

Simplon-Tunnel

Autor(en): **[s.n.]**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **23/24 (1894)**

Heft 18

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-18736>

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.

Schweizerischen Präzisionsmechanik¹⁾, schon vor 3 Jahren in dieser Zeitschrift entwickelt worden sind¹⁾.

Dem Wunsche der Sektion Winterthur des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereines Folge leistend, referierte der Unterzeichnete am 19. Mai dieses Jahres in einer Sitzung über seine auf die Verwirklichung dieses Gedankens gerichteten Bestrebungen, ebenso am 7. Juli auf Einladung des Vereines Schweizerischer Maschinenindustrieller in deren Generalversammlung. Er zeigte, wie in einfacher und zweckentsprechender Weise, ohne Zeitverlust und mit möglichst geringen Kosten, dieses Ziel allmählich erreicht werden könne, und hatte die grosse Freude, dass seine Vorschläge in diesen kompetenten Kreisen Anklang fanden und im allgemeinen Interesse eine öffentliche Darlegung derselben gewünscht wurde. Auszugsweise erfolgte diese in dem Protokolle der Sitzung des erstgenannten Vereines²⁾.

Um dem gegebenen Versprechen im ganzen Umfange nachzukommen und etwa noch bestehende Bedenken zu heben, soll in einem später erscheinenden Aufsätze zum Schlusse die nationalökonomische Bedeutung des in Rede stehenden Institutes nachgewiesen und die vorgeschlagene Organisation in Kürze begründet werden.

Simplon-Tunnel.

(Mit einer Doppeltafel).

Allgemeine Darstellung.

1. Lage, Höhen- und Richtungsverhältnisse. Mit der Durchstechung der penninischen Alpen unter dem Monte Leone-Massiv haben sich seit längerer Zeit die hervorragendsten Techniker beschäftigt. Man kann die aufgestellten Projekte je nach deren Höhenlage und Haupttunnellänge in 3 Gruppen teilen: Projekte mit Basistunnel, Projekte mit Zwischentunnel und Projekte mit Scheiteltunnel. Die ersten Projekte waren meistens solche mit Scheitel- oder Zwischentunnel, weil man in Ermangelung der inzwischen gemachten Erfahrungen bei Durchbohrung von Alpentunneln die Haupttunnellänge möglichst zu beschränken suchte. Die Projekte mit Basistunnel, wobei die unschachtbare Länge bis 16 km angenommen wurde, sind diejenigen von Vauthier 1860, Lommel 1864, Stockalper 1869, Clo-Favre 1875, Simplon-Bahn 1878, 1882, 1886, 1891. Die Projekte mit Zwischentunnel sind diejenigen von Clo-Venez 1857, de Bange 1886, Masson 1892. Die Projekte mit Scheiteltunnel sind diejenigen von Flachat 1860, Jaquemin 1860—1862, Thouvenot 1863, Lehaitre 1863.

Alle Projekte mit Zwischen- oder Scheiteltunnel setzen starke Zufahrtsrampen von 50—60‰ voraus und gingen im weitem von dem Gesichtspunkte aus, die Baukosten möglichst zu verringern, wobei die Betriebskosten weniger im Auge behalten wurden. Mit Rücksicht auf die schon bestehenden Alpenbahnen wurde nun von allen diesen künstlichen Projekten mit starken Zufahrtsrampen abgegangen und verblieb man beim Basistunnelprojekt, als der einzig rationellen Lösung, um in Konkurrenz mit den benachbarten Alpenbahnen treten und so eine Verzinsung des erforderlichen Anlagekapitals ermöglichen zu können.

Das zur Ausführung vorgeschlagene Simplonprojekt (vide beiliegende Tafel) verlässt auf Schweizergebiet die jetzige Station Brig und erreicht dem linken Rhoneufer entlang bei km 2,480 von Brig das Nordportal des grossen Tunnels.

