

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

Autor(en): **Brandau, Karl**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **53/54 (1909)**

Heft 7

PDF erstellt am: **19.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-28198>

## Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

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

von Karl Brandau.

(Fortsetzung.)

Aehnliche Erwägungen, wie wir sie für den ersten Wassereinbruch bei Km. 4,4 anstellten, lassen uns das gekühlte Felsmassiv als 6 km breit und 10 km lang ansehen, seine Grundfläche daher  $= 6000 \times 10000 = 60\,000\,000\,m^2$ . Die mittlere Gesteinstiefe mit 2000 m angenommen, ergibt sich ein Kubikinhalte von 120 000 Millionen  $m^3$ . Aus der Fläche dringen  $\frac{60\,000\,000}{3600 \times 33} \times 4 = 2000$  Sekunden-Kalorien empor (Leitungskoeffizient  $= 4$  Kal.; geotherm. Tiefenstufe  $= 33$  m). Aus dem Verlaufe der Isothermen in Abbildung 22 ist erkenntlich<sup>1)</sup> dass der grössere Teil der geleiteten Wärme vom Gestein weiter geleitet wird; das Wasser übernimmt höchstens den vierten Teil derselben  $= 500$  Std. Kal. Mit  $4^\circ C$  tritt das Wasser von 300 l/Sek. in das Gebirge und könnte also im Tunnel nur mit  $4 + \frac{500}{300} \infty 6^\circ C$  austreten, während es tatsächlich mit  $45^\circ C$  austritt. Derart hat es  $(45 - 6) \times 300 = 11\,700$  Sek. Kal. aufgenommen, die nicht von fortgeleiteter Wärme herrühren. Auch in diesem Falle findet sich keine andere Erklärung, als dass aufsteigende Wasser die grossen Wärmemengen herauftrugen. Die Gesteinstemperaturen müssen wir als stationär ansehen, also kann das Felsmassiv keine Wärme abgeben.

Nach Schmidt und Königsberger sollen dagegen die Wasser vom Gesteine die hohe Wärme abgenommen haben. Wir prüfen kurz, wie dieser Vorgang gewesen sein müsste.

Von den Quellen mit 300 l/Sek.,  $4^\circ C$  Anfangstemperatur beim Eintritt ins Felsmassiv und  $45^\circ C$  Austrittstemperatur sollen  $300 \times (45 - 4) = 12\,300$  Sek. Kal. dem Gestein entführt werden. Im Laufe der ungezählten Jahre

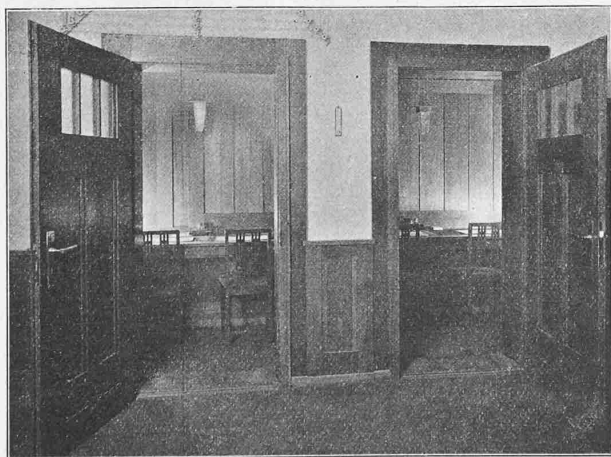


Abb. 7. Schreibkabinen für Abonnenten der Safes.

ging der gleiche Wärmeentzug vor sich und es kann nicht

<sup>1)</sup> Wie aus dem Folgenden hervorgeht, teilen wir nicht die Meinung, dass das Wasser kühlt. Um unsern Beweis zu führen, gehen wir auf die Meinung hier ein. Die unregelmässige Gestalt der zwischen zwei Isothermen von derselben Wärmehöhe (Königsbergersche und sekundär durch das Wasser beeinflusste) eingeschlossene Fläche lässt keine korrekte Berechnung der Abkühlung des Gesteins zu. Daher mussten wir uns mit einer Schätzung begnügen.

bezweifelt werden, dass die heutige Wärmeverteilung in dem gekühlten Felsmassiv eine stationäre geworden ist. Ursprünglich, vor Eintritt der Abkühlung, soll das Gestein auf Tunnelhöhe  $55^\circ C$  gehabt haben; an der Oberfläche hatte es  $5^\circ C$ . Seine mittlere Temperatur betrug  $\frac{5 + 55}{2} = 30^\circ C$ . Das Gestein hat eine Wärmekapazität von 550 Kal. im  $m^3$  und somit betrug der Gesamtwärme-Gehalt des Gesteinsmassiv 120 000 Millionen  $\times 550 \times 30 = 1\,980\,000\,000$  Millionen Kal.

