

Zeitschrift: (Der) Schweizer Geograph = (Le) géographe suisse
Band: 14 (1937)
Heft: 6

Artikel: Ueber die meteorologischen und klimatischen Verhältnisse in den Alpentunneln
Autor: Brunner, Pierre
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-12462>

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: 10.04.2025

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

Zürich, Reisekarte, 1 : 75,000, idem mit farbiger Darstellung der Gemeindeareale. Geographischer Kartenverlag Bern, Kümmerly & Frey.

Uri, Schulkarte des Kantons, 1 : 100,00. Herausgegeben vom Erziehungsrat. Idem Verkehrskarte, herausgegeben vom kantonalen Verkehrsverein.

Thunersee, Exkursionskarte Thunersee, 1 : 33,333, herausgegeben vom Verkehrsverband Thunersee.

Fricktal, Exkursionskarte 1 : 50,000. Herausgegeben vom Verkehrsverein Fricktal. Geographischer Kartenverlag Bern, Kümmerly & Frey.

Europa und Atlantischer Ozean, Netzkarte 1 : 7,500,000. Herausgegeben von der meteorologischen Zentralstelle, Zürich.

Nunmehr folgen zwei der in der Sektion für Geographie und Kartographie in Solothurn gehaltenen Vorträge in ausführlicher Wiedergabe, nämlich diejenigen der Herren Dr. P. Brunner und K. Suter. Andere Vorträge können erst in einer späteren Nr. des «Schweizer Geograph» gebracht werden, da sie den Raum eines einzelnen Heftes überschreiten würden.

Ueber die meteorologischen und klimatischen Verhältnisse in den Alpentunneln.

Von Pierre Brunner.

Die Geographie als Landschaftsforschung hat sich so gut wie mit offenen Landschaften auch mit den natürlichen und künstlichen Höhlen zu befassen. Unsere Angaben über den Zustand der Atmosphäre in verschiedenen Eisenbahntunneln der Alpen beruhen auf meteorologischen Beobachtungen der Bauunternehmungen und Bahnverwaltungen, auf Messungen, welche vorwiegend aus praktischen Gründen vorgenommen wurden. In kaum einem Tunnel dürfte hingegen die systematische Erforschung der Atmosphäre zu wissenschaftlichen Zwecken durchgeführt worden sein, wozu jahrelange Beobachtungen an vielen Punkten der Tunnel erforderlich wären. Daher ist es nicht möglich, über das Klima der Tunnelräume befriedigende Angaben zu vermitteln; allein manche meteorologische Beobachtung erklärt sich nur aus den ganz speziellen geographischen Voraussetzungen eines bestimmten Tunnels und erheischt als solche die Aufmerksamkeit des Geographen.

Seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts befassen sich Ingenieure und Wissenschaftler (z. B. Colladon, Stapff, Saccardo, Billwiller sen., Bechtle, Hann) mit den in den zu erstellenden Alpendurchstichen möglichen Luftverhältnissen. Galt es doch, Behauptungen klarzustellen wie diejenige, dass kein Zug wegen der zu erwartenden Orkane eine Tunnelröhre werde durchfahren können.

Der grundlegende Klimafaktor in den Tunneln ist die Temperatur, wobei scharf zu unterscheiden ist zwischen der Fels- und der Lufttemperatur. Die Lufttemperaturen hängen direkt ab von der Gesteinstem-

