

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Band: 57/58 (1911)
Heft: 12

Artikel: Über die Absteckung des Lötschbergtunnels
Autor: Baeschlin, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-82667>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 10.11.2024

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

Die elektrische Beleuchtung bezieht ihren Strom aus der Stadtleitung. Sie erfolgt in den Rampen, Soffiten- und Seitenbeleuchtungen mittelst Tantallampen. Die ganze Glühlampenanlage ist auf das sog. Vierfarbensystem eingerichtet, (weiss, gelb, grün, rot), und von Dunkel bis zur vollen Helle regulierbar. Der Schalt- und Regulierapparat befindet sich an der rechten Prosceniumsseite, er ist um zwei Meter über den Bühnenboden gehoben, damit der Beleuchter ausserhalb des Betriebes der Bühne ist. Vom Schaltapparat aus wird auch die Beleuchtung des Saales, d. h. des Kronleuchters und der Wandarme an der Brüstung des ersten Ranges bedient. Ausser den regulären Beleuchtungs-Einrichtungen der Bühne befinden sich auf dieser, sowie auf den Galerien eine genügende Anzahl von Anschlüssen für transportable Versatzbeleuchtung, ein- und vierfarbig, sowie für Effektbeleuchtung mittelst Bogenlichtes. Es kommen noch dazu die nötigen Einrichtungen für Signallampen, sowie eine Taktübertragungsanlage vom Dirigentenpulte zur Bühne. Die sog. Wettergeräuschmaschinen, d. h. die Einrichtungen zum Hervorbringen des Geräusches von Donner, Wind und Regen sind auf den Galerien untergebracht; sie werden vom Bühnenniveau aus elektrisch betätigt.

Die Beleuchtungsanlage der Bühne wurde von den Siemens Schuckertwerken in Berlin geliefert und montiert, jene des Garderobe- und des Zuschauerhauses besorgte die Allg. Elektrizitätsgesellschaft in Basel. Die Hauptschalttafel

dienen, woselbst auch die im Zuschauerraume verteilten Fernthermometer abgelesen werden können. Die Heizanlage wurde von der Firma Stehle & Gutknecht in Basel projektiert und ausgeführt.

Im ganzen Hause verteilt befinden sich 27 Zapfstellen einer Staubabsaug-Anlage, die nach dem System der Firma Borsig in Tegel bei Berlin und durch dieselbe ausgeführt ist (Abbildung 6).

Die Notbeleuchtung im Theater geschieht mittelst Kerzenlampen.

Die Mauerwände im Eingang und in den Korridoren des Balkon- und des ersten Ranges sind mit Steinstück der Firma Taponnier in Genf verputzt.

Die dekorativen Bilder des Foyer malte Kunstmaler Emil Beurmann in Basel.

Es würde zu weit führen, hier die etwa 100 Namen umfassende Liste aller Unternehmer und Lieferanten zu nennen. Wir müssen uns mit dem Gesagten begnügen.

Das neue Theater wurde am 20. Sept. 1909 eingeweiht; die Erfahrung hat gezeigt, dass bei einiger Vorsicht in der Behandlung der Böden, Decken und Wandflächen eine schädliche Wirkung der Konstruktionsweise auf die Akustik, wie dies befürchtet worden war, nicht stattfindet.

Die Kosten der Bauarbeiten, einschliesslich Möblierung, jedoch ohne die Bühnendekorationen betragen Fr. 1 256 642,85. F. Stehlin, Architekt.

