

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: 87 (1904)

Artikel: Die wissenschaftlichen Ergebnisse des Simplondurchsstichs

Autor: Schardt, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-90119>

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: 08.01.2026

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

Die wissenschaftlichen Ergebnisse des Simplondurchstichs.

Von Prof. Dr. H. SCHARDT.

Die Durchbohrung des Simplonmassivs mittels eines beinahe 20 km langen Doppelstollens,*) hat natürlich eine Anzahl interessanter und wichtiger Beobachtungen zu Tage gefördert, welche, wie es zu erwarten war, mit den Voraussichten entweder ganz gut stimmten oder dieselben ergänzten oder berichtigten. Ueber die Resultate dieser, nun seit sechs Jahren fortgesetzten Forschungen zu berichten, ist meine heutige Aufgabe. Es kann dies aber nur kurz und bündig geschehen, um so übersichtlicher wird indessen meine Darstellung sein. Sie wird von den definitiven Schlussfolgerungen nur mehr wenig abweichen, indem über die noch zu durchbohrende Strecke von weniger als 600 m keine Ungewissheit mehr besteht. Dieselbe muss zum Teil aus kalkführenden Granatglimmerschiefern (auf der Südseite) und zum Teil aus kristallinen Glimmerkalken (auf der Nordseite) bestehen. Wo der Uebergang zwischen diesen beiden Gesteinsarten ist, kann natürlich nicht bestimmt gesagt werden. Während der ganzen Dauer des Tunnelbaues wurden folgende Beobachtungen gemacht:

1. Geologische Detailaufnahmen an der Oberfläche, behufs Erstellung einer geologischen Karte 1 : 25 000,

*) Meereshöhe des Nordportals 686 m; Südportal 643 m
Kulminationspunkt 705 m.

welche sich auf einige Kilometer nordöstlich und südwestlich von der Tunnelaxe erstreckt.

2. Geologische Aufnahmen im Richtstollen 1 : 100 mit Entnahme von Handstücken alle 10 Meter und bei jedem Gesteinswechsel. Diese Sammlung beträgt nun nahezu 2500 Nummern.

Aus diesen Aufnahmen soll dann das definitive geologische Profil konstruiert werden.

3. Hydrologische Beobachtungen über die Wasserzuflüsse, mit genauer Bestimmung der Temperatur, der chemischen Eigenschaften und Schätzung der anfänglichen und definitiven Wassermengen.
4. Thermische Beobachtungen zur Konstruktion eines geothermischen Profils.

I. Die Geologie des Simplonmassivs.

Die ältesten Berichte über die geologischen Verhältnisse des Simplongebirges verdanken wir *Bernhard Studer*. Die dahinbezüglichen Arbeiten datieren aus den Jahren 1846 und 1851.*) Das beigegebene Profil (Figur 1) zeigt, wie Studer die Struktur dieses Gebirgsteiles auffasste. Allerdings ist den dolomitischen Kalken viel zu grosse Ausdehnung beigemessen, hingegen ist ganz richtig dargestellt die Aufeinanderfolge von grauen Schiefern (Glanzschiefer), Gips und Dolomit, den Gneiss überlagernd.

Das schon 1853 aufgetauchte Projekt eines Simplon-durchstiches hat mehrere Arbeiten des für die Erforschung des Wallis so hochverdienten Geologen und Bergingenieurs

*) *B. Studer*. Mémoire géologique sur la masse des Montagnes entre la route du Simplon et celle du St-Gothard. *Mém. soc. géol. France* 1846. — Die Geologie der Schweiz. Bern und Zürich 1851. T. I. p. 223.

Heinrich Gerlach *) veranlasst. Neben dem am tiefsten gelegenen 18,500 m langen Basistunnel handelte es sich damals um drei weitere Hochtunnel, welche zwischen 1200 und 1400 m über Meer gelegen, die verschiedenen Taleinschnitte der beiden Abdachungen verbinden sollten, mit einer Länge von 9—10 km. Leider sind die Manuskript gebliebenen Gutachten Gerlachs nur zum Teil erhalten geblieben; die Profile fehlen ganz. Nur die Arbeit über die penninischen Alpen **) enthält ein geologisches Profil, welches sich auf ein um mehr als 6 km nordostwärts von der Tunnelrichtung gelegenes Gebiet bezieht. Es durchquert den Pizzo Cervandone und den Cistella-Alta. (Figur 2.) Das Tracé dieses Profils liegt dem Studerschen ziemlich nahe und gestattet somit eine Vergleichung der geologischen Auffassung der dargestellten Gebirgsstruktur. Am meisten fällt auf die Ueberlagerung der ganzen Antigoriogneissmasse auf den sog. ältern metamorphen Schiefern, grauen kalkführenden Glimmerschiefern, welche wir heutzutage als den Glanzschiefern gleichalterig betrachten. Gerlach sah darin eine ältere Formation; daher obige Bezeichnung. Die Ueberlagerung des Antigoriogneisses ist tatsächlich sichtbar, ja handgreiflich im Antigoriotal zwischen Pomat und Foppiano, ebenso zwischen Crodo und Goglio im Deverotal. Gerlach bezeichnet diese Sachlage als eine *Ueberschiebung von ungefähr 10 Kilometer*. Im Gebiete des Simplontunnels vermutete Gerlach diese Lagerungsform nicht und spricht auf die positivste Weise von einem „Gneissgewölbe“ zwischen Iselle und Gondo, obschon die Ueberlagerung

*) *H. Gerlach*. Geologische Karte der Schweiz. Bl. XVII und XVIII, 1865.

**) Die penninischen Alpen. *N. Denksch. d. schweiz. naturf. Gesellsch.* XXIII. 1869. Abgedruckt in den *Beiträgen zur geol. Karte der Schweiz*. Lief. XXVII. 1883. Profil 1.

des Antigoriogneisses über den Schiefern bei Varzo deutlich zu beobachten und ebenso aus seiner geologischen Karte ersichtlich ist. Dass Gerlach die „älteren kristallinen Schiefer“ nicht von vornherein mit den grauen Glanzschiefern des Rhonetales in Verbindung setzte, beruht wohl auf der grossen petrographischen Verschiedenheit dieser beiden Gebilde und dem Vorhandensein einer nördlichen Gneissmasse zwischen diesen beiden Schieferkomplexen, der Monte-Leone-Gneisse, welche von diesen kristallinen Kalkschiefern unterteuft wird; dennoch sagt Gerlach zum Schlusse buchstäblich . . . „nun, dann könnte man selbst annehmen, dass die Glanzschiefer von Binnen sich um den östlichen Ausläufer des Gneisses der Binnentalkette,*) um das Ofenhorn herum nach Devero und Diveglia zögen, und sich auf die wunderbarste Weise in und unter die Gneissgebilde von Antigorio verzweigten — eine Annahme, welche vorläufig weit weniger Wahrscheinlichkeit für sich hat als die erstere.“

Seit Gerlach sind während 10 Jahren keine weiteren Forschungen im Simplongebiet gemacht worden. Sein plötzlicher Tod am 8. September 1871 hat der Wissenschaft einen Forscher entrissen, welcher gewiss den klarsten und weitgehendsten Einblick in die geologischen Verhältnisse der Walliser Alpen gewonnen hatte.

Neuere Forschungen begannen erst Ende der siebziger Jahre. Sie bezweckten die geologische Darstellung verschiedener Tunnelprofile, meist Basistunnel. Die Expertise, welche 1877 von den Herren *E. Renevier*,**)

*) unser Monte-Leone-Gneiss.

**) *E. Renevier*. Structure géologique du massif du Simplon. Bull. soc. vaud. sc. nat. XV. 1878. *Heim, Lory, Taramelli et Renevier*. Etude géologique sur le projet du tunnel courbé traversant le massif du Simplon. Bull. soc. vaud. sc. nat. XIX. 1883.

A. Heim und Ch. Lory ausgeführt wurde, führte zur Aufstellung zweier Profile in der Richtung der damals ins Auge gefassten zwei Tunneltracés. Alle Schichtenglieder sind in normaler Aufeinanderfolge, vom Antigoriogneiss, als ältestes Gebilde, bis zu den Glanzschiefern, ein grosses Gewölbe bildend, angenommen, dessen Kernteil eben der Antigoriogneiss darstellt. Die unter letzterem vorhandenen Kalkglimmerschiefer sind nicht ausgeschieden. (Siehe Figur 3.) Die Wiederholungen von Kalk- und Dolomit-einlagerungen mit Kalkglimmerschiefern, mitten in den Monte-Leone-Gneissen sind als sehr auffällige Tatsache hervorgehoben, und der Berichterstatter, Prof. Renevier, neigt sehr zur Annahme, dass diese wiederholten Einlagerungen wohl durch Falten in ausgewalzter Form zu erklären seien. Der grosse, fast 6000 m mächtige Gneiss- und Glimmerschiefer-Komplex ist sonst kaum erklärlich. Desgleichen wird die grosse Mächtigkeit der Glanzschieferzone längs des Rhonetales durch Falten erklärt.

Eine 1882 stattgehabte neue Expertise durch dieselben Geologen, zu welchen noch Prof. T. Taramelli gesellt wurde, brachte ein weiteres, dem soeben erwähnten ziemlich ähnliches Profil (Figur 4), welches indess verschiedene ergänzende Beobachtungen aufweist. So wird der unter dem Antigoriogneiss vorhandene Kalkglimmerschiefer als ältestes Glied des grossen Simplongewölbes dargestellt, obschon das Vorhandensein von mehreren liegenden Falten innerhalb der gewölbartig gebogenen Schichtenserie immer als möglich angedeutet wird. Dass eine solche Falte auf dem Südabsturz des Monte-Leone tatsächlich sichtbar ist, wird ganz besonders hervorgehoben. Dass nicht weniger als sieben Kalk- und Kalkglimmerschiefer-Einlagerungen vorhanden seien, deutet sehr zu gunsten dieser Möglichkeit. Die mächtige Gruppe der kristallinen

Schiefer wird ebenfalls zergliedert in eigentliche Gneisse, dem Sellagneiss des St. Gotthard ähnlich, in Granatglimmerschiefer, Chloritschiefer, Amphibolite und Amphibolschiefer etc.

Nach Fusion der Comp. S.-O.-S. mit J.-B.-L. und der erfolgten Gründung der J.-S.-Bahngesellschaft sollte das Simplonunternehmen fast unmittelbar ernstlich in Angriff genommen werden. Das vorgeschlagene Tracé war sehr ähnlich dem geradlinigen Tracé von 1882. Die geologischen Untersuchungen wurden mir anvertraut, sie sollten hauptsächlich zur Ergänzung der früheren Aufnahmen und Beurteilung verschiedener vorgeschlagener Varianten dienen. Das Gutachten mit der beigelegten geologischen Karte blieb Manuskript; nur die Zusammenstellung der auf der Tunnelaxe mutmasslich vorkommenden Gesteinsarten wurde publiziert,*) nebst einer schlecht gelungenen und unvollständigen Vergrösserung des geologischen Profils. Letzteres wurde sodann als offizielles Belegstück dem definitiven Projekt**) und dem Konzessionsgesuch***) für den erst 1898 in Angriff genommenen Tunnel beigegeben, obschon dieses definitive Tracé von dem früher 1890 begutachteten etwas verschieden liegt. (Figur 5.)

Inzwischen haben aber die geologischen Kenntnisse verschiedene Fortschritte gemacht, von welchen das sogenannte offizielle Profil noch nichts aufweist. Letzteres schliesst sich eng den Annahmen der Experten von

*) *J. Dumur*. Traversée du Simplon. Rapport sur les Etudes 1890—91. *Berne*, Imprimerie Stämpfli & Cie. 1891.