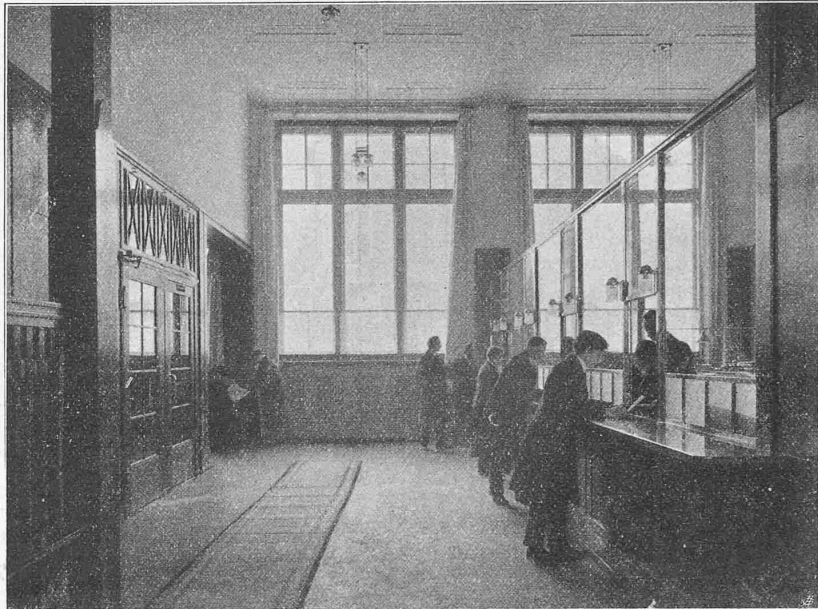


Abb. 8. Der Schalteraum im Erdgeschoss.

Entnehmen wir aus der Abbildung 22 nach dem Verlaufe der Isothermen den Teil des Wärmegehaltes im Felsmassiv, den das Wasser bis heute entzogen hat, so sehen wir folgendes: Die ursprüngliche Isotherme an der Einbruchstelle betrug  $50^\circ C$  (heute ist an deren Stelle die Isotherme von  $45^\circ C$  getreten). An den Grenzen des abgekühlten Massivs und an der Bergoberfläche sind die Isothermen unverändert. Vermindert ist die Temperatur längs der Wasser führenden Schicht im Mittel um  $\frac{0 + 5}{2} = 2.5^\circ C$ , an den Grenzen um  $0^\circ$  und die mittlere Abkühlung beträgt

$$\frac{\frac{3}{\frac{5 + 5}{2}} + 0}{2} = \frac{1}{18} \text{ der ursprünglichen.}$$

Die dem Felsmassiv durch das Wasser entzogene Wärmemenge ist daher  $\frac{1}{18} \times 1\,980\,000\,000$  Mill. gleich rund 110 000 000 Millionen Kalorien.

Unter Voraussetzung eines kontinuierlich erfolgten Wärmeentzuges von 12 300 Sek. Kalorien, entsprechend 380 000 Millionen Kalorien im Jahre müsste die von uns beobachtete Abkühlung des Felsmassivs innerhalb  $\frac{110\,000\,000}{380} = 289$  Jahren vollzogen worden sein. Würden wir Annahmen gemacht haben, die zu einer Zeitdauer für die Abkühlung von 1000 Jahren und darüber geführt hätten, so könnte das an den Folgerungen aus obigem Resultate nichts ändern:

Der Wärmezustand in dem abgekühlten Gestein muss stationär geworden sein;

Eine weitere Gesteins-Abkühlung tritt nicht mehr ein;

Es besteht kein Wärmezustrom vom Gestein zur Wassereinbruchstelle mehr;

Die grossen vom Wasser in den Tunnel geführten Wärmemengen sind von aufsteigenden Thermalwassern zugebracht.

Uebrigens bestehen andere Umstände, welche sämtlich nur erklärbar werden, wenn man sich auf die Annahme des Zufließens von Thermalwassern stützt, nämlich:

1. Das von Herrn Prof. Schmidt angegebene Einzugsgebiet an der Bergoberfläche für die Quellen von 330 l/Sek.

### Das Gebäude der Toggenburger Bank in St. Gallen.

Erbaut von den Architekten Curjel & Moser.