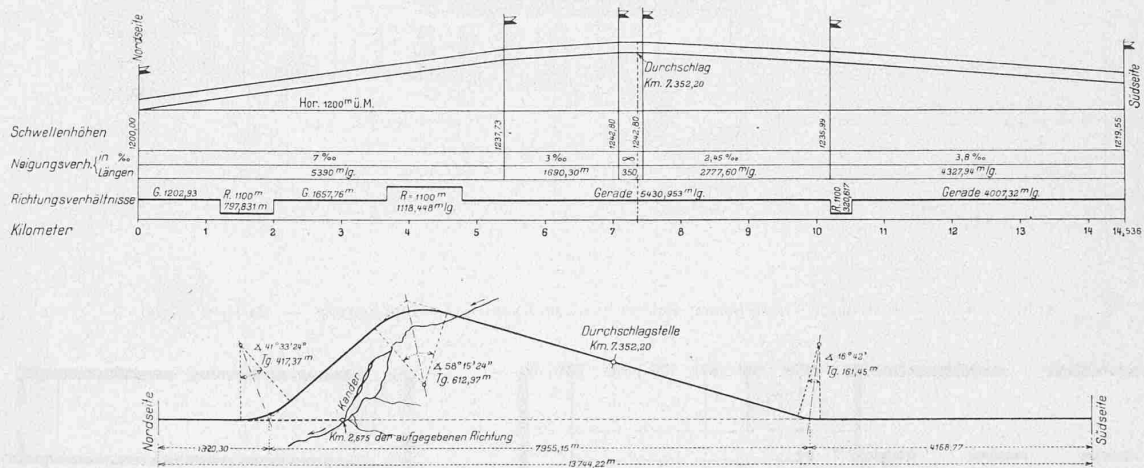


Abb. 7. Lageplan und Längenprofil des Lötschbergtunnels. — Masstab für die Längen 1 : 100 000, für die Höhen 1 : 5000.

befindet sich im Nachtwächterlokal im Souterrain, sodass das ganze Theater während der Nacht stromlos gehalten werden kann, ohne dadurch eine zur Aufsicht etwa nötige Einschaltung unnötig zu erschweren.

Ueber das Zuschauerhaus ist wenig beizufügen. Dessen Disposition und Dekoration sind in den Abbildungen (Tafeln 32 bis 35 und Abbildungen 1 bis 6), die diesen Artikel begleiten, ersichtlich.

Schliesslich mag noch gesagt sein, dass das Theater 1200 Sitzplätze aufweist und dass in den Garderoben für jeden Sitz ein besonderer, gleich nummerierter Platz für Hut, Mantel und Schirm vorhanden ist.

Die Beheizung des ganzen Hauses geschieht durch eine Niederdruck-Dampfheizung mit Ventilation. Die Bühne, sowie die Räume des Garderobehauses und alle Nebenräume des Zuschauerhauses werden direkt mit Radiatoren geheizt. Das Zuschauerhaus wird mittelst Ventilationsluft erwärmt. Der grosse Ventilator liefert eine Luftmenge von 36 000 m³ in der Stunde, was auf den Rauminhalt bezogen einer ungefähr 6,25-fachen Lüfterneuerung in der Stunde entspricht. Die eingepumpte Luft wird filtriert, d. h. entstaubt, befeuchtet und erwärmt, bevor sie mit etwa 17° C und 50% relat. Feuchtigkeit mit einer Schnelligkeit von 0,3 m/sek. durch die zahlreichen Einströmöffnungen in den Saal gelangt. Alle Abluft- und Zuströmklappen, sowie die Hauptventile der Heizung sind vom Heizraume aus zu be-

Über die Absteckung des Lötschbergtunnels

von Professor F. Baeschlin, Zürich.

(Fortsetzung.)

VI. Die Absteckung der Kurven.

Das ganze Personal hatte sich anlässlich einiger Hauptabsteckungen gerade so recht in die Organisation einer solchen Operation eingelebt, da kam die Katastrophe vom 24./25. Juli 1908 auf der Nordseite des Tunnels, die dann bekanntlich veranlasste, dass die Unternehmung den Vorschlag machte, die schwierige Stelle durch ein neues Tracé zu umgehen, dadurch dass drei Kurven von je 1100 m Radius eingelegt wurden. Abbildung 7 zeigt den Grundriss und das Längenprofil des neuen Tracé.

Bezeichnend für die rasche Entschlussfähigkeit der Unternehmung ist, dass der Verfasser wenige Tage nach dem Unglück telegraphisch nach Bern gebeten wurde, um sein Gutachten darüber abzugeben, ob es vom absteckungstechnischen Standpunkt aus möglich sei, die vorgeschriebene Richtung trotz der Kurven so genau innezuhalten, dass ein seitlicher Durchschlagsfehler von weniger als 1 m garantiert werden könne.

Der Verfasser bejahte diese Frage auf Grund vorher angestellter überschlägiger Genauigkeits-Untersuchungen. Als einzige Bedingung von einiger finanzieller Tragweite

wurde die Anschaffung eines genauen Theodoliten verlangt. So hat denn die Unternehmung wenige Tage nachher das Projekt zu einer Umgehung der schwierigen Stelle an die kompetenten Organe der Berner-Alpenbahngesellschaft eingereicht und drang dann wie bekannt damit schliesslich nach längerem Widerstand durch.

