 m.:	37 W ⊢ 62 NE-Klüfte	setzen gegen	59 W ⊢ 72 SW-Klüfte ab.
730m.:	57 W ⊢ 36 SW-Klüfte	verwerfen	75 E ⊢ 70 N à 89 S Euritgang.
1140 und *1145 m.:*	62 W ⊢ 85 SW-Klüfte	„	40 W ⊢ 30 SW Euritgang.
ibid.	40 W ⊢ 30 SW Eurite	„	67 W ⊢ 77 SW Eurite,
925 m.:	74 W ⊢ 86 SW *Glimmerschiefer*	schneidet	84 E ⊢ 55 SE Eurit d.
811 m.:	75 W ⊢ 61 SW-Klüfte	verwerfen	87 W ⊢ 80 à 90 S *Glschiefer.*
884 m.:	63 E ⊢ 54 SW-Klüfte	„	64 NW ⊢ 80 S „
806 m.:	31 E ⊢ 42 SE-Klüfte	„	87 NW ⊢ 80 u. 90 S „

Zur Feststellung des *Verhältnisses*, in welchem die skizzirten Gebirgsschichten zu einander stehen, scheint besonders erforderlich, dass selbige mikroskopisch und chemisch analysirt werden. In letzterer Beziehung scheint namentlich wünschenswerth durch Bauschanalysen festzustellen:

1. Das Verhältniss des *Alpengranites* zum *grauen Gneiss* und zu den im Gneissgranit eingeschlossenen *Schollen* von grauem Gneiss.

2. Das Verhältniss des *Glimmerschiefers* zum *grauen Gneiss,* und des im Glimmerschiefer vorherrschenden *grauen Glimmers* zu dem grauen Glimmer, welcher die falsche Schieferung veranlasst, sowie zum schwarzen Eisenglimmer im Gneissgranit.

3. Verhältniss des *Drusengesteines* zum gewöhnlichen Gneissgranit, sowie des *Chlorites* im Drusengestein zum *Eisenglimmer* im *Gneissgranit.*

Ursernthal. Die Grenze zwischen den hieher gehörigen Gesteinen und den beschriebenen, zum Finsteraarhornmassiv gehörigen befindet sich an Oberfläche unmittelbar *S* vom Urnerloch und korrespondirt genau mit der bei 2000 m. vom Tunnel durchfahrenen.

Die bisher durchfahrenen Ursernthalgesteine sind:

a. *Contaktgesteine:* glimmerreicher dünnschiefriger Gneiss, noch vom Typus des Finsteraarhorngneissgranites, durchflochten von *Quarz* und *Euritgängen.*

b. *Urserngneiss,* dünnschiefriger glimmerreicher oft gestreifter Gneiss, in welchem der Feldspath oft als dichter Felsit ausgeschieden ist; sandkornähnliche Knoten auf dem Hauptbruch. Geht durch abnehmenden Feldspathgehalt in *Quarzitschiefer* über.

c. *Graugrüner chloritischer Schiefer* und *Gneiss,* mit viel *Schwefelkies.*

d. *Gneiss,* vom Typus des Finsteraarhorngneisses, und vielleicht Verzweigungen von diesem bildend.

Die *Schieferungsrichtung* dieser Gesteine im Tunnel entspricht genau der am Tage wahrnehmbaren. Von grösseren *Schichtenstörungen* kann also keine Rede sein; kleinere solche sind dagegen angedeutet durch vielfache *Biegungen, Knickungen, Harnische, lettige Zersetzung* mancher Schichten,

besonders im Urserngneiss und Quarzitschiefer, z. B. bei 2331 m., 2180 m. Die *Streichrichtung überhaupt N56 E. Einfallen* erst *S* bei 2000 à 2118 m.: 90° (81 à 90 *N*; 81 à 90 *S*); bei 2120 à 2160 m.: 88 *N*; bei 2217 à 2330 m.: 82 *S*. In der Kalkzone wird selbiges wieder *N* werden, und erst *hinter dieser* beginnt das *südliche Einfallen* der zum Gotthardfächer gehörigen Schichten.

Ueberhaupt lassen sich im Ursernthal *3 Syn-* und *Antiklinallinien* wahrnehmen, welche doch keine Bruchlinien zu sein scheinen.

Die *Grenze* zwischen den *Schiefergesteinen* und der *Kalkzone* fällt bei *Altekirche* steil in *S*, bei *Ruestili* (linkes Reussufer) dagegen in *N*, bildet also eine windschiefe Fläche, welche aber — von ihrer schwachen Biegung abgesehen — ohne Zeichen von Verwerfung — die Andermatter Ebene durchsetzt. In der Tunnelprofilebene wird diese Grenzfläche steil in Nord einfallen. Nach dem bei Altekirche wahrnehmbaren und genau eingemessenen Profil (*allgemeine* Richtung der Schichten daselbst: $52^1/_2 E \vdash 82 S$) hat man *im Tunnel* zu gewärtigen:

a. *Gneiss* bis 2578 m.

b. *Glimmerschiefergneiss* bis 2609 m. (Quellenschicht).

c. *Schwarzgraue dünne Schiefer (Glanzschiefer)* bis 2626 m.

d. *Kalkglimmerschiefer* bis 2634 m.

e. *Quarzitschiefer* (an der Oberfläche sandsteinähnlich) bis 2639 m.

f. *Kalkglimmerschiefer* (an der Oberfläche zersetzt) bis 2647 m.

g. *Cipollin*, zirka 35 m. mächtig. Südwärts von demselben repetiren sich die genannten Schichten in umgekehrter Ordnung. Es tritt zu selbigen aber vielleicht noch *Rauhkalk*, welcher nahe der Oberalpstrasse an einem Punkt zu Tage tritt, bei Altekirche aber fehlt.

Die südwärts von der Kalkzone folgenden *Sericitschiefer* (mit schwarzen und grünen Schiefern) entsprechen petrographisch, wenigstens am Tage, den bis jetzt im Tunnel aufgeschlossenen Urserngneissen, graugrünen Schiefern etc. Hierdurch sowohl als durch die Repetition der Schichten *N* und *S* vom Altekircher Cipollin wird die Existenz der Ursernschichtenmulde sehr wahrscheinlich.

Am *Ruestili* (linkes Reussufer) ist die Folge der (im allgemeinen *N*58 *E* ⊢ 63 *N* gerichteten) Schichten folgende:

a. Glimmerschiefergneiss.

b. 0,3 m. schwarzgrauer, zersetzter Schiefer (Glanzschiefer).

c. Dunkelgrauer Kalk, theils fein krystallkörnig mit vielen weissen Kalkadern, theils dünnschiefrig, theils in Mergelschiefer übergehend. Derselbe scheint einer weniger durchgreifenden Metamorphose unterlegen zu haben, als die entsprechenden Schichten bei Altekirche.

Da bisher sämmtliche in der Profilebene des Tunnels am Tage eingemessenen Gesteinsschichten auch im Tunnel aufgeschlossen worden sind, so scheint à priori die Annahme, dass dies mit der Ursernkalkzone *nicht* der Fall sein werde, unwahrscheinlich. Man kennt diese Schichten an der Furka in 2436 m. Meereshöhe; wenn sie also zur Andermatter Ebene zirka 1000 Meter tief herabreichen, warum sollten sie nicht noch 300 m. tiefer zum Tunnel sich erstrecken?[1]) Es gibt allerdings Gründe für eine andere Anschauungsweise. Die Sandsteine (Quarzite), welche die Kalkzonen sowohl des Tessin- als Rhone-Reussthales treu begleiten, zeigen sich immer da am meisten entwickelt, wo diese Zonen sehr zusammengedrückt und gehoben sind, z. B. in den Zusammenschnürungen des Nuffenen, der Furka, am

[1]) In der That wurde am 7. Oktober im Göschener Tunnelort Kalk angefahren.

