

Der Bau des Arlbergtunnels.

Von

FRANZ RITTER VON RŽIHA,
k. k. Professor.

Vortrag, gehalten am 19. November 1884.

Mit einer Tafel.



I. Allgemeine Schwierigkeiten der Tunnelaufgabe.

Durch den Auftrag der Projectirung und der Erbauung des Arlbergtunnels wurden die beteiligten technischen Kreise vor eine überaus ernste und schwierige Aufgabe gestellt, und zwar aus drei Gründen. Zunächst deshalb, weil es unter allen Umständen ein schwieriges bergtechnisches Unternehmen ist, auf eine Weglänge von rund $10\frac{1}{4}$ Kilometer unterirdisch vorzudringen, bei welchem Vordringen man auf alle Angriffe jener Mächte der Natur gefasst sein muss, die im finsternen Schoosse der Erde ruhen, und die der Mensch nur dann wecken darf, wenn er durch die Kraft der Wissenschaft sich für befähigt erachtet, ihren Ansturm auszuhalten. Der zweite Grund des Ernstes und der Schwierigkeit lag in der drakonischen Forderung der Staatsverwaltung bezüglich der grössten Sparsamkeit im Zeit- und Geldaufwande für diesen Riesenbau. Zur Erläuterung dieses Grundes müssen wir die Vorgeschichte der Arlbergbahn in Erinnerung bringen.

Bekanntlich wurde diese Alpenlinie schon zur Zeit des Baues der Brennerbahn von Ganahl geplant, und rühren die ersten technischen Vorstudien aus dem

Jahre 1866 und von dem Oberbaurathe Thommen, dem Erbauer der Brennerbahn, her. Wie gross jedoch auch die Erkenntniss der Nothwendigkeit dieser Eisenbahn wegen des Anschlusses der blühenden Provinz Vorarlberg an das Schienennetz des Reiches, wegen der Erschliessung des Verkehrs mit der Schweiz, Süddeutschland und Frankreich, wegen des vermehrten Aufschlusses des Landes Tirol, wegen der strategischen Interessen, endlich wegen der Begegnung der unterwegs auftauchenden Concurrrenz des Gotthardprojectes war, so musste das geplante Unternehmen zunächst doch der Zeit anheimgestellt werden, weil die Kosten, zu denen kein anderer Staat (wie es bei der Alpenlinie durch den Mont-Cenis und durch den St. Gotthard der Fall war) beitrug, zu gross erschienen, als dass sie das Privatcapital, oder nach der damaligen Sachlage der Staat, ganz oder theilweise hätten auf sich nehmen können. Im Laufe der Jahre nahmen aber die Erwägungen der Nothwendigkeit dieser Eisenbahnstrecke, genährt durch die Presse und durch Vorträge an allen Orten, so an Intensität zu, dass die Regierung, selbst im Hinblick auf die bedeutende Geldausgabe, das Project ernsthaft plante.

Als Frucht dieses Entschlusses entstand die eingehendste Untersuchung der zwei möglichen Linien: a) durch das Montafoner und Patznauner Thal mit der Durchbohrung des 1870 M. hohen Zeynerjoches und b) durch das Kloster- und Rosanathal mit der Durchbohrung des 1780 M. hohen Arlbergjoches. Hiernach

musste aus Verkehrs- und technischen Gründen die letztere Linie gewählt werden. Für diese wurden nunmehr nicht weniger als fünf Varianten mit Tunnellängen zwischen 5518 M. und 12.400 M. studirt und wurden die Ergebnisse dieser von dem um die technische Entstehung der Arlbergbahn hochverdienten k. k. Hofrathe Ritter von Pischoff geleiteten Untersuchungen in einer Denkschrift vom Jahre 1872 ¹⁾ niedergelegt, welche einen ganz hervorragenden Platz in der Literatur der Wissenschaft vom Eisenbahnbaue einnimmt.

Der damalige Handelsminister Se. Excellenz Herr Dr. Banhanns berief wegen der Schwierigkeit des Falles eine Enquête, welche sich für die Variante mit dem tiefliegenden, 12.400 M. langen Tunnel aussprach; daraufhin wurde dem Parlamente eine Vorlage gemacht, welche jedoch nicht zur Erledigung gelangte. Auf Grund von neuerlichen Studien wurde im Jahre 1876 eine zweite Vorlage an das Parlament geleitet, welche das Project eines vom damaligen technischen Chef des Eisenbahnwesens W. v. Nördling befürworteten, zwar nur 6470 M. langen, aber um 156 M. in der Alpenregion höher liegenden und nur eingeleisigen Scheiteltunnels enthielt. Dieses Project erlitt in den österreichischen technischen Kreisen so viele Anfechtungen, dass der Gesetzentwurf im Parlamente abermals das gleiche Schicksal des ersten erfuhr. Drei Jahre später

¹⁾ Technischer Bericht über das Project der Arlbergbahn, Wien 1872.

(1879), nachdem inzwischen der Gotthardbau immer dringender zur endlichen Lösung der Frage der Arlbergbahn drängte, wurden zum vierten Male Studien für eine zweckmässigste und thunlichst billige Tunnelinie unternommen. Das Ergebniss waren wiederum zwei Varianten; die eine, vertreten durch den technischen obersten Chef W. v. Nördling, betraf abermals einen eingleisigen, 1388 M. hoch liegenden und nur 7000 M. langen, die andere, vertreten durch den technischen Chef der Generalinspection Hofrath M. v. Pischoff, einen zweigleisigen, 10.270 M. langen und nur 1310 M. hoch liegenden Tunnel. In Folge dieses technischen Streites berief der Minister eine technische Commission, welche sich in der Majorität für die Trace mit tiefliegendem Tunnel aussprach, wornach die Vorlage an das Parlament geleitet wurde. Während der diesfälligen Verhandlungen wurde diese für Oesterreich hochwichtige technische Frage auch noch im österreichischen Ingenieur- und Architekten-Verein debattirt, dort ebenfalls dem Projecte mit tiefliegendem Tunnel der Vorrang eingeräumt, und nunmehr gelangte die Regierungsvorlage mit der tiefliegenden, jetzt gebauten Trace im Parlamente zur Annahme, wonach am 15. Mai 1880 der Bauauftrag und schon am 24. Juni 1880 der Baubeginn des grossen Tunnels durch den leider zu früh und inmitten seines Wirkens verschiedenen Chef der Staatseisenbahn-Direction Julius Lott erfolgte.

Aus dieser Vorgeschichte des Arlberger Tunnelbaues ist nun ersichtlich, dass die österreichische Re-

gierung wegen der durch die hohen Baukosten schwierig gemachten Durchbringung der Parlamentsvorlage und wegen der verlorenen Angriffszeit absolut genöthigt war, zunächst an die projectirenden Ingenieure mit den allerschärfsten Forderungen an Zeit und Geld heranzutreten, und dass diese, geführt von dem Hofrathe v. Pischhoff, zunächst und vorher den ganzen Bau geistig durchzumachen und nüchtern zu erwägen hatten, wie weit sie diesen drakonischen Anforderungen nachkommen konnten. In Erwägung aller geschehenen und unzweifelhaft beim Baue selbst zu machenden Fortschritte wurde nun auf ein Ausmass an Zeit und Geld herabgegangen, welches bisher keine Analogie besass, wie dies die folgende, zwar kleine, aber inhaltsreiche Tabelle ausspricht.

Bei den drei Alpentunneln	Mont-Cenis	St. Gotthard	Arlberg
	(Ausführung)	(Ausführung)	(Project)
Beträgt die Länge . . .	Meter 12333	14900	10270
Wurde Bauzeit beansprucht	Jahre 14	9	5
Also per Jahr fertig . .	Meter 881	1655	2054
Betruhen die Baukosten per Meter, rund . . .	Gulden 4000	2800	1600

Die dritte, Eingangs geschilderte Schwierigkeit der Arlberger Tunnelaufgabe bestand nun darin, dass die von dem Oberbaurathe Lott geführten und mit der Herstellung des Baues beauftragten Ingenieure dieses überaus knappe Ausmass an Zeit und Geld auch einzu-

halten und trotz aller eventuellen Vorkommnisse, auf die man bei einem unterirdisch zu machenden Wege von nahezu $1\frac{1}{2}$ Meilen immerhin gefasst sein muss, den Bau auch tadellos herzustellen, also den altbewährten Ruf der österreichischen Tunnelingenieure auch aufrecht zu erhalten hatten. Diese Wahrung einer, wie es die geschichtliche Entwicklung unserer Wissenschaft und unsere Stellung in der Literatur zeigt, mühsam erworbenen Reputation war hier um so nothwendiger, als das Corps der österreichischen Tunnelingenieure in dieser Richtung bereits vor dem Bauangriffe ernstlich engagirt war. Es war nämlich im Jahre 1874 im deutschen polytechnischen Vereine in Prag und im Jahre 1875 im österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereine ¹⁾ die These aufgestellt und vertheidigt worden, dass der St. Gotthardtunnel unrichtig angegriffen worden sei und dass der Arlbergtunnel nach einem andern Principe erbaut werden müsse, ein Streit, welcher von den Anhängern des St. Gotthardbaues vehement aufgegriffen wurde und von dessen Lebhaftigkeit die in- und ausländische technische Literatur ²⁾ jener Tage Zeugniß gibt.