**) Simplontunnel. Projekt 1893. Buchdruckerei Gebhardt, Roesch & Schatzmann. *Bern* 1894.

***) Recueil des pièces officielles relatives au percement du Simplon. Imprimerie Roesch & Schatzmann. *Berne* 1902.

1877 und 1882 an. Die krystallinen Schiefer sind von der Monte-Leone-Gneissmasse getrennt und vom tektonischen Standpunkte aus nimmt dasselbe eine offene Synklinalfalte im nördlichen Teile der Monte-Leone-Gruppe an, in welcher Falte weiter westlich die Kalkglimmerschiefer des Kaltwasserpasses lagern. Die Kalkglimmerschiefer unter dem Antigoriogneiss sind noch als Kernmasse des Simplonmassivs aufgefasst. Eine neue Expertise kurz vor Inangriffnahme des Tunnels wäre deshalb wohl wünschenswert gewesen; denn, wie gesagt, von 1890 bis 1898 sind wichtige neue Beobachtungen gemacht worden, worüber das anno 1894 bei Gelegenheit des internationalen Geologen-Kongresses publizierte „Livret-guide géologique de la Suisse“ Aufschluss giebt. *) So wurde definitiv festgestellt: *1. Dass die unter dem Antigoriogneiss vorkommenden Kalkglimmerschiefer, sowie alle Kalk- und Schiefer-Einlagerungen im Gneiss in metamorpher Form das stratigraphische Aequivalent der Glanzschiefer des Rhonetales sind, welche durch die Belemmitenfunde bis in nächster Nähe von Brig als jurassisch nachgewiesen sind. 2. Dass die Überschiebung beziehungsweise Überfaltung, welche Gerlach zwischen Devero- und Antigorio-Tal beobachtete, im westlichen Teil des Simplonmassivs, wo der Tunnel zu liegen käme, auch vorhanden sein müsse; dass also der Antigoriogneiss kein wirkliches Gewölbe, sondern nur eine gewölbeartig gebogene, liegende Antiklinale oder Schuppe darstellt. Ja sogar unter den vom Antigoriogneiss überdeckten Marmorn und Kalkglimmerschiefern kommt noch einmal Gneiss, womit der sichere Beweis der Überfaltung gegeben ist. Desgleichen sind die Kalk- und Kalkschiefer-Einlagerungen im Gneiss als*

*) Livret-guide géologique de la Suisse 1894, Lausanne, Librairie Payot. Siehe die Beiträge von C. Schmidt, H. Schardt, H. Gollier.

Falten zu deuten. Diese Auffassung geht aus dem Profil Figur 6 hervor. Der geologischen Sektion der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft wurden bei der Jahresversammlung in Zermatt, 1895, durch Professor *C. Schmidt**) nicht weniger als 10 Profile durch das Simplongebiet vorgelegt. Die Ueberfaltung des Antigoriogneisses über die liegenden Kalkglimmerschiefer und Kalke ist zum Teil in Uebereinstimmung mit der Gerlach'schen Auffassung auch angenommen und zwar bis in die Gegend von Iselle; von da an westwärts, z. B. bei Gondo aber nicht mehr. Die Kalkschiefer des mittleren Teiles, von Triasgesteinen eingeschlossen, sind als mehr oder weniger gequetschte Mulden zwischen Gneissantiklinalen dargestellt, welche selber wieder an der Oberfläche einer grossen, tiefgehenden, flachen Gneissantiklinale aufsitzen.

Das grosse Werk *Traversos***) (1895) enthält ein zu dem Tracé des Simplontunnels etwas schief verlaufendes Profil. Dasselbe (Figur 7) hat indess für uns ein gewisses Interesse, indem der Antigoriogneiss wieder als normal über den unteren Kalkglimmerschiefern liegend dargestellt ist, welche selber wieder einen tiefer liegenden Gneisskern umschliessen. Die Glanzschiefer des Rhone-tales sind in zwei Stufen getrennt, deren eine jurassisch, die andere triassisch sei. Die kristallinen Schiefer sind ebenfalls in zwei Horizonte geschieden: Glimmerschiefer mit Kalklagen und Schiefergneisse, welche einem gneissartigen Kalkschiefer auflagern. Daraus ist ersichtlich, dass auch nach langem eingehendem Studium die so deut-

*) *C. Schmidt*. Géologie du massif du Simplon. *Arch. sc. phys. et nat.*, Genève. T. XXXIV, 1895. Die Profiltafel ist nicht in den Handel gekommen.

**) *St. Traverso*: Geologia del Ossola. *Genova*. Tip. di Aug. Ciminago 1895.

liche und mehrerorts hervorgehobene Lagerung des Antigoriogneisses ganz verkannt werden kann. In dieser Hinsicht ist es interessant, die nun folgende Umwälzung der Ansichten ins Auge zu fassen.

Als im Jahr 1898 die Arbeiten am Simplontunnel begonnen wurden, erkannte die mit der Einleitung zu den geologischen und wissenschaftlichen Beobachtungen betraute Kommission, dass allerdings die seit der letzten Expertise verstrichenen 8 Jahre allerlei Neues gebracht hatten und dass ein neu aufgenommenes Profil von den zuletzt gebrachten, insonderheit von dem sogenannten „offiziellen“ Profil ziemlich abweichen würde. Da nun aber die Aufnahme eines neuen Profils für die Unternehmung selbst in diesem Momente ganz einflusslos sein musste, und höchstens ein wissenschaftliches Interesse haben konnte, so wurde beschlossen, den Durchstich abzuwarten, um dann erst ein definitives, mit den wirklichen Befunden belegtes Profil zu bieten.

Schon mit Anfang der neuen Aufnahmen (1899) drängte sich mir immer mehr die Ueberzeugung auf, dass die Gneisszonen, welche zwischen der Antigoriomasse und den Glanzschiefern des Rhonetales liegen, ebenso wie der Antigoriogneiss von Süden nach Norden überschoben oder überfaltet seien, also, da sie nach Norden einfallen, mit ihrem Stirnrand in den Glanzschiefern stecken müssen, während ihr Wurzelgebiet südlich vom Diveria-Tal zu suchen wäre. Es mussten demgemäss ebensoviele solcher Schuppen oder Falten vorhanden sein, als durch Kalkglimmerschiefer getrennte Gneisszonen unterschieden werden können. In diesem Falle musste der zentrale Teil des Simplonmassivs nicht aus Gneiss, wie ursprünglich angenommen, sondern aus Kalkglimmerschiefern und

Granatglimmerschiefern, zum Teil auch aus Kalk, Dolomit mit Anhydrit bestehen.

Indem ich der Beweisführung dieser Annahme durch den Durchstich entgegensah, wurde im März 1902 durch Professor Dr. C. Schmidt*) in Basel der Tunnelbaugesellschaft Brandt, Brandau & Co. und durch diese an die Eisenbahngesellschaft J.-S. ein neues Simplonprofil eingereicht, nebst einem ausführlichen Gutachten über die Geologie und die Hydrologie dieses Gebirges. In diesem Profil (siehe Figur 8) wird, die Antigoriomasse ausgenommen, der ganze nördliche Teil des Simplons als breite Gneissantiklinale dargestellt, auf welcher mehrere nach Norden oder nach Süden überkippte Falten liegen, mit eingeklemmten Jura- und Trias-Mulden. Die Gneissmasse selber ist in zwei Stufen unterschieden, ein oberer Gneiss (Monte-Leone-Gruppe), hauptsächlich den Monte-Leone-Gneiss und eine ganze Gefolgschaft kristalliner Schiefer umfassend, und ein tieferer Gneiss, dem Antigoriotypus entsprechend, von welchem beinahe 7 km vom Tunnel durchfahren werden sollten. Durch dieses Vorgehen wurde die Kundgebung meiner ganz gründlich abweichenden Anschauung notwendig. Es geschah dies durch die Publikation**) eines Profils 1 : 50,000 nebst begleitendem kurzem historischem und tektonisch-stratigraphischem Text, von welchen dieses Kapitel einen Auszug darstellt. Dieses Profil, welches in Figur 9 dem Schmidt'schen Profil entgegengestellt wird, weicht nicht nur tektonisch von

*) *C. Schmidt.* Bemerkungen zum Entwurf eines geologischen Profils durch den Simplon in der Richtung der Tunnelaxe. Ende November 1901. 2. Febr. und 6. März 1902. Als Manuskript verbreitet.

**) *H. Schardt.* Note sur le profil géologique et la tectonique du massif du Simplon, etc. *Eclogae geol. helv. t. VIII 1904.* Als Manuskript verbreitet 1902 und 1903.

letzterem ab, sondern es werden auch stratigraphische Abweichungen bemerkbar. So werden die mächtigen Monte-Leone-Gneisse = Binnentalergneisse, nicht als jüngere Gruppe angesehen, sondern dem Antigoriogneiss als gleichwertig ausgegeben; nur die eigentlichen Glimmerschiefer mit granatführenden Varietäten und Amphiboliten werden als Zwischenglieder zwischen Gneiss und Trias angesehen. Doch zeigt sich auch hierin noch eine neue Auffassung; denn wenn auch das Prinzip dieses Profils durch die nunmehr fast abgeschlossenen Bohrarbeiten als richtig bewiesen worden ist, so bleibt doch noch Verschiedenes, sowohl stratigraphisches wie tektonisches, zu enträtseln übrig, worauf hier nicht im einzelnen eingetreten werden kann. Zwei ziemlich wichtige Punkte möchte ich doch hervorheben: nämlich die krystallinen Schiefer, aus Glimmerschiefern, Granatglimmerschiefern, Chloritschiefern und Amphiboliten oder Amphibolglimmerschiefern bestehend, sind, wenn dieselben sich wirklich zwischen die Trias und den Gneiss einschalten, nur auf der Nordseite in der Wasenhornkette vorhanden und fehlen vollständig am Monte-Leone und auf dem Antigoriogneiss. Einer der hauptsächlichsten Anhaltspunkte für die neue Auffassung der Tektonik des Simplonmassivs ist das Vorhandensein einer liegenden Falte (Synklinale) am Süd-Absturz des Monte-Leone. Der Synklinalkern dieser von Kalkschiefern und Marmor eingefassten Falte besteht gerade aus diesen kristallinen Schiefer mit allen eben aufgezählten Varietäten, welche somit mesozoisch beziehungsweise Trias oder Jura sein müssen. Ist dem überall so, so müssen die Grenzlinien zwischen Mesozoicum und der Gneissbildung verschoben werden, was aber tektonisch nichts verändert. Sicher ist auf jeden Fall schon jetzt, dass die Zone der kristallinen Schiefer zwischen Lago d'Avino

und Vallé zur metamorphen Kalkschieferzone (Jura) zu rechnen ist. Diese etwas abweichende Auffassung, welche noch schlagendere Beweise verlangt, als die bis jetzt erreichten — vielleicht ist schärfere Beweisführung auch unmöglich — hat mich veranlasst, das Profil etwas schematisch mit dieser Neuerung zu konstruieren, was durch Figur 10 geschieht. Darin ist auch eine tektonisch neue Beobachtung eingeführt. Nämlich die schmale Gneisszone des Gantertales verbindet sich ostwärts nicht mit dem oberen Monte-Leone-Gneiss. Sie bildet nicht den Stirnrand der oberen Monte-Leone-Gneissfalte, sondern es ist bloss ein aufgerichteter Teil des Stirnrandes der unteren Falte, über welcher sich die Wasenhornkette erhebt. Die Verbindung beider Gneisse nach unten ist ostwärts vom Gibelhorn deutlich zu ersehen. Dass in westlicher Richtung, im Nesselthal, dieser Gneiss wurzellos erscheint und auf der Tunnelhöhe schmaler ist als an der Oberfläche, kommt daher, dass hier eine Ausquetschung und zum Teil wirkliche Abtrennung durch Rückfaltung stattgefunden hat.