Lago Ritom und oberhalb Altekirche, wo die Kalkzone (ostwärts) sich bald auskeilt. Sandstein- (Quarzit-)bildungen dürfen aber wohl im allgemeinen mehr als Strand, denn als Tiefseebildungen aufgefasst werden; wo sie sich relativ sehr entwickelt finden, hat man also Ursache die Nähe eines ehemaligen Strandes zu vermuthen. Ein solcher Strand *E* von Altekirche würde einem Busen angehört haben, dessen Längenschnitt ungefähr die Form einer halben Ellipse haben möchte. Denkt man sich die im Busen abgelagerten Schichten zu einer Mulde zusammengepresst, so würde deren Längenschnitt immer noch jenem des ursprünglichen Busens conform sein; desshalb wäre ja *denkbar,* dass der Tunnel unter dem *E*-Zipfel der Mulde hinlaufen könnte, ohne in diese einzuschneiden. Meinen Theils glaube aber, dass der Tunnel bei 2626 m. Kalkglimmerschiefer anschneiden wird.

2. Südseite des Gotthardtunnels.

Mit dem Voreinschnitt und den ersten 37 m. des südlichen Tunnelrichtortes wurden wechselnde dünne Schichten von *Sand, Kies, Grus* und *Torf* durchfahren, welche sich offenbar auf dem Boden und am *Strand eines ehemaligen See's* abgelagert haben. Die Grenzlinie dieses See's ist durch eine Reihe von Strandterrassen gekennzeichnet, die sich auf beiden Ufern des Tessin zum Canariathal und dieses aufwärts verfolgen lassen. Der See hat seinen Abfluss durch die Einmuldung bei *Madrano* gehabt (zirka 1150 m. ü. M.) und entleerte sich bei successivem Einschneiden der zirka 50 m. tieferen Schlucht von *Stalvedro.* Unterhalb derselben befand sich ein zweiter See, verrathen durch die deutliche Strandterrasse, auf welcher in 1050 m. Meereshöhe die Kirche von *Prato* steht; dieser zweite See entleerte sich durch Einsägen der Schlucht von *Dazio grande* durch den *Monte Piottino.*

Das Material zu den Strandterrassen bei *Airolo*, deren eine durch den Tunnel aufgeschlossen wurde, lieferte eine Moräne, welche unmittelbar vor dem Tunnelportal dem Tessinthale entlang verläuft und theils aus *Gotthardgesteins*-Fragmenten, hauptsächlich aber aus Gesteinen des *Bedrettothales* besteht, wie namentlich Gerölle des am *Piz Pesciora* anstehenden Granites mit *röthlichem* Quarz verrathen.

In dem Voreinschnitt zum definitiven Tunnel traf man zirka 3 m. unter Oberfläche auf eine von organischen Substanzen *dunkel gefärbte Sandschicht*, in welcher eine Menge behauener Holzspäne, Kohlen, Knochen von Ziege, Schaf und Schwein, Haselnussschalen, zerschlagene Bergkrystalle, Lederfetzen, Ueberbleibsel eines Holzgefässes, ein kleines Stück eines aus Tremolit gedrehten Gefässes etc. gefunden wurden — alle diese Gegenstände mehr und weniger mit *Vivianit* überzogen. Man glaubte fast eine »Culturschicht« vor sich zu haben, als Ruinen von einer Esse und ein Schleifstein ganz moderner Form das verhältnissmässig junge Alter der Schicht verriethen. Dieselbe dürfte der Miststätte eines ehemaligen Stalles am nächsten stehen. Nach einer Sage soll in der Nähe des Tunneleinganges das ehemalige Airolo gestanden, durch einen Schuttstrom des *Ri di Jenni* aber verwüstet worden sein.

Zwischen 37 m. und 83 m. durchfuhr der Tunnel *dolomitische Kalke* und zwar die nördlichsten Schichten jener Zone, welche sich vom *Nufenen*pass das *Tessinthal* abwärts zieht, in der Nähe von Airolo aber in 3 Zweige vertheilt, deren einer das *Canaria*thal aufwärts streicht, während der zweite zwischen *Fongio* und *Pianalto* nach dem *Lago Ritom* läuft, der dritte über *Nauti, Fiesso, Prato* nach *Cornorn.*

Die durch den Tunnel aufgeschlossenen Schichten bestanden aus *zuckerkörnigem, weissem,* häufig *roth* geflecktem *Dolomit*, aus *gelblichgrauem, zellulosem Rauhkalk*, beide

voll weisser *Glimmer-* und *grünlicher Talkblättchen*, denen sie ihre oft ausgezeichnete Parallelstruktur verdanken.

Der zuckerkörnige Dolomit besitzt wenig Zusammenhalt und zerfällt in Wasser oft zu Sand. Untergeordnet trat *krystallinischer dolomitischer Kalk* bei 82 m. in einer meterdicken Bank auf, *dolomitische Asche* bei ca. 67 m. und eine theils geschichtete theils ungeschichtete *Breccie* aus *Dolomit* und *Glimmerschiefer* nahe der Grenze der Kalkzone.

Durch das Vorkommen dieser Breccie scheint erwiesen, dass die Dolomitschichten *jünger* sind als die umgebenden Glimmerschiefer. Zwei dünne Schichten von *Quarzit* mit zwischenliegendem *Glimmerschiefer*, bei 85,6 und 90,4 m., sollten noch der Reihe der wahrscheinlich metamorphosirten Sedimentschichten zugefügt werden, da *Quarzit-* (und *Sandstein-*) einlagerungen fast nirgends fehlende Begleiter der Kalk- etc. -Schichten nördlich und südlich vom Gotthard sind. Wir finden sie z. B. am *Nufenen*, im *Gotthardtunnel*, am *Lago Ritom*, bei *Prato*, anderseits am *Lungisgrat*, *Furka*, bei *Realp*, *Altekirche*. Diese Quarzite des Tunnels enthalten ein wenig *Dolomit* und *Anhydrit* eingesprengt, welch Letzterem sie wohl die Eigenschaft verdanken im Wasser zu Sand zu zerfallen. Als Bänke ausgeschieden sind Anhydrit oder Gyps im Tunnel nicht vorgekommen, und es will scheinen, als ob die in der Gegend so häufig auftretenden Gyps- und Anhydritmassen stockförmige Einlagerungen seien, welchen bis jetzt noch keine gewisse Stellung in den umgebenden Dolomitschichten hat zugetheilt werden können.

Von 83—1141 m. erstreckten sich *graue Glimmerschiefer*, anfangs *silbergrau*, *lose*, *fast frei von Granaten*, mit nur sparsamen *schwarzen Glimmerblättchen*, später charakterisirt durch zahlreiche, bis nussgrosse Granaten, neben welchen sich auch häufig *Hornblendestrahlen* einfanden, gewöhnlich aber zu schwarzem Glimmer zersetzt. Die Glimmerschiefer

umschlossen einzelne Einlagerungen von *Amfibolgestein* und viele solche von *Quarzitschiefer* und *Quarzitglimmerschiefer*, enthielten bei 220—225, 235, 277, 288, 304, 437—444, 620, 650—807 u. a. P. Adern und Streifen von *krystallinischem Kalk*. Die betreffenden kalkhaltigen Schichten hat man als *Kalkglimmerschiefer* ausgeschieden, da ihr Auftreten vielleicht dereinst den Schlüssel zur Identificirung der Schichten auf beiden Seiten des Tessinthales abgeben könnte. Diese Kalkglimmerschiefer sind jenen des rechten Tessinthalgehänges allerdings nicht völlig gleich, sind namentlich viel ärmer an Kalk, welcher in denselben auch weniger in Lamellen parallel der Schieferung als in Form von Adern vorkommt; und einige derselben sind offenbar nur Umwandelungsprodukte von Hornblendegesteinen, der früher s. g. *Hemithrène* am nächsten verwandt. Auffällig aber ist das häufige Zusammenkommen (im Tunnel) dieser *Kalkglimmerschiefer* mit *dunkelgrauen, dichten*, oft *phyllitischen Glimmerschiefern*, welche durch kleine *Granaten* auf dem Hauptbruch oft knotig erscheinen und auch dadurch den *Knotenschiefern* des Nufenen gleichen (700 à 800 m.) Es wurde beobachtet, dass am Nufenen zweierlei Knotenschiefer vorkommen. Bei den einen sind die Knoten *Granaten*, bei den anderen Wülste und hagelgrosse Körner eines zeolithartigen Minernales; *nur die Letzteren* führen am Nufenen Belemniten.

