

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 53/54 (1909)
Heft: 2

Artikel: Das Problem des Baues langer, tiefliegender Alpentunnels und die Erfahrungen beim Baue des Simplontunnels
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-28078>

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: 15.01.2026

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

Das Problem des Baues langer, tiefliegender Alpentunnels und die Erfahrungen beim Baue des Simplontunnels.

von Karl Brandau.

II. Gebirgsdruck im Innern der Erde.

(Fortsetzung.)

Zu den erwähnten Erfahrungen gesellen sich die neuesten aus dem Simplontunnelbau. Herr Prof. C. Schmidt, ein erklärter Anhänger der Gebirgsdrucklehre, kam durch seine Beobachtungen im Simplon zu gewissen Einschränkungen der Behauptungen Heims. Wir teilen dieselben auszüglich¹⁾ nachfolgend mit:

„Die flachliegenden, dünnsschichtigen, glimmerreichen Lebendungneisse werden nach der Stollenauftreibung „treibend“. — Treibende Gesteine . . . die Wirkung der Aufhebung des Gegendruckes besteht darin, dass die ganze Gesteinsmasse allseitig in den künstlichen Hohlraum hineindrängt, aufgelöst in Trümmer mit Rutschharnischen oder als breiförmige Masse, langsamer oder rascher, je nach der Konsistenz des Gesteines. . . Die Bewegung des Gesteines pflanzt sich von einem Stollen zum andern fort.“

Grundbedingungen von Fall zu Fall klar erkannt worden sind, was nur möglich ist bei allseitiger gründlicher Kenntnis des ganzen Gebirges.““

Hier ist nur mehr von einer gewissen „Korrelation“ zwischen Ueberlagerung und Druck die Rede. Das Auftreten eines Gebirgsdruckes proportional der vollen Ueberlagerungshöhe ist als allgemeine Regel ausgeschlossen. Dennoch müssen wir auch dieser eingeschränkten Lehre Widerspruch entgegensetzen. Es ist nicht richtig, dass sie von vornherein zweifellos ist. Nach der Theorie des Herrn Heim ist sogar der volle Druck der Ueberlagerung zweifellos. Nach der Erfahrung ist weder der volle Druck noch der in einer gewissen Korrelation zweifellos. Ebensowenig ist nach unserer Erfahrung die Behauptung begründet, dass im Simplon ein Zusammenhang, wenn auch ein untergeordneter, zwischen Ueberlagerungshöhe und Gesteinsverhalten evident zu Tage getreten wäre; wir verweisen diesbezüglich auf die Mitteilungen im folgenden Kapitel.

Zwischen den Lehren Heims und den Beobachtungsresultaten Schmidts liegen im Grunde keine grossen Widersprüche vor. Herr Heim stellt nur das spätere Auftreten des Druckes der ganzen Schwerlast als unausbleiblich hin. Herr Schmidt berührt aber das künftige Verhalten des

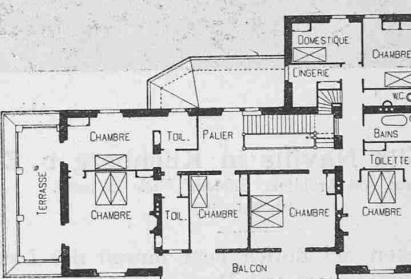
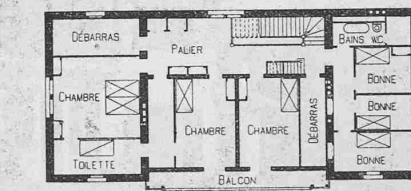
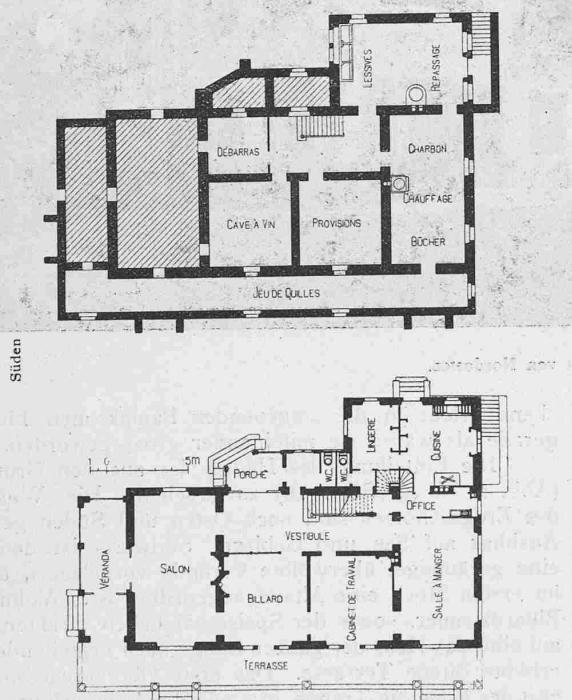


Abb. 2 bis 5. Grundrisse vom Kellergeschoss, Erdgeschoss, Obergeschoss und Dachstock der Villa Naville in Kilchberg b. Z.

Masstab 1:400.

Dasselbe gilt für die Gesteine der Strecke Km. 7,15 bis 9,15 für die Kalkphyllite in Bezug auf ihr Verhalten. Die Ueberlagerung beträgt 1700 bis 2000 m.

Es liegt nahe, die Art der Gesteinsformationen im tiefliegenden Tunnel in Korrelation zu setzen zu der Mächtigkeit des überlagernden Gebirges. Dass tatsächlich die Grösse der Ueberlagerung ein bedeutender Faktor ist für die Art der Resistenz der Gesteine an Ulmen, Sohle und First des Tunnels ist von vornherein zweifellos. Die Erfahrungen in allen Tiefbauen und ganz besonders diejenigen, die wir im Simplon erworben haben, zeigen uns aber zur Evidenz, dass für das mechanische Verhalten der Stollenwände in grossen Erdtiefen in weit grösserem Masse als die Grösse der Gebirgsüberlastung, bestimmend sind die primäre Konsistenz und die Art der Lagerung des Gesteins.