Im allgemeinen sind dieser gewaltigen mechanischen Deformation gemäss im ganzen Simplongebirge die Gesteine bis ins Innerste durchgehend zerknittert und verrutscht, wo nicht tiefgehende metamorphe Umsetzung stattgefunden hat. Die härtesten Gesteine wie der Monte-Leone-Gneiss sind nicht ausgenommen.

Zusammenfassend kann die Entwicklung unserer Kenntnis über die Geologie des Simplonmassivs folgendermassen ausgedrückt werden: Die Ueberlagerung mehrerer liegender Gneissfalten mit eingefalteten Trias und Jurasedimenten wurde infolge der ausgestreckten Form und der nach Norden und Süden fallenden Stirn- und Fuss- teile der Falten lange Zeit als ein einfaches Gewölbe

angesehen, in welchem die einzelnen Faltenlagen als normale Wechsellagerungen gedeutet wurden. Also bei *einfachem tektonischem Bau* eine *sehr komplizierte stratigraphische Schichtenfolge*, mit mehrmals wiederholtem Wechsel von Gneiss, Kalk, Glimmerschiefern, Kalkschiefern etc. Die Erkenntnis der Zugehörigkeit der Glimmer- und Kalkschiefer zu der mesozoischen Glanzschiefergruppe und der triasischen Unterlagerung derselben, von denen sie eine hochkristalline metamorphe Abänderung darstellen, hat nun gestattet, die *stratigraphische Reihenfolge sehr zu vereinfachen* — indem nur Jura, Trias, eventuell kristalline Schiefer und Gneiss aufeinanderfolgen; *die Tektonik erscheint nun aber als äusserst, ja fast unglaublich kompliziert*. Es darf behauptet werden, dass diese Verwicklungen vor 10 Jahren kaum vermutet, geschweige denn graphisch dargestellt werden könnten. Die Entwicklung unserer Kenntnisse über den Aufbau der Alpen im allgemeinen, die Erkenntnis, die wir im Laufe der letzten Jahre über die ungeheuren Ueberschiebungen und Ueberfaltungen der Sedimentdecke der Nordalpen gewonnen haben, hat erst nachträglich gestattet, ähnliche Störungen auch bei den viel tiefer liegenden Gebilden der Gneissformation zu vermuten. Im Simplongebiet tritt noch ganz besonders der erschwerende Umstand des gewölbeartig ganz normal scheinenden Baues des Gebirges hinzu, sowie der ausgedehnte Metamorphismus, welcher Gleichartiges verschieden gestaltet und Verschiedenes ähnlich macht. Wie trügerisch diese Erscheinungen auf das Auge der geübtesten Geologen einwirken können, beweist das Profil von St. Traverso (1895) und besonders dasjenige C. Schmidt's (1902), welche beide Forscher nach langjährigen Aufnahmen und Forschungen, im engeren und

weiteren Simplongebiet, die wirkliche Sachlage nicht einmal geahnt oder nur zum Teil erkannt haben.

Vergleicht man den geologischen Bau des Simplons mit dem des St. Gotthards, so fällt sofort auf, wie leicht bei letzterem die tiefere Struktur des Gebirgsinnern dargestellt werden konnte. Ueberall ist steile Fächerstruktur, wo der Verlauf der Lager nach unten sich mit nur wenig Zweifel darstellen liess. Deshalb stimmt das vorher von Fritsch konstruierte Profil, einzelne auf subjektiven Anschauungsweisen beruhende Abweichungen ausgenommen, mit dem während des Tunnelbaues durch Stapff aufgenommenen Profil ganz gut überein. Tektonisch ist der Einklang vollständig. Im Simplonprofil war eben das Problem viel schwieriger und offenbar vor Anfang des Tunnelbaues zur Lösung noch nicht reif.

Zum Schlusse dieses Kapitels sei noch hier die Reihenfolge der Schichten aufgezählt, welche am Aufbau des Simplonmassivs beteiligt sind, wie sie nach der neueren Auffassung aufeinanderfolgen. Es war dies bei der gedrängten Form einer historischen Darstellung nicht möglich:

Glanzschiefer-Formation (= Bündnerschiefer, Schistes-lustrés), graue Tonschiefer, Kalkschiefer mit körnigen Kalkbänken, Granatphyllite hie und da Grünschiefer, viel Quarz- und Calcitadern. *Jura-Lias*.

Anhydrit (Gips an der Oberfläche) und Dolomit, feinkörnig grau bis kristallin weiss, oft Marmor mit grauen Schiefern, Quarziten und gneissartigen Arkosen. *Trias*.

Sogenannte kristalline Schiefer, Glimmerschiefer, Granatglimmerschiefer (nach Gerlach Casannaschieferartig) mit Amphiboliten, Amphibolschiefer und Amphibolglimmerschiefer, Chloritschiefer. Bis jetzt als älter als

Trias, als *Palaeozoisch* aufgefasst, sind aber gewiss zum Teil metamorphe Trias- und Jurasedimente.

Schieferiger Monte-Leone-Gneiss und körniger dickbankiger Antigoriogneiss. *Archaisch* (Urgneiss).

II. Die Wasserzuflüsse im Tunnel.

Eine so verwickelte Gebirgsstruktur mit so verschieden beschaffenen Gesteinsarten muss natürlich in hydrologischer Beziehung sehr mannigfaltige Ergebnisse schaffen, wenn man bedenkt, dass auf 20 km Länge das Gebirge zum Teil über 2200 m unter der Oberfläche mit einem Doppelstollen durchfahren wird. Hier kann nur eine kurze Uebersicht über das Beobachtete gebracht werden. In Stollen I, als Richt- und Vorortstollen dienend, deshalb meist 100—150 m weiter vorwärts als der Parallelstollen genannte Stollen II, sind auf der Brigerseite, bis zum km 10,379, 142 verschiedene Wasserzuflüsse beobachtet worden, die vielen feuchten oder nur träufelnden Stellen und Strecken abgerechnet. Der Parallelstollen (II) hat nur 90 Zuflüsse aufgeschlossen bis km 10,130; dieselben sind meist auf Kosten der schon im Stollen I erschlossenen Wasser entstanden. Eine genaue Kontrolle konnte indessen über dieses Verhältnis wegen der Schwierigkeit, genaue Messungen zu veranstalten, nicht geführt werden. Auf der Südseite sind bis zum km 8780 im Stollen I nur 86 Zuflüsse beobachtet worden, in Stollen II bis km 8500 nur 56. Auf dieser Angriffsstrecke haben sich hingegen die gewaltigsten Wassereinbrüche eingestellt.

Von allen Quellen wurde meist durch Abschätzung der *anfängliche* und *spätere Ertrag* bestimmt, da genaue Messungen nur ausnahmsweise möglich waren. Die Temperatur wurde desgleichen zu wiederholten malen

gemessen. Die *chemische Beschaffenheit* des Wassers wurde durch die bequeme und rasche, allerdings nur annähernd genaue *hydrotimetrische Methode* untersucht. Von den bedeutenderen oder durch ihre Eigenschaften interessantesten Quellen wurden einige genauere Analysen im chemischen Laboratorium der Station viticole in Lausanne unter Leitung von Professor Chuard ausgeführt.

Die meisten grösseren Wasserzuflüsse stehen mit Spalten und Verwerfungen im Zusammenhang. Schichtenquellen, auf dem Kontakt zweier verschieden durchlässigen Schichten ausfliessend, waren allerdings die häufigsten, aber auch die schwächsten. Es ergibt sich hieraus, dass der Wasserkreislauf durch die Tiefen der Erdkruste mit der *Zerklüftung der Felsarten* in engstem Zusammenhang steht. Die grössten Zuflüsse entsprangen immer aus löslichem Gestein, wie Kalk, Dolomit, Gips oder Anhydrit. Indessen sind dem zerklüfteten Antigorio-gneiss auch sehr starke Quellen entsprungen.

Die *Temperaturen* der unterirdischen Wasserzuflüsse stehen in enger Beziehung zu der Felstemperatur. Schwache Quelläufe waren meist schon bei ihrer Erbohrung etwas abgekühlt, wie der Fels selber, welcher am Vorort durch die starke Ventilation mit kalter Luft und hauptsächlich durch das in den Bohrlöchern zirkulierende kalte Wasser bedeutend abgekühlt war. Später trat noch viel stärkere Abkühlung ein. Quellen mit etwa 10—15 ML. *) und schnellem Abfluss durch eine einzige Oeffnung ergaben meist dieselbe Temperatur wie der Fels oder eine etwas niedrigere. Einige in der Zone der kalten Quellen auf der Südseite einflussende Quellen bilden allein eine Ausnahme, indem sie 5—6° wärmer

*) ML. = Minutenliter. SL. = Sekundenliter.

sind als der Fels, d. h. sie haben die Temperatur, welche der hier anormal abgekühlte Fels haben sollte. *Sonst sind keine eigentlichen Thermalquellen angetroffen worden.* Das hat seinen Grund darin, dass der Tunnel die tiefere Zone des Gebirges durchschneidet, wo sich die von oben eindringenden Wasser erwärmen, also den Fels abkühlen und somit kühler sein müssen als das Gestein. In einem höher gelegenen Niveau, wo die aus der Tiefe aufsteigenden Wasser sich wieder abkühlen, also den Fels erwärmen, hätten allerdings Thermalquellen auftreten können. Merkwürdig ist, *dass im ganzen Simplongebirge an der Oberfläche keine Thermalquellen bekannt sind.* Es ist somit anzunehmen, dass sich die Temperaturerhöhung der tief einsickernden Wasser beim Aufstieg zur Oberfläche fast vollständig ausgleicht. Wo Wasser in den tiefen, warmen Gebirgsteilen zirkuliert, kühlt dasselbe also den Fels ab. Diese Annahme wird durch die Beobachtung bestärkt, dass die höchste Felstemperatur sich nicht etwa unter der Stelle der höchsten Ueberlagerung einstellte, sondern beinahe einen Kilometer vorher, unterhalb einer wenig steilen Abdachung, wo der Fels (Monte-Leone-Gneiss) ausserordentlich trocken war. Sobald Wasserzuflüsse eintraten, und dies war gerade unter dem Kulminationspunkt der Fall, da sank die Felstemperatur stetig. Unregelmässigkeiten der unterirdischen Wärmezunahme im Gebirgsinnern, soweit sie die Oberflächen-gestalt nicht erklärt, waren immer mit Wasserzudrang verbunden. Das Quellgebiet auf der Südseite zwischen km 3.800 und 4.420 ist in dieser Hinsicht äusserst demonstrativ. Wir werden noch besonders hierauf zurückkommen.

