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

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

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

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

Heft 25

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-28259

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

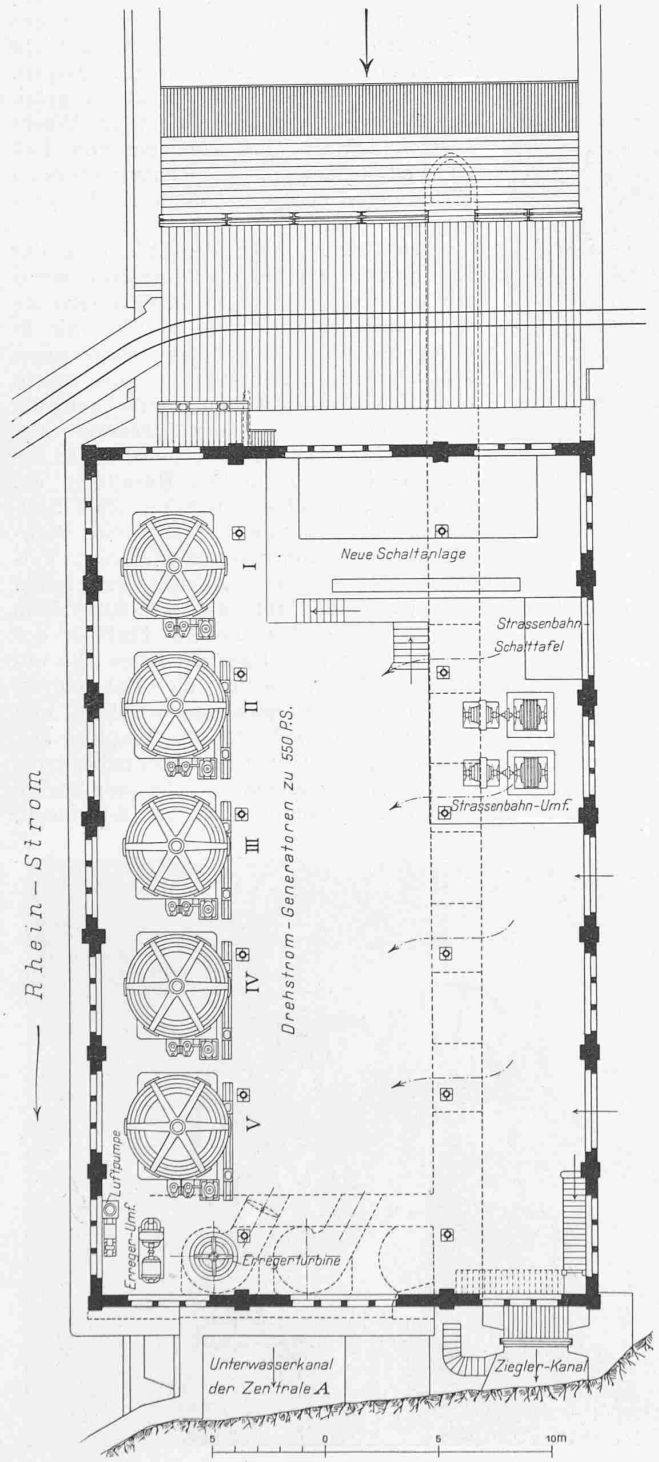
Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

konus gelang es 1901, den Wirkungsgrad der Turbinen für sich allein auf etwa 60 % zu heben, von denen aber, wie gesagt, bei Niederwasser 11 %, bei Hochwasser sogar 19 % in Gefällsverlusten des Zulaufs wieder verloren gingen, sodass die Leistung der Zentrale B nur durch gründlichen Umbau der ganzen Anlage in Einklang mit den vorhandenen Wassermengen und Gefällsverhältnissen gebracht werden konnte.