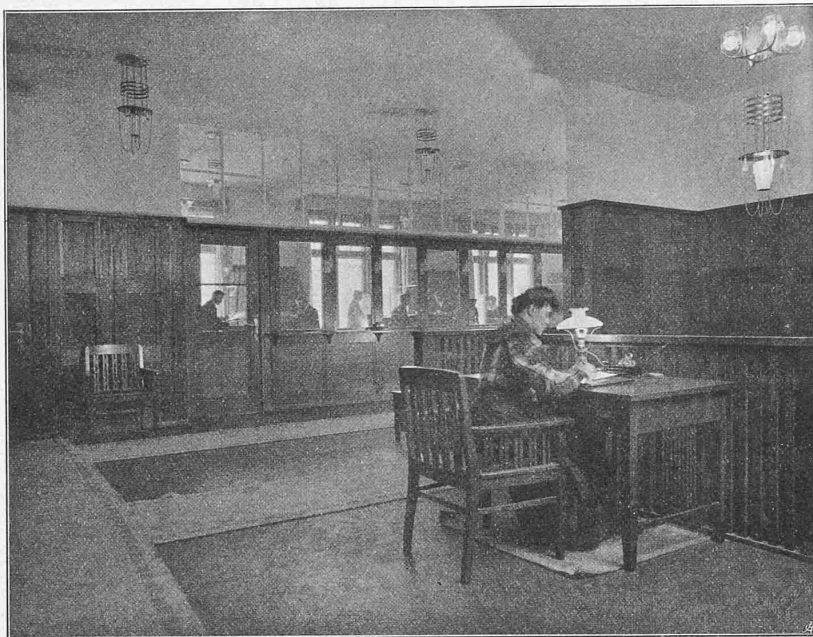


Abb. 10. Der Vorplatz im I. Stock.

ist weitaus unzureichend. Ein anderes Gebiet existiert nicht. (Siehe z. B. den Rapport des Herrn Schardt vom Jahre 1903, Seite 85 desselben.)

2. Neben Quellen von 45 bis 50° C sind Quellen von weniger als 30° C in den Tunnel getreten. Es müssen also kalte Wasser von oben und aufsteigende thermale getrennt oder gemischt im Einbruch zusammen vorkommen.

3. Im Ansteigen der Kurve der beobachteten Gesteinstemperaturen, wie sie in Abbildung 22 dargestellt sind, kann kein Anzeichen von Abkühlung des Gesteins durch das Wasser, sondern nur das Gegenteil erblickt werden. Denn von etwa Km. 7 ab S.-P. bis Km. 9 ist die Gesteinstemperatur nahezu konstant. Von Km. 9 bis 9,14, d. h. auf 140 m steigt sie plötzlich von 41,5 auf 45° C. Da ist es, wo die ersten 200 l von 45 bis 46° C einbrechen. Nun steigt die Temperatur der folgenden Quellen ständig bis auf 49,7° C bei Km. 9,8 und ganz streng dieser Steigung folgend, steigt auch die Gesteinstemperatur auf 49 bis 50°. Wir erblicken darin eine Anheizung des Gesteines durch das Wasser.

4. Von Km. 7 der Nordseite bis zum Gebiete der heissen Quellen wurden ebenfalls heisse Wasser gelöst — die meisten derselben mit geringem Ertrage, von denen viele später versiegten. Auch diese sehen wir als von Thermen gespeist an. Allem Anscheine nach ist das ganze Gebirge von vielen kleinen und grossen und darunter auch von wasserreichen Adern und Spalten durchquert. Nur durch Zufall hat der Tunnel auf den ersten Strecken von Km. 7 ab wenige dieser Wasseradern gelöst.

Aus der Beobachtung, dass im Stollen II sehr oft Quellen angeschlagen sind, die sich in ihrem Verhalten als unabhängig von allen im Stollen I angeschlagenen erwiesen haben (ein Beispiel dafür ist erwähnt im Rapport trimestriel, No. 24 vom 31. XII 1903), liegt es nahe, anzunehmen, dass die Oeffnung solcher Wasserläufe nur gelegentlich, zufällig erfolgte und dass in der Umgebung des Tunnelrohres warme Wasser zirkulieren, deren Einwirkung auf den Wärmezustand des Gesteines zur Geltung kommt.