Der grosse Tunnel durchfährt in der Richtung N.W. — S. O. das Monte-Leone-Massiv (Maximalhöhe der Wasserscheide von 2840 m über Meer) um nach einer Länge von 19 731 m das Südportal am linken Diveria-Ufer bei km 22,211 zu erreichen. Die Wasserscheide, zugleich Landesgrenze zwischen der Schweiz und Italien, wird bei km 9,100 vom Nordportal zwischen Wasenhorn (3 255 m) und Furggenbaumhorn (2 991 m) beinahe winkelrecht geschnitten. Der Tunnel unterfährt auf der Nordseite das Saltinebecken, auf

der Südseite das Becken der Cairasca (lago d'Avino) und der Diveria. Das Nordportal hat die Höhe von 687,10, der Kulminationspunkt 705,20 und das Südportal 634,02 m ü. M.; die Portalhöhendifferenz beträgt somit 53,18 m, um was das Südportal tiefer liegt. Die mittlere Höhe des Gebirges über dem Tunnel in der Achse beträgt 1140 m; es bleibt das Terrain auf 8450 m Länge tiefer, auf 11 261 m höher als die mittlere Höhe; die maximale Höhe des Gebirges über dem Tunnel befindet sich, bei 9100 m vom Nordportal, mit 2 135 m.

Das vorgeschlagene Tunneltracé ist das schon im Jahr 1882 für einen Basistunnel gewählte¹⁾. Die Tunnelrichtung weicht vom Meridian N. S. rund 50° 16' ab und verbindet das Rhonethal mit dem Diveriathal. Sowohl der Tunnelleingang wie der Ausgang müssen Richtungsänderungen erhalten zum Anschluss an die offene Strecke. Die Lage der Tunnelportale ist, sobald man einen Basistunnel wählt, eine gegebene. Das Nordportal darf nicht mehr ostwärts verschoben werden, wenn dem etwa 200 m oberhalb am linken Rhoneufer, unterhalb Thermen, anstehenden Gips, der in der Flussole verläuft, ausgewichen werden soll. Eine mehr westliche Lage würde die Tunnellänge vergrössern und den Tunnel dem Monte-Leone näher rücken, ohne Kostenersparnisse auf der offenen Linie zu erzielen, da die Korrektion der Rhone und Massa, längs welcher die offene Linie zu liegen kommt, dieselbe Länge behalten würde. Die Höhenlage des Nordportals ist durch das Rhonehochwasser gegeben. Auf der Südseite bedingen die klimatischen Verhältnisse die Ausmündung unterhalb Iselle; der Chiosobach und die Strassengalerie von Iselle bilden die klimatische Stufe. Während es alle Winter vorkommt, dass die Schlitten bis Iselle fahren, ist dies höchst selten über Iselle hinaus, also östlich von der erwähnten Stufe, der Fall; der Schnee bleibt von der Strassengalerie Iselle abwärts bei viel geringerer Höhe viel weniger lange liegen als westlich vom genannten Punkte. In dem engen Diveriathal findet man für die Unterbringung der Installationen keinen günstigeren Platz als östlich von der Strassengalerie zwischen der Simplonstrasse und der Diveria. Die Höhenlage ist die Strassenhöhe; eine höhere Lage erschwert die Zufuhr zu den Installationen wesentlich, eine tiefere ergibt ein grösseres Tunnelgefälle.

Nachdem die Lage der Portale fixiert ist, ergeben sich die Steigungsverhältnisse des Tunnels von selbst; da das Nordportal etwa 53 m höher als das Südportal liegt, so musste man vom Nordportal mit dem Minimalgefälle für den Wasserablauf (2‰) bis zur Tunnelmitte steigen, um kein grösseres Gegengefälle als 7‰ nach dem Südportal zu erhalten.

Bei den früheren Basistunnelprojekten wurden verschiedene Tracés vorgeschlagen, um die zu erwartende hohe Gesteinstemperatur während der Bauzeit herabzumindern. Zu diesem Zwecke wurde die Richtung gebrochen, um möglichst den Terrainmulden folgen oder Schächte anlegen zu können. Alle diese Tracés haben jedoch bei derselben Portalstellung den Nachteil, die Tunnellänge zu vergrössern, ohne eine erhebliche Herabminderung der Gesteinstemperatur zu erzielen. Beim vorliegenden Projekt sind nun Mittel zur Bekämpfung hoher Gesteinstemperaturen vorgesehen, so dass eine andere Tunnelrichtung als die vorgeschlagene gerade nicht erforderlich erscheint.