1) Beurtheilung des St. Gotthard-Tunnelbaues, Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins, 1875.

2) Der Bau des St. Gotthardtunnels, Brugg 1875; Tunnel mit maschineller Richtstollenbohrung, Luzern 1883.

II. Principielle Anordnungen.

In einem Tunnelbaue müssen die verschiedenartigsten Arbeiten, wie Gewinnen des Gebirges, Auszimmern der Räume, Ausförderung der gewonnenen Massen (Berge), Einföderung der Baumaterialien, Aufstellung der Bohrgerüste, Vornahme der Auswölbung, Einführung von frischer und Austreibung von schlechter Luft, Fortschaffung des Wassers und Veranstaltung künstlicher Beleuchtung vorgenommen werden. Bei einem Alpentunnel tritt noch hinzu: 1. dass die Bohrung eines vorausseilenden Stollens¹⁾ und die Ventilation mittelst Maschinen geschehen muss, also vielerlei mit bewegter Luft und Wasser gefüllte Röhren in dem Baue liegen und mit dessen Vordringen immer wieder verlängert werden müssen; 2. dass die Förderung der Berge und des Baumaterials mittelst eigenartig construirter Locomotiven erfolgen, also ein sehr rascher Verkehr im Tunnelinnern stattfinden muss; 3. dass auf jeder Seite des Baues stets an 800 bis 1000 Menschen zu arbeiten und zu verkehren haben; endlich 4. dass dieses Arbeitsgewühl sich tadellos viele Kilometer weit von aussen befindlicher Hilfe abwickeln muss. Man sieht also leicht ein, dass bei einem Tunnelbaue der ganze Angriffsplan vorher in der sorgfältigsten Weise und nach den Regeln der Wissenschaft durchdacht, gewisse

¹⁾ Leistungen der Mechanik bei den Bohrungen im Mont-Cenis und St. Gotthard. Schriften des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien, 1876.

Principien aufgestellt und bei dem einmal gemachten Plane verblieben werden muss, wenn anders nicht enorme Summen an Geld und Jahre an Bauzeit verloren gehen sollen.

Es kann nun hier nicht meine Aufgabe sein, all' diese Principien vorzuführen, aber auf einige muss doch aufmerksam gemacht werden, weil sie die Basis der grossen Erfolge der Administration und der Wissenschaft beim Baue des Arlberges geworden sind und diese Erfolge sonst nicht verstanden werden können.

Die erste Frage, welche an das Ministerium und an die Baudirection herantrat und mit Vertrauensmännern besprochen wurde, war diejenige des geschäftlichen Modus der Bauausführung: die Frage, ob General-Bauunternehmung oder Regiebau mit Loosunternehmern? Auf einem grossen, nach Jahren an Zeit und Millionen an Gulden zählenden Baue muss Derjenige Herr sein, der das Risico trägt: bei der Wahl eines leistungsfähigen Generalunternehmers hatte der Staat die Sicherheit des finanziellen Calcüls gegenüberstehend der Hingabe des technischen Einflusses auf die Ausführung; bei Loosunternehmern hatte er die Vortheile der Dispositionsfreiheit gegenüber dem finanziellen Risico der Ausführung. Die Regierung wählte, wie dies der Erfolg bestätigt hat, mit Recht die letztere Form und übertrug die Ausführung den Unternehmern Ceconi und Brüder Lapp, welche auf Grund ihrer Vergangenheit warm empfohlen werden konnten, obzwar der Erstere bis dahin kein eigentlicher Tunnelunter-

nehmer gewesen war. Nach diesem Entscheide musste die Baudirection gewisse technische Principien und Massnahmen aufstellen, deren wesentlichste folgende sind.

1. First- oder Sohlenstollen.

Man kann ein Tunnelprofil, welches etwa 75 Quadratmeter gross ist, nicht mit einem Male ausgraben oder aussprengen, sondern muss dies in verschiedenen kleinen Partien thun, von denen eine immer vorerst ausgesprengt wird, also den übrigen vorausseilt. Man legt diesen stollenförmigen Raum entweder oben in das Profil des Tunnels, oder unten, und heisst ihn dann einen Firststollen (Fig. 1 und 2) oder einen Sohlenstollen (Fig. 3 und 4).

Da man immer von oben herab arbeitet, so muss, wenn der Sohlenstollen angewendet wird, ausserdem und hinterher dennoch der Firststollengegraben werden, und man spart also bei der Methode mit dem Vorausgehen eines Firststollens eine Stollengrabung, d. h. Geld, weil die Stollenausgrabung oder Aussprengung immer sehr theuer ist. Die Vertheidiger dieser Methode sagen also, sie sparen. Dagegên hat der vorausseilende Firststollen gegen den vorausseilenden Sohlenstollen folgende Nachtheile: Er bringt das Wasser, welches in dem frisch angehauenen Gebirge, also im Firststollen, zuerst und am mächtigsten erscheint, dem ganzen übrigen Baue zu, dieses läuft also über die Partie des übrigen Tunnelprofils stetig herab, d. h. stört die Arbeiter daselbst. Ferner müssen bei der Methode des Firststollens zwei

Förderbahnen liegen, eine, welche in dem mit Maschinen betriebenen, also weit vorauseilenden Firststollen, die andere, welche auf der Sohle des Tunnels liegt; beide Bahnen müssen durch schiefe Ebenen verbunden und diese immerwährend verlegt werden; es erwachsen also dadurch wieder Störungen und Zeitverluste. Drittens müssen die Bohrmaschinen, die leeren Wagen, die Röhren für die Betreibung der Bohrmaschinen immer von unten hinauf gebracht, respective die letzteren immer verlegt werden. Viertens entstehen beim Firststollen Wasser-säcke im Baue. Weil nämlich der maschinell betriebene Stollen so stark voraus eilt, dass, um ihm nachzukommen, in verschiedenen Distanzen seiner Länge das Tunnelprofil ausgeweitet wird, so entstehen Abgrabungen, welche beim Firststollen-Betrieb keine Sohlenverbindung besitzen, wie dies die Skizze Fig. 2 erläutert. Man sieht also leicht das Uebergewicht des Sohlenstollens in Bezug auf Ersparung von Zeit und Geld und in Bezug auf Zweckmässigkeit ein und wurde auch deshalb und entgegengesetzt dem angerühmten Firststollen-Verfahren des St. Gotthardtunnels beim Arlberger Tunnel die Vornahme des Betriebes mittelst Sohlenstollen angeordnet.

2. Maschineller Bohrbetrieb.

Seit den Anfängen des maschinellen Bohrbetriebes, welche durch Bartlett (1854), Grandis, Grattoni und Sommeiller (1857) am Mont-Cenis, und durch Schuhmann beim Rothsönberger Stollen in Sachsen (1855)

eingeleitet wurden, hat dieses Verfahren einen ausserordentlichen Aufschwung genommen, und besitzen wir gegenwärtig zwei Systeme, Sprenglöcher zu bohren: 1. das Schlagbohr- oder Percussionssystem, welches das Loch in seinem vollen Querschnitt mittelst Meisselstößen herstellt, und 2. das Drehbohrsystem, welches mittels einer cylinderförmigen, dicken Stahlsäge einen Ring ausbohrt und inmitten einen Steinkern stehen lässt, der jedoch wegen der Gesteinslassen immer, oder wenigstens mit ganz geringer Nachhilfe ausbricht.

Das Schlagbohrsystem bohrt Löcher zwischen 35 und 50 Mm. Durchmesser mittelst Maschinen, welche durch comprimirte Luft von $2\frac{1}{2}$ —6 Atmosphären gespeist werden; es hat eine für die praktische Verwendung ausserordentliche Vervollkommnung erfahren, ist zur Zeit das verbreitetste, besitzt jedoch zwei den Nutzeffect beeinträchtigende Nachtheile, nämlich die Aufwendung an Arbeit für das Zurückziehen des Bohrers nach dem erfolgten Schlage, und die Aufwendung an Arbeit auf die unvermeidlichen Erschütterungen des circa 2500 Kilogramm schweren Bohrstuhles, auf welchem 6—8 Maschinen ruhen.

Das Drehbohrsystem, welches Löcher von 70 bis 80 Mm. Durchmesser herstellt, arbeitet continuirlich und ohne Erschütterungen, spart also an mechanischer Arbeit. Beim Baubeginne des Arlbergtunnels lag die Sache zwischen den beiden Bohrsystemen derartig, dass die Stossbohrmaschinen den Erfolg am Mont-Cenis, am St. Gotthard, in vielen kleineren Tunnels und im Berg-

baue aufzuweisen hatten, während das von Ingenieur Stapff angeregte und vom Ingenieur Brandt praktisch in Gang gesetzte Drehbohrsystem noch sehr jung war. Seine Vortheile, zu jener Zeit empirisch erwiesen im Sonnsteintunnel (Gmunden-Ischl), im Pfaffensprungtunnel (St. Gotthardbahn) und in einigen Bergwerken, namentlich zu Zauckeroda in Sachsen, leuchteten jedoch derartig ein, dass die Staatsbauverwaltung zu dem Entschlusse kam, beide Systeme am Arlberge in Action treten zu lassen, wie eine solche Disposition auch die Preussische Staatsbauverwaltung beim Baue des Brandleithetunnels in Thüringen getroffen hatte. Zu diesem Zwecke wurde durch locale Verhältnisse einerseits, und durch die Neigung der angehörten Unternehmer andererseits bestimmt, dass das Schlagbohrsystem auf der Ostseite (St. Anton in Tirol) und das Drehbohrsystem auf der Westseite (Langen in Vorarlberg) zur Anwendung gelangen und beide Systeme zum Vortheile des Baues in technische Concurrenz treten sollten.