Zwischen 1141 und 2010 m. waren die vorherrschenden Gesteine *graugrüne chlorithaltige Glimmerschiefer*, aussen durch graugrüne quarzige Grundmasse und gewöhnlich durch zahlreiche Schuppen von *braunem Glimmer* charakterisirt, aber fast frei von Granaten. Diese Schiefer umschlossen Einlagerungen von *Hornblendegestein*, von *Quarzitschiefer* (gewöhnlich sehr reich an *Schwefelkies*, daher an Oberfläche rostig verwittert — Sasso rosso) und von *Quarzitglimmerschiefer*, mit *häutigem, silbergrauem*, oft *roth ange-*

laufenem Glimmer neben schuppigem *braunem*, am *Tag oft von gneissähnlichem* Aussehen. An vielen Stellen wurden auch die graugrünen Schiefer durch *Kalkadern kalkglimmerschieferähnlich,* und bei 1810, 1830 u. a. P. umschlossen sie Schichten der schon oben erwähnten *dunkelgrauen Knotenschiefer.*

Von 2010 à 2200 m. stellten sich wieder *Amfibolgranatglimmerschiefer* und *Amfibolgesteine* ein. *Feldspath* als Gesteinsbestandtheil ist nur ausnahmsweise und in geringer Menge vorgekommen, z. B. im *Quarzit* bei 600 m. und in den graulichgrünen Schiefern von 1141 m. ab.

Disthen und *Staurolith* ist zwar vorgekommen (631, 180 und 186), aber immer nur spurenweise, Disthen (Cyanit) bei 180 und 186 in Quarzgängen eingewachsen, so dass das Vorkommen von Staurolithschiefern im Tunnel nicht konstatirt werden konnte. Aufmerksamkeit verdienen noch *scheinbare Gerölle im Glimmerschiefer* und *Hornblendegestein* bei 390 à 400 m.

Lagerungsverhältnisse. Die mittlere *Schieferungsrichtung* der hier aufgezählten Gesteine war im Tunnel $N\,46\,E \vdash 64\,NW$; Einfallen in Profilebene erst 56°, später 58°; am Tage hingegen $N\,38\,E \vdash 52\,NW$; Einfallen in Profilebene bis 1300 m. 41°, später steiler, bis 60°. Hierdurch ist eine *Schichtendrehung* angedeutet, welche doch mit der Gotthardfächerstellung an und für sich *nicht identisch ist* und offenbar der *Schwerkraft* ihren Ursprung verdankt. Die wesentliche *Verklüftung* $N\,78\,W$ à $77\,E \vdash 30$ à $60\,S$ und $NNW \vdash 90\,W$ erklärt den Vorgang dieser Drehung vollständig. Aus zahlreichen beobachteten Verwerfungen folgt nämlich, dass ein durch NNW-Klüfte begrenzter Streif irgend welcher Schicht durch aufeinander folgende $EW \vdash S$-Klüfte quer zerschnitten worden und stückweise an denselben Klüften abgerutscht ist. Da die $EW \vdash S$-Klüfte den Streif aber nicht völlig

rechtwinkelig durchschneiden, so musste mit Abrutschung der einzelnen Schichtenstücke auch eine seitliche Verrückung derselben verknüpft sein, welche leicht erklärlich macht, dass das *Streichen* eines gegebenen Schichtenstreifens am Tage *mehr* nördlich als im Tunnel.

Den *E W* ⊢ *S*-Klüften entsprechen zahlreiche schmale Gänge von *Quarz*, seltener von *Kalkspath*, vereinzelt von *Pegmatit*. Jünger als dieselben (welche übrigens nachmals wieder aufgerissen wurden) sind offenbar die *N N W*-Klüfte, welchen mitunter *Kalkspathtrümmer* parallel verlaufen. Am merkwürdigsten ist ein hieher gehöriger Gang, gefüllt mit *Kalkspath*, *kleinen Quarzkrystallen*, einem *grünen dichten Ganggestein* mit vielen *Schwefelkieskrystallen* (z. Th. zu Brauneisenstein zersetzt). In demselben, welcher in *N 3 à 4 W* ⊢ *79 à 86 W* verläuft, fand sich zwischen 495 und 500 m. eine *natürliche* Legirung von *c. 35 Ag 65 Au* in dünnen Blechen und Zacken.

Der besprochenen Verklüftung und den vielfachen mit ihr verknüpften Bewegungen verdanken *zahlreiche Spalten* ihren Ursprung, welche von grosser technischer Bedeutung sind, weil durch sie Tagewässer massenhaft in den Tunnel getreten sind und vielorts eine *lettige Zersetzung* des Gesteins eingeleitet haben, welche namentlich die ersten 260 m., dann zwischen 680 und 720, 750 und 770, 1800 und 1810, 2200 m. den Tunnelbau erschwerten.

Geologische Hauptaufgaben scheinen:

1) Ermittelung, ob vielfach sich wiederholende, petrographisch identische Schichten von z. B. *Granat-Glimmerschiefer, Quarzit, Amfibolgestein* nicht auch geotektonisch identisch sind, d. h., ob ihre Repetition Folge von Fältelung sei.

2) Feststellung, ob die von 1141 m. ab auftretenden *graugrünen Chloritglimmerschiefer* und *Quarzitglimmerschiefer* sich nicht mit jenem *N* von Altekirche identificiren lassen.

3) Beweisführung, dass die *Kalkglimmerschiefer* und *dunkelgrauen dichten Knotenschiefer* des Tunnels den ähnlichen Gesteinen am rechten Tessinthalgehänge zwischen Nufenen und Prato entsprechen.

B.
Wasserzuflüsse.

Gruben, welche unter Meer, Seen und Flüssen arbeiten (Newcastle on Tyne, Cornwallis, Hellgote bei Newyork etc.), haben längst bewiesen, dass oberflächliche Wasseransammlungen an und für sich durchaus nicht unterirdische Arbeiten gefährden. Für den Tunnel hat man also à priori nichts zu fürchten, weil er unter dem *Lago di Sella*, oder dem in Zeitungen vielbesprochenen « *unterirdischen See von Andermatt* » hinläuft. Erst wenn *wasserdurchlässige Schichten*, welche sich am Tage meist als *Quellschichten* verrathen, von unterirdischen Bauen angeschnitten werden, hat man in letzteren Wasserzuflüsse zu gewärtigen, um so grössere, je grösser die *Permeabilität*, das *Wassersammlungsgebiet* fraglicher Schichten und die auf letzteres fallende *Regenmenge* ist.