Die Richtungsverhältnisse des Tracés sind folgende:

km 2,480 ⁴⁰ —2,765 ⁸⁰ Kurve links, 340 m Rad.,	285,40 m lg.
km 2,765 ⁸⁰ —21,965 Gerade	19 199,20 m
km 21,965 —22,138 ⁴⁰ Kurve rechts, 300 m Rad.,	173,40 m lg.
km 22,138 ⁴⁰ —22,211 ⁴⁰ Gerade	73
In Kurven von 300—340 m	458,80 2,32 ‰
In Geraden	19 272,20 97,68 ‰
Total	19 731 m

¹⁾ Vide „Eisenbahn“ Bd. XVII Nr. 8, 10 u. 15 vom 26. August, 9. Sept. und 14. Oktober 1882: Nouvelles études entreprises en 1881 et 1882 pour la ligne d'accès sud du Simplon par J. Meyer, Ingénieur en chef à Lausanne.

¹⁾ Vgl. Schweiz. Bauzeitung Bd. XVIII Nr. 3 pag. 17.

²⁾ Vgl. Schweiz. Bauzeitung Bd. XXIII Nr. 20 S. 134.

Die Steigungsverhältnisse sind:

km 2,480 ⁴⁰ —11,541 ⁴⁰ Steigung	2 ‰	9 061 m	
km 11,541 ⁴⁰ —12,041 ⁴⁰ Horizontal			500 m
km 12,041 ⁴⁰ —22,211 ⁴⁰ Gefälle	7 ‰	10 170 m	
In Rampen von 2 ‰—7 ‰		19 231 m	97,47 ‰
In der Horizontalen		500 m	2,53 ‰
		Total	19 731 m

Zur Vergleichung folgen die hierher gehörigen Daten über die andern ausgeführten Alpentunnel:

	Mont-Cenis	Gotthard	Arlberg	Simplon
Tunnellänge, m	12 849	14 984	10 240	19 731
Höhe des Nord- od. Ostportals, m	1 147,80	1 109	1 302,4	687,10
Höhe des Süd- od. Westportals, m	1 269,10	1 145	1 218,3	634,62
Höhe desKulminationspunktes, m	1 294,70	1 154,6	1 310,6	705,20
Grösste Rampe im Tunnel, ‰	22	5,82	15	7
Höchster Terrainpunkt in der Achse, m	2 949	2 861	2 030	2 840
Maximalhöhe des überlagernden Gebirges, m	1 654	1 706	720	2 135
Höchste Gesteinstemperatur, Grad Celsius	29,5	30,8	18,5	40

2. *Tunnelquerprofile.* Abweichend von den bestehenden Alpentunneln, die sämtlich zweigeleisig erstellt wurden, sind für den Simplon zwei eingleisige Tunnel, in einem Abstand von 17 m von einander, vorgesehen (Seite 125).

Das eingleisige verkleidete Tunnelprofil hat einen lichten Querschnitt von 23,20 m². Es beträgt die lichte Breite in Schwellenhöhe 4,50 m und bei 2 m über Schwellenhöhe 5 m. Die lichte Höhe bis zum Gewölbescheitel beträgt 5,50 m über Schwellenhöhe.

Es sind 5 Profile vorgesehen:

- Profil 1, im Gestein ohne Druck und regelmässiger Schichtung, ohne Verkleidung.
- Profil 2, im Gestein, das eine blosse Verkleidung erfordert und wo der Schichtenbau unregelmässig ist. Widerlager und Gewölbe von 0,35 m Stärke aus Bruchsteinen.
- Profil 3, im Gebirge mit mittlerem Druck, Widerlager aus Bruchsteinen, Gewölbe aus Quadern von 0,50 m Stärke.
- Profil 4, im Gebirge mit grossem Vertikaldruck, Widerlager aus Schichtenmauerwerk, Gewölbe aus Quadern, 0,60 m stark.
- Profil 5, im Gebirge mit grossem Seitendruck, Gebirge in Zersetzung, Widerlager aus Schichtenmauerwerk, Sohlengewölbe von 0,40 m Stärke und Deckengewölbe aus 0,60 m starken Quadern.

Alle 100 m werden einseitig kleine Nischen angebracht von 2 m Breite und 2,30 m Höhe. Alle 1000 m werden kleine Kammern einseitig angebracht zur Aufnahme der Glockensignale und Lampen. Diese kleinen Kammern haben eine Breite von 3 m, eine Höhe von 3,10 m und eine Tiefe von 3 m. Grosse Kammern werden vier ausgeführt zum Unterbringen des Geschirrs für den Bahnunterhalt. Diese vier grossen Kammern, gleichmässig auf die ganze Länge verteilt, haben eine Breite von 4 m, eine Höhe von 3,10 m und eine Tiefe von 6 m.