Zu einer solchen gründlichen Remedur erteilte die Stadtgemeinde Schaffhausen auf Grund eingehender Berichte im Jahre 1905 bezw. 1906 ihre Zustimmung, indem sie den Umbau der Zentrale B auf eine installierte Maschinenleistung von 5×550 *PS*, einschliesslich einer Reserveturbine, und zur Ausnützung der bisher unbenutzbaren Wassermenge während der Nachtstunden den Bau einer



rechtsrheinischen *Zentrale C* beschloss. Diese Zentrale C enthält von B aus elektrisch angetriebene Pumpen, die des Nachts einen Stauweiher im Engewald füllen (Abbildung 2), während tagsüber die dort aufgespeicherte Energie durch Hochdruck-Turbinen und Generatoren in elektrischen Strom umgewandelt wird. Die Zentrale C ist zur Aufnahme von vier Einheiten zu je 1000 *PS* bestimmt, von denen z. Z. zwei installiert sind. Die Beschreibung dieser, erst letzter Tage in Betrieb gesetzten hydraulischen Akkumulierungsanlage wird den zweiten Abschnitt unserer Darstellungen bilden.

Der heutige Ausbau der beiden linksrheinischen Zentralen ist auf Ausnützung der gesamten während 24 Stunden an dieser Stelle noch verfügbaren Wasserkraft des Rheines berechnet. Ihre restlose Verwertung ermöglicht die hydraulische Akkumulierung durch die rechtsrheinische Zentrale C. Eine weitergehende Kraftgewinnung durch Erstellung eines beweglichen Stauwehres an Stelle des Moserdammes ist für spätere Zeiten in Aussicht genommen. Auf diese Weise wären noch etwa 3000 *PS* erhältlich, was durch flusseitige Erweiterung der Zentrale C und Aufstellung neuer Turbinen unter gleichzeitiger Vermehrung der dortigen Akkumulieraggregate erfolgen müsste. (Forts. folgt.)

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

Von *Karl Brandau.*

(Schluss.)

Wir wollen an dieser Stelle noch einen Beitrag zur Kennzeichnung solcher Gesteine geben, die vermutlich in Tunnels von grösserer Tiefenlage sich wiederfinden werden. Gesteine von einem hohen Grade von Standfestigkeit bei der Auffahrung des Stollens zerfielen an den freigelegten Wandflächen der Ausbrüche nach relativ kurzer Zeit und wurden druckhaft. Durch dies Verhalten war alle praktische Voraussicht getäuscht. Dafür dienen die Gesteine auf Km. 5,0 bis 9,0 S. P. als interessantes Beispiel. In unserer Abb. 3 Bd. LIII Seite 20 sind speziell die Gesteinsverhältnisse in der Nähe des Km. 7,0 dargestellt. Zwischen dem Lebendungneis und den Glimmerschiefer-Phylliten befindet sich ein Schichtenkomplex von Marmor und Kalkschieferbänken. Die Verfaltung und Verquetschung der drei verschiedenen Formationen angehörigen Gesteine ist hier eine gewaltige gewesen. Ein Blick auf die Zeichnung der Verfaltungen, wie sie durch Herrn Prof. Schmidt in unserer Abb. 21, S. 75 dieses Bandes bei Km. 7,0 dargestellt ist, muss auch überzeugen, dass diese drei Gesteinsarten von den verschiebenden, verfaltenden und verreissenden Kräften

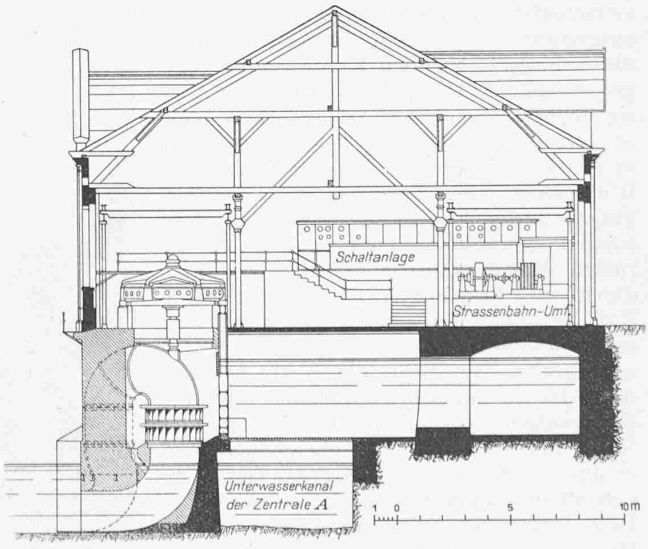


Abb. 9 und 10. Grundriss und Schnitt der Zentrale B nach dem Umbau 1908—1909. — Masstab 1 : 300.