Die *chemische Beschaffenheit* der verschiedenen Wasserzuflüsse steht in engster Verknüpfung mit dem durch-

flossenen Fels und der in diesem zurückgelegten Strecke. Die Glanzschieferzone hat viel Sickerwasser und stärkere Quellen von 25—35 Härtegraden^{*)} geliefert und zwar meist gipshaltige Quellen mit ziemlichem Eisengehalt. In den Tonschiefern sinkt der Härtegrad auf 4—5°. In der Nähe und in den Triasschichten (Gips und Anhydrit) steigt die Härte auf 150° und mehr. Solche sehr gypshaltige Wasser enthalten oft auch Alkalisulfate und Eisenoxydulkarbonat. Meist ist der Kalkgehalt geringer als bei gipsfreien, gewöhnlichen kalkführenden Quellwassern, wie sie Kalkgebirge liefern. Magnesiasalze sind wenig vertreten. Die Zone der kristallinen Schiefer und des Monte-Leone-Gneiss war nur schwach wasserführend, besonders in der ersten Partie zwischen km 6 und 8, wo die höchste Temperatur erreicht wurde. Hier wurden auch schwache Quellen mit fast vollständig kalk- und magnesiafreiem Wasser erbohrt; der Härtegrad ist 0,5; hingegen sind 0,5 Gramm Alkalikarbonat und -Sulfat vorhanden. Bei Annäherung an die unter den Gneissen hervortretenden Trias- und Juragesteine steigt der Härtegrad sowohl, als der Gehalt an Alkalisalzen und Eisenkarbonat wieder bedeutend, um dann mit neuem Eintritt in den Gneiss wieder zu sinken. In der zentralen Zone der Trias- und Juragesteine mit Kalk und kristallinen Kalkschiefern, in welcher letzteren der Zusammenstoss des von Nord und Süd vordringenden Stollens stattfinden wird, sind ausschliesslich äusserst gipshaltige Quellen mit starkem Eisengehalt aufgetreten. Sogar die sehr ergiebigen Quellen (150 Sekundenliter), welche die Nordseite zur Einstellung der Vortriebstollen zwang, zeigten anfänglich über 100 Härtegrade, einige sogar 150—170°. Später sank hingegen

^{*)} Hier sind französische Härtegrade gemeint. 1 Grad = 0,01 Gr. Ca CO₃; 0,014 Ca SO₄; 0,088 Na₂ CO₃ etc. per Liter.

der Gipsgehalt auf 60—70 Härtegrade. Der starke Gipsgehalt dieser Quellen kann nur durch die Zersetzung des in diesen Schiefen sehr verbreiteten Pyrits erklärt werden. Derselbe erzeugt schwefelsaures Eisenoxydul, welches mit dem den Kalkschiefern entnommenen Kalkkarbonat schwefelsauren Kalk und doppelt kohlensaures Eisenoxydul bildet. Damit erklärt sich auch der starke Eisengehalt aller dieser Gipswasser. Desgleichen bilden sich aus kohlensauren Alkalisalzen, durch Zersetzung des Feldspates entstanden, mit schwefelsaurem Eisenoxydul schwefelsaure Alkalien und Eisenkarbonat. Dieser Prozess der Gipsbildung aus doppelter Umsetzung von schwefelsaurem Eisenoxydul und Kalkkarbonat erklärt zugleich den schwachen Gehalt an letzterer Verbindung, weil diese ja eben zu Gips umgesetzt wird.

Die meisten der Quellen, mit Ausnahme der kalten Quellen der Südseite und einiger der warmen Quellen der zentralen Zone, welche aus dem Kalk austreten, hatten anfänglich einen viel stärkeren Erguss und sind nach und nach zurückgegangen. Einige sind sogar nach gewaltigem Austreten fast ganz verschwunden. Die Mehrzahl hingegen haben nach etlicher Zeit einen fast konstanten Ertrag angenommen. Bei vielen hat zugleich die Temperatur bedeutend abgenommen, was nur zum Teil der Abkühlung des Felsens zuzuschreiben ist; zugleich ist dann der Härtegrad auch gesunken (warme Quellen der zentralen Zone). Die Erklärung ergibt sich aus dem Umstand, dass bei der Anbohrung die sehr verzweigten Spalten bis an die ursprünglichen oberirdischen Quellen voll Wasser standen; daher auch der grosse Druck. Das Wasser zirkulierte nur langsam durch die Tiefe des Gebirges und konnte sich in Genüge erwärmen und mit Mineralsubstanzen sättigen. Nachher sank der Wasser-

spiegel und der Zufluss konzentrierte sich auf einen einzelnen, voll fliessenden Lauf, wodurch das Wasser der Möglichkeit, sich zu erwärmen und Mineralsubstanzen aufzunehmen, entrückt wurde. Die Druckabnahme bei diesem Vorgang erklärt auch die Volumenveränderung. Die Grösse der Spalten, ihre klaffenden Oeffnungen und die Korrosionsformen an deren Wandungen, welche oftmals mit schönen Calcitkristallen bedeckt waren, sind Beweise, dass das Wasser *schon vor der Anbohrung* in diesen tiefen Räumen zirkulierte, d. h. von oben hinunterfloss und dann nach Erwärmung nach der Oberfläche einem oberirdischen Quell zuffloss. Da der Aufstieg kaum schneller als das Heruntersickern stattfand zum Teil in ganz nahe gelegenen Spalten, so konnte ganz gut ein so vollständiger Temperatúrausgleich stattfinden, dass die oberflächliche Quelle tatsächlich des thermalen Charakters vollständig entbehrte, denn, wie gesagt, sind im ganzen Gebiet nirgends Thermalquellen bekannt gewesen. Nach Abzapfung eines solchen Quellenreservoirs d. h. Spaltensystems, entleerte sich der gesammte Wasservorrat; der ganze Kreislauf wurde gestört, bis dass sich zwischen den von oben kommenden Zuflüssen und dem nun unterirdischen Abfluss wieder ein stabiles Verhältnis einstellte. In dieser Beziehung sind die grossen Wassereinbrüche, auf welche der Südangriff stiess, von bedeutendem Interesse. Die Untersuchung ihres Auftretens, die Veränderungen, welche an ihnen seither stattfanden und die Bestimmung ihrer Herkunft haben uns einen tiefen Einblick gestattet in ein bis jetzt noch sehr dunkel gebliebenes Feld. Deshalb seien hier die gemachten Beobachtungen kurz geschildert.

**Die grossen Wassereinbrüche bei km 3800—4421
des Südangriffs.**

Diese dem Kalk und der nächstgelegenen Zone des zerklüfteten Antigoriogneiss entspringenden unterirdischen Wassermengen traten gar nicht unerwartet auf, indem auf der Uebergangszonen von Antigoriogneiss und Kalk Wasserzuflüsse vorausgesehen waren. Unerwartet war aber, dass der Gesteinswechsel schon beim km 4.325—30 stattfand, statt erst zwischen km 5.500 bis 6.000. Dieser Umstand kommt daher, dass die Umbiegung des Kalkes um die Antigoriogneisszunge nicht unter dem Niveau des Tunnels, wie angenommen, sondern über demselben stattfindet und zwar in Folge einer merkwürdigen Verbiegung, welche unmöglich vorausgesehen werden konnte, so dass der Tunnel den Kalk nicht über dem Gneiss mit Nordfallen, sondern unter demselben mit Südfällen antraf. (Vergleiche Figur 9 und 6.) Das Resultat musste aber dasselbe sein: Wasserzuflüsse.

Nachdem der Tunnel während mehr als 3800 m fast keine Infiltrationen traf und nur ganz trockenen, zwar oft sehr zerklüfteten Antigoriogneiss, traten von km 3.830 an beständig mehr oder weniger starke Wasserzuflüsse ein; zugleich sank die Felstemperatur mit dem Fortschritt in abnormaler Weise, statt gleich zu bleiben oder auch nur wenig zu sinken, wie die nur flache Einsenkung von Vallé es vermuten liess. So stiess man beim km 4.325 auf den Kalk und mit diesem auf immer grössere Wassermengen, welche besonders beim km 4.400 ihren Höhepunkt erreichten, mit einem Vollerguss von 1150 SL. Es wurden in beiden Stollen je 35 Quellflüsse beobachtet, der Haupterguss dringt jedoch auf kaum 70 m Länge im Stollen II, zwischen den Punkten 4.350 und 4421 ein, nachdem doch der Stollen I zuerst die

wasserführenden Spalten angefahren hatte. Von diesen Quellen fällt die geringste Zahl, aber mit der Hauptwassermenge, auf die letzten 100 m im Kalk. Um die voraussichtlichen Veränderungen festzustellen, wurden 30 der wichtigsten und charakteristischsten ausgewählt und allmonatlich auf Gipsgehalt und Temperatur geprüft und, so gut es ging, deren Erguss gemessen oder geschätzt. Der Gesamtertrag wurde ebenfalls allmonatlich im Abzugskanal durch genaue Messungen bestimmt. Diese Untersuchungen ergaben vorerst folgende Klassifikation der Quellen:

I. Warme Quellen. Sehr gips- und eisenhaltig, 5 bis 7° wärmer als die jetzige Felstemperatur. Seit der Anbohrung sind diese Quellen um 2—3° wärmer geworden; der Ertrag der stärksten hat bedeutend abgenommen (um $\frac{2}{3}$) und der ursprüngliche Härtegrad hat sich verdoppelt. Sie sind lokalisiert in dem Antigoriogneiss ganz am Anfang des Quellengebietes und auf den Stollen II (westliche Gebirgsseite).

II. Isotherme Quellen. Zum Teil gar wenig oder nur mittelmässig gips- und eisenhaltig; die Temperatur ist der des Felsens ziemlich gleich. Schwacher Ertrag (höchstens 20 SL. alle zusammen). Die meisten haben seit der Anbohrung bedeutend abgenommen. Anfänglich waren alle gipshaltig. Sie entspringen ausschliesslich dem Antigoriogneiss in beiden Stollen, aber hauptsächlich im Stollen I (östliche Gebirgsseite).

III. Kalte Quellen. Sehr gipshaltig und wenig eisenführend mit starkem Erguss aus klaffenden Spalten, etwa das 15—20fache aller anderen Quellen zusammen. Anfänglich hatten alle fast dieselbe Temperatur (18—19°) und denselben Härtegrad (40—50°, welcher hierauf zunahm). Drei Hauptgruppen sind zu unterscheiden bezüglich ihres Verhaltens (siehe Figur 11):

- A. Quellen mit beständig *tieferer Temperatur als der Fels* (9,5—12 °); Erguss fast gleich; Temperatur fast unveränderlich. Härtegrad mit der Jahreszeit wechselnd.
- B. Quellen, deren Temperatur, Härtegrad und Volumen mit der Jahreszeit wechseln, sie sind im Sommer stärker, kälter und gipsärmer als im Winter.
- C. Durch Mischung obiger total verschiedenen Quellenläufe, welche in nächster Nähe von einander austreten können, entsteht eine dritte Gruppe, welche die Mehrzahl der grossen Quellen umfasst und deren Eigenschaften ein Mittelding zwischen A und B darstellen.

Die Quellläufe von B sind die stärksten und scheinen von Nordwest zu kommen, während die Quellen A hauptsächlich auf der Ostseite beider Stollen oder gar von unten nach oben auf der Sohle aufstossen.

Der Anfang der wasserführenden Zone fand im Antigoriogneiss statt, mit dem Auftreten einer Glimmerschiefereinlagerung, welche von Süd nach Nord aufsteigend die Umbiegung des Antigoriogneisses und das baldige Auftreten des Kalkes vorandeutete. Die grossen Wasserzuflüsse im Kalk stellten sich vor einer mit zerriebenem Kalk und Glimmerschiefer gefüllten fast senkrecht stehenden Verwerfungsspalte ein. Mit dem Auftreten dieser druckhaften, fast 40 m mächtigen Reibungszone hörte auch der Wasserzudrang auf. Zwischen dieser Spalte und der Glimmerschieferzone im Antigoriogneiss, welche sich an der Oberfläche zwischen Chiusure und Agro vorfindet, stand also das unterirdische Wasser unter anfänglich ausserordentlichem Druck, als ein Bohrloch im Stollen I, am 30. September 1901, beim km 4.400 die erste stark wasserführende Spalte anzapfte.