Aus unserer Annahme über den Vorgang der Bildung von Thermen und der Entsendung der thermalen Wasser in weitabliegende Gebiete folgt, dass im Gebiete über den Hohlräumen, in denen Thermalwasser entstehen können, die verfügbare fortzuleitende Wärmemenge gegen den normalen Zustand eine Verminderung erfahren würde — die Isotherme würde eine niedere. Die entzogene Wärme aber würde dafür an einzelne Gebiete im Gebirge in abnormaler Menge ausgegeben.

Wir werden nach diesen Betrachtungen in der Ansicht bestärkt, dass die Wirkung von fließendem Wasser im Gestein unter einer Menge von zufälligen Umständen zusammenkommt, die durch eine Formel für die Berechnung der Wirkung nicht erfasst werden können. Dann ist es aber auch unerfindlich, wie die Berechnung der Wärmezustände im Simplon mit Hülfe der Königsbergerschen Formel zu einer Uebereinstimmung mit den im Simplon beobachteten Umständen geführt haben kann.

Nach den Betrachtungen und Berechnungen der Herren Thoma und Königsberger soll der Einfluss kalter und warmer Wasser meist übertrieben oder vielmehr nicht richtig in Rechnung gezogen werden, er soll überhaupt gering sein. Von einer Besprechung dieser Ausführung müssen wir absehen. Wir glauben, durch unsere Berech-



Abb. 9. Die Banktreppe im Schalraum vom Erdgeschoss in den I. Stock.

nungen nachgewiesen zu haben, wie viel Wärme die Wasser im Simplon aufgenommen haben würden, wenn die Theorie und die Formeln zu Recht beständen. Wir haben gesehen, dass diese Voraussetzung nicht zutreffen kann, weil die



Wasser weit grössere Wärmemengen in den Tunnel werfen. Das führte zur Ueberzeugung, dass sich den von oben kommenden Niederschlagsmengen von unten aufsteigende warme Wasser beigesellen. Es ist klar, dass Zuflüsse von lediglich kalten Oberflächenwassern die Temperatur des Gesteins intensiver abgekühlt und die Abkühlung auf grössere Entfernung von der Einbruchsstelle bewirkt haben würden.

Der Gehalt der von uns als thermale bezeichneten Wasser an gelösten mineralischen Substanzen gibt uns keinen Anhalt, um die Richtigkeit unserer Behauptung durch weitere Gründe zu belegen. Wenn die Wasser ihre Wärme in einer Tiefe von mehr als 3000 m unter der Tunnelsohle erlangt haben, so haben sie auch Temperaturen von über 150° gehabt. Dabei ist der kohlen-saure Kalk vollkommen und der Gips zum grössten Teil niedergeschlagen — ähnlich wie viele andere Mineralsalze. Beim Aufstieg fanden die Wasser in verschiedenen Gesteinen die Gelegenheit, sich von neuem, aber in verschiedenem Mass wieder anzureichern.

#### Erfahrungen, welche der Simplontunnelbau bezügl. der Arbeitsbedingungen bei hohen Gesteintemperaturen und heissen Wassern geliefert hat.

Es erwies sich möglich, bei 55° Gesteinstemperatur normale Arbeitsbedingungen zu schaffen. Die Leistungen im Stollen, im Vollaussbruch und in der Mauerung entsprachen in jeder Hinsicht den Anforderungen, die im Verträge gestellt waren. Man kann voraussehen, dass auch bei noch höhern Gesteinstemperaturen gleiche Erfolge in der Zukunft erzielt werden können. Die erforderlichen Mittel zur Kühlhaltung der Arbeitsräume sind leicht voraus-zusehen und ebenso leicht anwendbar wie im Simplontunnel.

Mögen also die Gesteinstemperaturen auch hohe werden, so können sie doch dem Tunnelbau nicht annähernd das Mass von Erschwerissen bringen, das Einbrüche von warmen Wassern im Gefolge haben. Das wird eine Betrachtung der Wirkung der warmen Wasser im Km. 9 bis 10 S.-P. erweisen. Herr Prof. Schmidt bezeichnete im bereits erwähnten Rektoratsprogramm, Seite 102, die warmen Wasser als im Grunde keine „unangenehmen“ Ueberraschungen, da sie auch hier als Kühlapparat in der Felsmasse gewirkt haben.