peratur, der Wärme der Aussenluft, der Wärmezufuhr durch Lokomotiven mit Verbrennungsmotoren, heissen oder kalten Quellen und, wenigstens in kürzeren Tunneln, von den Winden. Indirekt steht somit die Lufttemperatur in Abhängigkeit von der Länge, Tiefe u. Meereshöhe des Tunnels. Befassen wir uns zuerst mit den langen Alpentunneln mit grosser Gesteinsüberlagerung, in denen die Felstemperatur im Innern relativ hoch ist. Zu Zeiten der Tunneldurchschläge wurden folgende Maximal-Felstemperaturen gemessen: Simplon 52°, Lötschberg 34°, Gotthard 31°, Fréjus (Mont Cenis) 30°. Durch Berührung mit der Luft verlor der Fels seither an Wärme. Die Abkühlung in der Mitte des Gotthardtunnels war die folgende: 1880 30,7°, 1885 22,6°, 1902 18° (Lit. 9, S. 19). Durch vorsichtige Extrapolation schliessen wir für heute auf eine maximale Gesteinstemperatur von ca. 16°. Wie verhält sich nun die Luft? Während für den Fels die Differenzen von Sommer und Winter sicher vernachlässigt werden dürfen, traten bei der Luft von Anfang an die jahreszeitlichen Unterschiede auf. Das mittlere Maximum der Lufttemperatur der Jahre 1883—1888 betrug 22,9°, das mittlere Minimum 15,3° (nach Lit. 2). Im Sommer entsprach die Luftwärme ungefähr dem Fels, im Winter aber war sie erheblich kühler. Heute steigt die Sommertemperatur maximal über 16°, d. h. über die jetzige Felswärme hinauf, womit der Einfluss der Aussenluft bewiesen ist. Die jahreszeitlichen Schwankungen machen sich also selbst in der Mitte eines 15 km langen Alpentunnels noch bemerkbar; sogar im längsten, im 20 km langen Simplon, ist dies noch der Fall.

Die bisher betrachteten Zahlen beziehen sich auf das Wärmemaximum nahe der Tunnelmitte. Welches ist nun, im Gotthard, die mittlere Temperatur der Luft in der ganzen Tunnelröhre? Leider können darüber keine Tages- oder Monatsmittel angegeben werden; aber schon Temperaturen einzelner, ausgewählter Tage geben willkommenen Aufschluss (Tabelle 1).

Tabelle 1. Mittlere Lufttemperatur der ganzen Länge des Gotthardtunnels an ausgewählten Tagen. (Berechnung der Mittel nach Tabelle I in Lit. 2).

	Mittlere Lufttemperatur des ganzen Tunnels	Tagesmittel der Aussenluft**)	
Je am kältesten Tag des Winters*)	1883	11°	—5°
	1884	12	2
	1885	11	—3
	1886	10	—6
	1887	10	—9
Je am wärmsten Tag des Sommers*)	1883	20°	18°
	1884	18	14
	1885	19	17
	1886	9	5
	1887	19	12

*) Wärmster resp. kältester Tag im Tunnel.
 **) Mittel von Göschenen und Airolo.

Die mittlere Temperatur des ganzen Tunnels macht also von Winter zu Winter die Schwankungen der Aussentemperatur in abgeschwächtem Masse mit; sie ist jedoch bedeutend höher als die der Aussenluft. Dies gilt auch heute noch, trotz der geringeren Felswärme. Selbst im Sommer jener Jahre war der Gotthardtunnel wärmer als die Aussenluft und dürfte heute etwa gleich warm sein wie diese. 1886 scheint ein kühler Sommer gewesen zu sein, der sich auch im Tunnel bemerkbar machte.

Mit Ausnahme des Simplons ist in keinem alpinen Tunnel die künstliche Ventilation zur Abkühlung der Luft erforderlich. Dank der künstlichen Lüftung steigt im Simplontunnel die Lufttemperatur kaum je über 23—25°, während sie ohne Ventilation mehrere Grade höher wäre. Im Jahre 1912 mass man im Simplon noch bis zu 30° Luftwärme, weil der Fels noch wärmer war als heute und eine schwächere Lüftungsanlage bestand (Lit. 7, S. 72). Zahlen über die Temperaturen im Arlberg und Fréjus findet man in Lit. 1 und 3.

Die Temperaturen in den kürzeren Alpentunneln von 1—3 km Länge sind, der geringen Tiefe wegen, von der Erdwärme kaum beeinflusst. Nur im innersten, tiefsten Teil der Kehrtunnel, der einige 100 m unter dem Terrain liegt, ist mit einem spürbaren Einfluss zu rechnen. Im tiefen Winter dürfte die Luft auch im Durchschnitt des Tunnels unbedeutend wärmer sein als die Aussenluft; dies aber nur kurze Zeit. Sobald der Einfluss der Insolation beginnt, werden die Tunnelräume wegen der Schattenlage kühler als die offene Landschaft. Hierin liegt ein wesentlicher Unterschied gegenüber den langen Kammtunneln. Am 9. April 1936 massen wir z. B., bei Föhn und Sonne, im Innern des 1476 m langen Paffensprung Kehrtunnels, am Nachmittag, 12°, bei einer Aussentemperatur von 14°. Am 14. April 1936, bei trüber Witterung, am Mittag betrug die Luftwärme in der Mitte des 1690 m langen Ceneritunnels II 10,5°, die im Freien 12°. Rampentunnel machen den jährlichen Temperaturgang in höherem Masse mit als die langen Kammtunnel, doch sind in ihnen die Gegensätze von Sommer und Winter im allgemeinen kleiner als im Freien.