3. Wahl des Abbausystems.

Wir besitzen verschiedene nach Nationalitäten benannte Systeme, einen Tunnel herzustellen, und unterscheiden sich dieselben je nach den Variationen, in denen man das ganze Tunnelprofil abgräbt oder absprengt; je nachdem man den successiv entstehenden ausgehöhlten Raum mit Holz oder mit Eisen, und zwar in dieser oder in jener Weise ausstützt; je nachdem man die Mauerung in diesen oder jenen Profiltheilen

zuerst angreift; und je nachdem man, all' diesen variierenden Vorgängen entsprechend, die Förderung so oder anders einrichtet.

In der Wissenschaft gibt es jedoch nur eine Wahrheit; es ist also akademisch nicht zulässig, ein jedes System als das beste anzusehen, vielmehr wird es für bestimmte locale Verhältnisse des Gebirges und für bestimmte Dispositionsaufgaben nur ein richtiges Bausystem geben, heisse es nun so oder so, oder sei es eine Vermengung von Theilen einzelner Systeme. Diese wissenschaftliche Meinung stösst aber noch an die Gewohnheit, mit einem bestimmten System zu arbeiten, und an die Uebung der Arbeitsleute in einem bestimmten Systeme.

Für den Arlbergtunnel wurde nach ausschlaggebender Anhörung der Unternehmer das sogenannte englische System gewählt, jedoch mit der Variation, dass Mittelunterstützungen, wie sie durch das neue deutsche System zuerst an der Rhein-Nahebahn eingeführt wurden, zugelassen wurden, welche Mittelunterstützungen das reine englische System bekanntlich verwirft.

III. Einrichtung des Baues.

Dieselbe theilte sich in vier Theile: a) in die Einrichtung für die Unterkunft, Versorgung und Krankenverpflegung der Arbeiter; b) in die Einrichtungen für die Oberleitung und den administrativen Betrieb des Baues; c) in die Einrichtungen für die technische Beschaffung und Herbeibringung der Baumaterialien; end-

lich d) in die Einrichtung für den technischen Baubetrieb, die sogenannte technische Installation. Die Einrichtungen ad a) mussten sich auf einen heranzuziehenden Arbeiter- und Beamtenstand von etwa 5000 Personen erstrecken, und rechnet man Frauen und Kinder, Gastwirthe und Handwerker, Kaufleute, Fuhrleute etc. hinzu, so darf man (nähere diesbezügliche Angaben sind mir momentan nicht bekannt) wohl annehmen, dass der grosse Tunnelbau eine Bevölkerung von etwa 10.000 Menschen plötzlich in die einsame, 1300 M. hoch gelegene Alpengegend versetzte.

Für die Unterbringung und materielle und geistige Verpflegung dieser Bevölkerung vereinigten sich alle Kräfte, und es kann nicht rühmend genug hervorgehoben werden, dass die der Staatsbaudirection und den Unternehmern diesfalls obliegenden Vorkehrungen aussergewöhnlich umfangreich und tadellos und über das Maass der Verpflichtungen hinaus- und in Handlungen des Humanismus übergehend waren. Eine Beschreibung der ad b) und c) getroffenen, allseitig als mustergiltig angesehenen Einrichtungen würde zu weit von meinem Thema ablenken, und ich gehe sofort auf eine Skizzirung der technischen Installationen über. Diese bestanden auf beiden Tunnelseiten ausser den grossartigen Maschinenhäusern, Maschinenreparaturwerkstätten, Schmiede- und Wagnerwerkstätten, Magazinen etc., vornehmlich in folgend beschriebenen, maschinellen Einrichtungen für den Bohr- und Ventilationsbetrieb.

a) Ostseite.

Das aus circa 100 Quadratkilometern erfließende Wasser des Rosanabaches wurde in zwei Holzgerinnen von 0·8 Quadratmeter Wasserquerschnitt und 5·5 Kilometer Gesamtlänge den Turbinen und Wassersäulmaschinen zugeführt, in denen es, je nach dem Wasserstande, 800—1700 Pferdekkräfte, im Mittel etwa 1200 Pferdekkräfte roh abgab. Die Druckleitungen bestanden aus 90 Ctm. weiten, 7—11 Mm. starken Röhren. Die Turbinen besorgten die Bewegung von Compressionsmaschinen, mittelst denen die Luft zum Bohrbetriebe bei günstigen Wasserverhältnissen bis auf sechs Atmosphären verdichtet wurde; die Wassersäulmaschinen bewegten theils Compressoren, theils Cylindergebläse; letztere spannten die Ventilationsluft auf $1\frac{1}{5}$ — $4\frac{1}{5}$ Atmosphären, welcher Druck genügte, um sie im Tunnel vor Ort zum Ausströmen zu bringen. Für die motorische Bedienung der Bohrmaschinen wurde durch eine in den Tunnel immer bis nahe vor Ort reichende Röhrenleitung von 22 Ctm., für die Ventilation durch eine solche von 40 Ctm. Durchmesser gesorgt; ausserdem führte noch eine dritte Röhrenleitung, die unter natürlichem Drucke stand und 4·2 Ctm. Durchmesser hielt, frisches Wasser in den Bau, welches dort zum Trinken, Mörtelbereiten und zum Ausspülen der Bohrlöcher etc. diente.

Es mussten also auf der Ostseite fortschreitend mit dem Ortsstosse des Sohlenstollens immerwährend drei Röhren nachgeführt und im Sohlenstollen gela-

gert werden. Beim St. Gotthardtunnel lagen derlei Röhren theils unten auf der fertigen Tunnelsohle, theils auf Consolen an fertigem Mauerwerke, theils auf der Sohle des Firststollens, und die stetigen Veränderungen in dieser Lage waren ein sehr grosser Uebelstand, welcher am Arlberge durch die Disposition des Sohlenstollens vollständig entfiel. Zu den Compressionsmaschinen oder Luftpumpen, welche die comprimirte Luft für die Bohrmaschinen zu liefern hatten und nach dem Patente Stanek & Reska construiert worden sind, ist noch eine Bemerkung zu machen. Die Verdichtung der Luft bringt eine Erwärmung derselben mit sich, welche bei sechs Atmosphären Spannung auf etwa 500 Grad Celsius berechnet wird. Die Compressoren erhalten deshalb zur Vermeidung dieses Uebelstandes eine Einrichtung zur Abkühlung der Luft, und besteht dieselbe darin, dass die warm werdende Luft stetig mit kaltem Wasser in Berührung gelangt, wodurch die schliessliche Erwärmung auf nur 20—30 Grad steigt.

b) Westseite.

Hier sind die Wasserverhältnisse des Alfenzgebietes besonders ungünstig, indem ein Theil der Wässer in die zerklüftete Tiefe sickert; ausserdem konnte hier wegen der Terrainschwierigkeiten und der zu fürchtenden Lawinen kein offenes Gerinne, sondern musste das Wasser aus den verschiedenen Tobeln und Bächen in Röhren geleitet und so den Turbinen zugeführt werden. Diese Röhren erhielten Durchmesser zwischen 35—45 Ctm.,

besaßen eine Gesammtlänge von etwa 5600 Meter und gaben, je nach dem Wasserstande, eine Rohkraft von 500—800 Pferdekraft ab; deshalb mußte für besonders wasserarme Zeiten auch noch als Reserve eine Dampfmaschine von 100 Pferdekraft angelegt werden, welche thatsächlich dreimal, jedoch immer nur auf ganz kurze Zeit, mit in Action trat. Von diesen Maschinenanlagen führten zwei Rohrstränge, einer für die Luftzufuhr (Ventilation) von 40—50 Ctm. Weite, der andere von 70—80 Mm. Weite für das gepresste Wasser (Bohrmaschinen), in den Bau.

Die durch die Staatsverwaltung hergestellten Installationsanlagen kosteten für beide Tunnelseiten rund $1\frac{3}{4}$ Millionen, gegen zwei Millionen Gulden des Voranschlages, so dass für die gesammten Anlagen pro Pferdekraft

$$\frac{1,750.000}{1700 + 800 + 100} = \text{rund } 700 \text{ fl.}$$

erwachsen, zu welchem Betrage jedoch noch ein mir unbekannter Bruchtheil zu addiren ist, der von den Unternehmern auf eigene Kosten geleistet wurde.