Die Quellschichten bestehen theils aus an und für sich porösen Gesteinen, wie z. B. *Sand, verwitterten Sandsteinen, Rauhkalken*, theils aus sehr *zerklüfteten Gesteinen;* theils bilden sie die *Grenzscheiden* zweier verschiedener Schichten. Auf der *Göschener Tunnelseite* hätte man als Quellschichten die *Glimmerschiefergänge* zu fürchten gehabt, in welche an der Oberfläche tiefe Schluchten eingerissen sind. Dieselben besitzen aber sämmtlich nur ein geringes Wassersammlungsgebiet, welches ausserdem so steil nach dem Reussthal hinabstürzt, dass die Regenwässer rasch ablaufen. Daher ist erklärlich, dass diese Glimmerschiefergänge dem Tunnel wohl *Tropf*, aber *keine bedeutenderen Wasserzuflüsse* brachten. Nur im grossen und hinteren Teufelsthal sind mir nahe der Tunnelstrecke Göschenen-Urnerloch permanente Quellen

bekannt, welche aus *NNW* gerichteten Klüften entspringen. In der That stellten sich auch die schon im *Junirapport pr. 1874* vorausgesagten Wasserzuflüsse bei Unterfahrung des Winkels zwischen grossem Teufelsthal und Reussthal im Oktober 1874 ein, waren aber auf *starken Tropf* beschränkt, welcher erst bei Erweiterung des Tunnels, besonders auf linker Seite, zu *Regen* zunahm (1495 m. v. P).

Fast alle *Krystalldrusen* der Göschener Tunnelseite waren beim Oeffnen mit Wasser gefüllt, lieferten aber nach der Entleerung nur noch Wassertropfen.

Die trotz viermaliger Reussunterfahrung im Göschener Tunnelort herrschende allgemeine Trockenheit liefert einen guten indirekten Beweis dafür, dass das Reussthal *kein Spaltenthal* sein kann. Es ist durch Gletsher, später Wasser erodirt; beide aber wirkten in den *am meisten zerklüfteten* Zonen des vorliegenden Gneissgranitgebietes, und ihre Richtung wurde ausserdem durch eingelagerte weichere Gesteinsschichten (Glimmerschiefergänge, grauer Gneiss von Teufelsthälern zu Gallerie) bestimmt.

Nach Eintritt des Tunnels unter das Ursernthal nahmen die Wasserzuflüsse zu und wurden namentlich bemerklich an jenen Punkten, wo die am Tage wahrnehmbaren kleinen Quellschichten (im Sommer fast trocken) durchschnitten wurden. Diese Quellschichten verriethen sich im Tunnel sofort, nicht nur durch Wassertropf und Regen, welchen sie brachten, sondern auch durch *lettige Zersetzung des Gesteines* (2200, 2330 etc.). Eigentlich *zu fürchten* sind hier nur die *Quellschichten nächstvor* und *hinter* der *Altekircher-Kalkzone;* die Mitte der ersteren, welche starke permanente Quellen liefert (von einer derselben wird Bellevue versorgt), ist im Tunnel bei ca. 2590 m. v. P. zu gewärtigen.

Airoloseite. Hier waren à priori starke Wasserzuflüsse in dem Gebiet des *dolomitischen Rauhkalkes* zu gewärtigen,

ferner in den Zonen, welche durch die früher beschriebene Verklüftung am meisten zerrissen und zerspalten sind und welche sich an der Oberfläche als *wasserreiche Quellschichten* dokumentiren. Die Erscheinung der Wasserzuflüsse im südlichen Tunnelort war eine ganz regelmässige, durch Schichtung und Verklüftung bedingte. Aus der eigentlichen Wasserschicht *(gen N W einfallend)* flossen schon lange vor ihrem Anschneiden dem Tunnel durch *Süd einfallende* Querklüfte Wasser zu, welche meist erst in der Sohle, dann Ortsmitte, endlich Firste erschienen, beim ersten Anbohren oft starke Strahlen unter 1,6 und 3 m. *effektivem* hydrostatischen Druck bildeten, später aber als *Sohlenquellen, Ulmwässer, Tropf* und *Regen* aus First weniger stark gepresst hervortraten. Die Zuflüsse aus einer solchen Wasserkluft nahmen oft ab, hörten zum Theil auf, als eine nächstfolgende Wasserspalte angeschnitten wurde, und fast sämmtliche schon durchfahrene Wasserspalten hörten zu fliessen auf, als die *eigentlichen Wasserschichten*, aus denen die Hauptwässer kamen, mit dem Tunnel durchfahren wurden. So geschah es beim Durchfahren von der Quellschicht 500 à 509 m. mit den rückwärts fliessenden Kluftwässern, weniger durchgreifend beim Durchfahren der Quellschicht 810 à 840 m., welcher die vom Tunnel gezapften oberen Ortsbrunnenquellen entstammten.

Die beiden, eben erwähnten, Quellschichten liegen in einem schwer auseinander zu haltenden Wassergebiet, welches durch die *Quarzitschicht* Nr. 68 (im Tunnel bei 935 m. beginnend) gegen Nord natürlich begrenzt ist.

Aus der Lage der äussersten in diesem Gebiet versiegten Quellen folgt, dass die Ebene, welche den Wasserzufluss nach dem Tunnel begrenzt, *E* von demselben *13° 55′*, *W von ihm* aber *31° 45′* einfällt; dass die Nordgrenze des Dreiecks, welches *(auf Horizontalplan projicirt)* sämmtliche versiegte Quellen umschliesst, *N* 51° 25′ *E* die Estgrenze

vom Tunnelportal aus 33° 44′, die Westgrenze dagegen 59° 2′ (gegen die Tunnelaxe) divergirt. In Folge der Unebenheit des Bodens bildet das Gebiet der versiegten Quellen eine unregelmässige Figur mit *650,000* □M. *Flächeninhalt.* Das *aus diesem* Gebiet dem Tunnel zufliessende *Wasserquantum* ist bis 227 Litres pr. Sekunde gestiegen, betrug also viel mehr als durch gleichzeitige atmosphärische Niederschläge auf das gleiche Gebiet zugeführt wurde.

Das Plus entstammte theils in den Gesteinsspalten *aufgespeicherten Wässern*, theils dem Umstand, dass das *Wassersammelgebiet* der gezapften Quellen ein viel grösseres ist als die Fläche, auf welcher diese Quellen entspringen. Bei Annahme einer mittleren Regenmenge in Airolo von monatlich $R = 92{,}4$ *Litres* pr. Quadrat-Meter lässt sich das *Tunnelabflussquantum* (für die ersten 950 m. v. P.) empirisch durch $q = 0{,}047\ L^{1{,}283}$ ausdrücken (L = Länge von Portal), bei einer monatlichen Regenmenge, welche die mittlere um ΔR über- oder untersteigt, aber durch

$$q = (0{,}053 \pm 0{,}000034\ \Delta R)\ L,^{1{,}283},$$

wozu doch anzumerken, dass erst 8 à 14 Tage *nach* Beginn einer Regenperiode vergrösserte Zuflüsse im Tunnel merkbar wurden. Bei einem Maximal-Niederschlag von 477,2 Litres pr. Monat pr. □M. (also $\Delta = 348{,}8$) würde mithin der Gesammtabfluss *25 %* *über* dem mittleren, bei völliger Trockniss ($\Delta = -92{,}4$) aber *6 %* *unter* dem mittleren betragen, vorausgesetzt dass der Perimeter des fertigen Tunnels nicht grösser wäre als jener des Richtstollens.

Die Area des *Wassersammelgebietes* der versiegten Quellen ist (wenn Q = Abflussquantum pr. Monat)

$$F = \frac{Q}{R} = 1338{,}8\ L^{1{,}283} = 8{,}900{,}000\ \square\text{M.},$$

falls für Q der nach obiger Formel *berechnete* Werth eingesetzt wird. Setzt man hingegen den für $L = 950$ m. *wirklich beobachteten* ein, so wird $F = 6{,}400{,}000$ □M.

Diese Fläche deckt sämmtliche bis zur Gneissgrenze noch vorliegende Quellgebiete, wesshalb auch, trotz vor Ort hinzukommender neuer Zuflüsse, keine merklich grösseren Abflüsse zu gewärtigen sind, sobald die aufgespeicherten Wässer erst abgeflossen sind, und so lange das Tunnelrichtort nicht erweitert ist.