Ausser den beiden parallelen Vortriebstollen wurden in der wasserführenden Zone noch fünf Querschläge angelegt, von welchen zwei im Kalk noch weitere Wasserzuflüsse anbohrten. Der Querschlag XXI A schuf eine ungeheure, etwa 200 SL. ertragende kalte Quelle. Dieselbe wurde später gefasst und ergab bei vollständigem Abschluss 7 Atmosphären Druck, während die anderen grossen Quellen zunahmen, zum Beweis der gegenseitigen Verbindung der wasserführenden Spalten. Der Querschlag XXI B verfolgte die Spalte, aus welcher der stärkste Wasserstrahl durch ein Bohrloch entströmte. Am merkwürdigsten sind die Ergebnisse des Querschlags XIX. Derselbe wurde ganz am Anfang der wasserführenden Zone (km 3.860) getrieben, wo kurz vorher beim Kilometer 3.891 der Vorortstollen I eine grosse aus einer Verwerfungsspalte von der Decke herunterstürzende Quelle erbohrt hatte (anfänglicher Ertrag 10,000 ML.). Dieser Querschlag XIX durchschnitt dieselbe Verwerfung in sehr schiefer Richtung, etwas rückwärts von dieser Quelle. Dadurch wurden zwei neue Quellen erschlossen. Eine kältere und weniger gipshaltige als Nr. 11, die Quelle 8 und eine wärmere und mehr mit Gips gesättigte, die Quelle 9. Infolgedessen nahm die Quelle 11 zusehends ab. Sie ist heute auf wenige Minutenliter reduziert, nicht $\frac{1}{100}$ von ihrem früheren Erguss. Diese Erscheinung hat eine wichtige Bedeutung. Alle drei Quellen entstammen derselben Spalte. Die zuerst angefahrne Quelle 11 fiel als gewaltiger Sturz von der Decke am rechten Stoss. Quelle 8 fällt ebenfalls von der Decke, während 9 von unten nach oben am Kontakt von Gneiss und Glimmerschiefer aufstösst.

Das Wasser der drei Quellen floss vor dem Durchstich des Querschlags XIX als Quelle 11 aus. Da sich

nun diese Wassermenge nachträglich als von zwei ganz verschiedenen Seiten herkommend und verschieden beschaffen herausstellt, so ist anzunehmen, dass vor der durch Querschlag XIX bewerkstelligten Trennung, die beiden Läufe trotz ihrer Verschiedenheit kommunizieren konnten. *Dieselbe Spalte diente also zugleich*, natürlich an verschiedenen Stellen, sowohl für *absteigende als für aufsteigende Wasseradern*, welche wiederum in Querverbindung stehen mussten. Daraus erfolgt, dass aus verschieden beschaffenen unterirdischen Wassern nicht geschlossen werden darf, dass sie in gegenseitig ganz abgeschlossenen Kanälen fließen müssen. Die aus dem Antigoriogneiss entspringenden isothermen Quellen sind auch abwechselungsweise sehr gipshaltig oder fast gipsfrei und abwechselnd wärmer oder kälter; zwischen hinein findet sich wieder hie und da eine warme Eisengipsquelle. Diese Quellen waren alle anfangs gleich gipshaltig und gleich temperiert; erst nachträglich fand die Differenziation bezüglich Gipsgehalt statt, während alle etwas kälter wurden, zugleich mit dem Fels selber. Die seither ganz verschieden gewordenen Wasser müssen also ursprünglich unter einem ausgleichenden Einfluss gestanden haben, welcher nur der Druck des bis oben in den Spalten gestauten Wassers der grossen Quellen war, wodurch letzteres in den zerklüfteten Antigoriogneiss auf mehr als 600 m ausstrahlen konnte. Als die grossen Quellen angezapft wurden, fiel der ausgleichende Einfluss weg und die Quellen differenzierten sich und nahmen demgemäss an Volumen ab; viele versiegten sogar vollständig. Ebenso sicher ist, dass die grossen, im Kalk austretenden Quellen unter sich durch Längs- und Querspalten in Verbindung stehen und sich gegenseitig influenzieren; die beiden reinen Typen A und B sind die

Minderheit. Dass trotz der zahlreichen Verbindungen zwischen solchen Kanälen, doch ganz verschieden beschaffene und temperierte Wasserläufe bestehen können, ist gewiss viel weniger befremdend, als das Vorhandensein auf- und absteigender, verschieden warmer Strömungen in Seen und im Ozean.

Die grossen Wassereinbrüche zwischen km 4.353 und 4.421 hatten ursprünglich, wie der Fels selber, ungefähr 18—19°. Ganz genau konnte die Temperatur nicht ermittelt werden. Seither ist der Fels in der Nähe der Quellen selber auf 15° gesunken. Die kälteste der Quellen (Gruppe III A) auf 9,5°; die wärmsten (Gruppe III B) erreichen am Ende des Winters 18°, also nahezu den ursprünglichen Wärmegrad; bei der Schneeschmelze sinken sie auf 13°. Die Temperaturveränderungen stellen sich zugleich mit dem Wechsel des Gipsgehaltes und des Volumens ein. Seit Erbohrung dieser Quellen im Tunnel hat sich jeweilen von Mai bis Juli eine Periode der Zunahme bis 1200 SL. im Maximum des Gesamtertrages ergeben, während von August bis April eine Periode allmählicher Abnahme statthat, bis etwa 650 bis 700 SL. Während des Anwachsens der Quellen im Sommer *nimmt der Gipsgehalt ab* und die *Temperatur sinkt*; während der Abnahme des Volumens vom August an bis Frühjahr ist es umgekehrt; der Gipsgehalt besonders steigt fast aufs Doppelte, sogar bei den vom Temperaturwechsel wenig betroffenen Quellen. Die jeweiligen atmosphärischen Niederschläge haben keinen Teil an diesen Veränderungen. Dieselben bilden eine *einzig*e, jährlich nur einmal auf- und absteigende Kurve, was doch sonst bei den meisten Quellen, bei den sogen. Vaucluse-Quellen (Kalkquellen), besonders ganz anders sich zu verhalten pflegt. Diese können in 24

Stunden in Folge eines Gewitters aufs 100fache anschwellen. Dieser Sachverhalt verlangt aufgeklärt zu werden. Diese kalten Quellen entspringen an einer Stelle des Gebirgsinnern, wo die Felstemperatur etwa $35-37^{\circ}$ sein sollte. Ihre niedrige Temperatur kann nur durch sehr schnelles Zufließen aus oberen kalten Teilen des Gebirges erklärt werden. Anfänglich nahm ich die Möglichkeit, ja die Wahrscheinlichkeit an, dass sich bald eine definitive Abnahme einstellen würde nach Entleerung des weitverzweigten Spaltensystems. Doch das damals angenommene Einzugsgebiet war zu gering. Spätere Aufnahmen und die bei Alpen und Nembro versiegten oder reduzierten Quellen haben gezeigt, dass sich dieses Gebiet, dem Ausgehenden der Kalkzone an der Oberfläche entlang, bis $7\frac{1}{2}$ km westwärts und 4—5 km ostwärts vom Tunnel erstreckt und zum mindesten 12 Quadratkilometer Oberfläche hat. Der vom Boden aufgenommene Teil der jährlichen Niederschlagsmenge entspricht einem mittleren Abfluss von 600 SL., das Uebrige mögen unbekannte Quellen liefern und, was recht nahe liegen musste, unterirdische Abflüsse des Cairascabaches. Dieser durchquert etwa $2\frac{1}{2}$ bis 3 km ostwärts vom Tunnel, 700—400 m über denselben, an zwei Stellen das vom Tunnel angeschnittene Kalklager. (Siehe Figur 12 und 13.) Einmal bei Nembro (1300 m), wo eine Quellgruppe schon im November 1891 versiegte, und dann bei Gebbo (1100 m), woselbst zwei mächtige Quellgruppen mit einem sichtbaren Ertrag von 200 SL. und einem wahrscheinlichen Ertrag von 400 SL. entspringen. Der Voraussicht nach hätten diese Quellen auch versiegen sollen; dies fand aber bis jetzt nicht statt. Obschon, diesem Umstande nach zu urteilen, ein grosser Wasserentzug von der Cairascá kaum zu erwarten war, musste durch Färbungsversuche

mit 14–25 kg Fluorescëin Gewissheit geschaffen werden. Drei Versuche wurden gemacht.

Der erste Versuch mit 14 kg Farbstoff zeigte, dass bei mittlerem Wasserstand des Baches *eine geringe Menge* desselben (etwa $\frac{1}{40}$, ungefähr 36 SL.) dem Tunnel zufluss. Die Färbung wurde nach 11–14 Tagen dort sichtbar; bei der kalten Quelle 34 früher als bei den wärmeren. Bei ganz geringem Wasserstand ergaben 25 kg Fluorescëin, nicht die geringste Reaktion, auch nicht mit dem empfindlichsten Fluorescop beobachtet. Ein dritter Versuch, auch mit 25 kg, ergab hingegen wieder das überraschende Resultat, dass bei Hochwasser nach kaum 40 Stunden die Färbung *bei allen Quellen* der ganzen wasserführenden Zone (die warmen Quellen ausgenommen) sichtbar wurde und nachher noch zu wiederholten Malen bis zum 12. und 14. Tage nach der Versenkung der Farbe wieder erschien. Das letzte Erscheinen der Färbung fand also am gleichen Zeitpunkt statt, wie die nur einmal beobachtete beim ersten Experiment. Sie erschien hingegen viel früher. Eine bedeutsame Beobachtung ist ausserdem noch die Tatsache, *dass jedesmal die Quellen von Gebbo mitreagierten*. Es ist somit der Beweis geschaffen, dass einerseits eine Verbindung zwischen dem Cairascabach und den dem Tunnel zufließenden Wassern besteht und andererseits zwischen jenem Bach und den Quellen von Gebbo, möglicherweise auch zwischen letzteren und den Quellen des Tunnels; letzteres in dem Sinne, dass derselbe Quellstrom, welcher von der Cairasca gespiesen wird, zum Teil jene Quellen bildet und zum Teil in den Tunnel überfließt. Bei Niederwasserstand fände letzteres nicht statt, wodurch das negative Resultat des 2. Versuchs erklärt würde. Oder man müsste annehmen, dass bei Niederwasser die Cairasca in einem

ganz wasserdichten Bett fliesst, während bei Hoch- und Mittelwasser ihr Wasser über absorbierenden Boden fliesst, was zwar möglich, aber viel schwerer begreiflich ist.

Der dritte Versuch hat ganz besondere Wichtigkeit, indem er zeigt, dass alle die nunmehr ganz verschiedenen Quellen des Tunnels auch jetzt noch unter dem Einfluss der kalten Zuflüsse stehen, ob gipshaltig oder nicht. Dadurch wird auch bewiesen, dass alle diese Quellläufe mit einander in Verbindung stehen, so verschieden und so weit sie auch von einander entfernt sein mögen. Er zeigt ferner, dass *vor der Anbohrung* des Quellnetzes alle Spalten, Risse und Höhlen sowohl im Kalk als im Gneiss *bis an die Oberfläche* mit Wasser angefüllt gewesen sein müssen, wenigstens bis zu den *tieftsten der versiegten Quellen* bei Nembro (1300 m), also etwa 650 m über dem Tunnel; daher der gewaltige Druck, obwohl derselbe durch die Reibung bedeutend vermindert sein musste. Beidseitig von der Ausflusstelle der Quelle von Nembro dehnt sich das Einzugsgebiet aus, besonders gegen Westen, wo Quellen bei Alpien und bei der alten Kaserne versiegten oder sich verminderten. Von dieser Richtung her musste also ein Abfluss gegen die versiegten Hauptquellen von Nembro stattfinden. Der gewöhnlichen Vorstellung gemäss sollte aber diese durch Gravitation verursachte Strömung weit *über dem Tunnel* wegfliessen, das war auch der Fall. Aber ausser dem oberflächlichen, der Schwere folgenden Lauf, gehorchen unterirdische Wasser *einem weitem Einflusse*, nämlich der Erosionstätigkeit durch Auflösung der Gesteine, welche es dem Wasser erlaubt, *sich immer tiefer* ins Gebirge einzugraben durch Erweiterung der Kapillarspalten, welche bald zu Wasserläufen sich erweitern.