Die Winde in den Tunneln haben immer die Richtung der Achse im einen oder anderen Sinn. Für den Betriebsfachmann ist der natürliche Luftzug der wichtigste Klimafaktor, denn von seiner Stärke hängt es ab, ob zur Erneuerung der verunreinigten Luft eine künstliche Lüftung eingerichtet werden muss. Die Winde in den Tunneln werden nach Stärke oder Richtung durch folgende Faktoren bestimmt:

1. Temperatur der Tunnelluft.
2. Höhendifferenz der Portale.
3. Luftdruckdifferenz beider Portale (reduzierte Drucke).
4. Richtung der Tunnelachse (gerade oder gekrümmt) und Lage der Achse zu den Talrichtungen.
5. Grösse und Form des Tunnelquerschnittes.
6. Verkehrsdichte (Bewegung der Luft durch die Züge).

Zu diesen Punkten einige Erläuterungen.

Zu 1 und 2. Die Luft der langen Alpentunnel ist das ganze Jahr wärmer als die Aussenluft. Die warme Luft steigt daher dem höherliegenden Portal zu, und zwar je energischer desto grösser die relative Differenz der Portalhöhen ist (Kaminwirkung). Wenn die anderen Faktoren nicht verändernd im Spiel sind, so gilt für die langen Tunnel, dass ihre Lüftung eine um so bessere ist, je grösser die auf 1 km Länge berechnete Höhendifferenz der Mündungen ist. Hierüber orientiert Tabelle 2.

Tabelle 2.

Differenzen der Portalhöhen der langen Alpentunnel (über 6 km Länge).

	Diff. der Portalhöhen m	Länge km	Relative Diff. d. Portalhöhen m pro km
Fréjus	139	13,7	10,1
Arlberg	86	10,25	8,4
Tauern	46	8,6	5,3
Tenda	40	8,1	4,9
Wochein	17	6,3	2,7
Simplon	53	19,8	2,7
Gotthard	35	15,0	2,3
Karawanken	12	8,0	1,5
Lötschberg	20	14,6	1,4

Weil wir seine Thermik nicht kennen, haben wir den Jungfrautunnel nicht einbeziehen können. Von den übrigen 9 alpinen Eisenbahntunneln über 6 km Länge haben somit der Fréjus, Arlberg, Tauern und Tenda eine kräftige Kaminwirkung. Bei allen ist sie im Winter stärker als im Sommer, entsprechend dem im Winter grösseren Wärmeüberschuss des Tunnels.

Welches sind die Windverhältnisse in der Rampentunneln? Wir vermuten, dass sie im Winter etwas wärmer, und wissen, dass sie im Sommer kühler sind als die Aussenluft. Daraus folgt, dass der Luftzug jahreszeitlich wechseln muss. Im Winter herrscht leichter ansteigender Zug, im Sommer fallender. Im Frühling und Herbst, zur Zeit des Richtungswechsels treten Kalmen auf, die bei Dampfbetrieb sehr lästig sein können *).

Zu 3. Die Luftdruckdifferenzen an den Portalen spielen in den Alpen allem Anschein nach eine sekundäre Rolle, weil es bedeutender Druckgradienten bedarf, um bei der starken Wandreibung die Luft in Bewegung zu bringen **). Leider besitzen wir nur wenige Zahlen über die mittleren reduzierten Barometerstände auf beiden Seiten des Gebirges. Beim Simplon ist im Wallis der mittlere Druck höher als auf der italienischen Seite, sodass im Tunnel, weil ja die Kaminwirkung gering ist, der natürliche Zug von N nach S geht (Lit. 7, S. 4).