Selbst wenn die Voraussetzung, von der Herr Schmidt ausgeht, richtig wäre, so ist entgegen seiner Ansicht der Zufluss warmer Wasser das verhängnisvollste Ereignis, das sich beim Tunnelbau ereignen kann. Vorausgesetzt, die ursprüngliche Gesteinstemperatur habe 55° betragen und dieselbe habe sich um 8° abgekühlt (nach Schmidt und Königsberger), so würde dem Stollen freilich weniger Wärme zuströmen, als aus dem ungekühlten Gestein. Dieses Weniger berechnet sich auf eine Stollenlänge von 1 km auf etwa  $1000000 - 700000 = 300,000 \text{ h/kal.}$  für Stollen I und II während der Epoche der Arbeitsausführung (die Rechnung und Begründung kann hier nicht wiedergegeben werden). Nun soll aber die Abkühlung durch 300 l/Sek.

Wasser erfolgt sein, das in den Tunnel mit 46° C sich ergiesst. In Strahlen, Traufen und Tropfen fällt das Wasser auf die Stollensohle, verbreitet sich überall, füllt den lockeren Schutt und wird aufgehalten durch Aufstauungen, bis es nach längerem Laufe durch alle Arbeitsstellen in einem Kanale gefasst teilweise unschädlich gemacht werden kann.

Da die Arbeitsräume auf 25° C Temperatur erhalten werden sollen, so hat das Wasser 20° C über dieses Mass und dementsprechend könnte es  $300 \times 3600 \times 20 = 21\,200\,000$  Kalorien an die Stollenluft übertragen. Zum guten Glück findet es nicht die Zeit, dieses ganze Wärmequantum auszugeben. Bis es in die Kanäle geleitet werden konnte, gab es nur 6 Kalorien von jedem Liter ab, oder zusammen  $300 \times 3600 \times 6 = 6\,480\,000 \text{ h/kal.}$ , das will sagen 20 mal soviel, als ein Gestein abgegeben haben würde durch eine um eventuell 8° höhere Temperatur.

Während es nun der Stollen-Ventilation gelingt, innerhalb verhältnismässig kurzer Zeit die Stollenwände um die 8° C ihrer eventuell höhern Temperatur zu kühlen und mittelst mässiger Vermehrung der Kühlmittel den Zustrom der 300 000 Kalorien zu mindern, bleiben die von den heissen Zuflüssen geschaffenen Verhältnisse hartnäckig und ewig dieselben. Tag aus, tag ein geht von einem jeden Liter stündlich derselbe Tribut an die Tunnelräume. Das unermüdliche Wasser schleppt aus allen Richtungen, Kilometer weit rings um den Tunnel herum die aus dem Gebirge ausgesogenen Wärmeladungen heran, um sie in dem Tunnel abzuladen. Es kühlt also nicht nur die Tunnelumgebung, sondern Kilometer tiefe Strecken und überschwemmt den

#### Das Gebäude der Toggenburger Bank in St. Gallen.



Abb. 11. Zimmer des Direktors im I. Stock.



Abb. 22. Prokuristenzimmer im I. Stock.

Tunnel mit seiner Wärmemenge. Der Grad der Temperatur könnte wenig Schaden anrichten, es ist die Wärmemenge, die unüberwindlich werden kann.

Die vom heissen Wasser gewärmten Tunnelwände

trotzen jedem Abkühlungsversuch, Dampfbildung und Verhinderung der Arbeit direkt im heissen Wasser, alles das zusammen ist die „unangenehme“, die grausame Ueberaschung dieses Kühlapparates.

Durch das beim Simplontunnelbau betätigte Ventilations- und Kühlverfahren mit seiner Ausgestaltung der Einrichtungen und seiner Leistungsfähigkeit war es ermög-

bei noch längern Tunnels nicht unbedingt zu wiederholen brauchen und dass die Erscheinungen am Simplon nur durch lokale Verhältnisse (Vorhandensein heisser Quellen, starke Ueberlagerung) hervorgerufen sein können“.

Um zu einer Vorstellung von den scheinbar grösstmöglichen Erschwernissen durch heisse Zuflüsse zu gelangen, kann man sich höchstens auf die bekannten Beispiele

### Das Gebäude der Toggenburger Bank in St. Gallen.

Erbaut von den Architekten Curjel & Moser.



Abb. 13. Leuchtkörper im Sitzungszimmer und im Vorplatz des I. Stocks.

licht, bei 55° C Gesteinstemperatur normale Arbeitsleistung zu sichern. Nach den Einbrüchen des heissen Wassers wollte aber die programmgemässe Leistung mittelst der für solche Ueberbeanspruchung nicht geschaffenen Kühleinrichtung kaum noch gelingen. Zeitweise befand man sich vor einer von den Elementen aufoktroierten Situation; nur knapp wurde man mit den vorhandenen Einrichtungen wieder Herr der Lage.