In der Zwischenzeit fand der Verfasser Zeit, die Massnahmen, die für die Absteckung der Kurven getroffen werden mussten, vorzubereiten.

In erster Linie musste man sich darüber Rechenschaft geben, ob die Länge des Tunnels aus der Mathys'schen Triangulation genügend genau abgeleitet werden konnte.

Während die Länge für einen geraden Tunnel nur sekundäre Bedeutung hat, ist sie für einen krummlinigen Tunnel ein Element von nahezu derselben Bedeutung wie die Richtung, weil die rechnerische Bestimmung der Absteckungselemente auf die Länge des ganzen Tunnels basiert werden muss.

Beim Loetschbergtunnel war vorauszusehen, dass der Durchschlag in der 5431 m langen dritten Geraden ab Nordportal erfolgen werde. Diese Gerade besitzt eine Neigung von $16^{\circ} 42'$ (alter Teilung) zum ursprünglichen Tracé.

Wenn wir daher annehmen, dass die Entfernung der beiden Tunnelportale aus der Triangulation um 1 m fehlerhaft abgeleitet werde, so ergäbe das an beliebiger Stelle der erwähnten Geraden einen seitlichen Durchschlagsfehler von $1 m \times \sin \alpha$, wo α die Neigung zur Verbindungslinie der Tunnelportale bedeutet. Mit $\alpha = 16^{\circ} 42'$ ergibt dies 28,7 cm Durchschlagsfehler pro 1 m Längenfehler. Hätte der Durchschlag in der zweiten 1658 m langen Geraden ab Nordportal stattgefunden, so wäre $\alpha = 41^{\circ} 33' 24''$ gewesen, sodass der Durchschlagsfehler 66,3 cm auf 1 m Längenfehler geworden wäre.

Aus den Ueberschlagsrechnungen des Verfassers geht hervor, dass der Maximalfehler in der trigonometrischen Bestimmung des Abstandes der beiden Tunnelportale zu annähernd 1 m angenommen werden musste, und zwar ist diese Grösse zum kleinsten Teil der Mathys'schen Triangulation direkt zuzuschreiben, sondern vielmehr der Landes-triangulation. Der Abstand des Berner Oberländernetzes der schweiz. Landstriangulation von der nächsten Basis, d. i. der Aarberger Basis, ist in der Luftlinie etwa 75 km. Mit Rücksicht auf die Ableitung des Abstandes der Tunnel-länge aus der Aarbergerbasis durch die ganze dazwischen liegende Triangulation ergibt sich der oben erwähnte Maximalfehler von ungefähr 1 m.

Man hat sich die Frage gestellt, ob es nicht angezeigt sei, die Tunnellänge dadurch genauer zu bestimmen, dass an einer geeigneten Stelle im Kanderthal eine Basis gemessen würde, die dann durch ein Basis-triangulationsnetz mit der Mathys'schen Tunneltriangulation verbunden würde. Zweifellos hätte dadurch die Tunnellänge genauer bestimmt werden können; hingegen wäre der Genauigkeitsgewinn nicht so gross gewesen, wie man auf den ersten Blick glauben möchte, weil das Basisnetz notgedrungen sehr steile Richtungen erhalten hätte, auf welche die Lotabweichungen starken Einfluss gehabt hätten. Ausserdem wäre dadurch die ganze Absteckungsarbeit stark verteuert worden.

Vom praktischen Gesichtspunkt aus spielt aber der Durchschlagsfehler von rund 30 cm, der durch die mutmasslich fehlerhafte Längenbestimmung entsteht, keine Rolle. Es lag dem Verfasser aber fern, die Unternehmung mit Kosten zu belasten, die nur vom rein akademischen Gesichtspunkte aus verantwortet werden könnten.

So wurde denn die Mathys'sche Längenbestimmung unverändert beibehalten, nachdem die Triangulation nochmals auf die richtige Rechnung nachgeprüft worden war.

Eine andere Frage war, wie genau die Längenmessung im Tunnel vorgenommen werden musste, damit der Durchschlagsfehler innerhalb der vorgeschriebenen Toleranz blieb. Zur Lösung dieser Frage wurden folgende Erwägungen zu Grunde gelegt:

Durch die Mathys'sche Triangulation wird direkt der Abstand der beiden Axsignale Kandersteg und Goppenstein bestimmt. Von diesen Punkten aus muss also durch direkte Längenmessung in den Tunnel vorgegangen werden. Auch für diese Untersuchung wurde angenommen, dass der Durchschlag in der dritten Geraden ab Nordportal stattfinde, und zwar ist es dabei gleichgültig, wo die Durchschlagsstelle auf dieser Geraden liegt.