IV. Maschinelle Bohrung des Richtstollens.

Bei einem Alpentunnel, welcher ohne Schächte zugänglich ist, muss ein Theil des Baues, der sogenannte Richtstollen, mittelst Maschinen, also thunlichst schnell hergestellt werden, damit von verschiedenen Punkten seiner Länge aus die Ausweitung des Tunnelprofiles und die Ausmauerung des Tunnels erfolgen kann. Dieser

Hauptschlagader des ganzen Baues, in welcher der Gesamtverkehr des letzteren pulsirt, muss bei einem zu forcirenden Tunnel das grösste Augenmerk zugewendet werden, und diesem Bestreben wurde am Arlberge seitens der Staatsverwaltung durch vier Dinge Rechnung getragen: nämlich erstens durch eine kunstgerechte und ausgiebige Installation, zweitens durch die Disposition des Stollens auf die Sohle des Tunnels, drittens durch den geeigneten Stollenquerschnitt (circa 6·8 Quadratmeter), und viertens durch die Contractbedingung einer Prämie und Conventionalstrafe, wonach die Unternehmer 3·3 M. pro Tag und Tunnelseite herzustellen und für jeden ersparten Tag eine Stollenprämie von 800 fl. zu beziehen, dagegen für jeden versäumten Tag eine Stollenconventionalstrafe von 800 fl. zu erlegen hatten. Nach diesen Vorbemerkungen soll nun die Art der Herstellung des Sohlenstollens und der dabei erzielte Erfolg geschildert werden.

a) Ostseite (St. Anton, 1302·4 M. Seehöhe).

Hier wurde als Motor des Bohrmaschinenbetriebes, wie schon bemerkt, gespannte Luft, und als Maschinen die sogenannten Ferrouxmaschinen, welche sich am St. Gotthard ausgebildet und vorzüglich bewährt haben, verwendet. Solcher Maschinen ¹⁾ wurden anfänglich

¹⁾ Der officiële Ausstellungsbericht der Wiener Weltausstellung enthält in der Abtheilung Eisenbahnunter- und Oberbau, I. Band, Wien, Staatsdruckerei 1876, pag. 350—390, eine Beschreibung verschiedener Bohrmaschinen.

sechs, später acht auf ein fahrbares, circa 2500 Kilogramm schweres Gerüst, den sogenannten Bohrwagen, befestigt. Eine jede Maschine machte, je nach dem Luftdrucke, 300—500 Schläge pro Minute, und wurden in die Stollenbrust, je nach den Gesteinsverhältnissen, 20—30 Löcher à 35—40 Mm. Durchmesser und 1·6—2·0 M. Tiefe gestossen, wozu die acht Maschinen im Mittel $3\frac{1}{2}$ —4 Stunden Zeit brauchten. Die Löcher wurden in drei Abtheilungen (Chargen) gestossen, mit Dynamit geladen und so der Sprengprocess vollführt: Nach jeder Charge muss der Schutt (die Berge) fortgeschafft werden, wozu, weil diese Arbeit ungemein eilt und ausserordentlich anstrengend ist, die kräftigsten Leute ausgesucht werden müssen.

Das Bohren, Abschliessen und Schuttbeseitigen (Schuttern), welches auf einen Angriff (20—30 Löcher) à drei Chargen kommt, heisst eine Attaque, und solcher konnten pro 24 Stunden nur 3— $3\frac{1}{2}$ gemacht werden, so dass trotz aller Einübung das Laden, Feuern und Schuttern pro Attaque ebenfalls $3\frac{1}{2}$ —4 Stunden Zeit nöthig hatten, die Bohrmaschinen also im Jahre ein halbes Jahr ruhen mussten. Eine Bohrmaschine blieb in der Regel vier Tage an Ort, bohrte dort in der Regel 100 M. Loch aus und musste dann zur Reparatur zu Tage geschafft werden. Der laufende Meter Stollen benötigte, je nach dem Gesteine, 50—80 Bohrererschärfungen und 15—22 Kilogramm Dynamit.

Es ist ein eigenthümliches Schauspiel, welches eine solche forcirte Maschinenbohrung bietet, und Jedermann, der es gesehen hat, wird zugeben, dass es von tiefem, von bleibendem, grossartigstem Eindrucke ist. In dem engen Stollen, stundenweit von dem Lichte der Sonne entfernt, sieht man in qualmender Beleuchtung die reckenhaften Gestalten der Mineure an den Maschinen und Bohrlöchern hantiren; befindet sich inmitten eines tosenden Lärmes von Tausenden von Meisselschlägen pro Minute; sieht die Feuergarben aus den Bohrlöchern sprühen und die Menschen hin- und herhasten und winken, denn das Sprechen in der dicken Luft ist erschwert und man hört sein eigenes Wort nicht; und staunt über die Arbeit der durch Menschenhand gefesselten Natur und der durch Menscheng Geist geschaffenen Maschinen. Kurz, es ist ein unvergessbares Schauspiel, einen schweisstriefenden Haufen Männer gleichsam rasen zu sehen in der Niederreissung der festen Felswand, die in Eile fallen muss, zu culturellem Zwecke, hier in diesem Arlbergbaue zur Wegmachung Oesterreichs nach dem Stammlande des Hauses Habsburg, nach dem deutschen Meere und nach dem Rheine, dieser Culturachse Europas!

b) Westseite (Langen, 1216·8 M. Seehöhe).

Auf der Vorarlberger Seite wurde mit den Brandt'schen Drehbohrmaschinen gearbeitet. Diese setzen eine cylinderförmige Stahlsäge (Fig. 6) von

64 Mm. äusserem und 42 Mm. innerem Durchmesser in langsam rotirende Bewegung und drücken nebstbei diese Säge fest an das Gestein. Diese Methode zu bohren erfordert, je nach den Gesteinsfestigkeiten, 40 bis 150 Atmosphären Wasserpressung, welche durch besondere Pumpen geliefert wird. Die Bohrerkrone enthält 4—5 Zähne und können mit einer Maschine mehr als 200 M. Bohrloch hergestellt werden, bevor sie zur Reparatur zu Tage gebracht werden muss. Solche Bohrmaschinen wurden anfänglich zwei, später drei und vom Herbst des Jahres 1882 angefangen vier Stücke verwendet. Die Anzahl der Löcher pro Attaque betrug 9—12, die Tiefe der einzelnen Löcher wechselte ebenfalls zwischen 1·6—2·0 M.; der Dynamitverbrauch betrug rund 16 Kilogramm pro laufenden Meter und der Bedarf an Schneideschärfungen rund 22 Stück pro laufenden Meter Stollen.

Der Bohrbetrieb auf der Westseite macht einen ganz andern Eindruck auf den Beschauer wie jener auf der Ostseite; denn hier herrscht bedeutsame Ruhe, weil alle Stösse vermieden sind. Man sieht, wie sich die Maschinen drehen und die Bohrer sich in das Gestein einfressen, und hört kein anderes Geräusch als das Knirschen des Gesteins und dasjenige des Ausfliessens des verbrauchten Wassers. Aber gerade diese Ruhe ist für den speciellen Fachmann das Imponirende, denn im Maschinenwesen ist wie im Menschenleben der Lärm gleichbedeutend mit unnütz verausgabter Arbeit.

c) Resultate der Stollenbohrung.

Zunächst muss in Betreff der Concurrenzfähigkeit der beiden Bohrsysteme untereinander bemerkt werden, dass, was Zeit und Fortschritt anbelangt, beide Systeme sich als gleichartig herausgestellt haben, und dass, was Anlage-, Betriebs- und Unterhaltungskosten betrifft, der Vortheil auf das Drehbohrsystem fallen dürfte. In der letzten Bauperiode, insbesondere in der Zeit vom 1. Januar bis 13. November 1883, waren die Gebirgsverhältnisse auf beiden Seiten gleichartig und stellten sich folgende Thatsachen heraus.¹⁾

	Ostseite	Westseite
1. Fortschritt pro Tag in Metern .	5·43	5·42
2. Zahl der Attaquen	1079	1181
3. Dauer einer Attaque, Stunden,		
Minuten	6·45	6·15
4. Dynamitverbrauch pro lauf. Meter,		
Kilogr.	19·4	18·6

Was nun die Gesamtleistungen bei der Bohrung des Richtstollens betrifft, so muss die hocheufreuliche Thatsache constatirt werden, dass der vertragsmässige tägliche Fortschritt von $3·3 \times 2 = 6·6$ M. pro Tag weit überholt wurde; stellenweise betrug der Fortschritt auf einer Seite mehr als 7 Meter und im Ganzen stellten sich (nach den officiellen Berichten) folgende Gesamtergebnisse heraus.

¹⁾ Plate, Resultate der maschinellen Bohrung bei der Ausführung des Arlbergtunnels, Wien 1884, pag. 118.