Zu 4. Die Lage der Tunnelachse zu den benachbarten Talrichtungen spielt eine wichtige Rolle. Stimmen sie überein, dann ist der Luftzug gut, und umgekehrt. Dies zweite ist der Fall für die meisten Juratunnel, weil sie die Antiklinalen durchbrechen und daher zu den Synklinalachsen senkrecht stehen. Trotz den teilweise grossen Stei-

*) Bei Föhn treten besonders gefürchtete Kalmen auf (briefliche Mitteilung des Betriebschefs der Brienz-Rothorn-Bahn).

***) Mündliche Mitteilung von a. Direktor Maurer von der Met. Zentralanstalt Zürich.

gungen ist die Kaminwirkung schwach (kleinere Innenwärme als bei den Alpentunneln) und daher traten schon wiederholt Erstickungsunfälle ein (z. B. Grenchenberg, Tunnel du Mornay auf der Linie Bourg-Bellegarde). In den Alpen nun liegen folgende lange Tunnel mehr oder weniger gut in der Richtung der Täler: Arlberg, Tenda und Lötschberg. Von ihnen haben Arlberg und Tenda, besonders der erste, der starken Kaminwirkung wegen, eine ausgezeichnete natürliche Lüftung. Der Arlberg liegt fast genau in der E-W Richtung, welche auch diejenige, im W des Kloster-, im E des Stanzertales ist. Dass es besonders die Winde des Klostersales sind, die in den Tunnel eintreten, erkennt man daran, dass bei ruhiger Hochdruckwetterlage im Arlbergtunnel täglich von 11—21 Uhr ein Westwind, von 21—11 Uhr ein Ostwind weht. Im Klostersal macht sich dann derselbe Wechsel auch bemerkbar, es sind die Berg- und Talwinde. Weil diese im steilabfallenden Klostersal energischer sind als im gefällsärmeren Tal der Rosanna sind es die ersteren, die im Tunnel die Oberhand gewinnen. Um 11 und 21 Uhr treten dann vorübergehend Kalmen ein, und eben zu diesen Tageszeiten traten zur Zeit des Dampfbetriebs einige Erstickungsunfälle ein (Lit. 1 und 6). In der übrigen Zeit sind es die im Freien vorherrschenden Westwinde, die mit Leichtigkeit in den Tunnel eintreten.

Beim Gotthard sind die Verhältnisse so, dass die Tunnelachse in der Verlängerung des Reusstales, aber senkrecht zum Bedrettal liegt. Daher wehten im Tunnel, im Jahre 1883, während ca. 210 Tagen nördliche, während ca. 155 Tagen südliche Winde (Lit. 9, S. 20). Es ist dies aber auch der Ausdruck der Tatsache, dass der Barometerstand in Göschenen durchschnittlich etwas höher sein dürfte als in Airolo *).

Zu 5. Je kleiner bei einem Tunnel das Verhältnis von Umfang zu Querschnitt ist, desto geringer auch die Luftreibung, desto stärker also der Zug. Einige lange Tunnel der Westalpen, die im Zuge einspuriger Strecken liegen, sind daher zur Erzielung einer befriedigenden Lüftung mit zweispurigem Querschnitt, aber nur einem Geleise gebaut worden, so der Tenda-, Col de Cabre- (Livron-Briançon), Mont Grazian- und Col de Braus- (Nice-Breil) Tunnel. Allein, der schmalspurige Albulatunnel konnte immer ohne künstliche Ventilation befahren werden, wohl deshalb, weil Kaminwirkung und Richtungsverhältnis günstig sind.

Die künstliche Lüftung kann in langen Tunneln mit schwachen natürlichen Winden, oder bei sehr starkem Dampfbetrieb notwendig werden. Heute ist in den Alpen, wo der Anteil der elektrifizierten Strecken 44 % ausmacht (Lit. 4, S. 276) und wo von den 10 Tunneln über 6 km Länge nur noch zwei (Karawanken und Wochein) im Dampfbetrieb stehen, die künstliche Lüftung nur noch bei zwei Tunneln in Verwendung, nämlich im Simplon (s. unten) und im ca. 1 km langen Bukowotunnel auf der dampfbetriebenen Wocheinerbahn (Jesenice-Gorizia), der in starker Steigung liegt. Betriebsventilationen bestanden im Ganzen bei 8 Alpentunneln **); während der Bauzeit wurden zahlreiche Tunnel künstlich mit Frischluft versehen. Die Be-

*) Weil die Nordwinde im Gotthardtunnel vorherrschen, wird das Wärmemaximum, das ungefähr in der Tunnelmitte, an der Stelle der grössten Gebirgsüberlagerung herrschen sollte, nach S verlagert. So war die mittlere Jahrestemperatur von 1883, 2 km vom Südportal entfernt 4,7° höher als ebensoweit vom Nordportal entfernt (Lit. 9 S. 20).