Um zunächst den Einfluss der zufälligen Längenfehler auf den Durchschlagsfehler zu ermitteln, wurde angenommen, dass der mittlere zufällige Längenfehler einer Strecke von S Meter = $K \sqrt{S}$ sei (Quadratwurzelgesetz). Aus einer einfachen Betrachtung findet man dann unter Berücksichtigung des Gauss'schen Fehlerfortpflanzungsgesetzes, dass der Durchschlagsfehler $d = K \sqrt{\sum (s \sin^2 \alpha)}$, wo s die Länge der Polygonseiten, und α deren Richtungsunterschied gegen die Durchschlagsgerade darstellt.

Für den Loetschbergtunnel ergibt die Berechnung unter der Annahme, dass in den Kurven Polygonseiten von 100 m Länge eingelegt werden,

$$\sqrt{\sum (s \sin^2 \alpha)} = 33,5.$$

Setzen wir für d einen Betrag von 10 cm fest, so finden wir das zulässige $K = \frac{0,1}{33,5} = 0,00299$, d. h. dass für eine Strecke von 100 m ein mittlerer zufälliger Fehler von $\pm 29,9$ mm zulässig wäre. Für die ganze Tunnellänge würden wir unter der Annahme des $K = 0,003$ einen mittleren zufälligen Längenmessfehler von ± 36 cm finden.

In praxi lässt sich das K für besonders sorgfältig durchgeführte Längenmessungen mit 5 m-Messlatten leicht auf den Wert von 0,001, ja wie wir an Hand der im Loetschbergtunnel erreichten Resultate erkennen werden, noch wesentlich darunter bringen, nämlich auf 0,000195.

Mit $K = 0,001$, das den Betrachtungen vor dem Durchschlag zu Grunde gelegt wurde, findet man den Durchschlagsfehler $d = 0,001 \cdot 33,5 = 33,5$ mm.

In zweiter Linie müssen wir den systematischen Längenmessfehler berücksichtigen; dabei machen wir die Annahme, dass dieser während aller Messungen dasselbe Vorzeichen besitze. Bezeichnen wir den systematischen Längenmessfehler in einer Strecke von der Länge $5 m = \sigma \cdot s$, so findet man den Durchschlagsfehler aus dieser Ursache mit $d' = \sigma \cdot \sum (s \cdot \sin \alpha)$, wo s und α die oben definierte Bedeutung haben.

Für den Loetschbergtunnel findet man $\sum (s \cdot \sin \alpha) = 4146$ und damit bei einem zulässigen Durchschlagsfehler von 10 cm $\sigma = \frac{0,1}{4146} = \frac{1}{41460}$.

Das σ lässt sich durch besondere Sorgfalt, besonders in der Längenvergleichung der Messmittel, auf $\frac{1}{100000}$ herunterbringen. Unter Annahme dieses Wertes ergibt sich also ein Durchschlagsfehler von 41,5 mm.

Indem nun die zufälligen und die systematischen Längenmessfehler zusammenwirken, finden wir aus den Fehlern der Längenmessung im Tunnel einen mittleren Durchschlagsfehler von

$$d_1 = \sqrt{33,5^2 + 41,5^2} \text{ mm} = 53,3 \text{ mm} \sim 5 \text{ cm}.$$

Ein systematischer Längenmessfehler, der die ganze Tunnellänge von 14 536 m um 1 m falsch ergäbe, $\left(\sigma = \frac{1}{14536}\right)$, würde einen Durchschlagsfehler von 28,5 cm erzeugen.

Die Angabe von Dipl. Ingenieur Imhof in Nr. 16 des Jahrgangs 1911 der „Zeitschrift des Oesterr. Ing.- & Arch.-Vereins“, dass einem Längenfehler von 1 m ein Durchschlagsfehler von ungefähr 2,3 m entspreche, beruht auf einem falschen Schluss. Es ist nämlich zu beachten, dass durch die Winkelmessung eine Azimuthübertragung in den Tunnel hinein erfolgt, vorausgesetzt, dass das Azimuth der letzten Polygonseite in der II. Kurve der Nordseite richtig ist, wird das Azimuth der dritten Geraden richtig erhalten, auch wenn man an beliebiger Stelle von dieser letzten Polygonseite abzweigt. Dagegen ist die Axe parallel zur

richtigen Lage verschoben um den Betrag des Längenfehlers mal $\sin \alpha$, wo α den Winkel der letzten Polygonseite mit der dritten Geraden darstellt.