	Ostseite	Westseite	Summe
1. Handarbeit, Tage	145	141	286
2. Maschinenarbeit, Tage	1093	1096	2189
3. Maschinenarbeit nach Abzug aller Unterbrechungen, Tage	1044	890	1934
4. Täglicher Fortschritt der maschi- nellen Bohrung, wenn die Unter- brechungstage abgezogen werden, Meter	5·07	4·95	10·02
5. Dauer einer Attaque, Stunden, Mi- nuten	7·20	6·43	—
6. Fortschritt pro Attaque, Meter .	1·48	1·39	—
7. Lochtiefe, welche eine Bohrer- schneide, resp. Krone, aushielt, Meter	0·51	0·49	—

Diese ganz hervorragenden Leistungen, welche theils auf gründlichen Vorstudien, theils auf die ausgezeichneten Installationen, theils auf wohldurchdachte Baudispositionen, endlich aber auch auf persönliche Bemühungen der beteiligten Unternehmer, Ingenieure und Arbeiter zurückgeführt werden müssen, haben die Folge gehabt, dass ein Jahr Bauzeit erspart wurde und der Arlbergbau in dieser Hinsicht derzeit als der unübertroffenste dasteht.

V. Ventilation.

Eine der Hauptursachen des raschen und gedeihlichen Gelingens eines Tunnelbaues ist der Zustand der einzuathmenden Luft. In dieser Hinsicht war die Vorsorge getroffen, dass bis zur Stollenlänge von 1000 M. pro Minute auf jeder Seite 100 Kubikm. Luft von ein-

fachem atmosphärischem Drucke, über diese Länge hinaus aber 150 Kubikm. auf jeder Tunnelseite vertragsmässig zugeführt werden mussten. Dieses Quantum wurde aber bedeutend überschritten; es betrug beispielsweise nach angestellten Messungen auf der Westseite 280 Kubikm. pro Minute. Zur Bereitung der Luftquantitäten dienten die oben erwähnten Ventilationsmaschinen, welche auf der Ostseite Kolben-, auf der Westseite Radmaschinen waren, und zur Einleitung der Luft dienten die oben beschriebenen 50 Ctm. weiten Röhren, welche die Luft bis vor Ort brachten; auf der Ostseite kamen noch hinzu die Quantitäten der aus den acht Bohrmaschinen ausströmenden frischen Luft, so dass insbesondere der Ort an dieser Seite der erfrischendste im ganzen Baue war. Es muss hier auch noch constatirt werden, dass der Arlberger Tunnelbau auch betreffs der Ventilation in eminentester Weise gegenüber dem Gottharder Tunnelbaue vorgekehrt war, und ein jeder Ingenieur, welcher beide Bauten gekannt hat, vom Arlberge voll des Lobes sein musste und es auch thatsächlich war. Diesem vortrefflichen Zustande der Wetter ist es auch zuzuschreiben, dass die Erkrankungen am Arlberge weit geringer, als jene am St. Gotthard waren.

VI. Verfahren des Abbaues.

Unter dem Abbaue verstehen wir im Tunnelbaue das Verfahren, welches bei der Ausgrabung oder Ausprengung des Tunnelprofiles, der Einbringung der Zimmerung und jener der Mauerung angewendet werden

muss. Dieses Verfahren charakterisiert sich dadurch, dass das Tunnelprofil in bestimmten kleinen Partien und in einer bestimmten Reihenfolge derselben ausgehöhlt, ausgezimmert und ausgemauert wird, und dass der Bau an bestimmten, verschiedenen Orten angegriffen wird. Im Arlberger Tunnel wurde dies in nachfolgend beschriebener Weise bewerkstelligt. Der Sohlenstollen in Fig. 7 eilte, maschinell betrieben, schleunigst voraus; die übrige Arbeit wurde mit der Hand bewerkstelligt. Wenn der Stollen etwa 65 M. vorgetrieben war, wurde kaminartig in die Höhe gebrochen und so die Firste des Tunnelprofils erreicht; von dort aus wurde entlang der Tunnelachse ein Firststollen (2 in Fig. 7) getrieben. Nun wurden in entsprechenden Distanzen von dem Firststollen aus kurze Längsstücke des Tunnels (je nach dem Drucke zwischen 5 und 9 M. lang), sogenannte Tunnelringstücke ausgegraben und ausgezimmert, so wie es die Ziffern 3 und 4 der Fig. 7 zeigen. Der so ausgebrochene Raum wurde nun successive ausgezimmert und schliesslich die Mauerung eingefügt. Die Figuren 8, 9, 10, 11, 12 und 13 werden dies mehr als Worte erläutern. Solchergestalt war nun der Tunnel auf jeder Seite an verschiedenen, oft an 30 bis 60 Stellen auf jeder Tunnelseite, im Gange, damit wegen der langsamer vorgehenden Handarbeit an diesen Stellen dem Fortschritte des maschinellen Bohrens im Stollenorte so gefolgt werden konnte, dass, wie es im Vertrage vorgesehen war und auch eingehalten wurde, der Bau 180 Tage nach dem Durchschlage des Stollens

vollkommen beendet sei. Der Tunnelbau erstreckte sich demnach immer in einer nahezu stetigen Länge successive nach vorwärts; vorne vor Ort befanden sich die Bohrmaschinen und rückwärts (nach aussen zu) immer das jeweilige Ende der vollendeten Mauerung. In dieser in Arbeit befindlichen Tunnellänge, welche zwischen 1200 und 2000 M. mass, wurde nun an jenen 30 bis 60 Stellen (Ringem) gearbeitet und alle diese Arbeitsstellen waren untereinander durch den Sohlenstollen zugänglich gemacht. Das Leben in dieser Baulänge, welche zu jeder Zeit des Tages wie der Nacht immer von 700 bis 800 Arbeitern pro Tunnelseite besetzt war, bot ein hoch interessantes, fesselndes Bild menschlicher Thätigkeit und Rührigkeit dar, dessen taktmässige, militärische Leitung Zeugnis der gesunden Disposition und Administration abgab.

VII. Förderung.

Zur Ausbringung des gesprengten Haufwerkes, der Berge und reparaturbedürftigen Geräte und zur Einbringung der Baumaterialien, Geräte etc., kurz zur Förderung musste beim Arlberger Tunnelbau ein wohldurchdachtes Verfahren gewählt werden, weil diese Förderung keinerlei Störung erleiden, vielmehr in ganz taktmässiger Weise vor sich gehen musste, sofern anders alle Arbeiten unter sich im Einklange bleiben und dadurch das rasche Gelingen des Baues garantirt sein sollten. Als Ader für diese Lebensfrequenz diene, wie schon hervorgehoben, der Sohlenstollen. In diesem wurde ein 70 Ctm. Spur hal-

tendes Geleise gelegt, auf dem sich die Förderwagen von 2·3 Kubikm. Fassungsraum bewegten, und zwar innerhalb der Baustelle durch Menschenkräfte, und innerhalb des fertigen Tunneltheiles und ausserhalb des Tunnels (auf der Halde) mittelst Locomotiven. Bei einem an öfteren Tagen weit übertroffenen Fortschritte des ganzen Baues um 5·5 M. pro Seite betrug die innerhalb 24 Stunden zu bewältigende Förderquantität circa 1800 Tonnen Netto = 3000 Tonnen Brutto, so dass etwa 600 Wagen aus- und einfahren mussten. Diese Förderung erfolgte in Zügen, welche ganz fahrplanmässig nach Stunde und Minute und nach Glocken- und Hornsignal abgelassen und betrieben wurden, durch welche fahrplanmässige Einrichtung ein sehr strammer, regelmässiger, alle Arbeiten im Tunnel wesentlich fördernder Dienst hervorgerufen wurde. Dieser Dienst geschah in folgender Weise. Im Innern des Tunnels war ein eigener Betriebsaufseher damit beschäftigt, von Arbeitsstelle zu Arbeitsstelle zu gehen und für eine jede derselben die Bedürfnisse zu erheben, welche der nächst einfahrende Zug von leeren Wagen für die auszufördernden Berge, von beladenen Wagen mit Sand, Cement, Kalk, Bruchsteinen, Quadern, Holz etc. etc. herbeizuschaffen hatte. Jede dieser Arbeitsstellen besass eine mit römischen Ziffern bezeichnete Nummer. Diese Bedürfnisse wurden für jede dieser Nummern aufgeschrieben und gingen mit dem ausfahrenden Zuge zu Tage. Vor dem Tunneleingange (Mundloche) war ein förmlicher Bahnhof etablirt, dessen verschiedenen