Ich bin mit J. C. Wagner zu der Ueberzeugung gekommen, dass in den Tiefen, in denen Bergleute und Ingenieure zu arbeiten haben, wir nicht mit hydraulischen, sondern mit dynamischen Kräften zu rechnen haben. Die richtigen Konstruktionen, die eine dauernde Erhaltung der geschaffenen Hohlräume ermöglichen, können aber nur dann gefunden werden, wenn bei der unendlichen Mannigfaltigkeit der Erscheinungen die geologischen

Gebirgsdruckes mit keinem Wort. Wichtig ist uns, dass nach den beiden Auffassungen zuerst jedenfalls nicht der ganze Gebirgsdruck auf das Bauwerk gelangt. Wo — so müssen wir deshalb fragen — steckt denn derjenige Druck, der noch nicht in die Tiefe gelangt? Suchen wir diese Frage zu beantworten.

Das Gewicht des Getreides in einem grossen Silo drückt bekanntlich nicht auf die Sohle des Silo; nur auf die Umfangsmauern wirkt Seitenschub; erst durch Rüttelketten wird es möglich, das Getreide stets nach unten in die Auslauftrichter fallen zu lassen.

Herr Heim als einer der Experten für die Studien zu den neuen Simplonprojekten vom Jahre 1881 und 1882 hat die Baubedingungen in der dekomponierten Gneissstrecke der Südseite wie folgt prognostiziert:²⁾ „Besorgnisse dieserhalb sind unnötig; die Schichtlagerung bietet eine sichere Gewähr. Der Antigoriogneiss bildet ein regelrechtes Gewölbe mit seiner Massigkeit von mindestens 1000 m und muss so sichtlicherweise den Sohlenauftrieb mindern.“

¹⁾ „Untersuchungen über die Standfestigkeit der Gesteine im Simplontunnel“. Gutachten von Prof. C. Schmidt in Basel (Expertengutachten an die Generaldirektion der S. B. B.). Bern 1907.

²⁾ „Etudes géologiques sur le nouveau projet du Tunnel“. Lausanne 1883, par les MM. Heim, Lory, Taramelli, Renevier. (Bull. Soc. vaudoise sc. nat. XIX Nr. 89.)



Die Villa Naville in Kilchberg bei Zürich.

Erbaut von *Edmund Fatio*, Architekt in Genf.

Ansicht von Südosten.

Seite / page

18 (3)

leer / vide / blank

(Siehe Abb. 2.) Und Herr Prof. Schardt äussert sich zum selben Gegenstand später:¹⁾ „unter dem genügend soliden Gneiss sind weder Einstürze noch Gebirgsdruck zu fürchten.“

Diese Prognose deckt sich übrigens mit der zitierten Heimschen Kennzeichnung des Auftretens des Gebirgsdruckes, der, infolge verschiedener Umstände, auf einzelne Stellen in sehr grosser Tiefe nicht gross sein soll, auf andere dagegen sehr stark. Der Gebirgsdruck, das Gewicht der Ueberlagerung, muss demnach seitlich vertragen werden. Kohäsionskräfte, innere Reibungen, Keilwirkungen, seitliche Spannungen halten den Druck nach unten gefangen und setzen ihn in tangential gerichtete Kräfte um.

Bei dem Antigorio-Gneiss-Gewölbe verstehen wir Herrn Heim so, dass das Gewicht der 1000 m starken Ueberlagerung in den Gewölbekeln übertragen wird. Man müsste in den Fusspunkten solcher Schenkel, oder dort, wo man sie mittelst eines Tunnels durchschneidet, konsequenterweise Druckpartien auch im festesten Gestein erwarten. Es habe z. B. ein solches Gewölbe von 1000 m Mächtigkeit nur 4 km Spannweite. Sein einer Schenkel werde vom Tunnel bei einer Ueberlagerung von 1500 m (annähernd wie in Abb. 2) angeschnitten. In diesem Falle betrüge auf der 1000 m langen Durchschneidungsstelle des

fussen auf der Beobachtung von Erscheinungen, die jedoch nur durch das Vorhandensein recht kleiner Spannungen oder Pressungen hervorgerufen sein können.

Was nun die Erfahrungen über Gebirgsdruck im Simplontunnel im allgemeinen betrifft, so haben wir folgender Tatsachen Erwähnung zu tun: Die Tunnelgewölbe im Simplon wurden im standfesten Gestein bis unter 1700 m

Ueberlagerung mit 0,35 m Gewölbestärke und 0,55 m Widerlagerstärke erbaut. In der 3,5 km langen Strecke der Südseite, im weichen Gestein, unter 1700 bis 2000 m Ueberlagerung haben die Gewölbe 0,35 bis 0,50 m Stärke, die Widerlager 0,55 bis 0,80 m. Sieht man von einzelnen Beschädigungen ab, die infolge von anfänglich begangenen Fehlern entstanden, so haben sich die Mauerstärken überall als genügend bewährt. Der Bau erfolgte unter denselben Gesichtspunkten, wie sie bis dahin allgemein im Tunnelbau praktisch eingenommen wurden. Die Tunnelgewölbe unter 1700 bis 2000 m

Ueberlagerung sind genau so in Form und Stärke wie sie unter 50, 100, 200 m Ueberlagerung hergestellt werden und verhalten sich genau wie diese während teilweise sechsjähriger Dauer ihres Bestehens auf viele Kilometer Länge. Anzeichen von Zerstörung sind nicht eingetreten. Dass der Bau des Simplontunnels nach Herrn Schmidt für das Bestehen einer Korrelation zwischen der Höhe der Gebirgsüberlagerung und dem Verhalten des Gesteins gezeugt hat, ist also irrig. Andernfalls hätten die Erbauer dem Rücksicht tragen müssen. Da die Gebirgsfestigkeit stellenweise gering war, sodass das freigelegte Gestein brachte wurde, so ist das Verhalten der Gesteine stellenweise um etwas wenig verschieden gewesen. Dem Ingenieur musste bei den sich dabei offenbarenden geringfügigen Bewegungen, die er unter 20 m Ueberlagerung schon ungeheuer viel mächtiger kennen gelernt hat, jeder Gedanke an einen Gebirgsdruck im Sinne von Heims und Schmidts Erklärungen ganz fern bleiben. Auch nicht eine Spur von Korrelation hätte er bei seiner täglichen Beschäftigung im Simplon ersehen können. Wenn innerhalb einer Zone von 0 bis 2000 m Ueberlagerung aber in der Stärke eines Bauwerkes kein Unterschied gemacht werden muss, wo besteht dann die Korrelation? Gerade der Simplon hat das Nichtbestehen der Korrelation erwiesen oder wenn man will: er hat ihr Bestehen nicht bewiesen.