Ein zweites Quellgebiet, nördlich von dem eben behandelten, streckt sich von *Sola di Sassorosso* durch *Sola grande di Stuci* nach *Cima del Bosco.*

Die betreffenden Schichten wurden im Mai d. J. zwischen 1800 und 1810 m. (No. 88) als *sehr zersetzte, lettig aufgelöste dunkelgraue Glimmerschiefer* durchfahren, waren aber *trocken.* Durch weite offene Spalten scheint diese Quellenschicht schon im November 1874 zwischen 1220 und 1250 m., wo gegenwärtig die meist concentrirten Wasserzuflüsse des Tunnels hervortreten, sich entleert zu haben.

Ein drittes grosses Quellgebiet erstreckt sich im *Grasso del fondo,* unmittelbar unter *Cima della messura.* Es wird vom Tunnel zwischen 2450 und 2650 m. durchfahren werden. Ein kleiner Quellstrich, nahe *Grasso di Dentro* zwischen dem 2ten und 3ten Quellgebiet gelegen, entleert sich gegenwärtig durch Spalten in den Tunnel.

In der *letzten* Zeit ist eine bedeutende, bis auf 348 Litres pr. Sekunde steigende Wassermenge dem Tunnel entflossen. Die Zunahme muss theils dem erweiterten Tunnelquerschnitt, theils aber den bedeutenden atmosphärischen Niederschlägen der vergangenen Monate zugeschrieben werden. Dass die Zunahme mehr rückwärts liegenden Zuflüssen, als solchen vor Ort entstammt, beweist die Temperatur der Abzugswässer vor Portal, welche von 11,0 auf 10^0,8 *sank,* als der Abfluss von 280 Litres (Juni) auf 348 Litres (Juli) *sich vermehrte.*

C.

Temperatur-Verhältnisse.

Im Gotthardtunnel wurden fortlaufende Beobachtungen über *Gesteins-*, *Luft-* und *Wassertemperaturen* angestellt.

Verfahren.

Die *Gesteinstemperaturen* wurden durch Thermometer ermittelt, die in bis 1 m. tiefe Bohrlöcher luftdicht verkittet waren. Die Thermometer blieben ungestört stecken, bis die Ablesung an dem aus dem Loch hervorragenden, graduirten Röhrenende konstant blieb. Die Ablesung wurde corrigirt: hinsichtlich des verschobenen Nullpunktes des Gesteinsthermometers; hinsichtlich dessen Neigung; hinsichtlich des Einflusses der verschiedenen Temperaturen, welche auf das Quecksilber in dem aus dem Loch hervorragenden und im Bohrloch versenkten Röhrenstückes einwirken. Zu vergleichenden Versuchen wurde auch ein von Prof. Everets entliehenes Maximumthermometer nach *W. Thomson's* Construktion im Bohrloch hermetisch eingeschlossen, erst nach 8 und 14 Tagen wieder herausgenommen und abgelesen.

Da das oftmalige Zerbrechen der langen und theuren Gesteinsthermometer diese Versuche umständlich und theuer machte, Thomson's Maximalthermometer ohne vorherige Abkühlung aber unrichtige Resultate ergeben, so sollen in Zukunft kleine Thermometer verwendet werden, welche in einer Messinghülse mit Talg auf dem Boden des hermetisch verschlossenen Bohrloches verbleiben werden, so dass sie die Temperatur des umgebenden Gesteins annehmen können, während die Talghülle während des Ablesens den Einfluss der äusseren Temperatur verzögert.

Die Wassertemperaturen lassen sich mit gewöhnlichen korrekten Thermometern ohne Weitläufigkeit mit grosser Sicherheit ermitteln. *Die Bestimmung der Lufttemperaturen* vor Ort erfordert immer viel Geduld und Zeit, da Lampen,

Arbeiter, Explosionen, ausströmende Luft zu störend auf diese Beobachtungen einwirken. Nach und nach hat man sich doch daran gewöhnt diese Beobachtungen immer auf gleiche Weise anzustellen, so dass sie brauchbare Mittelresultate ergeben. Anfangs zeigte an gleichem Punkt vor Ort das Thermometer beim Schuttern bis 6° höher als während des Bohrens. Diese Differenz ist während Verlängerung des Richtstollens allmälig auf 2 à 3° herabgegangen — lediglich in Folge der durch die längeren Luftleitungen herbeigeführten Reduktion der Luftspannung, in Folge dessen die aus den Bohrmaschinen strömende Luft weniger erkaltet.

Versuche vor Ort, Metall- Minimi- und Maximi-Thermometer von *Hermann und Pfister* anzuwenden, schlugen fehl, da die Lufterschütterung beim Abschiessen der Minen noch auf 100 à 200 m. Entfernung von Ort die wirksame Metallfeder dieser Thermometer in sehr merkliche Oscillation versetzte.

Gesteinstemperatur-Beobachtungen.

Um die Tiefe zu ermitteln, in welcher die Aenderung der Gesteinstemperatur (seit Aufschliessen des Beobachtungspunktes) noch = 0 angenommen werden könne, wurde im Göschener Tunnelort bei 800 m. vom Portal in 1118 m. Meereshöhe 532 m. vertikaler, 405 m. kürzester Tiefe unter Oberfläche ein Gesteinsthermometer erst 1 m. tief, später 0,4 m. tief eingekittet. Es zeigte im ersteren Fall 17°,85, im letzteren 18°,15 (nach Vornahme aller Correkturen), während die mittlere Temperatur der umgebenden Luft 20°,48 betrug. Da am Beobachtungspunkt seit 7 Monaten keine Arbeit stattgefunden hatte, so schien zu folgen, dass in genannter Zeit bei einer Differenz der Gesteinstemperatur und Lufttemperatur von 20°,48 — 18°,15 = 2°,33 C. die Temperatur des Gesteins zu 0,4 m. Tiefe um 18°,15 — 17°,85 = 0°,3 *zugenommen* habe.

Ein widersprechendes Resultat aber ergaben Versuche bei 1443 m. vom Portal in 1121 m. Meereshöhe, zirka 210 m. unter Thalsohle. Drei neben einander eingekittete Thermometer zeigten:

in 1/3 m. Tiefe	17,°40	bei erneuerten Versuchen mit andern Thermometern aber	17°,32
» 2/3 » »	17°,53		17°,37
» 1 » »	18°,15		18°,17.

Die Temperatur der umgebenden Luft betrug im Mittel 20°,14 C.; seit der letzten Arbeit am Beobachtungspunkt waren 4 Monate verstrichen.

Der Widerspruch zwischen beiden Resultaten erklärt sich *vielleicht* zum Theil daraus, dass Erwärmung des Gesteines durch die letzten Sprengschüsse zu 1 m. Tiefe stattgefunden und seit 4 Monaten keine entsprechende Abkühlung wieder eingetreten war.

Uebrigens ergaben diese Versuche, dass die Gesteinsthermometer 3 à 4 Tage nach der Einkittung ihren Stand nicht mehr änderten, *ferner* — und dies ist das *wesentlichste Resultat* — dass die ermittelten *Gesteinstemperaturen* fast genau *übereinstimmen* mit den 13 à 6 Monate früher in gleicher Portalentfernung, aber unmittelbar vor Ort bestimmten *mittleren Lufttemperaturen.*

Bei 800 m. war die	Lufttemperatur vor Ort . . .	17°,80
» » » » »	Gesteinstemperatur (1 m. tief)	17°,85
» 1443 m. » »	Lufttemperatur vor Ort . . .	17°,29
	(40 à 20 m. hinter Ort	18°,35)
» » » » »	Gesteinstemperatur (1 m. tief)	18°,16.

Bis zahlreichere direkte Gesteins-Temperaturmessungen gemacht worden, darf man also die *vor Ort* ermittelten Lufttemperaturen als den Gesteinstemperaturen entsprechend ansehen, auch annehmen, dass für den Gang der mittleren Lufttemperaturen ermittelte empirische Gesetze zugleich den Gang der Gesteinstemperaturen ausdrücken.