Die beidseitigen Richtungsstollen für die Achsabsteckung erhalten eine Breite von 3,70 m und eine Höhe über Schwelle von 3,85 m.

Der Parallelstollen wird in den Druckstrecken des Haupttunnels verkleidet. Er erhält den Hauptwasserableitungskanal, in welchen aus dem ersten Haupttunnel alle Wasser abgeleitet werden.

Für eine Kreuzung der Züge in der Tunnelmitte ist eine Ausweiche von 400 m Länge zwischen den Polizeipfählen vorgesehen.

3. *Geologisches Profil.* Während sich am Gotthard beidseitig im Norden (mit Ausnahme der ältesten Finsteraarhornzone) und Süden dem fächerförmigen ältern Centralmassiv die jüngern Formationen anschliessen, geht am Simplon die Reihenfolge des Gebirgsalters ununterbrochen von Süden nach Norden durch.

Der Tunnel durchfährt auf die Länge von 19 730 m dem Alter nach folgende Formationen von Süden nach Norden:

- Kalkglimmerschiefer und Antigoriogneiss
km $\frac{19,730}{13,400}$ 6 330 m
 - Kalk vom Teggiolo, Kalkglimmerschiefer, Glimmerschiefer und Gneiss, Kalk von Vallé, geschichteter Gneiss und Gneissglimmerschiefer von Vallé, Gneiss und Glimmerschiefer vom Monte-Leone, krystallinische Schiefer und Gneisse, Kalk der Ganter, krystallinische Schiefer und geschichtete Gneisse, km $\frac{13,400}{3,700}$ 9 700 m
 - Glanzschiefer mit Gipsbänken der Rhone, km $\frac{3,700}{0}$ 3 700 m
- Total 19 730 m

Das älteste zu durchfahrende Gestein ist der Kalkglimmerschiefer, welchem der Antigoriogneiss überlagert ist. Den Uebergang von einer Gebirgsart zur andern bildet eine Gipsbank mit zersetztem Gneiss. Im Centralmassiv bilden die Gneisse die Hauptmasse, im Süden werden dieselben durch die Kalkbänke vom Teggiolo und Vallé und Glimmerschiefer unterbrochen, im Norden schliesst sich der kompakten Gneissmasse von Vallé und dem Monte-Leone die ganze Reihe der krystallinischen Schiefer mit einer Bank von Cipolin der Ganter an. Die jüngste Formation wird im Norden durch die Glanzschiefer und Gipse der Rhone gebildet.

Das Streichen der Schichten ist beinahe senkrecht zur Tunnelachse im grossen ganzen N.O. — S.W.; das Fallen der Schichten schwankt je nach der Faltung des Gebirgs zwischen N.W. und S.O.

Für die mechanische Bohrung eignet sich das zu durchfahrende Gestein gut; auf der Nordseite wird im Glanzschiefer die Bohrung sich mit grossen Fortschritten vollziehen, da das Gestein von geringerer Härte ist und das Streichen und Fallen der Schichten unter den günstigsten Verhältnissen stattfindet. Zwar werden die Einbauarbeiten den Fortschritt ein wenig hemmen. Im Centralmassiv und Antigoriogneiss, wo die Härte des Gebirges eine grössere, dagegen der Felsen auf grosse Längen kompakt ist, wodurch wenig Einbau erforderlich wird, kann die mechanische Bohrung ungehindert den geforderten Fortschritt erreichen. Es lässt sich jederzeit bei den Brandtschen Bohrmaschinen der Druck der Gesteinsbeschaffenheit anpassen.

Für den Tunnelfortschritt sind die Gips- und Dolomitschichten die gefährlichsten, dieselben kommen jedoch in kurzer Länge vor und da ausserdem mit einem Sohlentollen vorgegangen wird, der einen raschen Ausbruch und Ausbau des eingleisigen Profils ermöglicht, so sind Vorkommnisse wie am Gotthard, in der Druckstrecke unter der Andermattenebene nicht zu befürchten.

Wasserzudrang im Tunnelinnern steht zu gewärtigen von 0—2 km und in der Gantermulde; auf der Südseite, in der Cairascalumde zwischen Pizzo Valgrande und Teggiolo, dem Auslauf des Vallébaches.