ehemals gleichmässig stark verarbeitet worden sind. Die Gebirgsüberlagerung beträgt 1600 *m*. Aus der Statistik der Stollenbohrung dieser und der nächstgelegenen Strecken entnehmen wir folgende Resultate:

	mittl. Tagesfortschritt	Bohrerschneiden auf 1 *m* Bohrloch
im Lebendungneis:	nicht ganz 5 *m*	5,1 Stück
im Glimmerschiefer-Phyllit:	etwa 5,5 *m*	5,0 „
im Marmor u. Kalkschiefer:	über 7 *m*	3,2 „

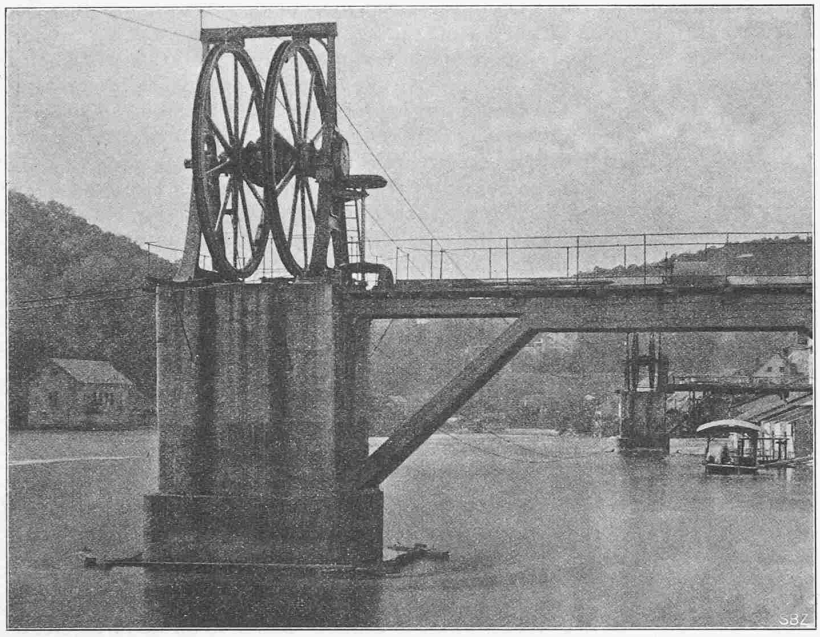


Abb. 4. Pfeiler III der alten Schaffhauser Transmissionsanlage.

Das Verhalten aller Gesteine bei der mechanischen Bohrung liess auf unbedingte Standfestigkeit schliessen. In Härte und Kompaktheit überwogen die Gneise und Glimmerschiefer die Marmore und Kalke weitaus. Nichts hätte voraussehen lassen, dass bald nach der Auffahrung die Strecken in den ersteren Gesteinen Holzeinbau bedurften und bei der Mauerung Anwendung der stärkeren Typen mit Sohlengewölben, während die ganze 290 *m* lange Strecke im Kalke ohne jeden Holzeinbau stand und die Verkleidung mit dem schwächsten Typus ohne Sohlengewölbe gestattete. Unsere Erklärung für ein so widersprechendes Verhalten beruht in der Vermutung, dass Gneis und Glimmerschiefer in Trümmer zerbrochen und ausgewalzt zu dünnen Schiefern, durch die gebirgsbewegenden Kräfte enorm eingequetscht und komprimiert wurden. Aber sie blieben doch unter sich locker, ohne zu verbacken oder zu verschmelzen. Die in gleicher Weise erzeugten und gepressten Bruchstücke der ehemaligen Triaskalke gingen dagegen unter den gleichen Pressungen eine Vereinigung zu einer kohärenten Masse ein. Sei es, dass der Kalk durch die Pressungen sich zu körnigem Kalk umbildete und dabei zusammenwuchs, sei es infolge anderer Vorgänge — kurz und gut — es liegt die Tatsache vor, dass das im ungestörten Zustand mildeste, am wenigsten druckfeste Gestein in der Serie der in Trümmer gebrochenen und in dünne Lamellen ausgezogenen Gesteinen sich allein standfest erwies. Während des Baues mangelte die Erkenntnis der Gründe für dies Verhalten, das nicht wenig beunruhigte. Erst einer längeren Kontrolle gelang es die eingetretenen, anscheinend kolossalen Deformationen, als die stete langsam nach und nach vollbrachte Arbeit kleiner Kräfte zu ermessen. Ein stärkeres Normalprofil, als das am Simplon verwendete, hätte keine Bewegung des Bauwerkes durch solche Kräfte zugelassen. Selbstredend bleibt nicht ausgeschlossen, dass in solchen Strecken auch recht schwierige Baubedingungen auftreten können. Wenn z. B. der Zusammenhang der ausgewalzten dünnen, schiefrigen Schichten gering ist, wenn die Lagerung der Bänke horizontal ist, wenn durch Zutritt von auch nur geringen Mengen von Infiltrationen der Zusammenhang ganz gestört wird und Dekompositionen und Erweichung der Gesteine veranlasst, so können trotz der im ersten Moment wenig bedenklich erscheinenden Zustände ernste Aufgaben an uns herantreten. Keine geologische Voraussicht ist imstande, uns dieselben vorauszusagen. Nur die Erfahrung und praktisch gebildetes Urteil, gepaart mit steter Wachsamkeit können den Ingenieur von Fall zu Fall befähigen, die entsprechenden Sicherungen und Konstruktionen durchzuführen.