Ein *natürlicher* „Kühlapparat“, — nämlich die heissen Quellen — von wenig grösserem Umfang als der im Simplontunnel funktionierende, hätte gar leicht auf lange Zeit den Vortrieb lahmlegen können. Schon 300 Liter heissen Wassers, bei nur 2‰ Gefälle der Tunnelsohle statt bei 7‰ und ohne die Hilfsaktion eines zweiten Stollens hätten es schwer gemacht, sich von der „unangenehmen“ Ueberraschung zu erholen.

Die Grösse des Problems eines Tunnelbaues ist, wie man sieht, nicht so sehr abhängig vom Grade der zu erwartenden Gesteinstemperaturen; erst der Hinzutritt von warmem Wasser kann die Bekämpfung der Wärmemengen zu einem wirklich ernstem Problem machen. Demnach wird auch die Beantwortung der Frage, ob heisse Zuflüsse beim Tunnelbau in grossen Erdtiefen zu erwarten sind, stets von grösster Wichtigkeit sein. Leider wird, wie schon gesagt, eine zuverlässige Voraussage darüber stets in das Bereich der Unmöglichkeit fallen. Man kann hier höchstens vermuten. So liest man z. B. bei Mettler: „Der Splügen als ostschweizerischer Alpentunnel“ folgende dem Werke Bernhardt's entnommene Vermutung: „Allerdings hört man von Sachverständigen die Ansicht äussern, dass sich die hohen Temperaturen auch

stützen. Die wesentliche Bedeutung für den Tunnelbau drückt sich in der Menge von Kalorien aus, welche über ein gewisses Niveau hinaus abgegeben werden können. Ein solches Niveau ist die zulässige Temperatur der Arbeitsräume von 25 bis 28° C. Freilich ist zu berücksichtigen, dass die heissen Zuflüsse nur langsam ihre Wärme an die Umgebung abgeben. Je schneller es gelingt, sie zu fassen und kompakt abzuleiten, um so mehr bleibt die Erschwernis auf eine kurze Strecke beschränkt und um so weniger Kalorien gehen an den Arbeitsraum über. Am störendsten wird heisser Zufluss aus einer grossen Zahl Quellen, verteilt über lange Strecken. Im Simplon wurden insgesamt 360 bis 400 l/Sek. Wasser von 46 bis 50° C gelöst, aber — auf einer sehr langen Strecke. Vielleicht ist dies Ereignis schon ein Höchstmass, das in den Erdtiefen, die in Betracht stehen, vorkommt. Weder Massen kalter Zuflüsse, noch hohe Gesteinstemperaturen hatten in wirklich hohem Masse auf den Gang der Arbeiten störende Einwirkung — wohl aber der Zufluss der heissen Wasser. Zeitverluste und direkte wie indirekte ungeheure Kosten waren die Folge davon. Es ist wohl leicht zu kalkulieren, wie hoch die Kosten für einen Kubikmeter Ausbruch durch hohe Gesteinstemperaturen gesteigert werden. Dagegen wäre es ein kühnes Vermessen, annähernd die durch heisse Zuflüsse verursachten möglichen Kosten im Voraus veranschlagen zu wollen. Wenn ein Cerberus den Eingang zur Unterwelt bewacht, so war er in den heissen Zuflüssen gefunden worden.

Die Mittel zur Bewältigung heisser Zuflüsse sollten auch im best vorausbesagten langen tiefliegenden Tunnel

durch die Wahl richtiger Baudispositionen gleich von anfang vorbereitet sein. Eine ungemein starke Ventilation, intensive Kühlung und schnelle Sammlung und Ableitung der Zuflüsse muss ermöglicht sein. Dazu hilft allein ein reichliches Bemessen der räumlichen Verhältnisse und das kann nur mit Hilfe einer Zweistollen-Baumethode angebahnt werden.

Ueber die im Simplontunnel zur Kühlung eingerichteten und verwendeten Mittel, hat Herr Prof. Dr. K. Pressel im Bd. XLVII, No. 21 bis 26, 1906, der Schweiz. Bauztg. berichtet. Wir werden in folgenden Kapiteln noch davon sprechen. (Forts. folgt.)

### Seebach-Wettingen Technische und wirtschaftliche Ergebnisse der elektrischen Traktions-Versuche.

Von Dr. W. Kummer, Ingenieur.

(Schluss.)