Mit der Bezeichnung „treibendes Gestein“ in den „Untersuchungen“ (Anm. 1), S. 18) ist die Anschauung verbunden, dass der Gebirgsdruck das Gestein aus der Wand in den Tunnelhohlraum presse bzw. treibe. Das Charakteristische aller der als „treibend“ bezeichneten Gesteine auf der 3,5 km langen Strecke des Simplontunnels ist, dass sie zerbrochen, zerquetscht, klüftig, von Ruschelen und Spalten durchzogen sind. Ihre Gebirgsfestigkeit ist eine geringe, ihre Kohäsion wird nach einiger Zeit des unverkleideten Anstehens der Wände nahe gleich Null. Der Widerstand gegen Abreissen der einzelnen Schichten von einander ebenfalls. Das

Die Villa Naville in Kilchberg bei Zürich.

Erbaut von Architekt Edmond Fatio in Genf.



Abb. 6. Ansicht von Süden.

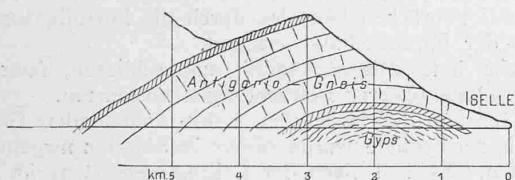


Abb. 2. Geologisches Profil des Simplontunnels. Südseite.
Nach den Studien der Jahre 1883 und 1890—91.

Antigriogneisses seitens des Tunnels der spezifische Gebirgsdruck $\frac{(1500 + 2 \times 1000) 2600}{10000} = 910 \text{ kg}$ Ein Tunnelbauwerk empfinge danach eine Belastung wie unter einer Ueberlagerung von 3500 m. Die praktische Erfahrung kennt von dem Vorhandensein solcher Druckpartien nichts. Durch die unvermeidlich gewordene Erklärung, dass ein grosser Teil des Gebirgsdruckes in tangential gerichtete Kräfte umgewandelt ist, die nach unserer Ueberlegung sich summieren und sehr gross werden können, kommen wir aber wiederum mit der praktischen Erfahrung in Konflikt. Von grossen seitlichen Pressungen ist uns gar nichts bekannt. Herr Prof. Schmidt bezeichnet es als möglich und wahrscheinlich, dass Energiestrukte einer zur Ruhe gekommenen Gebirgsbildung oder neue Kräfte einer neuwachten Gebirgsbildung in der Erde existieren. Solche Vermutungen

¹⁾ «Rapports sur les études 1890—1891» par M. Dr. Schardt, 1891 Bern. (In J. Dumur «Traversée du Simplon» 1871, Bern, Druckerei K. Stämpfli.)

Die Villa Naville in Kilchberg bei Zürich.

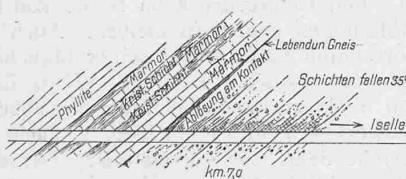
Erbaut von Architekt Edmond Fatio in Genf.



Abb. 7. Diele und Treppenhaus im Erdgeschoss. — Blick gegen Norden.

„Treiben“ ist nichts anderes als die Bewegung in einem zu stark geböschten Kies- oder Erdhaufen. Bei Km. 6,9 und bei Km. 9,14 ab S. P. keilte solches Gestein unter kompakten standfesten Marmorbänken spitz aus. Das Liegende löste sich glatt vom kompakten Hangenden ab. Das Hangende rührte sich nicht. Nachdrücken fand also nicht statt. Dennoch zerfiel das Liegende immer mehr. Das kohäsionslose Gestein verhielt sich ohne gedrückt zu werden, wie ein zu steil geböschter Schotterhaufen und rutschte in das lichte Stollenprofil (siehe darüber das folgende Kapitel und Abb. 3). Auf eine korrekte Anwendung der gebräuchlichen Bezeichnungen sollte streng gehalten werden. Es wird dagegen beim Tunnelbau viel gesündigt.

Abb. 3. Kontakt zwischen Marmor und Lebendgneiss und Marmor und Phylliten, bei Km. 7 S.-P.



Unverkennbar hat die nicht genaue Verwendung der Bezeichnungen von „treibend“ wie von „druckhaft“ die Begriffe in falsche Bahnen gelenkt. Im Simplon handelt es sich fast ausschliesslich, dort wo Bewegung eintrat, um „gebräches“ Gebirge, dessen Bewegungen ja auch hie und da an die von treibendem und druckhaftem Gebirge erinnern können.

Die von Herrn Prof. Schmidt behauptete Fortpflanzung der Bewegung des Gebirges von einem Stollen zum andern ist von der Bauunternehmung niemals erkannt worden. Wenn auch tatsächlich hie und da im gebrächen Gebirge

die Beobachtung gemacht wurde, dass gleichzeitig mit den Sprengarbeiten in einem Tunnel Bewegungen auf der korrespondierenden, noch nicht gesicherten Strecke des andern Tunnels aufraten, so wurde darin doch nur die Beunruhigung des gebrächen Gesteins durch die Fortpflanzung der Stösse der Sprengschüsse erkannt.

Um jedes Missverständnis auszuschliessen, fassen wir die Resultate unserer Betrachtungen zusammen.

Der von der Heimschen Lehre angekündigte Gebirgsdruck in der Erdtiefe wurde bisher im Simplon nirgends angetroffen. Er soll nach der Lehre, wenigstens im festen Gestein, erst nach Verlauf kurzer oder langer Zeit eintreten. Somit wäre die Erfahrungslehre, wonach bisher noch kein Druck gefunden wurde, in einer gewissen Ueber-einstimmung mit Heim. Auf die Frage über den Verbleib der Schwerewirkung ist keine andere Antwort möglich, als dass sie durch seitliche Spannungen, Reibungen, Gewölbeschub im Gleichgewicht gehalten ist. Aber auch von der Wirkung stärkerer seitlicher oder horizontal gerichteter Kräfte weiss die Erfahrung am Simplon nichts.