Wir stehen unter dem Eindruck der Erfahrungen vom Simplontunnelbau, wenn wir aussprechen, dass die einzigen oder die wesentlichsten Umstände, welche wir in der grossen Tiefe gegenüber weniger grossen Tiefen als neuartig verspürt haben eben jene besprochenen, zuerst kompakt erscheinenden, zusammengepressten aber doch lockern Gesteinsmassen sind. In der Tabelle von statistischen Resultaten auf Seite 354, die einer grösseren Zahl Stollenvortrieben mittelst Brandt'scher Bohrmaschinen unter verschiedensten Verhältnissen entnommen sind, ist einigermassen schon ein Einfluss jener Umstände auf die Arbeitsresultate sichtbar. Wir erkennen zunächst keinen Einfluss der Höhe der Gesteinsüberlagerung. Dagegen fallen die ungewöhnlich ungünstigen Umstände für die Bohrung in den am meisten verstauchten, zusammengequetschten und verfalteten Gesteinen auf der Südseite des Simplon auf. Antigorio, Gips, Lebendungneis, Glimmerschiefer haben trotz des Angriffes mit vier Bohrmaschinen sehr ungünstige Fortschritte ergeben. Der Dynamitkonsum war sehr hoch,

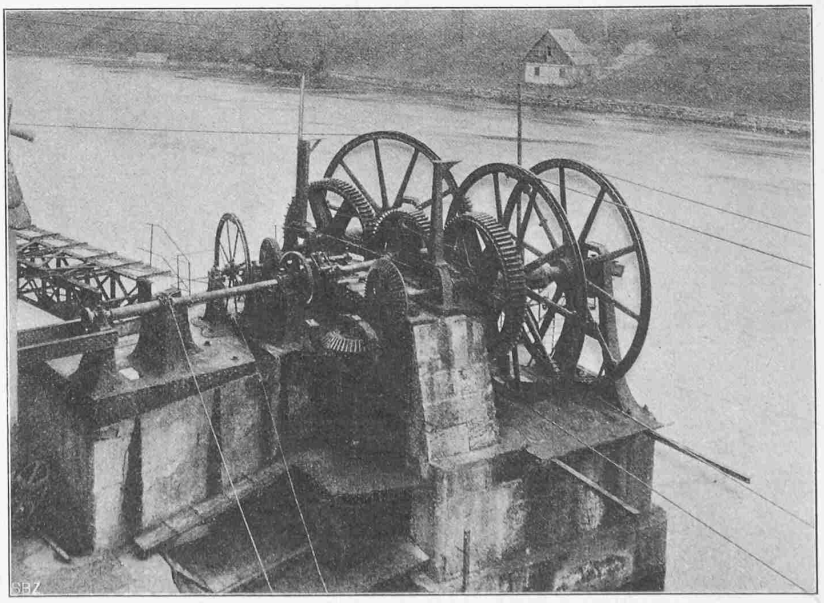


Abb. 5. Richtungsänderung und mehrfache Kraftabgabe auf Pfeiler IV.