Eine vollständige rechnungsmässige Beurteilung des wirtschaftlichen Ergebnisses des Versuchsbetriebes kann nun für die Betriebsperioden I und II den nachfolgenden nach Aufstellungen des Herrn Ing. Lang ausgearbeiteten nebenstehenden Tabellen IV und V entnommen werden.

Aus diesen Zusammenstellungen geht der schon erwähnte, das finanzielle Ergebnis des Versuchsbetriebes von vorneherein durchaus unwirtschaftlich machende Einfluss der Drehstromkosten hervor, indem sie für den Betrieb der Umformerstation allein schon rund  $\frac{2}{3}$  der Gesamtkosten pro Zugkilometer ausmachen. Es muss übrigens noch mitgeteilt werden, dass der in der Zusammenstellung benutzte abgerundete Preisansatz von Fr. 0,10 für die Drehstromkosten, zudem noch um rund 25% tiefer angesetzt ist, als die Maschinenfabrik Oerlikon ihn nach den effektiven Gesteungskosten anrechnen müsste.

Hätten die Verhältnisse es gestattet, den für den Betrieb benötigten Einphasenstrom direkt einer bestehenden Einphasenanlage unter Zugrundelegung eines immer noch verhältnismässig hohen Ansatzes von Fr. 0,04 für die *kwstd.* zu beziehen, dann würden gemäss der Stromkonsumangabe in Tabelle I in der ersten Periode Fr. 5634 und in der zweiten Periode Fr. 6675 für den Strombedarf verausgabt worden sein; besondere Personalkosten der Stromlieferungsstelle wären ebenfalls vermeidlich gewesen. Damit würde dann in summarischer Zusammenstellung das Betriebsergebnis laut Tabelle VI anzusetzen sein. Gemäss dieser Tabelle sind ferner die Kosten des Zugkilometers für die Sommermonate gegenüber denen für die Wintermonate mit dem geringeren Verkehr schon erheblich niedriger.

Tabelle VI. Fahrdienstkosten pro Zugkilometer (in Franken).

| Betriebsperiode                                    | Stromkosten | Leitungs-<br>anlage | Fahrdienst<br>u. Unterhalt<br>der Lokomotive | Betriebsltg.<br>und Ver-<br>schiedenes | Total |
|----------------------------------------------------|-------------|---------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|-------|
| Winterbetrieb mit<br>4,49 Mill. Brutto- <i>tkm</i> | 0,16        | 0,08                | 0,43                                         | 0,11                                   | 0,78  |
| Sommerbetrieb mit<br>5,91 Mill. Brutto- <i>tkm</i> | 0,16        | 0,05                | 0,34                                         | 0,09                                   | 0,64  |
| Mittel                                             | 0,16        | 0,065               | 0,385                                        | 0,10                                   | 0,71  |

Und diese Zahlen müssen, nach unserer Ansicht, einer vorurteilslosen Beurteilung des Versuchsbetriebes zu Grunde gelegt werden; auf Grund derselben dürfte dann auch die eingangs von uns aufgestellte Behauptung, dass sich aus dem Versuchsbetrieb Seebach-Wettingen die Konkurrenzfähigkeit des elektrischen Betriebes mit dem Dampfbetriebe als weit grösser erwiesen habe, als der Grossteil der Fachwelt erwartete, als zutreffend angesehen werden.

Auf Grund dieser Tabelle einen Vergleich zwischen den Kosten der Maschinenfabrik Oerlikon für deren elektrischen Versuchsbetrieb und den Kosten der S. B. B. für deren Dampfbetrieb anzustellen, hielten wir für unangebracht.

Tabelle V. Betriebsausgaben der zweiten Betriebsperiode (in Franken)  
(Sommerfahrplan 1909).