Geleise zu den verschiedenen Stapelplätzen der Materialien, Magazinen, Schmiedewerkstätten, Reparaturwerkstätten etc. führten und schliesslich in das Tunnelgeleise einmündeten. Wenn nun der neue Zug einfahren sollte, so wurden die leeren und vollen Wagen, welche mit Kreide nummerirt wurden, auf das Tunnelgeleise gestellt und bis zum Beginne der Baulänge auf den daselbst, also im Tunnelinnern befindlichen Bahnhof (der sogenannten Tunnelstation) gebracht, welche Tunnelstation zeitweise und nach Massgabe der Fertigwerdung des Tunnelmauerwerkes immer wieder nach vorne hin verlegt wurde. Auf der Tunnelstation kreuzten die aus der Baulänge ausfahrenden und in dieselbe einfahrenden Züge und war diese Tunnelstation der Endpunkt, respective der Anfangspunkt für die ein- und ausfahrenden Locomotiven. Von dieser Station wurden nun die in die Baulänge einfahrenden Wagen in derjenigen Reihenfolge hintereinander mittelst Handbetrieb in die Baulänge hineingeschoben, welche den Arbeitsstellen entsprach, so dass die vorderste Baustelle zuerst, die rückwärtigste zuletzt bedient wurde. In diesen Baustellen wurden nun die vollen Wagen entladen, die leeren beladen und so der nächste Zug zur Ausfahrt fertig gestellt. Auf der Ostseite gelangten in der Regel 12, auf der Westseite in der Regel 16 solcher Züge zur Aus- und Einfahrt binnen 24 Stunden. Mit dem ersten und letzten Zuge, oder unter Umständen mit besonderen Zügen wurden auch die Arbeiter aus- und eingefahren, denn gegen die Durchschlagszeit beanspruchte der Fussmarsch wegen der Un-

sicherheit des Ganges im Dunkeln und auf unebener und nasser Strecke an $1\frac{1}{2}$ Stunden. Eine besondere Eigenthümlichkeit betraf die Förderung auf der Ostseite. Der Tunnel steigt nämlich, wie es Fig. 14 darstellt, von beiden Seiten an, von der Ostseite mit 2 auf 1000, von der Westseite mit 15 auf 1000. Die Culmination (1310 M. Seehöhe) liegt aber nicht in der Mitte, so dass, weil der Bau wegen der Gebirgsverhältnisse auf der Ostseite schneller, als auf der Westseite vorrückte, man auf der Ostseite schliesslich bergabgehen musste, und zwar auf etwa 1400 M. Länge und in 21 M. absolute Teufe. Um nun auf dieser Steigung mit 15 pro 1000 die schweren Wagenzüge von 250 bis 280 Tonnen Brutto heraufholen zu können, musste man, weil die Locomotiven in die mit Holzwerk versperrte „Baulänge“ nicht hineinfahren konnten, zu einem besonderen Hilfsmittel greifen. Es wurden starke Stangen (ein Gestänge) zwischen je zwei kleine Wägelchen gekuppelt, so dass man schliesslich ein etwa 1200 M. langes fahrbares Stangenwerk erhielt; mit diesem konnte man wie mit einem langen Arme in einen Schlund: in den Bau hineinlangen und dort am Ende die auszufahrenden Wagen fassen, anhängen und nunmehr die ganze Sache, Wagenzug und Gestänge mittelst dreier vorgespannter Locomotiven aus der Tiefe herausziehen, wie dies die Skizze Fig. 15 schematisch zeigt.

Ich habe noch ein paar Worte über diese Locomotiven zu sprechen. Dieselben waren in zwei Grössen (10 und 14·5 Tonnen schwer) gebaute Tenderlocom-

tiven von Krauss in München und Linz, von eigenthümlicher Einrichtung. Sie besitzen nämlich eine sehr bedeutende Kesselgrösse, vertragen Spannungen bis zu 15 Atmosphären und werden nur im Freien geheizt. Fährt die Maschine in den Tunnel ein, so wird das Feuer durch eine Klappe kalt gestellt und es entwickelt sich nun der nothwendige Dampf aus dem überhitzten Wasser, wiesolches beidem Locomotivsysteme Lamm-Francy der Fall ist. Im Tunnelinnern fährt man also ohne Flamme und ohne Rauch, nur mit dem Vorrathe von gebundener Wärme. Im Freien angekommen lässt man das Feuer wieder an, und die Maschine arbeitet hier wie jede andere Locomotive. Die hier beschriebene Fördereinrichtung und die Locomotiven mit suspendirbarem Feuer haben, beim Arlberger Tunnelbau alle Erwartungen erfüllt und so zur frühern Fertigstellung des Baues ganz wesentlich beigetragen.

VIII. Wärme im Tunnel.

Bekanntlich ist die grosse Wärme in den Alpentunneln ein bedeutsamer Uebelstand, dem dermalen nur durch reichliche Zufuhr möglichst abgekühlter Ventilationsluft einigermaßen abgeholfen werden kann. Diese Wärme entwickelt sich in einer zur Oberfläche, wenn auch nicht direct parallelen, aber doch so conformen Curve, dass der Einfluss der Erhebungen und Einsenkungen des Terrains im Sinne des Längenprofils ganz unleugbar ist. Beim Baue des Arlbergtunnels wurden in dieser Richtung sehr sorgfältige, in naturwissen-

schaftlicher Beziehung hochinteressante Beobachtungen gemacht, welche ich nach den Erhebungen des Oberingenieurs Wagner für die Ostseite in Kürze anführe.

Distanz vom Ostportal Meter	Höhe der überlagernden Gebirgsmasse Meter	Temperatur der Luft im Stollen Grad Cels.	Temperatur des Gesteines Grad Cels.	Temperaturzunahme auf 100 Meter
300	100	9·0	8·9	2·9
1400	200	11·9	11·8	0·7
1450	300	13·5	12·5	0·5
1650	400	14·5	13·0	0·3
1900	500	14·5	13·3	2·4
2350	600	17·0	15·7	0·9
2800	600	18·0	16·6	0·6
3100	500	17·5	16·0	0·9
3900	500	17·2	15·1	0·9
4100	600	18·4	16·0	1·1
4500	700	19·2	17·1	1·3
5050	700	20·0	18·4	

Im Sohlenstollen war die Temperatur in der Regel um 4⁰ höher, als die des angrenzenden Gesteines; im Firststollen wurden Minimaltemperaturen von 13·6⁰, Maximaltemperaturen von 22·5⁰, in Aufbrüchen Maximaltemperaturen von 25⁰ Cels. beobachtet.

IX. Gebirgsverhältnisse.

Dem Baue des Arlbergtunnels sind mehrmalige eingehende geologische Vorstudien seitens der k. k. geologischen Reichsanstalt sowohl, wie seitens der k. k. Generalinspection der österreichischen Eisenbahnen vorhergegangen und wurden dieselben zu einem Theile in der

Denkschrift: „Technischer Bericht über das Project der Arlbergbahn, Wien 1872“, niedergelegt. Alle diese Studien mussten constatiren, dass die beiden zum Passe führenden Thäler, das Stanzerthal mit dem Rosanabache, welcher zum Flussgebiete des Inn, respective der Donau, und das Klosterthal mit dem Alfenzbache, welcher zum Flussgebiete des Ill, respective des Rheines gehört, auf einer mächtigen geologischen Bruchlinie zwischen Gneiss und Triaskalk liegen. Die Gesteine sind sehr steil, nahezu senkrecht gestellt, und es musste Sorge getragen werden, den Tunnelbau in das Urgestein und möglichst entfernt von der unterirdischen Bruchlinie zu führen, weil eine solche immer sehr viel Wasser enthält und das Gebirge daselbst morsch und druckreich erwartet werden muss. Dieses geologische Vorkommen ist auch die Ursache der Lagerung so vieler Varianten gewesen, und hat man sich zu der ausgeführten Linie deshalb entschlossen, weil sie einerseits die billigsten Zufahrtsrampen, respective die geeignetsten Höhenlagen der Bahn bei St. Anton und Langen bot, und weil sie andererseits in dieser Höhenlage eine kürzeste Tunnellinie bei der thunlichsten Entfernung von der unterirdischen Grenzlinie zwischen Urgestein und Trias zuliess, wie dies aus der schematischen Fig. 16 ersichtlich ist. Gleichwohl musste wegen des Umstandes, dass die Tunnelachse mit der Streichungslinie der Gesteine nahezu zusammenfiel, darauf geachtet werden, dass auf der Seite von Langen diese unterirdische Grenze eine grosse Strecke lang

sehr nahe liegen würde, dort also Wasser und Druck erwartet werden müsse, demgemäss also auch auf die Einfügung eines Sohlengewölbes Bedacht zu nehmen sei, wie dies auch im technischen Bauprojecte und im Kostenvoranschlage thatsächlich geschehen ist. Wie weit nun auf der Langener Seite dieses brüchige nasse Gebirge reichen würde, dies konnte genau nicht ermittelt, sondern nur taxirt werden, indem effective Bodenuntersuchungen durch Bohrlöcher oder schräge Schächte sehr viel Zeit und sehr bedeutende Gelder in Anspruch genommen haben würden und beides nicht zur Verfügung stand. In der Wirklichkeit ist nun diese brüchigenasse Beschaffenheit der Langener Seite, welche auf etwa 1000 M. geschätzt wurde, auf etwas mehr als 3000 M. Länge aufgetreten und dieser Umstand naturgemäss auf die Anwendung stärkerer Zimmerung und Mauerung (durchwegs Sohlengewölbe) und auf die Förderung grösserer Quantitäten Berge und Baumaterialien, also auf eine vollkommen gerechtfertigte und massvolle Kostenüberschreitung von Einfluss gewesen. Im grossen Ganzen musste ferner aus dem geologischen Habitus des Gebirges, und insbesondere aus der Erscheinung, dass die Schichten nahezu senkrecht stehen, im Voraus auf ein sehr mässiges Wasserandrängen gerechnet werden, weil diese Steilheit der Schichten dasjenige Niederschlagsgebiet sehr verminderte, welches für ein Zuführen der Wässer in den Bau maassgebend war. Diese wissenschaftliche Vorherbestimmung hat sich in der Praxis vollkommen bewährt; denn die im

gneisigen Glimmergesteine liegende Ostseite war nahezu trocken und nur die Westseite nass, jedoch auch hier nur an einzelnen Stellen von grösserer Bedeutung.