Nachdem durch diese Voruntersuchung die Genauigkeit festgestellt war, die von der Längenmessung verlangt werden muss, wurde zur Wahl der Methode geschritten.

Die Unternehmung hatte in Vorschlag gebracht, eventuell die Invardrahtmessung anzuwenden. Diese Methode liefert eine Genauigkeit von $\frac{1}{500000}$ bis $\frac{1}{1000000}$. Dagegen ist sie nur rationell zu verwenden mit einem gut geschulten Personal. Besonders verlangt die Behandlung der Drähte grosse Sorgfalt. Da zu befürchten war, dass es schwierig sein werde, bei jeder Messung das gleiche Personal zu haben, und die Kosten der Anschaffung sehr hohe sind, so wurde ein einfacheres Verfahren gewählt.

Man verwendete ein Messlattenpaar aus Holz von 5 m Länge. Das Ende dieser Latten ist keilförmig, sodass die Keilschneiden bei jeder Latte senkrecht aufeinander stehen. Die Lattenstösse wurden bei der Messung im Tunnel auf quer über die Schienen gelegte Bretter gelegt; im übrigen hingen die Latten frei durch.

Sie kamen dadurch in die Neigung des Geleises zu liegen; diese Neigung wurde durch ein der Messung parallel laufendes Nivellement der Lattenenden bestimmt.

Die Reduktion einer 5 m langen Schiefen auf die Horizontale, wurde vermittelt der Formel $Z = \frac{h^2}{2S}$, wo h der Höhenunterschied der Lattenenden ist, ermittelt. Da $S = 5 m$ ist, so erhält man die einfache Relation:

$$Z \text{ in } mm = (h \text{ in } dm)^2$$

Obwohl diese Formel nur eine Näherung darstellt, so ist sie der geringen auftretenden Neigungen wegen, vollständig genügend. Die vernachlässigten Glieder höherer Ordnung blieben meist unter $\frac{1}{1000} mm$.

Die Einrichtung der Latten in die Messgerade geschah entweder durch eine gespannte Schnur, oder mittelst eines Bautheodoliten. Jede Latte wurde durch je einen Messgehülfen an jedem Ende bedient. Die Keile der Latten wurden direkt aneinander gestossen, sodass die Keilschneiden senkrecht zueinander standen.

Die Messung ging so bei guten Verhältnissen relativ rasch vor sich. Vor allem ist zu konstatieren, dass das Einnivellieren der Latten mittelst eines in der Mitte einer Strecke von 100 m aufgestellten Nivellierinstrumentes die Messung in keiner Weise aufhält, indem das Ablesen der Nivellierlatte immer schon fertig war, bevor die hintere Latte zum Vortragen bereit war. Für eine 100 m lange Strecke hatte eine eingübte Gruppe rund 20 Minuten zu rechnen. Da jede Strecke hin und zurück gemessen wurde, rechnete man, die Umstellungen der Instrumente inbegriffen, für 100 m 1 Stunde. Manchmal ging es allerdings infolge von Messungshindernissen (Wasser, Sand- und Materialhaufen) wesentlich langsamer. Dagegen war die erreichte Genauigkeit, speziell was den zufälligen Fehler anbelangt, eine sehr hohe, wie sich aus der Übereinstimmung der Doppelmessungen ergab. Die grösste konstatierte Differenz dieser Doppelmessungen war für 100 m = 6,6 mm. Der durchschnittliche Wert der Abweichung ist 2,2 mm.

Der mittlere Fehler einer Strecke von 100 m (einfache Messung) ist daher 1,95 mm. Der Faktor k der Formel $f_z = k \sqrt{s}$ ergibt sich daraus zu $\sim 0,0002$.

Für eine Doppelmessung ist $K = 0,00014$. Das ergibt für die ganze Tunnellänge von 14535,45 m einen mittleren zufälligen Fehler von $\pm 16,9 mm$.