der Verbrauch an Bohrschneiden ein unerhörter. Unser praktisch gebildetes Urteil aus vielen Arbeiten in denselben Gesteinsarten liess uns von vornherein wesentlich günstigere Resultate erwarten. Wir haben gehört, dass man den Granit des Albulatunnels als sehr hart bezeichnet hat. In den statistischen Werten ist im Vergleich mit denen von anderen Arbeiten im wirklich harten Gestein davon nichts zu ersehen. Die Härte erweisst sich durch die geringe Zahl Bohrschneider mässig. Die Sprengbarkeit ist durch den geringen Konsum an Sprengmaterial und durch den grossen Attackenfortschritt in ein sehr günstiges Licht gerückt. Mit drei Bohrmaschinen erreicht man denselben mittleren Tagesfortschritt wie in den harten Hornblendegneisen der Simplon-Nordseite mit vier Bohrmaschinen. Hier wie da war die Schichtstellung ziemlich steil und das Gestein geschlossen. Im Albula Tunnel blieb der Granit dauernd standfest; im Simplon aber trat nach der Auffahrung im Gneis der Zerfall ein unter Druckerscheinungen. Die Werte der Tabelle sind der Massstab für das Verhalten der verschiedenen Gesteinsarten während der Arbeit des Stollenauffahrens; sie bekunden, wie obiges Beispiel zeigt, in keiner erkennbaren Weise eine Beziehung mit der sich erst im Laufe der Zeit zu bewährenden Standfestigkeit. Dass diese Beziehungslosigkeit eine absolute ist und jeder Bemühung spotten muss, eine Regel oder einen Einklang aufzuspüren zwischen den physikalischen Eigenschaften, die sich doch in einem grossen Masse in den Tabellenwerten ausdrücken — und zwischen der Standfestigkeit der Ausbruchswandungen oder zwischen der Chance druckhaft zu werden, offenbart sich besonders durch die Ungleichmässigkeiten der Bohrarbeit auf den Strecken in ein und demselben Gestein im Simplontunnel. Das was in einem Monat Regel und Gesetz schien, stellten die Erfahrungen im nächsten Monat auf den Kopf. Unter verwirrenderen und störenderen Erscheinungen hat man nie gebohrt.

Um dafür ein Beispiel zu geben, greifen wir zwei Strecken aus dem Lebendungneis heraus:

Von Km. *6,044—6,187* = 143 lfd. *m* erforderte die Stollenherstellung für 1 lfd. *m* 37 *kg* Gelatine und 20,8 *m* Bohrlochlänge; eine Attacke gab 0,86 *m* Fortschritt.

Von Km. *6,525 bis 6,675* = 150 lfd. *m* erforderte die Stollenherstellung 25,4 *kg* Gelatine und 14,3 *m* Bohrlochlänge; jede Attacke ergab 1,00 *m* Fortschritt.

Das Gestein beider Strecken erschien ohne wahrnehmbaren Unterschied bezüglich Schichtenlagerung, Kompaktheit, Ueberlagerungshöhe, Aussehen usw. gleich. Auch lag anfänglich nicht der mindeste Grund vor, die absolute Standfestigkeit beider Strecken in Zweifel zu ziehen. Und trotz alledem musste man sehen, dass diese Gesteine lebendig wurden — und in welchem Verhältnis? Auf der zähesten Strecke bei Km. 6,044 musste auf der Gesamtlänge von 143 Sohlengewölbe eingebaut werden. Auf der mildern hingegen bei Km. 6,525 hat man nur 20 lfd. *m* vorsichtshalber mit Sohlengewölbe gesichert.

Alle diese Erscheinungen hat man durch den mysteriösen Gebirgsdruck erklärt oder ihn zum mindesten als einen bedeutsamen Faktor im Verhalten der Gesteine dargestellt. Wir sehen, wie inkonsequent derselbe wirken muss, wie willkürlich und kapriziös — im milden Kalke deformiert er ja nicht, wohl aber

Elektrizitätswerk der Stadt Schaffhausen.