Die Gesteinstemperaturen werden von km 6,600—17,100 auf 10 500 m Länge die maximale Gesteinstemperatur vom Gotthard, 30,8°C., übersteigen und ein Maximum von etwa 40°C. erreichen, wenn man für 1°C. Wärmezunahme 44 m Tiefenzunahme wie am Gotthard im Centralmassiv annimmt. Dabei wird die Wärmezunahme unter Mulden eine etwas grössere, unter Gipfeln eine etwas geringere sein. Am Simplon sollen die Gesteinstemperaturen durch eine sehr ergiebige Ventilation und Abkühlung mittelst kaltem Wasser, das unter hohem Druck zerstäubt wird, herabgedrückt werden. Für den Simplon-Tunnel ist pro Seite eine Luftmenge zur Ventilation bis zu 50 m³ pro Sekunde vorgesehen, während am Gotthard 1878 nur 2 m³ pro Sekunde

Seite / page

leer / vide /
blank

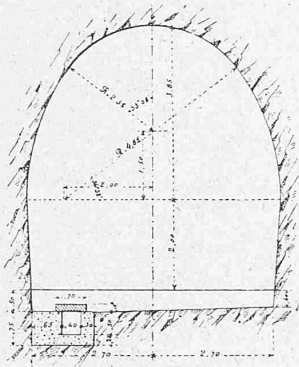
eingeführt worden sind. Dass da die Arbeitsverhältnisse erheblich bessere werden, ist selbstverständlich, und kann man bei bedeutend höhern Temperaturen als am Gotthard noch arbeiten.

4. Stationen ausserhalb des Tunnels. Auf der Nordseite wird die neue Station Brig zwischen *km* 0,600 und 1,600 vom alten Bahnhof angelegt; im Mittel 1450 *m* vom Nordportal des grossen Tunnels entfernt. Dieselbe wird als

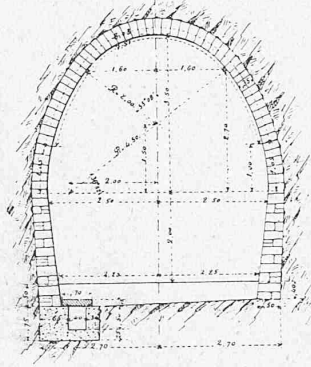
	Niedersehlagsgbiet <i>km</i> ²	Minimale Abflussmenge per Sekunde <i>m</i> ³	Minimale Abflussmenge pro <i>km</i> ² n. Sekunde <i>m</i> ³
Rhone oberhalb Massaeinmündung	570,70	5,517	0,00966
Saltine bei Brig ¹⁾	81,20	0,270	0,00332
Kelchbach bei Naters	33,60	0,156	0,00464
Massa bei der Massabücke ¹⁾	207,20	0,277	0,00137

Tunnel-Profile.

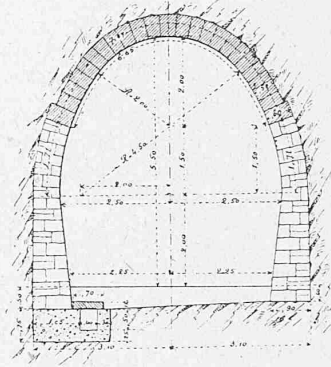
Nr. 1. Ohne Verkleidung.



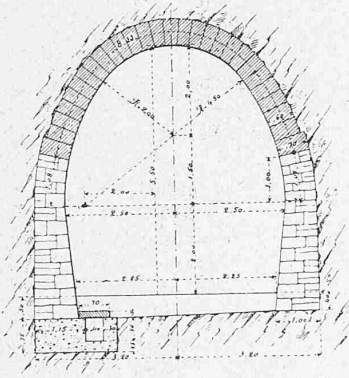
Nr. 2. Mit Verkleidung.



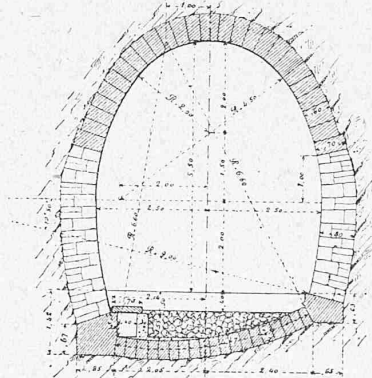
Nr. 3. Im Gebirge mit mittlerem Druck.