Besondere Sorgfalt musste dem systematischen Längenmessfehler gewidmet werden; bei der oben skizzierten Anordnung der Messungen war da eigentlich nur der Längenfehler der Latten zu berücksichtigen. Die Latten wurden unmittelbar vor und nach jeder Messung auf einem Lattenkomparator auf ihre genaue Länge bestimmt. Jede Seite des Tunnels besass natürlich ihren eigenen, aber gleich konstruierten Komparator. Dieser besteht aus einem Doppel-

Träger von 5,4 m Länge, der vermittelt zweier starker Bolzen horizontal an einer Mauer befestigt ist. Auf die horizontale obere Fläche sind zwei Winkeleisen so montiert, dass deren eine genau bearbeitete Fläche senkrecht zur Trägeraxe zu liegen kommt. Der Abstand der einander zugewandten Flächen der Winkeleisen wurde zu 5,02 m gewählt.

Eine Lattenvergleicheung ging in folgender Weise vor sich: Zunächst wurde der Abstand der Winkeleisenflächen mit Hilfe von zwei Stahlmetern mit halbkuguligen Endflächen und eines Doppelkeiles aus Stahl (Abbildung 8)

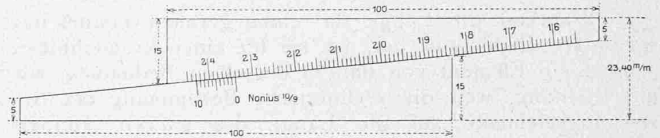


Abbildung 8.

bestimmt, unter genauer Berücksichtigung der Temperatur. Diese Stahlmeter waren von dem eidg. Amt für Mass und Gewicht auf ihre Länge bestimmt worden. Dann wurden die Messlatten eingelegt und ebenfalls die Keile eingeschoben. Die Latten wurden in zwei verschiedenen Lagen, freitragend, wie sie bei der Messung im Tunnel verwendet wurden, auf ihre Länge bestimmt. Zum Schluss wurde nochmals der Abstand der Winkeleisenflächen mit Hilfe der beiden Stahlmeter gemessen. Die innere Übereinstimmung dieser Lattenvergleicheungen war eine recht befriedigende.

Der mittlere Fehler der Lattenbestimmung kann unter Berücksichtigung von Temperatureinflüssen auf das Holz zu $\pm 0,2 mm$ für ein Lattenpaar veranschlagt werden. Nimmt man an, dass der Tunnel in Etappen von je 500 m mit denselben Lattenkonstanten durchgemessen worden ist, was ungefähr den Verhältnissen entspricht, so findet man von Seite der Längenbestimmung der Messlatten einen mittleren Längenfehler von $\pm 54 mm$. Würde man annehmen, dass der Lattenfehler von $\pm 0,1 mm$ auf 10 m bei allen Messungen im gleichen Sinne gewirkt hätte, so fände man einen Einfluss von 14,5 cm auf die ganze Tunnellänge.

Nehmen wir diese letzte Grösse als zu Recht bestehend an, so finden wir nun den mittleren Längenfehler des Tunnels unter Berücksichtigung des zufälligen und des systematischen Fehlers mit:

$$f_l = \sqrt{145^2 + 17^2} mm = \pm 145,3 mm.$$

Das ist gerade $\frac{1}{100000}$ der Tunnellänge von 14535,45 m.

Diese Längenmessungen wurden zum kleinern Teil durch den Verfasser, zum grössern Teil durch Dipl.-Ing. H. Zölly, sowie durch die Assistenten des Verfassers an der Technischen Hochschule geleitet. Es sind das die Herren Dipl.-Ingenieure J. Osterwalder, E. Marty, K. Nörbel und A. Bajan; ihnen sei auch an dieser Stelle der Dank für ihre treue, sorgfältige Arbeit ausgesprochen.

(Schluss folgt.)

Die neuen Stadthausbauten in Zürich.

Mit den Beschlüssen des grossen Stadtrates vom 2. d. M., über die wir auf Seite 147 in der letzten Nummer berichten konnten, ist der grosszügige Entwurf zu einer monumentalen Zentralanlage für die städtische Verwaltung, den Professor Dr. G. Gull im Auftrage des Stadtrates ausgearbeitet hat, einen guten Schritt vorwärts gekommen. Die im Laufe Oktober darüber entscheidende Gemeindeabstimmung wird, wie zuversichtlich erwartet werden darf, dem vom grossen Stadtrat einstimmig gestellten Antrag zustimmen und, gleichzeitig mit Bewilligung des Kredites für die zunächst in Angriff zu nehmenden Bauten, grundsätzlich das ganze Projekt genehmigen. Wenn sich die Bauten dann auch über einen längern Zeitraum erstrecken