Lufttemperatur-Beobachtungen.

Auf *Tab. 1* sind die Beobachtungen der Lufttemperaturen im Göschener Tunnel zusammengestellt und zwar bis 930 m. vom Portal, jedesmal die *Mittel* sämmtlicher Beobachtungen *während eines Monats,* von da ab aber die *Mittel* sämmtlicher Beobachtungen von *100 zu 100 m.* Die direkten Beobachtungen, welche diesen Mittelwerthen zu Grunde liegen, finden sich sowohl in den Monatsberichten des Bundesrathes, als den gedruckten geologischen Profilen und Tabellen längst veröffentlicht. Einem nach *Dufour's* Curvenkarte in 1/50000 konstruirten Längenprofil des Tunnels sind die in der zweiten Columne zusammengestellten *mittleren Höhen* des überliegenden Gebirges entnommen.

Man hat aus diesen Daten (und der in der ersten Columne stehenden mittleren Portalentfernung) für die ersten zirka 1000 m. des Göschener Tunnelortes nach bekannter Methode versuchsweise die Formel

$$T^0 = 6^0{,}82 + 0{,}04\, H^{-0{,}01\, L}$$
$$T^0 = 6^0{,}82 + 0{,}02509\, H$$
$$T^0 = 6\ ,82 + 0{,}299\,4645\, H^{0{,}596192}$$

hergeleitet.

In diesen Formeln bedeutet $6^0{,}82$ die (bekannte) mittlere Jahrestemperatur zu Göschenen, H die mittlere vertikale Höhe des überliegenden Gebirges, L die mittlere Entfernung vom Portal (beide in Metern), T die gesuchte Lufttemperatur in Celsius. Da bis zu zirka 800 m. vom Portal das Gebirge ziemlich gleichmässig ansteigt, so lässt sich für diese Strecke H als Funktion von L ausdrücken; desshalb sind auch die Formeln 1 und 2 in Wirklichkeit identisch, so lange das Verhältniss zwischen H und L kein anderes wird, als es für die ersten 800 m. des Tunnels war. Für grössere Tunnellängen aber wird dies Verhältniss wesentlich anders, und desshalb führt bei solchen die Formel 1

auch zu absurden Resultaten. Verglichen mit den Resultaten der letzten Formel sind die in Rechnung eingeführten Beobachtungsdaten mit einem mittleren Fehler *1°,36*, einem wahrscheinlichen 0°,91 behaftet. Da das nach der Dufourkarte konstruirte Längenprofil zu wenig genau ist, so können die Differenzen nicht sehr auffallen; eben so wenig, dass die in den nächstfolgenden 1500 m. des Göschener Tunnels angestellten Temperatur-Beobachtungen mit den nach der Formel berechneten nicht gut übereinstimmen.

Bei 100 à 200 m. vom Portal wurde im Richtort der Einfluss der *äusseren* Lufttemperatur unmerkbar; nach Erweiterung des Tunnels ist ein solcher dagegen noch bei 800 m. vom Portal wahrnehmbar.

Durchweg ist die Lufttemperatur im Tunnel nach erfolgter Erweiterung etc. des Richtstollens um 2 à 3° über die unmittelbar vor Ort beobachtete gestiegen.

Diese Bearbeitung der Göschener Lufttemperatur-Beobachtungen ist wegen Mangels an einem direkt erhobenen Längenprofil der Göschener Tunnelseite noch sehr unvollkommen. Vergleicht man aber die Beobachtungsresultate direkt miteinander, so ergibt sich, dass die Zunahme der Lufttemperatur vor Ort der Zunahme der überliegenden Gebirgshöhe nicht proportional wachsen kann. Unter der *Andermatter Ebene* herrschte bei zirka 300 m. Gebirgstiefe z. B. 21°,49, unter dem *höchsten Punkt der Schöllenenpassage*, bei zirka 511 m. Gebirgstiefe, aber 18°,86.

Die Schöllenenpassage führt allerdings unter so coupirtem Terrain hin, dass *vertikaler* und *kürzester* Abstand von demselben Tunnelpunkt zu Oberfläche um Hunderte von Metern differiren können.

Die in der *Airolotunnelseite* zwischen 0 und 2180 m. vom Portal angestellten Lufttemperatur-Beobachtungen finden sich auf Tab. 3 zusammengestellt, und zwar immer die

Temperatur-Beobachtungen im Gotthardtunnel. Göschenen 0–2450m v. P.

Entfernung von Portal + 10,5 : L.	Ungefähre Höhe des überliegenden Gebirges: vertikal gemessen : H.	Temperatur in C.						Gesteins-temperatur.	Wasser-temperatur.	Anmerkungen.
		Temperatur vor Portal : t.	Beobachtete Luft-temperatur : T.	Berechnet nach T = 6°,82 + 0,02509 H	Differenz zwischen Berechnung und Beobachtung.	Berechnet nach t = 6°,82 + 0,2995 H 0,596	Differenz zwischen Berechnung und Beobachtung.			
10,5	14	1,2	1,8	7,17	—5,37	8,26	—6,46			Von Berechnung der Formel ausgeschlossen.
110,5	60	1,2	9,1	8,33	+0,77	10,25	—1,15			
210,5	130	1,2	14,3	10,08	+4,22	12,29	+2,01			
227,5	148	19,0	15,0	10,53	+4,47	12,71	+2,29			
320,5	182	12,0	20,5	11,39	+9,11	13,51	+6,99			Von Berechnung der Formel ausgeschlossen.
384,0	235	13,3	16,1	12,72	+3,38	14,59	+1,51		bei 355 m 130,8. bei 362 m. 140	
456,5	283	7,0	15,0	13,92	+1,08	15,50	—0,50			Aus diesen Beobachtungen würden die Formeln
536	357	2,3	15,3	15,78	—0,48	16,78	—1,48			$T = 6^0 82 + 0{,}04 H - 0{,}01 L$
571	395	—1,0	16 6	16,73	—0,13	17,40	—0.80			$T = 6^0 82 + 0{,}2509 H$
680	485	—1,0	19,6	18,99	+0,61	18,81	+0,79			$T = 6^0 82 + 0.2994645 H^{0.596192}$ hergeleitet.
750	520	3,0	18,8	19,87	—1,07	19,33	—0,53	bei 800 m. 18,915 0,4 m. tf. 17,985 1 m. tf.		Nach letztern sind die Beobachtungen mit einem *mittleren Fehler*
790	529	4,25	17,8	20,09	—2,29	19,45	—1,65			$f = 1^0 36$, einem *wahrscheinlichen Fehler*
860	523	6,6	18,68	19,94	—1,26	19,35	—0,67			$f = 0^0 91$ behaftet.
930	500	10,07	19,4	19,37	+0,03	18,99	+0,41			
à 1000	.	20,9	19,06							Die in Berechnung gezogenen Beobachtungen sind nach Monaten gruppirt.
à 1100	.	15,78	19,14							
à 1200	.	17,50	18,8							Die Höhen der Dufourkarte in 1/50000 entnommen, nach der im ersten Quartalsbericht des Bundesrathes mitgetheilten Situation der Tunnellinie. Die Längen bis 930m rechnen von Tunnelmündung, d. h 10m vom Portal.
à 1300	.	20,7	18,15							
à 1400	.	11,42	17,60							
à 1500	.	8,4	17,73					bei 1443 m. 17,938 0,33 m. tf. 17,945 0,66 m. tf. 150,16 1 m. tf. 205 m. n. Obf.	bei 1430 m. u 1500 m. 17,01 später 16,02	
à 1600	286	1,9	18,90							
à 1700	308	3,7	20,0							
à 1800	270	—1,35	21,11							
à 1900	299	3,38	19,62							
à 2000	311	7,8	20,12							
à 2100	312	14,57	20,51							
à 2200	312	19,4	21,62							
à 2300	306	16,97	21,17							
à 2400	306	16,95	21,69							

$6^0,82$ ist die mittlere Jahrestemperatur zu Göschenen nach den Beobachtungen im *ehemaligen* Bureaugebäude.