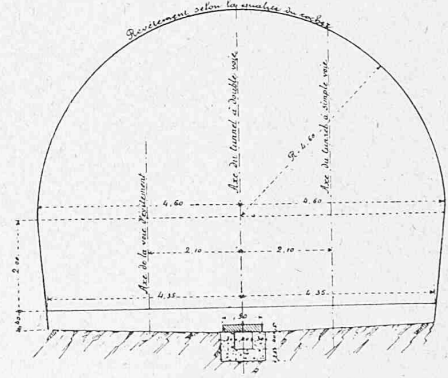
Nr. 4. Im Gebirge mit grossem Verikaldruck.



Nr. 5. Im Gebirge mit grossem Seitendruck.



Nr. 6. An der Ausweichstelle (Tunnelmitte).



Masstab 1 : 150.

	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5
Excavation	31,10 <i>m</i> ³	31,10 <i>m</i> ³	35,20 <i>m</i> ³	36,70 <i>m</i> ³	40,30 <i>m</i> ³
Maçonnerie des piédroits	—	3,30 <i>m</i> ³	6,55 <i>m</i> ³	6,55 <i>m</i> ³	5,50 <i>m</i> ³
Maçonnerie de la voûte	—	2,81 <i>m</i> ³	3,60 <i>m</i> ³	5,05 <i>m</i> ³	5,05 <i>m</i> ³
Maçonnerie du radier	—	—	—	—	3,30 <i>m</i> ³
Maçonnerie de la cunette	0,81 <i>m</i> ³	0,33 <i>m</i> ³	0,33 <i>m</i> ³	0,33 <i>m</i> ³	0,20 <i>m</i> ³
Excavation de la cunette	0,55 <i>m</i> ³	0,55 <i>m</i> ³	0,55 <i>m</i> ³	0,55 <i>m</i> ³	—
Dallage de la cunette	0,70 <i>m</i> ²	0,70 <i>m</i> ²	0,70 <i>m</i> ²	0,70 <i>m</i> ²	—
Bétonnage du radier	—	—	—	—	0,10 <i>m</i> ³
Remplissage en pierres sèches	—	—	—	—	1,40 <i>m</i> ³
Section du ballast	2,40 <i>m</i> ²	1,95 <i>m</i> ²	1,95 <i>m</i> ²	1,95 <i>m</i> ²	1,80 <i>m</i> ²
Section du vide	23,20 <i>m</i> ²	23,20 <i>m</i> ²	23,20 <i>m</i> ²	23,20 <i>m</i> ²	23,20 <i>m</i> ²

grosse Verkehrsstation mit Zollrevision projiziert und erhält 8 durchgehende Geleise.

Auf der Südseite ist die Station Iselle projiziert, im Mittel 350 *m* vom südlichen Portal entfernt. Sie wird als Kreuzungsstation mit 4 durchgehenden Geleisen angelegt.

5. Wasserkräfte. Für die Installationen eines grossen Alpentunnels bildet die Beschaffung der Wasserkräfte eine der wichtigsten Fragen, deren Untersuchung hier zu untenstehenden Resultaten geführt hat.

Für die Nordseite kommen folgende Gewässer in Betracht: die Rhone, die Massa, der Kelchbach und die Saltine. Die bisherigen Messungen haben folgende absolute Minimalwassermengen ergeben:

Die Minimal-Wassermenge der Massa, des Kelchbaches und der Saltine betragen 156—277 Sekundenliter, ein Wasserquantum, das, um 1000 P.S. effektiv zu erhalten, Druckhöhen erforderte von 850—500 *m*. Da das Maschinenhaus auf die Höhe von 690 *m* über Meer zu stehen kommt, so müsste man die Fassungen mindestens 1190—1540 *m* über Meer erstellen. Auf dieser Höhe sind aber die Minimalwassermengen, mit Ausnahme der Massa, nicht mehr die Hälfte der in der Tabelle enthaltenen, so dass schon die minimale

¹⁾ Die obigen Minimalwassermengen beziehen sich auf den Winter 1893/94, wogegen die im später folgenden Expertenbericht angeführten sich auf die früheren mittleren Minimalmengen beziehen.