Von ausschlaggebender Wichtigkeit für den Tunnelbau ist die bisher nicht widerlegte Tatsache, dass ein sachkundig ausgeführter Tunnel auch in der grössten Tiefe standfest gebieben ist. *Die Ausführung hat alsdann keine Veranlassung zu Störung und Bewegung im Gebirge gegeben; es muss somit dort alles beim alten bleiben. Druck war bei der Stollenauffahrung nicht vorhanden, wie sollte er jemals eintreten können?* Da aber nach Herrn Heim die Voraussetzung für den Eintritt des Druckes die Störung im Gebirge durch den Tunnelbau bildete, so wäre mit der Beseitigung der Voraussetzung auch die schlimme Konsequenz seiner Lehre beseitigt. Das will sagen, beseitigt für ein Tunnelbauwerk; für ausgedehnte breite Hohlräume,

die bei Bergwerksarbeiten ungesichert stehen bleiben, dagegen wären die Folgen, die seine Lehre voraussieht, unvermeidlich. Wir müssen für ein späteres Kapitel die Darstellung unserer Ansichten über die sachgemäße Tunnelausführung vorbehalten. Es soll dort ausführlich die Rede sein von den Beobachtungen über Auslösungen von Gebirgsdruck in Bergwerken.

Unbegründeter Weise besteht die Meinung, dass beim Simplontunnelbau besonders gravierende Druckerscheinungen, bisher Unbekanntes, aufgetreten seien. Dem ist nicht so. Nur die überaus günstige Voraussage hatte die Annahme des Forfaitvertrages mit geringen Mauerstärken im allgemeinen veranlasst. Für einen grossen Teil der Tunnelerstreckung genügte die Wahl der vorgeschriebenen Typen. Auf einer gewissen Länge aber war ein Gestein angetroffen, das vollkommen seinen wahren Charakter erkennen liess. Man war durch alle Anzeigen bei der Auffahrung dieser Strecken verleitet, es für äusserst standfest zu schätzen. Nach längerer Zeit zerfiel es aber dennoch und wurde gebrochen. Wenn hier nun die Ausführung des Bauwerkes relativ schwach ist, wenn Sohlengewölbe zu spät und vielleicht zu sparsam eingebaut wären, so liegt die eigentliche Ursache für die geringen eingetretenen Bewegungen und Deformationen, die sich einzelnenorts bemerkbar gemacht haben, klar vor. Irgend ein Argument für die Lehre vom Gebirgsdruck kann nur künstlich da hineingelegt werden. Es ist lediglich der verspäteten Erkenntnis des zweideutigen Charakters der Gesteinsarten zuzuschreiben. Diese Strecken hätten vorsichtigerweise schneller und stärker verkleidet werden sollen. Unläugbar hat der praktische Blick des Ingenieurs hier versagt; er könnte künftig einmal bei ähnlicher Sachlage wieder versagen. Wie wollte man das vermeiden? Die geologische Voraussage ist dazu nicht im Stande. Der Unterschied zwischen Gesteins- und Gebirgsfestigkeit an jeder Lokalität und in jeder Gesteinsart kann unbedingt durch niemanden im Voraus geschätzt werden. Es ist daher nicht ganz verständlich, dass das geologische Studium die Grundbedingungen für die richtigen Konstruktionen von Fall zu Fall beibringen soll. Nein! nur die Erfahrung und der praktische Blick des Ingenieurs können an Ort und Stelle entscheiden. Beim Simplontunnelbau hat nicht das Antreffen solcher Gesteinsarten überrascht, obwohl es von der geologischen Voraussage nicht angekündigt war; nur die Form ihres Verhaltens, der mit dem blossen Auge anfänglich nicht erkennbare zusammenhanglose Zustand scheinbar kompakter Massen. Im III. Kapitel sollen die Erfahrungen, welche in diesen Gesteinsarten gemacht worden sind, noch besprochen werden.

Also nochmals: Der Simplon lieferte keinen Beitrag zur Erkenntnis der Wirkung oder des Vorhandenseins von Gebirgsdruck. Ausserdem hat bisher noch keines der vielen bestehenden Tunnelbauwerke erkennen lassen, dass sich mit der Zeit ein grösserer Gebirgsdruck einstellen könne als der zur Zeit seiner Herstellung bestehende. Da man also durch die praktische Erfahrung weder die enormen nach abwärts gerichteten Druckkräfte, noch die enormen tangential gerichteten Pressungen, welche nach der Heimschen Lehre im Erdinnern bestehen müssten, verspürt hat, so wäre seine an und für sich *logische* Lösung des Problems der Schwerewirkung durch jene Lehre *praktisch* nicht bestätigt.

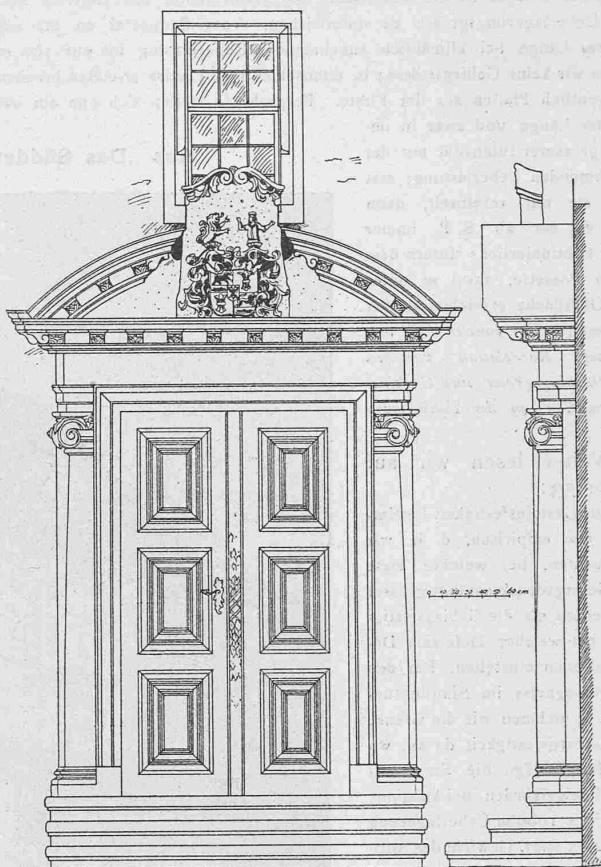
* * *

Wir halten es für nötig, hier auch auf die Behandlung einzutreten, die Herr Professor Dr. Schmidt in Basel dem Kapitel über „Gebirgsdruck im zweiten Teil der „Untersuchungen über die Standfestigkeit der Gesteine im Simplontunnel“ angedeihen lässt.