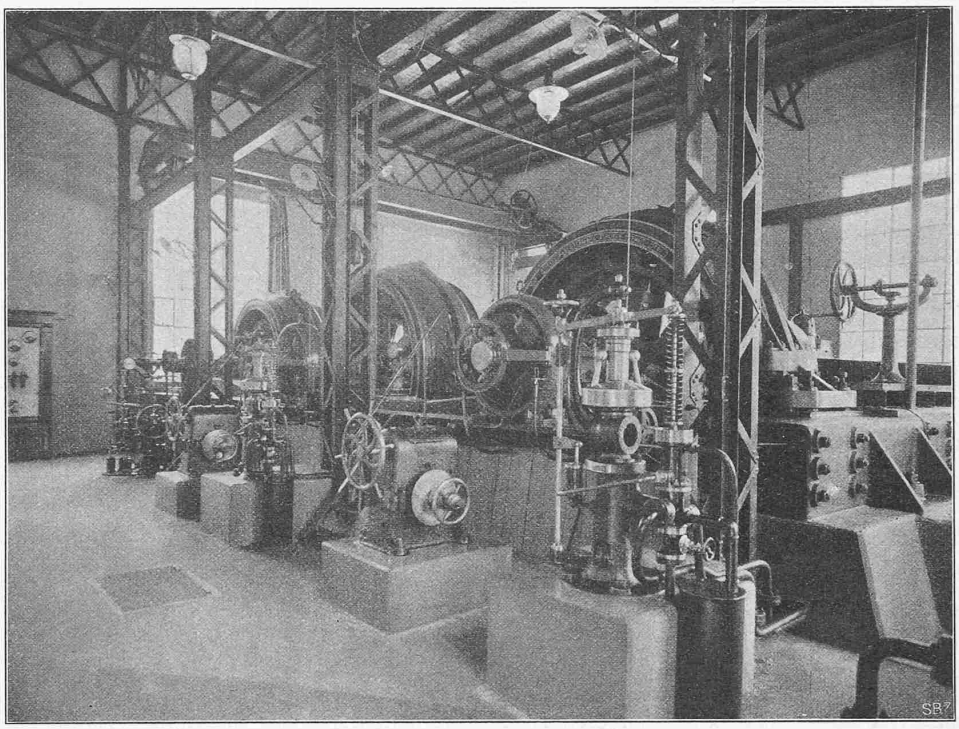


Abb. 7. Inneres der im Jahre 1900 umgebauten Zentrale A.

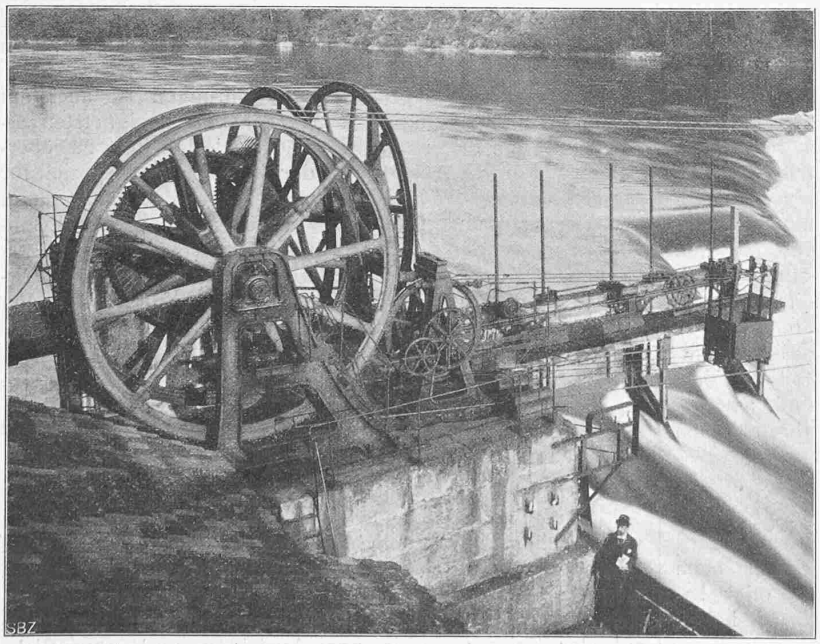


Abb. 3. Winkeltrieb auf Pfeiler I der alten Schaffhauser Seiltransmission.