Dieses in Kürze geschilderte geologische Vorkommen trug dazu bei, dass auf der Ostseite der Bau in grosser Regelmässigkeit, auf der Westseite jedoch zeitweise mit Unterbrechungen der Stollenbohrung und öfter unter sehr grossem Drucke gearbeitet werden konnte, beziehentlich gearbeitet werden musste, und dass die Einziehung eines Sohlengewölbes auf eine sehr grosse Tunnellänge unabweisbar wurde.

Die Störungen auf der Westseite betrafen jedoch nur die maschinelle Stollenbohrung, weil hier das Gebirge häufig so brüchig, weich und sogar dünnflüssig war, so dass die Sprengung des Gesteines ausgesetzt und die reine Handarbeit eingeführt werden musste. Deswegen ist nur in diesem Umstande und nicht etwa in dem angewendeten Drehbohrsystem der geringere Gesamtfortschritt der Westseite zu suchen.

X. Geschichtliche Daten des Baues.

Wie bemerkt, erfolgte die staatliche Genehmigung des Bauangriffes am 15. Mai 1880. Auf der Ostseite begann der Stollenangriff am 24. Juni 1880, auf der Westseite am 25. Juni 1880. Mittelst dieser Handarbeit wurden auf der Ostseite 208·5 M., auf der Westseite 226·0 M. Stollenlänge, mit einem täglichen Fortschritt von 1·43 M., beziehentlich 1·61 M., hergestellt. Der Maschinenbetrieb des Stollenbaues begann auf der Ost-

seite am 17., auf der Westseite am 13. November 1880, so dass die interimistische Installation mit einer geradezu bewunderungswürdigen Thätigkeit in so kurzer Zeit fertiggestellt wurde. Am 21. December 1880 erfolgte die Zuschlagung der bis dahin in Regie betriebenen Bauarbeiten an die Unternehmung Ceconi und Brüder Lapp. Im Sommer und Herbste 1881 wurden die definitiven Installationsanlagen vollendet.

Am 11. August 1881 besuchte Seine k. k. apostolische Majestät der Kaiser Franz Josef I. den Bau und befuhr beide Tunnelseiten bis vor Ort.

Gegenüber diesem für uns österreichische Tunnelingenieure hochehrwürdigen Ereignisse muss leider das betrübende, baugeschichtliche Moment erwähnt werden, dass der Oberleiter des Baues, Oberbaurath Julius Lott, ein Mann von hoher Intelligenz, von ehrenwerthestem Charakter und von aufrichtiger Freundesgesinnung, in der Blüthe des Mannesalters am 24. März 1882 starb; es war ihm, wie Sommeiller am Mont-Cenis und Favre am St. Gotthard, nicht vergönnt, die Vollendung des Werkes zu sehen!

Der Durchschlag des Sohlenstollens erfolgte am 19. November 1883 bei 5500 M. am östlichen und 4750 M. am westlichen Mundloche; an diesem Tage waren auf der Ostseite 4588 M., auf der Westseite 3427 M. Tunnellänge fertig in Mauerung.

Ende Mai 1884, also ein volles Jahr vor dem vertragsmässigen Termine war der Tunnel vollendet.

XI. Statistische Daten.

Die eigentliche Stollenherstellung betrug:

	Beim Tunnel		Baumonate	pro Monat Meter
Mont Cenis,	12.333	Meter lang	160·00	76·4
St. Gotthard,	14.900	" "	87·75	170·0
Arlberg,	10.270	" "	40·50	252·8

In Bezug auf die Vervollkommnung der Bohrmaschinen und auf die Einübung in der Bohrarbeit nach einer gewissen Zeit ist es interessant, die folgenden Daten zu betrachten. Es betragen zusammen auf beiden Seiten die Bohrfortschritte:

	im	am Mont Cenis Meter	am St. Gotthard Meter	am Arlberge Meter
1.	Baumonate	22·9	42·4	74·9
5.	"	73·6	155·7	170·0
10.	"	78·9	123·7	228·8
15.	"	84·0	133·4	309·2
20.	"	87·0	168·3	290·5
22.	"	112·5	194·0	320·4

Am Arlberge speciell betrug die grösste Monatsleistung (in Summa beider Seiten):

		Meter
Im Jahre	1880 (Juli bis December)	139·0
"	" 1881 (im Monate December)	263·2
"	" 1882 (im Monate Juni)	350·0
"	" 1883 (Juli bis October, im Monate Juli)	381·6

In Betreff der beim Arlbergtunnel erzeugten und verwendeten Quantitäten können folgende generelle und

abgeschätzte Zahlen ein Bild von dem Umfange dieses grossartigsten der bisherigen Bauwerke in Oesterreich geben. Es betragen:

1. Die verfahrenen Arbeiterschichten . . .	4,800.000
2. Die ausgebrochenen Gebirgsmassen, Kubikmeter	785.000
3. Die gemauerten Massen, Kubikmeter	286.600
4. Das verbrauchte Zimmerungsholz, Kubikmeter	30.000
5. Das verbrauchte Dynamit, Kilogramm	470.000
6. Die gesammte Lochtiefe der Bohrlöcher, ¹⁾ Meter	1,000.000
7. Die Anzahl der Bohrerschärfungen, Stück	15,000.000
8. Die von den Maschinen eingepumpte Luft, Kubikmeter	756,000.000
9. Die von den Maschinen aufgewendeten Pferdekraftstunden	720,000.000
10. Die durch die Menschen, Maschinen und das Dynamit aufgewendete Arbeit, annähernd geschätzt, Meterkilogramm	715.600,000.000
11. Hierauf beträgt approximativ die Arbeit für einen Kubikmeter Masse (Zerstörung des Gebirges und Aufmauerung zur Stützung des Hohlraumes), Meterkilogramm	700.000

XII. Resumé.

Die Thatsache, dass der Arlbergtunnel trotz der projectirten knappen Zeit um ein ganzes Jahr früher

¹⁾ Die Bahnlänge von Triest über Wien nach Bodenbach misst 1140 Kilom.

vollendet wurde, dass die verhältnissmässig geringe Kostenüberschreitung durch die geologischen Vorkommnisse und die glücklicher Weise erzielten Prämien vollauf gerechtfertigt erscheinen, dass während des ganzen Baues keine Stockung eintrat, vielmehr sich Alles, und selbst gegenüber unerwartet schwierigeren Verhältnissen, als solche vorhergesehen werden konnten, mit der vollkommensten Ordnung und Präcision abwickelte, endlich, dass der Bau tadellos dasteht: dies ist eine Errungenschaft, welche einen Jeden, der dabei beschäftigt war, mit vollem Rechte mit Stolz erfüllt; denn es war eine Leistung, welche ganz wesentlich dazu beigetragen hat, den Ruf der österreichischen Ingenieure im In- und Auslande neu zu befestigen, und welche die Scheu vor Alpentunneln, im Interesse der Förderung der geistigen und materiellen Interessen von Völkerschaften, welche durch alpine Gebirgszüge von einander getrennt sind, wesentlich herabstimmen wird. Dass dieser Riesenbau aber so vortrefflich durchgeführt wurde, dies ist die Wirkung verschiedener Ursachen, deren ich zum Schlusse meines Vortrages in Kürze gedenken will. Die hauptsächlichste Ursache war die dem Baue vorhergegangene und mit ihm einherschreitende eingehende Würdigung aller einschlägigen Errungenschaften auf dem wissenschaftlichen und praktischen Gebiete des Tunnelbaues; seit diese Lehre des Tunnelbaues durch die Literatur und durch die Lehrkanzel aus dem Empirismus auf die Höhe wissenschaftlicher

Erkenntniss und Kritik gehoben worden ist und akademisch gemacht wurde, ist das Wissen und Können nicht mehr Monopol des Einzelnen, und tritt der Ideenaustausch, die kritische Besprechung, das forschende Studium und die Befähigung wissenschaftlicher Erkenntniss aller auftretenden Erscheinungen zu Tage und muss somit sich in physische Errungenschaften umwandeln. Eine zweite Ursache des Gelingens war die correcte Planung des Baues immer im Hinblick auf alle Eventualitäten, so dass das grosse Geheimniss: „durch Nichts überrascht zu werden,“ zu strategischem Erfolge führen musste. Eine dritte Ursache lag in der vortrefflichen Organisation des Baudienstes, sowohl seitens des Staates, wie seitens der Unternehmung, eine Organisation, welche durch die Wahl der Personen und durch das harmonische Zusammengehen Aller mit Einem und eines Jeden mit Allen so bedeutsam gefördert wurde. Die vierte Ursache lag in der Tüchtigkeit der Unternehmer, welche es Tag und Nacht an persönlichem Eingreifen niemals fehlen liessen und das Vertrauen derjenigen Männer vollauf rechtfertigten, welche sie seinerzeit der Staatsbehörde trotz mancher Gegenrede empfohlen hatten. Eine fünfte Ursache lag in der Wahl der getroffenen technischen Dispositionen, besonders derjenigen der Anlage des Sohlenstollens, der Concurrenz zweier verschiedener Bohrsysteme, der Einrichtung der Förderung und der Einrichtung und dem Umfange der Ventilation. Die sechste Ursache aber war die Begünstigung des Zusammentreffens von Um-

ständen, die wir Menschen als glückliche bezeichnen, und deren Existenz der Bergmann niemals übersehen kann und darf, denn er ruft ja immer am Beginne seiner Schicht und am Beginne eines schweren Werkes sein altgewohntes

Glück auf!