Hr. Prof. Schmidt will aus dem Eintreten von Gebirgsdeformationen und aus der Ueberlastungsgröße die Gebirgsfestigkeit bestimmen. Umgekehrt suchte er den Beweis zu erbringen von dem Bestehen einer direkten Korrelation zwischen Gesteinsdeformation und Ueberlastungsgröße, nach einer vom subjektiven Gefühl vorgenommenen Schätzung der Gebirgsfestigkeit. Danach sollte sich jedes Gebirge in der Tiefe ebenso direkt abhängig vom gesamten

Aus „Das Süddeutsche Bürgerhaus“

von Dr. Ing. H. Göbel.¹⁾



Portal am «Erbacher Hof» in Zwingenberg a. d. B. — 1 : 50.

Drucke der Ueberlagerung verhalten, wie ein Gestein unter dem Drucke des Kolbens in der Festigkeitsprobe-Maschine. Müssten wir die Richtigkeit der Beweisführung anerkennen, so wäre ein weiteres Sträuben gegen die Folgerungen unsinnig. Wir haben die Besprechung seiner Beweismethode für einen besonderen Abschnitt vorbehalten, da sie uns eine Sache für sich erschien, welche die vorhergehende Abhandlung nur verwirrt haben würde.

Wie bereits erwähnt, wurden die Gebirgsdeformationen in „treibende“ und in „brechende“ unterschieden. Letztere haben als Charakteristikum den sogen. Bergschlag eigentlich. Von ihm ist auf Seite 31 der „Untersuchungen über die Standfestigkeit der Gesteine im Simplontunnel“ die Rede:

«Eine ganz zutreffende Erklärung für die Ursache der Erscheinung, die anderwärts als «Bergschlag», «Gebirgsstoss» u. dgl. bezeichnet wird, vermag ich nicht zu geben. Jedenfalls aber ist dieselbe eine Erscheinung, die nur auf die äusserste Zone des frisch angehauenen Felsens beschränkt ist, und in einer stärkeren Ausdehnung der Oberfläche gegenüber dem Kern des Gesteins beruht.»

Und auf Seite 48 ist von Bergschlägen die Rede, wobei gesagt wird:

«Die Erscheinung von Bergschlägen ist genau dieselbe im Simplon, 2000 m unter der Oberfläche, wie über Tag im Porphysteinbruch zu Quenast.»

Die „Untersuchungen usw.“ haben sich nun die Erscheinungen der Bergschläge zum festen Maßstab erwählt für die Beurteilung der Ursachen von Gesteinsdeformationen. Es ist ohne weiteres angenommen, dass Bergschläge eintreten, sobald die Belastung eines Gebirges dessen Festigkeit überschritten hat. Damit wäre also der Bergschlag identisch mit der Erscheinung der Risse im Probewürfel unter der Festigkeitsprobe-Maschine. Ferner gehen die „Untersuchungen“ aus von einer nach oberflächlicher Beobachtung bewerteten Intensität und Häufigkeit der Bergschläge und aus einer gefühlsmässigen Beurteilung der Gebirgsfestigkeit, und sagen auf Seite 51:

¹⁾ Siehe unter Literatur auf Seite 32.

«Von Km. 4,1 ab S. P. (Simplontunnel) bis zum Ausgang haben wir durchgehend den grobbankigen Antigoriogneiss, flach S.-W. einfallend. Für diese Strecke ist die Korrelation der Deformation des Gesteins und der Ueberlagerungsgrösse zu untersuchen. Vom Südportal an bis auf 1,5 km Länge bei allmählich zunehmender Ueberlastung bis auf 700 m finden wir keine Gebirgsstösse; in dünnenschichtigen Gneissvarietäten brechen gelegentlich Platten aus der Firste. Bergschläge stellen sich nun ein auf 2,5 km Länge und zwar in immer grösserer Intensität mit der zunehmenden Ueberlastung; erst sind sie nur vereinzelt, dann von 2,5 km ab S. P. immer mehr kontinuierlich; unfern dem Passo Possette, 1500 m unter der Oberfläche erreichen sie ihr Maximum. Ein zweiter Fall von direkter Korrelation zwischen Ueberlagerungsgrösse und Gesteinsdeformation an der Tunnelwandung ...»

Weiter lesen wir auf Seite 53:

«Die Gesteinsfestigkeit bestimmen wir empirisch, d. h. wir beobachten, bei welcher Tiefe der Gebirgsdruck anfängt grösser zu werden als die Gesteinsfestigkeit, bei welcher Tiefe sich Deformationen einstellen. Für den Antigoriogneiss im Simplontunnel z. B. nehmen wir die Grenze der Gesteinsfestigkeit da an, wo die Bergschläge die Sicherheit der Ulme gefährden. Bei Annahme von zirka 1000 m Ueberlagerung und 2,65 spez. Gewicht des Antigoriognesses erhalten wir für Gesteinsfestigkeit zirka 250 kg, während die Gesteinsfestigkeit mindestens 1000 kg beträgt.»

Die unvermittelte Annahme, dass der Bergschlag sich einstellt, wenn die Belastung des Gebirges die Grenze ihrer Festigkeit erreicht hat, bleibt nun die Grundlage für alle folgenden Feststellungen. Für das Verhalten des Gebirges an den Tunnelwänden ergäbe sich daraus folgende einfache Formel:

Es ist abhängig von der an den verschiedenen Orten und in den verschiedenen Tiefen sehr variablen Gesteinsfestigkeit und ist direkt proportional der Ueberlastungsgrösse.

Nach dem vorzitierten Urteil über die unbekannten Ursachen und über die Beziehungslosigkeit zur Ueberlagerungshöhe bei Erscheinungen von Bergschlägen befremdet

Im äusserst kompakten, kluftfreien und zähen Gneissgranit ereignete sich das Maximum der Bergschläge bei 400 m Ueberlagerung; dabei steht die Tunnelachse querschlägig zum Streichen und das Gestein ist steil aufgerichtet. Eine Berechnung der Gebirgsfestigkeit nach demselben Vorgange, wie für den Antigoriopreis eingeschlagen, ergibt 150 kg; ein Resultat, das dem augenscheinlichen Sachverhalt unbedingt widerspricht.