im allerhärtesten und kompaktesten Gneise. Wir finden die einzig konsequente Erklärung dafür in der Breccienatur der Gesteine und in dem streckenweise unverbackenen, zusammenhanglosen Gefüge dieser Breccienmassen. Im Abschnitt IV dieser Abhandlung haben wir gezeigt, in welchen Grenzen sich nach der Erfahrung im Simplontunnel die Druckerscheinungen in solchen Gesteinen halten bei streng sachkundigem Bauvorgehen.

gungen hindert. Im Simplon hat man bei 2000 *m* Ueberlagerung keine Spuren von Gebirgsdruck erkennen können. Wie sich die Verteilung der Schwerelast in Wirklichkeit gestaltet, konnten wir freilich nicht andeuten. Wer die ernstliche Beschäftigung mit der Lehre vom Gebirgsdruck für müssig ansehen sollte, irrt. Schon jetzt, beim bevorstehenden Baue des zweiten Simplontunnels, ist es vonnöten, sich klar zu werden, welcher Art die Kräfte

Tabelle statistischer Mittelwerke aus Stollenherstellungen mittelst Brandt'scher Bohrmaschinen unter den verschiedensten Verhältnissen und bei verschiedenster Gesteinsüberlagerung.

Gegenstände:		Brandleite-Tunnel	Albula-Tunnel	Simplon-Tunnel				
				Südseite				Nordseite
Bezeichnung der Arbeitsstrecken	Km.	—	—	1,60—3,182	4,581—5,038	5,57—6,976	7,14—9,117	8,261—9,645
Länge derselben in	*m*	1026	1550	1582	447	1406	1977	1384
Gesteinsart		Felsit Porphyr	Granit	Antigorio-Gneis	Gips	Lebendun-Gneis	Kalk-Phyllit	Hornblende-Gneis
Lagerungsverhältnisse		massig	steil gerichtete Bänke	sehr flach liegend; dickbankig	wenig aufgerichtet	wenig aufgerichtet dicht, kompakt	wenig aufgerichtet	stärker aufgerichtete verschieden starke Bänke
Höhe der Ueberlagerung	*m*	400	800—900	700—1500	1200—1600	1700	1700	1600—2200
Stollenfortschritt in 24 *Std*	*m*	4,03	6,60	4,35	7,55	5,30	5,54	6,65
Zahl der Bohrerschneiden für 1 lfd. *m* Bohrloch	Stück	—	3,1	5,5	2,2	4,2	4,6	4,2
Gelatineverbrauch für 1 *m* Stollen	*kg*	28,7	20,7	25,8	27,4	33,0	30,0	22,8
Attackenfortschritt	*m*	1,15	1,3	1,12	1,21	0,95	1,1	1,26
Zahl der Bohrmaschinen	Stück	3	3	4	4	4	4	4