Fig. 1.

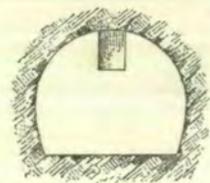
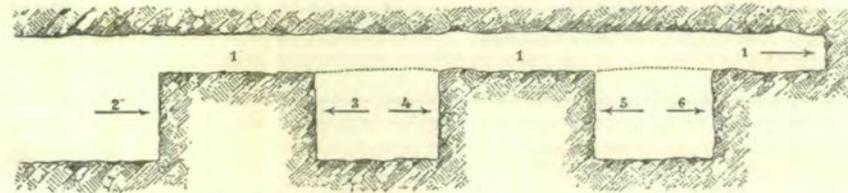


Fig. 2.



Schema des Firststollenbetriebes.

Fig. 3.

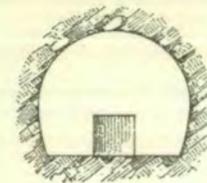
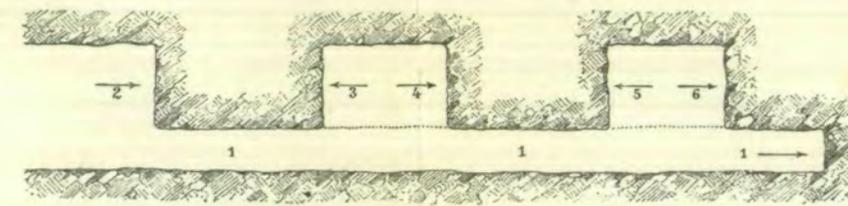


Fig. 4.



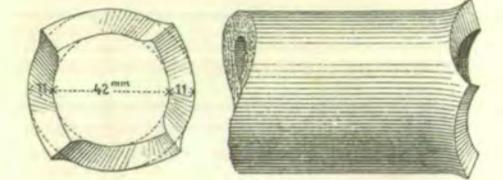
Schema des Sohlenstollenbetriebes.

Fig. 5.



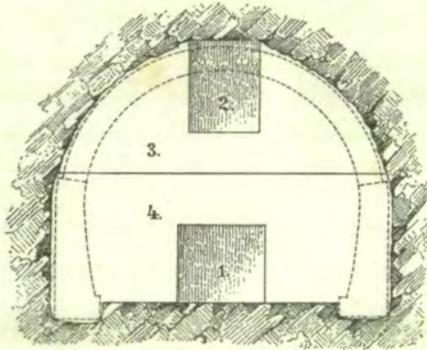
Meißelbohrer.

Fig. 6.



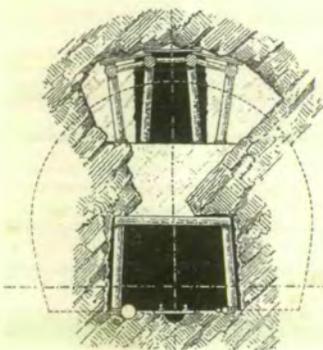
Drehbohrer.

Fig. 7.



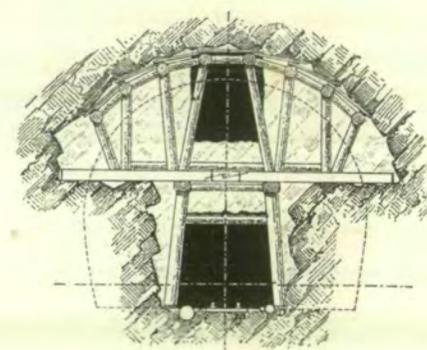
Profiltheilung.

Fig. 8.



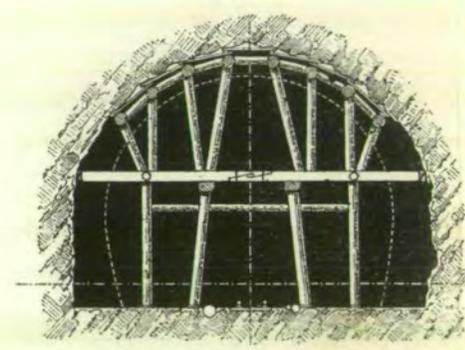
Ausbruch der Firste.

Fig. 9.



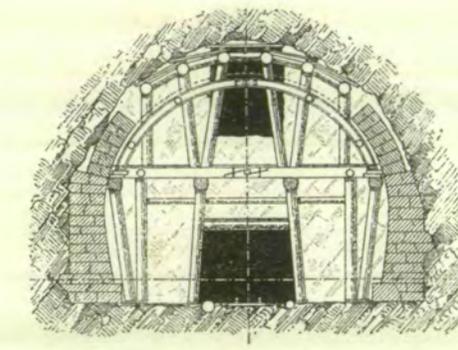
Ausweitung der Firste.

Fig. 10.



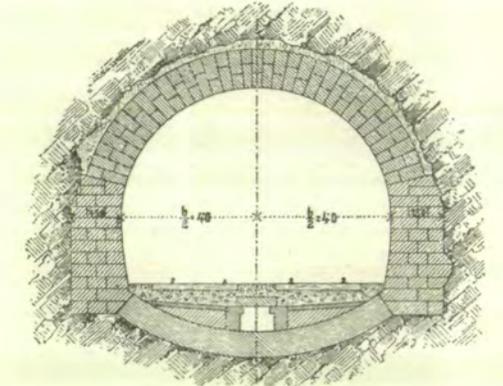
Zimmerung des vollen Profils.

Fig. 12.



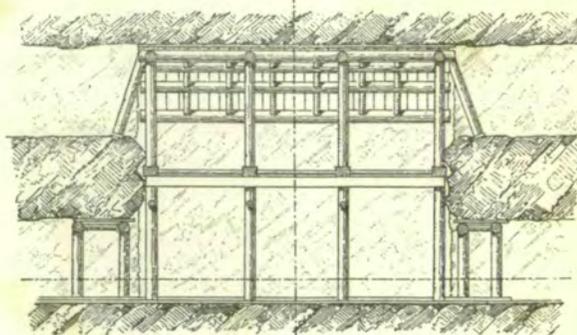
Vorgang bei der Mauerung.

Fig. 13.



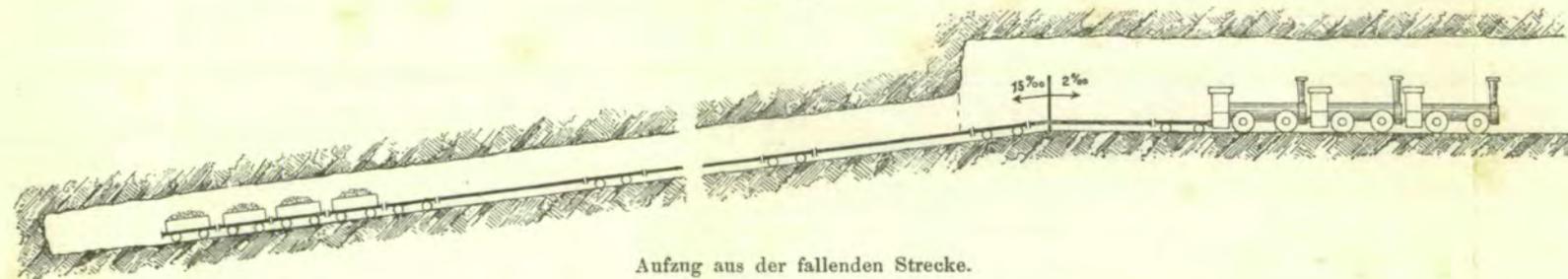
Vollendete Mauerung.

Fig. 11.



Längenprofil der Zimmerung.

Fig. 15.



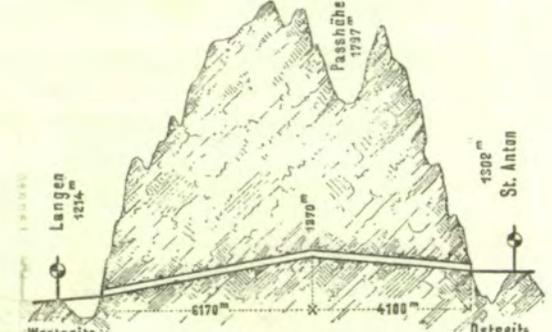
Aufzug aus der fallenden Strecke.

Fig. 16.



Geologisches Schema.

Fig. 14.



Skizze des Längenprofils.