Wassermenge gegen die Benützung dieser Bäche als Tunnelbetriebskraft spricht. Wollte man sich auf eine geringere Betriebskraft beschränken, und beispielsweise verschiedene Bäche benützen, so müsste man von vorneherein vom Kelchbach und der Saline Abstand nehmen, denn diese beiden Bäche betreiben Mühlen, Sägen und eine Werkstatt und haben im Winter kaum hiezu Wasser genug. Es käme dann nur noch die Massa in Betracht. Die Massa könnte im Maximum 1000 P.S. liefern, es wäre aber der Zulaufkanal im Winter in der Höhe von 1200 m allen Naturereignissen ausgesetzt, wodurch die Betriebssicherheit in Frage kommen könnte. Wollte man reine Druckleitungen anwenden, so steigern sich die Kosten enorm. Will man daher bezüglich des Wasserquantums und der Dauerhaftigkeit der Leitungen sicher gehen, und sollte im Verlaufe des Baues eine Steigerung der Betriebskraft sich als nötig erweisen, so bietet hiezu allein die Rhone die erforderliche Garantie. Die Terrain- und klimatischen Verhältnisse sind hiezu auf dem rechten Rhoneufer günstiger, dazu befindet man sich in der Nähe der Furkastrasse, was den Bau und die Aufsicht während des Betriebes sehr erleichtert.

Das Gefälle der Rhone beträgt von der Massa bis zur ersten Rhonebrücke der Furkastrasse beim Vogelturm auf eine Länge von 7100 m im Mittel 1,60‰ rund, wobei das grösste Gefälle dieser Strecke auf 1 km bei Mörel 2,70‰ ausmacht. Es ist daher geboten, gerade dieses Hauptgefälle auszunutzen und, wenn möglich, mit der Fassungshöhe nicht über 768 m zu gehen, um die Leitung ohne zu grosse Schwierigkeiten hinter Mörel vorbei legen zu können. Diese Fassungshöhe ist in der Nähe von der Gifrischbrücke und ergibt eine Länge des Zulaufkanals bis zum Massaboden am linken Massa-Ufer von 4300 m. Erhält der Zulaufkanal ein Gefälle von 3‰, so gelangt man auf eine Höhe des Druckreservoirs von 755 m. Das Maschinenhaus kommt auf die Höhe 692 m über Meer, was eine absolute Druckhöhe von $63 - 2 = 61$ m ergibt, wenn man einen Wasserstand von 2 m im Druckreservoir annimmt. Die Druckleitung soll 1500 Sekundenliter Wasser liefern, was bei 2 m Geschwindigkeit einen Durchmesser von 1 m der Druckleitung erfordert. Der Druckverlust beträgt 6‰ der Leitungslänge, mithin bei 800 m rund 5 m. Die effektive Druckhöhe wird somit 56 m. Der aus gehobelten Brettern bestehende Zulaufkanal hat 1500 Sekundenliter Wasser zu führen, was einen benetzten Wasserquerschnitt von $0,62$ m² verlangt, oder der Kanal wird 1 m breit und 1 m hoch im Lichten erstellt. Der Zulaufkanal kann im Maximum 2100 Sekundenliter Wasser befördern. Bei dieser Anlage gewinnt man für die erste Bauperiode eine Wasserkraft von

$$1500 \cdot 56 \cdot 0,01 = 840 \text{ P.S.}$$

normal und im Maximum

$$2100 \cdot 56 \cdot 0,01 = 1180 \text{ P.S.}$$

Soll die Kraft nun auf 1500 P.S. gesteigert werden, so hat man nur einen zweiten Zulaufkanal von gleichem Querschnitt neben den ersten zu legen und gleichfalls die Druckleitung zu verdoppeln. Der Unterbau wird bei der ersten Anlage schon so breit angelegt, dass dieser zweite Kanal ohne weiteres neben den ersten gelegt werden kann. Man gewinnt dadurch eine Wasserkraft von 1680 P.S. normal und im Maximum 2360 P.S., wenn die Zulaufkanäle voll laufen. In der Druckleitung geht dann die Geschwindigkeit von 2 m auf 2,60 m.

Die Anlage eines zweiten Zulaufkanals hat den Vorteil, die Wasserkraft jederzeit dem Baubetrieb anpassen zu können und ausserdem die Baukosten möglichst ökonomisch mit dem Fortschritt der Arbeiten zu verteilen.

Der Rhone würden dann normal 3 m³ Wasser, im Maximum 4,20 m³, entnommen; höher sollte man nicht gehen, um der Rhone nicht alles Wasser im Winter zu entziehen. Es sind die Minimalwasserstände ziemlichen Schwankungen unterworfen; das bis jetzt gefundene Minimum wird kaum das absolute Minimum sein. Um sicher zu gehen, gebietet die Klugheit, noch unter den gemessenen Minimalwassermengen zu bleiben.