| Position                                                | Mai 09 | Juni 09 | Juli 09 | Aug. 09 | Sept. 09 | Total | pro Zug/km |
|---------------------------------------------------------|--------|---------|---------|---------|----------|-------|------------|
| <b>Umformerstation.</b>                                 |        |         |         |         |          |       |            |
| Personal . . . . .                                      | 640    | 640     | 640     | 640     | 640      | 3200  |            |
| Strom (1 <i>kwstd</i> = 0,10 Fr.) . . . . .             | 8464   | 8306    | 8642    | 8629    | 8199     | 42240 |            |
| <b>Leitungsanlage.</b>                                  |        |         |         |         |          |       |            |
| Personal . . . . .                                      | 9104   | 8946    | 9282    | 9269    | 8839     | 45440 | 1,082      |
| Material . . . . .                                      | 293    | 189     | 388     | 246     | 277      | 1393  |            |
|                                                         | 58     | 141     | 190     | 97      | 110      | 596   |            |
| <b>Fahrdienst und Unterhalt der Lokomotiven.</b>        |        |         |         |         |          |       |            |
| Personal . . . . .                                      | 351    | 330     | 578     | 343     | 387      | 1989  | 0,047      |
| Fahrdienstpersonal . . . . .                            | 1862   | 1889    | 1567    | 1492    | 1465     | 8275  |            |
| Reinigung und Schmierung                                |        |         |         |         |          |       |            |
| Personal . . . . .                                      | 232    | 194     | 310     | 212     | 210      | 1158  |            |
| Schmiermaterial . . . . .                               | 56     | 73      | 210     | 151     | 130      | 620   |            |
| Reinigungsmaterial . . . . .                            | 29     | 45      | 124     | 66      | 40       | 304   |            |
| Unterhalt der Lokomotiven                               |        |         |         |         |          |       |            |
| Personal . . . . .                                      | 139    | 193     | 348     | 578     | 555      | 1813  |            |
| Material . . . . .                                      | 526    | 74      | 209     | 528     | 309      | 1646  |            |
| Heizung, Beleuchtung und Unterhalt des Depots . . . . . | 42     | 91      | 75      | 96      | 26       | 330   |            |
| <b>Betriebsleitung und Verschiedenes . . . . .</b>      | 2886   | 2559    | 2843    | 3123    | 2735     | 14146 | 0,337      |
|                                                         | 652    | 627     | 1038    | 645     | 658      | 3620  | 0,086      |
| <b>Total</b>                                            | 12993  | 12462   | 13741   | 13380   | 12619    | 65195 | 1,552      |

Tabelle IV. Betriebsausgaben der ersten Betriebsperiode (in Franken)  
(Winterfahrplan 1908/1909).

| Position                                                | Dez. 08 | Jan. 09 | Febr. 09 | März 09 | April 09 | Total | pro Zug/km |
|---------------------------------------------------------|---------|---------|----------|---------|----------|-------|------------|
| <b>Umformerstation.</b>                                 |         |         |          |         |          |       |            |
| Personal . . . . .                                      | 640     | 640     | 640      | 640     | 640      | 3200  |            |
| Strom (1 <i>kwstd</i> = 0,10 Fr.) . . . . .             | 9215    | 9030    | 7553     | 7679    | 6938     | 40415 |            |
| <b>Leitungsanlage.</b>                                  |         |         |          |         |          |       |            |
| Personal . . . . .                                      | 9855    | 9670    | 8193     | 8319    | 7578     | 43615 | 1,235      |
| Material . . . . .                                      | 765     | 759     | —        | 358     | 275      | 2157  |            |
|                                                         | 339     | 122     | 180      | 6       | 152      | 799   |            |
| <b>Fahrdienst und Unterhalt der Lokomotiven.</b>        |         |         |          |         |          |       |            |
| Personal . . . . .                                      | 1104    | 881     | 180      | 364     | 427      | 2956  | 0,084      |
| Fahrdienstpersonal . . . . .                            | 1625    | 1622    | 1714     | 1925    | 1925     | 8811  |            |
| Reinigung und Schmierung                                |         |         |          |         |          |       |            |
| Personal . . . . .                                      | 228     | 239     | 210      | 205     | 221      | 1103  |            |
| Schmiermaterial . . . . .                               | 111     | 140     | 131      | 121     | 161      | 664   |            |
| Reinigungsmaterial . . . . .                            | 51      | 56      | 60       | 50      | 46       | 263   |            |
| Unterhalt der Lokomotiven                               |         |         |          |         |          |       |            |
| Personal . . . . .                                      | 413     | 481     | 513      | 167     | 208      | 1782  |            |
| Material . . . . .                                      | 215     | 649     | 250      | 850     | 210      | 2180  |            |
| Heizung, Beleuchtung und Unterhalt des Depots . . . . . | 37      | 253     | 93       | 40      | 112      | 535   |            |
| <b>Betriebsleitung und Verschiedenes . . . . .</b>      | 2680    | 3440    | 2977     | 3358    | 2883     | 15338 | 0,434      |
|                                                         | 315     | 868     | 1163     | 775     | 628      | 3749  | 0,106      |
| <b>Total</b>                                            | 13954   | 14859   | 12513    | 12816   | 11516    | 65658 | 1,859      |