**) Simplon-, Gotthard-, Lötschberg-, Fréjus-, Tauern-, Semmering-, Bukowo- und Dössentunnel, letzterer auf der Tauernsüdrampe.

sprechung einiger dieser Anlagen ist für uns insofern von Interesse, als sich zeigt, wie sie, wenn immer möglich, auf geographische Gegebenheiten Rücksicht nehmen.

Der *Gotthardt* tunnel erhielt die erste Ventilationsanlage in den ganzen Alpen, nämlich 1899. 17 Jahre lang war der Tunnel ohne solche befahren worden. Seit 1920, Jahr der Aufnahme des elektrischen Betriebs, ist die Anlage nicht mehr im Gebrauch, wird aber für Notfälle aufrecht erhalten. Die Luft wurde in Anlehnung an die natürlichen Windverhältnisse, von N nach S gepresst *).

Der *Fréjus* tunnel (Lit. 3, S. 99—110 und briefliche Mitteilung der Generaldirektion der it. Staatsbahn in Rom) wurde sogar 32 Jahre lang ohne künstliche Lüftungseinrichtung befahren, 1871—1903. Der starken Kaminwirkung wegen geht hier der natürliche Luftzug von N nach S, von Savoiën nach Piemont. Bedingt durch die auf eine grosse Strecke vorkommende enorme Steigung von 23‰, welche starke Rauchentwicklung hervorrief, hatten sich mehrere Unfälle ereignet, und eine Lüftungsanlage wurde unentbehrlich. Das Gegebene wäre gewesen, den natürlichen Zug einfach zu verstärken, weil so weder der Energiebedarf der Ventilationsmotoren noch der Luftwiderstand für die bergfahrenden Züge sehr gross gewesen wären. Dennoch wurde der künstliche Luftstrom von Bardonecchia nach Modane eingerichtet, um den Rauch rückwärts von den bergfahrenden Lokomotiven wegzublasen; die grosse einseitige Steigung hatte also den grössten Einfluss.

Dieselbe Ueberlegung führte auch beim *Tauerntunnel* dazu, den Wind von Kärnten nach Salzburg, entgegen dem natürlichen Luftzug, zu erzeugen (Lit. 8). Der *Fréjus* wurde 1915, der *Tauerntunnel* 1933 elektrifiziert; seither sind die Anlagen aufgelassen.

Der elektrifizierte *Simplon* tunnel besitzt heute noch eine Ventilationsanlage im Betrieb, die also nur der Kühlung und Trocknung der Atmosphäre dient. Die Maschinenanlage steht auf der Walliser Seite, die Luft wird nach Iselle hinunter gepresst. Dies geschieht in Anpassung an die herrschenden Luftdruckverhältnisse, und um zu verhindern, dass warme und feuchte Luft aus dem Langenseegebiet im Tunnel um 72 m **) ansteigen muss, was Kondensation und zu starke Abrostung des eisernen Oberbaues nach sich ziehen würde (Lit. 7 und 5). Am *Simplon* wie am *Tauerntunnel* kann die Stärke der künstlichen Luftströmung, in Anpassung an die Aussenwinde, abgestuft werden.

Am *Lötschberg* tunnel war während der Bauzeit eine Ventilationsanlage in Funktion, wurde aber, weil der Bahnbetrieb von Anfang an elektrisch war, als entbehrlich abgebrochen ***).

Im *Arlberg* tunnel standen zur Bauzeit Kompressionsanlagen in Verwendung, die ursprünglich auch für die Durchlüftung des Tunnels im Betrieb bestimmt waren. Doch erwies sich, dank den geschilderten günstigen Verhältnissen, die natürliche Lüftung als ausreichend †).