2. Im Tauerntunnel (Abb. 4) bei Km. 3 ab N.P. und für eine kurze Strecke bei Km. 4 wurden unter 1200 m Ueberlagerung die Maxima der Bergschläge beobachtet. Von Km. 4,5 bis über Km. 5 hinaus unter 1500 m Ueberlagerung ereigneten sich nur Spuren von Bergschlägen. Gelegentlich einer Besichtigung des Tunnels kamen wir zur Ueberzeugung, so weit man dazu durch blosen Augenschein kommen kann, dass das Gestein mit allen in Betracht kommenden Umständen auf der ganzen inneren Strecke eine grosse Gleichmässigkeit besitzt. Wir müssen deshalb hier einen Fall konstatieren, wo das Gegenteil einer direkten Korrelation zwischen Deformationen und Ueberlagerungsgrösse besteht.

Sehen wir nun, wie es sich mit den Bergschlägen im Simplon verhalten hat. Der Beweis einer direkten Korrelation zwischen Deformation und Ueberlagerung beruht auf der Voraussetzung, dass man es auf der ganzen 4,1 km langen Strecke mit grobbankigem Antigoriogneiss zu tun habe (Abb. 5). Aus dem Sinne der Beweis-

führung geht hervor, dass entsprechend dem durchgehend gleichförmigen Gestein, auch eine durchgehende gleichförmige Gesteinsfestigkeit als bestehend angenommen war. Der Richtigkeit dieser Annahme müssen wir entschieden widersprechen; wenn auch ganz oberflächlich betrachtet, einige Ähnlichkeit des Gesteins auf dieser Strecke zu bestehen scheint, so war es tatsächlich im hohen Masse unterschiedlich. Schon die „Untersuchungen...“ haben auf Seite 49 die erste rund 1,6 km lange Strecke als

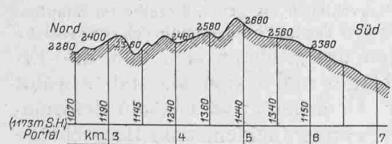


Abb. 4.
Profil längs der Achse
des Tauerntunnels.

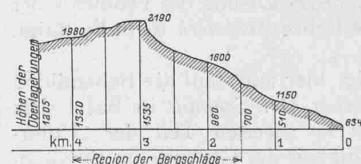


Abb. 5.
Profil längs der Achse
des Simplontunnels.
Südseite.

das Beginnen, an diesen Erscheinungen die Grösse der Gesteinsfestigkeit ermessen zu wollen. Wir wollen deshalb noch einmal an zwei bekannten Fällen auf den augenfälligen Mangel jeder Beziehung in obengenanntem Sinne hinweisen.

1. Die „Untersuchungen“ erwähnen die starken Bergschläge, die während des Baues im Pfaffensprung-Tunnel eingetreten sind. Damit verhält es sich folgendermassen:

flachliegende dünnenschichtige Gneisse bezeichnet, wonach man es also nicht mit durchgehend grobbankigem Antigoriogneiss auf der ganzen Strecke zu tun hat. Weiter ist auf der restlichen Strecke von 2,5 km Länge, durch die maschinelle Bohrung, die unbedingt als eine Sondierung des Gebirges auf seine Festigkeit einen grossen Wert hat, noch heute eine Kontrolle der Gesteinsfestigkeiten eine leichte Sache. Folgende Tabelle gibt die erzielten Tages-

fortschritte im Mittel, abgeteilt für die Strecken mit annähernd gleicher Tagesleistung.

Von Km. 0,827 bis 2,168 = 4,85 m	Tagesfortschritt
" " 2,168 " 3,180 = 4,18 "	" "
" " 3,180 " 3,800 = 5,17 "	" "
" " 3,800 " 4,212 = 4,34 "	" "

Der Grund für die wesentlichen Unterschiede der Leistungen ist in der wesentlichen Verschiedenheit all der Umstände, welche zusammen die Gebirgsfestigkeit ausmachen, gelegen. Eine auf der Annahme durchgehender, gleichmässiger Gesteinsfestigkeit beruhende Schlussfolgerung für das Bestehen jener Korrelation entbehrt also jeder Berechtigung.

Wir sind gezwungen, noch an einem weiten Beispiel nachzuweisen, wie wenig die Annahmen der „Untersuchungen“ begründet sind.

Auf Seite 56 ist gesagt:

«Wenn wir auch als in erster Linie bestimmendes Moment für das «Treiben» der Schichten im Simplon die petrographische Natur und die Schichtlage der betreffenden Gesteine erkennen, so müssen wir doch auch die Korrelation dieser Erscheinung mit der Ueberlastungsgrösse prüfen. Tatsächlich finden wir eine Koinzidenz zwischen beiden, die Gesteinsumformung begünstigenden Momenten im Simplon. Flache Schichtlage und je nach der Gesteinsart «Treiben» oder «Brechen» finden wir kontinuierlich von Km. 7,3 der Nordseite bis Km. 5 der Südseite. Die mittlere Gebirgsüberlastung auf dieser Strecke ist grösser, als die nördlich und südlich davon vorhandene und kann auf 1600 m angenommen werden. Die am meisten treibenden Stellen finden sich aber einerseits im Valgrandegneiss bei Km. 9 ab N. P. und bei Km 8 bis

8,5 ab S. P. je 2200 m unter der Oberfläche. Zwischen diesen beiden Gebieten maximalen Gesteinsdruckes schiebt sich eine zirka 1000 m lange Strecke nicht treibenden, sondern nur brechenden Gesteins, mit präesistenten Klüften ein, die nur 1500 m unter der Oberfläche liegen, entsprechend der Depression des Aurora-Gletschers.»

Durch beifolgende Skizze (Abb. 6), in der die ausgeförderten Mauer-Typen, die Gesteinsarten und das Oberflächenprofil mit den Terrainkoten ü. M. von Km. 6,0 S. P. bis Km. 8 N. P. eingetragen sind, erhält man ein anschauliches Bild der hier in Betracht kommenden Faktoren. Herr Prof. Schmidt hat vom Valgrandegneiss gesagt, dass er die

schwierigste Partie der Nordseite darstellt. Er ist dünnbankig und außerordentlich brüchig.

Der marmorige Kalkschiefer von Km. 9,688 N. P. bis Km. 10,630 N. P. ist kompakt und standfest — es traten Bergschläge auf.