Leere Seite
Blank page
Page vide

Beobachtungen über Wassertemperaturen im Gotthardtunnel Airolo: 0–2180^m v. P.

Entfernung vom Portal.	Vertikale Höhe des überlagernden Gebirges: H.	Kürzester Abstand zu Oberfläche: N.	Temperatur 10 C. Beobachtet.	Berechnet nach $t = 7,^0735 + 0,0048542\,H + 0,00000503\,H^2$	Differenz zwischen Berechnung und Beobachtung.	Berechnet nach $t = 7,^0213 + 0,0115\,N + 0,00000096\,N^2$	Differenz zwischen Berechnung und Beobachtung.	Anmerkungen.
à 100	19,3	19,0	8,42	7,83	—0,59	7,43	—0,99	Von Berechnung der Formel ausgeschlossen.
à 200	49,9	45,5	8,00	7,99	—0,01	7,74	—0,26	
à 300	90,5	78,3	8,30	8,22	—0,08	8,12	—0,18	
à 400	131,4	117,6	8,80	8,46	—0,34	8,58	—0,22	
à 500	169,5	153,9	8,79	8,70	—0,09	9,01	+0,22	
à 600	214,4	191,6	8,75	9,01	+0,26	9,45	+0,70	Aus diesen Beobachtungen wurde die Formel $t = 7,^0735 + 0,0048542\,H + 0,00000503\,H^2$ hergeleitet.
à 700	285,9	238,3	8,77	9,53	+0,76	10	+1,23	
à 800	361,2	286,0	10,63	10,14	—0,49	10,58	—0,05	*Mittlerer Fehler* der (in Berechnung der Formel gezogenen) Beobachtungen $f = 0,^0 42$;
à 900	434,1	341,4	10,37	10,79	+0,42	11,26	+0,89	*wahrscheinlicher Fehler* $f = 0,^0 28$.
à 1000	508,7	404,9	11,38	11,51	+0,13	12,03	+0,65	
à 1100	606,9	465,4	13,30	12,53	—0,77	12,78	—0,52	
à 1200	690,9	522,5	13,35	13,49	+0,14	13,50	+0,15	
à 1300	776,3	581,3	14,88	14,53	—0,35	14,24	—0,64	
à 1400	862,8	642,9	15,25	15,67	+0,42	15,02	—0,23	Aus sämmtlichen Beobachtungen wurde die Formel $t = 7,^0213 + 0,011499\,N + 0,00000096054\,N^2$ hergeleitet.
à 1500	936,3	706,6	—	—	—	—	—	
à 1600	963,7	774,2	17,4	17,05	—0,35	16,72	—0,68	*Mittlerer Fehler* der (in Berechnung der Formel gezogenen) Beobachtungen $f = 0,^0 58$;
à 1700	996,3	843,6	18,6	17,53	—1,07	17,63	—0,97	*wahrscheinlicher Fehler* $f = 0,^0 39$.
à 1800	10240,	902,2	18,7	18,02	—0,68	18,40	—0,30	
à 1900	1058,3	967,6	19,0	18,47	—0,53	19,28	+0,28	
à 2000	1119,0	1028,4	19,8	19,42	—0,38	20,30	+0,50	
à 2100	1186,3	1064,6	20,05	20,53	+0,48	20,59	+0,54	
à 2180	?	1089,8	20,50	—	—	20,93	+0,43	

Leere Seite
Blank page
Page vide

Beobachtungen über Lufttemperaturen im Gotthardtunnel Airolo: 0–2180^{m} v. P.

Entfernung vom Portal.	Vertikale Höhe des über Tunnelscheitel liegenden Gebirges: H.	Kürzester Abstand vom Tunnelscheitel zu Oberfläche: N.	Temperatur t° C. Beobachtet.	Berechnet nach Formel $t = 7,^{0}814 + 0,0206172\,H - 0,000010405\,H^2$	Differenz zwischen Berechnung und Beobachtung.	Berechnet nach Formel $T = 8,^{0}35 + 0,020727\,N - 0,00000787\,N^2$	Differenz zwischen Berechnung und Beobachtung.	Anmerkungen.
à 100	19,3	19,0	11,5	8,18	—	8,75	—	Diese Beobachtungen sind von Berechnung der Formeln ausgeschlossen.
à 200	49,9	45,5	13,43	8,83	—	9,30	—	
à 300	90,5	78,3	15,00	9,70	—	9,98	—	
à 400	131,4	117,6	13,13	10,40	—	10,80	—	
à 500	169,5	153,9	11,03	11,01	—0,02	11,39	+0,36	Aus diesen Beobachtungen wurde die Formel $T = 7,^{0}814 + 0,0206172\,H - 0,000010405\,H^2$ hergeleitet. *Mittlerer Fehler* der (in Berechnung dieser Formel gezogenen) Beobachtungen: $f = 0,^{0}11$; *wahrscheinlicher Fehler* $f = 0,^{0}07$. *Mittlerer Fehler sämmtlicher* Beobachtungen von 500 zu 2100^{m} vergl. mit den berechneten Werthen: $f = 1,^{0}94$; *wahrscheinlicher Fehler* $f = 1,^{0}29$.
à 600	214,4	191,6	11,53	11,76	+0,23	12,08	+0,55	
à 700	285,9	238,3	13,03	12,86	—0,17	12,90	—0,13	
à 800	361,2	286,0	14,08	13,90	—0,18	13,71	—0,37	
à 900	434,1	341,4	14,84	14,80	—0,04	14,59	—0,25	
à 1000	508,7	404,9	15,04	15,59	+0,55	15,54	+0,50	
à 1100	606,9	465,4	17,18	16,49	—0,69	16,39	—0,89	
à 1200	690,9	522,5	16,97	17,09	+0,12	17,14	+0,17	
à 1300	776,3	581,3	17,38	17,55	+0,17	17,86	+0,48	
à 1400	862,8	642,9	17,63	17,86	+0,23	18,54	+0,91	Aus sämmtlichen Beobachtungen wurde die Formel $T = 8,^{0}35 + 0,020727\,N - 0,00000787\,N^2$ hergeleitet. *Mittlerer Fehler* der (in Berechnung dieser Formel gezogenen) Beobachtungen: $f = 0,^{0}57$; *wahrscheinlicher Fehler* $f = 0,^{0}38$.
à 1500	936,3	706,6	18,21	18,00	—0,21	19,20	+0,99	
à 1600	963,7	774,2	20,45	18,01	—2,44	19,81	—0,64	
à 1700	996,3	843,6	20,84	18,02	—2,82	20,38	—0,46	
à 1800	1024,0	902,2	20,64	18,00	—2,64	20,79	+0,15	
à 1900	1058,3	967,6	21,78	17,97	—3,81	21,18	—0,60	
à 2000	1119,0	1028,4	21,38	17,84	—3,54	21,49	+0,11	
à 2100	1186,3	1064,6	20,95	17,62	—3,33	21,64	+0,69	
à 2180	?	1089,8	21,27	—	—	21,74	+0,47	

Leere Seite
Blank page
Page vide

Mittelzahlen der Einzelbeobachtungen (siehe Monatsbericht des Bundesrathes und gedruckte geologische Profile) von 100 zu 100 m.; die Beobachtungen bis zu 400 m. vom Portal wurden als offenbar unrichtig von der Berechnung empirischer Formeln ausgeschlossen. Mit Benützung eines *richtigen* (direkt erhobenen) *Längenprofiles* wurde aus den Beobachtungen zwischen 400 und 1500 m. vom Portal (170 à 936 m. vertikale Höhe *H)* die Formel $T = 7^0{,}814 + 0{,}0206\,H - 0{,}0000104\,H^2$ hergeleitet, nach welcher die in Berechnung der Formel eingegangenen Beobachtungsresultate mit einem *mittlerem Fehler* $0^0{,}11$, einem *wahrscheinlichen* $0^0{,}07$ behaftet sind. Diese Formel führt zu einem *Maximalwerth* von $18^0{,}03$ für $H =$ 990,7 m.; bei grösseren Höhen des überliegenden Gebirges würde nach derselben die Lufttemperatur vor Ort wieder *abnehmen.* Aus den Beobachtungen zwischen 400 und 2180 m. vom Portal (154 — 1090 m. kürzeste Abstände N zu Oberfläche) wurde die Formel $T = 8^0{,}35 + 0{,}0207\,N - 0{,}00000787\,N^2$ entwickelt, nach welcher der *mittlere* Beobachtungsfehler $0^0{,}57$, der *wahrscheinliche* $0^0{,}38$.