In der Tat ist es als unumstössliche Tatsache an-

zunehmen, dass in der Nähe des wasserführenden Teils des Gebirges zwischen km 3 und 6 des Südangriffs die Temperatur, schon vor Anbohrung der Quellen eine anormal niedrige war, beim km 4.400 das Minimum von 19° , später 15° erreichend, wo doch normaler Weise $35\text{--}37^{\circ}$ Wärme hätte herrschen sollen. *Diese Abkühlung kann nur durch die Wasserzirkulation erzeugt worden sein.* Lange, ja wohl seit Jahrtausenden zirkulierte hier das Wasser, von der Oberfläche absteigend, dann wieder aufsteigend, unterhalb des obern Quelllaufes d. h. sich von diesem abzweigend und absteigend, um nachher von unten herauf wieder in denselben zurückzuzfliessen. *Die bewegende Kraft dazu wird von der Erdwärme geliefert.* Das einsickernde Wasser erwärmt sich beim Absinken; es löst Mineralsubstanzen auf und steigt dann, dank der Wärme wieder auf, sich nach und nach wieder abkühlend. Die so verbrauchte Wärme hat eben das Wärmedefizit in dem Quellgebiet verursacht. Gewiss sind die so eingesenkten Wasserläufe noch tiefer als das Niveau des Tunnels eingedrungen, das beweisen die warmen Quellen der Gruppe A, welche zum mindesten von 200 m unterhalb des Tunnels aufsteigen müssen. — Diese Erscheinung, welche durch die weit geöffneten und korrodierten Spalten, die sandigen und lehmigen Lösungsrückstände, welche massenhaft mit dem Wasser in den Tunnel geschleppt werden, erwiesen ist, ist uns aufs klarste durch diese Quellen-Erbohrung im Simplontunnel demonstriert worden. Sie erklärt uns, warum grosse Quellen aus der Tiefe aufsteigen können, während doch ihr Ueberlauf nie tiefer gewesen sein kann: *Das Wasser selber hat sich in die Tiefe eingegraben*, durch Auflösung der Mineralsubstanz längs der vorhandenen Kapillarspalten und -Risse, und daraus erfolgte thermische Zirkulation. Der Mechanismus

ist ganz mit dem eines Thermosyphon zu vergleichen, mit dem Unterschied, dass sich das Wasser am oberen Quellauf erneut, denn sonst würde mit der Sättigung des Lösungsmittels die unterirdische Erosion von selbst aufhören. *So aber ist ihre Tätigkeit fast unbegrenzt* — sie hört nur mit dem Fehlen von Spalten, mit dem löslichen Gestein oder zu hoher Temperatur auf.

Es wurde schon bemerkt, dass die warmen Quellen sich seit ihrer Anbohrung erwärmt und vermindert haben, während ihr Gipsgehalt zugenommen hat. Diese Erscheinung hat denselben Grund wie die periodische Erwärmung und Gipsgehaltzunahme der kalten Quellen im Winter: Langsamere Zirkulation, hier erzeugt durch Abzug der kalten Quellen und Druckabnahme. Andererseits sind die kalten Quellen, wenigstens die der Gruppe III A, bedeutend kälter geworden, was auf sehr schnellen Zufluss, wahrscheinlich in vollfliessenden Spalten, d. h. unter Druck, zurückzuführen ist. Die Gruppe III B hingegen scheint ihr Wasser auf Umwegen zu erhalten, darauf beruht auch ihre Volumen- und Temperaturveränderlichkeit, welche bei der andern Gruppe nicht stattfindet. Ausserdem ist das interessante Faktum hervorzuheben, dass sich der Fels um die Eintrittsstelle der grossen kalten Quellen um 4 ° abgekühlt hat. In Folge der Abkühlung der Quellen im allgemeinen, hat sich der Fels auch um etwas weniger in der ganzen Quellenzone gekühlt, beim Kilometer 4.400 aber besonders intensiv. Die Erklärung liegt darin, dass gegen diesen Punkt die kälter gewordenen Hauptquellläufe nun zusammenfliessen. Andere, entferntere, vorher durch die Wasserzirkulation gekühlte Gebiete, haben sich in Folge Abzugs des Wassers hingegen erwärmen können.

Zu erklären bleibt uns noch, warum diese grossen

Quellen nur *eine jährliche Variationskurve* aufweisen und nicht, den atmosphärischen Niederschlägen folgend, häufig zu- und abnehmen. Der zugleich eintretende Temperaturwechsel und die Gipsgehaltschwankungen zeugen ebenfalls für die Annahme, dass es sich hier um eine nur einmal jährlich stattfindende Kühlung und Verdünnung des unterirdischen Wassers handelt, durch einen einmaligen grossen Zufluss. Der immer noch bedeutende Druck an mehreren der Quellen zeigt, dass die Quellläufe nicht frei zum Tunnel abfliessen, sondern dass sie durch gestaute Wasser gespiesen werden, auf welche momentane Regengüsse wirkungslos sind. Da nun das Sammelgebiet dieser Quellen zum grössten Teil über 2000 m Meereshöhe liegt, wo von Oktober an fast nur Schnee fällt und wo der Schnee vom Mai an schnell schmilzt und im Juli vollständig weg ist, so erklärt sich der Vorgang leicht. Bei der Schneeschmelze füllt die grosse Wassermenge die unterirdischen Kanäle wieder, verdünnt das Wasser und kühlt dasselbe. Die *Druckzunahme* ist also die Ursache des stärkeren Abflusses. Ein Regenguss, selbst anhaltender Regen, ist nicht imstande eine genügende Druckzunahme zu erzeugen, um den Abfluss merklich zu vermehren. Bis jetzt hat sich also die unterirdisch gestaute Wassermenge *nie vollständig entleert*; so viel ist sicher, dass das Mittel der Zuflüsse so stark ist, dass eine vollständige Entleerung noch nicht stattfinden konnte und vielleicht nie stattfinden wird. (Siehe Figur 11.)

Eine wichtige Tatsache hat sich noch feststellen lassen, das ist die gewaltige *unterirdische Erosion*, welche durch die kalten Gipsquellen erzeugt wird. Der schwach vertretene Eisengehalt beweist, dass dieser Gips nicht auf Zersetzung von Pyrit zurückzuführen ist, wie derjenige der warmen Gipsquellen. Hier handelt es sich um

Auslaugung von Gips- und Anhydrit-Lagern. Ein Erguss von etwa 1000 SL. im Mittel annehmend, mit etwa 1 g Gips per Liter, ergibt für die aus dem Tunnel ausfließenden Wasser ein jährliches Gipsquantum von mehr als 30,000 Tonnen, also etwa 10,000 Kubikmeter Gips (schwefelsaurer Kalk), welcher dem Gebirg entnommen wird. Für die Quellen von Gebbo mit dem mutmasslichen Ertrag von 400 SL beläuft sich das dem Gebirge entführte Gipsquantum auf 12,000 Tonnen, also etwa 4000 Kubikmeter. Rings um die Austrittsstelle dieser Quellen, talauf und -abwärts, links und rechts sind die Talgehänge, aus Antigoriogneiss bestehend, abgesunken und tief zerrüttet, in ausgedehnte Trümmerfelder verwandelt, infolge Einstürzen der im Laufe der Jahrhunderte entstandenen unterirdischen Hohlräume. Heute ist die Erosion durch die Ableitung bedeutender Quellläufe gegen den Tunnel zu, durch Gipslager hindurch, noch verstärkt; sie wird erst ihren Abschluss finden, wenn letztere durch Auslaugung erschöpft sein werden.

III. Die Felstemperatur.

Bekanntlich erheben sich unter Gebirgen die geothermischen Flächen mehr oder weniger parallel der Oberflächenformen, indem sich aber dieselben je tiefer je mehr verflachen, so dass in einer gewissen Tiefe von diesem *geothermischen Relief* nichts mehr bemerkbar ist. Diese Verflachung kommt zustande durch Zusammendrängen der geothermischen Grade d. h. Verminderung der geothermischen Tiefenstufe unter Tälern und Auseinandergehen derselben unter Bergspitzen. Statt einer geothermischen Tiefenstufe von 32 m, wie sie unter Flachland ermittelt wurde, finden sich unter Tälern

Werte von 20—25 m und unter Bergrücken je nach deren Breite 40—70 m, ja sogar oft noch mehr.

Demgemäss wurden am Simplontunnel bedeutende Temperaturerhöhungen im Innern des Gebirges erwartet. Theoretische Konstruktion konnte allein zu deren *ungefähren* Vorausbestimmung führen, ausgehend von der mittleren Bodentemperatur verschiedener Stellen am Oberflächenprofil, welche ebenfalls nur theoretisch nach dem — eben auch nicht ausnahmslosen Gesetz — der Temperaturabnahme mit der Erhöhung bestimmt werden können. Mit Zuhilfenahme der möglichst annähernden Werte der geothermischen Tiefenstufe unter Bergrücken und Tälern, je nach der Form derselben, wird nun der Verlauf der Temperaturkurven im Innern des Gebirges ermittelt. Wie unsicher diese Methode ist, liegt auf der Hand. Deshalb schwankten die Angaben der verschiedenen Ingenieure und Geologen, welche sich mit diesem Problem befassten, sowohl in Bezug auf die höchste Temperatur, als auf die Stelle wo diese Temperatur eintreten sollte. So sagte schon Stapff, der Ingenieur-Geolog vom Gotthard, anno 1878, dass die vermutlich höchste Temperatur im Innern des Simplon auf der Höhe von Brig 47° C. sein werde und riet, den Tunnel 500 m höher anzulegen. Dieser Annahme widersprach Lommel, damaliger Direktor der Simplon-Compagnie, mit der Behauptung, dass auf gleicher Höhe im Simplon ungefähr dieselben Temperaturverhältnisse wie am Gotthard, also 30—35° herrschen sollten. Nach E. Stockalper, früherem Oberingenieur am Nordportal des Gotthardtunnel, sollte der gebrochene Simplontunnel (Projekt 1882) bei einer Ueberhöhung von 2050 m unter dem Furggenbaumgrat 36° erreichen; das jetzige Projekt hätte unter denselben Annahmen etwa 2 Grade mehr, also 38°, ergeben. Zu

demselben Resultat gelangt Heim, indem er für den geradlinigen Tunnel (Projekt 1882) 38—39 ° angiebt. Ein 1895 durch das technische Personal der J.-S.-Bahn aufgestelltes Profil ergab ebenfalls 38—39 °. Hingegen gelangte im Jahr 1900 Herr Ingenieur de Coulon durch Vergleich mit den Ergebnissen am Gotthard für das jetzige Simplonprojekt zur Annahme einer Maximaltemperatur von 43 °.