Auf der *Südseite* des Tunnels stehen für die Ausnützung der Wasserkraft die Diveria, der Zwischenbergenbach und die Cairasca zur Verfügung. Die vorgenommenen Wassermessungen haben folgende Minimalwassermengen ergeben:

	Niederschlags- gebiet km ²	Minimalwasser- mengen per Sekunde m ³	Minimalwasser- mengen pro km ² u. Sek. m ³
Diveria, oberhalb Gondo . . .	119,80	1,098	0,00917
Diveria, unterhalb Gondo . . .	169,60	1,422	0,00839
Zwischenbergenbach	49,80	0,330	0,00651
Cairasca, vis-à-vis San Bernardo	53,06	0,671	0,01265
Cairasca, unterhalb Maulone . .	72,64	0,919	0,01265

Wie auf der Nordseite, tritt auf der Südseite das Minimum der Wassermenge im Monat Januar oder Februar auf; mit diesem Minimum hat man etwa 4 Monate zu rechnen und es dauert dasselbe um so länger, je weniger Schnee fällt und je kälter der Winter ist.

Die Diveria ist von allen drei Bächen der wasserreichste und daher von vorneherein mit der Cairasca zu berücksichtigen. Der Zwischenbergenbach hat zu wenig Wasser, um mit Vorteil gegenüber der Diveria und Cairasca benützt werden zu können.

Das Thal der Diveria ist sehr eng und wird beidseitig auf grosse Höhen durch mächtige Felswände eingeraht, so dass nicht daran zu denken ist, die Diveria mit einem Zulaufkanal und einer Druckleitung von kürzerer Länge auszunutzen, da sich die Kosten eines Zulaufkanals infolge der erforderlichen Felssprengungen und Wasserstollen sehr hoch beziffern würden. Man ist bei der Diveria auf eine reine Druckleitung, sowohl der Terrain- als der klimatischen Verhältnisse halber, angewiesen.

Anders und günstiger bieten sich die Terrain- und klimatischen Verhältnisse bei der Cairasca dar. Ohne grosse Schwierigkeiten lassen sich auf beiden Lehnen Zulaufkanäle erstellen; auf der linken Lehne sind wenig Felssprengungen auszuführen, auf der rechten Lehne nur um Trasquera herum, worauf der Zulaufkanal auf eine grosse Länge durch Wiesengelände geführt werden kann. Eine Wasserleitungsanlage am linken Cairasca-Ufer erfordert aber die elektrische Transmission von Bertonio nach Iselle auf 3 km Länge, während auf der rechten Lehne die Druckleitung direkt nach den Installationen geführt werden kann, und die Druckleitung kürzer wird als auf dem linken Ufer. Wird von elektrischen Transmissionen abgesehen, da dieselben nicht dieselbe Betriebssicherheit bieten, wie direkte Wasserleitungen, die Maschinenanlage infolge der Primär- und Sekundärmaschinen viel höher zu stehen kommt und der Kraftverlust ein viel grösserer wird, so sind nur zwei Projekte zu vergleichen, die Diveriawasserleitung als reine Druckleitung und die Cairascawasserleitung mit Zulaufkanal und kurzer Druckleitung dem rechten Ufer entlang.

Die Wassermengen der Diveria und Cairasca verhalten sich etwa wie 2 : 1; um dieselbe Wasserkraft zu erhalten, erfordert daher die Cairasca die doppelte Druckhöhe.

Wird die Diveria als Wasserkraft benützt, und derselben 900 Sekundenliter Wasser entnommen, so erfordert das, um 1630 PS zu gewinnen, eine effektive Druckhöhe von

$$H = \frac{1630}{900 \cdot 0,01} = 181 \text{ m.}$$

Die Druckleitung erhält einen Durchmesser von 80 cm, der Druckverlust beträgt bei 2 m Wassergeschwindigkeit 8‰ der Leitungslänge oder $550 \cdot 0,008 = 45$ m rund. Es ergibt sich daraus eine Fassungshöhe von

$$615 + 181 + 45 + 2 = 843 \text{ m ü. M.}$$

Die Diveria müsste etwa 200 m oberhalb Gondo gefasst werden und erhielte eine reine Druckleitung von 5550 m bis zu den Installationen. Die ganze Leitung käme längs der Strasse ausserhalb derselben gegen die Diveria zu liegen.

Wird ausschliesslich die Cairasca als Wasserkraft benützt, so können derselben 500 Sekundenliter Wasser entnommen werden. Um 1630 PS zu erhalten, ist die folgende