Dieselbe ergibt einen *Maximalwerth* von $22^0{,}1$ für $N = 1316{,}4$ m.

Beide Gleichungen lassen sich durch *concave Curven* darstellen. Auf den Umstand, dass diese Wendepunkt besitzen, ist kein grosses Gewicht zu legen, da sich aus den gleichen Beobachtungen mit Leichtigkeit auch *asymptotische Temperaturcurven* herleiten lassen, denen die Beobachtungen gut entsprechen, und welche ausdrücken, dass die *Lufttemperaturen vor Ort für geringere Höhen des überliegenden Gebirges rascher zunehmen als für grössere, und dass nach Ueberschreitung einer gewissen Gebirgshöhe die Lufttemperaturzunahmen für noch grössere Höhen überhaupt nur noch äusserst langsam wachsen.* Die oben erwähnten Göschener Beobachtungen führen im Grunde genommen zu gleichem Resultat.

Wassertemperatur-Beobachtungen.

Zur Anstellung solcher war in der *Göschener* Tunnelseite nur wenig Gelegenheit, desto mehr in der *Airoloser*. Da *Sohlenquellen* nie hervor*sprangen*, sondern stets ohne merkliche Pression aus den Felsspalten traten, so ist man zur Annahme berechtigt, dass die Wässer, deren Temperatur ermittelt wurde, *nicht* aus Tiefen *unter* dem Richtstollenniveau hervorgepresst wurden, sondern in Spalten *über* dem Tunnel aufgespeichert waren.

A priori lässt sich also voraussetzen, dass die Temperatur dieser Wässer in einer gewissen Relation zur Gebirgeshöhe über Tunnel stehen muss.

Aus den *unter* Tunnelniveau aufgespeicherten Spaltenwässern kann nur in Folge von *Strömungen*, veranlasst durch höhere Temperatur in grösserer Tiefe, *ein Theil* in den Tunnel treten, welcher wärmer ist als die an gleichem Ort von oben zusitzenden Wässer.

Alle Wasserzuflüsse hatten bei ihrem ersten Erscheinen etwas *höhere* Temperatur als später. Die Quellen zu Göschenen zwischen 1490 und 1500 m. besassen z. B. 17°,1 bei ihrem ersten Einströmen (November 1874); gegenwärtig haben sie nur noch *16°,2*.

Die Zuflüsse zu Airolo, zwischen 780 und 820 m., erkalteten binnen 14 Tagen von *10°,52* auf *9°,75*.

Diese Abnahme dürfte wohl hauptsächlich dem Umstand zuzuschreiben sein, dass die erstgezapften Wässer *aufgespeicherte* waren, die nachfolgenden aber *Fliesswasser*, welche auf ihrem Weg von Oberfläche zu Tunnel eine Temperatur annahmen, die sich jener der aufgespeicherten Wässer um so mehr nähert, je geringer das fliessende Wasserquantum, je umfangreicher das durchflossene Spaltensystem, je grösser die Höhe, aus welcher die Wässer herabsinken. Es erklärt sich hieraus, dass die Temperatur der Tunnel*abflusswässer*

von 11,0 auf $10^0,8$ sank, als nach starkem Regen das Abflussquantum von 280 (Juni) auf 340 Litres per Sekunde (Juli) stieg.

Aus den *Airoloser Wassertemperatur - Beobachtungen* (siehe Tab. 2) zwischen 100 und 1400 m. vom Portal (50 à 863 m. Höhe des überliegenden Gebirges) wurde die Formel $t = 7^0,735 + 0,00485\,H + 0,00000503\,H^2$ hergeleitet, wonach die in Rechnung gezogenen Beobachtungen mit einem *mittleren Fehler* $0^0,42$, einem *wahrscheinlichen* $0^0,28$ behaftet sind. Für die Scheitelstrecke des Tunnels ($H = 1700$ m.) ergibt diese Formel eine Wassertemperatur $t = 30^0,52$.

Die Beobachtungen zwischen 100 und 2180 m. vom Portal (kürzeste Entfernungen N zu Oberfläche 46 à 1090 m.) ergeben die Formel $t = 7^0,213 + 0,0115\,N + 0,00000096\,N^2$, nach welcher die in Rechnung gezogenen Beobachtungsresultate mit dem *mittleren* Fehler $0^0,58$, dem *wahrscheinlichen* $0^0,39$ behaftet sind.

Für die Scheitelstrecke des Tunnels ($N = 1560$ m.) folgt aus dieser Formel $t = 27^0,49$.

Aus der Grösse der resp. mittleren Fehler folgt, dass die Wassertemperaturen *genauer* durch Funktionen ausgedrückt werden, in welche die *vertikale Höhe* des überliegenden Gebirges (d. i. die *hydrostatische Druckhöhe*) eingeht, als durch Formeln, welche den *kürzesten Abstand* von Beobachtungspunkt zu Oberfläche als Urvariable enthalten.

In *beiden Fällen* lassen sich übrigens die Formeln durch *convexe Curven* darstellen, nach welchen die *Temperaturzunahmen für geringere Höhen langsamer als für grössere erfolgen.*

Résumé.

In den 4 berechneten Formeln ist die erste Constante nahe dieselbe ($7^0,814$; $8^0,35$; $7^0,735$; $7^0,213$) und *ein Mittel* $7^0,778$.

Der Natur der Sache nach sollte selbige die *mittlere Jahrestemperatur* bei *Airolo* in einer *mittleren Meereshöhe* von zirka

$$1152 + \frac{(170 + 936 + 140 + 1045 + 50 + 863 + 25 + 1045)}{8} =$$

$= 1152 + 532 = 1684$ m. ausdrücken. Die beobachtete mittlere *Jahrestemperatur* von Airolo ist noch unbekannt.

Aus dem Umstand, dass die Zunahme der *Wassertemperaturen einen anderen Gang nimmt als jene der Luft-(Gesteins-)Temperaturen, scheint zu folgen, dass die Wassertemperaturen überhaupt nicht lediglich von der Temperatur des durchströmten Gesteins abhängen können.* Und wenn die Temperatur des Gesteins und jene des Wassers aus derselben Ursache mit zunehmender Tiefe zunehmen, so können wir diese Ursache wenigstens nicht mehr *unbedingt* in der angenommenen hohen Temperatur des Erdinnern suchen.

Es scheint vielmehr, als ob — caeteris paribus — noch andere Faktoren die bisher beobachteten Temperaturzunahmen nach dem Erdinnern bedingten, und es liegt am nächsten zur Hand hier an die Temperaturänderungen zu denken, welche bei Druckveränderungen in Aggregationen von Moleculen statthaben, wie solche durch Herrn *G. Hansemann* theoretisch und experimentell nachgewiesen worden sind.