Für die Unterbringung von *Abwasserkanälen* von unter allen Umständen genügendem Querschnitt bietet die Paralleltunnelmethode nur knappen Raum. Die Rücksicht auf den Kanal zwingt sogar auf Strecken mit Sohlengewölbe, durch die erforderliche tiefe Lage desselben, an einem der Widerlager, längs dem der Kanal geführt werden muss, zu einer etwas kostspieligeren Anlage als im zweigeleisigen Tunnel. Ueberdies ist es für die Zukunft erforderlich, in jedem der beiden Tunnels einen Kanal anzuordnen — anders als beim Baue des Simplontunnels, wo nur im Tunnel II ein Kanal vorgesehen war. Nachdem im Tunnel des Colle di Tenda und im Simplon Zuflüsse bis 1200 *l/Sek.* angetroffen worden sind, wird man auch für künftige lange Tunnels an die Möglichkeit ähnlich grosser Zuflüsse denken müssen und seine Anordnungen demgemäss zu treffen haben. Die Herstellung der Kanäle in einem Tunnel bei forciertem Baubetrieb ist unvermeidlich mit kleinen Fehlern im Querschnitt und im Gefälle verbunden. Auf Strecken in stärkerem Gefälle als 2 ‰ werden solche Fehler Einfluss auf die Wassergeschwindigkeit haben und starke Stauungen an einzelnen Stellen hervorrufen. Selbst beim besten glatten Zementverputz der Kanalwandungen müssen aus diesem Grunde für die Berechnung der Wassermengen, die die Kanäle abzuleiten im Stande sind, die Werte der üblichen Koeffizienten vermehrt werden. Ein nach dem Vorschlage von A. Thommen (siehe Abschnitt VI, Seite 197 dieses Bandes) angeordneter Seitenstollen beim Baue eines zweigeleisigen Tunnels hat den Vorzug, dass er mit Leichtigkeit, auch die allergrössten Wassermengen, die unvorhergesehen in den Tunnel einbrechen könnten, aufnehmen und ableiten kann. Daneben eignet er sich auch zur Unterbringung aller Kabel, Kühlleitungen, Telephone usw. In dieser Hinsicht sind die Vorteile, die mit dieser Baumethode verbunden sind, ansehnliche. Wir müssen deshalb an dieser Stelle ihren hohen Wert für die Lösung des Problems hervorheben.

Schlussbemerkung.

Unsere Abhandlungen hatten zum besondern Zweck die Aufgaben zu ermitteln, die dem Ingenieur beim Baue tiefliegender Tunnels begegnen können oder begegnen werden. In der Lehre vom Gebirgsdruck haben wir einen Grund erkennen müssen, der uns den Blick trübt nnd das Erkennen der wahren statischen Baubedin-

sind, welche im Gestein Bewegungen und daraus Zerstörungen des bestehenden Bauwerkes hervorrufen können. Das Erkennen der lockeren Gebirgsbeschaffenheit und derjenigen Mittel, die weitere Lockerung der Gesteine zu verhüten haben, ist nur möglich, wenn man sich von der Voreingenommenheit durch die Lehre frei macht. Im Hinblick auf die dünne Verkleidung von Tunnel I ist die Aufgabe auf den ersten Blick nicht einfach. Dennoch ergibt sich aus den von uns mitgeteilten Erfahrungen über die Gesteinsbewegungen im Tunnel I ein Weg, der zur Vermeidung von Gefahren möglichst günstig ist.

Betreffend die Gesetze der Wärmeverteilung haben wir uns der Theorie der HH. Königsberger und Thoma angeschlossen. Wir mussten aber die Unterbrechungen der Gesetzmässigkeit durch zufällige Umstände als eine häufige und sehr grosse nachzuweisen versuchen. Eine sichere Voraussage der Wärmezustände im Erdinnern besteht danach nicht. Wir haben dann die Bedeutung von den zufälligen Umständen des Wasserzutrittes und besonders warmer Wasser und von dem Vorkommen von Druckpartien für den Tunnelbau dargestellt.

An Hand der praktischen Erfahrungen ist auch auf die Baumethoden hingewiesen, welche am geeignetsten erscheinen, um die möglichen Bauschwierigkeiten zu überwinden. Für die Ausführung der Arbeiten und speziell für die Herstellung des Mauerwerks zu einem dauerhaften und druckfesten Bauwerk teilten wir ebenfalls unsere Erfahrungen mit. Einer späteren Darstellung kann es vorbehalten bleiben, ausführlich über die Baubetriebs-Organisation, Förderung, Arbeitsdispositionen und über die Arbeitsleistungen beim Baue solcher Tunnel beizutragen.

Wettbewerb
für eine Strassenbrücke über das Rotbachtobel bei Rothenburg (Luzern).

Auf den Seiten 342 von Band LIII haben wir die wesentlichen Programmpunkte dieses Wettbewerbes und auf Seite 260 dieses Bandes dessen Schlussergebnisse gebracht. Heute sind wir in der Lage, das Gutachten des Preisgerichtes ausführlich zu veröffentlichen und fügen demselben auf der Seite 356 bis 359 Ansichten und wesentliche Pläne der beiden erstprämiierten Projekte bei. Es sind