Der Kalkphyllit von Km. 10,630 N.P. bis Km. 7,140 P.S.

dagegen ist sehr gebräck. Das flach geschichtete Gestein ist streckenweise durch die Verfaltung zerbrochen und zerquetscht, jedoch fest zusammengepresst. Auf andern Strecken ist durch zahllose Sprünge, parallel zur Achse und steil zur Schichtung, eine falsche Schichtung entstanden. Es standen die dünnen Platten locker aneinander gereiht und drohten in die Ausbruchsräume einzustürzen. Auf dieser Strecke erwies es sich möglich, die Bewegung des Gebirges außerordentlich einzuschränken, wenn es gelang, mit der Mauerverkleidung schnell auf den Vollaushub zu folgen. Wo das geschehen ist, konnte sich der Ingenieur mit der Wahl eines leichten Typs begnügen, während andernfalls stärkere Typen benötigt waren.

Unbedingt falsch ist es, dieses Gebirge „treibend“ zu nennen. Wir haben von den Gesteinen zwischen Km. 8,5 und 9,0 die Gesteinsfestigkeit von 6 Probewürfeln feststellen lassen und sie zwischen 897 kg und 1282 kg gefunden, im Mittel 1150 kg/cm². Dagegen ergaben 5 Probewürfel der marmorigen Kalkschiefer von Km. 9,140 bis 9,250 eine Festigkeit zwischen 1003 und 1343 kg, gleich im Mittel 1200 kg/cm². Die Gesteinsfestigkeit beider muss somit

als vollkommen gleich angesehen werden. Der Unterschied besteht nur im Zustand der verschiedenen Kompaktheit und Zerrissenheit. Jedem Ingenieur muss es auf den ersten Blick klar sein, dass die schon beim Auffahren der Strecken sich locker präsentierenden Kalkphyllite in Bewegung kommen würden, wenn sie nicht sofort verkleidet werden könnten. Andernfalls mussten die Platten abreissen, sich lockern, auf die Sohle drücken und die Widerlager verschieben.

Es sind dies die Eigenschaften eines Gebirges, das wir „gebräcke“ zu nennen gewöhnt sind.



Rathaus zu Heppenheim a. d. B.

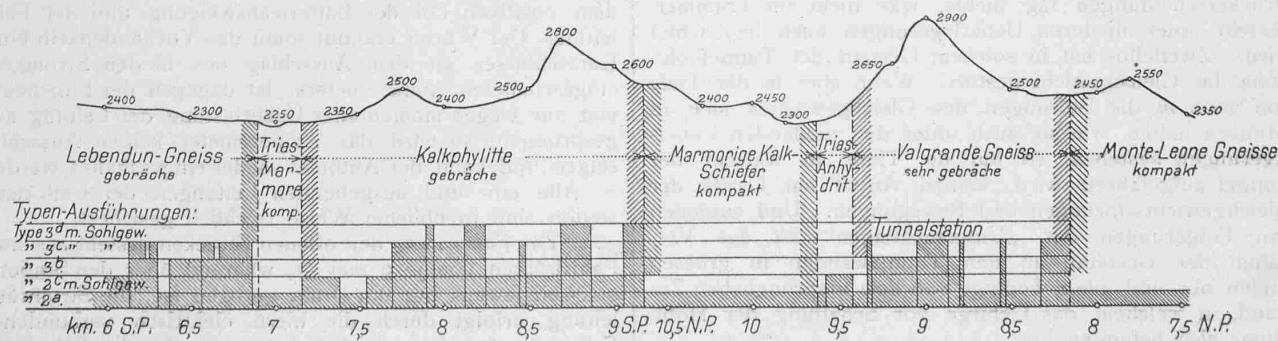


Abb. 6. Profil des Simplontunnels (Sohle rund 700 m ü. M.). — Die eingezeichneten Gebirgsarten entsprechen den im Tunnel durchfahrenen.

Ein Blick auf Abbildung 6 zeigt nun, dass überall, ausgerechnet auf den Punkt, wo die verschiedenen Gebirgswechsel sich befinden, auch die Stärke der Verkleidung wechselt, d. h. dass auch da genau die Änderung im Verhalten des Gebirges eingetreten ist. So ist es bei:

Km. 6,902 ab S. P.	Beginn der Trias
" 7,155 "	Kalkphyllite
" 9,140 "	marmorigen Kalkschiefer
" 9,408 "	N. P.
" 8,163 "	des Valgrandegneiss

(Als einen Irrtum bzw. Versehen müssen wir es ansehen, dass behauptet wurde, die am meisten treibende Stelle der Südseite sei bei Km. 8 bis 8,5 gewesen. In der Tat befand sie sich bei Km. 9 bis 9,14. Durch die Bewegung des lockern Gesteins sind dort in beiden Tunnels auch die grössten Arbeitsbehindergungen vorgekommen und die normalen Typen noch verstärkt worden.)

Für den Ingenieur kam auf allen Strecken die Bewegung in Betracht, welche in dem Gestein auftrat infolge der ursprünglich bestandenen Gebräuchlichkeit, Klüftigkeit und Zerrissenheit. Diese ist, wie man zugeben muss, zufällig auch in der Nähe der höchsten Ueberlagerungen aufgetreten, wie bei Km. 9 N. P. und bei Km. 8,7 S. P. Sie trat aber ebensogut unter der niedern Ueberlagerung im gleichen Gestein bei Km. 8,16 N. P., bei Km. 9,14, 8,0 und 6,9 S. P. auf. Die Behauptung, dass man tatsächlich eine Koinzidenz gefunden hätte, welche die Abhängigkeit der Gesteinsumformung von der Ueberlagerungsgrösse bestätige, ist somit unbedingt zurückzuweisen.