Die geothermische Aufgabe, welche während des Tunneldurchstichs verfolgt werden sollte, bestand in der Aufstellung eines so genau wie möglich den Tatsachen entsprechenden geothermischen Längenprofils des Tunnels (Querprofil der Gebirgskette). Dazu sollten folgende Grundlagen dienen:

1. *Fortlaufende Temperatur-Beobachtungen des Felsens im Tunnel* alle 100 m auf dem ersten Kilometer von Nord und Süd, dann alle 200 m auf der Zwischenstrecke, so nahe wie möglich am Vorort. Die Thermometer wurden in 1 m 50 cm tiefen Bohrlöchern, auf dem östlichen Stoss des Stollen I aufgestellt. Weitere Beobachtungen ergaben die nachträgliche sehr schnelle Abkühlung des Felsens.
2. *Beobachtungen der Bodentemperatur dem Oberflächenprofil entlang* durch Ablesung von 1 m tief im Boden liegenden Thermometern, mindestens einmal monatlich, zur Bestimmung der mittleren Bodentemperatur. — Die leicht zugänglichen Thermometer wurden in kürzeren Zeiträumen beobachtet. Die Hochstationen, zwischen 1800 und 2700 m gelegen, welche im Winter unzugänglich sind, wurden mit Minima-Thermometer versehen und so die tiefste Wintertemperatur gefunden. Der Zeitpunkt dieses

Standes ist durch ein am Simplonhospiz bei 2000 Meter aufgestelltes Thermometer gegeben, wodurch die Temperaturkurve konstruiert und die fehlenden Beobachtungen interpoliert werden können. Es wurden so 14 Stationen aufgestellt, die im Simplonhospiz nicht mitgerechnet.

Aus diesen Beobachtungen ergab sich nun, dass die höchste Temperatur im Gebirgsinnern *nicht* unter dem höchsten Gebirgskamme, sondern *nordwärts desselben*, unter der Abdachung gegen das Gantertal zu, sich vorfindet. Das Ueberraschendste war weiterhin der Umstand, dass diese höchste Temperatur, nicht nur die von den Technikern wie von den Geologen allgemein angenommene Temperatur von 38—43° überstieg, sondern sogar die allgemein als übertrieben qualifizierte Zahl Stapffs noch um voll 7° überholte. Dank der thermischen Beobachtungen längs des oberflächlichen Profils, kann die teilweise Erklärung dieser Anomalie gegeben werden. Aus den Ergebnissen derselben kann jetzt schon entnommen werden, dass auf der Nordabdachung der Wasenhornkette, oberhalb des Gantertals, die Bodentemperatur bis 5° höher ist, als normalerweise angenommen werden konnte. Die geothermischen Kurven sind also hier um 200—250 Meter gehoben. Dazu gesellt sich noch der Umstand, dass hier die Schichten fast parallel der Oberfläche einfallen. Quer zur Richtung der Schichten empfindet aber die Wärmeleitung den grössten Widerstand, also muss hier die Abkühlung am schwächsten sein und die Erdwärme kann um so näher an die Oberfläche treten. Weiterhin war auf der ganzen Strecke unterhalb dieser Abdachung der Fels ausserordentlich trocken. Durch letztere Eigenschaft wird nicht nur die Wärmeleitung noch mehr vermindert, sondern das Fehlen von Wasserzirkulation

lässt die Erdwärme in ihrer vollen Wirkung auftreten ohne jeglichen Entzug derselben. Die Zusammenwirkung dieser drei Umstände: *Höhere Oberflächentemperatur, schlechte Wärmeleitung quer zur Schichtung und Trockenheit des Gebirges* hat also die ausserordentlich hohe Temperatur nördlich vom Wasenhorngrat erzeugt. Ob wohl das Wort „ausserordentlich“ hier am Platze ist, ist wohl nicht entschieden. Denn durch die erwähnten Einflüsse könnte höchstens motiviert werden, dass unter vorwaltenden Umständen diese Temperatur nur die *höchst mögliche* ist, während am St. Gotthard bei fast durchweg senkrechter Schichtenstellung und gleichmässiger Wasserführung wohl die möglichst niedrigen Temperaturen beobachtet wurden.

Eine weitere höchst interessante Tatsache ist mit dem Einfluss der unterirdischen Wasserzirkulation in unlängbarem Zusammenhang. Es ist dies die *Herabdrückung der Geoisothermen* auf dem Verlauf der gegen den Tunnel zuströmenden Wasseradern unterhalb des Tales von Vallé. Das Zusammenfallen der Einsattelung der Isothermen mit dieser Talsenke ist rein zufällig. Nicht die Taleinsenkung ist es, von welcher aus die Wasser zufließen, sondern dieselben sind an die Kalkschicht und den Verlauf einiger Hauptspalten gebunden. Die Einsattelung der Temperaturkurven hätte ebenso gut unter einem Bergrücken stattfinden können. Die Figur 14 zeigt die provisorische Konstruktion des geothermischen Profils, soweit es die Beobachtungen am Ende Dezember 1903 erstellen liessen. Die Beobachtungen dem Oberflächenprofil entlang sind seither vollständiger geworden und werden nach Abschluss des Baues genauere Mittelzahlen ergeben. Der damals noch unerforschte mittlere Teil ist nun fast erschlossen. Dennoch

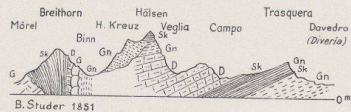


Fig. 1. Geologisches Profil des Simplonmassivs nach Studer · 1851
Sk Graue Schiefer (Glanzschiefer) · D Dolomit und Marmor · G Gips · Gn Gneiss

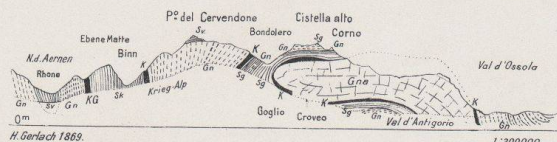


Fig. 2. Geologisches Profil etwas östlich vom Simplonmassiv, nach Gerlach · 1869
Sk Graue Schiefer (Glanzschiefer) · Sk Chertschiefer · K Dolomit und Marmor · KG Dolomit und Gips
Sg Hellere metamorphe Schiefer (metamorphe Glanzschiefer) · Gn Gneiss · Gna Antigoritgneiss

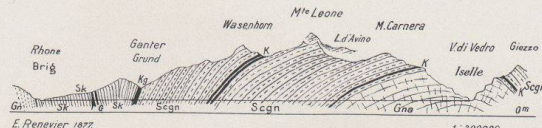


Fig. 3. Geologisches Profil des Simplontunnels · Projekt 1877 · nach E. Renevier
Sk Glanzschiefer · K Kalk, Marmor, Dolomit · G Gips · Sgn Kristalline Schiefer, Schieferiger Gneiss
Gna Antigoritgneiss

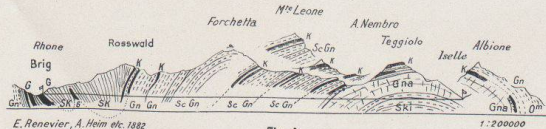


Fig. 4. Geologisches Profil des Simplontunnels · Projekt 1882 · nach E. Renevier, Heim, Lory und Taramelli.
Sk Glanzschiefer · K Kalk, Marmor, Dolomit · G Gips · Sk Kristalline Schiefer, Schieferiger Gneiss
Gna Antigoritgneiss · Sk Unterer Glimmerschiefer (metamorphe Glanzschiefer)

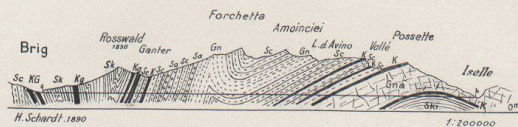


Fig. 5. Geologisches Profil des Simplontunnels · Projekt 1890
Sk Glanzschiefer · K Kalk, Marmor, Dolomit · G Gips mit Dolomit · Sk Kristalline Schiefer
Sa Amphibolschiefer · Gn Gneiss · Gna Antigoritgneiss · Sk Unterer Glimmerschiefer

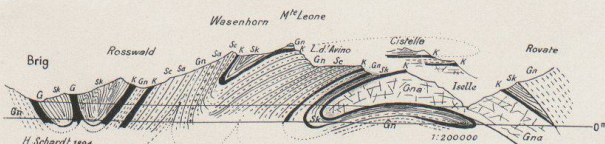


Fig. 6. Geologisches Profil des Simplonmassivs, nach H. Schardt · 1894
Sk Glanzschiefer · K Kalk, Dolomit, Marmor · G Gips mit Dolomit · Sk Kristalline Schiefer
Sa Amphibolschiefer · Gn Gneiss · Gna Antigoritgneiss

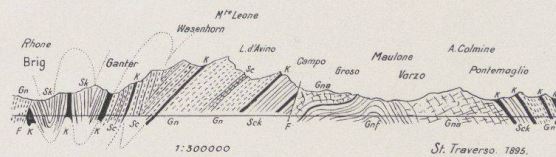


Fig. 7. Geologisches Profil des Simplonmassivs nach St. Traverso · 1895

Sk Glanzschiefer, Trias u. Jura · K Kalk, Dolomit und Gips · Sc Glimmerschiefer · Sa Amphibolit
Sk Kalkglimmerschiefer · Gn Gneiss · Gna Antigoritgneiss · Gnaf «Gneiss leutteli» (blättriger Gneiss)
P Verwerfungen

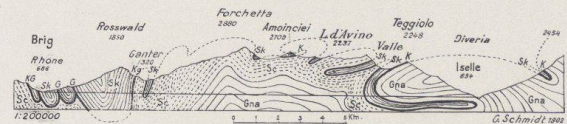
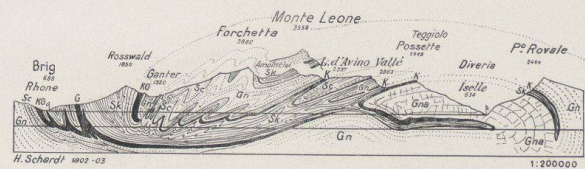
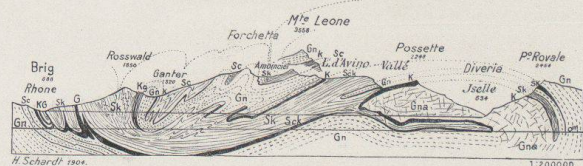


Fig. 8. Geologisches Profil des Simplontunnels, nach G. Schmidt · 1902

Sk Glanzschiefer, Jura · G u. K Gips und Kalk, Dolomit, Trias · Sk Kristalline Schiefer · Gna Gneiss (Antigoritgneiss)



H. Schardt 1902-03



H. Schardt 1904

Fig. 9 u. 10. Geologische Profile des Simplontunnels nach H. Schardt · 1902-03 u. Variante 1904
Sk Glanzschiefer · Sk u. Sk Kristalline Schiefer, kalkhaltig · K u. G Kalk (Dolomit) u. Gips · Gn Monte Leone-Gneiss
Gna Antigoritgneiss

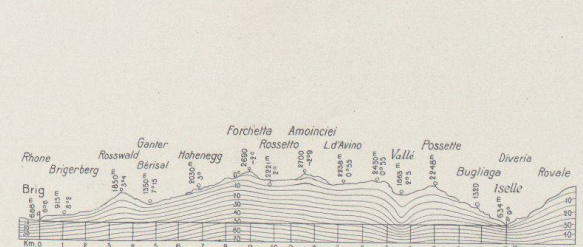


Fig. 14. Geothermisches Profil des Simplontunnels (provisorisch)