Der *Karawanken* tunnel zwischen den Stationen Rosenbach in Kärnten und Jesenice in Slovenien hat von Natur aus eine sehr un-

*) Mitteilung der Kreisdirektion II der S.B.B.

**) *Simplontunnel*: Höhenlage des Südportals 633 m, des Nordportals 686 m, des Kulminationspunktes 705 m.

***) Mitteilung der Direktion der B.L.S. in Bern.

†) Briefliche Mitteilung von Hofrat Dr. Feiler vom Bundesministerium für Handel und Verkehr in Wien.

günstige Lüftung, weil er senkrecht zu den Richtungen des Drau- und Savetales liegt und eine Portaldifferenz von nur 12 m Höhe aufweist. Es war daher ein Projekt verfasst worden, das eine Ventilation mit wechselnder Richtung vorsah, in Anpassung an die jeweils wehenden Aussenwinde. Man wollte sich beschränken, die natürlichen leichten Luftzüge zu unterstützen, weil die Verhältnisse für die Gewinnung von elektrischer Energie ungünstig schienen. Laut Mitteilung des österreichischen Bundesministeriums für Handel und Verkehr ist nun aber bis heute eine Lüftungsanlage nicht erstellt worden.

Ein originelles System künstlicher Lüftung scheint vor der Elektrifikation auf verschiedenen Bergbahnen, z. B. der Wengernalpbahn, angewendet worden zu sein. Um bei der Bergfahrt den Rauch nicht in die vor der Lokomotive hergeschobenen Personenwagen gelangen zu lassen, wurde jedesmal, wenn ein Zug von unten her in den Tunnel eingefahren war, hinter ihm ein Vorhang zugezogen. Dadurch wirkte der Zug im Tunnel wie ein Kolben in einem Zylinder, verdünnte die Luft hinter sich, wodurch der Rauch rückwärts abgesogen wurde.

Die Niederschläge von Wasser beschränken sich in den Tunneln auf Tau, Reif und Nebelbildung, während Regen und Schneefälle fehlen. Bemerken wir allerdings, dass Tropfwasser und Quellen die Luftfeuchtigkeit in gleichem Masse wie die atmosphärischen Niederschläge beeinflussen können, und jene daher, von Tunnel zu Tunnel, starken Wechseln unterliegt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Klima in einem Tunnel von Natur aus einförmiger ist als im Freien (fast keine Einflüsse verschieden starker Insolation; nur zwei Windrichtungen; keine wesentlichen Niederschläge). Jedoch kommen in den Tunneln, mehr als im Freien oder in natürlichen Höhlen, Beeinflussungen des Klimas durch den Menschen vor. Sie hängen in hohem Masse davon ab, ob der Tunnel im Dampf- oder elektrischen Betrieb steht. Im ersten Fall tritt Trübung und Erwärmung der Luft ein; im zweiten Fall scheinen Einwirkungen auf die Atmosphäre zwar zu fehlen, doch erleidet zweifellos ihr Zustand Veränderungen durch die zwischen Fahrdrabt und Tunnelwandung bestehenden elektrischen Spannungsdifferenzen. Die Lüftung ist ein Problem, das heute besonders in Hinsicht auf die geplanten Automobil-tunnel im Vordergrund des Interesses steht.

Zitierte Literatur.

1. Die Arlbergbahn. Denkschrift aus Anlass des zehnjährigen Betriebes 1884—94. Hg. v. d. K. K. Staatsbahndirektion, Innsbruck, 1896. 4^o, 377 S. 87 Tafeln im, 37 ausser Text.
2. Bechtle, R. Die Luft im Gotthardtunnel. Luzern, 1889. Manuskript auf der Bibliothek der S. B. B. in Bern. 7 S. 3 Tafeln.
3. Biadego, G. B. I grandi Trafori alpini. Milano, Hoepli, 1906. 8^o, 1228 S., dazu Atlas mit 30 Tafeln.
4. Brunner, P. Les Chemins de fer aux prises avec la nature alpestre. Grenoble, 1935. 8^o, 333 S. 37 Fig., 15 Tafeln.
5. Dänzer, A. Ueber die Abrostungserscheinungen am eisernen Oberbau im Simplontunnel. Schw. Bauzeit. Bd. 59, S. 195—201, 212—216. 14 Abbildungen.