Anknüpfend an diese Widerlegung glauben wir noch folgende wichtige Umstände über die Gebirgsbeschaffenheit in grossen Tiefen hervorheben zu müssen. Bekannt ist, dass gering überlagerte Tunnels in festem Gestein nicht immer der Mauer verkleidung bedürfen. In einem tiefliegenden Tunnel tritt dieser Fall nie ein. Sollte etwa die stärkere Ueberlagerung mit ihrem Druck daran die Schuld tragen? so könnte man fragen. Das ist aber zu verneinen. Auch lange Tunnels haben nahe den Portalen niedere Ueberlagerungen und müssen daselbst verkleidet werden. Lange Tunnels führen durch hohe Gebirge. Hohe Gebirge sind im allgemeinen stark verfaltet, verstaucht und zertrüttelt; die in der Tiefe eingeklemmten Schichten wurden mehr zerquetscht als weniger tiefliegende Gesteine. Gneiss, Granit usw. der ältern Formationen müssen zerrissener und zersprungener sein, als die jüngeren Gesteine; sie nahmen an mehr Bewegungen teil. Im Simplon war selbst bei der niedersten Ueberlagerung der Antigoriogneiss zerbrochen und die Schichten unter sich locker. Trümmer fielen herab, wo nicht durch Holzeinbau gesichert war. Im Innern des Berges zeigte sich das Gebirge zerrissen in vielen Richtungen, mit öfters grossen offenen Spalten. Dort, wo es in Falten gebogen und eingeklemmt war, erschien es wohl auch anfänglich noch standfest und geschlossen, um sich aber an den Tunnelwänden bald in kleine Bestandteile zu zerteilen. Der wenig standfeste Zustand lag also im Zustand des Gesteines vor seiner Auffahrung; es brach ab und rutschte; es war „gebräche“ und nicht „treibend“. Im nachträglichen Verhalten der Gesteine, in eventuellen Druckerscheinungen lag nichts, was nicht im Trümmergestein unter niederen Ueberlagerungen auch beobachtet wird. Zweifellos hat in solchem Gestein der Tunnelhohlräum das Gleichgewicht gestört. Wenn aber in der Tiefe von 2000 m die Störungen des Gleichgewichtes sich in Grenzen halten, wie sie auch unter den niedersten Ueberlagerungen bestehen, so hat die Tiefe, in welcher der Tunnel aufgefahren wird, keinen Anteil am Grade der Gleichgewichtsstörungen und Bewegungen. Und entgegen den Folgerungen der „Untersuchungen“ ist das Verhalten der Gesteine an den Tunnelwänden in grossen Tiefen nur und allein bedingt von dem ursprünglichen Zustand, in welchem das Gebirge vor Schaffung der Hohlräume sich befunden hat.

Die Monthey-Champéry-Bahn.

(Schluss.)

Kraftzentrale und Fahrleitung.

Die Gesellschaft der Monthey-Champéry-Bahn bezieht die zum Betriebe nötige Kraft von der „Société des Forces motrices de la Grande Eau“ in Territet in Form von Drehstrom von 6000 V, den sie von Collombey aus auf eigener Leitung nach der *Umformerstation Troistorrents* bei Bahn-Km. 4,9 führt. Hier wird der Strom, nachdem er in zwei Drehstromtransformatoren von je 120 KVA auf die Spannung von 500 V herabgesetzt ist, zum Antrieb der beiden Umformergruppen verwendet, die den 750-voltigen Gleichstrom zur Speisung der Fahrleitung erzeugen. Die zwölfpoligen Drehstrommotoren geben bei der Spannung von 500 V und 50 Per./Sek. bei 485 Uml./Min. 150 PS. ab; sie sind mit den Gleichstromgeneratoren direkt und elastisch gekuppelt. Jeder der vierpoligen, mit Nebenschlusserregung versehenen Gleichstromgeneratoren erzeugt bei der genannten Umlaufzahl Strom von 750 bis 1000 V und 133 bis 100 Amp., leistet also 100 kw, ohne dass sich im Dauerbetriebe die Temperatur des Kollektors um mehr als 55° C. und die der übrigen Teile um mehr als 45° C. über die Aussentemperatur erwärmt. Ferner können die Maschinen während einer Stunde eine Ueberlastung von 30 % ohne schädliche Erwärmung oder Funkenbildung an den Kollektoren ertragen. Die Gleichstromgeneratoren ruhen auf Isolatoren, während die Gehäuse der Drehstrommotoren geerdet sind. Ihre Schaltapparate befinden sich auf zwei einander gegenüberliegenden Schalttafeln, deren Verbindungen mit den zugehörigen Maschinen durch in gedeckten Kabelkanälen isoliert montierte Kabel geschieht. Neben dem Maschinensaal ist in besonderm Raume eine Akkumulatorenbatterie von 390 Zellen von je 2,05 V Pufferspannung aufgestellt, deren Kapazität bei einstündiger Entladung 270 Amp. und deren maximale Entladestromstärke während 5 Minuten 400 Amp. beträgt. Die Batterie soll verdoppelt werden indem die Zahl der Züge bedeutende Vermehrung erfuhr durch die Material- und Güterzüge für den Bau des Wasserkraftwerkes an der Vièze.

In die zwei, in den Richtungen nach Monthey und Champéry abgehenden Leitungen, ist auf der Schalttafel neben doppelpoligen Ausschaltern je ein Maximalautomat mit Nebenkontakten und Verriegelungsspulen eingeschaltet, die es verunmöglichen, im Falle eines Kurzschlusses auf der Linie den Automaten wieder einzuschalten, bevor der Kurzschluss beseitigt ist. Der Strom für die Verriegelungsspulen wird den 60 dem negativen Batteriepol benachbarten Zellen entnommen, hat also eine Spannung von rund 120 V. Die positive Leitung dieser Abzweigung führt über einen Widerstand und ein Ampèremeter für 30 Amp. zu einem Pol des doppelpoligen Ausschalters der abgehenden Leitung. Der Widerstand ist so bemessen, dass bei direktem Kurzschluss bei 120 V genau 30 Amp. durchgehen. Wenn nun der Linienautomat ausspringt, so erzeugt sein Nebenkontakt eine Verbindung zwischen Fahrdrähtleitung und Verriegelungssspule und da die doppelpoligen Ausschalter eingeschaltet sind entsteht eine direkte Verbindung zwischen dem positiven Pol der Batterieabzweigung und der Fahrleitung. Der Wärter erkennt somit das Vorhandensein eines Kurzschlusses an dem Ausschlag des in den Stromkreis eingeschalteten Ampèremeters. Ist dagegen der Linienautomat nur wegen momentaner Ueberlastung der Leitung ausgesprungen, so wird das Ampèremeter keinen Ausschlag zeigen und kann der Automat wieder eingeschaltet werden. — Alle ein- und ausgehenden Leitungen der Umformerstation sind in üblicher Weise reichlich gesichert.

Die Fahrleitung der offenen Strecken besteht aus zwei Fahrdrähten von je 9 mm Ø, während über den Stationsgleisen jeweils nur ein Draht gezogen ist; die Stromrückleitung erfolgt durch die hiezu elektrisch verbundenen Schienen. Auf dem gleichen Gestänge, das die Fahrdrähte trägt, ist im weitern eine Speiseleitung von