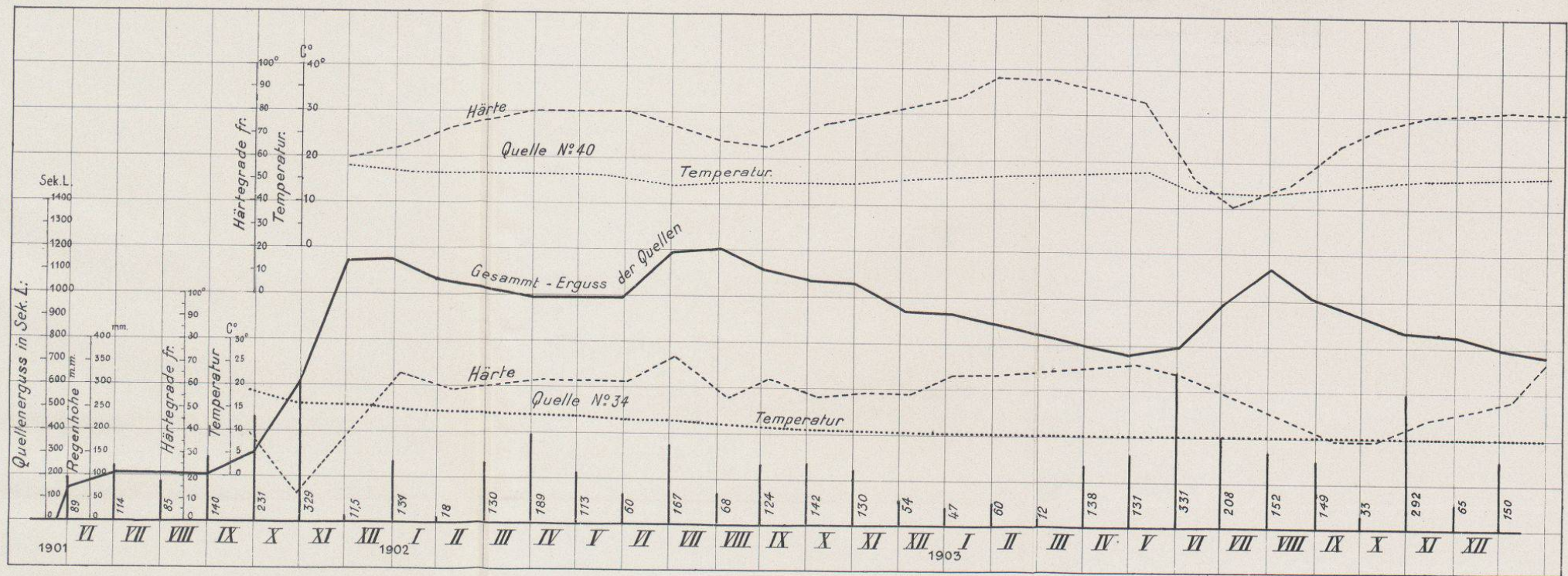


Fig. 11. Schwankungen des Gesamtergusses der kalten Quellen von Iselle zwischen km 3.860 u. 4.421, im Vergleich zur Regenmenge und der Temperatur- und Härte-Abänderungen

Die monatliche Regenmenge in Millimetern ist durch die dicken vertikalen Striche angegeben, wobei der Strich zu der rechts davon stehenden Monatszahl gehört • 1 mm = 10 mm Regenhöhe

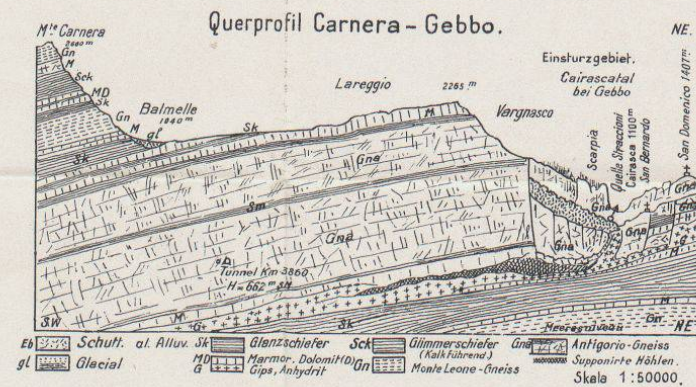
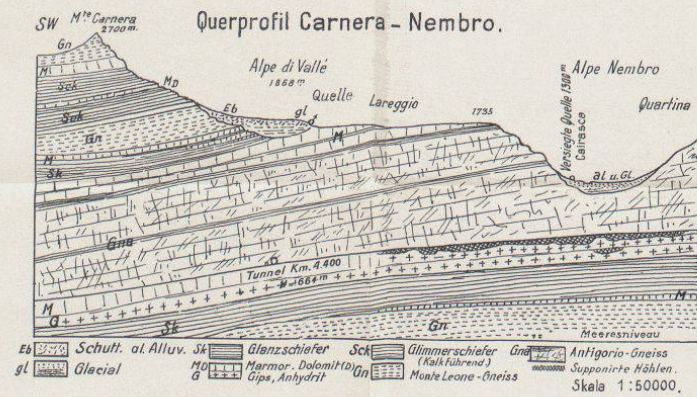


Fig. 12 u. 13. Querprofile durch die wasserführende Zone zwischen km 3.860 und 4.421 des südlichen Eingriffs (Iselle)

Nachsatz.

Nachdem obiges Thema in der ersten Hauptsitzung als Vortrag behandelt worden war, hat Herr Ed. Sulzer-Ziegler, Mitglied der Baugesellschaft für den Simplontunnel, nach der zweiten Hauptsitzung als Schlussvortrag den Tunnelbau von technischer Seite beleuchtet, was gewiss recht passend scheinen durfte. Mein Vortrag hätte nun Herrn Sulzer-Ziegler Veranlassung geben können, die geologischen und hydrologischen Fragen nur von rein sachlicher Seite aus zu erwähnen. Indessen hat er sich zu Auslassungen verleiten lassen, deren Unrichtigkeit und Uebertreibung dem Sachkundigen allerdings auffallen müssen, welche aber dazu geeignet sind, dem Ansehen der Wissenschaft und deren Vertretern in einem weitem Kreise zu schaden. Es war nicht möglich, an jener Sitzung selber dem so Sprechenden Widerlegung zu bieten, und so blieben diese Angriffe bis jetzt ohne Antwort, sogar nachdem sie mit allerlei Entstellungen und Verschärfungen in den Tageszeitungen herumgekreist sind. Durch Beschluss des Zentralkomitees der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft ist es ebenfalls als statutengemäss unzulässig bezeichnet worden, an dieser Stelle auf diese Angriffe zu entgegnen, weil das an der Sitzung selber nicht geschehen sei. Ich muss mich deshalb damit begnügen, hier auf die in den *Eclogae Geologicae Helvetiae*, Band VIII, Nr. 4, erscheinende *Antwort auf die Angriffe des Herrn Sulzer-Ziegler*, verfasst von Professor A. Heim im Auftrag der geologischen Simplonkommission, zu verweisen. Wohl wird auch vorliegende Arbeit ebenfalls dazu dienen, den Leser in richtigem Sinne zu belehren.

Dr. H. Schardt, Prof.

Zum Vortrag von Dr. H. Schardt,
**Ueber die wissenschaftlichen Ergebnisse
des Simplondurchstichs.**

Gedruckt in den „Verhandlungen der Jahresversammlung
der Schweiz. naturforschenden Gesellschaft 1904 in Winterthur“.

Nebenstehender Nachsatz zu diesem Vortrage wurde vom Zentralkomitee der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft gestrichen und durch eine anodine Anmerkung ersetzt.

Derselbe bezweckte, in den Akten unserer Gesellschaft doch wenigstens einen bescheidenen Protest gegen die ungerechtfertigten Angriffe des Herrn Sulzer-Ziegler vorzubringen, da nun einmal in dieser Schrift auf dieselben nicht erwidert werden konnte.

Indem ich den Mitgliedern der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft den Nachsatz, den ich gewünscht hatte, nun auf privatem Wege zur Kenntniss bringe, ersuche ich, denselben bei Seite 211 der gedruckten Verhandlungen der Jahresversammlung von 1904 in Winterthur einlegen zu wollen.

ist dieses Bild als vorläufige Darstellung der Publikation wert. Es ist die Reduktion des 1 : 25000 konstruierten provisorischen Originals. Es ist daraus ersichtlich, wie schnell sich gegen die Tiefe zu der Einfluss von Einsenkungen an der Oberfläche ausgleicht, besonders wenn solche, wie das Gantertal, auf einer Abdachung eingeschnitten sind d. h. ein Tal mit ungleich hohen Gehängen darstellen. Auf der Höhe des Tunnels hat dieses Tal nur eine Verlangsamung der Temperaturzunahme mit dem Fortschritt der Bohrung erzeugt. Noch weniger Einfluss hatte die Auronasenke, trotz der dortigen Gletscherbedeckung. Das Plateau des Lago d'Avino hat eine lang anhaltende Temperaturgleichheit zur Folge. Erst von km 7 an, unter dem Grat des Amoincici, Ausläufer des Monte-Leone nach Osten, fing die Felstemperatur von Süd nach Nord ganz allmählich an zu steigen.

Die eingetragene Temperatursenke auf der kalten Quellenzone ist die nunmehrige, wo die Temperatur beim km 4.400 15° ist. Vor Anbohrung der Quellen war wohl die Sachlage etwas verschieden, da damals an dieser Stelle 18 — 19° herrschten, vielleicht mehr. Noch jetzt ist infolge des Temperaturwechsels der Quellen dieses Gebiet schwachen thermischen Schwankungen ausgesetzt. Ohne den Kaltwasserzufluss unterhalb der Talsenke von Vallé wären die Einbuchtungen der Temperaturkurven kaum bis zum Tunnel hinab fühlbar gewesen, ebenso wenig wie dies unter dem Gantertal der Fall war.

Aus diesen Tatsachen geht hervor, dass die Wärmeverteilung im Innern von Gebirgen nicht allein von der Tiefe d. h. von der Masse des überlagernden Gebirges abhängt. Allgemeine Untersuchungen über die Wärmezunahme gegen das Erdinnere zu haben eine beträchtliche Anzahl von Einflüssen festgestellt, welche dem Gesetz

störend entgegenzutreten. Bei Gebirgen sind es in erster Linie die *Wasserzuflüsse* und die *Schichtenstellung*. Sollte wiederum für einen grossen transalpinen Tunnel eine Prognose bezüglich der Wärmeverteilung gestellt werden, so wird man sich nicht allein mit Höhen und Tiefen, mit den Massenberechnungen und deren durchschnittlichen Wärmeleitung begnügen dürfen, oder nur ein Überklatschen des Gotthardprofils vornehmen, sondern man wird vorerst die Bodentemperaturen am oberflächlichen Profil bestimmen, was allein gestattet, den Schluss der konvexen Kurven nach oben richtig zu zeichnen. Man wird weiterhin die Schichtenstellung und die dadurch bedingte Wärmeleitung und dann noch, soweit als ersichtlich, den Verlauf der unterirdischen Wasserzirkulation in Rechnung ziehen. So wird es vielleicht möglich sein, zum voraus ein annähernd genaues Bild zu schaffen. Bis jetzt war für eine solche Aufgabe zu wenig Grundlage zur Erreichung eines befriedigenden Resultates vorhanden. Erst vor wenigen Jahren ist z. B. gezeigt worden, wie anormal hoch die Waldgrenze im Südwallis hinaufsteigt und um wie höher als früher angenommen, hier die Bodentemperatur sein muss.

Weitere Ausführungen über die in den vorstehend abgedruckten Vorträgen der Herren Ed. Sulzer-Ziegler und Professor Schardt behandelten Fragen findet man unter dem Titel

Ueber die geologische Voraussicht beim Simplontunnel

in den *Eclogae Geologicae Helvetiae* Vol. VIII, Nr. 4, November 1904.

Diese Publikation bezieht sich vorzugsweise auf den Vortrag des Herrn Sulzer, über welchen an der Jahresversammlung in Winterthur keine Diskussion eröffnet werden konnte, da er den Schluss der Verhandlungen bildete.

Das Z.-K. der S. N. G.
